

Ə.Ş.ABDİNOV, R.F.BABAYEVA, E.A.RƏSULOY

MATERIALŞÜNASLIQ

Ali məktəblər üçün dərslik

*Bakı Dövlət Universitetinin
Rektorunun 18 may 2017-ci il tarixli
R-49 sayılı Əmri ilə nəşr hüququ
(qrif) verilmişdir.*

BAKİ – 2017

Elmi redaktor: **fizika üzrə elmlər doktoru,**
professor R. F.Babayeva
(Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti)

Rəyçilər: **fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,**
professor M.Ə.Cəfərov,
(Bakı Dövlət Universiteti)
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor N.M.Mehdiyev
(Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti)

Əhməd Şahvələd oğlu Abdinov (Bakı Dövlət Universiteti),
Rəna Fikrət qızı Babayeva (Azərbaycan Dövlət İqtisad
Universiteti), Eldar Aydın oğlu Rəsulov (Bakı Dövlət
Universiteti). Materialşünaslıq (ali məktəblər üçün dərslik)
Bakı, "Təhsil", 2017, 133 səh.

Dərslikdə, ümumiyyətlə materialşünaslıq və onun əsas anlayışları, elektron sistemlərinin funksional elementi, cihaz və qurğularının düzəldilməsində istifadə olunan müxtəlif təyinatlı materialların təsnifatı, quruluş və fiziki xassələri barədə qısa, lakin məsələ üzrə lazımi biliklər almağa kifayət edəcək şəkildə məlumatlar verilmişdir. Dərslik ali məktəblərin fizika, materialşünaslıq mühəndisliyi, elektronika, telekommunikasiya və radiotexnika mühəndisliyi ixtisaslarına daxil olan bir sıra ixtisaslaşmalar üzrə təhsil alan magistrələr üçün nəzərdə tutulsa da, bəzi digər ixtisaslara (kimya, cihazqayırma mühəndisliyi, kompüter mühəndisliyi, çoxişlənən malların texnologiyası mühəndisliyi) daxil olan ixtisaslaşmalar üzrə təhsil alan magistrələr, bakalavr pilləsində təhsil alan tələbələr, ali məktəb müəllimləri və təhsilə köməkçi əməkdaşlar, doktorantlar, elmi işçilər və mühəndislər də bu dərslikdən istifadə edə bilərlər.

Dərslik 133 səhifə, 13 illüstrasiya, istinad və tövsiyə olunan 24 adda ədəbiyyatın biblioqrafik siyahısından ibarətdir.

MÜNDƏRİCAT

Ön söz.....6
Giriş.....8

I FƏSİL. MATERIALŞÜNASLIQ VƏ ONUN ƏSAS ANLAYIŞLARI.....9
1.1. Materialların insan həyatında rolu.....9
1.2. Maddə, material və detal.....9
1.3. Xassə, parametr və xarakteristika.....11

II FƏSİL. ELEKTRON SİSTEMLƏRİ MATERIALLARININ TƏSNİFATI.....13
2.1. Elektron sistemləri materiallarının özəl xüsusiyyətləri.....13
2.2. Elektrotexniki materiallar.....14
2.3. Keçiricilər, yarımkəçiricilər və dielektriklər.....15
2.4. Materialların istifadə olunma təyinatına görə təsnifatı.....15
2.5. Materialların fiziki-kimyəvi və istehlakçı xüsusiyyətlərinə görə təsnifatı.....16

III FƏSİL. MATERIALLARIN QURULUŞ XASSƏLƏRİ..... 18
3.1. Amorf və kristal cisimlər.....18
3.2. Kristalların əmələgəlmə mexanizmi və bərk cisimlərdə kimyəvi rabitələr.....20
3.3. Kristal qəfəsin tipləri.....26
3.4. Kristal qəfəsin əsas parametrləri.....27
3.5. Kristalloqrafik istiqamətlər və müstəvilər.....29
3.6. Kristalların anizotropluğu.....30
3.7. Metalların allotropluğu.....32
3.8. Bərk cisimlərdə (kristal quruluşunda) defektlər.....32

