

Ə.Ş.ABDİNOV, R.F.MEHDİYEV,
T.X.HÜSEYNOV

Ə.Ş.ABDİNOV, R.F.MEHDİYEV,
T.X.HÜSEYNOV

**FİZİKİ ELEKTRONİKANIN
TARİXİ VƏ METODOLOGİYASI**

**FİZİKİ ELEKTRONİKANIN
TARİXİ VƏ METODOLOGİYASI**

(dərs vəsaiti)

BAKİ – 2008

BAKİ – 2008

Elmi redaktor:

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof. Ə.Ş.Abdinov

Rəyçilər:

–fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, prof. Ə.X. Muradov,

–fizika-riyaziyyat elmlər doktoru, prof. Y.Q. Nurullayev

Abdinov Ə.Ş., Mehdiyev R.F., Hüseynov T.X.

Fiziki elektronikanın tarixi və metodologiyası.

Ali məktəblər üçün dərs vəsaiti. 165 s.

Kitabda elektronikanın, başlıca olaraq isə fiziki elektronikanın yaranma tarixi və inkişafı mərhələləri haqqında xronoloji məlumatlar, eləcə də bu elm sahəsinin metodologiyasının əsas məqamları şərh olunur. O, ali məktəblərin uyğun istiqamət və ixtisaslaşmalar üzrə təhsil alan magistrantları üçün dərs vəsaiti kimi hazırlansa da, ali məktəb tələbələri, aspirantlar, mühəndis və elmi işçilər, müəllimlər tərəfindən də istifadə oluna bilər.

Kitab 165 səhifədən, 55 illüstrasiyadan və 17 adda ədəbiyyatın siyahısından ibarətdir.

© “.....” nəşriyyatı, 2008

MÜNDƏRİCAT

Giriş 5

I fəsil**FİZİKİ ELEKTRONİKANIN YARANMASI**

§1.1. Fiziki elektronika ilkin mərhələdə 7

§1.2. Fiziki elektronikanın ikinci inkişaf mərhələsi.

Elektrovakuum lampaları 14

§1.3. İlk sənaye lampaları 23

II fəsil.**TRANZİSTORLAR ELEKTRONİKADA**

§2.1. Fiziki elektronikanın üçüncü inkişaf mərhələsi 34

§2.2. Sahə tranzistorunun yaradılması 42

§2.3. Yarımkeçirici cihazların impuls və rəqəm texnikasında tətbiqi 48

III fəsil**İNTEQRAL MİKROXSEMLƏRİN KƏŞFİ.****MİKROELEKTRONİKANIN İNKİŞAF MƏRHƏLƏLƏRİ**

§3.1. İlk inteqral mikrosxemlər 58

§3.2. Mikrotexnologiyanın yaranmasının ilkin şəraiti və inkişafı 63

§3.3. Litoqrafiya 68

§3.4. Mikroelektronikanın inkişaf mərhələləri 74

§3.5. İndikator və displeylərin mikroelektronikada tətbiqi 75

IV fəsil

FİZİKİ ELEKTRONİKANIN YENİ SAHƏLƏRİ

§4.1. İfrat yüksək tezliklər elektronikasası	86
§4.2. Tunel diodları	94
§4.3. Qann effekti və Qann cihazları.....	99
§4.4. Optoelektronika.....	104
§4.5. Kvant elektronikasası	127

V fəsil

ELEKTRONİKA MÜASİR DÖVRDƏ

§5.1. Fiziki elektronikanın yeni sahəsi – nanoelektronika	138
§5.2. Bioelektronika	146

VI fəsil

AZƏRBAYCANDA FİZİKİ ELEKTRONİKA

§6.1. Elmi mühitin formalaşması.....	150
§6.2. Əsas istiqamətlər.....	159
§6.3. Qeydedicilər	160
§6.4. İnfraqırmızı və aşağı temperaturalar elektronikasası	162
Ədəbiyyat	164

Azərbaycanda fiziki elektronikanın əsasını qoymuş və onun formalaşdırma inkişaf etməsində böyük xidmətləri olmuş görkəmli alimlərin, sevimli müəllimlərimiz akademik HƏSƏN MƏMMƏDBAĞIR oğlu ABDULLAYEVİN 90 və professor QAFAR İBRAHİM oğlu ƏFƏNDİYEVİN 85 illiyinə həsr edirik.

Müəlliflər

GİRİŞ

Fiziki elektronika müasir elm və texnikanın ən sürətlə inkişaf edən sahələrindəndir. O, müxtəlif cihazlarda fiziki və mühitlərdə (bərk cisimlərdə, mayelərdə, qazlarda və plazmada) baş verən elektron və ion proseslərini öyrənir. Elektron cihazlarının yaradılması və istifadəsi ilə məşğul olan texniki və sənaye elektronikasının ideya əsası elmin bu sahəsidir. Bütövlükdə elektronika dedikdə məhz bu üç sahə (fiziki elektronika, texniki elektronika və sənaye elektronikasası) birlikdə nəzərdə tutulur.

Elektronika radiotexnika ilə sıx əlaqədə inkişaf edir. Elm və texnikanın müxtəlif sahələri, o cümlədən radioelektronika, elektronika və radiotexnika vəhdət təşkil edir. Radioelektronika radio və optik tezlik diapazonunda dalğaların və elektromaqnit rəqslərinin köməyi ilə informasiyanın çevrilməsi, ötürülməsi və qəbulu problemləri ilə məşğul olur. Elektron cihazları radiotexniki qurğuların əsas işçi elementləri olub, radio cihazlarının mühüm göstəricilərini müəyyənləşdirir. Həmin cihazlardan radio və televiziya qurğularında səs yazılması və canlandırılmasında, radiolokasiyada, radiomüşahidədə, radioteleidarəetmədə, radioölçmələrdə və digər yerlərdə də geniş istifadə edilir.

Texnikanın müasir inkişaf mərhələsi insanların həyat fəaliyyətinə elektronikanın daha çox nüfuz etməsi ilə xarakterikdir. Amerika Birləşmiş Ştatlarının statistik göstəricilərinə görə dünyanın ümumi sənayesinin 80%-i elektron sənayesinin payına

düşür. Elektronika sahəsində qazanılan uğurlar mürəkkəb elmi-texniki problemləri həll etməyə imkan verir. Məhz bu uğurların sayəsində elmi tədqiqatların effektivliyi yüksəlir, yeni növ maşınlar və avadanlıqlar yaradılır, effektiv texnologiya və idarəetmə sistemləri hazırlanır, yeni xassələrə malik materiallar alınır, informasiyanın toplanması və işlənməsi prosesləri təkmilləşdirilir. Elmi-texniki və istehsalat problemlərini əhatə edən elektronika – elmin müxtəlif sahələrində qazanılan biliklərə istinad edir. Belə ki, elektronika bir tərəfdən digər elmlər və istehsalat qarşısında məsələ qoyur, onların sonrakı inkişafını stimullaşdırır, digər tərəfdən isə onları yeni, keyfiyyətli texniki vasitələr və tədqiqat üsulları ilə zənginləşdirir. Elektronikanın əsas elmi-tədqiqat obyektləri aşağıdakılardır:

1. Elektronun və digər yüklü zərrəciklərin elektromaqnit sahəsi ilə qarşılıqlı təsir qanunlarının öyrənilməsi;

2. Elektron cihazlarının hazırlanmasında istifadə edilən enerji çevrilmələri – informasiyanın ötürülməsi, işlənməsi və saxlanması, istehsal proseslərinin avtomatlaşdırılması, enerji qurğularının hazırlanması, nəzarət-ölçü cihazlarının yaradılması və təcrübələrdə baş verən hadisələrin qarşılıqlı əlaqəsini aydınlaşdırması.

Elektronikanın sürətli inkişafı nəticəsində artıq kvant elektronika, bərk cisim elektronika, fotoelektronika, optoelektronika, mikroelektronika, akustoelektronika, piroelektronika, bioelektronika, infraqırmızı dalğalar texnikası, krioelektronika, maqnitoelektronika və s. kimi yeni elmi-texniki sahələr yaranmışdır. Hazırda elektron cihazlarından və elektronikanın nailiyyətlərindən insanların bütün məşğulluq və məişət sahələrində (sənayedə, kənd təsərrüfatında, tibbidə, kosmonavtikada, kibernetikada və s.) eləcə də, fizika, kimya, astrofizika, iqtisadiyyat, dilçilik, biologiya, psixologiya, arxeologiya və başqa elm sahələrində geniş istifadə olunur.

I FƏSİL

FİZİKİ ELEKTRONİKANIN YARANMASI

§1.1. Fiziki elektronika ilkin mərhələdə

XVIII-XIX əsrlər elmin sürətlə inkişaf etməsi əlamətləri ilə yadda qalır. Məhz bu illərdə fizika, kimya və biologiya sahəsində yeni qanunlar kəşf olunmuş, yeni cihaz və maşınlar yaradılmışdır. Həmin dövrdə fizika elmi digər elmlərin uğurlarından da bəhrələnərək yeni bir sahəni – fiziki elektronikanı yaratmaq mərhələsinə qədəm qoymuşdur.

Elektrik boşalması. Dünyada ilk dəfə rus alimləri Mixail Vasilyeviç Lomonosov (1711-1765) və Qeorq Vilhelm Rixman (1711-1753) və onlardan asılı olmadan amerikan alimi Frankel havada elektrik boşalmasını tədqiq etmişlər. 1743-cü ildə M.V.Lomonosov «Allahın böyüklüyü haqqında axşam düşüncələri» əsərində ildırımın və şimal qütb parıltısının elektrik təbiətli olması ideyasını irəli sürmüşdür. Bir qədər sonra (1752-ci ildə) Frankel və Lomonosov *ildırım maşınının* köməyi ilə göstərmişlər ki, ildırım və şimşək – havada güclü elektrik boşalmasıdır. Bununla yanaşı aşkar edilmişdir ki, hətta ildırım olmadıqda da havada elektrik boşalması baş verir. *İldırım maşını* sadə quruluşa malik olub, yaşayış evində qurulmuş Leyden bankalarından ibarət idi. Bankalardan birinin qapağı naqıl vasitəsi ilə açıq havada yerləşdirilmiş metal darağa və ya dəmir milə birləşdirilirdi.

1753-cü ildə tədqiqat apararkən professor Q.V.Rixman dəmir milə toxunaraq ildırım təsirinə düşür və həlak olur. Sonralar bu istiqamətdə tədqiqatları davam etdirən M.V.Lo-

monosov ildırım hadisəsinin ümumi nəzəriyyəsini yaratmışdır və həmin nəzəriyyə indi də istifadə edilir. Bundan başqa, M.V.Lomonosov sürtünən maşının təsiri ilə havada səyriyən boşalmanı da müşahidə edə bilmişdir.

Sankt-Peterburq tibbi-cərrahiyyə akademiyasının akademiki Vasili Vladimiroviç Petrov (1761-1834) M.V.Lomonosovun elmi işlərini inkişaf etdirərək, 1802-ci ildə ilk dəfə olaraq (ingilis fiziki Devidən bir neçə il əvvəl) havada iki kömür elektrod arasında qövs boşalması hadisəsini müşahidə etmiş və göstərmişdir ki, havadan elektrik cərəyanı keçərkən elektrik boşalması baş verir. V.V.Petrov öz kəşfini belə təsvir edirdi: «Əgər şüşə masanın üzərinə 2-3 qırıntı ağac kömürü qoyub, onları naqillər vasitəsi ilə güclü elektrik mənbəyinə qoşsaq və bir-birinə yaxınlaşdırsa, həmin kömür qırıntıları arasında parlaq (gözqamaşdırıcı) ağ işıqlanma (alov) yaranacaq və bu alovun təsirindən kömürlər yanacaq». V.V.Petrovun elmi işləri rus dilində dərc olduğuna görə, onlar xarici ölkə alimləri üçün əlçatmaz idi. Rusiyada həmin dövrdə elmi işlərə bir o qədər maraq göstərilmədiyindən həmin işlər tezliklə unudulmuşdu və məhz bu səbəbdən də, sonralar qövs boşalmasının kəşfi ingilis alimi Devinin adına yazılmışdır.

Müxtəlif maddələrin udma və şüalanmasının öyrənilməsi alman alimi Plukkeri Hesler borusunu yaratmağa sövq etmiş və o, 1857-ci ildə müəyyənləşdirmişdir ki, kapillyar boruya daxil edilmiş Hesler borusu spektroskopun obyektivində yerləşdirildikdə müşahidə olunan spektr bir-qiyətli olaraq ondakı qazın spektrini verir. Bununla da, Plukker ilk dəfə olaraq Balmer seriyasına daxil olan hidrogenin üç xəttini aşkar etmişdir. Sonralar Plukkerin şagirdi Hittorf onun

tədqiqatlarını davam etdirərək, 1869-cu ildə alovşuz boşalmanda elektrik keçiriciliyi haqqında silsilə məqalələr çap etdirmişdir.

Hittorfun və Plukkerin işlərinə əsaslanan ingilis alimi Kruks isə katod şüalarını kəşf etmişdir.

Qaz boşalmasının öyrənilməsində ingilis alimi D.Tomson (1856-1940) elmdə böyük sıçrayış yaratmış, elektronların və ionların mövcudluğu fikrini söyləmişdir. Tomsonun elm üçün ən böyük xidməti isə Kavendiş laboratoriyasını yaratmasıdır. Bu laboratoriyada qazlarda elektrik boşalması tədqiq edilirdi. Laboratoriya Tausent, Aston, Ernest Rutherford (1871-1937), Kruks və Riçardson kimi məşhur tədqiqatçı alimləri yetişdirməklə yanaşı, elektronikanın inkişafına da çoxlu dəyərli töhfələr vermişdir.

Qövs boşalmasının tədqiqi və tətbiqi sahəsində rus alimlərinin də böyük xidmətləri olmuşdur. Bunların sırasında metalların qövs boşalması ilə əridilməsi və qaynaqlanmasının müəllifləri olan Pavel Nikolayeviç Yabloçkov (1847-1894), Çikolev (1845-1898), Nikolay Qavriloviç Slavyanov (1839-1896) qövs boşalmasından işıqlandırıcı vasitə kimi istifadə edilməsini göstərən Nikolay Nikolayeviç Bernardos (1842-1905) kimi məşhur ixtiraçı alimlərin adlarını çəkmək olar. Laçinov və Mitkeviç isə qövs boşalmasının tədqiqində elmi işləri davam etdirərək bir qədər sonralar qövs boşalması katodunda baş verən hadisələrin təbiətini müəyyənləşdirmişdir.

Fotoeffekt. Stoletov Aleksandr Qriqoryeviç (1839-1896) uzun müddət (1881-1891-ci illərdə) qazlarda qeyri-müstəqil boşalma prosesini öyrənmişdir. O, Moskva Universitetində işləyərkən tədqiqatlarını davam etdirmək üçün havada asılı

vəziyyətdə olan iki elektrod sistemindən ibarət *hava elementi* yaratmış və aşkar etmişdir ki, belə sistemdə elektrodlardan birini (katodu) işıqlandırdıqda heç bir kənar gərginlik mənbəyi olmadıqda da dövrədə elektrik cərəyanı yaranır. A.Q.Stoletov bu effekti aktinoelektrik effekt adlandırmış və onu aşağı, həm də yüksək atmosfer təzyiqlərdə öyrənmişdir. A.Q.Stoletov tərəfindən hazırlanmış xüsusi qurğu təzyiqi 0,002 Tora qədər endirməyə imkan verirdi. Həmin qurğu vasitəsi ilə, o, müəyyənləşdirmişdir ki, 0,002 Tor təzyiqdə cihazda müstəqil qaz boşalması baş verir və fotocərəyan artdığından aktinoelektrik effekt də güclənir. Bu effekt haqqında A.Q.Stoletov öz təəssüratlarında belə yazırdı: «Aktinoelektrik boşalmalarının izahını yekunlaşdırmaq üçün, az öyrənilən Hesler və Kruks borularında yaranan boşalmalara oxşarlığı nəzərə almaq lazımdır. Mən yaratdığım torlu kondensatorlara baxdıqca düşünürdüm ki, qarşımda havada elektrik boşalması yaranmadan kənar işığın təsiri ilə işləyən Hesler borusudur. Hər iki halda elektrik hadisələri bir-birinə oxşardır və katod xüsusi rol oynadığından əriyir. Aktinoelektrik boşalmalarının tədqiqi qazlardan elektrik cərəyanının keçməsi proseslərinə olan maraqların artmasına səbəb ola bilər...» Sonralar A.Q.Stoletovun bu fikirləri bütövlükdə təsdiqləndi.

1905-ci ildə dahi alman alimi Albert Eynşteyn (1879-1955) fotoeffekt hadisəsinin öyrənilməsinə yeni təkan verdi. O, işıq kvantları ilə bağlı bir sıra araşdırmalar apardı və müəyyənləşdirildi ki, fotoeffekt hadisəsi aşağıdakı qanunlarla xarakterizə olunur:

1) Katodun səthindən vahid zamanda emissiya olunan elektronların sayı, eyni şərt daxilində katodun səthinə düşən

ışığın intensivliyi ilə mütənəsbibdir (Stoletov qanunu). Burada eyni şərt daxilində dedikdə, katodun səthinin eyni dalğa uzunluqlu monoxromatik və ya eyni bir spektral tərkibli işıq dəstəsi ilə işıqlanması nəzərdə tutulur.

2) Xarici fotoeffektdə katodun səthini tərk edən elektronların maksimal sürəti

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \quad (1.1)$$

münasibəti ilə təyin edilir və işığın intensivliyindən asılı deyildir. Burada $h\nu$ – katodun səthinə düşən monoxromatik işıq kvantlarının enerjisi, A isə elektronun metaldan çıxış işidir.

3) Hər bir maddəyə uyğun fotoeffektin qırmızı sərhəddi vardır.

Termoelektron emissiya. Termoelektron emissiya hadisəsinə ilk dəfə 1881-ci ildə Amerika ixtiraçısı Tomas Edison (1847-1931) aşkar etmişdir. O, kömür elektrodlu közərmə lampaları ilə təcrübələr apararkən lampada vakuum yaratmış və buraya kömür teldən əlavə, həm də müstəvi metal lövhə yerləşdirmişdir. Metal lövhəni naqıl vasitəsi ilə qalvanometrə sonra isə xarici gərginlik mənbəyinin müsbət qütbünə birləşdirdikdə, qalvanometrin cərəyan göstərdiyini müşahidə etmişdir. Həmin lövhəni mənbəyin mənfi qütbünə birləşdirdikdə isə qalvanometrdən cərəyan keçməmişdir. Bu effekt, Edison effekti, qızmış metalların və başqa cisimlərin qaz və ya vakuumda özündən elektron buraxması hadisəsi isə termoelektron emissiya adlandırıldı.

Elektrik teleqrafı və telefon. XIX əsrin ortalarındanak

əksər ölkələrin Amerika qitəsi ilə, eləcə də İngiltərə kimi materikdən ayrılmış yerlər arasında əsas məlumat vasitəsi gəmi poçtu olub. Bu səbəbdən də dünya ölkələri və kontinentlərdə baş verən hadisələr haqqında məlumatlar digərlərinə yalnız 10-15 gün, bəzən isə hətta bir neçə həftədən sonra çatmışdır. Buna görə də cəmiyyətin ən ciddi, vacib və zəruri ehtiyaclarına cavab verən teleqrafın yaranması dünya sivilizasiyası tarixindəki ən mühüm ixtiraların siyahısına daxil edilməlidir. Teleqrafın ixtirası həm də onunla əlamətdardır ki, burada ilk dəfə, həm də çox geniş miqyasda elektrik enerjisindən istifadə edilmişdir. Məhz teleqrafı icad edənlər tərəfindən sübut olunmuşdur ki, elektrik cərəyanını insanların xeyrinə işləməyə məcbur etmək mümkündür. Bu ixtiradan sonra cəmi bir neçə il ərzində elektrik cərəyanı və teleqrafiya haqqında elmlər birinin digərinə təsiri sayəsində inkişaf edərək, xeyli irəliyə getdi. İlk teleqrafın layihəsi Zamerinq tərəfindən Batariya Akademiyasında təqdim olunub və bu teleqraf sudan elektrik cərəyanı keçərkən onun elektrolizi nəticəsində qabarcıqların ayrılmasına əsaslanırdı.

Teleqrafiyanın inkişafındakı növbəti mərhələ 1820-ci ildə danimarkalı fizik Erstedin cərəyanlı naqilin maqnit təsirinə malik olmasının, fransız alimi Arqo tərəfindən elektro-maqnitin, Şveinveyqerin qalvanoskopun, 1833-cü ildə Nervandar tərəfindən qalvanometrin ixtirası nəhayət, sonuncunun əsasında Şillinqin 1835-ci ildə yeni teleqrafı nümayiş etdirməsi ilə bağlıdır. Nervandar göstərmişdir ki, qalvanometrin əqrəbinin tarazlıq vəziyyətinə nəzərən meyli ondan keçən cərəyanın qiymətindən asılı olaraq giyişir. Belə ki, qalvanometrən məlum qiymətə malik cərəyan buraxmaqla onun əqrəbinin uyğun bucaq altında meylinə nail

olmaq mümkündür. Belə qalvanometri çağırən və çağırılan məntəqədə yerləşdirib, əqrəbin qarşısında ayrı-ayrı meyllərə uyğun yarıqlar açsaq və hər yarığın qarşısında müəyyən hərf yazılmış qeyri-şəffaf maska qoysaq, onda hər hərfə (meylə) uyğun cərəyanın qiymətini bilməklə bu iki məntəqə arasında yazı teleqraf əlaqəsi yaratmaq olar. Həmin cihazın təqdimatında iştirak edən Vilyam Kuk 1837-ci ildə Şillinqin ixtirasını daha da təkmilləşdirdi. Lakin bu teleqrafın bir sıra çətinlikləri var idi ki, onlardan da ən başlıcası cihazların (məntəqələrin) arasında çoxlu sayda birləşdirici məftillərin çəkilməsi və informasiyanın yalnız ya səs, ya da yazı ilə qeydə alınma bilməməsi idi. Sonra Şteynqel (1838) hər iki məntəqədə uclardan birini yerə birləşdirməklə məftillərin sayını birə qədər endirdi.

1837-ci ildə ixtisasca rəssam olan Morze teleqraf sahəsində daha bir yenilik etdi. Ötürülən informasiyanı özüyazan teleqraf qurğusu yaratdı. Morzenin teleqraf aparatı teleqrafiyada nəhəng uğur idi. 1843-cü ildə ABŞ hökuməti ilk dəfə olaraq qurğunu bəyənmiş və Vaşinqtonla Baltimer arasında 64 km-lik teleqraf xətti çəkməyə vəsait buraxmışdır. Morze cihazı həm praktik, həm də istifadə baxımından çox əlverişli idi. Buna görə də tezliklə bütün dünyada geniş tətbiq tapdı və öz müəllifinə böyük şan-şöhrət qazandıraraq, çoxlu var-dövlət gətirdi. Verici – açar və qəbuledici – yazan cihazlardan ibarət olan bu qurğunun layihəsi çox sadə idi.

Baxmayaraq ki, teleqrafın ixtirası ilə məlumatın böyük məsafəyə ötürülməsi məsələsi həll olunurdu, lakin o, yalnız yazılı məlumatları ötürməyə və qəbul etməyə yarıyır. Müxtəlif ölkə alimlərinin və ixtiraçıların isə arzusu canlı səsi uzaq məsafəyə ötürmək üçün qurğuların hazırlanması

idi. Bu sahədə ilk addımı 1837-ci ildə amerikalı fizika alimi Peyc atdı. O, kamerton, qalvanik element və elektro-maqnitdən ibarət elektrik dövrəsini yığıb, kamertonun rəqsi zamanı dövrəni qapayıb – açmasından istifadə edərək onun səsini məsafəyə ötürdü. Bu istiqamətdə vacib mərhələlərdən biri də ingilis ixtiraçısı Reysin adı ilə bağlıdır. O, 1860-cı ildə çoxlu sayda (ona qədər) müxtəlif variantda qurğular yığdı. Lakin bu qurğular da yalnız elektrik siqnallarını məsələyə ötürürdü. Sonra Şotland ixtiraçısı Aleksandr Bellin uzun və inadçı axtarışları nəticədə 1876-cı ildə ilk Bell telefon cihazı yaradıldı. Elə həmin ildən də başlayaraq bu cihaza istifadə hüququ verildi. Lakin Bell cihazları yalnız birtərəfli işləyirdi – cərəyan rəqslərini səs rəqslərinə çevirirdi, səs rəqslərini isə cərəyan rəqslərinə çevirə bilmirdi. Buna görə də telefon tarixində ingilis ixtiraçısı Juzun 1877-ci ildə mikrofon effektini ixtira etməsi çox mühüm bir hadisə oldu. Juzun bu ixtirasından cəmi bir neçə il sonra mikrofonların çox müxtəlif konstruksiyaları meydana gəldi ki, bunlardan da kömür tozlu olanları daha geniş tətbiq tapdı.

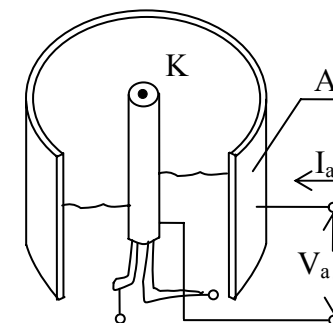
§1.2. Fiziki elektronikanın ikinci inkişaf mərhələsi. Elektrovakuum lampaları

Radionun kəşfi. 1809-cu ildə rus mühəndisi Lodigin közərmə elektrik lampasını ixtira etməklə elektronikada yeni bir mərhələnin başlanğıcını qoydu və bu ixtirasından sonra elektronika fizikanı yeni-yeni kəşflərlə, ixtiralarla zənginləşdirdi.

Fizika elminin nailiyyətlərindən bəhrələnən alman alimi Braun bir qədər də irəli gedərək 1874-cü ildə metal-yarım-

keçirici kontaktı əsasında düzləndirmə effektini aşkar etdi. Az keçmədi ki, rus fiziki və elektrotexniki Aleksandr Stepanoviç Popov (1859-1906) Braun effektini radio siqnallarının detektə edilməsində tətbiq edərək və ilk radioqəbuledicini yaratdı. Popov öz ixtirasını Rusiyanın Fizika-Kimya Cəmiyyətinin fizika şöbəsində 7 may 1895-ci ildə Peterburqda çıxış edərkən nümayiş etdirdi. 1896-cı ilin 24 mart tarixində Popov ilk dəfə olaraq radioməlumatı 350 metr məsafəyə ötürdü. O dövrdə elektronikanın müvəffəqiyyətləri radioteleqrafın inkişafına da təsir göstərdi. Belə ki, radio-qurğuların effektivliyini və həssaslığını artırmaq məqsədi ilə radioqurğuların sadələşdirilməsi üçün radiotexnikanın elmi əsasları işlənib hazırlandı. Müxtəlif ölkələrdə yüksək tezlikli rəqslərin sadə detektorları hazırlandı və tətbiq edildi.

İşıq texnikasının inkişafı və közərmə lampasının təkmilləşdirilməsi sahəsində aparılan işlər həm də bir sıra yeni elektron cihaz, qurğu və elementlərinin yaradılmasına səbəb oldu. Belə ki, elektron lampasının tədqiqi zamanı ilk dəfə termoelektron emissiyası hadisəsi aşkar edildi və ingilis elektrotexniki Con Fleminqin ilk dəfə olaraq elektrovakuum diodunun konstruksiyasını işləyib hazırlaması ilə (1904-cü ildən) fiziki elektronikanın ikinci inkişaf mərhələsi başlandı. Bu diod vakuumda yerləşdirilmiş iki elektroddan ibarət lampadır (şəkil 1.1) və metal A - anodu və K – katoduna malikdir. Katod termoelektron hadisəsi baş verənə



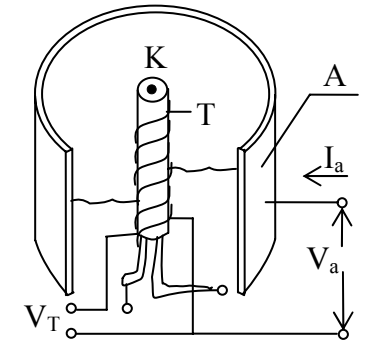
Şəkil 1.1. Diod.
A – anod, K – katod

qədər qızdırılır.

Diod daxilindəki qaz elektronların sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu elektrodlar arasındakı məsafədən çox-çox böyük olana qədər seyrəldilir. Nəticədə, anod katoda nisbətən müsbət yükləndikdə (V_a potensialı ilə) katoddan anoda doğru elektronların hərəkəti baş verir, yəni anod dövrəsindən I_a cərəyanı keçir. Anoda mənfi potensial verdikdə emissiya olunan elektronlar yenidən katoda qaydır və anod dövrəsində cərəyan sifirə bərabər olur. Beləliklə, elektrovakuum diodu birtərəfli keçiriciliyə malikdir. Ona görə də bu cihazdan dəyişən cərəyanın düzləndirilməsində istifadə edilir. Əgər belə bir lampanın daxilində olan qaz atomları üçün $\lambda_e \leq d$ (burada λ_e - elektronların sərbəst qaçış yolunun orta uzunluğu, d - elektrodlar arasındakı məsafədir) şərtini ödəyərsə, onda elektronlar qaz atomları ilə qarşılıqlı təsirə girərək qazın xassəsini kəskin dəyişər. Yəni qaz ionlaşar və yüksək keçiriciliyə malik plazma halına keçər. Plazmanın bu xassəsini 1905-ci ildə amerikan alimi Holl qazatronla, içərisinə qaz doldurulmuş güclü düzləndirici diodla, təcrübə apararkən müşahidə etmişdir. Qazatron dioddur. Qazatronun ixtira edilməsi ilə qazboşalmalı elektrovakuum cihazlarının inkişafının başlanğıcı qoyuldu.

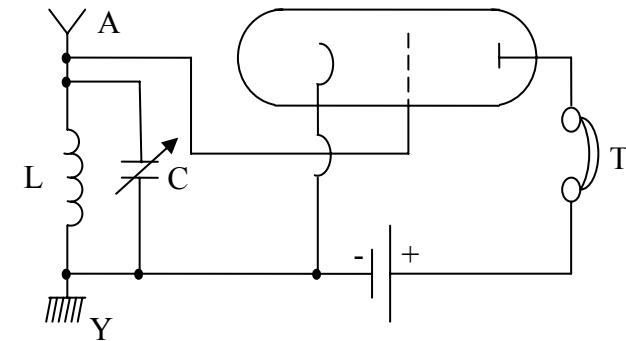
Sonralar elektron lampası 1907-ci ildə amerikan mühəndisi Li de Forest tərəfindən daha da təkmilləşdirildi. Ona əlavə bir elektrod da daxil edildi və bu elektrod öz quruluşuna uyğun olaraq tor adlandırıldı. Adından göründüyü kimi, bu (üçüncü) elektrod bütöv deyildi və katoddan anoda doğru uçan elektronları buraxırdı. Həmin elektroda tətbiq edilən əlavə gərginliyin qiyməti və istiqamətini dəyişməklə elektron lampasında katoddan emissiya olunan elektronlardan anoda

çatanların sayını (anod dövrəsindəki cərəyanı) asanlıqla məqsədyönlü şəkildə idarə etmək olurdu. Üçelektrodlu lampanın (şəkil 1.2) meydana gəlməsi radiotexnikada böyük inqilaba səbəb oldu. Belə ki, onun tətbiqi radioqəbuledici tərəfindən qəbul olunan siqnalı on, hətta yüz dəfələrlə gücləndirməyə imkan verirdi. Bununla da radioqəbuledicilərin həssaslığı dəfələrlə artmış oldu. Lampalı belə qəbuledicilərdən ilk birinin sxemi hələ 1907-ci ildə elə həmin Li de Forest tərəfindən təklif olunmuşdu.



Şəkil 1.2. Triod.
A – anod, K – katod, T – tor

Bu sxemdə (şəkil 1.3) antenna (A) və yer arasında, sıxaclarında antennadan daxil olan enerji hesabına yaranan yüksək tezlikli dəyişən gərginlik əmələ gələn LC kontur bir-



Şəkil 1.3. Li de Forestin təklif etdiyi radioqəbuledicinin elektrik sxeminin təsviri. L – induktivlik, C – kondensator, A – antenna, T – telefon

ləşdirilir. Bu gərginlik lampanın toruna verilir və anod

cərəyanın rəqslərini idarə edir. Beləliklə, antenna tərəfindən qəbul olunmuş zəif signalın anod dövrəsində yaranan və telefonun həmin dövrəyə qoşulmuş membranını hərəkətə gətirə bilən, gücləndirilmiş təkrarı alınır.

De Forestin ilk üçelektrodlu elektron lampası çoxlu çatışmazlıqlara malik idi. Belə ki, onun elektrodları elə yerləşdirilmişdi ki, elektron selinin böyük hissəsi anodun üzərinə deyil, şüşə balonun divarına düşürdü; torun idarəedici təsiri kifayət qədər deyildi; lampa pis sorulduğundan onun daxilində çoxlu miqdarda qaz molekulları var idi və bu molekullar ionlaşaraq közərmə telini müntəzəm olaraq bombalayıb ona dağıdıcı təsir göstərirdi.

1910-cu ildə alman mühəndisi Liben təkmilləşdirilmiş elektron lampasını – triodu yaratdı. Liben öz tədqiqatlarında lampanın emissiya qabiliyyətinə daha çox diqqət yetirdi və bu məqsədlə ilk dəfə olaraq közərmə telinin üzərini nazik kalsium və ya barium-oksidlə örtməyi təklif etdi. Bundan əlavə o, şüşə balonun içərisinə civə buxarı da əlavə etdi ki, bu da əlavə ionlaşma yaratmaqla katod cərəyanını daha da artırdı.

Beləliklə, elektron lampası əvvəlcə detektor, sonra isə gücləndirici kimi xidmət sferasına daxil oldu. Onun radioelektronikada aparıcı rolu isə sönməyən elektrik rəqsləri generatoru qismində istifadə edilməsi aşkar olunduqdan sonra təmin edildi. Lampalı ilk generatoru 1913-cü ildə məşhur alman radiotexniki Meyssner yaratdı. O, həmçinin Libenin triodu əsasında dünyada ilk radiotelefon ötürücüsünü yaratdı və 1913-cü ildə 36 km məsafəlik radiotelefon rabitəsini həyata keçirdi.

Lakin ilk elektron lampaları hələ tam təkmil deyildi. 1915-

ci ildə Lənqmür və Qede elektron lampalarını çox aşağı təzyiqlərə qədər sormağın vasitələrini təklif etdilər və bunun hesabına ion lampaları vakuum lampaları ilə əvəz olundu.

Rusiyada ilk qaz boşalma lampaları 1914-cü ildə Rusiyanın Simsiz Teleqraf Cəmiyyətinin məsləhətçisi akademik Nikolay Dmitriyeviç Papaleksi (Sankt-Peterburq) tərəfindən yaradılmışdır. Papaleksi Strasburq Universitetini bitirmiş, Braunun rəhbərliyi altında işləmişdir. Papaleksinin yaratdığı ilk lampa qazla civə buxarı qarışığı doldurulmuş lampa idi. 1914-1916-cı illərdə Papaleksi radioteleqraf sahəsində bir sıra təcrübələr aparmış və sualtı qayıqlarla əlaqə sistemini yaratmışdır.

Gücləndirici radiolampaların Rusiyada ilk yaradıcısı Bonç-Bruyeviç olmuşdur. O, 1888-ci ildə Oryol şəhərində doğulmuş, 1909-cu ildə Peterburqda mühəndis peşəsinə yiyələnmiş və 1914-cü ildə Hərbi Elektrotexnika Məktəbini bitirmişdir. 1916-cı ildən 1918-ci ilə qədər elektron lampalarının yaradılması ilə məşğul olmuş və onların istehsalını təşkil etmişdir. 1918-ci ildə Nijeqorodda radiolaboratoriyaya rəhbərlik etmiş, Ostryakov, Pistolkops, Şorin, Losev kimi dövrün ən yaxşı radio mütəxəssislərini bir yərə cəlb etmişdir. O, 1919-cu ilin mart ayında Nijeqorodda radiolaboratoriyada RP-1 elektrovakuum lampasının kütləvi istehsalını təşkil etmiş, 1920-ci ildə dünyada ilk dəfə olaraq gücü 1 kVt olan və su ilə soyudulan mis anodlu generator lampasını hazırlamışdır. Görkəmli alman alimləri Nijeqorod laboratoriyasının nailiyyətlərini görüb, Rusiyanın güclü generator lampalarını yaratmaq imkanlarını yüksək qiymətləndirdilər. Elektrovakuum cihazlarının təkmilləşdirilməsi istiqamətində işlər Petroqradda geniş vüsət aldı. Bu işdə Çernuşev, Boquslavski, Vekşinski,

Obolenski, Şapoşnikov, Zusmanovski və fizik Aleksandrov Anatoli Petroviç (1903) kimi görkəmli alimlərin əməyini qeyd etmək lazımdır. Közərmə katodlarının ixtira edilməsi elektrovakuum texnikasının inkişafına böyük təkan verdi. 1922-ci ildə Petroqradda *Svetlana* zavodu ilə birgə işləyən elektrovakuum zavodu yaradılır. Zavodun elmi-tədqiqat laboratoriyasında elektron cihazlarının fizikası və texnologiyası sahəsində Vekşinski tərəfindən hərtərəfli tədqiqat işləri aparılır. Burada katodun emissiya xüsusiyyətləri, metallarda, şüşədə və digər maddələrdə qazların sorbsiya hadisələri və s. öyrənilirdi.

Uzun dalğalardan qısa və orta dalğalara keçid, superheterodinin ixtirası radiotexnikada daha mükəmməl lampaların ixtira olunmasına təkan verdi. Amerikalı alim Xell 1924-cü ildə tetrodu – dördelektrodlu elektron lampasını hazırladı. 1926-cı ildən bu lampanın təkmilləşdirilməsi üzərində işləyərək, nəhayət 1930-cu ildə üç torlu (5 elektrodlu) elektron lampası – pentodu ixtira etdi. Bununla da radioötürücü sistemlərdə siqnalın ötürülməsi və qəbulu prosesləri xeyli yaxşılaşdırıldı. Pentod lampası radiotexnikada geniş tətbiq edildi.

Radioqəbuletmədə yeni üsulların yaranması 1934-35-ci illərdə çoxtorlu tezlik çeviricilərinin yeni tiplərinin yaranmasına səbəb oldu. Bundan başqa, müxtəlif radio-lampalarının yeni kombinasiyalı növləri meydana gəldi və radiotexnikada çoxlu sayda lampalar ixtisar oldu. Radiotexnikada ultraqısa dalğalar (UQD) diapazonuna keçdikdə yeni elektrovakuum cihazları meydana gəldi və müxtəlif radiotexnika lampaları arasında (ultraqısa, metrlik, desimetrlik, santimetrlik və millimetrlik diapazonlarda) sıx əlaqə yarandı. Elektrova-

kuum lampaları bir qədər də təkmilləşdirildi və eyni zamanda elektron dəstələrinin yeni prinsiplə idarə olunması işlənib hazırlandı. Yeni prinsiplərlə işləyən cihazlara çoxrezonatorlu maqnetronları (1938), klitronları (1942) və əks dalğa lampalarını (ƏDL, 1953) göstərmək olar. İxtira edilən bu yeni cihazların köməyi ilə millimetrlik oblastlara daxil olan yüksək tezlikli siqnalları generasiya etmə və gücləndirmə imkanı əldə edildi. Bundan başqa, elektrovakuum texnikasında qazanılan nailiyyətlər radionaviqasiyanın, radiolokasiyanın və çoxkanallı impuls əlaqələrinin inkişafına da səbəb oldu.

1932-ci ildə rus alimi Rojanski elektron dəstəsinin moduliyası üçün cihazın yaradılması haqqında ideyanı irəli sürdü. Onun ideyaları əsasında Arsenyev və Xeyl 1939-cu ildə İYT rəqslərinin generasiyası üçün ilk cihazı hazırladılar. 1938-1941-ci illərdə isə Devyatkov, Xoxlov və Quryeviç müstəvi elektrodlu triod lampasını yaratdılar. Almaniyada metal-saxsı lampa hazırlandı. 1943-cü ildə Kompfnerin hazırladığı qaçan dalğalar lampası radiosiqnalların idarə olunmasında İYT sistemlərin inkişafına yeni təkan verdi. Güclü İYT rəqslərinin generasiyasını əldə etmək üçün 1921-ci ildə Xell ilk maqnetronu hazırladı. Rus alimlərindən Sliyski, Qrexova, Şteynberq, Kalinin, Zusmanovski, Braude, yapon alimlərindən – Yade, Okabe maqnetronla tədqiqat işləri apardılar. Bonç-Bruyeviç 1936-1937-ci illərdə Alekseyevə və Molyarova yeni tipli maqnetron hazırlamaq tapşırığını verdi. Az keçmədi ki, onlar çoxrezonatorlu yeni maqnetron yaratdılar.

1934-cü ildə mərkəzi radiolaboratoriyanın əməkdaşları Korovin və Rumyantsev dünyada ilk dəfə olaraq ucan təyyarəni aşkar etmək üçün radiolokasiyanı tətbiq etdi. 1935-

ci ildə Leningrad (Sankt-Peterburq) fizika-texnika institutunun əməkdaşı Kobzarev radiolokasiyanın nəzəri əsaslarını işləyib hazırladı. Bu dövrdə, yəni elektronikanın ikinci inkişaf mərhələsində elektron cihazları ilə yanaşı, qazboşalmalı cihazlar da təkmilləşdirildi və ilk sənaye lampaları meydana gəldi.

Radar. Mikroelektronikanın ən vacib sahələrindən biri də görünməyən cisimlərin yerini və hərəkət sürətini təyin etmək üçün radiodalğaları tətbiq edən radiolokasiyadır (radarlardır). Radiolokasiyanın təsir Prinsipi, radiodalğaların elektrik xassələri ətraf mühitindən fərqli olan obyektlərdən qayıtması (səpilməsi) hadisəsinə əsaslanır.

İlk dəfə radar ideyası alman ixtiraçısı Xülsmayer tərəfindən irəli sürülmüş və o, 1905-ci ildə bu ideya üçün patent almışdır. Bütün qeyri-təkmilliklərinə baxmayaraq, Xülsmayer qurğusu müasir radiolokasiyanın demək olar ki, bütün əsas elementlərinə malik idi. Xülsmayer əksətdirən obyektə qədər olan məsafəni təyin etməyin üsullarını təsvir edirdi. Lakin onun işləri praktiki tətbiqini tapmadı. Çünki XX əsrin 30-cu illərində radiotexnikada əsasən uzun dalğalardan istifadə edilirdi. Məlumdur ki, yaxşı qayıtma, dalğa uzunluğu qaytaran obyektin ölçüləri tərtibində və ondan kiçik olduqda alınır. Ona görə də həmin vaxtlar radiorabitədə istifadə olunan uzun dalğalar yaxşı qayıda bilməzdilər.

1922-ci ildə Teylor və Yunq (ABŞ) ultraqısa dalğalar oblastında işləyərkən radiolokasiya hadisəsini müşahidə etdilər və 1933-cü ildə onlar Xayland ilə birlikdə radiolokasiya ideyası üçün patent aldılar.

Lakin radiolokasiya ideyasının praktiki reallaşması üçün bir çox elmi və texniki problemlərin həlli tələb olunurdu. Yalnız 1938-ci ildə ABŞ-da 8 km məsafədə işləyə bilən

radiolokator hazırlandı.

§1.3. İlk sənaye lampaları

Elektrik lampası. XIX əsrin sonuncu onilliyində bir çox Avropa şəhərlərinin həyatına elektrik işıqlandırılması daxil olmağa başladı. Bu işıqlandırma əvvəlcə yalnız küçə və meydanlarda tətbiq olunsada, tezliklə evlərə də daxil oldu. Elektrik işıqlandırılması elm və texnikanın tarixində çox mühüm hadisələrdən biri olmaqla, həm də böyük və cürbəcür nəticələrə gətirdi. Həmin dövrdə iki tip: közərmə və qövs elektrik lampası yaradılmışdı. Onların iş prinsipi Volta qövsünə əsaslanırdı. Beləki, əgər güclü cərəyan mənbəyinin qütblərinə qoşulmuş iki naqilin əks uclarını bir-birinə toxundurub sonra bir neçə millimetr məsafəyə uzaqlaşdırsaq, bu naqillərin həmin (toxundurulub uzaqlaşdırılan) ucları arasında parlaq işıq saçan alov yaranar. Metal naqillər əvəzinə ucları itilənmiş (iynə şəklində salınmış) iki kömür çubuq götürüldükdə bu hadisə daha gözəl və daha parlaq olar. Bu çubuqları tətbiq olunan gərginliyin kifayət qədər böyük qiymətlərində onların ucları arasında gözqamaşdırıcı şiddətə malik işıq əmələ gəlir.