IV FƏSİL. MÜRƏKKƏB KİMYƏVİ TƏRKİBLİ	
MATERİALLAR.....	37
4.1.Ərintilər və onların faza tərkibi.....	37
4.2.Mexaniki qarışıqlar.....	37
4.3. Kimyəvi birləşmələr.....	38
4.4.Bərk məhlullar.....	40
V FƏSİL. KONSTRUKSIYA MATERİALLARI.....	44
5.1.Polad və onun növləri.....	44
5.2.Alüminium, mis və onların ərintiləri.....	47
5.3.Digər metallar və metal ərintiləri.....	49
5.4.Polimer materiallar.....	55
5.5.Kompozitlər.....	58
VI FƏSİL. KEÇİRİCİ MATERİALLAR.....	59
6.1.Keçirici materialların ümumi xassələri.....	59
6.2.Yüksək keçirici materiallar.....	61
6.3.Xüsusi xassələrə malik keçirici materiallar.....	62
6.4.İfratkeçiricilər.....	64
6.5.Kriokeçiricilər.....	67
6.6.Yüksək müqavimətli keçirici materiallar.....	68
6.7.Elektrik kontaktları və kontakt materialları.....	69
6.8.Lehim materialları	70
6.9.Qeyri-metal keçirici materiallar.....	70
VII FƏSİL. YARIMKEÇİRİCİ MATERİALLAR.....	73
7.1 Yarımkeçiricilərin təsnifatı və əsas parametrləri.....	73
7.2.Yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyi.....	75
7.3.Yarımkeçiricilərin optik və fotoelektrik xassələri.....	77
7.4.Yarımkeçiricilərdə lüminessensiya.....	87
7.5.Bəzi yarımkeçirici materiallar.....	91

VIII FƏSİL. DIELEKTRİK MATERİALLAR.....	101
8.1.Dielektriklərin təsnifatı - passiv və aktiv dielektriklər....	101
8.2.Dielektriklərin polyarlaşması.....	108
8.3. Dielektriklərin elektrik keçiriciliyi və dielektrik itkisi...	111
8.4.Şüşələr və keramikalar.....	113
8.5. Plastmaslar, plastiklər və getinaks.....	115
8.6.Kompaundlar.....	116
8.7.Elektretlər.....	116
IX FƏSİL. MAQNİT MATERİALLAR.....	119
9.1. Maqnit materiallar - təsnifatı və əsas parametrləri.....	119
9.2.Böyük və ifratböyük maqnit müqaviməti.....	121
X FƏSİL. NANOMATERİALLAR.....	123
10.1.Nanomaterialların təsnifatı.....	123
10.2.Nanoquruluşlu kristal materiallar.....	126
İstifadə və tövsiyə olunan ədəbiyyatın siyahısı.....	128
Müəlliflər haqqında.....	130

Ön söz

Materialşünashlıq çox geniş və əhatəli bir elmdir. O, bərk cisimlər fizikası ilə yanaşı, həm də kimyanın, elektrotexnikanın və metallurgiyanın bir sıra bölmələrinin əsas məqamlarını özündə birləşdirir. *Materialşünashlıq* bir termin olaraq nisbətən son dövrlərdə yaranmışdır. Bu terminin yaranmasının başlıca səbəbi isə insan həyatının, elmin, texnikanın, sənayenin müxtəlif sahələri üçün lazım olan xüsusiyyətlərə malik materialların yaradılması və bu materialların xassələrinin öyrənilməsi problemlərinin fəvqəlvacib əhəmiyyət kəsb etməyə başlaması olmuşdur.

Bununla belə, iddia etmək olar ki, materiallar haqqındakı elm mahiyyətə insan (bəşər) sivilizasiyası ilə eyni vaxtda doğulmuşdur. Həqiqətən də, sivilizasiyanın əvvəlki epoxalarının adları məhz həmin dövrlərdə insanların gündəlik tələbatında geniş istifadə edilən materiallarla bağlı olmuşdur. Məsələn, daş dövrü, tunc dövrü, bürünc dövrü, dəmir dövrü, mis dövrü və s. Əvvəlki dövrlərdəki sivilizasiyaların inkişaf tempi də başlıca olaraq insanlar tərəfindən yeni aşkar edilən, yaradılan və ya artıq geniş istifadə olunan materialların istehsalı və emalı ilə təyin edilmişdir.

Əlbəttə, belə bir iddia etmək səhv olar ki, elə o dövrlərdə də metalların əridilməsi sahəsindəki tərəqqi məhz qədim insanların metalların fizikasını bilməsi sayəsində əldə edilmiş və bu işlər elmi xarakter daşmışdır. Mahiyyətə bu tərəqqi əslində kimyanın praktiki tətbiqləri ilə bağlı olmuşdur. Eyni zamanda qeyd etmək lazımdır ki, hələ XX əsrin 30-cu illərinə qədər kimyaçı tədqiqatçıların materiallar haqqındakı elmə gətirdikləri töhfələr fizika üzrə çalışan tədqiqatçıların gətirdiklərindən qat-qat çox olmuşdur.

Bugünkü elmi və texniki tərəqqi ilk növbədə müxtəlif növ yeni materialların yaradılması, mövcud materialların

keyfiyyətinin və praktiki tətbiqlər üçün potensial imkanlarının yüksəldilməsi, eləcə də onların geniş çeşiddə xassələrinin öyrənilməsi ilə bağlıdır. Bütün bu məsələlər birbaşa və ya dolayısı şəkildə bir elm kimi materialşünaslığın uğur və nailiyyətləri ilə əlaqədardır. İndiki zamanda materialşünaslığın texnika və sənayenin qədim sahələri olan maşınqayırmada, elektrotexnikada, energetikada, kimya sənayesində və digər sahələrdə aparıcı rolu artıq geniş mənada qəbul olunmuşdur.

Materialşünaslıq (və ya *materiallar haqqında elm*) dedikdə, verilmiş xassələrə malik müxtəlif materialların fiziki-kimyəvi təbiəti, tədqiq olunma üsulları və hazırlanması barədə elmi-texniki biliklərin toplusu nəzərdə tutulur.

Bu elm geniş şəkildə müxtəlif cür metalların və ərintilərin, müxtəlif sintetik materialların və plastmasların xassələri, eləcə də bu materialların termik, mexaniki, termo-kimyəvi və termo-mexaniki işlənməsi ilə bağlı olan nəzəri və tətbiqi elmlər kompleksinə söykənir.

Sənayenin, texnikanın, istehsalatın və digər müxtəlif sahələrin hamısı üçün ümumi olan bəzi materialların mövcudluğu ilə yanaşı, həmin sahələrin hər birinin yalnız özünəməxsus olan materiallar çoxluğu da var. Bu baxımdan elektron texnikası, yaxud elektron sistemləri materialları daha spesifikdir və bu sahənin materialşünaslığı diqqəti daha çox cəlb edir.

Oxuculara təqdim olunan bu kitab elektron sistemlərində (elektron sistemlərinin funksional element, cihaz və qurğularında) istifadə olunan materialların materialşünaslığına dair Azərbaycan dilində olan ilk dərs vəsaitlərindəndir. Kitab başlıca olaraq bərk cisim elektronikasısı, elektron cihazları, yarımkeçiricilər, optoelektronika və s. kimi ixtisaslaşmalar üzrə təhsil alan magistrələr üçün nəzərdə tutulsa da, ondan uyğun ixtisaslar üzrə təhsil alan bakalavrlar, ali məktəb müəllimləri, elmi işçilər, mühəndislər və digər mütəxəssislər də istifadə edə bilərlər.

Giriş

“Materialşünaslıq” fənninin ali təhsil sisteminin magistratura pilləsində bəzi ixtisaslaşmaların tədris planına daxil edilməsində əsas məqsəd elektron sistemlərinin yaradılmasında və həmin sistemlər üçün müxtəlif funksional elementlərin, cihaz və qurğuların düzəldilməsində istifadə edilən materiallar, daha doğrusu, bu materialların müxtəlif aspektlərdə təsnifatı, xassələri və tətbiq olunma xüsusiyyətləri haqqında həmin ixtisaslaşmalar üzrə təhsil alan magistrləri ən zəruri lazım olan biliklərə yiyələndirməkdir.

Burada başlıca olaraq konstruksiya materiallarının, keçirici, dielektrik, yarı keçirici, maqnit və nanomaterialların fiziki xassələri haqqında ən zəruri məlumatlar verilir. Eyni zamanda materialların əsas siniflərinin tətbiq sahələrinə və effektiv istifadə olunması üçün seçilmə prinsiplərinə baxılır.