Volta qövsü adlanan bu hadisəni ilk dəfə 1803-cü ildə rus alimi Vasili Petrov müşahidə etmiş, 1810-cu ildə isə eyni ixtiranı ingilis fiziki Devi etmişdir. Onların hər ikisi Volta qövsündən işıqlandırma üçün istifadə etməyin mümkünlüyünü göstərmişdir. 1844-cü ildə fransız fiziki Fuko ilk qövs lampasını düzəltdi. O, ağac kömüründən olan çubuqları bərk koksdan olan çubuqlarla əvəzlədi və qövs lampasını ilk dəfə Paris meydanlarından birini işıqlandırmaq üçün tətbiq

etdi. Sonra bu lampaların əllə tənzimlənməsi saat mexanizmi ilə əvəz olundu.

Ümumiyyətlə, Yabloçkov şarları adlanan bu işıq mənbələri böyük diqqət cəlb etdi və artıq 1877-ci ildə ilk dəfə Parisdə onların əsasında küçə elektrik şəbəkələri quruldu. Bu lampalar 200 saata qədər fasiləsiz işləyə bilsələr də, geniş tətbiq (yayılma) tapmadılar. Çünki digər qusurlar ilə bərabər, onlar həm də çox güclü işıq mənbələri olduğundan yalnız böyük salon və meydanlarda, küçələrdə istifadə oluna bilərdilər. Onların parlaqlığını idarə etmək mümkün deyildi, çünki kiçik cərəyanlarda bu lampalar işləmirdi.

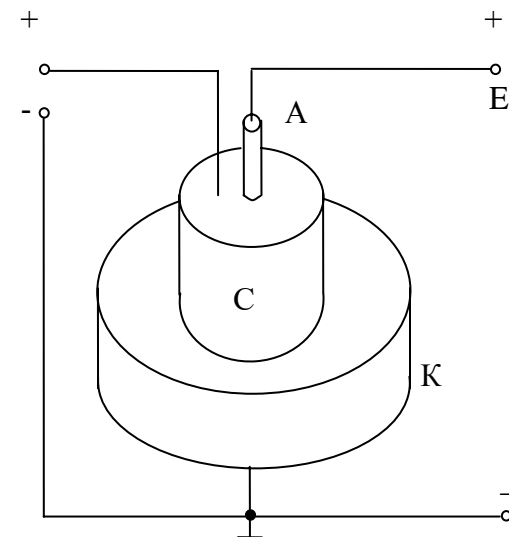
Bu baxımdan közərmə lampaları daha əlverişli idi. İş prinsipi nazik teldən axan cərəyanın müəyyən gücündə telin işıq saçmaq həddinə qədər qızmasına əsaslanır. İlk dəfə fransız alimi Delaryu 1820-ci ildə platin tel əsasında belə bir lampa yaratdı. Lakin bundan sonra 50 ilə qədər bir müddətdə həmin lampa istifadə olunmadı. Çünki közərən tel üçün müvafiq material tapılmırdı. 1873-cü ildə rus elektrotexniki Lodayin teli rotor kömüründən düzəldilmiş közərmə lampası hazırladı. Közərmə lampasının balonundan havanı sormaqla təklifini də ilk dəfə məhz Lodayin verdi.

1879-cu ildə məşhur amerikan ixtiraçısı Edison göstərdi ki, keyfiyyətli, müntəzəm işıq verə bilən közərmə lampası düzəltmək üçün hökmən əvvəla, tel üçün əlverişli material tapmaq, ikincisi isə, bu telin yerləşdiyi balonun içərisində çox seyrəldilmiş mühit yaratmaq lazımdır. Edisonun lampaları 30 ilə qədər bir dövrdə tətbiq tapdı. Sonralar kömür tel metal tellə əvəz edildi. Hələ 1890-cı ildə Lodayin kömür teli çətin əriyən (ərimə temperaturu 3385°C olan) metal tellə əvəz etməyi təklif etdi. Belə lampaların sənayedə

kütləvi istehsalı yalnız XX əsrdə başlandı.

1918-ci ildə Almaniyanın *Pintş* firmasının doktoru Şröter ilk sənaye lampasını – alovşuz boşalma lampasını hazırladı. Bu lampa 220 V gərginliklə işləyirdi. 1921-ci ildə Hollandiyanın Filips firması alovşuz boşalma əsasında işləyən 110 V-luq neon lampalarının kütləvi istehsalını təşkil etdi. ABŞ-da isə ilk neon lampalarının istehsalına 1929-cu ildən başlandı.

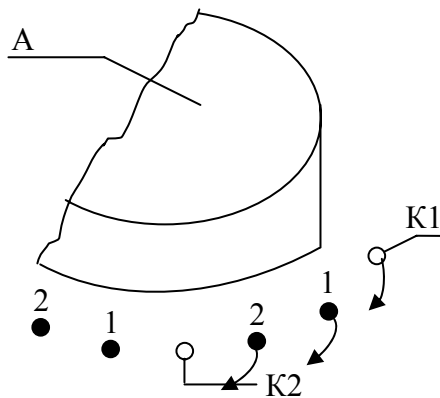
Tiratron. 1930-cu ildə Noylz neon alovşuz boşalma lampalarında baş verən fiziki proseslərin izahını verdi. Onun izahına görə anod ilə katod arasında boşalmanı üçüncü elektrodun təsiri ilə də yaratmaq mümkündür. Beləliklə, qaz boşalma tiratronları 1936-cı ildən geniş tətbiq edildi. Həmin il Vitli tiratronunda (şəkil 1.4) anod ilə katod aralığında idarəedici (C) elektrodun köməyi ilə elektron və ionların müəyyən kon-



Şəkil 1.4. Tiratron. A – anod, K – katod, C – tor.

sentrasiyasını yaratmağın mümkünlüyünü irəli sürdü. Yaratılan konsentrsiyada səyriyən boşalma yaratmaq olurdu. Rusiyada isə səyriyən boşalma tiratronları 1940-cı ildə *Svetlana* zavodunun laboratoriyasında işlənilib hazırlandı.

Dekatron. Vitlinin müşahidə etdiyi effekt «Erikson» firmasının yaratdığı dekatronda da tətbiq edildi. Dekatron bir (A) anoddan və 10 ədəd çevirici katoddan ibarət olan ion lampasıdır (şəkil 1.5). Bir katoddan digərinə elektrik yükü katodaltlıqlarının köməyi ilə ötürülür. Məsələn, K1 katodu ilə A anodu arasında səyriyən boşalma mövcud olarsa və əgər 1 katodaltlığında potensial K1 katoduna nisbətən kiçikdirsə, onda elektrik yükü 1 katodaltlığına keçəcəkdir. 1 katodaltlığına sonra isə 2-yə mənfi impuls verməklə elektrik yükü K1 katodundan K2 katoduna keçir.



Şəkil 1.5. Dekatron. A – anod, K1, K2 – katodlar.
1, 2 – isə katodaltlıqlarıdır.

Televideniya. XX əsrin ən diqqətəlayiq və avtomobil, təyyarə, kompüter, nüvə reaktoru ilə bərabər səviyyədə tutulan ixtiralarından biri də məhz televideniya.

İlk praktik televiziya sistemi 1923-cü ildə Çarlz Cenkinsin hərəkətsiz xəyalı radio vasitəsi ilə Vaşinqtondan Filadelfiyaya və Bostona, 1925-ci ildə isə hərəkət edən fiqurun xəyalını məsafəyə ötürməsi ilə başlasa da, televideniyanın əsaslandığı fiziki hadisə və effektlər hələ xeyli əvvəl meydana gəlmişdi. Belə ki, televideniyanın yaranmasında 1843-cü ildə Aleksandr Benin yaratdığı, sürət köçürən teleqrafın, 1873-cü ildə Smit tərəfindən selendə müşahidə olunan daxili fotoeffektin, rus fiziki Uilyam tərəfindən 1888-ci ildə hazırlanmış metal-selen kontaktı əsasında yaratdığı ilk fotoqəbuledicinin böyük rolunu danmaq olmaz.

Elektron televiziya erası elektron-şüa borusunun ixtirası ilə başlanmışdır. Elektron-şüa borusunun ilk uluforması 1856-cı ildə alman şüşəüfürəni Hesler tərəfindən icad edilmiş qazboşalması lampası olmuşdur.

Sonra 1858-ci ildə alman professoru Plyukker «katod» şüalanmasını, 1869-cu ildə isə alman fiziki Hittorf katod şüasının maqnit sahəsinin təsiri altında meyl etməsini aşkar etmişdir. 1879-cu ildə ingilis fiziki Uilyam Kruks katod şüalarının fundamental tədqiqatlarını apardı və göstərdi ki, katodu qızdırarkən onun səthindən hansısa hissəciklərin seli (katod şüaları) buraxılır. 1897-ci ildə katod şüalarının yüklü hissəciklərin (elektronların) seli olduğu sübut edildi. Kruks öz təcrübələrini aparmaq üçün tarixdə ilk katod-şüa borusu olan xüsusi boru yaratdı. Bununla yanaşı o, göstərmişdir ki, bəzi maddələr (onlar lüminofor adı almışlar) katod şüaları ilə bombalandırıldıqda işıq saçmağa başlayır. 1894-cü ildə Lenard müəyyənləşdirdi ki, katod cərəyanının şiddəti art-dıqca lüminoforların işıq saçması da güclənir. 1895-ci ildə Strasburq Universitetinin professoru Karl Braun Kruksun

düzəltdiyi boru əsasında müxtəlif elektrik cərəyanlarını tədqiq etmək üçün istifadə olunan ilk katod (elektron) ossiloqraf borusunu yaratdı.

Braunun hazırladığı boruda katod dar yarıqlı bir diafraqma ilə örtüldüyündən, bu boruda Kruks borusundan fərqli olaraq katoddan geniş yox, çox nazik şüa buraxılırdı. Tədqiq olunan cərəyan isə şüşə kolbanın xaricindəki sarğıdan axırdı. Bu cərəyan elektron dəstəsini şaquli müstəvidə meyletdirən dəyişən maqnit sahəsi yaradırdı. Ekran rolunu isə üzərinə katod tərəfdən lüminofor çəkilmiş şüşə lövhə oynayırdı. 1902-ci ildə rus alimi Petrovski bu borunu bir qədər də təkmilləşdirdi – şüanı üfüqi istiqamətdə də hərəkət etdirmək üçün qurğuya ikinci bir cərəyanlı sarğı da əlavə etdi. 1903-cü ildə isə alman fiziki daha bir təkmilləşdirmə apardı – o, boruya yüklənmiş silindrik elektrod əlavə etdi. Bu elektroda tətbiq edilmiş gərginliyi dəyişməklə ekrandakı ləkənin parlaqlığını artırıb-azaltmaq mümkün olurdu. 1907-ci ildə Leonid Mandelştam Braun borusunda şüanı idarə etmək üçün mişarvarı gərginlik tətbiq olunmuş qarşılıqlı-perpendikulyar iki cüt lövhədən istifadə etməyi təklif etdi.

Elektron-şüa borusunun televiziya verilişlərində tətbiq olunmasını ilk dəfə 1907-ci ildə rus fiziki Boris Roziñq təklif etdi və xəyalın məsafəyə ötürülməsi üsulu üçün patent aldı.

1911-ci ildə ingilis mühəndisi Alen Suinton televiziya qurğusunun layihəsini təklif etdi. Bu qurğuda elektron-şüa borusu təkcə qəbuledici kimi deyil, həm də ötürücü kimi tətbiq olunurdu.

1923-cü ildə Roziñqin şagirdi Vladimir Zvorikin ötürücü və qəbuledicidən ibarət televiziya qurğusunun tam sistemini patentlədi. Ötürücü boruda Zvorikin ikitərəfli üçqat hədəf

tətbiq edirdi. Lakin bu boru da işləyə bilən model ola bilmədi. Yalnız 1929-cu ildə Zvorikin yüksək vakuumlu elektron-şüa borusu hazırladı. O, bu borunu ikonoskop adlandırdı. Həmin boru sonralar ilk televizorlarda istifadə olundu. Beləliklə artıq keçən əsrin 30-cu illərində qəbul edən elektron-şüa borusu hazır idi.

Ötürücü boru ilə bağlı olan problem isə mürəkkəb idi. Keçən əsrin 20-ci illərində bu məqsədlə təklif edilən boruların hamısı çox kiçik həssaslığa malik idi. Bu problemi həll etməyə cəhd göstərənlərdən biri amerikan mühəndisi Çarlz Cenkins oldu. 1928-ci ildə o, televizor borusunda yükün toplanması üçün qurğu təklif etdi.

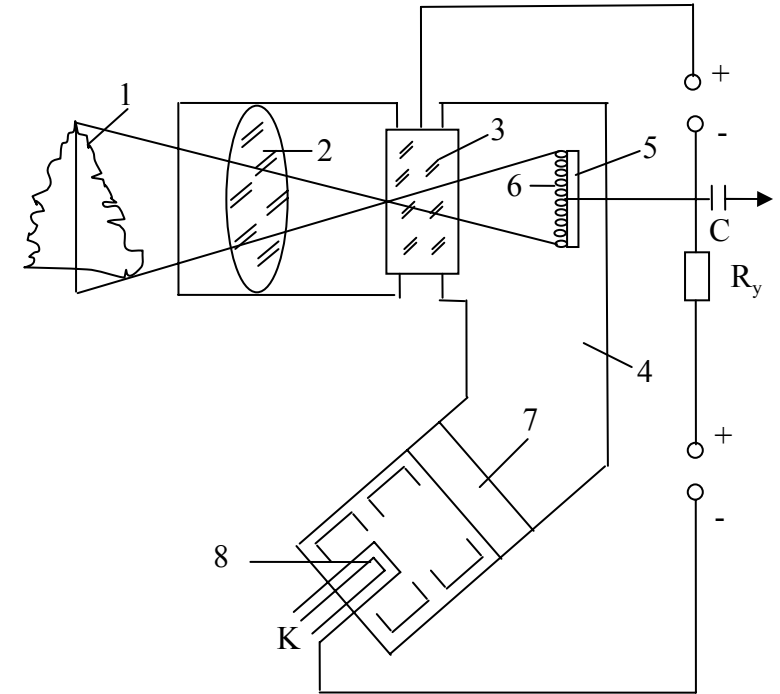
İkonoskop. İlk televizorlar 1930-cu ildə yaradılmışdır. Yaradılan televizorun elektron-şüa borusunu Konstantinov və Katayev birgə hazırlamışlar. İkonoskop adlandırılan elektron şüa borusu ABŞ-da Vladimir Konstantinoviç Zvorikin tərəfindən ixtira edilmişdir. Ç.Cenkinsin ideyasının çox məhsuldar olmasına baxmayaraq, ciddi təkmilləşdirmələrə ehtiyac var idi. 1933-cü ildə V.Zvorikin radiomühəndislərin cəmiyyətinin Çikaqo şəhərində keçirilən qurultayında elan etdi ki, onun fəal televiziya borusu hazırlamaq sahəsində apardığı 10 illik işi uğurla nəticələnib və o, hazırladığı boruya ikonoskop adı verdi.

İkonoskop elektron televiziyanın yaradılması istiqamətindəki ixtiraların sonuncu həlqəsi idi.

Zvorikin 1912-ci ildə Peterburq İqtisad İnstitutunu, 1914-cü ildə Parisdə *De Frans* kollecini bitirərək 1917-ci ildə ABŞ-a köçmüş, 1920-ci ildə *Vestinghaus elektrik* firmasına işə düzəlmiş, 1929-cu ildə isə Amerikanın *Kamdem və Priston* radioşirkətinin laboratoriyasına rəhbərlik etməyə başlamışdır. İlk ikonoskopu

1910-cu ildə rus alimi Şmakov yaratmışdır və Timofeyev Zvoriqinin işlərini təkmilləşdirərək 1933-cü ildə əvvəlki ikonoskoplardan daha çox həssas olan superikonoskop hazırlamışdır. Bu superikonoskop zəif işıqlanmış görüntüləri də əks etdirmək qabiliyyətinə malik idi. Şmakov 1885-ci ildə Rusiyada doğulmuş, 1912-ci ildə Moskva Dövlət Universitetini (MDU) bitirmiş, 1924-30-cu illərdə Moskva Ali Texniki Peşə məktəbində (MATPM), 1930-32-ci illərdə Moskva Energetika İnstitutunda işləmişdir. Ondan bir qədər gənc olan Timofeyev isə, 1902-ci ildə Rusiyada doğulmuş, 1925-ci ildə MDU-nu bitirmiş, 1925-28-ci illərdə MATPM-da Şmakovla birgə işləmişdir. Timofeyev elmi işlərini həmçinin fotoeffektə, ikinci elektron emissiyasına, qazlarda boşalmalara və elektron optikasına həsr etmişdir. Bütün bunlardan başqa, o, elektron çoxaldıcılarının və elektron-optik çeviricilərinin də müəlifidir.

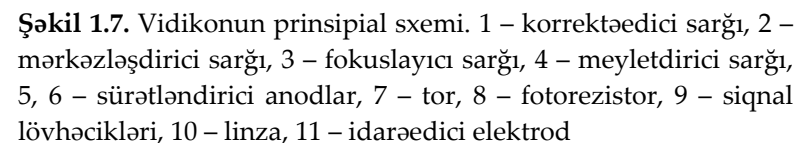
İkonoskop elektron-şüa borusu olub, elektron dəstəsinin və işıqəhəssas mozaikanın köməyi ilə işıq enerjisini video impulslara çevirən elektrovakuum cihazıdır (şəkil 1.6). İkonoskop şüşə balondan (4) ibarət olub, içərisində işıqəhəssas mozaika (6) yerləşdirilir. Mozaika sezium (Cs) örtüklü, birbirindən təcrid olunmuş gümüş (Ag) dənəciklərindən ibarətdir. Mozaika ölçüsü 100x100 mm olan nazik slyuda lövhəsinin üzərinə çəkilir. Slyuda lövhəsinin əks tərəfində siqnal lövhəcikləri (5) yerləşir. Siqnal lövhəcikləri işığın təsiri altında özündən sərbəst elektronlar şüalandıran xüsusi hazırlanmış fotokatoddur. Işıqəhəssas mozaika dənəcikləri siqnal lövhəcikləri ilə birlikdə köynəkləri arasındakı dielektriki slyuda olan elementar kondensator rolunu oynayır. Şəkildən göründüyü kimi, (1) obyektindən əks olunan işıq (2)



Şəkil 1.6. İkonoskopun prinsipial sxemi. 1 – obyekt, 2 – şəffaf linza, 3 – kollektor, 4 – şüşə balon, 5 – fotokatod, 6 – işıqəhəssas mozaika, 7 – meyletdirici sistem, 8 – elektron mənbəyi, R_y –yük müqaviməti, C – kondensator.

linzasından keçərək mozaika üzərinə düşür və mozaika kondensatorlar sistemində çevrilir. Kondensator sistemindəki yük mozaika dənələrinin işıqlanması ilə mütənəsbidir. (5) fotokatoddan emissiya olunan sərbəst elektronlar (3) kollektorunda toplanır. Kollektor siqnal lövhəciklərinə nəzərən müsbət yüklənir. Kollektor ikonoskopun daxili səthinə çəkilmiş nazik keçirici laydır. (8) elektron mənbəyinin yaratdığı şüa (7) meyletdirici sistemin köməyi ilə mozaika üzərinə düşərək onu müsbət yüklərdən azad edir. Mikrokondeva-

Vidikon. Vidikonların yaradılması ideyası ilk dəfə 1925-ci ildə rus alimi Çernuşev tərəfindən verilmişdir. Rusiyada 1930-cu ildən tətbiq edildiyi halda, ABŞ-da cihazın ilk nümunələri 1946-cı ildən meydana gəlmişdir. Şəkil 1.7-da vidikonun prinsipial təsviri verilmişdir. Vidikonun silindrik balonunun oturaqlarından birinin daxili səthinə yarımşəffaf qızıl təbəqə (9) çəkilir. Qızıl təbəqə signal lövhəsi rolunu oynayır. Signal lövhəciyinin üzərinə selen kristalı və ya SbS_3 çəkilir – fotorezistor (8). (K) – katodundan şüalanan sərbəst elektronlar idarəedici (11) elektrodun və iki sürətləndirici anodların (5 və 6) köməyi ilə dəstə halında formalaşır. (3) sarğıların təsiri ilə elektron dəstəsi fokuslanır. Fotorezistorun önündə yerləşən (7) toru bircinsli ləngidici sahə yaradaraq ion ləkələrinin yaranmasının qarşısını alır və elektron dəstəsinin normal düşküsunü təmin edir. (4) meylətdirici sarğılar cərəyanla qidalanır və bu da öz növbəsində elektron dəstəsinin (8) fotorezistorundan tez keçməsinə təmin edir. Korrektəedici (1) və mərkəzləşdirici (2) sarğıları elektron dəstəsinin qarşılıqlı perpendikulyar istiqamətdə yer-dəyişməsinə şərait yaradır. Fotorezistorun elektrikkeçiriciliyi onun işıqlandırılmasından asılıdır. Elektron dəstəsi hədəfin səthinə düşərək ondan 2-ci elektronları çıxarır. 2-ci elektronların sayı 1-ci elektronların sayından çox olduğuna görə elektron mənbəyinə çevrilən



hədəf sürətləndirici (5) anod potensialına malik olur. Hədəfin əks tərəfində, yəni təsviri verən hissədə potensialın qiyməti signal lövhəsinin potensialının qiymətinə bərabər olur. Hədəfin hər bir elementinə elektrik elektrik keçiriciliyi işıqlanmanın intensivliyindən asılı olan bir kondensator kimi baxmaq olar. Elektron dəstəsi ilə hədəfin elementlərinin potensialının dəyişdirilməsi R_y – yük müqavimətindən götürülmüş görünən siqnallardır. R_y – yük müqavimətindən götürülən gərginliyin elektron dəstəsi mövcud olan elementin işıqlandırılması ilə düz mütənasibdir.

II FƏSİL TRANZİSTORLAR ELEKTRONİKADA

§2.1. Fiziki elektronikanın üçüncü inkişaf mərhələsi

Tranzistorların yaranması – yarımkeçiricilərin tədqiqi ilə məşğul olan yüzrlə tədqiqatçının yorulmaq bilmədən uzun müddət sərf etdikləri əməyinin nəticəsidir. Onların sırasında təkcə fiziklər deyil, eləcədə elektronika, fiziki kimya və materialşünaslıq üzrə də mütəxəssislər var idi.

1833-cü ildə Maykl Faradey Ag_2S (gümüş-sulfid) birləşməsi üzərində işləyərkən aşkar etdi ki, temperatur yüksəldikcə metallardan fərqli olaraq, bu materialın keçiriciliyi artır.

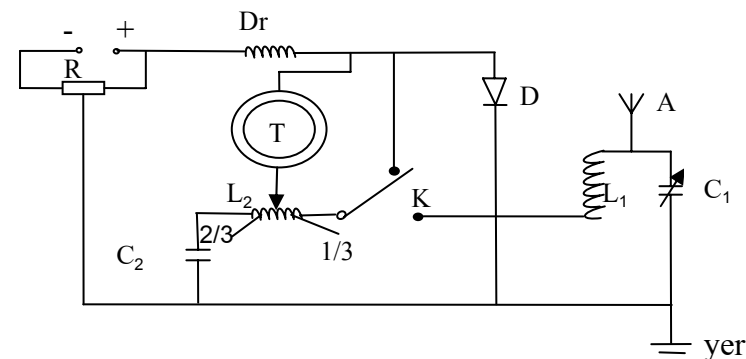
Uzun müddət aparılan tədqiqatlar nəticəsində yarımkeçiricilər adlanan belə materialların üç əsas xassəsi müəyyən edildi:

–İşığın təsiri ilə yarımkeçirici-metal kontaktında e.h.q.-nin yaranması.

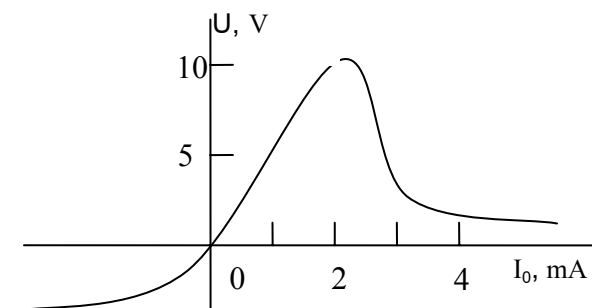
–İşığın təsiri ilə yarımkeçiricilərdə elektrik keçiriciliyinin artması.

–Yarımkeçirici-metal kontaktının düzləndirmə xassəsinə malik olması.

XX əsrin 20-ci illərində radiotexnikada yarımkeçirici-metal kontaktının düzləndirmə xassəsi tətbiq edilməyə başlandı. 1922-ci ildə Rusiyanın Nijeqorod şəhərində radiotexnika laboratoriyasında işləyən Oleq Losev polad-sink kontaktından detektor hazırladı ki, bu düzləndirici detektor «Kristadin» qəbuledicisində istifadə edildi (şəkil 2.1a). Kristadinin sxemi kökləyici L_1C_1 konturundan, yerlə birləşdirilən A – qəbuedici



a)



b)

Şəkil 2.1. Kristadinin prinsipial sxemi (a) və VAX-1 (b).

antennadan ibarətdir. K-açarının köməyi ilə D detektoru sxemə qoşulur. Bu cür detektor detektətmədən əlavə, həm də, işçi nöqtəsi voltamper xarakteristikasının (VAX) düşmə hissəsinə düşmə olduqda (şəkil 2.1b) giriş siqnalını gücləndirmə xassəsinə də malikdir. VAX-ın düşmə hissəsinə uyğun nöqtədə detektorda müqavimət mənfi qiymət alır. Bunun nəticəsində L_1C_1 konturunda enerji itkisi azacıq kompensə olunur və qəbuledici generator rejiminə keçir. R – potensiometri detektordakı gərginliyi tənzimləyir. Telefonun sarğıları Dr – drosseli və L_2 – induktivliyi ilə sabit gərginlik mənbəyinə

birləşdirilir. Beləliklə, radiostansiyadan gələn signalı aşağı səviyyəli telefonda da eşitmək mümkün olur.

Kristadının ilk nümunəsini 1923-cü ildə rus alimi Losev hazırlamışdır. Elə həmin ildən Moskvada Mərkəzi Radiotelefon stansiyası işə başlamışdır. Stansiya ancaq yaxın ətrafa signal ötürə bilirdi. Losevin kristadini həm sadə, həm də ucuz başa gəlirdi. Ona görə də kristadinə böyük ehtiyac var idi. 1924-cü ilin sentyabrında Amerikanın *Radio Nyus* jurnalı öz səhifələrində Losevin işlərinə həsr edilmiş *sensasiyalı ixtira* – başlığı altında məqalə çap etdi. *Losevin kəşfi yeni eranın başlanğıcıdır*, - deyə jurnal yazırdı və qeyd olunurdu ki, bu kəşf tezliklə mürəkkəb quruluşlu elektrovakuum cihazlarını əvəz edəcəkdir.

Kristal detektorlarda tədqiqat işlərini davam etdirən Losev, müəyyənləşdirdi ki, kömürdən elektrik cərəyanı keçdikdə işıqlanma yaranır. 20 ildən sonra bu hadisəni Amerikalı fizik Destrio öz tədqiqatlarında yenidən müşahidə etdi və hadisəni elektrolüminessensiya adlandırdı.

XX əsrin 30-cu illərində yarımkeçiricilərin nəzəriyyəsinin yaradılmasında Rusiya Elmlər Akademiyasının akademiki A.F.İoffenin xidmətləri xüsusi qeyd edilməlidir. O, 1931-ci ildə mətbuatda dərc etdiyi məqalənin başlığında yazırdı: «Yarımkeçiricilər – elektronikanın yeni materiallarıdır». Bütün Rusiyada yarımkeçiricilərin geniş tədqiqi aparılırdı. Yarımkeçiricilərin tədqiqində B.V.Kurçatovun, V.P.Juze və digər rus alimlərinin xidmətləri əvəzsizdir. *Mis-oksidin elektrik keçiriciliyi haqqında* məqaləsində onlar göstərirdilər ki, materialda elektrik keçiriciliyinin qiyməti aşqarın təbiətindən asılıdır. Bir qədər sonra Y.N.Frenkel yarımkeçiricilərdə elektron-deşik yükdaşıyıcılar cütünün həyəcanlanma nəzəriyyəsini

irəli sürdü.

Tranzistor. XX əsrin 40-cı illərində tranzistorun ixtira olunması elektronikanın tarixində nəhəng sıçrayışlardan oldu. Bu vaxtadək uzun müddət radio- və digər elektron qurğularının əvəzlənməz və başlıca elementləri olan elektron lampalarının hamısı bir sıra çatışmazlıqlara malik idi. Həmin cihazlar mürəkkəbləşdikcə və onlara olan ümumi tələblər artdıqca bu çatışmazlıqlar özünü daha da kəskin göstərirdi. Bu çatışmazlıqlara ilk növbədə onların tərkibindəki elektron lampalarının mexaniki davamsızlığı, xidmət müddətlərinin kiçikliyi, həndəsi ölçülərinin böyüklüyü, anoddan istilik itkilərinin yüksək olması nəticəsində faydalı iş əmsalının kiçik olması aiddir. Məhz bu səbəblərdən XX əsrin ikinci yarısında vakuum lampalarını yarımkeçirici cihazlar əvəz etməyə başladı. Yuxarıda adı çəkilən çatışmazlıqların aradan qalxması nəticəsində radiotexnika və elektronikada əsil bir çevriliş baş verdi.

Qeyd etmək lazımdır ki, yarımkeçirici materialların ecəzkar sirləri insanlara dərhal açmayıb. İlk olaraq 1874-cü ildə Braun *piritin* kontaktında düzləndirmə hadisəsini müşahidə etdi və bu sistemin əsasında detektor yaratdı. Digər tədqiqatçılar aşqarların yarımkeçirici materialların xassələrinə güclü təsir göstərdiyini müəyyənləşdirdilər.

Yarımkeçirici elementlər elektron lampalarını keçən əsrin 40-cı illərinin əvvəllərindən etibarən sıxışdırmağa başladı. 1940-cı ildən radioelektron qurğularında nöqtəvi germanium diodları geniş tətbiq tapmağa başladı.

Nəhayət 1938-ci ildə İngiltərədə Mott, Rusiyada Davidov, Almaniyada Valter Şottki bir-birindən asılı olmayaraq metal-yarımkeçirici kontaktının düzləndirmə nəzəriyyəsini işləyib

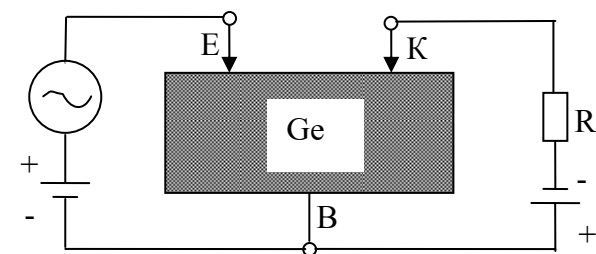
hazırladılar. Müxtəlif ölkələrin alimləri tərəfindən yaradılan tədqiqat proqramı əvvəlcə nöqtəvi, sonra isə müstəvi tranzistorun yaranmasına səbəb oldu.

Elektronikanın üçüncü inkişaf mərhələsi – nöqtəvi tranzistorun kəşfi və diskret yarımkeçirici cihazların yaradılması ilə başlanır. 1946-cı ildə *Bell telefon* laboratoriyasında Uilyam Şoklinin başçılığı ilə bir qrup alimlər Si və Ge yarımkeçiricilərinin xassələrini nəzəri və təcrübi yolla öyrənməyə başladılar. Təcrübələr müxtəlif elektrik keçiriciliyinə malik iki yarımkeçirici sərhədində aparılırdı. Çoxsaylı təcrübələr nəticəsində üçelektrodlu yarımkeçirici cihaz – tranzistor ixtira edildi. Yükdaşıyıcıların müxtəlifliyinə görə tranzistorlar iki qrupa bölündü:

- unipolyar (eyniadlı yükdaşıyıcıya malik sahə tranzistoru);
- bipolyar (yükdaşıyıcıları elektronlardan və deşiklərdən ibarət olan tranzistor).

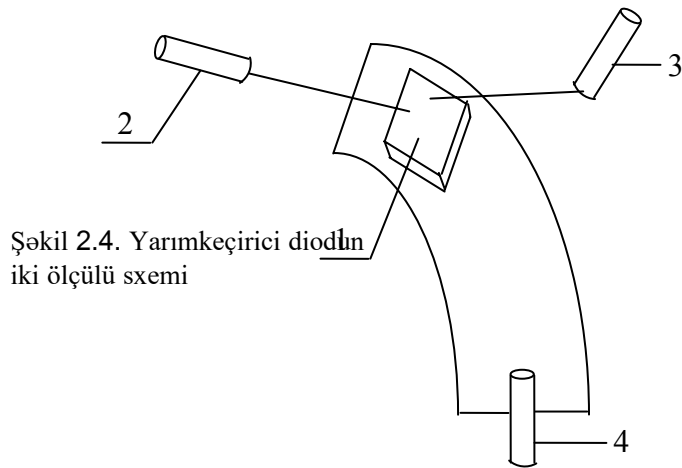
Sahə tranzistorlarının yaradılması ideyası bipolyar tranzistorların yaradılmasından xeyli əvvəl irəli sürülmüşdü. Lakin praktiki olaraq bu ideyanı həyata keçirmək mümkün deyildi. İlk müvəffəqiyyət 1947-ci il 23 dekabr tarixində Şoklinin rəhbərliyi altında *Bell telefon* laboratoriyasının əməkdaşları Bardin və Bratteyn tərəfindən qazanıldı. Bardin və Bratteyn çoxsaylı təcrübələrdən sonra bu yarımkeçirici cihaz haqqında məlumatı 1948-ci il iyul ayında *The Physical Review* jurnalında verdilər. Müəlliflər yazırdılar: «Əsas yarımkeçiricidən ibarət olan üçelementli elektron qurğusu təsvir edilir. Qurğu gücləndirici, generator kimi işləməkdən əlavə, həm də məlum elektrovakuum lampalarını əvəz edə bilər. Qurğu Ge – germanium blokunda yerləşdirilmiş üç elektrodan ibarətdir (şəkil 2.2). Elektrodlardan biri emitter

(E), digəri kollektor (K) adlanır və tranzistorun yuxarı hissəsində nöqtəvi kontakt şəkilində yerləşir. Üçüncü elektrod isə baza (B) adlanır və tranzistorun əsasını təşkil edir. Tranzistorların hazırlanmasında n–tipli Ge-dan istifadə edilirdi. Nöqtəvi kontaktlar həm volframdan, həm də fosforlu latundan hazırlanırdı. Düzləndirici cərəyan deşiklər vasitəsi ilə yaradılır. İki nöqtəvi kontakt bir-birinə yaxın olduqca, onlar arasında qarşılıqlı təsir meydana çıxır. Bu təsirdən istifadə edərək tranzistorlar dəyişən cərəyanın gücləndirilməsində tətbiq edilə bilər. Şəkil 2.2-dən göründüyü kimi, emitterə müsbət potensial, kollektora isə mənfi potensial verilir. Bu halda nəzərə almaq lazımdır ki, elektrodlardan keçən cərəyan $I_k \geq I_e$ şərtini ödəməlidir. Kollektor emitterdən gələn deşikləri özünə cəzb etdiyinə görə, cərəyanın çox hissəsi onun üzərinə düşür. Kollektor yarımkeçiricidən axan elektronlara qarşı böyük müqavimət göstərir və əksinə deşiklərin hərəkətinə mane olmur. Yuxarıdakı şərt daxilində emitter cərəyanını modullaşdırsaq, onda kollektordakı cərəyan dəyişəcək və çıxış gərginliyinin giriş gərginliyinə olan nisbəti artacaq. Yəni çıxışda alınan siqnal bir neçə dəfə güclənəcəkdir. Bu üsulla tranzistordan keçən siqnalları 100 dəfə artırmaq mümkündür. Yaradılan cihaz 10 MHz tezliklərdə də normal işləyə bilər».



Şəkil 2.2. Tranzistorun elektrik dövrəsinə qoşulması.

Bardin və Brattein tərəfindən yaradılan tranzistor nöqtəvi tranzistor adlandırıldı (şəkil 2.3). Nöqtəvi tranzistor germanium kristalından (1), emitter çıxışından (2), bazadan (3) və kollektordan (4) ibarətdir. Çıxış yüksəkəomlu (əks istiqamətdə), giriş isə aşağıomlu (düz istiqamətdə) işlədicidən ibarət olduğundan siqnalda güclənmə alınır. Bütün bu xassələrə görə yaradılan cihaz qısa olaraq – tranzistor (ingilis dilindən tərcüməsi «müqavimət çeviricisi» deməkdir) adlandırıldı.



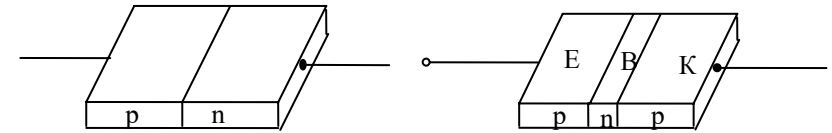
Şəkil 2.4. Yarımqeçirici diodun iki ölçülü sxemi

Şəkil 2.3. Nöqtəvi tranzistor

Müstəvi bipolyar tranzistorun ixtirası. 1947-ci ilin aprelindən – 1948-ci ilin yanvarına qədər olan ərəfədə Şokli müstəvi bipolyar tranzistorların nəzəriyyəsi haqqında məlumatı açıq mətbuatda dərc etdi. O, p- və n-keçidli yarımqeçirici diodların düzləndirmə xassələrinin olmasını aşkar etdi (şəkil 2.4).

Şəkil 2.4-də göstərilmiş müstəvi yarımqeçirici qurğuda p-oblastına müsbət, n-oblastına mənfi potensial verdikdə cihaz özünün düzləndirmə xassəsini üzə çıxarır. Nöqtəvi düzləndi-

riciyə nisbətən müstəvi düzləndirici daha böyük yük müqavimətə malikdir. Müstəvinin sahəsini artırıqda şuntlayıcı kontakt tutumu da artır.



Şəkil 2.4. Yarımqeçirici diodun iki ölçülü sxemi

Şəkil 2.5. p-n-p tipli Yarımqeçirici tranzistorun iki ölçülü sxemi E – emitter, K – kollektor, B – baza, n – oblastı isə bazadır.

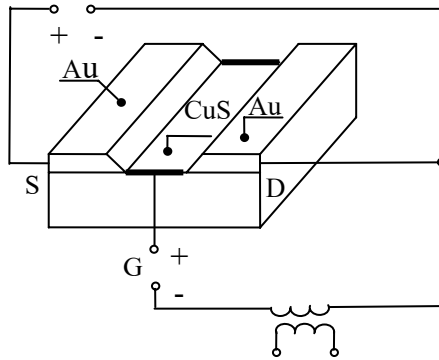
Yarımqeçiricilər üzərində tədqiqat işlərini davam etdirən Şokli çox keçmədən, iki p-n keçidli yarımqeçiricidən ibarət müstəvi tranzistor nəzəriyyəsini irəli sürdü. Şəkil 2.5-də təsvir edilmiş p-n-p tipli tranzistorda müsbət p-oblast emitter, mənfi p-oblast kollektor, n-oblast isə baza adlanır. Göründüyü kimi, nöqtəvi metal kontaktlar əvəzinə iki p-n oblastı istifadə edilir. Baza oblastının qalınlığı 25 mkm-dir. Nəzəri olaraq müstəvi tranzistorlar daha asan təhlil olunur, küylərin səviyyəsi aşağı, gücləndirmə keyfiyyəti isə yüksəkdir. Tranzistorun normal işləməsi üçün bazaya nisbətən emitterə düz, kollektora isə əks potensial verilməlidir. Məsələn, p-n-p tip tranzistorda emitterə müsbət, kollektora mənfi, n-p-n tip tranzistorda isə, emitterə mənfi, kollektora müsbət potensial vermək lazımdır.

Elektronikanın inkişaf tarixində tranzistorların ixtirası elmdə böyük inqilab idi və ona görə də onun müəllifləri Con Bardin, Uolter Brattein və Uilyam Şokli 1956-cı ildə Nobel mükafatına layiq görüldülər.

§2.2. Sahə tranzistorunun yaradılması

1. Sahə tranzistorunun ixtirası Amerika alimi Liliyefeldin adı ilə bağlıdır. O, 1882-ci ildə Polşada doğulmuşdur. 1910-cu ildən 1926-cı ilə qədər Polşanın Leypsik Universitetində professor vəzifəsində işləmiş, 1926-cı ildə ABŞ-a emiqrasiya etmiş və öz tədqiqat işlərini davam etdirmişdir.

Liliyefeldin təklif etdiyi tranzistorlar (şəkil 2.6) sənayedə tətbiq edilmədi. Lakin alimin üstünlüyü onda idi ki, o, yükdaşıyıcıların modulyasiyasına əsaslanaraq tranzistorların iş prinsipini izah edirdi. İşin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, yarımkeçiricinin nazik kanalı giriş transformatorundan daxil olan siqnalla modullaşdırılırdı.

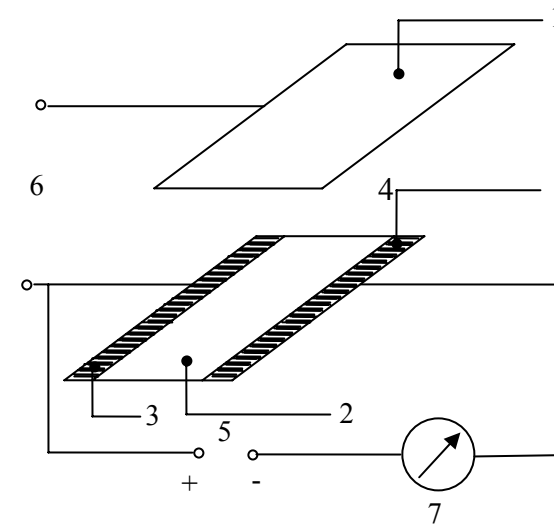


Şəkil 2.6. Yarımkeçirici sahə tranzistorunun dövrəyə qoşulma sxemi

2. İngiltərədə 1935-ci ildə alman ixtiraçısı O.Xeyl sahə tranzistorunun yeni növünün patentini qeydiyyatdan keçirdi (şəkil 2.7).

Yarımkeçiricidən keçən cərəyanın ona perpendikulyar istiqamətdə təsir edən elektrik sahəsi ilə idarə olunmasına

imkan verən cihazlar sahə tranzistorları adlanır. Belə cihazlarda ancaq bir işarəli yükdaşıyıcılar (elektronlar, yaxud deşiklər) iştirak edir. Odur ki, bunlara bəzən unipolyar tranzistorlar da deyilir. Şəkil 2.7-də göstəriləndiyi kimi, 1 idarəedici elektrod – sürgü, 3 elektrodu mənsəb – çıxış, 4 elektrodu isə mənbə – giriş rolunu oynayır. Alçaq tezliklərdə sahə tranzistorunda girişlə çıxış arasında yerləşən keçirici kanalın müqavimətini dəyişməklə kanaldan keçən cərəyan idarə olunur və 7 ampermetri ilə ölçülür.

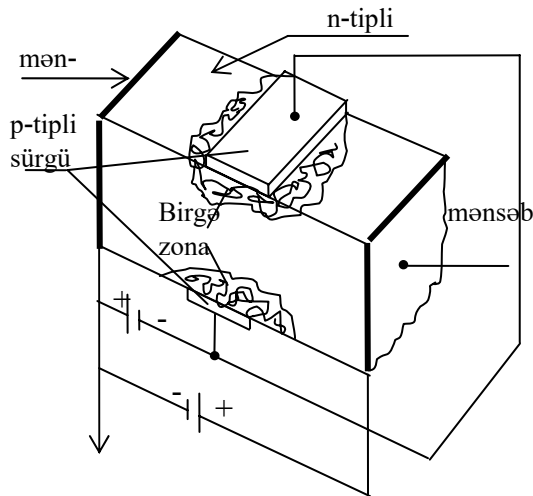


Şəkil 2.7. O.Xeylin sahə tranzistoru. 1 – idarəedici elektrod, 2 – yarımkeçirici nazik təbəqə, 3, 4 – yarımkeçiricidə omik kontakt, 5- sabit cərəyan mənbəyi, 6 – dəyişən gərginlik mənbəyi, 7 – ampermetr.

Tranzistorların ixtirasından sonra tədqiqat dalğası bütün dünyaya yayıldı. Yeni-yeni firmalar yaradıldı. Bu firmalardan biri də 1939-cu ildə yaradılan BTL (Bell Telephone Laboratories)

firmasıdır. Yaradılan firmada CuO (mis-1 oksid) üzərində tədqiqat işləri aparılırdı. Şokli Brat-teynlə birgə həmin firmada işləməyə dəvət aldı. Bir qədər sonra ikinci dünya müharibəsi başlandı və tədqiqat işləri dayandırıldı. Müharibədən sonra tədqiqat işləri yenidən bərpa edildi. 1945-ci ildə Şokli və bir il sonra Bardin *BTL*-ə qayıtdılar.

İntensiv tədqiqat işlərini davam etdirən Şokli 1952-ci ildə p-n keçidli idarəedici elektrodu olan yeni unipolyar (sahə) yarımkeçirici cihaz ixtira etdi (şəkil 2.8). Şəkildən göründüyü kimi, təklif edilən tranzistor omik çıxışlı n-tipli Si-dən ibarətdir. Gövdədən axan cərəyan istiqamətində kanal yerləşir və əsas yükdaşıyıcılar məhz bu kanaldan keçir. Yarımkeçirici cihaz üç elektroddan ibarətdir – mənbə adlanan birinci elektrod n-tipli materialdan hazırlanan kanaldır (ona mənfi potensial verilir), ikinci elektrod – mənsəb (ona müsbət potensial verilir) və üçüncü elektrod isə sürgü (zatvor) adlanır.



Şəkil 2.8. Şoklinin sahə tranzistoru

Sahə tranzistorlarında baş verən proseslərin izahı bir qədər çətinlik törətdiyindən Şokli unipolyar tranzistorun sadələşdirilmiş nəzəriyyəsini təklif etdi. Tranzistorun giriş (mənbə) gərginliyini dəyişdikdə p-n keçiddə əks gərginlik də dəyişir və bu da öz növbəsində bağlayıcı təbəqənin qalınlığının dəyişməsinə səbəb olur. Nəticədə əsas yükdaşıyıcıların keçdiyi n-kanalın en kəsiyinin sahəsi və uyğun olaraq çıxış (mənsəb) cərəyanın qiyməti azalır. Sürgüdəki yüksək gərginliklərdə kanalın qalınlığı sıfıra qədər azalır, kanalın müqaviməti isə sonsuzluğa qədər artır və tranzistor bağlanır.

1963-cü ildə Xofşteyn və Xayman sahə tranzistor-larının başqa bir konstruksiyanı hazırladılar. Yeni konstruk-siyada metal və yarımkeçirici müstəvi lövhələr arasında dielektrik təbəqə yerləşdirildi. Metal-dielektrik-yarımkeçiricidən ibarət tranzistor qısa olaraq MDY tranzistor adlandırıldı. 1952-ci ildən 1970-ci illərə qədər sahə tranzistorlarından ancaq laboratoriyalarda istifadə edilirdi. Lakin 1970-ci ildən sonra üç əsas amil bu tranzistorların sənayedə tətbiq edilməsini sürətləndirdi:

- 1) Yarımkeçiricilər fizikasının və texnologiyasının inkişaf etməsi nəticəsində – sənaye üçün lazım olan cihazların hazırlanmasına ehtiyacın yaranması.
- 2) Yeni texnoloji üsulların – təcrid olunmuş sürgülərin strukturları üçün nazik təbəqələrin texnologiyasının inkişaf etməsi.
- 3) Elektrik qurğularında tranzistorların geniş tətbiq olunması.

Rusiya və ABŞ-da tranzistorların kütləvi istehsalının inkişaf tarixi. XX əsrin ortalarında ABŞ-da San-Fransisko şəhərinin 80 kilometrliyində *Silisium Vadisində* tranzistorların

sürətlə təkmilləşdirilməsi və istehsalı başlandı. *Silisiyum Vadi-sinin* yaradılması Stenford Universitetinin mühəndislik fakültəsinin dekanı F.Termenin adı ilə bağlıdır. İkinci Dünya Müharibəsi ərəfəsində Termenin tələbələri Xyulett, Pakkard və Varian qardaşları həmin vadedə məşhur firma yaratdılar.

Şokli BTL laboratoriyasını tərk edərək Kaliforniya Politeknik İnstitutunun əməkdaşı A.Beckmanın köməyi ilə yeni bir firma yaradır. Onlar silisiyumlu tranzistorların istehsalı ilə məşğul olurlar. 1955-ci ilin payızından Paolo-Alto hərbi hissədə *Beckman Instruments* adlı daha bir firma fəaliyyətə başlayır. Şokli firmaya 12 nəfər ixtisasçı dəvət edir (Xorsli, Noys, Mur, Qriniç, Roberts, Xorni, Last, Cons, Kleyner, Blenk, Nepik və Sa). 1957-ci ildən firma öz adını dəyişərək *Shockly Transistor Corporation* adlandırır. Tezliklə 8 nəfər ixtisasçı Noys, Mur, Qriniç, Roberts, Xorni, Last, Kleyner və Blenk Beckmanla danışaraq yeni müstəqil *Fairchild Semicondustor Corporation* firmasının təməlini qoyurlar. Bu firma yüksək keyfiyyətliyi ilə seçilən bipolyar silisiyum tranzistorlar istehsal edir. İlk məhsul satışa 1957-ci ildə buraxılır. Bu cihaz silisiyum (2N696 tipli) mezatranzistoru idi. Həmin tranzistor emitter və metal kontaktların qoyulması üçün iki fotolitoqrafiya prosesindən keçirdi. Mezatranzistor termini BTL-dən olan Erli tərəfindən irəli sürülmüşdü. Xorni əlavə litoqrafiya əməliyyatlarından istifadə edərək, mezastrukturun kollektorunu diffuziya cibliyi ilə əvəz etdi və emitter-kollektor keçidini bir-birindən ayırdı. Sonra 1000°C-də termik oksidləşmə üsulundan istifadə etdi. Xorni bu üsulla alınan tranzistorların texnologiyasını planar texnologiya adlandırdı. Tranzistorların hazırlanması ilə məşğul olan firma 1961-ci ildən 2N613 (n-p-n) və 2N869 (p-n-p) tipli silisiyum bipolyar planar tranzistorların kütləvi istehsalına başladı.

Last və Xorni 1961-ci ildə *Amelcomin* firmasının əsasını qoydular. Sonralar bu firma *Teledyne Semiconductor* adını aldı. Xorni 1964-cü ildə *Union Corbide Electronics*, 1967-ci ildə isə *İntersil* firmasına başçılıq etdi. 1957-ci ildən 1983-cü ilə qədər silisiyum vadisində 100-dən artıq firmalar fəaliyyət göstərirdi. Hal-hazırda da yeni-yeni firmalar yaranmaqdadır. Bütün bu firmaların yaranmasında ABŞ-ın Stenford və Kaliforniya Universitetlərinin əməkdaşları fəal iştirak edirlər (cədvəl 2.1).

Cədvəl 2.1. Silisiyum Vadisinin inkişaf dinamikası

1914-1920	Keynlett-Pakard (Varian qardaşlarının iki dostu)
1955-1957	BTL Shockley Semiconductor Laboratory (Beckman Instruments) Paolo Alto (h/hissə) və. b. cəmi: 12 nəf.
1960	Fairchild Semicondustor Corporation Noys, Mur, Qriniç, Roberts, və b. cəmi: 8 nəf.
1961	Amolcot Uenless Snou Endryu Qroub Dil
1968	İntel (İnter-qreyt ed elektroniks) 12 nəfər (Mauntin Byo)

Rusiyada tranzistorların istehsalı. Rusiyada sənayedə istehsal olunan tranzistordan biri nöqtəvi tranzistorlar olmuşdur. Bu tranzistorlar 5 MHs tezliyə qədər rəqsləri gücləndirə və generasiya edə bilirdi. Tranzistorların ayrı-ayrı texnoloji proseslərinin hazırlanmasında və parametrlərə nəzarət üsullarının işlənməsində rus alimlərinin rolu əvəzsizdir. Rusiyada uzun müddət toplanan təcrübə daha əlverişli cihazların yaranmasına səbəb oldu. Hazırlanan cihazlar artıq 10 MHs tezliklərdə istifadə edilə bilirdi. Sonrakı dövrdə nöqtəvi tranzistorları ondan fərqli olan yüksək keyfiyyətli müstəvi tranzistorlar əvəz etdi. P1 və P2 tipli ilkin tranzistorlar 100

kHs-ə qədər elektrik rəqslərini gücləndirir və generasiya edirdi. Sənayedə P1 və P2 tipli tranzistorları P3, P4, P5, P6, P13-P16, P201-P203, P401-P403 tipli tranzistorlar sıxışdırıb aradan çıxartdı. Bununla da, diffuziya üsulu ilə tranzistorların hazırlanmasının əsası qoyuldu və onların işçi tezlik diapazonu 100 MHs-i aşdı. Tranzistorların sonrakı inkişaf dövrü ərinti və diffuziya yolu ilə alınan tranzistorların təkmilləşdirilməsi istiqamətində aparılırdı.

§2.3. Yarımkeçirici cihazların impuls və rəqəm texnikasında tətbiqi

Keçən əsrin ortalarında tranzistorun ixtirasından sonra onların kombinasiyalarından müxtəlif əməliyyatları icra edə bilən çoxlu sayda yarımkeçirici cihazlar işlənilib hazırlandı. Bu cihazlardan triggerlər, multivibratorlar və impuls diodları sənayedə geniş tətbiq edildi.

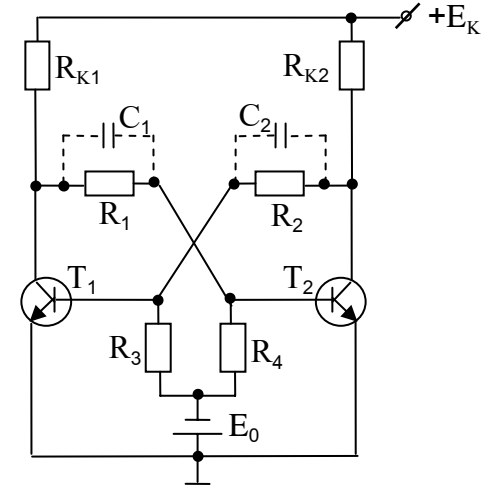
Yarımkeçirici triggerlər. Xarici açıcı impulsun təsiri ilə bir haldan digər hala sıçrayışla keçən iki dayanıqlı hala malik olan elektron qurğularına triggerlər deyilir. Triggerlər avtomat və elektron hesablama qurğularında düzbücaqlı şəkilli impuls almaq, ikili informasiyanı yaddaşında saxlamaq, impulsları bölmək və digər məqsədlər üçün istifadə olunur.

Trigger – kaskadlar arasında dərin müsbət əks rabitə yaradılmış ikikaskadlı sabit cərəyan gücləndiricisindən ibarətdir. Trigger sxemlərində olan elektron cihazları (tranzistorlar) açar rejimində işləyir və ona ümumi halda sxemə ardıcıl qoşulmuş iki elektron açarı kimi baxmaq olar. Cihaz işləyərkən birinci açarın çıxış gərginliyi ikinci açarın giriş gərginliyini və əksinə, ikinci açarın çıxış gərginliyi birincinin giriş gərginliyini idarə

edir.

Triggerlərin iş prinsipini bipolar tranzistorlu trigger sxemi

üzərində izah edək (şəkil 2.9). $R_{K1}=R_{K2}$, $R_1=R_2$, $R_3=R_4$ olduqda bu sxem simmetrik trigger adlanır. Tutaq ki, T_1 tranzistoru doyma, T_2 isə bağlı rejimlərdədir, yəni trigger birinci dayanıqlı haldadır. Onda T_1 tranzistoru açıq olduğundan onun kollektor, emitter və bazasında potensial təxminən eyni olur, T_2 tranzistorunun isə emitter-baza keçidi bağlı olduğundan onun kollektor



Şəkil 2.9. Kollektor-baza rabitəli triggerin prinsipial sxemi

dövrəsində $I_b=0$ qiymətinə uyğun olan I_{K0} başlanğıc cərəyanı olur. T_1 tranzistoru doyma rejimində işlədiyindən onun bazası, emitteri və R_1 rezistoru qısa qapanır. T_2 tranzistorunun bağlı vəziyyətdə olması üçün onun bazasının potensialı mənfi ($U_{b2}<0$) olmalıdır. Bu halda T_2 tranzistorunun baza dövrəsi üçün Kırxhofun ikinci qaydasına görə $E_b=I_{K0}R_4+U_{b2}$ yazmaq olar. $U_{b2}<0$ olduğunu nəzərə alıb, T_2 tranzistorunun bağlanması şərtini

$$E_b \geq I_{K0} \cdot R_4 \text{ və ya } R_4 \leq \frac{E_b}{I_{K0}}. \quad (2.1)$$

şəklində də yazmaq olar. Bu bərabərsizlik E_b -nin minimum, I_{K0} -ın maksimum qiymətlərində daha asan ödənilir. (2.1)

şərtindən verilmiş E_b üçün R_4 və R_3 ($R_4=R_3$) müqavimətlərini tapmaq olar.

T_1 tranzistorunun doyma rejimində işləməsi üçün onun baza cərəyanı

$$I_{b1} > I_{b1\text{doy}}, \quad (2.2)$$

şərtini ödəməlidir. Burada $I_{b1\text{doy}}$ – T_1 tranzistorunun doyma rejiminə keçməsi üçün lazım gələn baza cərəyanıdır. Bu cərəyan isə doyma rejiminə uyğun olan kollektor cərəyanı ilə aşağıdakı ifadə ilə bağlıdır:

$$I_{b1,\text{doy}} = \frac{I_{k1\text{doy}}}{\beta}, \quad (2.3)$$

Burada β – ümumi emitterli gücləndirici kaskadın cərəyanı görə gücləndirmə əmsalıdır.

$$I_{k1,\text{doy}} = \frac{E_k}{R_{k1}}$$

olduğunu nəzərə alıb, (2.3) ifadəsini

$$I_{b1,\text{doy}} = \frac{E_k}{\beta R_{k1}} \quad (2.4)$$

kimi yazmaq olar.

Triggerin ekvivalent sxemindən göründüyü kimi,

$$I_{b1} = I_2 - I_3. \quad (2.5)$$

Burada

$$I_2 = \frac{E_k}{R_2 + R_{k2}} - \frac{R_{k2} I_{k0}}{R_2 + R_{k2}}, \quad (2.5)$$

$$I_3 = E_b / R_3. \quad (2.6)$$

(2.4)-(2.6) ifadələrini (2.2) şərtində nəzərə alsaq, yaza bilərik ki,

$$\frac{E_k - R_{k2} I_{k0}}{R_2 + R_{k2}} - \frac{E_b}{R_3} > \frac{E_k}{\beta R_{k1}}.$$

Burada $R_{k1}=R_{k2}=R_k$ olduğunu bilərək, R_1 və R_2 müqavimətlərini tapmaq olar:

$$R_1 = R_2 < R_k \left[\frac{\beta R_3 (E_k - R_{k2} I_{k0})}{\beta R_k E_b + R_3 E_k} - 1 \right]. \quad (2.7)$$

(2.7) şərti β və R_k -nın minimum, I_{k0} -ın isə maksimum qiymətlərində ödənilməlidir.

Triggerin çıxış gərginliyinin amplitudu, tranzistorun bağlı və açıq hallarında kollektorun potensiallarının fərqi ilə təyin olunur:

$$\Delta U_{\text{çix}} = U_{kb} - U_{k0} = \frac{E_k R_k}{R_1 + R_k} - I_{k1} \frac{R_1 R_k}{R_1 + R_k}, \quad (2.8)$$

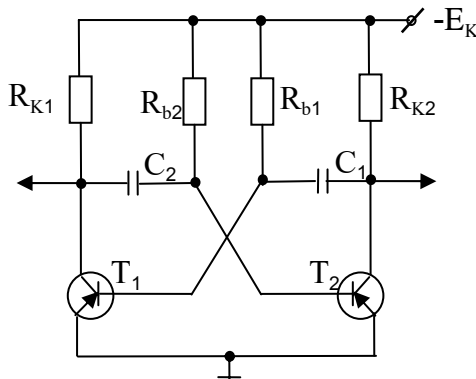
Burada I_{k1} – ətraf mühitin verilmiş temperaturunda kollektor cərəyanı, U_{kb} – bağlı tranzistorun kollektorunda potensial düşküsidür. Elementlərinin parametrləri düzgün seçilmiş triggerlərdə $\Delta U_{\text{çix}}$ -in qiyməti (0,8-0,9) E_k -ya bərabər olur.

Triggerin bir dayanıqlı haldan digər dayanıqlı hala keçməsinə doyma rejimində işləyən tranzistorun bazasına mənfi impuls verməklə əldə etmək olar. Doyma rejimində işləyən T_1 tranzistorunun bazasına belə mənfi impuls verdikdə onun baza və kollektor cərəyanları azalır və o, doyma rejimindən çıxır. Bu vaxt T_1 tranzistorunun kollektor potensialı artır, bu da öz növbəsində T_2 tranzistorunun baza potensialının artmasına və nəticədə baza və kollektor cərəyanlarının böyüməsinə

səbəb olur. Buna görə də T_2 tranzistorunun kollektorunda potensial azalır ki, bu da onunla rəbitədə olan T_1 tranzistorunun baza potensialının kiçilməsi ilə nəticələnir. Beləliklə, müsbət əks rəbitənin yaranması nəticəsində bu çevrilmə prosesi sel şəklində davam edərək T_1 tranzistorunun tam bağlanması (kəsilmə rejimi) və T_2 tranzistorunun isə doyma rejiminə, yəni triggerin ikinci dayanıqlı halına keçməsinə səbəb olur. Bu prosesə bəzən regenerasiya prosesi deyilir. Çevrilmə prosesinin davam etmə müddəti doyma halında olan tranzistorun bazasında toplanan yükdaşıyıcıların yox olma müddətindən əhəmiyyətli dərəcədə asılıdır. İşçi impulsun amplitudu böyük olduqca bu müddət də kiçilir.

Multivibratorlar. Kaskadlar arasında müsbət əks rəbitə RC dövrəsi vasitəsi ilə yaradılsa, belə relaksatorlar (düzbucaqlı impulsalar almaq üçün istifadə edilən cihazlar) – multivibratorlar adlanır. Triggerlərdən fərqli olaraq multivibratorlar yalnız bir dayanıqlı tarazlıq halına malikdir.

Multivibratorlar üç rejimdə: gözləmə, avtorəqs və sinxronlaşma rejimlərində işləyə bilər (şəkil 2.10). Gözləmə rejimində işləyən multivibrator bir dayanıqlı tarazlıq və bir kvazitarazlıq hallarına malikdir. Birinci haldan ikinci hala keçid xarici elektrik impulsunun təsiri ilə baş verir. Əksinə,



Şəkil 2.10. Multivibratorun prinsipial sxemi

təyin olunan müəyyən zamandan sonra öz-özünə baş verir. Beləliklə, gözləmə rejimində multivibrator yalnız müəyyən parametrlili bir impuls generasiya edə bilər. Buna görə bu rejimdə işləyən multivibratorlara bəzən təkvibratorlu multivibrator deyilir.

Avtorəqs rejimində işləyən multivibratorun dayanıqlı tarazlıq halı yoxdur. O, iki kvazitarazlıq halına malikdir. Multivibrator bir kvazidayanıqlı haldan digərinə xarici təsir olmadan keçir. Bu vaxt multivibratorun çıxışında parametrləri sxemin parametrlərindən asılı olan impulsar ardıcılığı alınır. Adətən belə multivibratorlardan müəyyən davam etmə müddətinə və təkrarlanma tezliyinə malik olan düzbucaqlı formalı impulsalar almaq üçün istifadə olunur.

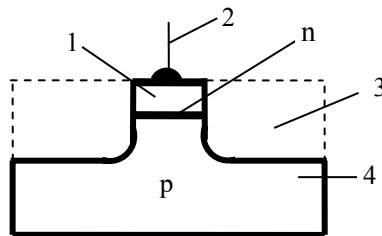
Sinxronlaşma rejimində multivibratorun çıxışında alınan impulsaların təkrarlanma tezliyi xarici sinxronlaşdırıcı gərginliyin tezliyi ilə təyin olunur. Relaksator iki kvazitarazlıq halına malik olur və onun bu hallarda qalma müddəti təkcə relaksatorun öz parametrlərindən yox, həmçinin sinxronlaşdırıcı gərginliyin periodundan da asılı olur. Sinxronlaşdırıcı gərginlik götürüldükdə isə multivibrator avtorəqs rejiminə keçir.

İmpuls diodları. İmpuls rejimində işləyən diodlar impuls diodları adlanır. İmpuls diodlarından avtomatik idarəetmə sistemlərində, giriş siqnallarının modullaşdırılması və eləcə də siqnalların detektə edilməsində, elektron hesablama qurğularında və digər radioelektron sistemlərində geniş istifadə edilir.

İmpuls diodlarının əsas parametrləri aşağıdakılardır: $\tau_{düz}$ – düzünə və $\tau_{əks}$ – əksinə gərginliyin bərpa müddətləri, tranzistorun C – tutumu, $U_{düz}$ – gərginliyin və $I_{düz}$ – cərəyanın

düzünə istiqamətdə stabilləşmiş qiymətləri, $I_{\text{əks}}$ – cərəyanın və $U_{\text{əks}}$ – gərginliyin əksinə stabilləşmiş qiymətləri, $U_{\text{max əks}}$ – əksinə gərginliyin və $I_{\text{max düz}}$ – düzünə cərəyanın maksimal qiymətləri. Qısa impulslarda diodun işini təmin edən əsas parametr $\tau_{\text{əks}}$ – əks istiqamətdə müqavimətin bərpa olma müddətidir. Bu müddətin kiçik olması üçün diodlar elə hazırlanır ki, onların keçid tutumu kiçik və yükdaşıyıcıların rekombinasiyası mümkün qədər sürətli olsun. Sənayedə istehsal olunan impuls diodlarında impuls cərəyanının qiyməti bir neçə yüz milli-ampere, əksinə gərginliyin qiyməti isə bir neçə on volt intervalında dəyişir.

Çox qısa sürəkliyə malik impuls diodları kütləvi şəkildə meza quruluşda hazırlanır və onlara mezadiodlar (*meza* – ispan dilində masa deməkdir) deyilir. Bu diodlar hazırlanarkən əvvəlcə əsas yarımkeçirici lövhənin üzərinə diffuziya üsulu ilə əks tip keçiriciliyə malik lay çəkilir. Sonra bu yeni lay xüsusi maska ilə örtülür və aşındırılır. Maska səthin müəyyən hissəsini aşılamaqdan qoruyur. Qorunan hissələrdə kiçik ölçülü *masaya* oxşar şəkildə n-p-keçidləri alınır (şəkil 2.11). Sonra lövhə ayrı-ayrı diodlara bölünür. Mezadiodun əsas xüsusiyyəti baza oblastının kiçik olmasıdır. Ona görə də bazaya yükdaşıyıcıların yığılma müddəti kiçikdir. Bundan başqa eyni zamanda bir səthdə çoxlu sayda diodun hazırlanması alınan diodların mükəmməl xarakteristika-



Şəkil 2.11. Mezadiodun prinsipial quruluşu. 1 – diffuziya üsulu ilə alınan n-tipli təbəqə; 2 – n-oblastın çıxışı; 3 – aşındırılan hissə; 4 – p-tip yarımkeçirici.

ya və sabit parametrlərə malik olmasına imkan verir.

Ümumiyyətlə impuls diodlarının hazırlanmasına aşağıdakı tələblər qoyulur: p-n keçidinin en kəsiyinin və qeyri-əsas yükdaşıyıcıların yaşama müddətlərinin kiçik olması, böyük çevirmə sürətinə malik olması, hazırlandığı yarımkeçirici materialın kiçik müqavimətə malik olması, yüksək tezliklər diapazonunda etibarlı işləyə bilməsi və s.

Maqnitofon. Müasir maqnitofonun ulu babası (teleqrafon) danimarka fiziki Valdemar Polsen tərəfindən 1898-ci ildə yaradılmışdır. Bu qurğu qalıq maqnitlənməsi hadisəsinə əsaslanırdı və səs dalğalarını nazik polad məftildə yaradılan maqnit impulslarına çevirirdi. Teleqrafonun girişində səs mənbəyi (mikrofon) yerləşdirilmişdi. Mikrofondan cərəyan xüsusi formalı elektromaqnitə verilirdi. Elektromaqnit tərəfindən yaradılan maqnit sahəsi maqnitin yanından müəyyən sürətlə hərəkət edən polad məftili maqnitləndirirdi. Bu zaman mikrofondan verilən səsə uyğun olaraq, cərəyan artıb-azalırdı. Bu isə öz növbəsində yazan maqnit tərəfindən yaradılan maqnit sahəsinin intensivliyinin uyğun dəyişməsinə səbəb olurdu. Fonoqramı canlandırmaq üçün məftili canlandırıcı maqnitin yanından buraxırdılar. Bu yerdəyişmə zamanı fonoqramın maqnit sahəsinin qüvvə xətləri sarğının dolaqlarını kəsirdi və sarğıda elektromaqnit induksiya hadisəsi əsasında məftildə yazılmış səsə uyğun elektrik cərəyanı yaranırdı. Həmin zəif elektrik siqnalları telefonda səs dalğalarına çevrilirdi və həmin səsi gücləndiricisiz, qulaqcıqların köməyi ilə dinləyirdilər. Bu qurğuda alınan səsə keyfiyyəti çox aşağı idi və buna görə də teleqrafon geniş tətbiq tapa bilmədi.

Sonralar alman ixtiraçısı Pfeymer dəmir tozunu kağız lent üzərinə çökdürməklə çox yaxşı maqnitlənmə və maqnitsizlə-

şən səsdəşiyıcısı yaratdı. Bu lenti həm də asanlıqla kəsmək, yapışdırmaq mümkün idi. Daha sonra kağız lent asetil selilozadan hazırlanmış daha möhkəm, elastiki və yanmayan plastik lentlə əvəz edildi. Belə lent ilk dəfə 1935-ci ildə buraxıldı. Bu lentin üzərində məftildəki ilə müqayisədə daha iri həcmdə məlumat yazmaq mümkün idi.

Lakin lent üzərində yazma və canlandırma prosesləri prinsipcə polad məftildəki ilə eyni idi. Hər iki halda maqnitofonun əsas elementi yazan və canlandıran elektromaqnitlər idi. Bu elementlər – maqnit başlıqları adlanırdı. Eyni bir lentdən bir neçə dəfə istifadə edə bilmək üçün yazan və canlandıran maqnit başlıqları ilə yanaşı, pozan maqnit başlığından da istifadə olunurdu. Həmin başlıq xüsusi lampalı generatordan alınan yüksək tezlikli cərəyanla qidalanırdı.

Hesablama maşını. Hesablama əməliyyatının mexanizmləşdirilməsi və maşınlaşdırılması hələ çox qədim zamanlardan – XVII əsrin ortalarından (fransız alimi və mütəfəkkiri Blez Paskalın dövründən) başlasa da, elektron hesablama texnikası sahəsində ilk uğurlu nəticələr XX əsrin ortalarında meydana gəldi.

Yaddaş qurğusu qismində elektron lampalarının tətbiq edilməsinin nəzərdə tutulduğu hesablama maşınının ideyası amerikan alimi Con Mouqliyə mənsubdur. Hələ XX əsrin 30-cu illərində o, triggerlər əsasında bir neçə mürəkkəb olmayan hesablayıcı yaratdı. Lakin hesablama maşınlarının yaradılmasında elektron lampalarını ilk dəfə başqa bir amerikan ixtiraçısı Con Atanusı tətbiq etmişdir. Onun maşını praktiki olaraq artıq 1942-ci ildə hazır idi.

İlk elektron hesablama maşınlarında əsas yaddaş elementi və toplama qurğusu olaraq triggerlər tətbiq edilirdi. Məlum

olduğu kimi, trigger sxemləri iki dayanıqlı hala malikdir. Belə ki, bir dayanıqlı hala «O», digərinə isə «1» kodunu yazmaqla, trigger özəyindən kodları zamanca qorumaq üçün istifadə etmək olar.

1951-ci ildə isə Coy Forrester elektron hesablama maşınlarının qurğusunda çox mühüm bir təkmilləşdirmə etdi. O, maqnit içlikləri əsasında verilən impulsları istənilən qədər uzun müddət qoruyub saxlaya bilən yaddaşı patentlədi. Bu içliklər dəmir oksigeni digər aşqarlarla qarışdırmaq yolu ilə ferritlərdən hazırlanırdı.

III FƏSİL

İNTEQRAL MİKROXEMPLƏRİN KƏŞFİ.

MİKROELEKTRONİKANIN İNKİŞAF MƏRHƏLƏLƏRİ

Yeni tipli tranzistorların yaranması və onların impuls və rəqəm texnikasında tətbiqi, eləcə də kiçik ölçülü hesablama maşınlarının yaradılması, yeni-yeni kiçik həcmli yarımkeçirici cihazlarının birləşdirilərək elektron qurğularının yaradılmasında istifadə edilməsi elektronikanın yeni sahəsinin – mikroelektronikanın meydana gəlməsinə zəmin yaratdı.

§3.1. İlk integral mikrosxemlər

İnteqral mikrosxemlər. Amerikan mühəndisi C.Kilbinin rezistorlar, kondensatorlar, tranzistorlar və diodlar kimi bütün sxemlər üçün bir parça təmiz silisium üzərində ekvivalent elementləri almaq təklifi elektronikada inteqrallaşmanın başlanmasına təkan oldu. İlk integral yarımkeçirici sxemi Kilbi 1958-ci ildə yaratdı və artıq 1961-ci ildə *Fairchild Semiconductor Corp* firması EHM üçün mikrosxemlərin ilk kütləvi buraxılışına başladı.

Mikrosxemlər üçün xam material olaraq adətən emal edilmiş təmiz silisiumdan hazırlanmış lövhə götürülürdü. Belə lövhə nisbətən böyük ölçüyə malik olduğundan onun üzərində eyni zamanda bir neçə yüz eyni tipli mikrosxem yaratmaq mümkün olurdu.

1959-cu ildə *Fairchild* firmasının əməkdaşı Xorni çoxlu sayda sınaqlar apararaq oksidləşmə texnologiyasını hazırladı. O, bor və fosfor atomlarının optimal diffuziya dərinliyini müəyyən etdi. Xorni hətta gecələr və istirahət günləri də qaranlıq otaqda

işləyərək, alüminium oksidli silisium lövhələrinin üzərinə çoxlu sayda fotorezist ekspozisiya edərək, alüminiumun optimal aşınma rejimini axtarırdı. Qriniç şəxsən cihazlarla işləyərək tranzistorların və integral mikrosxemlərin xarakteristikalarını çıxarırdı. Təcrübi məlumatların azlığından ən qısa çıxış yolu – *özün düzəlt* kəlamı idi. Bu yolu da – Qriniç, Xorni, Mur və Noys seçdilər.

İnteqral mikrosxemlərin tətbiqi artıq 1960-cı ildən həyata keçirildi. *Fairchild* firmasından olan Robert Noysın monolit integral sxemin yaradılması ideyası patent qeydiyyatından keçdi (ABŞ-ın 2981877 nömrəli patent) və planar texnologiya tətbiq edilərək ilk monolit silisium integral sxemi hazırlandı. Monolit integral sxemdə silisium bipolyar tranzistorlar və rezistorlar bir-biri ilə passiv oksid üzərində yerləşən nazik ensiz alüminium zolaqları ilə birləşirdi. Birləşdirici alüminium naqilləri fotolitoqrafiya üsulu ilə oksidin bütün səthində tozlanma ilə çökdürülmüş alüminium təbəqəsini aşındırmaqla hazırlanırdı. Bu cür texnologiya integral mikrosxemlərin (İMS) monolit texnologiyası adlanırdı. Robert Noys eyni zamanda *Texas Instruments* firmasından olan Kilbi qızıl naqillərdən istifadə edərək germanium kristalı üzərində trigger hazırladı. Bu cür texnologiya isə hibrid integral sxem texnologiyası adlandırıldı. Kilbi və Noys öz ixtiraları haqqında hökumətə müraciət etdilər. ABŞ-ın apelyasiya məhkəməsi Kilbinin ərizəsini rədd edərək, Noysun ixtirasını qəbul etdi. Yəni oksid üzərindəki alüminium təbəqəsini aşındırmaqla fotolitoqrafiya üsulu əsasında hazırlanmış birləşdirici naqillərlə elementlər arasında əlaqə yaradılan monolit texnologiyanı tanıdı.

1960-cı ilin fevralında isə *Fairchild* firması silisium kristalı üzərində 4 ədəd bipolyar tranzistor yerləşən monolit sxem

yaratdı və onu *mikrologiya* adlandırdılar. Xorni və Noysun monolit texnologiyası 1960-cı ildə integral mikrosxemlərin əsasını qoydu. Sxemlərdə əvvəlcə bipolyar, sonra isə sahə tranzistorlarından istifadə edildi. Mikrosxemlərə olan maraq sürətlə artırdı. Odur ki, artıq onların kütləvi istehsal texnologiyasının hazırlanması tələbi yaranırdı.

1961-1962-ci illərdə qəbul edilən iki təklif silisiumlu integral mikrosxemlərin kütləvi istehsalının inkişafına güclü təkan verdi:

1) Nyu-Yorkun IBM firmasına EHM maşınlarında ferromaqnit yaddaş qurğularından deyil, n-kanallı sahə tranzistorlarından (metal-oksit-yarımkeçirici və ya qısa olaraq MOY) istifadə etmək təklifini verdilər. Bu təklifin nəticəsində 1973-cü ildə universal MOP ZU-IBM-370/158 EHM maşını yaradıldı;

2) *Fairchild* firmasına integral sxemlər (İS) üçün elmi-tədqiqat laboratoriyalarında yarımkeçiricilərin öyrənilməsini daha da genişləndirmək təklifi verildi.

1961-ci ildə Mur, Noys və Qriniç (*Fairchild* firmasının əməkdaşları) gənc ixtisasçıları bu işlərə cəlb etmək məqsədi ilə İllinoys Universitetinin (universitetdə Bardinin *Yarımkeçiricilər fizikası* kitabından mühazirələr oxuyurdu) magistraturasını yenidən bitirmiş gəncləri öz qruplarına cəlb edirdilər. Həmin gənclərdən bir qrupu bərk cisimlər fizikası ixtisasını alan – Uenless və Snou; kimyaçı – Endryo Qrouv; Berklidə universiteti bitirən kimyaçı praktik – Dil idi.

Materiallar və cihazlar fizikasının layihəsini Dil, Qrouv və Snou birlikdə hazırladılar. Sxemlərin tətbiqi layihəsini isə Uenless təklif etdi. Bu dördlüyün tədqiqatlarından ifrat böyük integral mikrosxemlərin hazırlanmasında hal-hazırda da

geniş istifadə edilir.

Qordon Mur və Robert Noys *Fairchild* firmasının yarımkeçiricilər şöbəindən çıxaraq 1968-ci ilin iyun ayında 12 nəfərdən ibarət İntel firmasını təşkil etdilər.

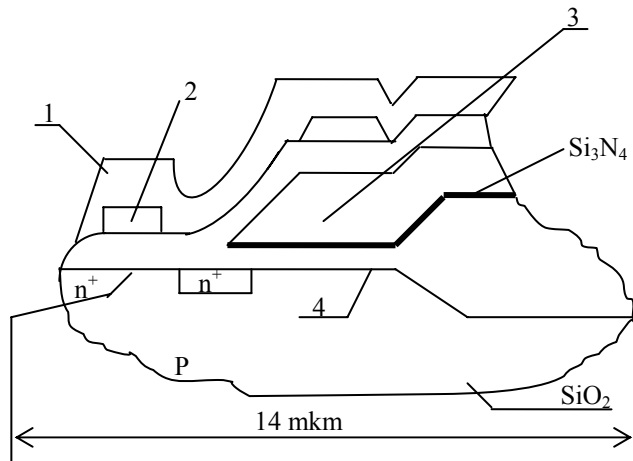
1971-ci ildə *İntel* amerikan firması tərəfindən hesab və məntiqi əməliyyatları icra etmək üçün vahid integral sxemlərin – mikroprosessorların yaradılması sahədə fəvqəladə dərəcədə əhəmiyyət kəsb edən mühüm nəticələrdən biri oldu.

1997-ci ildə Endryo Qrouv *ilin adamı* seçildi. O, Amerikanın Kaliforniya ştatında planetimizdə istifadə olunan bütün kompüterlərin 90%-ni mikroprosessorlarla təmin edirdi. 1998-ci ilin 1 yanvar tarixində mövcud olan statistikaya görə firmanın illik gəliri 5,1, dəyəri isə 15 milyard dollara bərabər idi. Qrouv direktorlar şurasına sədrlik edirdi. Artıq 1999-cu ildə firma $4 \cdot 10^{15}$ ədəd tranzistor istehsal edirdi. İntel firması Pentium I, II, III tipli kompüterlər istehsalında dünyada qabaqcıl yerlərdən birini tuturdu.

Andryo Qrouv 1936-cı il 2 sentyabr tarixində Macarıstanda doğulmuşdu. Onu Androş Qrof kimi çağırırdılar. Sovet qoşunları 1956-cı ildə Macarıstanın paytaxtı Budapeştə daxil olanda o, əvvəlcə Avstriyaya oradan da Nyu-Yorka qaçır. Sirkollecini əla qiymətlərlə bitirdikdən sonra Kaliforniyadakı Berkli universitetində doktorluq dissertasiyasını müdafiə edir. Gənc mütəxəssisi hamı öz firmasına dəvət etsə də, Andryo Qrouv *Fairchild* firmasında işləyən Sanın yanına getməyə üstünlük verir.

1967-ci ildən elektron yaddaş qurğularının yaradılmasına olan maraq gündən-günə artırdı. *IBM* firmasında işləyən Dinard birtranzistorlu dinamik yaddaş qurğusu yaratdı. Bu ixtira elektron sənayesində uzun müddət öz təsirini saxladı. Qurğu-

nun ümumi tutumu 256 kilobayt olub, Azad Çeşidli Dinamik Yaddaş Qurğusu adlanırdı (şəkil 3.1). Toplayıcı kondensator ikilaylı silisium nitrid dielektrikindən ibarət idi. Dielektrik silisium nitrid silisium oksid üzərində termik yolla alınmışdı. Nitridin dielektrik sabiti ($\epsilon = 7,5$) oksidinkindən ($\epsilon = 3,9$) böyük olduğuna görə vahid sahəyə düşən tutum da böyük olurdu. Kiçik sahədə çoxlu yüklərin yığılması, məlumatın sıxlığını daha da artırır. Şəkil 3.1-də alüminium təbəqə (1), çətin əriyən silisid təbəqə (2), polisilisiumlu kondensatorun üst qatı (3), dioksid silisiumlu dielektrik altlıqdır (4). Qurğunun çatışmazlığı ondan ibarət idi ki, orada yazılan məlumat elektrik mənbəyi kəsildikdə yox olurdu. Yaddaş qurğusunun təkmilləşdirilməsi üzərində işlər davam edirdi. Odur ki, müəyyən müddətdən sonra *Intel* firmasının əməkdaşı Froman-Bençkovski 1971-ci ildə qidalandırıcıdan asılı olmadan pozulmayan proqramlı məlumat yaddaş qurğusunu ixtira etdi.



Şəkil 3.1. Dinamik yaddaş qurğusunun sxematik təsviri. 1 – alüminium təbəqə, 2 – çətin əriyən silisid, 3 – polisilisiumlu kondensatorun üst qatı, 4 – silisium dioksid dielektriki.

IBM firmasının əməkdaşı Dennard da mikrosxemlərin təkmilləşdirilməsi ilə məşğul olurdu. Mikrosxemlərin layihələşdirilməsi üsulunun hazırlaması onun ən böyük xidməti idi. Dennard göstərdi ki, tranzistorun volt-ampere xarakteristikasını (VAX) pozmadan onun ölçüsünü kiçiltmək mümkündür. Bu layihələndirmə üsulu sonradan miqyaslaşdırılma qanunu adlandırıldı. Beləliklə, gündən-günə təkmilləşdirilən mikrosxemlər sənayedə öz yerini tapdıqca, mikroelektronikanın inkişafına zəmin yaranırdı.

§3.2. Mikrotexnologiyanın yaranmasının ilkin şəraiti və inkişafı

Mikrotexnologiyanın meydana gəlməsi. Sahə tranzistorlarının ixtira edilməsi kiçik həcmli elektron hesablama maşınlarının (EHM) yaranmasına imkan yaratdı. Onların əsasında aviasiya və kosmos texnikasında idarəetmə kabinetində elektron qurğuları tətbiq edildi. Həmin qurğularda minlərlə müxtəlif növ radio elementləri istifadə olunurdu və onların sayı günbəgün artırdı. Radio elementlərinin sayının artması praktiki çətinliklər törədirdi. Hətta çoxlu sayda olan elementlərin normal işləməsi sual altında idi. Çünki ən təcrübəli ustalar belə, hər 1000 lehimdə bir-neçə səhv buraxırdılar və buraxılan səhvlər hesabına sxemlərdə elektrik boşalmaları baş verir, sxemlər sıradan çıxırdı. Qüsurların aradan qaldırılması böyük vaxt və zəhmət tələb edirdi. Radioqurğuların etibarlılığı və iş dözümlülüyü problem olaraq qalırdı. Uzun müddətli araşdırmalardan sonra bu problemlərin həlli üçün sxemlərin hissə-hissə hazırlanaraq birləşdirilməsi təklifi meydana çıxdı. Bununla da mikroelektronikanın təməli qoyuldu.

Gələcək mikrosxemlər çap plataları üzərində yığılırdı (plata – dielektrik üzərində basılmış nazik mis lövhələrdir) və kütləvi şəkildə hazırlanırdı. Tətbiq edilən yeganə yenilik naqilin formasının dəyişdirilməsi idi. Basılmış plataların tətbiqi miniatürləşmə problemini həll etmirdi, lakin mikrosxemlərin etibarlılığına təminat verirdi. Basılmış plataların texnologiyası ancaq passiv element olan naqildən istifadə etməyə imkan verirdi. Ona görə də çaplanmış platalar integral mikrosxemlərə çevrilmədi.

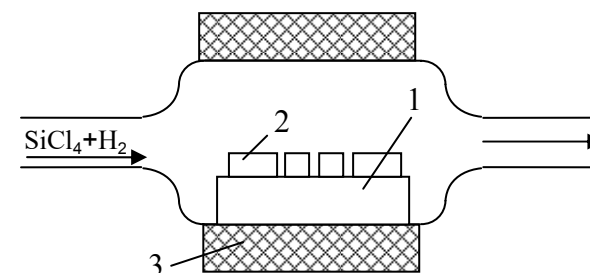
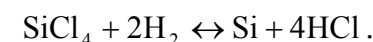
Ötən əsrin 60-cı illərində tədqiqat işlərinin əsas istiqaməti nazik təbəqəli aktiv elementlərin yaradılmasına yönəlmişdi. Lakin yüksək məhsuldarlıqla işləyə bilən tranzistorlar olmadığından, hibrid integral sxemlərdə (HİS) – asılı vəziyyətdə yerləşdirilmiş aktiv elementlərdən istifadə edilirdi. Artıq integral mikrosxemlər üçün yarımkeçirici materiallardan ibarət diskret tranzistorlar və rezistorlar hazırlanırdı, kondensator əvəzinə p-n keçidin əks tutumundan və rezistorlar əvəzinə isə kristal yarımkeçirici kontaktının omik xassəsindən istifadə edilirdi. Bütün bunlardan sonra problem həmin elementlərin bir qurğu üzərində yerləşdirilməsi idi.

Mikroelektronikanın əsas inkişaf texnologiyası. Mikroelektronikanın inkişafı mikrotexnologiyanın səviyyəsi ilə müəyyən edilir. Mikrotexnologiyanın əsas sahələrindən biri planar texnologiyadır. Planar texnologiyanın vəzifəsi – müxtəlif elektrik xarakteristikalı materiallardan hazırlanacaq elektron sxemləri üçün nazik təbəqələrin şəklini yaratmaqdır. Planar texnologiya qrup şəkilli xarakterə malikdir. Yəni bir texnoloji prosesdə müstəvi səthdə bir-neçə yarımkeçirici sxem almaq mümkündür.

Nazik təbəqələrin alınmasının texnoloji prosesləri.

1) Epitaksiya – prosesində nazik təbəqələr kristal altlıq üzərində elə alınır ki, onun strukturu altlığın kristal oriyentasiyasını tamamilə təkrar edir. Epitaksiya texnologiyasının üstünlüyü ondan ibarətdir ki, bu üsulla təmiz təbəqə almaqla yanaşı, həm də aşqarlama dərəcəsini tənzimləmək mümkün olur. Nazik təbəqənin alınmasında üç tip epitaksiya- qaz, maye və molekulyar üsullar tətbiq edilirdi.

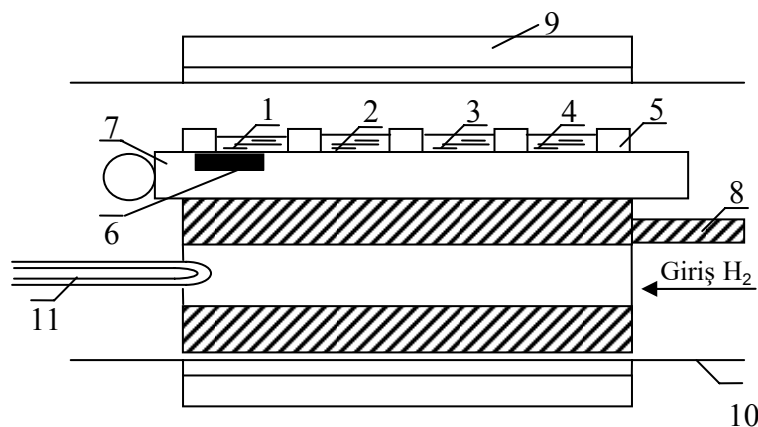
Qazla epitaksiya halında müəyyən konsentrasiyalı hidrogenlə silisium 4-xlor qarışığı ($\text{SiCl}_4 + \text{H}_2$), içərisində qrafit (şəkil 3.2 (1)) altlıq üzərində silisium təbəqəsi (şəkil 3.2 (2)) yerləşdirilmiş reaktordan buraxılır. Sonra induksiya qızdırıcısının (şəkil 3.2 (3)) köməyi ilə qrafit 1000°C -dən yüksək temperaturalarda qızdırılır. Seçilən temperatur, kristal qəfəsinə atomların düzgün oriyentasiyasını və monokristal təbəqənin alınmasını təmin edir. Proses aşağıdakı dönmə reaksiya əsasında baş verir:



Şəkil 3.2. Nazik təbəqə almaq üçün istifadə olunan buxar reaktoru. 1 – qrafit altlıq, 2 – silisium təbəqə, 3 – induksiya qızdırıcısı

Düzünə reaksiya epitaksiya təbəqəsinin alınmasına, əksinə reaksiya isə altlığın aşınmasına uyğundur. Epitaksiya təbəqəsinin aşqarlanması üçün qaz axınına aşqar atomları əlavə edilir. Bu halda fosforitdən (PH_3) donor, dibordan (B_2H_3) isə akseptor kimi istifadə olunur.

Mayeli epitaksiya halında müxtəlif materiallardan təşkil olunmuş çoxlu sayda struktur alınır (şəkil 3.3).

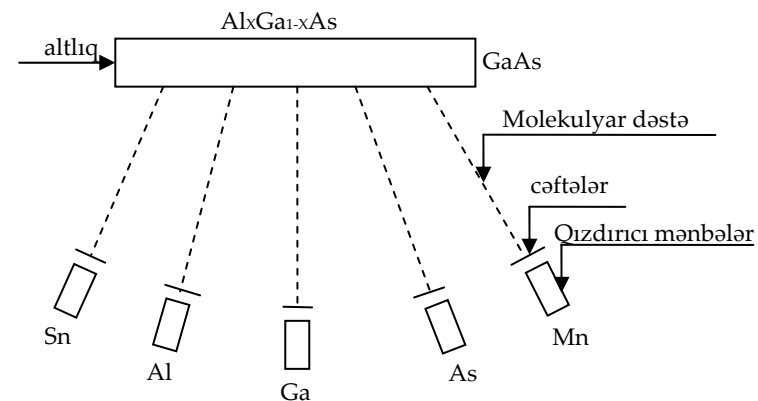


Şəkil 3.3. Mayeli epitaksiya reaktorunun sxemi. 1, 2, 3, 4 – məhlullar, 8 - itələyici, 9 – elektrik sobası, 5 – məhlulları saxlayan sürüşən qab, 10 – kvars boru, 6 – altlıq, 7 – əsas qrafit tutucu, 11 – termocüt.

Mütəhərrik qurğu ardıcıl olaraq müxtəlif məhlulları altlığa tərəf aparır. Beləliklə, qalınlığı 1 mkm-dən az olan müxtəlif (Ge-Si, GaAs-GaP) materiallardan ibarət heterostrukturlar alınır.

Bir neçə molekulyar dəstənin qızmış monokristal altlıqla qarşılıqlı təsirinə əsaslanan molekulyar-şüa epitaksiyası ifrat yüksək vakuumda aparılır. Şəkil 3.4-də $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ birləşməsinin alınma prosesi təsvir olunur. Şəkildən görün-düyü kimi,

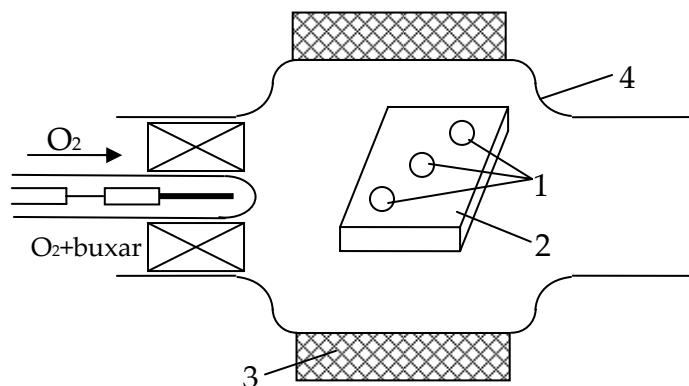
hər bir qızdırıcı, ixtiyari molekulyar dəstənin mənbəyi olan tiqeldən ibarətdir (tiqel-içərisində metal əritmək üçün istifadə edilən qabdır). Qızdırıcının temperaturu elə seçilir ki, buxarlanan materialların təzyiqi molekulyar dəstənin yaranmasına kifayət etsin. Altlığın və qızdırıcının temperaturunun seçilməsi mürəkkəb kimyəvi tərkibli maddələrin alınmasına imkan verir. Maddənin alınmasında qızdırıcı ilə altlıq arasında yerləşdirilmiş xüsusi arakəsmədən də istifadə edilir ki, bu da molekulyar dəstələrin nizamlanmasında əlverişli rol oynayır. Ümumiyyətlə, molekulyar-şüa üsulu bərk cisim elektronikasında submikron ölçülü təbəqəli strukturların alınmasında geniş tətbiq edilir.



Şəkil 3.4. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ üç qat birləşməsinin alınma prosesi

2) Oksidləşmə. Silisium 2-oksidi təbəqəsi silisium atomlarının oksigen atomları ilə kimyəvi birləşməsi nəticəsində 900°C - 1200°C temperaturu sobada silisium altlıq üzərində formalaşır (şəkil 3.5). Oksidləşdirmə üçün oksigendən və ya oksigen-buxar qarışığından istifadə edilir. Oksigen-buxar

qarışıqda oksidləşmə prosesi sürətlə baş verir. Ona görə də qalın təbəqəli SiO_2 -in alınmasında bu üsul tətbiq edilir. Alınan təbəqənin qalınlığının yuxarı həddi 1-2 mkm-ə çatır.



Şəkil 3.5. Silisium 2-oksidin alınma prosesinin sxematik təsviri. 1 – altlıq, 2 – kvarts qab, 3 – qızdırıcı, 4 – kvarts boru.

Alınan üçqat birləşmələr və SiO_2 nazik təbəqələr mikrosxemlərdə radioelementlərin alınmasında əsas materiallar kimi istifadə edilir.

§3.3. Litoqrafiya prosesləri

Mikrosxemlərin formalaşması müxtəlif proseslərin həyata keçirilməsi nəticəsində baş verir. Belə proseslərdən biri də mikrosxemlərin topologiyasının alınması üçün litoqrafiya proseslərinin tətbiqidir.

Litoqrafiya prosesinin tətbiq tapmış dörd növü mövcuddur: foto-, elektron-şüa, rentgen və ion-şüa litoqrafiya.

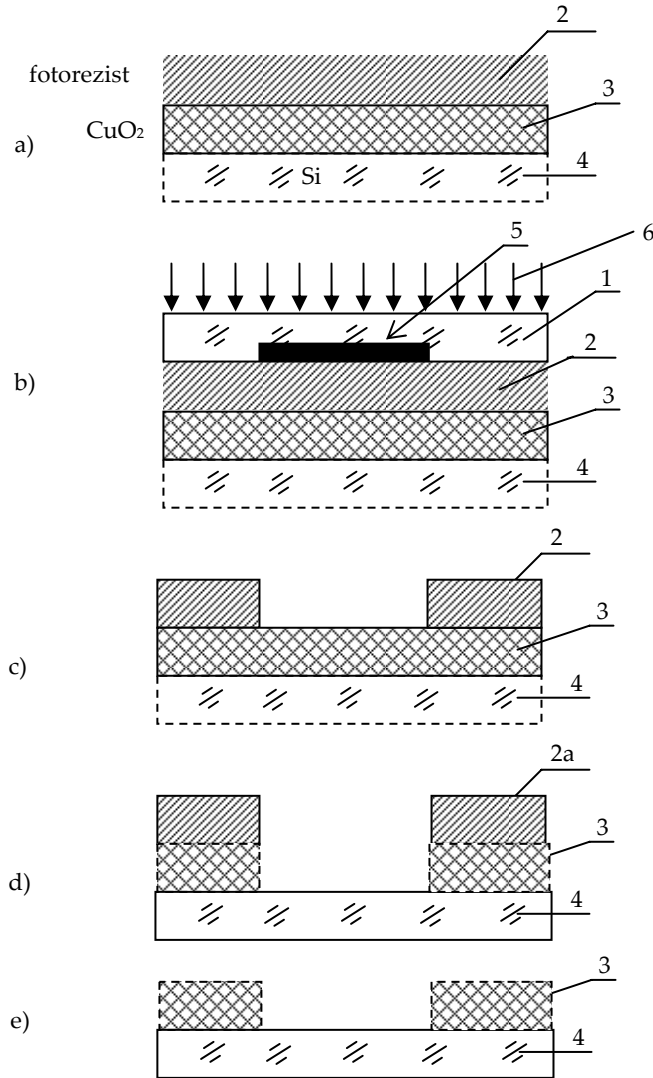
Fotolitoqrafiya. Fotolitoqrafiya – müəyyən forma və ölçü-

yə malik şəkillərin dielektrik və ya metal lay üzərində alınması prosesidir. Başqa sözlə desək, altlıq materialın üzərində *maskanın* alınma üsuludur. *Maskanın* şəkli fotoşablonun (FŞ) köməyi ilə hazırlanır. Fotoşablon qalın şüşə təbəqədən ibarət olub, üzlərindən biri qeyri-şəffaf nazik təbəqə ilə örtülür. Bu qeyri-şəffaf təbəqənin üzərində isə şəffafdeşiklər (cizgilər) vasitəsi ilə tələb olunan istədiyimiz «maska» – şəkil çəkilir.

Fotolitoqrafiya mikroelektronikada eni 1 mkm-dən kiçik təbəqələrin alınmasında istifadə edilir. Prosesdən əvvəl ölçüsü 500 dəfə böyüdülmüş mikrosxemin topologiyası hazırlanır. Sonra sxemin 10 dəfə, 100 dəfə və nəhayət, lazım olan ölçü alınana qədər kiçilmiş şəkilləri çəkilir. Fotolitoqrafiya prosesi (şəkil 3.6) aşağıdakı ardıcılıqla həyata keçirilir. Əvvəlcə şəkil 3.6-da təsvir edildiyi kimi (4)-silisium altlığın üzərinə ardıcıl olaraq (3) silisium 2-oksidi təbəqəsi, (2) fotorezist, sonra isə (1) şəffaf təbəqəsi (fotoşablon) çəkilir. Fotorezistin orta hissəsi (5) fotoşablonun qeyri-şəffaf hissəsi ilə örtülür. Alınan (1) qalın təbəqə (6) ultrabənövşəyi şüalarla işıqlandırılır. Ultrabənövşəyi şüalar fotoşablondan keçərək fotorezistin üzərinə düşür.

Fotorezist ultrabənövşəyi şüaların təsiri ilə polimerləşmə dərəcəsi dəyişən xüsusi lakdır. Neqativ və pozitiv fotorezistlər mövcuddur. Neqativ fotorezistlər işığın təsiri ilə polimerləşərək, aşılavıcılara (turşu, qələvi və s.) qarşı dayanıqlı olur. Aşındırmadan sonra isə belə fotorezistlərdə yalnız işıqlanan oblastlar qalır, yerdə qalan oblastlar yox olur. Pozitiv fotorezistlərdə isə, əksinə, işıqlandırılmayan oblastlar kimyəvi dayanıqlı olduğundan, aşılardan sonra yalnız onlar qalır. Işıq pozitiv fotorezistlərdə polimerləşdirici rabitələri qırır. SiO_2 üzərinə çəkilən və onda pəncərə açmaq məqsədi güdən fotorezist, adətən, damcı şəklində oksid təbəqə üzərinə yerləş-

dirilir və mərkəzdənqaçma maşının köməyi ilə qalınlığı 1 km



Şəkil 3.6. Fotolitoqrafiyanın mərhələlərinin sxematik təsviri. a) ilkin örtmə, b) kontaktların qoyulması, c) aşkarlanma, d) aşındırma, e) fotorezistin götürülməsi.

olan lay alınana kimi proses davam etdirilir. Sonra pəncərədəki oksid təbəqə turşu məhlulu ilə aşındırılır və fotorezistrin qalan hissəsi götürülür. Sadaladığımız prosesi ardıcıl olaraq aşağıdakı mərhələlərə bölmək olar: a) ilkin örtmə, b) kontaktların qoyulması, c) aşkarlama, d) aşındırma, e) fotorezistrin götürülməsi. Təsvir etdiyimiz proses kontakt çap üsulu adlanır. Texnoloji proseslərdə, adətən, çox mərhələli fotolitoqrafiya üsulu tətbiq edilir. Kontakt çap üsulunun ayırdetmə qabiliyyəti (yəni FŞ-da şəkilin minimal ölçüsü) 1 mkm tərtibində olur. Əgər prosesdə şəffaf təbəqə ilə altlıq arasında optik linza yerləşdirilsə, onda alınan prosesə proyeksiyalı çap üsulu deyilir.

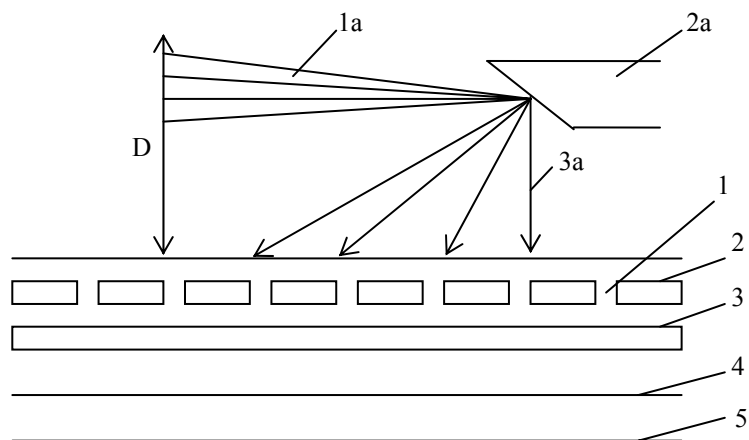
Elektron-şüa litoqrafiya. Elektron-şüa litoqrafiya üsulu iki halda tətbiq edilir:

- 1) Elektron-şüası elektron hesablama maşını ilə idarə olunaraq altlığın səthi ilə hərəkət etdirilir;
- 2) Elektron dəstələrini xüsusi maskalardan keçirərək təbəqə üzərinə təsir göstərilir.

Birinci halda rastr və vektor tipli sistemlər tətbiq edilir. Rastr sistemində elektron dəstəsi intensivliyə görə modullaşır və altlığın bütün səthində hərəkət etdirilir. Vektor sistemində isə elektron dəstəsi elə meyl etdirilir ki, onun rezist üzərində hərəkəti lazım olan şəkildə uyğun olsun.

İkinci variantda fotokatod üzərində lazım olan şəkildə optik maska yerləşdirilir. Ultrabənövşəyi şüalar maskadan keçərək fotokatodu şəkilin uyğun oblastlarını şüalandırır və nəticədə fotokatoddan elektronlar emissiya olunur. Bu elektronlar, istiqamətcə eyni olan bircins elektrostatik və maqnit sahələrinin təsiri ilə, rezistin səthinə proyeksiya edilir. Bu cür sistemlərin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onları submikron

ölçülərə də tətbiq etmək mümkündür.



Şəkil 3.7. Rentgen litoqrafiya üsulunun sxematik təsviri. 1a – elektron şüaları, 2a – hədəf, 3a – rentgen şüaları, 1 – şəffaf material, 2 – uducu, 3 – aralıq lay, 4 – polimer təbəqə (rezist), 5 – altlıq.

Rentgen litoqrafiya. Rentgen litoqrafiya üsulu sxematik olaraq 3.7-ci şəkildə təsvir edilir. Bu halda istifadə edilən maska rentgen şüaları üçün şəffaf olan (4) membrandan ibarətdir. Membran rentgen şüalarını güclü uda bilən materialdan hazırlanır və verilmiş şəkili özündə saxlayır. Maska radiasiyaya həssas olan rezist materialla örtülən altlıq üzərində yerləşdirilir. Maskadan D məsafədə nöqtəvi rentgen şüalarının mənbəyi qoyulur. Rentgen şüaları elektron dəstəsinin hədəf üzərinə fokuslandırılması nəticəsində yaradılır. Rentgen şüaları maskaya təsir edərək, polimer təbəqəyə rentgen şüalarını buraxmayan uducunun kölgəsi düşür. Ekspozisiyadan sonra ya pozitiv rezistdən şüalanan oblastlar, ya da neqativ rezistdən şüa təsirinə məruz qalmayan hissə kənarlaş-

dırılır. Bu halda rezistin üzərində şəkilə uyğun olan relyef alınır. Relyef alındıqdan sonra rezistdə olan pəncərədən əlavə xüsusi aşındırıcılar buraxmaqla rezistin altlığı aşındırılır.

İon-şüa litoqrafiya. Elektron və rentgen litoqrafiyasındakı məhdudiyyətlərin aradan qaldırılması yollarının axtarışı, ion-şüa litoqrafiyasının yaranmasına səbəb oldu. İon rezistində şəklin alınmasının fokuslanmış şüanın hərəkəti və topologiyanın şablondan altlıq müstəvisinə proyeksiyanması kimi iki halı mövcuddur. İon-şüa litoqrafiyası elektron litoqrafiyasının analoqudur. Mənbədə yaranan He^+ , H^+ və Ar^+ ionları cəzb olunaraq sürətlənir və elektron-optik sisteminin altlıq müstəvisinə fokuslanır. Altlıq üzərində masanı addım-addım sürüşdürməklə ölçüsü 1 mm^2 olan kadrlar alınır. Fokuslanmış ion şüaları ölçüsü $0,03\text{-}0,3 \text{ mkm}$ olan elementlərin topologiyasının alınması üçün nəzərdə tutulur. Proyeksiyalı ion-şüa litoqrafiyası en kəsiyinin sahəsi 1 sm^2 olan ion dəstələri ilə yerinə yetirilir.

ABŞ-da planar mikroelektronikanın 2010-cu ilə qədər gələcək inkişafı *Yarımkeçirici elektronikanın inkişafının Milli texnologiya xəritəsində* əks olunur. Xəritədə verilən proqnoza görə sənayedə əsas material silisium olaraq qalacaqdır. İfrat böyük inteqral sxemlərin (İBİS) istehsalında yarımkeçirici lövhələr üzərində ultrabənövşəyi və ya rentgen şüalarının təsiri ilə topoloji şəkillərin yaradılması üçün təkmilləşdirilmiş mikrolitoqrafiya prosesi təklif olunur.

2010-cu il üçün lövhənin diametrini 400 mm -ə çatdırmaq, mikrosxemlərin elementlərinin kritik ölçülərini (məsələn, cəftənin enini) isə 70 nm -ə qədər kiçiltmək və aralıq addımı $0,3 \text{ mkm}$ -ə qədər azaltmaq nəzərdə tutulur. İrəli sürülən proqnozlar artıq həyata keçməkdədir. Belə ki, optik litoqrafiya

üsulu 2003-cü ilə qədər sənayedə liderlik edərək, İBİS-in ölçüsünü 150 nm-ə çatdırmaq imkanı əldə edildi.

§3.4. Mikroelektronikanın inkişaf mərhələləri

İnteqral sxemlərdə elementlərin sıxlığı o dərəcədə artdı ki, artıq onlara bütöv bir sistem, yəni mikroelektron qurğu kimi baxmağa başladılar. Funksiyalar artdıqca, inteqral mikrosxemlər daha da mürəkkəb quruluşa malik olur. Çünki onlarda inteqrasiya dərəcəsi yüksəlir.

İnteqral mikrosxemlərin inkişafını inteqrasiya dərəcəsinə görə aşağıdakı mərhələlərə bölmək olar:

1) 1960-1969-cu illər. Bu mərhələdə üzərində 102 tranzistor yerləşən kiçik inteqrasiya dərəcəli inteqral sxemlər (KİS) istehsal olunurdu;

2) 1969-1975-ci illər. Bu mərhələdə üzərində 103 tranzistor yerləşən orta inteqrasiya dərəcəli inteqral sxemlər (OİS) istehsal olunurdu;

3) 1975-1980-cı illər. Bu mərhələdə üzərində 104 tranzistor yerləşən böyük inteqrasiya dərəcəli inteqral sxemlər (BİS) istehsal olunurdu;

4) 1980-1985-ci illər. Bu mərhələdə üzərində 105 tranzistor yerləşən ifrat böyük inteqrasiya dərəcəli inteqral sxemlər (İBS) istehsal olunurdu;

5) 1985-ci ildən sonra. Bu mərhələdə üzərində 107 tranzistor yerləşən ultra böyük inteqrasiya dərəcəli sxemlər (UBİS) istehsal olunur.

Göründüyü kimi, KİS-dən UBİS-ə qədər keçid üçün dörd də bir əsr vaxt keçmişdir. İnteqral mikrosxemlərin inkişaf prosesini təsvir edən əsas parametrlərdən biri, sxemin üzərində

də n sayda elementlərin ildən-ilə dəyişməsidir. Bu say inteqrasiya dərəcəsinə xarakterizə edir. Mur qanununa görə hər üç ildən bir inteqral sxemdə olan elementlərin sayı 4 dəfə artır. Intel və Motorola firmasının yüksək sıxlıqlı loqik kristalları – mikroprosessorları bu baxımdan geniş yayılmışdır.

1981-1982-ci illərdə UBİS inteqral mikrosxemlərin inkişafı və istehsalı litoqrafiya texnologiyası (elektron-şüa, rentgen və eksimer lazer əsasında uzaq ultrabənövşəyi şüalarla litoqrafiya) hesabına stimullaşdırıldı. 1983-cü ildə Mur Beynəlxalq konfransda qeyd etmişdir ki, mikroelektronikanın inkişaf və istehsal sürətini ABŞ-da olduğu kimi Asiya ölkələrində də bazar münasibətləri müəyyən edir. Murun bu fikri özünü həyatda doğrultdu. 1985-1987-ci illərdə ABŞ sənayesinin 80%-ni Yaponiya mikrosxemləri təmin edirdi. Çünki Yaponiya bu uğuru mikrosxemlərin texnologiyasında qazandığı yeniliklər hesabına əldə edərək, mikrosxemləri aşağı qiymətlərlə satırdı.

§3.5. İndikator və displeylərin mikroelektronikada tətbiqi

İndikatorlar. Müasir radioelektron cihazlarında (REC) müxtəlif növ, xüsusən rəqəm və hərf indikatorlarından geniş istifadə edilir. Həmin indikatorların müəyyən qismi səyriyən boşalma, digəri isə elektrovakuum cihazlarına aiddir. Bundan başqa, yarımkeçirici materiallar əsasında işləyən indikatorlar da mövcuddur. Onların haqqında əvvəlki paraqraflarda məlumat vermişik.

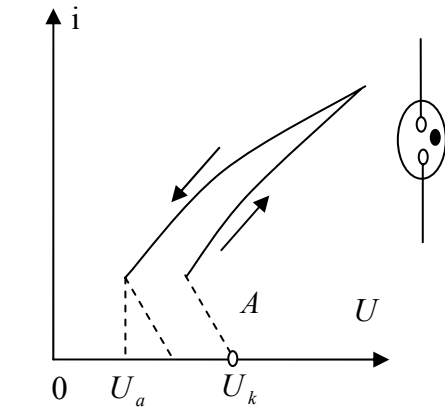
Gərginlik indikatoru kimi neon lampaları geniş tətbiq edilir. Neon lampalı gərginlik indikatoru səyriyən boşalma cihazı olub, anomal katod düşküsi rejimində işləyir. Indikator

göstərilən rejimdə işləyərkən dövrəyə mütləq məhdudlaşdırıcı müqavimət ($R_{m\dot{a}h}$) qoşulmalıdır. Əks təqdirdə dövrədə yaranan qısamüddətli böyük cərəyan lampanı sıradan çıxarar.

Lampanın volt-ampər xarakteristikası 3.8-ci şəkildə verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi boşalma yaranan (A nöqtəsi) anodda cərəyan və gərginlik sıçrayışla dəyişir, işıqlanma baş verir. Gərginliyin artımı cərəyanı bir qədər də artırır. Bu halda katodun səthində cərəyan sıxlığı və parlaqlıq artır. Boşalma kəsilən anda cərəyan sıçrayışla sıfıra düşür və gərginlik sıçrayışla artır.

Təcrübi olaraq U_k -nın minimum qiyməti lampada işıqlanmanın zəif və cərəyan şiddətinin isə ən kiçik qiymətində, başqa sözlə desək, boşalmanın sönmə anından bir qədər əvvəlki an üçün təyin edilir (şəkil 3.8). Bütün qazboşalma cihazları, xüsusən də stabilitronlar $U_a - U_k$ fərqi ilə xarakterizə olunur. Neon lampalarında boşalmadan əvvəl qaz ionlaşdığından U_a anod gərginliyinin qiyməti U_k gərginliyinin qiymətindən 10V-a qədər kiçik olur.

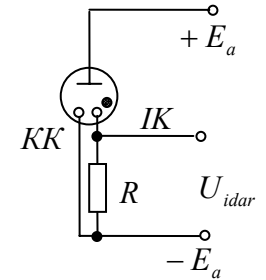
Neon lampaları sabit və dəyişən gərginliklərin indikatorları kimi tətbiq edilir. Dəyişən gərginlik halında gərginliyin ani qiyməti U_a gərginliyinə bərabər olduqda boşalma baş verir. Sənayedə müxtəlif növ neon lampaları istehsal olunur.



Şəkil 3.8. İdarəolunan indikator lampasının volt-ampər xarakteristikası

Onlarda alışma gərginliyi 50-200V və daha böyük, işçi cərəyanın qiyməti isə mA tərtibindədir.

İdarəolunan üçelektrodlü indikator lampaları böyük maraq kəsb edir. İdarəolunan üçelektrodlü indikator lampası anoddan və lampa daxilində yerləşdirilən iki: indikator və köməkçi katoddan ibarətdir. Lampanın daxilində işıqlanma ancaq indikator katodunun önündə görünür. Indikator katod (İK) R müqavimət vasitəsi ilə köməkçi katod (KK) isə birbaşa mənbənin mənfə qütbünə birləşdirilir (şəkil 3.9). Lampaya gərginlik ancaq anod dövrəsindən verildikdə köməkçi katod işləyir və boşalma baş vermir. Əgər işıqlanan indikatorun katod dövrəsinə bir-neçə volt əlavə gərginlik U_{idar} tətbiq edilərsə, onda anod ilə indikator katod arasındakı gərginlik artar, boşalma bu katoda keçər və lampa görünən oblastda işıq şüalandırır.

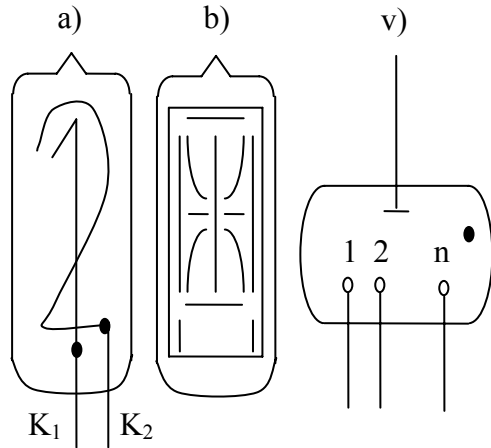


Şəkil 3.9. İdarəolunan indikator lampasının elektrik dövrəsinə qoşulması sxemi

Əgər əlavə gərginlik aradan götürülərsə, onda yenə də anod və köməkçi katod arasında boşalma yaranar. Indikator katodundakı gərginlik isə sıfıra düşər.

İşarəli səyriyə boşalma indikatorları geniş yayılmışdır. Onların prinsipial quruluşu 3.10-cu şəkildə verilmişdir. İçərisində neon qazı olan silindrin daxilində müxtəlif rəngli şüalar buraxa bilən nazik tellər yerləşdirilir (şəkil 3. 10, a). Sadəlik xatirinə şəkil 3.10 a-da 1 və 2 rəqəmlərindən ibarət olan lampa göstərilmişdir. Lampada 0-dan 9-a qədər 10 ədəd katod yerləşdirilir. Adətən anod metal tordan hazırlanır. Anodla hər hansı bir katod arasına gərginlik verildikdə həmin

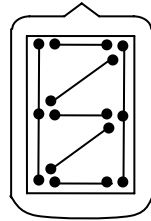
katodla anod arasında alışma baş verir, yəni işıqlı rəqəm görünür. Işıqlanan xəttin qalınlığı təqribən 1-2 mm təşkil edir. Göstərilən katodlardan başqa, seqmentli katodlardan da istifadə edilir (şəkil 3.10, b). Katodlar qoşulduqda rəqəm və yaxud digər işarələrin təsviri görünür.



Şəkil 3.10. İşarəli səyriyən boşalma indikatorlarının iki (a, b) variantı və qurğunun qrafiki təsviri (v)

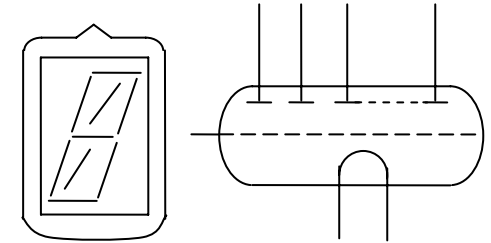
Hal-hazırda müxtəlif növ indikatorlar istehsal olunur. Belə indikatorlardan biri də işarəli közərmə vakuum indikatorlarıdır. İşarəli közərmə vakuum indikatorları rəqəm və ya hərfin şəkilində sintez olunmuş təsvir verir (şəkil 3.11). İçərisində vakuum yaradılmış silindrin içərisində volfram teldən ibarət közərmə katodları yerləşdirilir. Lampa qızdığından istiyə davamlı plata üzərində yerləşdirilir. Silindrin daxilində yerləşdirilən katodların çıxışlarından biri ümumi saxlanılmaqla digər çıxışlarla həmin çıxışın müxtəlif kombinasiya-

Şəkil 3.11. İşarəli közərmə vakuum indikatorunun sxematik təsviri



larından istifadə edərək lampa daxilində rəqəm və ya hərfin işıqlanan təsviri yaradılır. Sarı işıqlanma 1200°C işçi temperaturuna uyğun gəlir. Lampanın xidmət müddəti on minlərlə saat təşkil edir.

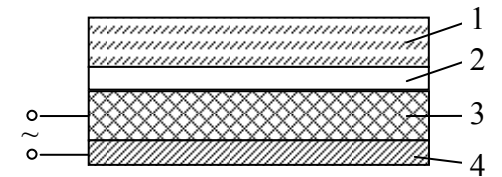
Vakuum lüminessent indikatorları çoxanodlu triod lampasıdır. Lampanın daxilində birbaşa közərdilən oksid katod, tor və seqmentinə lüminofor maddə çəkilmiş anod yerləşdirilir. İşarələrin sintez edilməsi üçün anodlar müxtəlif vəziyyətdə yerləşdirilir (şəkil 3.12). Anodları müəyyən kombinasiya ilə qoşduqda müəyyən işarəli yaşıl rəngli işıqlanma görünür.



Şəkil 3.12. Vakuum lüminessent indikatorunun qrafiki və sxematik təsviri

Elektrolüminessent indikatorları (ELİ) idarəetmə və nəzarət sistemlərində müxtəlif məlumatların təsviri üçün tətbiq edilir. Bu lampaların işi elektrolüminessensiya hadisəsinə, yəni elektrik sahəsinin təsiri altında bəzi cisimlərin işıq şüalandırmasına əsaslanır.

ELİ qurğusu müstəvi kondensator formasındadır (şəkil 3.13). 4 metal elektrod üzərinə tərkibi sulfid və ya selenid-sinkdən ibarət olan lüminofor təbəqəsi çəkilir (3). 2 şəffaf metallik təbəqədir. Indikator 1 şüşə lövhəsinin köməyi ilə xarici təsirlərdən qorunur. Əgər 4 və 2 elektrod-larına dəyişən gərginlik tətbiq etsək, onda elektrik sahəsinin



Şəkil 3.13. Elektrolüminessent lampanın prinsipial quruluşu

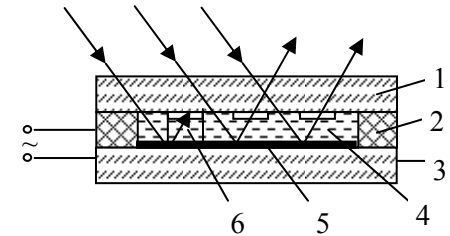
təsiri altında 3 təbəqəsində işıqlanma yaranır.

2 şəffaf elektrodu qurğuşun-oksiddən hazırlanır və bütöv şəkildədir, 4 elektrodu isə hərf, rəqəm, işarələrin və ya hən-dəsi fiqurların seqmentlərinin sintezindən ibarət olan formada olur. Bu növdən olan indikatorlar müxtəlif ölçüdə olub, qaranlıq fonda işıqlı təsvir və ya işıqlı fonda qaranlıq təsvir verirlər. Həmçinin təsvirlər birrəngli və ya çoxrəngli də ola bilər.

Hərf-rəqəm seqment indikatorları geniş yayılmış indikatorlardandır. Onlarda rəqəmin təsviri üçün 7-9 seqment yerləşir. 19 seqmentli indikatorların köməyi ilə bütün kiril və latın əlifbasından olan hərflərin təsvirini almaq mümkündür. ELİ-lər adətən plastmas gövdə üzərində hazırlanır. Indikatorlar tezliyi 400-1200 Hz olan 220V dəyişən sinisoidal gərginliklə qidalandırılır. Işıqlanan işarələrin xətti ölçüləri 1-100 mm tərtibində olur və bu işarələrin ölçülərindən asılı olaraq 0,1-100 mA qədər cərəyan şiddəti tələb olunur. Xidmət müddəti bir-neçə min saat təşkil edir. Indikatorlar normal iş rejimini ətraf mühitin $-40 \div 50^{\circ}\text{C}$ temperaturuna kimi saxlayır. ELİ-lərin əsas üstünlükləri – gücə tələbatın az, təsvirin parlaq, müstəvi formanın, mexaniki möhkəmliliyin və istismar müddətinin böyük olmasıdır. Indikatorun çatışmazlığı isə digər indikatorlarda olduğu kimi, tətbiq edildikdə mürəkkəb idarəetmə sisteminin tələb olunmasıdır.

Mayekristallı indikatorlar. Mayekristallı indikatorlar (MKİ) maye kristallar əsasında hazırlanır. Məlumdur ki, maye kristallar nizamlı atom düzülüşünə malik olub, işıq şüaları üçün şəffafdırlar. Lakin onlara intensivliyi 2-5 kV/sm olan elektrik sahəsi tətbiq etdikdə onlarda atomların nizamlı quruluşları pozulur və maye qeyri-şəffaf hala keçir.

Ən çox yayılan MKİ-lar qol saatlarında, mikrokalkulyatorlarda və digər qurğularda tətbiq edilir. 3.14-cü şəkildən göründüyü kimi iki 1 və 3 şüşə lövhələri 2 polimer qatranın köməyi ilə bir-birinə yapışdırılır və onların arasında qalınlığı 10-20 mkm olan 4 maye kristal təbəqəsi yerləşdirilir. 3 lövhəsinin daxili səthində şəffaf çıxışlar qoyulur. Çıxışlar (elektrodlar) rəqəm, hərf və ya seqmentlər formasında müxtəlif işarələrin təsvirini verir. Hər hansı bir elektroda, müəyyən gərginlik versək, onda maye kristal həmin elektrodun altında qeyri-şəffaf halda olduğuna görə işıq şüası kristalın həmin hissəsindən keçə bilmədiyi üçün (şəkil 3.14, 6) işıqlı fonda qara işarə görünür.



Şəkil 3.14. Maye kristallı indikatorun prinsipial qurğusu və işləmə mexanizminin təsviri

Mayekristallı indikatorlar iqtisadi cəhətdən səmərəlidir, onlarda cərəyanın qiyməti 1 mA-i aşmır və xidmət müddəti on minlərlə saata çatır. Onların çatışmazlığı – ətalətli olması, yəni işarənin görünməsi və ya yox olması, müddətinin xeyli böyük olmasıdır (200 ms).

Display. Display – məlumat sisteminin sonuncu qurğusu olub, insanla maşın arasında əlaqə yaradır və məlumatın təsvirini verməyə xidmət edir. Kiçik ölçülü displeylərdən elektron saatlarında və mikrokalkulyatorlarda geniş istifadə olunur.

Sənayedə istifadə olunan displeylər iki qrupa bölünür: işıq şüalandıran və işıq modullaşdırıcı.

İşıq şüalandıran display parlaq işıqlanma verir. Çünki,

display işıqlı hava şəraitində işlədiyindən işarələrin təsviri daha çox parlaq olmalıdır. Bundan başqa şüalanan işığın rənginin də müəyyən rolu vardır. Belə ki, insanın gözü yaşıl və Sarı-yaşıl rənglərə qarşı daha çox həssasdır. Təsvir aydın olmalıdır. Display həmçinin geniş diaqrama malik olmalıdır ki, müxtəlif bucaqlar altında təsvir aydın görünsün.

Displaylərin idarə olunması üçün müxtəlif qiymətə və amplituda malik cərəyan və gərginlikdən istifadə edilir. Gücə tələbatı kiçikdir. İnteqral sxemlər əsasında işləyən displaylərə tətbiq edilən gərginliyin qiyməti 30 V-dan böyük olmamalıdır. Ölçüləri böyük olan displaylərin gücə tələbatları və f.i.ə.-ı böyükdür. Displaylərin təsir sürəti kiçik olmalıdır, çünki insanın gözü 0,1 saniyədən tez dəyişən siqnalları görmür. Displaylərin ayırdetmə qabiliyyəti onlarda müşahidə edilən elementlərin minimal ölçüləri ilə təyin olunur. Məsələn, müşahidə edilən element əgər kvadratsırsa, onda kvadratin tərəfi 50 mkm-dən kiçik olmamalıdır. Bəzi displaylər üçün elementin ölçüsü bir qədər də kiçik ola bilər. Lakin, bu halda elementin ölçüsü və parlaqlığı displaydən müşahidəçiyə qədər olan məsafədən asılıdır.

Yaddaşlı displaylər də mövcuddur. Onlar az enerji sərf etməklə müəyyən təsvirləri uzun müddət (bəzən enerji tələb etmədən) saxlamaq qabiliyyətinə malikdirlər.

İndi isə işıq şüalandıran müxtəlif növ displaylərə baxaq. Elektron-şüa displaylərdə elektron-şüa borusundan istifadə edilir.

İşıq diodları əsasında hazırlanan displaylər kiçik ölçülü (bir neçə santimetr) olub, kiçik gərginlik tələb edir (5V-dan kiçik).

Qazboşalma elementləri əsasında hazırlanan displaylər və ya plazma displayləri keçirici zolaqlar şəkilində bir-biri ilə

qarşılıqlı perpendikulyar olan elektrodlar sistemindən ibarətdir. Elektrodlar arasında –neon, ksenon və ya qaz qarışıqları doldurulmalıdır. Bu cür sistemləri bəzən qazboşalmalı indikator panelləri də (QİP) adlandırırlar. Zolaqlı displaylər müxtəlif sayda, məsələn, 512 ədəd üfuqi və o qədər də şaquli sayda elektrodlardan ibarətdir. Buraxma qabiliyyəti 1 mm olan xəttlərin sayı ilə xarakterizə olunur. Bundan başqa nöqtəvi elektrodlardan da istifadə edilir.

Neon narıncı rəngdə işıqlanma verir. Bəzən elektrodların yerləşdiyi altlığa başqa rəngdə işıq buraxa bilən luminofor maddəsi çəkilir. Bu növ displaylər həm sabit, həm də dəyişən cərəyanla işləyir. Elektroluminescent displaylər elektroluminescent indikatorlardan hazırlanır.

Maye kristall displaylər (MKD) az güc tələb edir, yaxşı təsvir verir, ucuzdur, kiçik (məsələn elektron saatlarında) və böyük ölçüdə hazırlanır.

Elektroxrom displaylər (EXD) elektroxrom effektinin tətbiqinə əsaslanır. Elektroxrom effekti ondan ibarətdir ki, müəyyən maddədən elektrik cərəyanı keçdikdə və ya ona elektrik sahəsi tətbiq edildikdə maddənin rəngi dəyişir. Elektroxrom maddəsi olaraq çox zaman WO_3 -volfram 3-oksiddən istifadə edilir. Elektrik sahəsinin təsiri ilə o göy rəng alır. Bu halda volfram 3-oksit maddəsi 0,5-1,5V gərginlik tələb edir. Tətbiq edilən gərginliyin istiqamətini dəyişdikdə maddə başlanğıc halındakı rənginə keçir. Bu növ displaylər *yaddaşa* malikdirlər, yəni rənglərini müəyyən müddətə qədər saxlamaq qabiliyyətinə malikdirlər (1 dəqiqə və ya saat). WO_3 EXD-nin çatışmamazlığı da mövcuddur. Təsir sürəti kiçik, ömrü isə qısa olduğuna görə başqa maddələr əsasında yeni displaylərin hazırlanması istiqamətində tədqiqat işləri

davam etdirilir.

Elektroforez displeylər (EFD) elektroforez hadisəsinə əsaslanır. Elektrik sahəsinin təsiri altında mayədə asılı vəziyyətdə olan məsələn, rənglənmiş piqment hissəcikləri elektrod tərəfindən cəzb və ya itələnərək maye daxilində gərginliyin qiymətindən asılı olaraq hərəkət edirlər. Cərəyana tələbatı azaltmaq məqsədi ilə dielektrik xassələrinə uyğun olan maye seçilir. Piqmentin rəngi mayenin rəngindən kəskin fərqlənməlidir. EFD-ə tətbiq edilən gərginliyin qiyməti 10 voltlarla götürülür. Fasiləsiz on minlərlə saat işləmək qabiliyyətinə malikdir. Bu müddət ərzində displaydə rəng on millionlar dəfə dəyişə bilər. Digər displeylərdə olduğu kimi, elektroforez displeylərdə də təsir sürəti kiçikdir.

Fərdi kompüter. Kompüter digər texnologiyalardan özünün sürətli və geniş təzahürü, çox müxtəlif sferalara nüfuz etməsi ilə fərqlənir. Baxmayaraq ki, müasir kompüter texnikası təkcə hesablama proseslərində deyil, daha geniş tətbiq sahələrinə və imkanlarına malikdir, onun meydana gəlməsi ilk növbədə hesablama texnikasının inkişafına borcludur. Birinci nəsil EHM-in etibarlılığının kiçik olması, qiymətinin bahalı və proqramlaşdırılmasının çətinliyi səbəbindən uzun müddət tətbiq edilmədi və *səhnədən* çox tez getdi. Bu maşınları element bazası yarımkeçiricilər olan ikinci nəsil EHM əvəz etdi. Hətta çox da təkmil olmayan ilk tranzistorların reaksiyası lampanın reaksiyasından yüz dəfələrlə böyük idi. Onlar etibarlılığı və dəyərinə görə də əlverişli olmaqla EHM-in tətbiq sahələrini xeyli genişləndirdi. Bundan sonra EHM-in gəmilərdə, təyyarələrdə yerləşdirilməsinə imkan yarandı və onlara ehtiyac xeyli artdı. Tranzistorlar əsasında ilk kütləvi EHM eyni vaxtda ABŞ, Almaniya

və Yaponiyada 1958-ci ildə meydana gəldi. 1961-ci ildə artıq 587 mikrosxem əsasında eksperimental EHM yaradıldı. 1962-ci ildə mikrosxemlərin, 1964-cü ildə isə, IBM firması tərəfindən integral elementlər əsasında, IBM-360 maşınlarının kütləvi istehsalına başladılar. 1976-cı ildə böyük integral sxemlər (BİS) əsasında dördüncü nəsil hesablama maşınları meydana gəldi.

1976-cı ildə iyirmi yaşlı Amerikalı texnik Stefan Voznyak və Stiv Cobs özlərinin şəxsi qarajlarında yeləşən primitiv emalatxanalarında ilk kiçik, lakin çox vədədici fərdi kompüterlərini yaratdılar. Qeyd etmək lazımdır ki, onların heç biri xüsusi ixtisasa malik deyildilər. Bu kompüter *Appl (Alma)* adlandırdılar və o, videooyunlar üçün nəzərdə tutulsa da, proqramlaşdırma üçün də imkanlara malik idi. IBM firması ilk dəfə 1981-ci ildə özünün IBM PC fərdi kompüterlərini buraxdı.

Kompüterlərdə sürət və yaddaş tutumu bir-birinə əks yönəldiyindən (yaddaş tutumu böyük olduqca, sürət kiçilir) müasir kompüterlərdə yaddaş çox pilləli struktur əsasında hazırlanır. Adətən yaddaş iki qrupa (əsas və xarici) ayrılır. Əsas yaddaş da öz növbəsində iki hissədən ibarət olur – operativ (OYQ) və daimi (DYQ) yaddaş qurğusu.

İstənilən EHM-nin ən vacib bloku silisium kristallı əsasında hazırlanmış integral mikrosxemdən – prosessordan ibarətdir. Mikroprosessorda maşının *ürəyi və beyni* sayılan mürəkkəb məntiq sxemi reallaşdırılır.

İnformasiyanın təzahürü üçün elektron-şüa borusundan ibarət, öz quruluşuna görə televizora bənzəyən displaydən və ya monitordan istifadə edilir.

IV FƏSİL

FİZİKİ ELEKTRONİKANIN YENİ SAHƏLƏRİ

§4.1. İfrat yüksək tezliklər elektronikası

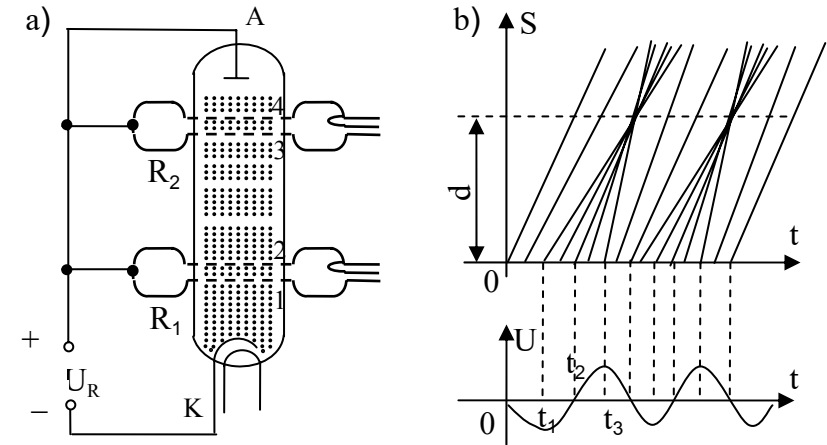
İfrat yüksək tezliklər (İYT) oblastında işləyən xüsusi cihazların iş prinsipi sabit elektrik sahəsində sürətlənən elektronların İYT elektromaqnit sahəsində tormozlanaraq öz enerjisini sahəyə ötürməsi prosesinə əsaslanır.

İYT elektron cihazları iki qrupa bölünür: O- və M-tipli cihazlar. O-tip cihazda sabit maqnit sahəsi yoxdur və ya ancaq elektron dəstəsinin fokuslanması üçün tətbiq edilir. M-tip cihazda isə qarşılıqlı perpendikulyar (çarpaz) elektrik və maqnit sahələri təsir göstərir. Bu sahələrin birgə təsiri elektronların trayektoriyasını təyin edir.

Hal-hazırda texnikada O-tip cihazlardan klistronlar, qaçan dalğa lampaları (QDL) və əks dalğa lampaları (ƏDL), M-tip cihazlardan isə maqnetronlar istifadə edilir.

Klistron. Klistronların başlıca olaraq iki növü tətbiq edilir: rəqslərin gücləndirilməsi və generasiyası üçün istifadə olunan (iki- və çoxrezonatorlu) uçuş klistronu və generator kimi işləyən (birrezonatorlu) əksetdirici klistron. Klistronun normal işləməsi üçün elektronun cihaz daxilindəki uçuş müddəti kifayət qədər böyük olmalıdır. Uçuş klistronu ilk dəfə D.A.Rojanskiy tərəfindən yaradılmışdır. Şəkil 4.1-də qurğunun sxemi (a) və rəqslərin gücləndirilməsi üçün tətbiq edilən ikirezonatorlu uçuş klistronunun iş rejimi (b) təsvir edilir. Elektron dəstəsi R_1 və R_2 həcmi rezonatorların divarlarından – iki cüt tordan (bəzən tor əvəzinə sadəcə rezonatorların

divarlarında kiçik dəliklər açılar) keçərək katoddan anoda doğru hərəkət edir. R_1 rezonatoru giriş konturu rolunu oynayır. Kontura koaksial xətlərin və əlaqə dolaqlarının köməyi ilə tezliyi f olan gücləndirilmiş rəqslər daxil olur. Rezonatorun 1 və 2 torları modulyator (qruplaşdırıcı) əmələ gətirir. Modulyatora düşən elektron dəstəsi modullaşır. Çıxış konturu olan R_2 rezonatorunda rəqslər güclənir. Rəqslər koaksial xətlərin və əlaqə dolaqlarının köməyi ilə sürətləndirilir. 3 və 4 torları isə tutucu əmələ gətirir. Hər iki rezonatora və anoda müsbət U_m potensialı verilir. Həmin potensial 1 toru ilə katod arasında sürətləndirici sahə yaradır. Sahənin təsiri ilə elektronlar v_0 sürəti ilə modulyatora doğru hərəkət edir.



Şəkil 4.1. İkirezonatorlu uçuş klistronunun prinsipli quruluşu (a) və elektron sıxlaşmasının qrafiki təsviri (b)

Əgər R_1 rezonatorunda rəqslər yaranarsa, onda 1 və 2

torları arasında elektron dəstəsinə təsir edən və onun sürətini modullaşdıran dəyişən elektrik sahəsi yaranır. Həmin yarımperiodda yəni, 2 torunda müsbət, 1 torunda isə mənfi dəyişən potensial olduqda, torlar arasında sahə sürətləndirici olur və modulyatordan keçən elektronlar əlavə Δv sürətini qazanır. Sonrakı yarımperiodda 2 torunda mənfi, 1 torunda isə müsbət potensial yaranır, yəni sahə elektronlar üçün tormozlayıcı rolunu oynayır. Bunun nəticəsində elektron dəstəsi öz sürətini Δv qədər azaldır. Modulyatorun gərginliyi sıfıra bərabər olduqda ondan ancaq sürətləri v_0 olan elektronlar keçir.

Beləliklə, 3 və 2 torlarının dreyf (və ya qruplaşma) fəzası adlanan aralığına sürətləri müxtəlif olan elektronlar düşür. Bu aralıqda potensiallar fərqi sıfıra bərabər olduğundan elektronlar sürətlərini dəyişmədən, öz ətaləti hesabına fəzada hərəkət edir. Sürətləri böyük olan elektronlar isə kiçik sürətli elektronları qabaqlayır. Nəticədə elektron dəstəsi sıx yığılan qrupa (elektron sıxlaşmasına) bölünür. Sürətə görə elektron dəstəsi modulyasiyaya uğradığından, dreyf fəzasında həmin dəstə sıxlığına görə də modulyasiya olunur.

Elektron sıxlaşmasını qrafiki təsvir etmək də mümkündür. Şəkil 4.1b-də müxtəlif t zaman anlarında modulyatora nəzərən keçən elektronların getdiyi s yolun və R_1 rezonatorunun dəyişən gərginliyinin qrafikləri verilmişdir. s -məsafəsi modulyatordan hesablanır. Dreyf fəzasında elektronlar bərabər-sürətli hərəkət etdiyindən onların hərəkət qrafiki xətti olur. Xəttin meyli isə hərəkət sürətini göstərir.

t_1 , t_2 və t_3 zaman anlarında modulyatordan keçən üç elektronun hərəkətinə baxaq. Fərz edək ki, modulyatora doğru elektronlar eyni bir sürətlə hərəkət edir və onların modul-

yatordan uçuş müddəti perioddan xeyli kiçikdir. Onda t_2 anında modulyatordan keçən elektronlar daha da uzaqlaşır və elektronların hərəkət qrafiki meylli düzxətt verir. t_1 anında modulyatordan keçən elektronlar rezonatorla tormozlandığına görə sürətləri azalır və qrafikdə düz xəttin meyl bucağı kiçilir. t_3 anına uyğun elektronlar isə rezonatordan əlavə enerji alaraq sürətlənir və onların qrafikində düz xəttin meyl bucağı böyük olur. Hər üç xətt eyni bir nöqtədə kəsişir. Bu isə o deməkdir ki, elektronlar trayektoriyasının həmin nöqtəsində qruplaşır. Müəyyən müddətdən sonra modulyatordan keçən digər elektronlar da həmin nöqtəyə gəlir. t_1 zaman anından əvvəl və t_3 zaman anından sonra modulyatordan keçən elektronlar isə qruplaşma nöqtəsindən keçmir.

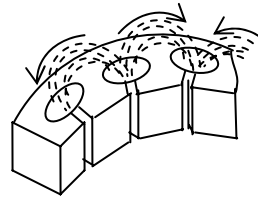
Beləliklə, modulyatordan keçən elektronlardan ancaq gərginliyin artan yarımperiodunda keçən elektronlar qruplaşır.

İki rezonatorlu klistronlar İYT cihazlarının ötürücü qurğularında gücləndirici və tezlik çoxaldıcıları kimi istifadə olunur. Praktikada həm ikirezonatorlu həm də çoxrezonatorlu klistronlardan istifadə edirlər. İki rezonatorlu klistron tezliyi 10 dəfə, çoxrezonatorlu klistronlar isə 10^6 dəfə artırmaq iqtidarına malikdirlər.

D.A.Rojanskidən fərqli olaraq V.F.Kovalenko əksetdirici birrezonatorlu klistron yaratmışdır. Həmin işlərinin yeniliyi onda idi ki, burada bir həcmi rezonatordan həm modulyator, həm də tutucu kimi istifadə edirdi. Faydalı iş əmsalı ($F_{\text{İӨ}} = 1\% \div 5\%$) kiçik olan bu növ klistronların gücü 1 Vt-dan böyük olmur. Ona görə də belə klistronlar xüsusi qurğularda – heterodin radioqəbuledicilərində və ölçü cihazlarında tətbiq edilir. Belə qurğularda əksetdirici klistronun faydalı gücü $0,01 \div 0,1$ Vt intervalında dəyişir.

Maqnetron. İYT diapazonunda generasiya üçün tətbiq edilən elektron cihazlarından biri də maqnetronlardır. Radio-lokasiya stansiyalarının ötürücülərində, yüklü zərrəciklərin sürətləndiricilərində, yüksək tezlikli qızdırıcılarda və digər hallarda maqnetronlar geniş tətbiq edilir. Maqnetronlarda elektrik və maqnit sahələrinin birgə təsiri nəticəsində elektron dəstəsində yüksək tezlikli rəqslərin generasiyası baş verir. Müasir dövrdə geniş tətbiq edilən çoxrezonatorlu maqnetronların yaradılması ideyası M.A.Bonç-Bruyeviçə məxsusdur. Cihazın ilk nümunəsini N.F.Alekseyev və D.E.Malyarov yaratmış və yoxlamadan keçirmişlər.

Maqnetron anoddan və böyük sahəyə malik oksid katoddan ibarət olan həcmli dioddur. Anod qalın qatlardan ibarət olan mis lövhələrdən hazırlanır. Anodla katod arasındakı vakuum fəzası qarşılıqlı təsir fəzası adlanır. Qalın qatlı anodda cüt sayda (məsələn 8 ədəd) silindrik oyuc şəkilli rezonatorlar yerləşir. Silindrik oyucqlarla qarşılıqlı fəza arasında əlaqə yaratmaq məqsədi ilə silindrin yan divarı kəsik şəkilli olur. Silindrdəki kəsik kondensator rolunu oynayır. Kəsinin yuxarı səthində dəyişən elektrik yükləri, aralıqda isə elektrik sahəsi təsir göstərir. Bir rezonatorun dəyişən maqnit qüvvə xətləri digər rezonatorun maqnit qüvvə xətlərini örtür. Ona görə də maqnetronun rezonatorlarının hamısı bir-biri ilə sıx bağlı olur (şəkil 4.2).



Şəkil 4.2. Qonşu rezonatorlararası maqnit əlaqələri

Rezonatorların N sayı, B maqnit induksiyası və generasiya olunan rəqsin f tezliyi arasında

$$NB = af, \quad (4.1)$$

kimi əlaqə yaranır. Burada a – konstruksiyadan asılı olan əmsaldır.

Maqnit induksiyası isə anod gərginliyinin kvadrat kökü ilə düz mütənasibdir:

$$B = b\sqrt{U_a} \quad (4.2)$$

Burada b – sabit kəmiyyətdir.

(4.1) və (4.2) ifadələrindən görünür ki, daha yüksək tezliklər almaq üçün rezonatorların sayını, yaxud da maqnit induksiyasını və anod gərginliyini artırmaq lazımdır.

Adətən maqnit induksiyası 0,1 ÷ 0,5 Tl arasında dəyişir. Desimetrlik diapazonda impuls rejimində işləyən maqnetronlar on min kilovat gücündə, santimetrlik diapazonda işləyən maqnetronlar isə – min kilovat gücündə hazırlanır. Ən güclü maqnetronların anodlarının impuls gərginliyi on kilovolt, anod cərəyanı isə – yüz amper tərtibindədir. Desimetrlik dalğalarda fasiləsiz rejimdə işləyən rezonatorlarda güc on kilovat, santimetrlik dalğalar rejimində isə – bir kilovat tərtibində olur. Güclü maqnetronlarda məcburi olaraq hava və ya su soyuducuları tətbiq edilir. Onlarda FİƏ 70% və hətta desimetrlik və santimetrlik dalğalar rejimində 30-60%-a çatır.

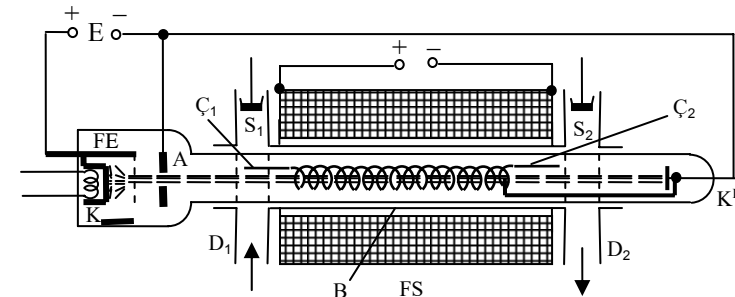
Son dövrlərdə maqnetronların yeni növü tətbiq edilir. Niqotron adlanan bu maqnetronu rus akademiki P.L.Kapitsa irəli sürmüşdür. Niqotron silindr şəkilli həcmi rezonator olub simmetriya oxu istiqamətində sabit maqnit sahəsi təsir göstərir. Bu rezonatorun daxilində koaksial seqment sistemləri formasında katod və anod yerləşir. Əsas rezonatorun yüksək keyfiyyətli olması rəqsin stabil tezliyə malik olmasını təmin edir. Desimetrlik dalğalarda fasiləsiz iş rejimində niqotronun giriş gücü 100 kVt və FİƏ 50%-ə çatır.

Qaçan dalğa lampaları. Klistronlarda olan özünəməxsus

çatışmazlıqlar qaçan dalğa lampalarında (QDL) və əks dalğa lampalarında (ƏDL) müəyyən qədər aradan götürülür.

QDL-də gücləndirmə və FİƏ klitronlara nisbətən bir qədər böyükdür. Çünki, QDL-də elektron dəstəsi yolun böyük hissəsində dəyişən elektrik sahəsi ilə qarşılıqlı təsirə girir və öz enerjisinin müəyyən hissəsini rəqslərin güclənməsinə sərf edir. QDL-də elektron dəstəsi klitrondakına nisbətən zəifdir və ona görə küyün səviyyəsi də zəifdir. QDL-də rəqs sistemləri olmadığından tezliyin buraxma zolağının eni böyük, örtmə əmsalı isə 2-4-ə bərabərdir. Zolağın eni lampa ilə deyil, lampanın xarici dövrə ilə əlaqəsinə xidmət edən əlavə qurğularla məhdudlanır. Min hers tezliklərdə lampanın buraxma zolağının eni yüz meqahersə bərabər olur. Odur ki, bu lampalardan radiolokasiyada və müasir dövrdə bütün radorabitədə istifadə edilir.

«O»- tipli qaçan dalğa lampalarının sxematik şəkli 4.3-də göstərilir. Lampa uzun silindrik borudan ibarət olub, daxilində sol tərəfdə közərmə K katodlu elektron topu, fokuslayıcı FE elektrodu və A anodu yerləşir. Topdan çıxan elektron dəstəsi koaksial xətlərdən ibarət olan daxili naqilin yavaşıcı sistemindən (məsələn, məftil spiraldan) keçir. B-metal borusu xarici naqil rolunu oynayır. Spiral xüsusi izolyatora bərkidilir (sadəlik üçün onlar göstərilməmişdir). Sabit cərəyan mənbəyindən qidalanan fokuslayıcı sarğı (FS), elektronların bir-biri ilə qarşılıqlı təsirindən dəstənin genişlənməməsi üçün bütün dəstə boyu onu sıxır. Fokuslayıcı sarğı əvəzinə bəzən sabit maqnitdən istifadə edilir. Maqnitli fokuslayıcı sistemin ölçüləri böyük olduğuna görə hazırda QDL-da elektron dəstəsi elektrostatik sahənin təsiri ilə fokuslanır.



Şəkil 4.3. O-tipli QDL-in prinsiplial qurğusu

Gücləndirilmiş rəqslər D_1 giriş dalğa ötürücüsünün köməyi ilə QDL-ə daxil olur. Spiralın C_1 çıxışı D_1 , C_2 çıxışı isə rəqsləri yaradan D_2 dalğaötürücüsündə yerləşir. S_1 və S_2 sürgü qolları dalğaötürücünü spiral ilə uzlaşdırır, yəni spiral boyunca qaçan dalğaların yayılmasını təmin edir. Spiralı dəlib keçən elektron şüası elektrik dövrəsinə daxil edilən K' kollektoruna düşür. 4000 MHz tezliklərdə spiralın xarici dövrə ilə əlaqəsini, biləvasitə koaksial xətlər yaradır, çünki, böyük tezliklərdə dalğaötürücü də iri olur.

Spiral elə hazırlanır ki, onun oxu istiqamətində dalğanın faza sürəti $v_f \approx 0,1 \cdot c = 0,1 \cdot 300000 = 30000$ km/san, dolaqların sayı onlar və ya yüzlərlə; santimetrlik dalğalar üçün isə spiralın uzunluğu 10-30 sm, diametri isə bir neçə millimetr olur.

Çıxış gücünə görə QDL az küylü (QDL-də dəstənin cərəyanı 100-200 mKA, çıxış gücü 0,01 Vt), kiçik güclü (2Vt-ə qədər) QDL-də dəstənin cərəyanı bir və ya on milliamper, gücləndirmə əmsalı yüz min; orta QDL-də gücləndirmə əmsalı mindən az, dəstənin cərəyanı 0,01 mA-1A; ifrat güclü QDL-də isə faydalı gücü 100kVt, FİƏ 40% tərtibində olur. QDL əksər hallarda impuls rejimində istifadə olunur və

onların gücü 10 MVt-ə bərabərdir. FİƏ artırmaq məqsədi ilə klistronda olduğu kimi, qruplaşma prinsipi tətbiq edilir. Bu növ QDL *twistron* adlanır və onlarda FİƏ 50% təşkil edir.

Əks dalğa lampalarının (ƏDL) iş prinsipi də QDL-in iş prinsipi kimidir. Əks dalğa lampalarını *karsinotron* da adlandırırlar. Bu lampalar QDL-dən fərqli olaraq, əsasən rəqslərin generasiyası üçün tətbiq edilir. Onlar gücləndirmə rejimində də işləyə bilər.

Müasir dövrdə ƏDL-in yeni M-tipləri də yaradılmışdır ki, bunların da iş prinsipi maqnetronların iş prinsipinə oxşayır. Başqa sözlə desək, *amplitron* və *karmatron* adlanan ƏDLM-lərdə də maqnetronlarda olduğu kimi közərdilən silindrik katod tətbiq edilir.

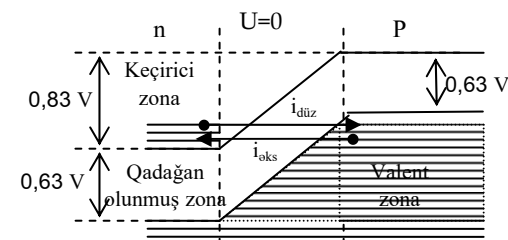
§4.2. Tunel diodları

Tunel diodu Yapon alimi L.Yesaki tərəfindən kəşf edilmişdir. İlk tunel diodları germaniumdan və ya arsenid-qalliumdan hazırlanırdı. Adi diodlara nisbətən tunel diodunda aşqarın konsentrasiyası 10^{19} - 10^{20} sm⁻³, xüsusi müqaviməti isə $100 \div 1000$ dəfə fərqlidir. Bundan başqa bu diodların hazırlanmasında istifadə edilən yarımkeçiricilər cırılmış olduğundan elektron-deşik keçidinin qalınlığı (10^{-6} sm) adi diodlarınkindən 10 dəfə kiçik, potensial çəpərin hündürlüyü isə 2 dəfə böyükdür. Adi yarımkeçirici diodlarda potensial çəpərin hündürlüyü qadağan olunmuş zonanın eninin təqribən yarısına bərabər olur. Tunel diodlarında isə əksinə, potensial çəpərin hündürlüyü qadağan olunmuş zonanın enindən böyükdür. Ona görə də tunel diodlarında keçidin qalınlığının kiçik olması hesabına (xarici sahə olmadıqda belə)

buradakı sahənin intensivliyi 10^6 V/sm-ə çatır. Həmin sahənin təsiri altında elektron-deşik keçidində yükdaşıyıcıların diffuziyası və onların əks istiqamətdəki dreyfi baş verir. Bu proseslərdən əlavə, diodda tunel effekti əsas rol oynayır. Kvant nəzəriyyəsinə görə effektin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, elektronlar potensial çəpərdən enerjilərini dəyişmədən keçə bilər. Əgər tunel keçidinə uğrayan elektronlar üçün qarşı tərəfdə boş yer varsa, onda enerjisi potensial çəpərin enerjisindən kiçik olan elektronların hər iki istiqamətdə keçidi baş verə bilər. Klassik fizika baxımından oxşar halın baş verməsi mümkün deyil (haradakı, elektrona materiyanın mənfi yüklü hissəciyi kimi baxılır), lakin kvant mexanikasının qanunlarına tabe olan mikroaləm çərçivəsi daxilində məlumdur ki, elektron ikili xassəyə malikdir: bir tərəfdən o, hissəcikdir, digər tərəfdən isə elektromaqnit dalğasıdır. Elektromaqnit dalğası sahə ilə qarşılıqlı təsirə girmədən potensial çəpərdən keçə bilər.

Tunel diodlarında baş verən proseslərə n- və p-oblastlarının keçirici və valent zonalarının enerji diaqramında baxmaq əlverişlidir. n-p-keçidində kontakt potensiallar fərqi yaranmasına görə bütün zonaların sərhədi (potensial çəpərin hündürlüyü ilə qadağan olunmuş zonanın eninin fərqi bərabər qiymətdə) digər zonaya keçir.

Şəkil 4.4-də enerji diaqramının köməyi ilə tunel diodunda elek-



Şəkil 4.4. Termodinamik tarazlıq halında ($U=0$) tunel diodunda n-p-keçidinin zona-enerji diaqramı

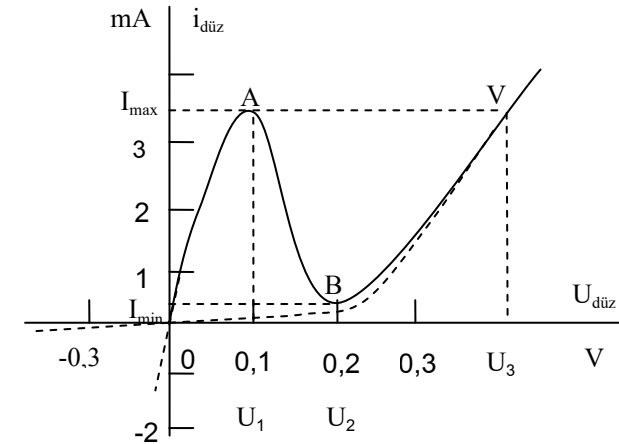
tron-deşik keçidinin xarici elektrik sahəsi olmadıqda $U = 0$, enerji diaqramı təsvir edilmişdir. Tunel effektinin təsvirini vermək üçün çətinlik törətməsin deyə, şəkildə diffuziya və dreyf cərəyanları oxlarla göstərilmişdir. Potensial çəpərin hündürlüyü 0,83 eV, qadağan olunmuş zonanın eni isə 0,63 eV-dur. Üfüqi xətlərlə, elektronlarla tam və ya qismən tutulmuş keçirici və valent zonaların enerji səviyyələri göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, n-tip yarımkəçiricinin keçirici və p-tip yarımkəçiricinin valent zonası eyni enerjili elektronlarla tutulmuşdur. Ona görə də elektronların n-hissədən p-hissəyə ($i_{düz}$ – düz tunel cərəyanı) və əksinə ($i_{əks}$ – əks tunel cərəyanı) tunel keçidi baş verə bilər. Bu iki cərəyan qiymətcə bərabər olan istiqamətcə bir-birinin əksinə yönəldiyindən onların cəmi sifra bərabərdir.

Tunel diodunda baş verən fiziki prosesləri onun volt-ampere xarakteristikası əsasında izah edək (şəkil 4.5). Şəkildən göründüyü kimi, $U = 0$ olduqda keçiddən axan yekun cərəyan sifra bərabərdir. Dioda tətbiq edilən düz gərginliyi 0,1 V-a qədər artırıdığında, düz tunel cərəyanı maksimum qiymət alır (şəkil 4.5-də A nöqtəsi). Düz gərginliyin sonrakı 0,2 V-a qədər artırılması tunel cərəyanını azaldır. Ona görə də xarakteristika AB düşmə hissəsinə malik olur. Bu hissəyə dəyişən mənfi diferensial müqavimət uyğun gəlir:

$$R_i = \frac{\Delta u}{\Delta i} < 0 \quad (4.3)$$

Mənfi diferensial müqavimət hissəsini keçdikdən sonra diffuziya cərəyanı hesabına düz cərəyan yenidən artır (şəkil 4.5-də qırıq xətlərlə göstərilir). Tunel cərəyanı B nöqtəsindən

sonra çox kiçik olduğuna görə onu diffuziya cərəyanı ilə cəmlədikdə BV bütöv xətti alınır. Adi diodlardan fərqli olaraq tunel diodlarında əks cərəyan xeyli böyükdür.



Şəkil 4.5. Tunel diodunun volt-ampere xarakteristikası

Tunel diodlarının əsas parametrləri aşağıdakılardır:

– I_{mak} – maksimum və I_{min} – minimum cərəyanı (bəzən onların nisbəti kimi göstərilən $\frac{I_{mak}}{I_{min}}$ kəmiyyəti);

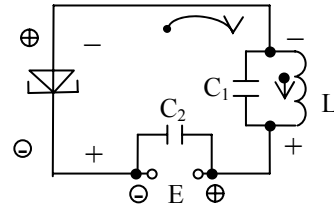
– U_1 – maksimum, U_2 – minimum və diffuziya qolunda düzünə cərəyanın I_{mak} -a bərabər olduğu U_3 gərginliyi. $\Delta U = U_3 - U_1$ fərqi keçid və ya sıçrayış gərginliyi adlanır. Müasir tunel diodlarında I_{mak} bir neçə milliamper, uyğun U_1 gərginliyi isə 0,1 volt tərtibində olur;

- diodun mənfi diferensial müqaviməti (bir neçə on Om)
- diodun ümumi tutumu ($1 \div 10$ pF);

- qoşulma müddəti (0,1 nsaniyə tərtibində);
- maksimal və ya böhran tezliyi (100 QHs).

Tunel diodlarının tətbiqi. Tunel diodlarında güclənmə və ya generasiya rejimini, müxtəlif sxemlərə tunel diodunu qoş-

maqla onun mənfi müqaviməti ilə müsbət aktiv müqavimətini kompensə etmək yolu ilə alınır (əgər işçi nöqtə AB hissəsindədirsə). Məsələn, adi rəqs konturunda itkilər hesabına həmişə sönmə baş verdiyi halda, tunel diodunun mənfi müqavimətinin köməyi ilə konturda itkiləri aradan götürmək



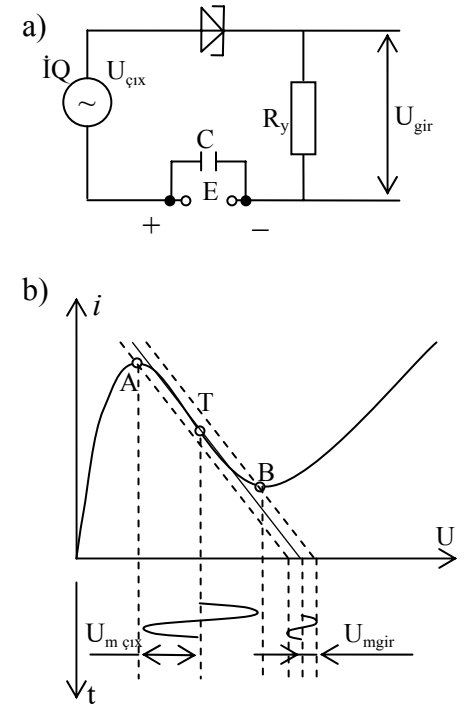
Şəkil 4.6. Rəqslərin generasiyası üçün tunel diodunun elektrik dövrəsinə qoşulma sxemi

və sönməyən rəqslər yaratmaq mümkündür (şəkil 4.6).

Bu növ generatorların işini aşağıdakı kimi izah etmək olar. Adi sxemi mənbəyə qoşduqda, LC konturunda sərbəst rəqslər yaranır. Sxemdə tunel diodu olmadıqda həmin rəqslər dərhal sönür. Fərz edək ki, E mənbəyinin verdiyi gərginliyin seçilmiş qiymətində, diod, xarakteristikanın düşmə hissəsində işləyir. Dəyişən gərginliyin bir yarımperiodunda konturun qütbləri «+» və «-» olduğu halda (şəkildə təsvir olunan dairənin içərisindəki müsbət və mənfi işarələri sabit gərginlik halına uyğundur), diod həmin yarımperiodda əks gərginliklə işləyir. Ona görə də konturdan dioda verilən əks gərginlik, dioddakı düz gərginliyi bir qədər azaldır. Lakin diodun işi hesabına xarakteristikanın düşmə hissəsində cərəyan böyüyür və əlavə cərəyan impulsu konturun enerjisini bir qədər də artırır (şəkil

4.7a,b). Əgər bu əlavə enerji, itkini kompensə etməyə kifayətdirsə, onda konturda rəqslər sönür.

Elektronların potensial çəpərdən tunel keçidi çox kiçik zaman ərzində ($10^{-12} \div 10^{-14}$ san və ya $10^{-3} \div 10^{-5}$ nsan) baş verir. Ona görə də tunel diodları ifrat yüksək tezliklərdə yaxşı işləyir. Məsələn, tunel diodlarının köməyi ilə tezliyi yüz (və daha çox) qıqahers olan rəqsləri generasiya etmək olar. Qeyd edək ki, tunel diodlarının işçi tezlik diapazonu tunel effektinin ətalətliyi ilə deyil, diodun tutumu, çıxışların induktivliyi və onun aktiv müqaviməti ilə təyin olunur.



Şəkil 4.7. a) tunel diodlu sadə gücləndiricinin sxemi və b) gücləndirmə prosesini təsvir edən qrafik.

§4.3. Qann effekti və Qann cihazları

İYT rəqslərini gücləndirmək və generasiya etmək üçün A.S.Taqer və V.M.Vald-Perlov sel-uçuş diodunu (SUD) ixtira etdilər. Bu cihaz sabit əks gərginlikdə elektrik dəşilməsi rejimində işləyir və dəyişən gərginlikdə mənfi müqavimətə malik olur. Mənfi müqavimət ancaq yüksək tezliklərdə baş verir.

Fərz edək ki, SUD-a sabit əks və dəyişən gərginlik tətbiq edilmişdir. Əks gərginliyin müsbət yarım dalğa (yarım dalğa diodda əks gərginliyin artmasına uyğun gəlir) təsiri altında dəşilmə rejimində diodda cərəyanın selşəkilli artımı *elektrik seli* baş verir. Yarımkeçiricilərdə proseslər ətalətli olduğuna görə, yükdaşıyıcıların n-p-keçidindən uçuş müddətində cərəyan maksimuma çatır. Cərəyanın maksimum qiyməti dəyişən gərginliyin müsbət yarım dalğa periodunda təmin olunur. Sabit gərginliyin təsiri altında hərəkət edən *sel* gərginliyin mənfi yarımperiodunda da öz hərəkətini davam etdirir. Beləliklə, *selə* uyğun olan cərəyan impulsunun işarəsi, dəyişən gərginliyin mənfi yarım dalğa istiqamətinin əksinə yönəlir. Nəticədə dəyişən cərəyanda cihazda mənfi müqavimət yaranır. SUD-u İYT sisteminə qoşsaq, mənfi müqavimət hesabına rəqslərin generasiyasını və ya güclənməsini ala bilərik. Alçaq tezliklərdə proseslərin inersial olması hadisənin inkişafına az təsir göstərir və dəyişən gərginliyə nisbətən cərəyan impulsunun azacıq ləngiməsi hesabına, mənfi diferensial müqavimət praktiki olaraq yaranmır. Sel-üçüş diodu təkcə n-p-quruluşlu deyil, həmçinin daha mürəkkəb, məsələn, Ridli diodundakı kimi, n^+p-i-p^+ quruluşa malik olur.

Generatorlarda SUD-lar həcmi rezonatorlara qoşulur. Kəsilməz rejimdə bu cür generatorların gücü $1 Vt$ -a, FİÖ 10%-ə bərabədirsə, impuls rejimində onların gücü yüzlərlə Vt -a, FİÖ isə onlarla faizə çatır. Sabit gərginliyi dəyişmək yolu ilə tezliyin elektrik baxımından azacıq yenidən köklənməsi mümkündürsə, onda tezliyin kifayət qədər geniş diapazonu rezonatorun məxsusi tezliyi hesabına əldə edilir. Məlum olmuşdur ki, siqnalların gücləndirilməsində sel-üçüş diodlarını tətbiq etdikdə məxsusi küylər artır (Sel-üçüş diodlarının

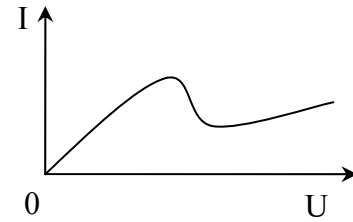
çatışmazlığı). Ona görə də daha mükəmməl işləyən və məxsusi küyləri kiçik olan cihazların yaradılması istiqamətində işlər davam etdirilirdi. Axtarış işləri Qann effekti əsasında işləyən yeni diodun yaranması ilə nəticələndi.

Mənfi müqavimətli Qann effekti əsasında işləyən İYT cihazlarından biri olan Qann diodunu Amerikalı fizik C. Qann 1963-cü ildə kəşf etmişdir. Bu effektin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, yarımkeçiriciyə yüksək gərginlik tətbiq edildikdə onda İYT-rəqsləri yaranır. Bu effekt ətraflı tədqiq edilərək, yüksək gərginlik altında yarımkeçiricidə baş verən fiziki proseslər tam öyrənilmiş və onun əsasında İYT rəqslərinin generasiyası üçün geniş istifadə edilə bilən cihaz hazırlanmışdır.

Qann diodu n-p-keçidi olmayan, iki cərəyan kontaktına malik yarımkeçirici kristaldan (rezistordan) ibarət olub, yüksək sabit elektrik sahəsinin təsiri altında işləyir. Diod iki elektrodun (cərəyan kontaktının) – anod və katodun köməyi ilə elektrik dövrəsinə qoşulur. Bu növ yarımkeçiricilərin tədqiqi göstərdi ki, çoxlu enerji minimumları olan keçirici zonaya malik yarımkeçiricidə elektronlar fərqli yürüklüyə malik olur. Yuxarı enerji minimumlarında məskunlaşan elektronların yürüklüyü kiçik olur.

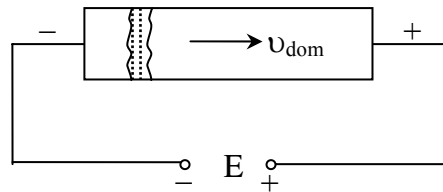
Xarici sahə olmadıqda və ya nisbətən zəif sahələrdə elektronlar keçirici zonanın aşağı hissəsində yığılır. Onların yürüklüyü nisbətən böyük olduğuna görə yarımkeçirici yüksək elektrik keçiriciliyinə malik olur. Əgər yarımkeçiriciyə tətbiq edilən xarici gərginliyi artırıbsaq, onda Om qanununa görə cərəyan əvvəlcə xətti artır, gərginlik müəyyən kritik qiymətə çatdıqda isə elektronların əksər hissəsi keçirici zonanın yuxarı enerji minimumuna keçdiyindən orada

elektronların yürüklüyü azalır, uyğun olaraq kristalın elektrik müqaviməti isə kəskin artır. Cərəyan azaldığından volt-ampere xarakteristikasında mənfi diferensial müqavimətli düşən hissə müşahidə edilir (şəkil 4.8). Tətbiq edilən gərginliyin sonrakı artmasında cərəyanın təqribən mütənasib artması baş verir.



Şəkil 4.8. Qann diodunun volt-ampere xarakteristikası.

Yarımkeçirici material qeyri-bircins olduğundan, onun müxtəlif hissələrində müqavimət də fərqlənir. Müqaviməti kiçik olan hissədə sahə zəif, böyük olan hissədə isə güclüdür. Sahənin güclü olduğu hissədə yaranmış qeyri-bircins yüklər toplusu domen adlandırılır (şəkil 4.9). Adətən domen katod (mənfi elektrod) yaxınlığında əmələ gəlir və böyük sürətlə anoda (müsbət elektrod) doğru hərəkət edir.



Şəkil 4.9. Qann diodunda domen.

Ətraf hissəyə nisbətən domendə elektronların sürəti zəif olur və ona görə də həmin hissədə həcmi yüklərin sıxlığı artır, başqa sözlə desək, domen özünəməxsus qruplaşmadır. Qruplaşmada yüklərin sıxlığı artdığından sahə güclü, ətraf hissədə isə nisbətən zəif olur. Domendən anod tərəfdə elektronlar domendən uzaqlaşır, katod tərəfdə isə əksinə, domenə doğru sürətlə yeni elektronlar gəlir. Ona görə də domendə katod tərəfdəki hissədə elektronların konsentrasiyası böyük, anod tərəfdəki hissədə isə, kiçik olur. Tətbiq olunmuş sahənin təsiri altında domen katoddan anoda doğru hərəkəti baş verir.

Domen anoda çataraq tədricən yox olur və o yox olduğu anda katod önündə tədricən yeni domen yaranaraq anoda doğru hərəkət etməyə başlayır. Proses periodik olaraq təkrarlanır. Hər bir domenin yox olması və yenisinin yaranması Qann diodunda müqavimətin periodik dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Bunun nəticəsində dioddan axan cərəyanda rəqslər əmələ gəlir və domenin kiçik yerdəyişməsində (katoddan anoda qədər) tezliyin qiyməti İYT diapazonuna uyğun gəlir. Bu rəqslərin tezliyi

$$f = \frac{v_{\text{dom}}}{L} \quad (4.4)$$

Burada v_{dom} – domenin sürəti olub, arsenid-qallium üçün təqribən 10^7 sm/san tərtibindədir; L – isə yarımkeçirici kristalın uzunluğudur və Qann diodu üçün adətən mikrometrin hissələri qədər olur.

Buradan alınır ki, məsələn, $L=10$ mkm olduqda, rəqsin tezliyi $f = 10^7/10^{-3} = 10^{10}$ Hs = 10 QHs-ə bərabər olur.

Qann diodlarının başlıca xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, iş zamanı digər diodlardakından fərqli olan təkcə onların kiçik n-p-keçidli hissələri deyil, iki cərəyan kontaktı arasında bütöv yarımkeçirici kristal işləyir. Ona görə də Qann diodlarında böyük güc (böyük güclü impuls) almaq mümkündür. Müasir diodlarda rəqslərin kəsilməz rejimində yaranan güc onlarla vata, impuls rejimində kilovata, FİƏ isə vahiddən onlarla faizə qədər dəyişir. Nəzəri hesablamalara görə fərz edilir ki, 10 QHs tezliklərdə impuls rejimində 100 kVt gücündə işləyə bilən Qann diodları yaratmaq mümkündür.

§4.4. Optoelektronika

Müasir elektronikanın ən vədedici sahələrindən biri optoelektronikadır. Bir çox hallarda fotoelektronikanın yaranması tarixini 1800-cü ildən – Qərşelin infraqırmızı şüaları kəşf etməsindən hesablayırlar. Əgər məsələyə belə yanaşsaq, yəni optoelektronikanı işıq şüalarının kəşfi ilə bağlasaq, onda daha da qədimə getmək mümkündür. Məsələ burasındadır ki, *Bibliyada* göstərilir ki, Allah Adam və Həvvanı Dünyanı yaratdıqdan 6 gün sonra yaratdığı halda, işığı elə birinci gün yaradıb. O, işığı görəndə sevinclə *ışığı çox gözəldir* deyib və onu zülmətdən ayırıb.

Əslində isə, bərk cisim optoelektronikası işığın fotoelektrik qəbuledicilərinin kəşfi ilə başlayıb. Düzdür, Qərsel öz tədqiqatlarında şüa qeyd edicilərindən istifadə edib, lakin bu qeyd edicilər optik signalı elektrik signalına çevirən fotoelektrik cihazları deyil, termocütlər olub.

Optoelektronikanın yaranmasının bir-birindən yarım əsr fərqlənən iki tarixi var. Biri, 1821-ci ildə Zeyebekin termoelektrik hadisəsini müşahidə etməsi, daha doğrusu istilik qəbuledicisinin (termocütün) hazırlaması ilə bağlıdır. Lakin, həmin qəbuledicilərin həssaslığı çox kiçik idi. Bu qüsuru aradan qaldırmaq üçün əvvəlcə Nobili tərəfindən bir neçə termocütü ardıcıl birləşdirmək və 1830-cu ildə isə daha effektiv materiallardan (vismut sürmədən) istifadə etmək təklifi olunur. 1834-cü ildə Melloni belə termocütlərdən istilik şüalanmasını qeyd etmək üçün istifadə etmişdir.

Digər istilik qəbuledicisi – bolometr isə 1857-ci ildə Şvanberq tərəfindən hazırlanıb və bir qəbuledici kimi ilk dəfə Lanqel tərəfindən 1881-ci ildə tətbiq edilib. Görünür məhz

buna görə də, əksər hallarda bolometrin yaranmasını sonuncunun adı ilə bağlayırlar. Daha 15 ildən sonra isə Markoni və Popov elektromaqnit şüalanmasının məsafədən qəbulu üçün belə qeydedicilərdən istifadə etdilər. Lakin bu halda şüalanma optik deyil, radiotezliklər diapazonuna təsadüf edirdi. Həmin vaxtlar bu qeydedicilər geniş tətbiq tapa bilmədi. Çünki hələ infraqırmızı texnikanın və optoelektronikanın dövrü gəlib çatmamışdı. Buna baxmayaraq yuxarıda adı gedən alimlərin optoelektronika sahəsindəki xidmətlərini qiymətləndirməmək olmaz.

1873-cü ildə ingilis texniki Smit selen yarımkeçiricisinin elektrik xassələrini tədqiq edərkən ilk dəfə daxili fotoeffekt hadisəsini (fotokeçiriciliyi) kəşf etdi və bununla da, ilk kvant fotoqəbuledicisi yarandı. Qeyd etmək lazımdır ki, xarici fotoeffekt hadisəsi A.Q.Stoletov tərəfindən bundan 15 il sonra (1888-ci ildə) kəşf edilmişdir. Məlumdur ki, hal-hazırda optoelektronikada kvant fotoqəbulediciləri hegomonluq edir. Elə buna görə də bəzi müəlliflər Smiti optoelektronikanın (hər halda kvant optoelektronikasının) banisi adlandırırlar. Məhz bu deyilənlərə istinad edərək bərk cisim optoelektronikasının yaranmasının iki tarixi olduğunu deyirlər. Bunlardan birincisi 1821-ci ildə istilik, ikincisi isə 1873-cü ildə kvant şüalanma qəbuledicilərinin yaradılmasına aiddir.

Optoelektronikanın bütövlükdə inkişafı tarixini isə iki mərhələyə bölmək olar. Birinci mərhələ – yuxarıda adı gedən kəşflərdən XIX əsrin başlanğıcından XX əsrin ortalarına qədərki dövrü əhatə edir. Bu mərhələdə hələ elm və texnika fotoqəbuledicilərdən geniş istifadə etməyə hazır deyildi.

XIX əsrin fizikasında cisimlərin şüalanma qanunlarının tədqiqi ön sırada dayanırdı. Belə təcrübi tədqiqatlarda həm

termocüt, həm də bolometr termometri uğurla əvəz etdi. Stefanın, Bolsmanın, Kirxhofun, Vinin, Releyin, Cinsin və bir çox başqa alimlərin işləri Plank tərəfindən 1900-cü ildə közərən cismin şüalanma qanunlarının kəşf edilməsi ilə nəticələndi. Buna görə də demək mümkündür ki, termocüt və bolometr fizikadakı inqilabın baş verməsinin – kvant fizikasının doğulması prosesinin fəal iştirakçılarıdır.

1884-cü ildə Nipkov mexaniki telegörünü (televideniya) ideyasını irəli sürür və öz təcrübələrində fotoqəbuledici kimi məhz selen fotoelementlərindən istifadə edir.

1917-ci ildə isə Keyz tellofid fotoqəbuledicilərini yaratmasıdır ki, bu cihazlar da 1935-ci ildə alman ordusunda rabitə məqsədləri üçün istifadə olunmuşdur. Həmin illərin ən mühüm və əhəmiyyətli nailiyyətlərindən biri də qurğusun-sulfidin (PbS) tədqiqinə dair aparılan işlərdir. Boze 1904-cü ildə ilk dəfə bu materialda (qalenitin təbii polikristallarında) daxili fotoeffekt hadisəsini müşahidə etmiş, 1933-cü ildə isə Kutçer həmin materialın fəthəssaslığının infraqırmızı sərhədini (~3mkm) tapmışdır.

Elektronikanın digər sahələrində olduğu kimi, fotoelektronikada da ideyalar əksər hallarda öz eksperimental tədqiq və praktiki tətbiq vaxtını xeyli qabaqlayır. Belə ki, optoelektronika sahəsində hələ XIX əsrdə bir sıra ideyalar meydana gəlsə də, diqqəti cəlb edən kəşflər edilsə də infraqırmızı texnikanın müxtəlif sahələrdə, o cümlədən hərbdə öz layiqli və dəyərli yerini tutması üçün əlli ilə qədər bir vaxt lazım gəldi.

XX əsrin 20-30-cu illərində çoxlu sayda, həm də keyfiyyətə bir-birindən fərqlənən, lampalı sxemlər, o cümlədən mənfii əks rabitəli (Blev, 1927) və küyə qarşı korreksiya etmək xas-

səsinə malik (Braude, 1933) gücləndiricilər işlənilib hazırlandı. Onların sxemotexniki prinsipləri hətta müasir fotoqəbuledici qurğularda tətbiq olunur.

İllər ötdükcə, radiodalğalar radioverilişdə (1920), telefon siqnallarının ötürülməsində (1929), naviqasiya, rabitə, pelenqasiya, kontaktsiz partlayışlar (keçən əsrin 30-cu illəri) və s. yeni sahələrdə istifadə olundu. Göründüyü kimi, elektromaqnit şüalanmasından istifadə hesabına artıq texnikanın yeni istiqamətləri müəyyənləşirdi.

Elektromaqnit dalğalarının uzunluğu müntəzəm olaraq 300-500 m-dən (1920) ifrat yüksək tezliklər (İYT) diapazonuna (3 sm) qədər kiçilir. Həmin illərin nailiyyətləri məntiqi olaraq göstərirdi ki, gələcək inkişaf millimetrlilik, sonra isə optik diapazonu fəth etməklə bağlı olacaq və bu zaman fotoqəbuledicilər tələb ediləcək.

Artıq 20-ci illərdə elektron televiziya Nipkovun mexaniki televiziyasını sıxışdırıb aradan çıxartdı. Sonuncunun yaradıcısı ABŞ-da işləyən rus alimi V.K.Zvorikin olmuşdur. O, 1923-cü ildə vakuum lampalı televiziya borusunu patentlədi, 1924-cü ildə isə qəbuledici televiziya borusunu (kineskopu) ixtira etdi. 1934-cü ildə V.Xolst EOC – infraqırmızı xəyalı görüntüyə çevirən elektron-optik çevirici yaratdı, V.K.Zvorikin isə onun təkmilləşdirilməsi sahəsində böyük işlər gördü.

Optoelektronikanın inkişafının ikinci mərhələsi isə ikinci texniki inqilabla – intellektual inqilabla üst-üstə düşür. XIX əsrin 40-cı illərində kibernetikanın, informatikanın əsası qoyulur, elektron kompüterləri (Viner, Neyman, Şennon və çoxsaylı digər tədqiqatçılar) yaradılır. Sözsüz ki, süni intellekt üçün süni *boz material* lazım idi. Bu zərurətdən də hökmən bərk cisim elektronikasası yaranmalı idi. Bu mərhələdə Şokli,

Bardin və Brattein tərəfindən ilk germanium bipolyar tranzistorunun yaradılması böyük bir hadisə oldu (1947-1948). Bu iş 1956-cı ildə Nobel mükafatına layiq görüldü. İki ildən sonra isə müasir integral sxemlərin tərkib hissəsi olan sahə tranzistoru ideyası reallaşdı.

1983-cü ildə Bebiç bizim indi prosessor və yaddaş adlandır-dığımız iki bloklu hesablayıcının ideyasını irəli sürdü. Qeyd etmək lazımdır ki, metal məftillə PbS – kristalının kontaktı əsasında ilk yarımkeçirici detektor isə (1884-cü il F. Braun) vakuum diodundan (Fleminq diodu 1904-cü il, Forest triodu 1906-cı il) 20 il əvvəl meydana gəlmişdi.

İlk monokristal yarımkeçirici cihazların hazırlandığı ger-manium yarımkeçiricisinin əsasında təkcə ilk tranzistor deyil, həm də ilk fotodiod yaradılmışdır. Bu halda pioner Şrayvi (1948), silisium fotodiodu halında isə – Kummerov (1954) sayılır. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, hələ 1940-cı ildə o, sili-siumdan kəsilmiş çubuqda həmin vaxtlaradək müşahidə olunmamış (~ 0,5V) fotoelektrik hərəkət qüvvəsi yarandığını göstərmişdir. Yalnız çox illər keçəndən sonra bu hadisənin mexanizmi və onun müşahidə olunduğu nümunənin quru-luşu aydınlaşdırılmışdır – göstərilmişdir ki, silisium külçəsi-nin göyərdilməsi prosesində onda keçiricilik tipinin konver-siyası nəticəsində dartılmış p-n keçid əmələ gəlir və foto e.h.q. işığın təsiri ilə həmin keçiddə yaranır.

İkinci dünya müharibəsindən sonra da PbS-in tədqiqi davam etdirildi və artıq 1958-ci ildə ABŞ-da *hava-hava* tipli ra-ketlərdə PbS – fotorezistorları əsasında istilik başlığı və kon-taktsiz partladıcılar tətbiq olunmağa başlanmışdı.

İndium-sürmə əsasında hazırlanmış fotorezistorlar da təq-ribən belə bir inkişaf yolu keçmişdir. Optoelektronikanın

inkişafı tarixindən danışarkən qadağan olunmuş zonanın eni-nin azalması sırası üzrə düzülmüş dörd müxtəlif A_3B_5 yarımkeçirici birləşməsini qeyd etməmək olmaz. Bunlar GaP, GaAs, InAs və InSb-dur. GaP ultrabənövşəyi və yaxud görünən oblastda (0,3-0,45 mkm) uğurla işləyir. GaAs isə kvant elektronikasında daha geniş tətbiq edilir. 1952-ci ildə bu yarımkeçirici əsasında ilk injeksiya lazerləri yaradılmış, 0,9-0,95 mkm diapazonunda işləyən şüalandırıcı cihazların kütlə-vi istehsalı isə 1960-cı illərin sonu – 1970-ci illərin əvvəllərinə təsadüf edir. 1960-1970-ci illərdə 2-3 mkm diapazonda işləyən InAs fotoqəbuledicilərinin hazırlanması üzərində intensiv işlər aparılmışdır.

1960-cı illərin sonlarında – 1970-cı illərin əvvəllərində CO_2 əsasında yaradılmış 10,6 mkm dalğa uzunluqlu və 1-2 kVt gücə malik qaz lazerləri meydana gəldi və bu geniş optoelek-tronikada böyük inkişafa səbəb oldu. Tez bir zamanda həmin lazerlərin qısa impulsar şəklindəki şüalanmasını qeyd etmək üçün kadmium-civə-tellur ($CdHgTe$) bərk məhlulları əsasın-da sürətli fotoqəbuledicilər yaradıldı. Lakin sonralar CO_2 lazerləri ətrafındakı gürultu sakitləşsə də $CdHgTe$ əsasında fotoqəbuledicilər ilə aparılan işlərin vüsəti səngimədi. Bu cihazlar başlıca olaraq istilik televiziyası üçün maraq kəsb edirdi.

Optoelektronika üçün 1970-ci illər daha əlamətdar olmuşdur. Belə ki, bu dövrə qədər mikroelektronika artıq hey-rətamiz nailiyyətlər qazanmışdı. Cəmi on il ərzində bir sıra yüksək texnologiyalar işlənmişdi ki, bunların da içərisində əsas işçi elementi n-kanallı MOY (metal-oksidiyarımkeçirici) tranzistoru olan n-MOY texnologiya liderlik edirdi. Bu texnologiya bir kristalda on minlərlə işçi element yerləşən BİS

(böyük integral sxemlər) buraxmağa imkan verirdi. Artıq İBİS (bir kristalda yüz minlərlə işçi element olan ifrat böyük integral sxemlər almağa imkan verən) hazırlanması perspektivləri açılmışdı. Bütün bunlar öz növbəsində vahid kristalda eyni zamanda həm fotohəssas elementin, həm də elektron sxemin yerləşdiyi integral tərtibatlı fotoqəbuledicilərin hazırlanmasına şərait yaradıldı.

1970-ci ildə Boyl və Smit yük rabitəli cihazlar (YRC) ixtira etdilər, 1976-cı ilədək silisium əsəsindəki YRC-in formatı xeyli böyüdülərək televiziya ekranı tərtibinə çatdırıldı. Qısasürəkli lazer impulslarının qeyd olunması zərurəti silisium əsasında sürətli fotodiodların işlənilib hazırlanmasını stimullaşdırdı. Artıq p-i-n – strukturlu fotodiodlar, müxtəlif tip *sel* prinsipli fotodiodlar düzəldilirdi.

Hələ 1960-1970-cı illərdə yarımkeçirici strukturların hazırlanmasında və tədqiqində də yeni mərhələ başlanmışdı. Optoelektronika üçün çox yararlı olan çoxsaylı heterostrukturlar meydana gəlmişdi. Qeyd etmək lazımdır ki, həmin dövrdə heterostrukturların tədqiqi, onların əsasında lazerlərin yaradılması sahəsində J.İ.Alfeyorov və X.Kremer görkəmli nailiyyətlər əldə etdilər. Bu işlərə görə onlar 2000-ci ildə Nobel mükafatına layiq görüldülər.

1970-ci illərdən sonra heterostrukturlarla işin cəbhəsi daha da genişləndi.

Kvant ölçü strukturlarından optoelektronika üçün əlamətdar olan 1970-ci illərdə prinsipə yeni olan daha bir istiqamət – kvant ölçü strukturların fundamenti qoyuldu. Bu strukturlar tunel diodunun yaradıcısı, Nobel mükafatı laureatı L.Esaki ilə R.Tsa tərəfindən təklif olunmuşdu. Həm xronologiyasına, həm ideologiyasına görə kvant ölçü strukturlarını

bərk cisim elektronikasında və fotoelektronikada varizon və heterostrukturlardan sonra (ardıcıl) gələn növbəti mərhələ saymaq olar. Bu ixtiranın nəticəsində cihaz hazırlayanlar yarımkeçiricinin zona quruluşunu formalaşdırmaq sahəsində yeni bir alət əldə etmiş oldular. Bu alət – molekulyar-şüa epitaksiyasının (MŞE) köməyi ilə alınmış lay və oblastların ölçüsündən ibarət idi. Adətən yarımkeçirici strukturlarda *adi* layların ölçüləri ($d \geq 50 \text{ nm}$) monoatom layının ($d \sim 0.5 \text{ nm}$) ölçülərindən ən azı iki tərtib böyük olur. Bu səbəbdən də həmin layların xassələri həcmi kristalların xassələrindən fərqlənir. Lakin elə *kvant ölçü strukturu* termininin adından görünür ki, bu strukturlarda çox nazik ($\sim 0.5 \div 5 \text{ nm}$), xarakterik kvant uzunluğu (de Broyl dalğasının uzunluğu) ilə müqayisə olunan, laylar formalaşır. Sözsüz ki, bu layların fiziki xassələri və zona quruluşları artıq monokristallik materialından fərqlənəcək. Necə ki, təklənmiş atomunku ilə kristalınkı fərqlənir. Bir koordinatla məhdudlanan belə müstəvi nazik oblastlar *kvant sapları (borucuqları)*, üç koordinatla məhdudlanmış nöqtəvi oblastlar isə uyğun olaraq *kvant nöqtələri* adlanır.

Bu yeni üsulun strukturların variasiyasındakı imkanları praktiki olaraq tükənməzdir. Buna görə də indi artıq kvant ölçü strukturları yarımkeçiricilər fizikasının ən vacib sahələrindən biri sayılır.

Aydındır ki, fotoqəbuledicilər texniki tərəqqi bütün sahələrin və elmi istiqamətlərin inkişafı, onların qarşılıqlı təsiri və bir-birinə nüfuz etməsi ilə bağlıdır. Optoelektronikanın inkişafı da həm elmin, texnikanın, sənayenin müvafiq sahələrinin inkişafı, tələbatı ilə bağlıdır, həm də öz növbəsində elm və texnikanın digər sahələrinin, eləcə də sənayenin inkişafına

güclü təkan verir.

Məsələn, fotokinotexnikanın əsas vəzifəsi optik xəyalı fiksə etmək olduğundan, o, öz təbiəti etibarı ilə fotoqəbuledicidən istifadə etməyə məhkumdur. Ancaq nə qədər qeyri-adi görünsə də fəthəssas cihazların kinofototexnikada ilk geniş tətbiqi heç də xəyalla yox, səslə bağlı olmuşdur. Məhz optoelektron cütliyi – lampa və fotoelementin tətbiqi sayəsində ilk dəfə 1929-cu ildə *ekran dil açmışdır*.

Fotoqəbuledicilər xəyalı da diqqətdən kənarda qoymur. İlk növbədə onlar ekspozisiyanı təyin edir. Avstriyada hələ 1935-ci ildə həvəskarların kinokameraları meydana gəlmişdi.

Optoelektronikanın kinofototexnikada həlledici rolu fotolentlərin bərk cisimli *xəyal çeviriciləri* ilə əvəz olunmasından sonra başladı. Bu, 1970-ci ildə YRC-in ixtira olunması ilə bağlıdır.

Xəyalı formalaşdırıcı işıq mənbəyindən asılı olaraq (Günəş, Ay, ulduzlar, məxsusi və əks olunan şüalanma, istilik şüalanması və s.) gündüz, gecə və istilik görüntüləri anlayışlarından istifadə olunur.

Gecə görmə sistemlərində hələlik başlıca yeri vakuum elektron-optik çeviriciləri (EOÇ) tutur.

Bütün inkişaf etmiş ölkələrin texnikasında isə televiziyanın inkişafına xüsusi əhəmiyyət verilir. Çünki televizorlar daha uzaq məsafədən təsirinə, hava şəraitinə daha az həssas olmasına görə gecəgörmə cihazlarını çox-çox üstələyir.

İlk nəsil televizorlarda bir elementli infraqırmızı fotoqəbuledicilər, sonrakılarda – bircərgəli, bir qədər sonrakılarda çoxcərgəli xətkəşlər tətbiq olunurdu. Nəhayət, dərhal kadrın bütün sahəsini əhatə edən matrisalar meydana gəldi.

1990-cı illərin ikinci yarısında televizor formatlı və dərəcə-

nin yüzdə bir dəqiqliyi ilə ayırd etmək qabiliyyətinə malik televizorlar meydana gəldi.

1980-ci illərdə silisium əsasında yerin məsafədən zondlanması üçün kosmik sistemlər yaradıldı.

Unutmaq olmaz ki, şüalanma generatoru və qəbuledici cütliyi kompüterlərin də əksər bloklarında tətbiq olunur.

Lifli-optik rabitə xətləri. XX əsrdə insanlar müxtəlif növ rabitə vasitələrinin, xüsusi ilə də telefon, radio və televiziyanın inkişafında güclü sıçrayışların şahidi oldu. Onların, eləcə də peyk kosmik rabitə sistemlərinin yaranması hesabına müasir insan planetin ən ucqar və əlçatmaz nöqtələri ilə əlaqə saxlamaq, görmək və eşitmək üçün keçmiş nəsillərə nəsib olmayan imkanlar əldə etdi. Lakin hər bir rabitə növü çoxlu sayda özünəməxsus çatışmazlıqlara malik idi və ötürülən informasiyanın tutumu böyüdükcə bu çatışmazlıqlar da çoxalırdı. Bu çatışmazlıqların sırasında magistral telefon xətlərinin həddən artıq yüklənməsi və efirdəki sıxlıq məsələləri daha ciddi problemlərdən idi. Bütün bunlar daha qısdalğalı radiodiapozonunun fəth edilməsi üçün bir təkan oldu. Ənənəvi rabitə vasitələrinin digər bir çatışmazlığı isə ondan ibarət idi ki, informasiyanın ötürülməsi üçün açıq fəzada şüalanan dalğalardan istifadə etmək ümumiyyətlə əlverişli deyildi. Çünki belə halda məsafə artdıqca dalğanın daşdığı enerjinin səth sıxlığı məsafənin kvadratı ilə mütənasib olaraq azalır. Bu qusurlar optoelektronikanın yaranması və inkişafı ilə tədricən dəf edildi. Belə ki, informasiya dar istiqamətlənmiş dəstə və ya şüa ilə göndərilərsə, onda tamamilə fərqli mənzərə alınır və itkilər çox-çox kiçilərdi.

Müasir optik rabitə erası 1960-cı ildən – ilk lazerin yaradılmasından sonra başladı. Rabitənin ehtiyacları üçün santi-

metrlik və millimetrlik radiodalğalar əvəzində görünən işığın mikronluq dalğalarından istifadə olunması, ötürülən informasiyanın tutumunun qeyri-məhdud artırılmasına imkan yaratdı. Lakin bu şüalar yer atmosferi tərəfindən güclü udulduğundan optik dalğalarla informasiyanın uzaq məsafələrə ötürülməsi məhdudlanırdı.

1966-cı ildə iki yapon alimi – Kao və Xokema işıq siqnalını ötürmək üçün endoskopiya və başqa sahələrdə artıq geniş tətbiq tapmış uzun şüşə liflərdən istifadə olunmasını təklif etdilər.

İlk olaraq 1970-ci ildə *Korning Qlass* firması işıq siqnallarını böyük məsafələrə ötürmək üçün yarayan şüşə işıqötürənlər hazırladı. 70-ci illərin ortalarında isə ifrattəmiz kvars şüşəsindən işığın intensivliyini 6 km məsafədə maksimum iki dəfə azaldan işıqötürənlər hazırlandı.

Qeyd etmək lazımdır ki, indi artıq bir sıra inkişaf etmiş ölkələrdə (ilk növbədə ABŞ-da) telefon rabitələrinin əksəriyyəti işıqötürənlərlə əvəz olunub.

Optronlar. Müxtəlif növ yarımkeçirici işıqqəbuledicilərin (fotoresistor, fotodiod, fototranzistor, fototiristor) iş prinsipi daxili fotoeffekt hadisəsinə əsaslanır. Daxili fotoeffekt zamanı şüanın təsiri altında yarımkeçiricidə sərbəst yükdaşıyıcıların – elektron və deşik cütünün generasiyası baş verir. Tarazlıq halındakılara əlavə olunan bu yükdaşıyıcılar (əlavə yükdaşıyıcılar) monokristalın elektrik keçiriciliyini bir qədər də artırır. Bu cür əlavə keçiricilik fotonların təsiri ilə yaranır və fotokeçiricilik adlanır. Metallarda fotokeçiricilik hadisəsi praktiki olaraq yoxdur. Belə ki, keçirici elektronların konsentrasiyası böyükdür (təqribən 10^{22} sm^{-3}) və işığın təsiri altında dəyişmir. Bəzi cihazlarda elektronların və deşiklərin fotogene-

rasiyası hesabına e.h.q. (foto-e.h.q.) yaranır. Ona görə də həmin cihazlar cərəyan mənbələri kimi də işləyir. Elektronların və deşiklərin rekombinasiyası nəticəsində yarımkeçiricidə fotonlar əmələ gəlir və bəzi şərtlər daxilində yarımkeçirici cihaz işıq mənbəyinə çevrilir. Müasir dövrdə optron adlanan yarımkeçirici cihazdan da istifadə edilir. Optron eyni zamanda həm işıq mənbəyi, həm də işıq qəbuledicisi kimi işləyə bilər. Bu cihaz bir-biri ilə əlaqəli olan işıq mənbəyi və qəbuledicisindən ibarətdir. Optoelektron cihazları əvvəllər ancaq radioelektron cihazları (REC) üçün hazırlanırdısa, hal-hazırda artıq integral mikrosxemlərin tərkibinə də daxil edilir.

İşıqdiodu. Yarımkeçirici işıq mənbələrindən ən çox tətbiq ediləni, düzünə istiqamətdəki gərginliyin təsiri altında işləyən (ışıq diodları) – işıq şüalandıran diodlardır. Bəzən onları injeksiya diodları da adlandırırlar. İşıq diodlarında baş verən işıqlanma injeksiya elektrolüminessensiyası hadisəsinə əsaslanır.

Yarımkeçirici diodun işıqsaçmasını ötən əsrin 20-ci illərində Rusiyanın Nijeqorod şəhərindəki radiolaboratoriyada işləyən O.V.Losev kristal detektorda elektrik rəqslərinin generasiyasını yaratmaq üzərində təcrübə apararkən müşahidə etmişdi. Bu hadisə müəyyən vaxt unudulmuş, lakin 1950-ci ildən yenidən tətbiq olunmağa başlamışdır. Hal-hazırda sənayedə, işıq diodlarının onlarla növləri, eləcə də məlum işıq diodlarının müxtəlif kombinasiyalarından ibarət mürəkkəb indikator cihazları istehsal olunur.

İşıq diodlarının iş prinsipi ilə tanış olaq. Yarımkeçirici dioda düzünə istiqamətdə xarici gərginlik tətbiq etdikdə emitterdən baza oblastına yükdaşıyıcıların injeksiyası baş

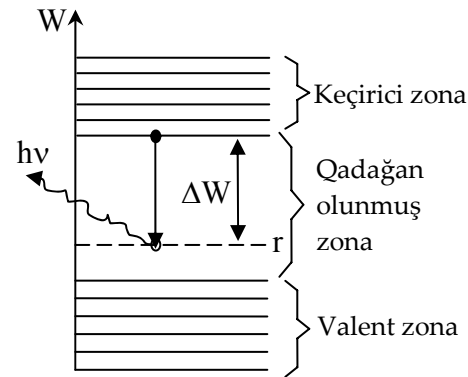
verir. Məsələn, əgər n-oblastında elektronların konsentrasiyası p-oblastında onların konsentrasiyasından böyükdürsə ($n_n > n_p$), onda elektronların n-oblastdan p-oblasta injeksiyası baş verir. İnaksiya olunmuş elektronlar baza oblastının əsas yükdaşıyıcısı olan dəşiklərlə rekombinasiya edir. Rekombinasiya etmiş elektronlar keçirici zonanın yüksək enerji səviyyələrindən valent zonanın tavanı yaxınlığındakı lokal enerji səviyyələrinə rekombinasiya mərkəzlərinə keçir (şəkil 4.10). Bu zaman, enerjisi keçirici zonanın dibi ilə r-mərkəzinin enerjisinin fərqi, yəni

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} \approx \Delta W. \quad (4.5)$$

bərabər olan foton buraxılır. (4.5) ifadəsinə daxil olan sabitlərin qiymətlərini yerinə yazsaq, (mikrometrlərlə) verilmiş bu və ya digər dalğa uzunluqlu (λ) şüalanmanın baş verməsi üçün lazım olan enerji zolağının (ΔW) elektronvollarla enini alarıq:

$$\Delta W \approx \frac{1,23}{\lambda}. \quad (4.6)$$

Bu ifadədən görünür ki, ($0,38 \div 0,78$) mkm görünən şüalanmanın baş verməsi üçün $\Delta W \approx 1,6 \div 3$ eV şərtini ödəməlidir. Germanium və silisiumda qadağan olunmuş zonanın eni çox kiçik olduğuna görə onlardan görünən oblast üçün işıq diodlarının hazırlanmasında istifadə etmək mümkün deyil.



Şəkil 4.10. Rekombinasiya şüalanması

Müasir işıq diodlarında əsasən qallium-fosfiddən (GaP), silisium-karbid (SiC) qallium-alüminium-arsen (GaAlAs) və ya qallium-arsen-fosfor (GaAsP) bərk məhlulundan, eləcə də digər üçqat birləşmələrdən ibarət sistemlərdən istifadə edilir. Yarımkəçiriciyə aşqar daxil etməklə müxtəlif rəngli işıqlanma almaq mümkündür.

Sənayedə görünən oblastda işıqlanma verən işıq diodlarından əlavə, qallium-arseniddən hazırlanan, infraqırmızı işıq şüalandıran işıq diodları da buraxılır. Bu diodlar fotorele, fotoqeydedici və optoron sistemlərində geniş istifadə edilir.

Şüalarından birinin spektral xarakteristikasının maksimumu qırmızı sərhəddə, digərininki isə yaşıl sərhəddə olan iki şüalı keçidə malik dəyişən rəngli işıq verən işıq diodları da mövcuddur. Belə diodlarda da işıq şüasının rəngi keçidlərdəki cərəyanların nisbətindən asılıdır. Heterokeçidli işıq diodları bu qəbildəndir.

İşıq diodlarının əsas parametrləri aşağıdakılardır:

1. Kandela $\left(1 \text{ kd} = \frac{1 \text{ lm}}{\text{sr}}\right)$ vahidləri ilə ölçülən və düzünə

istiqlamətdəki cərəyanın müəyyən qiymətində təyin edilən *ışıq şiddəti*. Adətən işıq diodlarında işıq şiddəti $0,1 \div 0,001$ kandela arasında olur. Xatırladaq ki, kandela – xüsusi standart mənbədən buraxılan işıq şiddəti vahididir.

2. Işıq şiddətinin işıqlanan səthin sahəsinə nisbətini xarakterizə edən *parlaqlıq*.

3. Sabit *düzünə gərginlik* (2-3 V).

4. Maksimal işıq selinə uyğun olan *ışığın rəngi və dalğa uzunluğu*.

5. Ehtimal olunan *maksimal sabit düz cərəyan*. Adətən maksimal düz cərəyan onlarla milliampere tərtibində olur.

6. Ehtimal olunan *maksimal sabit əksinə gərginlik* (voltlarla).

7. Işıq diodunun normal işini təmin edən *ətraf mühitin temperatur diapazonu*, məsələn -60-dan +70°C-ə qədər.

Adətən işıq diodları parlaqlıq, işıq, spektral, volt-ampere xarakteristikaları ilə xarakterizə olunur. *Parlaqlıq xarakteristikası* şüalanmanın parlaqlığının, *ışıq xarakteristikası* isə – işıq şiddətinin düzünə istiqamətdəki cərəyandan asılılığına deyilir. *Spektral xarakteristika* şüalanmanın dalğa uzunluğundan asılılığını göstərir. Işıq diodunun *volt-ampere xarakteristikası* adi düzləndirici dioddakı kimidir. Işıq diodlarının vacib bir xarakteristikası da *şüa selinin istiqamətdən asılılıq diaqramıdır*. Bu diaqram diodun konstruksiyası, xüsusi ilə də linzanın və digər amillərin mövcudluğu ilə müəyyən olunur. Dioddan çıxan işıq *istiqamətlənmiş* və ya *diffuz səpilmiş şüa* ola bilər.

Işıq diodlarının əksər parametrləri temperaturdan asılıdır. Temperatur yüksəldikcə parlaqlıq və işıq şiddəti azalır. Işıq diodları yüksək sürətli təsirə malikdirlər. Dioda düzünə istiqamətdə cərəyan impulsu təsir etdikdə təqribən 10^{-8} saniyə ərzində işıqlanma maksimum həddinə çatır. Işıq diodlarında işıqlanmanın ətalətliliyi əsasən p-n keçidin çəpər tutumu və qeyri-əsas yükdaşıyıcıların aktiv oblastda yığılması və oradan sorulması ilə əlaqədardır. Vizual halda, göz üçün inersiya 50 msan tərtibində olduğundan, işıqlanma müddəti elə bir əhəmiyyət kəsb etmir. Lakin, EHM-də və digər qurğularda bu parametr həlledici rol oynayır.

Işıq diodları elə konstruksiyada hazırlanır ki, dioddan generasiya olunmuş işıq selinin mümkün qədər böyük hissəsi kənara çıxa bilsin. Lakin şüalanan işığın çox hissəsi yarımkeçiricidə bilavasitə udulduğundan, bir qismi emitterə, digər qismi isə yan səthə doğru yönəldiyindən və kristal sərhədində

tam daxilə qayıtmağa uğradığından, işıq seli zəifləyir.

Işıq diodlarının keyfiyyəti $\eta = \gamma \eta_e \eta_{opt}$ ifadəsi ilə təyin edilir. Burada γ – yükdaşıyıcıların p-n oblasta injeksiya əmsalı, η_e – daxili kvant çıxışı (yəni rekombinasiya olunan bir elektron-deşik cütünə düşən fotonların sayı), η_{opt} – isə optik effektivlik, yaxud işığın dioddan çıxarılma əmsalıdır. Yuxarıda qeyd edilən itkilər məhz η_{opt} əmsalını təyin edir. Əslində η_{opt} əmsalı ədədi qiymətcə işıq diodundan çıxan işıq selinin onun daxilində yaranan işıq selinə nisbəti ilə təyin olunur. Nəhayət, xarici kvant çıxışı (η) şüalanan kvantların sayının (N_f) dioddan yaradılan sərbəst yükdaşıyıcıların sayına (N_e) nisbəti ilə müəyyən edilir:

$$\eta = \frac{N_f}{N_e} \quad (4.7)$$

Işıq diodları ya istiqamətlənmiş şüa buraxan linzalı metal, ya da səpilmiş şüa yaradan şəffaf plastmas gövdə üzərində hazırlanır. Bundan başqa, gövdəsiz diodlar da istehsal edilir. Həmin diodların kütləsi qramlarla ölçülür.

Işıq diodları bir çox mürəkkəb optoelektron cihaz və qurğularının əsas tərkib hissəsidir.

Xətti işıq diod şkalası integral mikrosxem olub, sayı 5-dən 100-ə qədər ardıcıl yerləşdirilmiş işıq diodlarının strukturundan (segmentlərdən) ibarətdir. Belə xətti şkalaya malik ölçü cihazı fasiləsiz dəyişən informasiyanın əks olunmasına xidmət edir.

Hərfləşmə işıq indikatorları da integral mikrosxem şəklində hazırlanır. Bu halda işıq diodları elə yerləşdirilir ki, işıqlanan segmentlərin uyğun kombinasiyaları hərflər və ya rəqəmi təsvir

etsin. Bir boşalma indikatoru 0-dan 9-a qədər hər hansı bir rəqəmi və ya bəzi hərfləri təsvir edir. İndikatorların sayını artırmaqla eyni zamanda bir neçə işarənin təsvirini vermək mümkündür. İndikatorların seqmenti (adətən hər boşalma üçün 7 zolaq) olmaqla zolaq şəkilli hazırlanır. Bundan başqa, ixtiyari işarə sintez etmək qabiliyyətinə malik olan 35 nöqtəvi işıq elementlərindən ibarət, matris indikatorları da istehsal edilir. Çoxlu sayda elementlərdən ibarət olan matris indikatorlarının üstünlüyü ondan ibarətdir ki, matris elementlərindən biri sıradan çıxanda işarənin təsvirində səhv müşahidə edilmir. 7-seqmentli indikatorlarda hər hansı bir seqment xarab olduqda təsvir olunan işarə oxunmur.

Uzun müddətdir ki, mürəkkəb təsvir almaq üçün istifadə edilən, tərkibində on minlərlə işıq diodları olan, çoxelementli bloklar işlənilib hazırlanır. Bu prinsip əsasında işləyən müstəvi ekranlı (kineskop) televizor qəbulediciləri yaradılmışdır.

Hərflər rəqəm indikatorların parametrləri və xarakteristikaları adi diodlarda olduğu kimidir. Hərflər rəqəm indikatorları ölçü cihazlarında, avtomatlaşma qurğularında və hesablama texnikasında, mikrohesablayıcılarda, elektron saatlarında və b. sistemlərdə geniş tətbiq edilir.

Optron-yarımkeçirici cihaz olaraq, özündə bir-biri ilə optik əlaqəsi olan işıq mənbəyi və qəbuledicisi vahid konstruksiyada birləşdirir. Şüa mənbəyində elektrik siqnalları işığa çevrilərək, fotqəbulediciyə təsir göstərir və onda yenidən elektrik siqnalları yaradır. Əgər optron ancaq bir şüalandırıcıya və bir şüaqəbulediciyə malikdirsə, onda o, ya *optocüt*, ya da *elementar optron* adlanır. Bir-biri ilə uzlaşan və gücləndirici qurğulardan ibarət olan, bir və ya bir neçə optocütdən təşkil olunmuş mikrosxemlər *optoelektron integral mikrosxemlər*

adlanır. Optronun girişində və çıxışında həmişə elektrik siqnalları mövcuddur. Girişlə çıxış arasında əlaqə isə işıq siqnalları vasitəsi ilə yaradılır. Burada şüalandırıcı dövrə – idarəedici, fotoqəbuledici dövrə isə – idarəolunandır.

Optronlar bir sıra üstün cəhətləri ilə digər elektron cihazlarından fərqlənir. Belə ki, optronlarda:

1. Girişlə çıxış arasında elektrik və fotoqəbuledici ilə şüalandırıcı arasında əks əlaqə olmur. Giriş və çıxış arasında izoləedici müqavimətin qiyməti 10^{14} Oma çatırsa, giriş tutumu 2 pF-ı aşmır və bəzi diodlarda hətta pikofaradın hissələrinə qədər azalır.

2. Buraxma zolağının eni geniş olub, $0 \div 10^{14}$ Hz intervalında dəyişir.

3. Optik hissəyə təsir göstərməklə çıxış siqnalları idarə olunur.

4. Optik kanal küyə qarşı yüksək səviyyədə mühafizə olunur, yəni xarici elektromaqnit sahəsinin təsirinə qarşı qeyri-həssasdır.

5. Radioelektronikada optronlar digər yarımkeçirici və mikroelektron cihazları ilə uzlaşa bilir.

Optronların üstünlükləri ilə yanaşı çatışmayan cəhətləri də vardır. Bunlardan ən başlıcaları:

1. Optronlarda iki dəfə enerji çevrilməsi baş verdiyindən onların FİƏ kiçikdir.

2. Optronların parametrləri və xarakteristikaları temperaturdan asılı olaraq dəyişir, lakin radiasiyaya qarşı dayanıqlıdır.

3. Optronların parametrləri zaman keçdikcə dəyişir (degradasiyaya uğrayır).

4. Bu cihazlarda məxsusi küylərin səviyyəsi yüksəkdir.

5. Optronların hazırlanmasında daha əlverişli olan planar

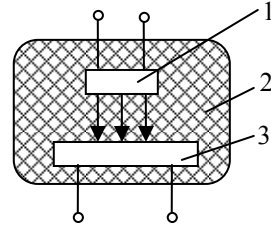
texnologiyadan fərqli olaraq, hibrid texnologiyanın tətbiq edilməsinə tələbat hiss olunur (müxtəlif yarımkeçiricidən hazırlanmış mənbə və şüa qəbuledici vahid cihazda birləşir).

Lakin bu qüsurların hamısı optron texnologiyasının inkişaf prosesində tədricən aradan qaldırılır.

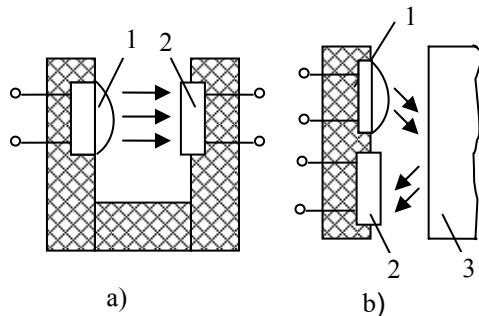
Şüalandırıcı və şüaqəbuledici elementlər vahid gövdədə yerləşdirilir və optik şəffaf yapışqan ilə doldurulur (şəkil 4.11). Hibrid mikrosxemlərdə istifadə etmək üçün miniatur gövdəsiz optronlar hazırlanır. Optik kanalı açıq olan optocütlər xüsusi konstruksiyaya malikdir. Onlarda şüalandırıcı ilə fotoqəbuledici arasında hava aralığı yerləşir (şəkil 4.12a). Aralıqda, üzərində oyuyq olan işıq buraxmayan arakəsmə, məsələn, lövhə sərbəst hərəkət edə bilər. Lövhənin köməyi ilə işıq seli idarə olunur. Digər variantda isə açıq kanallı optocütdə ixtiyari obyektə şüalandırıcının buraxdığı şüa əks olunaraq fotoqəbulediciyə düşür (şəkil 4.12b).

Fotoqəbulediciləri ilə bir-birindən fərqlənən müxtəlif növ optocütlərin quruluşu ilə tanış olaq.

Rezistorlu optocütlər ifrat yüksək miniatur közərmə lampasına və ya



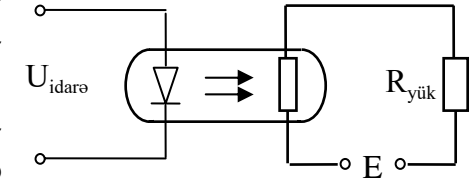
Şəkil 4.11. Optocütün quruluşu. 1 - şüalandırıcı, 2 - optik şəffaf yapışqan, 3 - fotoqəbuledici.



Şəkil 4.12. Açıq optik kanallı optocüt. 1 - şüalandırıcı, 2 - fotoqəbuledici, 3 - obyekt.

görünən və infraqırmızı şüalar buraxan işıq diodlarına malikdir. Görünən şüalar üçün kadmium-selenid və ya kadmium-sulfiddən, infraqırmızı şüalar üçün qurğuşun-seleniddən və ya qurğuşun-sulfiddən hazırlanan fotorezistorlardan istifadə edilir. Fotorezistorlar həm sabit, həm də dəyişən cərəyanla işləyə bilər. Şüalandırıcı ilə şüaqəbuledicinin spektral xarakteristikaları uzlaşdıqca, optocüt daha yaxşı işləyir.

4.13-cü şəkildə giriş dövrəsi sabit və ya dəyişən gərginlik mənbəyindən qidalanan, çıxış dövrəsi isə $R_{yük}$ müqaviməti ilə qapanan rezistorlu optocütün elektrik sxemi göstərilir. Işıq dioduna verilən $U_{idarə}$ gərginliyi yük müqavimətindəki cərəyanı idarə edir. İdarəedici dövrə (şüalandırıcı) fotorezistordan izolə olunur və 220V-lu gərginlik dövrəsinə qoşulur.



Şəkil 4.13. Rezistorlu optocütün elektrik sxemi.

Optocütlərin əsas parametrləri olaraq adətən: maksimal cərəyanı, giriş və çıxış gərginliyi, normal iş rejimində çıxış müqaviməti, qaranlıq çıxış müqaviməti (giriş cərəyanı olmadıqda qaranlıq cərəyanına uyğun gəlir və bir neçə mikroamper tərtibində olur) izoləedici layın müqaviməti və girişlə çıxış arasındakı izoləedici layın maksimal gərginliyi, giriş tutumu, cihazın ətalətliliyini xarakterizə edən qoşulma və sönmə müddəti götürülür. Girişin volt-ampere xarakteristikası və ötürücü xarakteristika (çıkış müqavimətinin giriş cərəyanından asılılığı) optocütlərin mühüm xarakteristikalarıdır.

Sənayedə közərmə lampası, elektrolüminesent lampası və işıq diodları kimi şüalanma mənbəyinə malik rezistorlu

optocütlər istehsal edilir. Kommutasiya üçün nəzərdə tutulan bəzi optocütlərdə bir neçə fotorezistor yerləşdirilir. Rezistorlu optocütlərdən gücün avtomatik nizamlanmasında, kaskadlararası əlaqədə, kontaktsiz gərginlik bölüşdürücülərinin idarə olunmasında, siqnalların modullaşdırılmasında, müxtəlif siqnalların formalaşmasında və b. hallarda istifadə edilir.

Silisiyum diodu və qaliyum-arseniddən hazırlanmış infraqırmızı işıq diodları birlikdə diodlu optocütü təşkil edir. Fotodiod fotogenerator və ya fotodiod rejimində 0,8 V-a qədər foto-e.h.q. yaradaraq işləyir. Diodlar epitaksial-planar texnologiya ilə hazırlanır. Diodların təsir sürətini yüksəltmək məqsədi ilə p-i-n tipli fotodiod tətbiq edilir.

Diodlu optocütün – giriş və çıxış gərginliyi, kəsilməz və impuls rejimində cərəyanı, cərəyanın ötürülmə əmsalı, yəni çıxış cərəyanının giriş cərəyanına olan nisbəti, çıxış siqnalının artma və düşmə müddəti və digər parametrləri rezistorlu optocütlərin parametrləri ilə analojiyədir. Cərəyanın ötürülmə əmsalı adətən bir neçə faiz, p-i-n-fotodiodu üçün artma və düşmə müddəti isə bir neçə nanosaniyə tərtibində olur. Fotogenerator və ya fotodiod rejimində işləyən diodlu optocütün əsas xassələri onların giriş, çıxış volt-ampere və ötürmə xarakteristikalarında əks olunur.

Çoxkanallı diodlu optocütdə bir neçə optocüt yerləşir. Optocütün kütləsi təqribən $0,1 \div 1,0$ qramdır. Adətən optocütlər şüşə-metal gövdədə hazırlanır. Lakin hibrid mikrosxemlərdə gövdəsiz optocütlər də tətbiq edilir.

Diodlu optocütlər müxtəlif məqsədlər üçün tətbiq edilir. Məsələn, diodlu optocütlər əsasında sargısız impuls transformatorları hazırlanır. Optocütlər – radioelektron cihazlarının (REC) mürəkkəb bloklararası əlaqəsində, müxtəlif

mikrosxemlərin işinin idarə olunmasında, xüsusi ilə də giriş cərəyanı çox kiçik olan MDY-tranzistorlarının mikrosxemlərində siqnalların ötürülməsində istifadə edilir. Bundan başqa, sənayedə fotoqəbuledicisi fotovarikap olan optocütlər də tətbiq edilir (şəkil 4.14b).

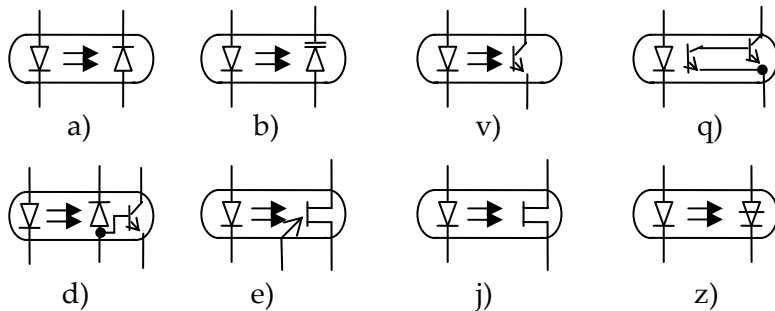
Tranzistorlu optocütlərin (şəkil 4.14v) şüalandırıcısı qallium-arsenid işıq diodundan, işıqqəbuledicisi isə n-p-n tip bipolar silisiyum fototranzistorundan ibarətdir. Bu cür sistemlərin giriş dövrəsinin əsas parametrləri analoji olaraq diodlu optocütlərdəki kimidir. Çıxış dövrəsi maksimal cərəyan, gərginlik və güclə, yanaşı həm də, fototranzistorun qaranlıq cərəyanı, qoşulma və sönmə müddəti kimi əlavə parametrlərə də malikdir. Bu tip optocütlər əsasən açar rejimində işləyən kommutator sxemlərində, ölçü bloklu müxtəlif qəbuledicilərin rabitə qurğularında, rele və digər hallarda tətbiq edilir.

Həssaslığı artırmaq məqsədi ilə optocütlərdə əlavə tranzistordan (şəkil 4.14q) və ya fotodiod-tranzistor (şəkil 4.14d) kombinasiyasından istifadə edilir. Tranzistorlu optocütdə cərəyanın ötürülmə əmsalı böyükdür, lakin təsir sürəti kiçikdir. Diod-tranzistor sisteminin təsir sürəti isə yüksəkdir.

Şüaqəbuledici əvəzinə optocütlərdə *birkeçidli tranzistorlardan* (şəkil 4.14e) də istifadə edilir. Bu növ optocütlər adətən açarlı sxemlərdə, məsələn düzbucaqlı şəkilli impuls yarada bilən relaksasiya generatorlarının idarə olunmasında tətbiq edilir. Birkeçidli fototranzistor universal xassəyə malikdir, yəni onlar emitter keçidi qoşulmadıqda fotorezistor, bir keçid qoşulduqda isə fotodiod kimi işləyir.

Sahə fototranzistorlu optocütlər daha rəngarəng xassəyə malikdir (şəkil 4.14j). Onlar gərginliyin, cərəyanın böyük diapazonlarında çıxış dövrəsinin volt-ampere xarakteristikasının

xəttiliyi ilə fərqlənir və buna görə də analoq sxemlərində geniş istifadə olunurlar.



Şəkil 4.14. Optocütlərin müxtəlif tipləri.

Tiristorlu optocütlərdə fotoqəbuledici kimi işləyən silisium fototiristoru (şəkil 4.14z) əsasən açar rejimində istifadə edilir. Onlar güclü impulsların formalaşdığı sxemlərdə, yük müqavimətli müxtəlif qurğuların kommutasiya və idarə edilməsində geniş tətbiq edilir. İş rejiminə və rejimin maksimal həddinə uyğun gərginliyin, cərəyanın giriş-çıxış xarakteristikaları, qoşulma və sönmə müddətləri, giriş və çıxış dövrlərinin izoleedici layının parametrləri belə optocütləri xarakterizə edən əsas kəmiyyətlərdir.

Optoelektron integral mikrosxemlər (OE İMS) ayrı-ayrı hissələrə və ya komponentlərarası optik əlaqəyə malikdir. Diod, tranzistor və tiristorlu optocütlər əsasında hazırlanan bu mikrosxemlərdə, şüalandırıcı və fotoqəbuledicidən əlavə, fotoqəbuledicidən daxil olan siqnalları formalaşdıran qurğular da yerləşdirilir. OE İMS-in əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, bu cihazlarda signal bir istiqamətdə yönəlir və əks əlaqə baş vermir.

Müxtəlif OE İMS-lər əsasən logik və analoq siqnallarının

açarında, rele və rəqəm-hərf sxemlərində istifadə edilir. OE İMS-lər üçün adi optocütlərdən fərqli olaraq, əlavə, 0 və 1 logik hallarına uyğun olan giriş və çıxış cərəyanları və gərginlikləri, qoşulmanın və sönmənin gecikmə müddətləri, mənbənin gərginliyi və tələb olunan cərəyan parametrləri xarakterikdir.

Bütün bunlarla yanaşı, sənayedə optik girişli və çıxışlı optronlardan da istifadə edilir. Bu optronlar, adətən, işıq siqnallarının çevrilməsində tətbiq edilir. Optoelektron cihazlar texnikası çox perspektivli sahə olduğundan sürətlə inkişaf edir.

§4.5. Kvant elektronikas

Hələ XVII əsrdə İsaak Nyuton işığın korpuskulyar nəzəriyyəsinə yaradarkən işığa zərrəciklər dəstəsi kimi baxırdısa, X. Hügens işığın dalğa nəzəriyyəsinə irəli sürdü. Burada da işığa – efirdə yayılan, bütün boş fəzanı və maddələrin zərrəciklərarası aralıqlarını dolduran dalğaların hipotetik mühiti kimi baxılırdı. Sonradan C.Maksvel işığın elektromaqnit nəzəriyyəsinə yaratdı. Bu nəzəriyyəyə görə işıq elektromaqnit dalğası olub, dəyişən elektrik və maqnit sahələrinin qarşılıqlı təsirinin (vahid elektromaqnit sahəsi kimi) rəqsləridir. XIX əsrin sonunda X. Lorents maddənin klassik elektron nəzəriyyəsinə irəli sürdü, sonra isə E. Rezerford atomun planetar modelini təklif etdi. Bu modelə görə atom daxilində elektronlar müxtəlif diskret orbitlər üzrə müsbət yüklü nüvə ətrafında hərəkət edir və hər bir orbitə elektronun müəyyən enerjisi uyğun gəlir. Hesablamalar göstərir ki, elektronla atom arasında əmələ gələn elektrik sahəsinin intensivliyinin qiyməti, bir

santimetrdə milyard volta çatır. Fərz edilirdi ki, işıq dalğalarının şüalanmasına səbəb elektronların orbit üzrə fırlanmasıdır. Lakin elektron şüalanarkən enerjisini itirdikdə hansı səbəbdən nüvənin üzərinə düşmədiyi izah olunmadı.

1900-cu ildə M.Plank göstərdi ki, işıq fasiləsiz deyil, ayrı-ayrı porsiyalarla şüalanır və bu şüaları işıq kvantları adlandırdı. Şüalanan kvantın enerjisi $W = h\nu$, burada ν – şüalanma tezliyi, h – Plank sabiti olub, təqribən $6,63 \cdot 10^{-34}$ C·san-ə bərabərdir. Işıq şüalarının bu kvantlar foton adlandırıldı. 1905-ci ildə A.Eynşteyn kvant nəzəriyyəsi əsasında fotoeffekt hadisəsini izah etdi. Lakin difraksiya və interferensiya hadisələrini kvant nəzəriyyəsi izah edə bilmədi. Bu hadisələr ancaq dalğa nəzəriyyəsinin köməyi ilə izahını tapdı.

Nils Bor ilk dəfə olaraq kvant nəzəriyyəsi yavaşmasından atomun planetar modelini irəli sürdü. O, göstərdi ki, stasionar (sabit) orbitlər üzrə fırlanan elektronlar şüalanmır. Şüalanma yalnız elektron nüvədən daha uzaq yüksək enerjili orbitdən nüvəyə daha yaxın olan kiçik enerjili orbitə keçdikdə baş verir. Bu halda işıq kvantları (fotonlar) şüalanır. Eynşteyn göstərdi ki, sıçrayış anı (kvantın şüalanması), şüalanmanın istiqaməti isə təsadüfə xarakter daşıyır. Bu cür təsadüf (özbaşına) şüalanma spontan şüalanma adlanır. Həyəcanlanmış atomda elektron nüvəyə daha yaxın orbitə keçərkən, şüalanma baş verir. Neytral atomla xarici elektron toqquşduqda, işıq udulduqda və ya temperatur artdıqda atomun həyəcanlanması baş verir. Adi işıq mənbələrinin, məsələn, közərmiş cismin şüalanması spontan şüalanmadır. Belə ki, müxtəlif atomlar zamanın müxtəlif anında, müxtəlif istiqamətdə, müxtəlif enerjili və fazalı kvantlar buraxır, yəni şüalanma nizamsız xarakter daşıyır.

Albert Eynşteyn yeni şüalanma növünü kəşf etdi və bu şüalanmanı məcburi, induksiyalanmış və ya stimullaşmış şüalanma adlandırdı. Fotonla həyəcanlaşdırılmış atomun elektronu fotonu udaraq nüvədən uzaqlaşır və yüksək enerjili orbitə keçir. Bu zaman atom əsas hala keçərkən buraxılan fotonun enerjisinin qiyməti və istiqaməti əvvəlki fotonun enerjisinin qiymət və yayılma istiqaməti ilə üst-üstə düşür. Başqa sözlə desək, məcburi şüalanmada şüalanma anı və şüanın istiqaməti təsadüfə olmayıb, atomla toqquşan fotonla təyin olunur. Beləliklə, kvant sistemlərinin (atom, molekul və s.) məcburi şüalanma ideyası, kvant elektronikasının yaranmasına səbəb oldu.

Lazerlər. Məcburi şüalanma prosesinin prinsipləri ilk dəfə 1917-ci ildə Eynşteyn tərəfindən irəli sürülməsinə baxmayaraq, proses öz praktiki tətbiqini bir qədər gec tapmışdır. Işıq rabitə texnikasında və elmin digər sahələrində daha effektiv istifadə etmək üçün atomların sinxron və sinfaz (eyni fazalı), yəni koherent şüalanmasına nail olmaq lazım idi. İlk dəfə 1939-cu ildə V.A.Fabrikant belə bir şüanın alınma bilməsi ideyasını irəli sürdü. Fərz edək ki, atomlardan ibarət olan zəncir düz xətt boyunca dartılmışdır. Əgər bütün atomlar həyəcanlanmış halda olarsa, onda zəncirin istiqamətində xarici foton kənar atomla toqquşduqda həmin atomda şüalanma yaradır və yaranan yeni fotonun enerjisi və hərəkət istiqaməti zərbə vuran fotonla eyni olur. Beləliklə, iki eyni foton hərəkət etməyə başlayır. Bu fotonlardan biri növbəti atomla toqquşur və yenidən özünə oxşar foton yaradır. Artıq üç ədəd eyni fotonların hərəkəti baş verir. Analogi olaraq üçüncü fotonun digər atomla toqquşması baş verir və dördüncü foton əmələ gəlir və s. Nəticədə işıq dəstəsi dəfələrlə güclənir. Nəzəri he-

sablamlara görə, güclənmə əmsalının qiyməti 10^{20} -yə bərabər ola bilər. Maraqlı odur ki, eyni enerjili və eyni istiqamətli böyük bir fotonlar ordusunun, yəni koherent şüaların hərəkəti yaranır.

Əgər həyəcanlanmış atomların sayı həyəcanlanmamış atomların sayına bərabədirsə, onda işıqda heç bir güclənmə alınmayacaq və həyəcanlanmamış atomlar tərəfindən udulan fotonların sayı həyəcanlanmış atomların buraxdığı fotonların sayına bərabər olacaq. Ona görə də işığın güclənməsi və koherent şüalar almaq üçün həyəcanlanmış atomların sayı neytral atomların sayından çox olmalıdır. Başqa sözlə desək, enerji səviyyələri invers dolmalıdır. Tarazlıq halında atomlarda elektronlar əsas orbitdə olur və ona görə də elektronları nüvədən uzaq enerji səviyyələrə keçirmək üçün atom həyəcanlanmalıdır. Işıqda güclənmə almaq üçün isə maddəni invers halında yəni, əksər (heç olmasa yarımından çox) atomlarını həyəcanlanmış hala gətirmək lazımdır. Maddəni invers halına gətirməkdən ötrü enerji tətbiq etməklə verilmiş maddədə – fəal işçi mühitdə atomların böyük əksəriyyətini həyəcanlandırmaq lazımdır. Bu prosesə doldurma deyilir.

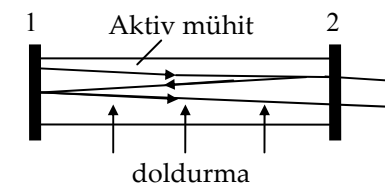
Yuxarıda baxdığımız işığın güclənməsi prosesi – lazerin yaranma prinsipini əks etdirir. Lazer – *light amplification by stimulated emission of radiation* ingilis sözlərinin başlanğıc hərflərinin birləşməsindən ibarət olub, «məcburi şüalanmanın köməyi ilə işığın güclənməsi» deməkdir.

Əgər müsbət əks rabitə yaratmaq mümkün olarsa, onda çıxışdan qayıdan şüaları girişə daxil edib, yenidən güclənmə əldə etmək və bu yolla işığın kvant gücləndiricisini generatora çevirmək mümkündür.

Birinci kvant generatoru 1954-cü ildə Basov və Proxorov

tərəfindən yaradılıb. Onun gücü çox kiçik (milliardda bir vatt tərtibində) idi və generasiya etdiyi signal yalnız yüksək həssaslığa malik cihazlar tərəfindən qeyd oluna bilirdi. Lakin bu halda əsas məsələ cihaz yox, induksiyanlanmış (məcburi) şüalanmanın yaradıla bilməsi ideyasının yoxlanılması idi. Bu baxımdan alınmış nəticə çox böyük qələbə idi və elektronikanın tarixində yeni səhifə açdı. Eyni günlərdə Kolumbiya Universitetində Çarlz Taunsun rəhbərlik etdiyi bir qrup amerikan radiofiziki də analoji cihaz yaratdılar və onu *mazer* adlandırdılar. 1963-cü ildə Basov, Proxorov və Tauns bu fundamental kəşf üçün Nobel mükafatı aldılar. Lakin Basov, Proxorov və Taunsun kvant generatoru hələ heç də lazer deyildi – həmin cihazlar dalğa uzunluğu 1,27 sm olan radio-dalğalar generasiya edirdi. Lazer isə uzunluğu bundan on min dəfələrlə kiçik olan və optik diapazonda yerləşən elektromaqnit dalğaları generasiya edir. Ancaq hər iki cihazın iş prinsipi eynidir. Buna görə də lazerin yaradılması artıq məsələnin xüsusi bir halı idi.

Lazerin – optik kvant generatorunun (OKG) iş prinsipi ilə tanış olaq (şəkil 4.15). Biri yarımşəffaf olan, iki paralel müstəvi güzgü sistemi arasındakı aktiv mühitdən şüalanan atomların fotonları 1 müstə-



Şəkil 4.15. Lazerin iş prinsipi şüalanma

visindən (100 % əks etdirən) 2 müstəvisinə (~ 40% əks etdirən) doğru hərəkət edir. Fotonlar dəstəsinin çox hissəsi yarımşəffaf güzgüdən keçərək koherent şüa şəkilində xarici fəzaya şüalanır. Digər hissəsi isə əks tərəfə doğru hərəkət edərək, sayını artıraraq, sonra 1 güzgüsündən əks olunaraq, yenidən

2 güzgüsünə doğru hərəkət edir. Oradan isə bir qismi əks olunur və yenidən əks tərəfə hərəkət edir və s. Əgər invers mühiti yaradan xarici enerji mənbəyi tətbiq edilərsə, onda 2 güzgüsündən həmişə koherent foton dəstəsi şüalanacaqdır.

Daxilində optik diapazona düşən, dayanıqlı və qaçan elektromaqnit dalğaları olan, iki və ya bir neçə güzgülərdən ibarət olan sistem açıq və ya *optik rezonator* adlanır. Ən sadə optik rezonator iki paralel müstəvi güzgüdən ibarət olan Fabri-Pero interferometridir.

Lazer şüası eyni enerjili fotonların paralel hərəkətindən ibarət olduğundan özünəməxsus xüsusiyyətlərə malikdir. Əsas xüsusiyyətlərindən biri az meylli, yüksək dərəcədə paralel olmasıdır. Məsələn, əgər lazer şüasının diametri 1 sm, dalğa uzunluğu $5 \cdot 10^{-5}$ sm olarsa, onda meyl bucağı $5 \cdot 10^{-5}$ rad və ya 0.003° bərabər olur. Toplayıcı linzaların və güzgülərin köməyi ilə lazer şüalarını ölçüsü 0,5 mkm olan nöqtəyə fokuslamaq olur (görünən şüalar üçün). Bu halda meyl bucağı 10^{-7} radiana qədər azalır. Əgər belə bir şüanı Ayın səthinə yönəldə bilsək, diametri 30 m olan işıq ləkəsi alırıq. Qeyd etmək lazımdır ki, əgər lazer şüaları paralel olmazsa, onda şüa bir neçə dəfə əks olunduqdan sonra güzgülər sistemindən (optik rezonatordan) çıxaraq güclənməz.

Lazerlərin ikinci xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onların şüası yüksək dərəcə monoxromatikdir, yəni dəstədə bütün fotonların enerjisi eyni olduğundan praktiki olaraq onlar bir tezliyə (bir dalğa uzunluğuna) malik olurlar. Lazer şüaları nəinki, zamana görə, həm də fəzaya görə koherentdirlər. Yəni, kənar və mərkəzi şüaların eyni zaman kəsiyində fazalar fərqi sabitdir. Bütün bunlarla yanaşı atomların müəyyən qismi əvvəlki şüalarla koherent olmayan spontan şüalar

buraxır və buna görə də lazer şüalarının tezliyində fluktuasiyalar müşahidə olunur. Nəzərə almaq lazımdır ki, lazer şüalarının dalğa zolağının eni çox dardır $\sim 10^{-3}$ Hz.

Lazer şüalarının üçüncü xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onları ifrat yüksək qısa (10^{-14} - 10^{-15} san) impuls şərtisindən uzun müddətli şüalanmaya qədər idarə etmək mümkündür. Müasir lazer bir impulsda bir neçə min Coul enerji şüalandırır. Fokuslanmış belə lazer şüasında güc 10^{20} Vt/sm²-ə çata bilər ki, bu da hər istənilən elektrostansiyanın verdiyi gücdən çox-çox böyükdür. Bu halda elektrik sahəsinin gərginliyi 10^{11} V/sm olur. Belə sahənin təsiri ilə maddələrdə atomların ionlaşması baş verir. Nəhayət, lazer şüaları mühitdən keçərkən onların öz-özünə fokuslanması baş verir.

Müasir lazerlərin aşağıdakı növləri mövcuddur:

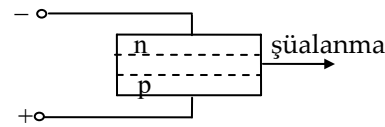
1. *Bərk cisim lazerlərində* aktiv mühit olaraq ya kristal, ya da xüsusi şüşə götürülür. Məsələn, tərkibində xrom ionlarının aşqarı olan alüminium-oksiddən ibarət yaqut kristalının lazerini göstərmək olar. Yaqut lazerinin dalğa uzunluğu 0,6943 mkm olan tünd-qırmızı rəngdə işıq şüalandırır. Bu növ lazerlərdə doldurma mənbəyi impuls ksenon lampaları (məsələn, İFP-2000) və ya köməkçi lazer ola bilər.

2. *Maye lazerlərdə* fəal mühit olaraq çox zaman üzvü boyaq məhlulları və ya nadir torpaq elementlərinin ionları ilə aktivləşdirilmiş xüsusi mayelərdən istifadə edilir. Lazer generasiyası üçün əhəmiyyətli olan çoxlu sayda üzvü rəng məhlulları mövcuddur. Bu maddələrin köməyi ilə dalğa uzunluğu 0,3-dən 1,3 mkm-ə qədər dəyişən şüalanma almaq olur. Mayeli lazerlərdə köməkçi lazer və ya qazboşalma lampaları ilə fasiləsiz və ya impulsu optik doldurma üsulu tətbiq edilir.

3. Qaz lazerlərinin fotodissosasiya, qazboşalmalı, ion, molekulyar, eksimer, kimyəvi, plazma və s. kimi növləri mövcuddur. Qaz lazerlərində aktiv mühit olaraq, təzyiqi 1-10 mm civə sütununa qədər seyrədilmiş qaz tətbiq edilir. Doldurma prosesi, sabit və ya yüksək (10-50 MHz) tezlikli dəyişən cərəyanla yaradılan, səyriyən və ya qövs boşalması ilə həyata keçirilir. Ümumiyyətlə qaz lazerləri 0,126-100 mkm intervalında dalğalar şüalandırır.

4. Yarımkəçirici lazerlər bərk cisimlər qrupuna daxil olmasına baxmayaraq, onlar ayrıca öyrənilir. Bu lazerlərdə koherent şüalanma elektronların keçirici zonadan valent zonaya keçidi nəticəsində yaranır. Yarımkəçirici lazerlərin iki tipi mövcuddur. Birinci növ aşqarsız yarımkəçirici (GaAs, CdS və CdSe) lazerdə doldurma prosesi enerjisi 50-100 keV olan sürətli elektronlarla aparılır. Bu zaman generasiya olunmuş dalğanın uzunluğu 0,49 mkm-ə çatır. İkinci tip yarımkəçirici lazer injeksiya lazerləridir (şəkil 4.16). Bu tip lazerlərdə şüalanma düzünə istiqamətdə işləyən n-p-keçiddə baş verir. İnjeksiya lazerlərində əsasən qallium-arseniddən istifadə edilir və şüalanmanın dalğa uzunluğu 0,8-0,9 mkm-ə çatır. Miniatur injeksiya lazerləri fasiləsiz rejimdə 10 mVt-a qədər, impuls rejimində isə 100 Vt gücə malik olur.

Lazerlər elmdə və texnikada geniş tətbiq edilir. Lazer şüaları rabitədə də geniş tətbiq tapmışdır. Yüksək dərəcədə istiqamətlənmiş lazer şüaları ilə rabitə, eyni zamanda çoxlu sayda informasiyaların toplanmasını təmin edir. Bilavasitə lazer şüalarının köməyi ilə eyni zamanda on minlərlə televiziya

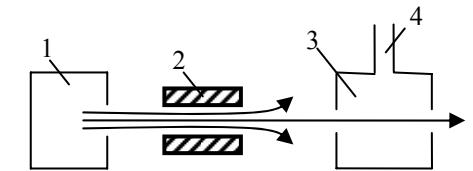


Şəkil 4.16. İnjeksiya lazer qurğusunun təsviri

proqramlarını ötürmək və ya on milyonlarla telefon danışqlarını həyata keçirmək mümkündür. Lazer şüalarından geodeziya ölçmələrində, qaynaq işində, müxtəlif materialların kəsilməsində istifadə edilir. Holoqrafiyada həcmi təsvirlərin alınmasında, məlumatın optik işlənməsi və saxlanılmasında, tibbidə və biologiyada lazer şüalarının tətbiqi gündən-günə genişlənir.

Mazerlər. Lazerlərdən fərqli olaraq İYT (santimetrlik və millimetrlik dalğalar) diapazonlu kvant generatorları mazerlər adlanır. Bu söz də *lazer* sözüündə olduğu kimi ingilis sözlərinin baş hərflərinin birləşməsindən əmələ gəlir. Lazerdən fərqli olaraq, mazer sözünün birinci hərfi *microwave*, yəni *mikrodalğa* sözünün birinci hərfidir. (NH₃) ammiak molekullarından təşkil olunmuş fəal mühitdə işləyən İYT kvant generatorlarını ilk dəfə 1954-cü ildə rus alimləri N.Q.Basov, A.M.Proxorov və onlardan asılı olmayaraq ABŞ alimi Ç.Tauns ixtira etmişdi. Ammiak əsasında mazerlər hal-hazırda da istifadə edilir.

Mazerlərin iş prinsipi lazerlərə oxşardır. Əsas proses – həyəcanlanmış molekulların məcburi şüalanması – lazerlərdən fərqli olaraq optik diapazonda deyil, İYT diapazonunda baş verir. Mazer qurğusuna sxematik təsvirinə baxaq (şəkil 4.17). Burada ammiak



Şəkil 4.13. Mazer qurğusunun sxematik təsviri.

molekullarının dəstəsi 1 mənbəyindən 2 növləyiciyə doğru hərəkət edir və orada bir-birindən ayrılır. 20-30 kV-lıq mənbədən qidalandırılan dörd paralel metal çubuqlardan təşkil olunmuş kvadrupol kondensator selektor (növləyici) rolunu

oynayır. Kondensatorun daxilində qeyri-bircins elektrik sahəsi olduğu halda, onun simmetriya oxunda sahə olmur. Kondensatora daxil olan molekulyar dəstənin bir hissəsi həyəcanlanmış (30÷40%) digər hissəsi isə (60÷70%) həyəcanlanmamış halda olur. Həyəcanlanmış dəstədə elektronların enerjisi yüksək olur.

Kvadrupol kondensatorun elektrik sahəsi molekula əlverişli təsir edir ki, həyəcanlanmış molekullar kondensatorun simmetriya oxuna yığılır, həyəcanlanmamış molekullar isə oxdan uzaqlaşır. Nəticədə, kvadrupol kondensatorundan həcmi rezonatora (3) yalnız həyəcanlanmış molekulların dəstəsi keçir. Həcmi rezonator keçirici divarlarla məhdudlanmış rəqs sistemini xatırladır. Ölçüdən asılı olaraq belə bir rezonator bir neçə rezonans tezliyə malik olur. Kvant generatorunda rezonator, həyəcanlanmış molekulların əsas hala keçməsinə uyğun gələn tezliyə köklənir. Rezonatorda rəqslərin yaranmasında və saxlanmasında iştirak edən keçid molekulları elektromaqnit dalğası şüalandırır. Rəqslərin enerjisi rezonatorun (4) giriş vassitəsi ilə təmin edilir.

Ammiak əsasında hazırlanan molekulyar generatorlar tezliyi 23,877 QHs, uzunluğu 1,25 sm-ə uyğun gələn dalğalar yaradır. Bu tip generatorların gücü çox kiçikdir (10^{-9} - 10^{-10} Vt). Ammiaklı molekulyar generatorların əsas xüsusiyyəti onlarda tezliyin yüksək dərəcədə sabit qalmasıdır. Generatorunda bir neçə saatlıq iş prosesi ərzində tezliyin qeyri-stabilliyi ($\Delta f/f$ nisbəti) 10^{-10} qiymətini aşmır. Ona görə də ammiaklı molekulyar generatorlardan tezlik standartları kimi istifadə edilir.

Hidrogen atomlarının dəstəsindən ibarət olan generatorlar daha da stabildir. Bu tip generatorların ammiaklı generatorlardan fərqi ondadır ki, burada həyəcanlanmış və həyəcan-

lanmamış atomlar elektrik sahəsi ilə deyil, qeyri-bircins maqnit sahəsi ilə yaradılır. Bu onunla izah edilir ki, hidrogen atomları maqnitlənmə xassəsinə malikdir. Qeyri-bircins maqnit sahəsi həyəcanlanmış hidrogen atomlarını oxa doğru sıxır, həyəcanlanmamışları isə itələyir. Ona görə də həcmi rezonatora həyəcanlanmış hidrogen atomları keçir və neytral hala qayıdaraq uzunluğu 21 sm olan elektromaqnit dalğaları generasiya edir. Həcmi rezonator belə bir dalğaya köklənir. Tezliyin qeyri-stabilliyinin nisbi qiyməti 10^{-13} - 10^{-15} tərtibində olur, gücü isə 10^{-9} Vt qiymətini aşmır. Seziyum atomları əsasında hazırlanmış generatorlar analogi olaraq hidrogen generatoru kimi işləyir. Molekulyar və atom kvant generatorları (molekulyar və atom saatlarında) vaxtın dəqiq ölçülməsində tətbiq edilir. Tezliyin kvant standartı və ya molekulyar saat 300 ildən çoxu 1 san geri qalır.

V FƏSİL

ELEKTRONİKA MÜASİR DÖVRDƏ

§5.1. Fiziki elektronikanın yeni sahəsi – nanoelektronika

Elektronika sürətlə inkişaf edən elm və texnikanın bir sahəsidir. O, elektron cihazlarının əsasını təşkil edən qazlarda və yarımqəçiricilərdə baş verən elektron və ion proseslərini öyrənir. Elektronikanın sürətli inkişafı nəticəsində elm və texnikada: radio-, kvant-, foto-, opto-, mikro-, akusto-, piro-, bio-, krio-, maqnetoelektronika və s. kimi yeni sahələr yaranmışdır.

Elektronikanın bir sıra sahələri haqqında kifayət qədər məlumatımız var. Odur ki, elektronikanın son illərdə formalaşmış bəzi sahələri ilə tanış olaq.

Qısa tarixi faktlar. Hələ 2400 il əvvəl, ilk dəfə olaraq Yunan filosofu Demokrit maddənin ən kiçik hissəsini *atom* adlandırmışdı. O dövrdən başlayaraq alimlər arasında ən kiçik hissəciyin ölçüsü haqqında çoxlu mübahisələr gedirdi. Nəhayət, 1905-ci ildə Albert Eynşteyn şəkər molekullarının ölçüsünü hesablamış və 1 nm-ə bərabər olduğunu aşkar etmişdir.

1931-ci ildə alman alimləri Maks Knoll və Ernst Ruska nanoobyektləri tədqiq etmək üçün elektron mikroskopunu yaratdılar. 1959-cu ildə Amerika fiziki Riçard Feynman ilk dəfə olaraq elmi əsaslarla sübut etdi ki, atomlardan ibarət ixtiyari bir sistem hazırlamaq mümkündür. O, elmin bu yeni sahəsinə marağı artırmaq məqsədi ilə kitab səhifələrini sancaq ucuna köçürə bilən tədqiqatçıya 1000\$ məbləğində mükafat da ayırdı. Onun bu arzusu 1964-cü ildə həyata keçdi.

1974-cü ildə Yapon fiziki Norio Taniquçi mexaniki ölçüləri 1 mikrondan kiçik olan cihazları *nanotexnika* adlandıрмаğı təklif etdi. 1981-ci ildə alman fizikləri Herd Beninq, Henrix Rorer skaynerləyici tunel mikroskopunu – maddələrə atom səviyyəsində təsir göstərə bilən cihazı, yaratdıqlarına görə dörd ildən sonra Nobel mükafatına layiq görüldülər. 1989-cu ildə IBM firmasının əməkdaşı Donald Eyqler ksenon atomlarının köməyi ilə öz firmasının adını yazdı. 1998-ci ildə isə holland fiziki Seez Dekker nanotranzistor ixtira etdi.

Qısa müddət ərzində nanotexnologiyaya maraq o dərəcədə artdı ki, hətta 2000-ci ildə ABŞ dövlət səviyyəsində *Milli Nanotexnologiya Təşəbbüsçüləri* adlı qrupun yaradılması təklifi qəbul etdi. Federal büdcədən bu təşəbbüsə 500 mln dollar vəsait ayrıldı. 2002-ci ildə tədqiqat işlərinə ayrılan məbləğ 604 mln dollara çatdırıldı. 2003-cü ildə *Təşəbbüskarlar* 710 mln dollar vəsait tələb etdilər, 2004-cü ildə ABŞ hökuməti elmin bu sahəsinə sərf edilən vəsaitin 3,7 mlrd dollara çatdırmaq haqqında qərar qəbul etdi. Ümumiyyətlə, 2004-cü ildə dünyada nanotexnologiyaya qoyulan investisiyanın məbləği 12 mld dollara bərabər idi.

Karbon fullerenləri və nanoborucuqları. 1985-ci ildə Robert Kerl, Harold Kroto və Riçard Smolli karbon atomlarının yeni halını – fullerenləri kəşf etdilər. Onlar bu kəşfə görə 1996-cı ildə Nobel mükafatına layiq görüldülər.

Fullerenin molekulunun əsasını karbon atomları təşkil edir – bu kimyəvi elementin fərqləndirici xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, o, müxtəlif tərkibli maddələrlə, müxtəlif quruluşda asanlıqla birləşir. Kimyadan məlumdur ki, karbonun əsasən iki allotrop halı – qrafit və almaz mövcuddur. Fullerenlərin kəşfindən sonra karbonun yeni bir allotrop halı da

aşkar edildi. Qrafit, almaz və fullerenlərin quruluşu ilə tanış olaq.

Qrafit laylı quruluşa malikdir. Onun hər bir layında karbon atomları bir-biri ilə kovalent rabitələrlə düzgün altıbucaqlı şəkilində birləşir. Qonşu laylar arasında zəif Van-der-Vaals qüvvələri təsir göstərdiyindən laylar bir-birinə nisbətən asanlıqla yerdəyişə bilər. Buna misal olaraq karandaşın kağız üzərində izini göstərə bilərik.

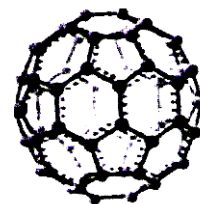
Almaz üçölçülü tetraedr quruluşa malikdir. Hər bir karbon atomu qalan dörd karbon atomu ilə kovalent rabitə yaradır. Kristall qəfəsdə olan bütün atomlar bir-birindən bərabər məsafədə (154 nm) yerləşir. Kristalın atomlarından hər biri digəri ilə kovalent rabitə yaradaraq nəhəng bir makromolekul əmələ gətirir. Almazda C-C kovalent rabitə enerjisi böyük olduğuna görə yüksək dərəcədə davamlı, qiymətli daş olmaqla yanaşı, o, həm də metalkəsmədə və səthlərin emalında geniş tətbiq edilir.

Fulleren adı memar Bakminster Fullerin şərəfinə verilmişdir. O, belə bir quruluşu ilk dəfə özünün memarlıq işlərində tətbiq etmişdi. Buna görə də bəzən fullerenləri bakibol da adlandırırlar. Fulleren beş- və ya altıbucaqlılardan ibarət, futbol topuna bənzəyən, qəfəs quruluşuna malikdir. Əgər bu çoxüzlünün təpə nöqtələrində karbon atomlarının yerləşdiyini qəbul etsək, onda biz ən dayanıqlı quruluş olan C_{60} fullerenini alırıq (şəkil 5.1).

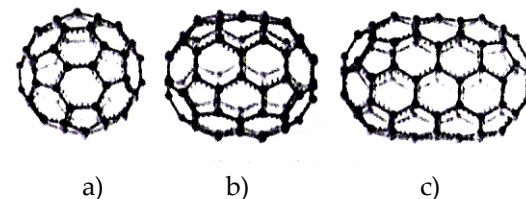
C_{60} molekulunda 20 ədəd altıbucaqlı var. Bu halda hər bir beşbucaqlı altıbucaqlı ilə əhatə olunur. Altıbucaqlının üç tərəfi digər altıbucaqlı ilə, qalan üç tərəfi isə beşbucaqlı ilə ümumdür.

Fulleren molekulunun quruluşu elə bir formaya malikdir

ki, onun daxilində olan boşluğa digər maddələrin atom və molekullarını daxil edib, ixtiyari yerə təhlükəsiz daşımaq olar. Fulleren molekulunu tədqiq edilərkən tərkibində müxtəlif sayda – 36-dan 540-ə qədər karbon atomu olan quruluşlar sintez edilmişdir (şəkil 5.2).

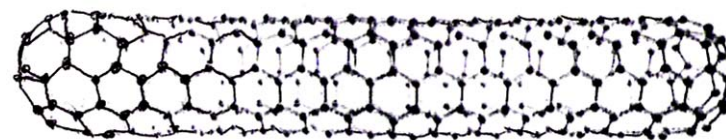


Şəkil 5.1. Fullerenin quruluşu



Şəkil 5.2. Fullerenlər a) C_{60} , b) C_{70} , c) C_{90}

Fulleren molekulunun quruluşunun tədqiqini davam etdirən Yaponiyalı professor S.İidzima 1991-ci ildə nanoboru-cuq adlanan uzun karbon silindrini müşahidə etmişdir (şəkil 5.3).



Şəkil 5.3. Nanoborucuğun quruluşu.

Nanoborucuq – milyon karbon atomundan ibarət elə bir molekuldur ki, borunun diametri nanometr tərtibində, uzunluğu isə bir neçə on mikrometrdür. Borunun divarlarında karbon atomları düzgün altıbucaqlının təpə nöqtələrində yerləşir. Nanoborucuqlar nəzəri olaraq qabaqcadan irəli sürülmədiyindən, onu təcrübələrdə öyrəndikcə təəccüb doğururdu. Qeyd edək ki, borucuqların diametri tükdən 100 dəfə kiçik

olmasına baxmayaraq, davamlı və möhkəmdir. Poladdan 50-100 dəfə möhkəm, həm də sıxlığı poladınkindən altı dəfə kiçikdir. Nanoborucuqlar möhkəm rezin boruları xatırladır. Xarici mexaniki gərginlikdən borucuq qırılmaz, sınırmır, sadəcə onun təşkil olunduğu atomlar öz yerini dəyişir. Onların elektrik, maqnit və optik xassələri də fərqlidir.

Qeyri-adi elektrik xassələrinə malik olan nanoborucuqlar nanoelektronika üçün yaxşı materialdır. Onların kompüterlərdə tətbiqi işçi elementlərin sayını bir neçə tərtib ixtisar etməyə imkan verir.

Nanohissəciklərin alınma üsulları. Nanohissəciklərin alınması müxtəlif üsullarla həyata keçirilir. İndiyədək məlum olan üsulları iki qrupa bölmək olar:

–disperqasiya üsulu, yəni adi makro-nümunəni kiçik hissələrə bölmək;

–kondensasiya üsulu, yəni müxtəlif atomlardan nanohissəciyin *yetişdirilməsi*.

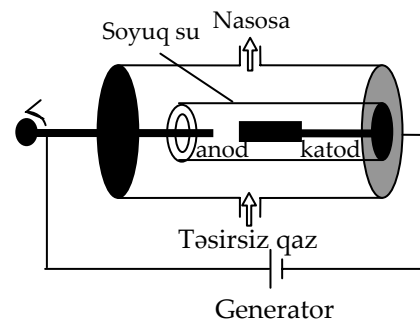
Kondensasiya üsulunda makrocisim əvvəlcə buxarlandırılır, sonra isə lazım olan ölçü alınana qədər buxar kondensasiya edilir. Nəticədə sıx düzülüşlü maddə ultradispers maddəyə çevrilir. Nanohissəciklərin bütün alınma üsullarında güclü xarici mənbəyə ehtiyac vardır. Çünki nanohissəciklər atomların tarazlıqda olmayan metastabil halında alınır. Xarici enerji mənbəyinin təsiri kəsilsən kimi sistem tarazlıq halına qaydır və nanohissəciyin alınma prosesi pozulur. Məsələn, monokristal əvvəlcə qızdırılaraq əridilir, sonra isə buxarlandırılır. Yaranan buxar kəskin soyudulur. Soyuma prosesində hissəciklər nizamlı şəkildə nanohissəciklər şəkilində birləşir. Tədricən nanohissəciklər mikrokristallara çevrilir və prosesi davam etdirdikdə kiçik mikrokristallar buxarlanır, nisbətən iri

kristallar isə böyüyərək ilkin kristalı əmələ gətirir. Deməli, nanohissəciyi almaq üçün sistemi nanohalda saxlamaq vacibdir.

Disperqasiya üsulunda xarici mexaniki enerji kifayət qədər olduqda monokristalın bölündüyü fraqmentlərin ölçüləri kiçilir. Mexaniki enerji böyük olduqca fraqmentlərin ölçüləri nanometrlərə çatır və sistem nanohala keçir. Mexaniki gərginlik azalan kimi, nano fraqmentlər böyüməyə başlayır. Proses ilkin monokristal alınana qədər davam edir.

Bu arzuolunmayan effektin qarşısını almaq üçün, sistemə zülalların, polimerlərin və ya səthi aktiv maddələrin molekulyar məhlullarından ibarət müəyyən stabilləşdirici maddələr əlavə edilir. Prosesin müəyyən anında stabilləşdirici maddə sistemə daxil edildikdə, bu maddənin molekulları böyüməkdə olan nanohissəciyi hər tərəfdən əhatə edərək, onun böyüməsinin qarşısını alır. Stabilləşdirici maddənin tərkibini və konsentrasiyasını müəyyən edib, ixtiyari diametrli nanohissəcik almaq mümkündür.

Qrafitin elektrik qövsü vasitəsi ilə tozlandırılması. Bu üsul Kreçmer tərəfindən hazırlanmış və nanoborucuqların, eləcə də füllerenlərin alınmasında geniş tətbiq olunur. Bu üsuldən istifadə edərək yapon alimi S.İdzima 1991-ci ildə nanoborucuq aldı. Üsulun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, içi boş silindrin içərisinə təsirsiz qaz doldurulur və orada iki qrafit elektrod (katod və



Şəkil 5.4. Nanoborucuq və fullerenlərin alınması üçün istifadə olunan Kreçmer qurğusunun sxemi

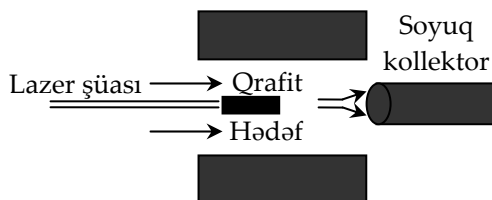
anod) yerləşdirilir (şəkil 5.4). Katod və silindrin gövdəsi su və ya maye azotla soyudulur.

Qövs boşalmasında cərəyanın şiddəti 100 A, qazın təzyiqi atmosfer təzyiqindən bir neçə dəfə kiçik, elektrodlardakı gərginlik isə 25-35 V olduqda elektrodlar arasında yaranan plazmanın temperaturu 4000 K-ə çatır. Belə bir temperaturda qrafit anodun səthi intensiv buxarlanır. Buxarlanan karbon atomları, silindrdəki kəskin temperatur fərqi hesabına, isti oblastdan nisbətən soyuq oblasta doğru hərəkət edərək, katodun və silindrin soyuq daxili divarında kondensasiya edir.

Çöküntüyə elektron mikroskopu altında baxdıqda yeni quruluş – fulleren və nanoborucuq müşahidə olunur. Bu halda tərkibində qrafit, qarışıq və fulleren olan çöküntü soyuq divarın, tərkibində qrafit və nanoborucuq olan çöküntü isə katodun üzərində yaranır.

Lazer şüalarının təsiri ilə qrafitin buxarlandırılması. Bu üsulda lazer şüalarının təsiri ilə buxarlanan qrafit soyuq kollektorda kondensə edir. Uzun kvarts boru daxilində qrafit hədəf 1000°C-ə qədər qızdırılan silindr daxilində yerləşdirilir (şəkil 5.5).

Borunun oxu istiqamətində təsirsiz (helium və ya argon) qaz müəyyən sürətlə püskürülür. Hədəf, enerjisi 140 mC olan lazer şüaları ilə şüalandırılır. İmpulsun davamətmə müddəti 8 nsan, diametri isə 1,6



Şəkil 5.5. Lazer şüalarının təsiri ilə qrafitin buxarlanması üsulu əsasında fulleren və nanoborucuqların alınması üçün istifadə edilən qurğunun sxemi

mm qəbul edilir. Termik yolla tozlanan karbon atomları isti oblastdan soyuq oblasta doğru hərəkət edərək kollektorda toplanır. Toplanan çöküntüdə qrafitin nanohissəciklərindən başqa fullerenlər və nanoborucuqlar da alınır.

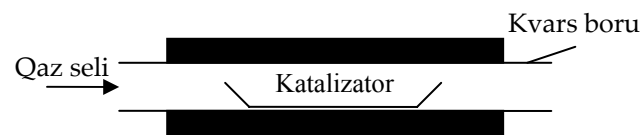
Lazer üsulunun başlıca xüsusiyyətlərindən biri də sintez olunan nanoborucuğun lazer şüalarının parametrlərinə müəyyən qədər həssas olmasıdır. Xüsusi halda, nanoborucuğun diametri birbaşa şüanın gücündən asılı olduğuna görə müəyyən parametrlə quruluşları almaq mümkündür. Bu üsulun çatışmazlığı məhsuldarlığının az və kütləviləşdirilməsinin çətinliyidir.

Bütün bunlara baxmayaraq, az miqdarda nanoborucuqların alınması adi haldır. Lakin nanoborucuqların istehsal dəyərini aşağı salınması və sənayedə kütləvi istehsal edilməsi hələ də əsas problem olaraq qalmaqdadır.

Buxarın kimyəvi çökdürülməsi. Bu üsul daha asan və kütləvidir. Burada karbon nanoborucuqlarının alınması karbon tərkibli qazın isti metal katalizator səthində çökdürülməsinə əsaslanır. Ona görə də bu üsul bəzən karbohidrogenin katalitik parçalanması kimi də adlandırılır.

Karbon tərkibli qaz adətən C_2H_2 asetilinin və ya CH_4 metanın azotla qarışığı 700-1000°C qədər qızdırılan sobanın içərisində yerləşən kvarts borudan buraxılır (şəkil 5.6). Borunun daxilində isə içərisində katalizator – metal toz olan saxsı tiqel yerləşdirilir. Qaz atomlarının metal atomları ilə kimyəvi qarşılıqlı təsiri nəticəsində karbon parçalanır, katalizatorun səthində fullerenlər və daxili diametri 10 nm, uzunluğu isə bir neçə on mikrometr olan nanoborucuqlar əmələ gəlir. Nanoborucuğun həndəsi ölçüləri prosesin baş vermə parametrlərindən – davamətmə müddətindən, temperaturdan,

təzyiqdən və silindr daxilindəki qazın növündən, habelə dispersiya dərəcəsindən və katalizatorun növündən asılıdır.



Şəkil 5.6. Buxarın kimyəvi çökdürülməsi üsulu ilə fulleren və nanoborucuqların alınması üçün istifadə olunan qurğunun sxemi

Yuxarıdakı araşdırmalardan məlum olur ki, nanohissəciklərin son məhsulunda qalıq atomlar, amorf qrafit və metal hissəcikləri (katalizator olmadıqda) əmələ gəlir. Alınan məhsulun təmizlik dərəcəsini artırmaq üçün müxtəlif üsullardan istifadə edilir – həm mexaniki (süzkəcdən keçirmə, ultrasəsle emal, mərkəzdənqaçma), həm də kimyəvi (kimyəvi aktiv maddələrdə yuyulma, qızdırma və s.) yol ilə təmizləmədən istifadə edilir.

§5.2. Bioelektronika

Fiziki elektronikanın yeni yaranan sahələrindən biri də bioelektronikadır. Bioelektronika elm sahəsi gənc olmasına baxmayaraq, böyük sürətlə inkişaf edir. İnsanların uzun-ömürlülüüyünün və sağlamlığının təmin edilməsində əvəzsiz rolu olan bioelektronika elmdə özünəməxsus yer tutur.

Son illərdə elektronların bioloji sistemlərdə, xüsusən zülal molekullarında hərəkətinə olan maraq gündən-günə artır. Çünki məhz zülallar oksidləşmə məhsullarından elektronları turşu molekullarına daşıyır və nəticədə hüceyrəyə lazım olan

enerjini əldə edir. Başqa sözlə desək, bu gün molekulyar və hüceyrə bioelektronikası sürətlə inkişaf edərək – elmin yeni istiqamətləri üzrə elektronun bioloji obyektlərdə, membran strukturlarında (hüceyrə bioelektronikası) və makromolekullarda (molekulyar bioelektronika) hərəkəti öyrənilərək, məlumatın işlənilib saxlanması üçün biomaterial hazırlanır.

Canlı hüceyrələr üçün əsas enerji mənbəyi zülal strukturlarında elektronların çoxpilləli daşınması zamanı ayrılan enerjidir. Makromolekullarda və makromolekullararası əlaqələrdə elektronların daşınma mexanizmini həm nəzəri, həm də təcrübi öyrənən elm sahəsi biokimya və biofizikadır. Canlı orqanizmlərdə elektron selinin normal hərəkəti pozulduqda patoloji hallar müşahidə olunur ki, bu da tibbin əsas problemlərindən biridir. Bu problemləri vaxtında aşkar edib aradan qaldırmaq və ya makromolekulların funksional halını xüsusi cihazların köməyi ilə müşahidə və idarə etmək məsələsi aktual olaraq qalmaqdadır.

Nəhayət, bioelektronika ifrat miniatur elektron qurğularını əvəz edə bilən zülal molekulların təbiəti əsasında işləyən cihazlar yaratmaq mümkünlüyünə ümid verir. Burada əsas amil bioloji materiallarla elektron qurğuları arasında qarşılıqlı əlaqənin yaradılmasıdır.

İnsanın mitoxondrilərinin membranlarının daxilində tənəffüs zəncirində elektronlar molekulyar ölçüdə böyük məsafələr (on anqestremlərlə) qət edir. Sual yaranır ki, elektronlar bu hərəkətə necə nail olur? 1940-cı illərdə N.Ril belə bir təklif irəli sürdü ki, güya zülallar yarımkeçirici xassəli olduqlarına görə elektronlar keçirici zonada hərəkət edə bilər. Bu təklifi Nobel mükafatı laureatı A.Sent-Diyerdi müdafiə etdiyinə görə uzun müddət elmdə qaldı. Lakin zülal təbəqələrin fotokeçiriciliyi

təcrübi olaraq öyrənildikdən sonra məlum oldu ki, zülallar izolyatorlara daha yaxındırlar.

Müasir təsəvvürlərə əsaslanaraq deyə bilərik ki, zülal strukturlarında elektronlar iki yolla – domenlərin estafeti bir-birinə ötürməsi və tunel effekti hesabına daşınır. Tunel effekti zamanı zərrəcik potensial səddi sıçrayışla keçir. Tunel sıçrayışlarının effektivliyi mühitin dielektrik xassəsindən asılıdır. Bu effekt qeyri-polyar mühitdə aktiv, polyar mühitdə isə passiv olur. Zülal molekullarında atomların strukturu haqqında biliklərə əsaslanan hesablamalar göstərir ki, elektron daşıyıcıları olan zülallarda elə bir *tunel* və ya *boru* ayırmaq olar ki, oradan elektronlar daşınsın. Beləliklə, zülallar elə bir struktura malikdirlər ki, onları *naqillərə* bənzətmək olar. Bundan başqa bəzi zülallar qrup şəklində hərəkət edir ki, bu halda da onlar istilik hərəkəti nəticəsində kofermentlərarası elektronlar daşıyır. Bioloji membranlarda elektronların nizamlı sürətdə daşınması vacib məsələlərdən biridir. Bədənimizin təşkil olunduğu üzvü molekulların orbitlərində kimyəvi aktivliyi bir-birini qarşılıqlı kompensə edən elektronlar cüt-cüt yerləşir. Lakin cütləşməyən sərbəst elektron hərəkət etdiyi zaman üzvü molekullarla və ya oksigen molekulları ilə birləşərsə, onda bu birləşmə yüksək aktivliyə malik sərbəst radikallara çevrilir. Yaranan bu sərbəst radikallar bioloji strukturu pozmağa və dağıtmağa qadir olur. Bu hal sərbəst radikalların spesifikliyindən-təbiətindən və miqdarından bilavasitə asılıdır.

Son illər təkcə bioloqlar arasında deyil, həm də həkimlər arasında sərbəst radikallara olan maraq artmışdır. Artıq həkimlər qocalmağın, əsəb xəstəliklərinin, yaddaşsızlığın, Parkinson xəstəliyinin, habelə immun çatışmazlığının, ateroskle-

rozun, şişlərin, revmatid artritin, hipertoniya və diabetin səbəblərini orqanizmdə sərbəst radikalların təsirində axtarırlar. Sərbəst radikalların sürətlə yaranmasının əsas səbəblərindən biri mitoxondrilərdə tənəffüs zəncirində normal elektron daşınmasının pozulmasıdır. Bəs bunun baş verməsinə səbəb nədir? Məlumdur ki, qocalmış insanların və yaşlı heyvanların zədələnmiş mitoxondriləri, cavan və sağlam mitoxondrilərə nisbətən daha çox sərbəst radikallarını yaradır. Onda tənəffüs prosesində oksigen zəncirində nə qırılır və niyə qırılır? İki suksinatdehidrogenaz və fumaratreduktaza kimi daşıyıcı elektronlu qohum zülalların biokimyəvi xassələrini və strukturunun müqayisəsi göstərir ki, onların quruluşu və deməli funksiyaları da oxşardır. Lakin fumaratreduktaza 25 dəfə çox sərbəst oksigen radikallarını yaradır. Bu onunla izah olunur ki, tənəffüs zənciri işləyərkən elektronlar flavinadenundinukleotiddən suksinatdehidrogenazaya sürətlə keçir. Fumaratreduktazada isə daşınma mərkəzləri arasında məsafə böyük olduğundan elektronlar tədricən aralanır və ona görə də artıq elektronun yığılması baş verir ki, bu da onların oksigen molekulları ilə sərbəst radikallar yaratmaq ehtimalını artırır. Suksinatdehidrogenazda polipeptid zəncirində strukturun pozulması nəticəsində yaranan mutasiya sərbəst oksigen radikallarının əmələ gəlməsini sürətləndirir və genetik xəstəliklərin inkişafına zəmin yaradır.

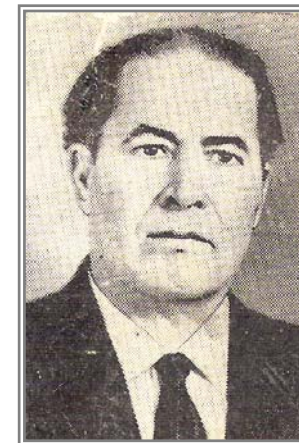
VI FƏSİL

AZƏRBAYCANDA FİZİKİ ELEKTRONİKA

§6.1. Elmi mühitin formalaşması

Azərbaycan Respublikasında fizika sahəsində fundamental tədqiqatların başlanması hələ 1920-ci illərə təsadüf etsə də, fiziki elektronika sahəsində elmi araşdırmalar yalnız 50-ci illərin əvvəllərindən başlanmışdır və akademik H.B.Abdullayevlə prof. Q.I.Əfəndiyevin adı ilə bağlıdır. Belə ki, 1948-ci ildə «*Elektron yarımkeçiricilərində anod polyarizasiyasının temperatur asılılığının tədqiqi*» mövzusunda namizədlik, 1957-ci ildə isə keçmiş SSRİ EA-nın Leninqrad (hal-hazırda Sankt-Peterburq) Fizika-Texnika İnstitutunda böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edən selen yarımkeçirici və onun əsasında hazırlanmış düzləndiricilərin tədqiqinə dair doktorluq dissertasiyası müdafiə etmiş H.B.Abdullayev burada yarımkeçiricilərin elektronika sahəsində ilk tədqiqatlar aparmağa başlamışdır. Həmin dövrdə yenicə yaranmış Azərbaycan EA-nın Fizika-Riyaziyyat İnstitutunda kiçik elmi işçi vəzifəsindən, H.B.Abdullayev, sonralar yaranmış müstəqil fizika institutunun direktoru, Azərbaycan EA həqiqi üzvü, prezidenti vəzifəsinə, SSRİ EA müxbir üzvlüyünə qədər səmərəli və şərəfli bir yol keçmişdir. H.B.Abdullayevin rəhbərliyi ilə qısa müddət ərzində Azərbaycanda fiziki elektronika sahəsində çox böyük işlər görülmüş – selen və selen düzləndiriciləri tədqiq edilmiş, selenidlərin xassələri öyrənilmiş, halkogenid (A_3B_6 , A_1B_6 , $A_1C_3B_6$) və qeyri-halkogenid yarımkeçirici birləşmələrin, onların bərk məhlullarının və nazik təbəqələrinin, bu kristal

Həsən Məmmədbağır oğlu Abdullayev (1918-1993)



Dünya şöhrətli tədqiqatçı alim, elm təşkilatçısı, pedaqoq və ictimai xadim, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru (1954), professor (1957) Azərbaycan EA həqiqi üzvü (1968), SSRİ EA müxbir üzvü (1970). Azərbaycan Dövlət Universitetində SSRİ məkanında ilk «Yarımkeçiricilərin fizikası» kafedrasının yaradıcısı (1956) və onun müdiri (1956-1958), Azərbaycan EA Fizika İnstitutunun direktoru (1957-1993), Azərbaycan EA Prezidenti (1970-1983). Azərbaycanda bərk cisim elektronika və yarımkeçiricilər fizikası elmi məktəbinin təməlini qoymuş, bu məktəbin Beynəlxalq miqyasda tanınan səviyyəyə yüksəlməsinə nail olmuşdur. 20-ə qədər monoqrafiyanın, mindən çox elmi məqalənin və ixtiranın müəllifi, 100-dən artıq namizədlik və doktorluq dissertasiyasının elmi rəhbəri olmuşdur.

və nazik təbəqələr əsasında yaradılmış müxtəlif tip p-n keçidli homo- və heterostrukturlar tədqiq olunmuş, yüzdən çox funksional element və qurğular (düzləndirici diodların, günəş fotoelementlərinin, termoelektrik qurğularının, tenzoqeydedicilərinin, çeviricilərin, lüminessensiya işıq mənbələrinin, yaddaş elementlərinin, mikrosoyuducuların) ixtira edilmiş, Azərbaycan Dövlət Universitetində *Yarımkeçiricilər fizikası* kafedrası yaradılmış və Beynəlxalq nüfuza malik bir elmi məktəb formalaşmışdır.

Sonrakı illərdə bu istiqamətdə işlər davam etdirilmiş *Ozon, Kaspi, Azov, Iskra* kimi elm-istehsalat birlikləri, *Fotoelektronika* və *Radiasiya Problemləri İnstitutları* kimi elmi-tədqiqat institutları yaradılmış, həmin müəssisələrdə hərbi və xüsusi təyinatlı yarımkeçirici cihazların yaradılması, tədqiq

qi və istehsalı ilə bağlı elmi-tədqiqat işləri aparılmışdır.

Bərk cisimlərin elektronikasi və bərk cisim elektronikasi sahəsində Respublikanın ali təhsil məktəblərində də böyük işlər görülmüşdür. Bakı Dövlət Universitetinin kafedra və elmi-tədqiqat laboratoriyalarında qızmar elektron effektləri, qismən nizamsız kristallarda elektron prosesləri, optik və elektrik yaddaş elementləri, lüminessent işıq mənbələri, bi-stabil və astanalı çeviricilər, optik kontakta gətirməklə yaradılmış heterostrukturlar, nazik yarımkeçirici təbəqələr, qeyri-xətti optik və fotoelektrik effektlər, kvant elektronikasi (iki və üç səviyyəli sistemlərdə lazer şüalanmasının tədqiqi) sahəsində Beynəlxalq miqyasda tanınan fundamental işlər görülmüş, müxtəlif işıq qəbulediciləri, injeksiya işıq mənbələri, çeviricilər ixtira edilmişdir.

Azərbaycan Respublikasında fiziki elektronika – alçaq temperaturlu plazma və qaz boşalması elektronikasi istiqamətində də inkişaf etmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, bərk cisimlərin elektronikasi və bərk cisim elektronikasi sahəsindəki elmi və praktiki nailiyyətlərlə müqayisədə plazma və qaz boşalması sahəsində görülən işlər müəyyən qədər güzəştə getsə də lakin onun da ölkəmiz, xalqımız eləcə də Beynəlxalq elm ictimaiyyəti qarşısında xidmətləri danılmazdır. Belə ki, 1955-ci ildə Moskva Dövlət Universitetinə plazma fizikası sahəsində namizədlik dissertasiyası müdafiə edərək, Azərbaycan Dövlət Universitetində elmi-pedaqoji işə başlamış Qafar İbrahim oğlu Əfəndiyev fəaliyyətinin ilk günlərindən Azərbaycan Respublikasında elm və texnikanın, eləcə də sənayenin aparıcı və istiqamətverici sahələrindən biri olan fiziki elektronika üzrə biliklərin gənc nəsə tədrisinə, ali və yüksək ixtisaslı milli kadrların hazırlanmasına ciddi diqqət

Qafar İbrahim oğlu Əfəndiyev (1924-1997)

Görkəmli alim, pedaqoq, elm və təhsil təşkilatçısı. Azərbaycan Dövlət Universitetini (1951) və Moskva Dövlət Universitetinin aspiranturasını (1954) bitirmiş, ömrünün sonunadək Azərbaycan Dövlət Universitetində elmi-pedaqoji fəaliyyət göstərmişdir. Azərbaycanda qaz boşalması və plazma elektronikasi sahəsində ilk elmi tədqiqatları başlamış, bu istiqamətdə layiqli elmi məktəb formalaşdırmışdır. Bakı Dövlət Universitetində Fiziki elektronika kafedrasını yaratmış (1970) və uzun müddət onun müdiri olmuşdur (1970-1992). Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru (1975), professor (1977), Elmi-pedaqoji fəaliyyəti dövründə 15 namizədlik dissertasiyasına rəhbərlik etmiş, 1 monoqrafiyanın, 100-dən çox elmi məqalənin müəllifi olmuşdur.



yetirmiş, bu istiqamətdə bütün vasitələrdən istifadə etmiş və nəticədə, həmin sahədə Respublikada böyük elmi potensial yarada bilmişdir. O, həmin dövrdə nəinki keçmiş Sovetlər İttifaqı məkanında, eləcə də bütün dünyada plazma fizikası və fiziki elektronikanın digər sahələrində böyük nüfuza malik görkəmli alimlərdən prof. V.L.Qranovskiy (SSRİ EA, Energetika İnstitutu), A.V.Nedaspasov (SSRİ EA, Yüksək Temperaturlar Fizikası, Atom Enerjisi İnstitutu), E.I.Asinovskiy (SSRİ EA, Yüksək Temperaturlar Fizikası), L.N.Dobretsov (SSRİ EA, Fizika-Texnika İnstitutu), M.V.Qomoyunova (SSRİ EA, Fizika-Texnika İnstitutu), M.A.Yeşayev (Belarusiya EA, Fizika İnstitutu), S.E.Friş (Leninqrad Dövlət Universiteti), Y.M.Kaqan (Leninqrad Dövlət Universiteti), L.A.Sena (SSRİ EA, Sabit Cərəyan İnstitutu), S.M.Rıvkin (SSRİ EA, Fizika-Texnika İnstitutu), M.Davıdoviç (Ukrayna EA,

Fizika İnstitutu), A.Y.Tonteqode (SSRI EA, Fizika-Texnika İnstitutu), E.Y.Zanqberq (SSRI EA, Fizika-Texnika İnstitutu), A.A.Zaytsev (M.V.Lomonosov adına MQU), L.Y.Minko (Belarusiya EA, Fizika İnstitutu), G.A.Mesyaç (SSRI EA, Fizika İnstitutu), V.V.Sobolyev (SSRI EA, Fizika İnstitutu) və başqaları ilə sıxı elmi-yaradıcılıq əlaqələri yaratmış, bu əlaqələrdən istifadə edərək onların elmi məktəblərində qısa bir vaxt ərzində Respublikamız üçün çox zəruri olan yüksək ixtisaslı elmi-pedaqoji kadrların yetişdirilməsinə nail olmuşdur. Prof. Q.I.Əfəndiyev eyni zamanda Azərbaycan Dövlət Universitetində Fiziki elektronika ixtisası üzrə ali təhsilli kadrlar yetişdirmək və elmi-tədqiqatlar apara bilmək üçün lazımi maddi-texniki bazanın yaradılmasına da nail olmuşdur.

Belə ki, 43 illik elmi-pedaqoji fəaliyyəti dövründə o, Azərbaycan Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsində əvvəlcə (1959-cu ildən etibarən) mövcud «*Eksperimental fizika*» kafedrasının bazasında fizika fakültəsi tələbələrinin hər il müəyyən qisminin üçüncü kursdan başlayaraq Fiziki elektronika istiqamətində ixtisaslaşmasına, bu sahədə yüksək ixtisaslı milli kadrlar potensialı yarandıqdan sonra isə (1971-ci ildə) müstəqil «Fiziki elektronika» kafedrasının ayrılmasına nail olmuş, 20 il həmin kafedraya rəhbərlik etmişdir. Bu dövrdə kafedrada Sovetlər İttifaqının ən aparıcı Universitetlərinin tədris və elmi təcrübələrindən istifadə edərək müasir dövr və İttifaq üçün tələblərə tam cavab verən tədris planı və prosesi, tədris laboratoriyaları yaradılmış, elmi-tədqiqatlar aparılmışdır. Q.I.Əfəndiyevin Azərbaycan Dövlət Universitetində yaratdığı «Fiziki elektronika» elmi məktəbi Beynəlxalq arenada kifayət qədər nüfuza malikdir. Onun yetirdiyi 15 elmlər namizədi indi Bakı Dövlət Universiteti ilə

yanaşı, Azərbaycan Respublikasının digər ali məktəblərində də çalışır və fiziki elektronika sahəsində ali təhsilli, eləcə də yüksək ixtisaslı milli kadrların yetişdirilməsi işində fəal iştirak edirlər.

Fiziki elektronika kafedrasının bazasında sonralar (1994-cü ildə) həmin kafedraya 1992-ci ildən etibarən rəhbərlik edən, Azərbaycan Dövlət Universitetini 1968-ci ildə «*Fərqlənmə diplomu*» ilə bitirmiş və SSRİ EA Fizika-Texnika İnstitutunda «Bərk cisimlərdə qızmar elektron effektləri» üzrə aspirantura keçmiş, f.r.e.d., prof. Ə.Ş.Abdinovun birbaşa təşəbbüsü ilə «Fiziki elektronika» ixtisası üzrə bakalavr, 1997-ci ildən isə «Fiziki elektronika» istiqamətində «Optoelektronika», «Bərk cisim elektronikasısı», «Plazma elektronikasısı» ixtisaslaşmaları üzrə magistr hazırlığına başlanmışdır.

Həmin dövrdən başlayaraq bu istiqamət üzrə hər il Bakı Dövlət Universitetində 50 nəfərə qədər bakalavriat, 10 nəfərə qədər magistratura pillələri üzrə tələbə qəbul olunur. Fiziki elektronika istiqamətdə mütəxəssis hazırlamaq üçün kafedrada «Vakuum texnikasının əsasları», «Optoelektronika», «Mikro- və nanoelektronika», «Radiofizika», «Radioelektronika», «Bərk cisim elektronikasısı», «Plazma və qaz boşalması elektronikasısı», «İfrat yüksək tezliklər elektronikasısı», «Elektron cihazları», «Emissiya elektronikasısı», «Sxem texnikası», «Plazma texnologiyası» tədris laboratoriyaları ilə yanaşı, «Bərk cisimlərin elektronikasısı», «Plazma elektronikasısı», «Bərk cisimlərdə kontakt və səth hadisələri», «Nazik təbəqələr elektronikasısı» üzrə elmi-tədqiqat işlərinin aparılması üçün də baza yaradılmışdır.

Kafedrada bakalavr pilləsində təhsil alan tələbələrə

«Ümumi fizika», «Radiofizika», «Vakuum texnikasının əsasları», «Elektron texnikasının materialları», «Bərk cisimlərin elektronika», «Plazma və qaz boşalması elektronika», «Emissiya elektronika», «Sxem texnikası», «Elektron və ion cihazları», «Elektron optika», «Bərk cisimlərin elektronika», «Kvant elektronika», «İfrat yüksək tezliklər elektronika», «Mikro- və nanoelektronikanın əsasları», «Fiziki elektronikanın əsasları», magistratura pilləsində təhsil alanlara isə «Fiziki elektronikanın nəzəri əsasları», «Fiziki elektronikanın müasir problemləri», «Fiziki elektronikanın tarixi və metodologiyası», «Plazma elektronikasının nəzəri əsasları», «Vakuum texnikası elementlərinin fizikası və texnologiyası», «Plazma və qaz boşalması cihazları», «Nanotexnologiya», «Materialşünaslıq», «Elektron cihazlarının layihələndirilməsi və texnologiyası», «Radioelektronika», «Elektron-ion və plazma texnologiyası», «Optoelektronikanın nəzəri əsasları», «Yarımkeçirici mikroelektronika», «Bərk cisimlərdə kontakt və səth hadisələri», «Bərk cisimlərin elektron nəzəriyyəsi», «Mikroelektronikanın nəzəri əsasları», «İnformasiyanın optik işlənməsi», «Lazerli optoelektronika», «Qaz lazerləri», «Plazmanın diaqnostikası», «Plazma elektronikasının müasir problemləri» fənləri tədris olunur. Eyni zamanda bakalavriat və magistrantlar elmi tədqiqat işləri, buraxılış işləri, magistr dissertasiyaları yerinə yetirirlər.

Fiziki elektronika kafedrasının əməkdaşları tərəfindən «Qismən nizamsız materiallarda və yarımkeçirici strukturlarda elektron prosesləri», «Metal – yarımkeçirici kontaktlarının elektronika», «Mürəkkəb tərkibli yarımkeçirici nazik təbəqələr və onların əsasında heterostrukturların

fizikası və elektronika», «Alçaq temperaturlu plazma problemləri», «Elektrik boşalmalarının mühitlərə təsirinin tədqiqi» istiqamətlərində çox maraqlı və əhəmiyyətli elmi-tədqiqat işləri aparılır. Bu işlərin nəticələri hər il Beynəlxalq və Regional əhəmiyyətli nəşrlərdə 10-larla elmi məqalə şəklində dərc olunur, Beynəlxalq və Regional miqyaslı Elmi Konfranslarda məruzə edilir.

Kafedranın əməkdaşları tərəfindən son bir neçə il ərzində Azərbaycan dilində ali məktəblər üçün «Radiofizikanın əsasları», «Optoelektronika», «Bərk cisim elektronika», «Vakuum texnikasının əsasları», «Kvant elektronika», «Şüa texnologiyası», «Elektron texnikasının materialları», «İfrat yüksək tezliklər elektronika», «Fiziki elektronikanın tarixi və metodologiyası», «Elektron cihazları», «Radioelektronikanın əsasları» kimi iri həcmli dərslik və dərs vəsaitləri yazılmış, 10-dan çox namizədlik və 5 doktorluq dissertasiyaları müdafiə olunmuşdur.

Bu təqdirəlayiq işlər, hələ 50 il öncə professor Q.I.Əfəndiyevin Azərbaycan Dövlət Universitetində təməlini qoyduğu və böyük zəhmət müqabilində formalaşdırdığı «Fiziki elektronika» elm-tədris məktəbinin yetişdirmələrinin əksəriyyətinin indi Beynəlxalq miqyasda elmi ictimaiyyət tərəfindən tanındığı Bakı Dövlət Universitetinin fiziki elektronika kafedrasının əməkdaşları f.-r.e.d., professor Ə.Ş.Abdinov (Leninqrad, SSRI EA, FTI, prof. L.Q. Paritski, prof. S.M.Rıvkin), f.-r.e.d., professor Ş.Q.Əsgərov (Leninqrad, SSRI EA, SCI, prof. L.A.Sena), f.-r.e.d., professor Ə.X.Muradov (Leninqrad, LDU, prof. S.E.Friş, prof. Y.M.Kaqan), f.-r.e.d., prof. N.M.Mehdiyev (Bakı, BDU, prof. Ə.Ş.Abdinov), f.-r.e.n., dos. R.F.Mehdiyev (Azərbaycan

can MEA Fİ, akad. H.B.Abdullayev), f.-r.e.n., dos. N.Ə.Məmmədov (Leninqrad, SSRI EA SCİ, prof. L.A.Sena), f.-r.e.n., dos. D.B.Davudov (Belarusiya EA, Fİ akad. M.A.Yeşayeviç), f.-r.e.n., dos. K.M.Daşdəmirov (BDU, prof. Q.İ.Əfəndiyev), f.-r.e.n., dos. Q.İ.Qəribov (BDU, prof. Q.İ.Əfəndiyev), f.-r.e.n., dos. V.H.Səfərov (BDU, dos. R.F.Mehdiyev), f.-r.e.n., dos. Sadıxzadə (SSRİ EA, Yüksək Temperaturlar Fizikası, Atom Enerjisi İnstitutu prof.A.V.Nedaspasov), f.-r.e.n., dos. T.X.Hüseynov (BDU, prof. Ə.X.Muradov), f.-r.e.n., dos. H.M.Məmmədov (BDU, prof. Ə.Ş.Abdinov), f.-r.e.n. M.N.Ağayev (BDU, prof. Q.İ.Əfəndiyev), f.-r.e.n. İ.G.Paşayev (BDU, prof. Ş.Q.Əsgərov), f.-r.e.n. N.Ə.Rəhimova (BDU, prof. Ə.Ş.Abdinov), S.İ.Əmirova (BDU, prof. Ə.Ş.Abdinov) tərəfindən həyata keçirilir.

Görülən və aparılan işlərin uğurları Azərbaycan Respublikasında çox yaxın gələcəkdə fiziki elektronikanın güclü elmi-pedaqoji və mühəndis potensialı, maddi-texniki bazası ilə yanaşı, həm də kifayət qədər yüksək əhəmiyyətə malik praktiki tətbiq sahələrinin də yaranacağını vəd edir.

İndi də Azərbaycan MEA-nın Fizika və Radiasiya Problemləri İnstitutlarında, Bakı Dövlət Universitetinin fizika fakültəsinin kafedralarında və Fizika Problemləri Elmi-Tədqiqat İnstitutunda, Azərbaycan Texniki Universitetində, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Mühəndisləri Universitetində, Azərbaycan Pedaqoji Universitetində, Sumqayıt Dövlət Universitetində, Naxçıvan Dövlət Universitetində bu sahələrdə həm fundamental, həm də praktiki əhəmiyyət və maraq kəsb edən kompleks tədqiqatlar aparılır. Son illər Azərbaycan MEA-nın Fizika İnstitutunda və Bakı Dövlət Universitetində nanotexnologiya sahəsində də işlər aparılır.

§6.2. Əsas istiqamətlər

1959-cu ildə Azərbaycan EA-nın Fizika və Riyaziyyat institutunun bazasında müstəqil Fizika İnstitutunun yaradılması, respublikada fiziki elektronikanın inkişafına güclü təkan vermişdir. Qısa müddətdə institutda fizikanın digər sahələri ilə yanaşı, yarımkəçirici çeviricilərin fizikası, bərk cisim elektronikası, bərk cisim fizikası, güclü anizotrop kristalların fizikası, yüksəkgərginliklər fizikası və texnikası, yarımkəçiricilərdə diffuziya hadisələrini kompleks tədqiq edən laboratoriya və sahələr formalaşdırılmışdır. İnstitutun *Selen Elm-Istehsalat Birliyi, Reqistr Xüsusi Konstruktor Bürosu* yaradılmışdır. Həm Fizika İnstitutunda, həm də bu tabe qurumlarda yarımkəçiricilər və dielektriklər fizikası, kompozisiyalı bərk cisimlərin fizikası, elektrofizika və energetikanın problemləri, yarımkəçirici materialların texnologiyası sahələrində tədqiqatlar aparılmışdır. Həmin tədqiqatlar *ifratqəfəslər, kvant çuxurlar, kvant nöqtələr* haqqında dəyərli elmi fikirlər söyləməyə imkan verməklə yanaşı, həm də geniş diapazonda istifadə oluna bilən şüaqəbuledicilərinin, yarımkəçirici işıq diodlarının və lazerlərin yaradılması üçün stimül olmuşdur. Eyni zamanda laylı kristal quruluşlu yeni yarımkəçirici materiallar alınmış, onların elektron və rəqsi hərəkət spektrləri öyrənilmişdir. Həmin materiallarda stimullaşdırılmış şüalanma müşahidə olunmuş, bərk cisim fizikasında yeni obyekt – elektron-deşik mayesi aşkar edilmişdir. Tədqiq olunan laylı kristallarda elektron-deşik mayesinin kritik temperaturunun yüksək qiymətinin alınması mümkün olmuşdur. Laylı kristallarda həmçinin daha bir maraqlı

hadisə – Holl müqavimətinin kvantlanması müşahidə edilmişdir ki, bu da həmin kristallarda ikiölçülü elektron qazının mövcud olmasına sübutdur.

Məhz Azərbaycan Respublikasında aparılan tədqiqatlar sayəsində üçqat laylı birləşmələr əsasında yeni seqnetoelektrik yarımkeçirici materiallar sinfi kəşf edilmiş, neytronoqrafik tədqiqatlarla qeyri-mütənasib fazaların mövcudluğu aşkar olunmuşdur. Həmçinin daha çox minüatür mikroelektron cihazların yaradılması, çoxkomponentli yarımkeçirici heterostrukturların və metal-yarımkeçirici kontaktının, yarımkeçiricilərdə diffuziya və elektrodifuziya hadisələrinin tədqiqi sahəsində fundamental işlər həyata keçirilmiş, halkogenid yarımkeçiricilərdə bir sıra aşqarların miqrasiya mexanizmi aydınlaşdırılmışdır.

Nadir torpaq və qələvi torpaq elementləri ilə aktivləşdirilmiş üçqat halkogenid yarımkeçiricilərin fizikası və texnologiyasına dair aparılan fundamental tədqiqatlar sayəsində spektrin görünən oblastında müxtəlif xarici amillərin (elektrik sahəsi, sürətləndirilmiş elektron dəstəsi, ultrabənövşəyi və rentgen şüaları) təsiri altında şüalanan effektiv lüminessent materiallar alınmışdır.

Kompozisiyalı materialların xassələrinin formalaşması aydınlaşdırılmış, yeni kompozit materiallar kompleksi işlənmişdir.

§6.3. Qeydedicilər

1968-ci ildə Azərbaycan EA Fizika İnstitutunda və *Telur Xüsusi Konstruktor Bürosunda* alınan yarımkeçirici materialların, yaradılan cihaz və qurğuların kiçik seriyalarda

buraxılmasını təşkil etmək üçün *Selen Təcrübə Zavodu* yaradılmışdır.

Zavoda ilk illərdən başlayaraq dünya təcrübəsində analoqu olmayan yüksək tələblərə cavab verən nadir cihaz və qurğular ixtira edilmişdir. Bunlara fotoelektron çoxaldıcılarında tətbiq olunan *Fototerm* və təbabətdə istifadə olunan *Hipoterm* soyuducu cihazlarını misal göstərmək olar. Hər iki cihaz 1972-ci ildə Almaniyada Leypsik Beynəlxalq Yarmarkasında «*Qızıl Medala*» layiq görülmüşdür. Əlavə olaraq fiziki təcrübələrin avtomatlaşdırılması üçün bir sıra nadir qurğular yaradılmışdır.

Azərbaycan EA Fizika İnstitutunun 1981-ci ildə yaradılmış təcrübi-istehsalat *Reqistr Xüsusi Konstruktor Bürosu* tərəfindən texnologiyası işlənmiş kompozit materiallar əsasında bir sıra yeni qeydedici və çevirici cihazların nümunələri yaradılmış, elektroakustik (mikrofon, telefon, çağırıcı qurğular), akusto-elektron (filtr, faza çeviriciləri, gücləndiricilər), elektromexaniki (larinqoton, seysmik qeydedici, akselerometr, hidrofona, hidrolokator, şüalanma pirodetektorları, temperaturqeydediciləri), akustooptik və optoakustik çeviricilər üçün yüksək effektiv aktiv kompozit materiallar alınmışdır.

Elektron hesablama maşınlarından alınan rəngli təsvirlərin sürətini çıxarmaq üçün xüsusi çapedicilərin ixtira edilmişdir. Bu qurğulardan *Venera-Qalley Beynəlxalq Eksperimentlərində* istifadə olunmuşdur. İnformasiyanın optik işlənməsi və ötürülməsi üçün uzunmüddətli yaddaşa malik, elektrik gərginliyi ilə idarə olunan maye kristal elementlər əsasında proyeksiya ekranı hazırlanmışdır.

§6.4. İnfraqırmızı və aşağı temperaturalar elektronikası

1972-ci ildən 2003-cü ilədək müstəqil Elmi-Tədqiqat İnstitutu kimi fəaliyyət göstərmiş, sonra isə Azərbaycan EA Fizika İnstitutunun tərkibinə daxil edilmiş Fotoelektronika İnstitutunda daha böyük uğurlar əldə edilmişdir. Əsas elmi istiqaməti kvant və bərk cisim elektronikası olan bu institutda spektrin ultrabənövşəyi, görünən, yaxın, orta və uzaq infraqırmızı oblastlarda işləyən fotoqəbuledici qurğular, elektron-optik çeviricilər, onlar üçün elektron soyuducularının və yüksək effektivliyə malik yarımkeçirici materialların, habelə yüksək həssaslıqlı qeyri-standart ölçü cihazlarının yaradılması, tədqiqi və tətbiqi üzrə işlər aparılmışdır.

Tədqiqatlar darzolaqlı yarımkeçiricilərdə aşqar və səth hallarının nəzəriyyəsini yaratmağa, termoelementlərin metal-yarımkeçirici sərhədində gedən fiziki-kimyəvi hadisələrin mexanizmlərini aydınlaşdırmağa, yeni elektrooptika effektlər aşkar edib öyrənməyə və termoelektrik çeviricilərinə bir sıra elektron proseslərinin təbiətini aydınlaşdırmağa imkan vermişdir.

Bu institutda alınan elmi nəticələr əsasında keçmiş Sovet İttifaqında ilk dəfə olaraq xüsusi təyinatlı elektron soyuducusu və fotoqəbuledicilər ixtira olunmuş, onların seriya ilə istehsalı təşkil edilmiş, təsir tezliyi və həssaslığına görə yeganə olan *Dunay* fotoqəbuledicisi ixtira olunmuş, bu cihaz SSRİ Atom Enerjisi İnstitutunda idarə olunan termonüvə sintez qurğusunda yüksəktemperaturlu plazmanın sıxlıq fluktuasiyasına nəzarət edən qurğuda, lazer

nişanlanması və məsafəölçməsinə, *Planeta-SF* və *Arktur* fotoqəbulediciləri əsasında yerin təbii sərvətlərini tədqiq edən *Kosmos* və *Resurs* tipli kosmik aparatlarında, Mars planeti və birinci dəfə olaraq onun *Fobos* peykinin şəklini çəkmək və tədqiq etmək üçün buraxılan *Fobos* avtomatik stansiyada istifadə edilmişdir. *RO-F* fotoqəbuledicisi vasitəsi ilə birinci dəfə olaraq Marsın əks tərəfinin istilik xəritəsi çıxarılmış, bu planetdə həyat ehtimalı zonalar müəyyən edilmişdir. *BF-31U*, *BF-32U*-tipli fotoqəbulediciləri uçan pilotsuz aparatlarda yerləşdirilərək, yerdə olan qurğuları, mina sahələrini və s. aşkar etməkdə, habelə 1984-cü ildə ilk dəfə Moskva şəhərinin istilik xəritəsini çıxarmaqda istifadə edilmişdir. Fotoelektronika İnstitutunda hazırlanan texnologiya əsasında və bu institutun əməkdaşları bilavasitə iştirakı ilə ilk dəfə olaraq kosmik aparatda çəkisizlik şəraitində bir sıra yarımkeçirici bərk məhlulların monokristalları göyərdilmişdir.

Radiasiya Problemləri İnstitutunun əməkdaşları tərəfindən ionlaşdırıcı şüaların enerjisinin universal enerji daşıyıcısı olan hidrogenə çevrilməsinin *heterogen radiasiya* və *termoradiasiya* üsulları təkmilləşdirilmişdir.

Hydroenergetika və fotoelektrokimyəvi texnologiyalardan, eləcə də günəş enerjisindən istifadə etməklə sudan hidrogen alınmasının effektiv qurğuları yaradılmışdır.

ƏDƏBİYYAT

- Гапонов В.И. Электроника. I и II том. М.: Физматгиз, 1961
- Дулин В.Н. Электронные и квантовые приборы СВЧ. М.: Энергия, 1972
- Talibi M.Ə., Qəribov M.A., Hacıyev M.C. Mikroelektronika. Bakı, Elm, 1976
- Интегральные микросхемы. Справочник под ред. Терабрина, М.: Радио и связь, 1983
- Полупроводниковые приборы. Справочник под ред. Горюнова Н.Н. М.: Энерготомиздат, 1984
- Вестник Дальневосточного отделения РАН, 1993, №1
- Гершунский Б.С. Основы электроники и микроэлектроники. Киев, Вища школа, 1989.
- Жеребцов И.П. Основы электроники. Санкт-Петербург, Энергоатомиздат, 1989.
- Davudov B.B., Daşdəmirov K.M. Radioelektronikanın əsasları. Bakı, Maarif, 2002
- Hümbətov R.T. Elektronika, I və II hissə, Bakı, Maarif, 2002
- Под ред. Федоров Н.Д. Электронные, квантовые приборы и микроэлектроника. Россия, "МО и ПО Россия" 2002, 560с.
- Савиных В.А. Физические основы электроники. Новосибирск, Россия, 2003.
- Rənafov M.M., Kərəməliyev R.Ə. Kvant elektronikasının əsasları. Bakı, Kür, 2003
- Щука А.А. Электроника. Москва, Россия, "ВНУ-СПб", 2004.
- Abdinoğlu Ə.Ş., Məmmədov H.M. Bərk cisim elektronikasi. Bakı, Təhsil, 2004
- Abdinoğlu Ə.Ş., Məmmədov H.M. Optoelektronika. Bakı, Maarif, 2005
- Филачев А.М., Таубкин И.И., Трищенко М.А. Твердотельная фотоэлектроника, Москва, Физмат книги, 2005.

ABDİNOV Əhməd Şahvələd oğlu –
professor, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru;

MEHDİYEV Rəşid Fərzəli oğlu –
dosent, fizika-riyaziyyat elmləri namizədi;

HÜSEYNOV Tərlan Xanbaba oğlu –
dosent, fizika-riyaziyyat elmləri namizədi

**FİZİKİ ELEKTRONİKANIN
TARİXİ VƏ METODOLOGİYASI**
(dərs vəsaiti)



Əhməd Şahvələd oğlu Abdinov (1945) – Bakı Dövlət Universitetinin fizika fakültəsini (1968), SSRİ EA Fizika və Texnika İnstitutunun aspiranturasını (1971) bitirmişdir. Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru (1979), professor (1981), Nyu-York EA həqiqi üzvü (1995), Bakı Dövlət Universitetinin “Fiziki elektronika” kafedrasının müdiri (1992-ci ildən), 30-dan çox namizədlik və doktorluq dissertasiyalarının elmi rəhbəri, 300-dan çox elmi məqalənin və ixtiranın, ali məktəb tələbələri üçün 3 dərsləyin müəllifidir. Bərk cisimlərdə tarazlıqda olmayan elektron prosesləri və Bərk cisim elektronika sahəsində tanınmış tədqiqatçı alimdir.



Rəşid Fərzalı oğlu Mehdiyev (1935) – Bakı Dövlət Universitetinin fizika fakültəsini (1959) və SSRİ EA Fizika və Texnika İnstitutunun aspiranturasını (1962) bitirmişdir. Fizika-riyaziyyat elmləri namizədidir (1964). Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsi “Fiziki elektronika” kafedrasının dosentidir (1972-ci ildən). 1 namizədlik dissertasiyasının elmi rəhbəri, ali məktəblər üçün 1 dərsləyin, 100-dən çox elmi məqalənin müəllifidir. Bərk cisimlərin elektronika sahəsində tədqiqatlar aparır.



Tərən Xanbaba oğlu Hüseynov (1957) – Bakı Dövlət Universitetinin fizika fakültəsini (1984) və aspiranturanı (1993) bitirmişdir. Fizika-riyaziyyat elmləri namizədidir (1994). Bakı Dövlət Universiteti fizika fakültəsinin dekan müavini (2000-ci ildən) və “Fiziki elektronika” kafedrasının dosentidir (2006-ci ildən). Ali məktəblər üçün 4 dərslərinin, 30-dan çox elmi məqalənin müəllifidir. Qaz boşalması və plazma elektronika sahəsində tədqiqatlar aparır.