Belə bir fikir söyləmək olar ki, “Materialşünaslıq” materialların alınması (yaradılması) və onların xassələrinin öyrənilməsi ilə məşğul olan tətbiqi xarakterli elm sahəsidir.

Nəzərə almaq lazımdır ki, ümumi cəhətlərlə yanaşı, hər bir texnika, istehsalat, elm sahəsinin öz materialşünaslığı və həmin materialşünaslığın özünəməxsus özəllikləri də vardır. Müəyyən məqamlarda ayrı-ayrı sahələrin materialşünaslığı (məsələn, tikinti materiallarının materialşünaslığı, tikiş materiallarının materialşünaslığı, elektron sənayesi materiallarının materialşünaslığı və s.) bir-birindən köklü şəkildə fərqlənir.

Materialşünaslığın strukturunu sadə şəkildə, lakin kifayət qədər informasiya tutumuna malik bir ifadə ilə şərh etmək olar: “tərkib-düzülüş-xassə”. Burada “düzülüş” - dedikdə, cismi təşkil edən elementar hissəciklərin qarşılıqlı yerləşmə xarakteristikası nəzərdə tutulur. Xassə və düzülüşün vəhdəti isə *quruluş* adlanır.

I FƏSİL

MATERIALŞÜNASLIQ VƏ ONUN ƏSAS ANLAYIŞLARI

1.1. Materialların insan həyatında rolu

Bəşər övladının yarandığı ilk gündən indiyədək onun keçdiyi bütün inkişaf yolunda istər insanların məişət tələbləri ilə bağlı şəraitin, istərsə də ən ibtidai və primitiv alətlərdən başlamış, müasir mikro-, nanosistemli texnikaya qədər, həmişə texnikanın, insanların məişətinin istənilən sahəsindəki inkişaf, ilk növbədə, hər bir sahə üçün yeni materialların yaradılması və onların xassələrinin öyrənilməsi ilə sıx bağlı olmuş, ilk növbədə bu amillə təyin edilmişdir. Belə ki, bu tərəqqi hələ çox qədim zamanlarda - dəmirin, misin, gönün, dərinin, rezinin, müxtəlif parça növlərinin, tikinti materiallarının və s. meydana gəlməsi ilə bağlı olmuşdursa, indiki dövrdə artıq həm də radioelektronikanın, mikroelektronikanın, optoelektronikanın aktiv funksional elementlərinin hazırlanması (düzəldilməsi) üçün yeni materialların yaradılmasından asılıdır.

1.2. Maddə, material və detal

Materialşünaslığın əsas anlayışları arasında *maddə*, *material* və *detal* anlayışları xüsusi yer tutur.

Maddə - bir-biri ilə qarşılıqlı əlaqədə olan atom və ya molekullar toplusudur. Maddə müstəsna dərəcədə müəyyən olunmuş kimyəvi tərkibə malikdir. Maddəyə misal olaraq dəmiri, misi, germaniumu, suyu, xörək duzunu, silisiumu, polietileni, sellülozanı, alüminium oksidini və s. göstərmək olar.

I FƏSİL. MATERIALŞÜNASLIQ VƏ ONUN ƏSAS ANLAYIŞLARI

Material - maddədən fərqli olaraq, hər hansı məmulatın hazırlanması gedindəki müəyyən mərhələdə həmin məmulatın tərkibinə daxil olan müxtəlif maddələrdən ibarət olan aralıq məhsuldur. O, konkret texnoloji prosesin tələblərinə və ehtiyaclarına cavab verir. Material adətən mürəkkəb kimyəvi tərkib və müəyyən daxili quruluşla yanaşı, həm də müəyyən xarici formaya malik olur və əksər hallarda əsas maddə ilə yanaşı, özündə keçirdiyi işlənmə (emal) mərhələlərinin izlərini və aşqarları da daşıyır.

Materiallara misal olaraq, məsələn, dəmir maddəsi əsasında hazırlanmış elektrotexniki soyuq kontaktlı poladı; elektrotexniki maddədən hazırlanmış dairəvi en kəsiyə malik məftili, bor atomları ilə aşqarlanmış dəşik keçiricilikli silisiumu, yüksək təzyiqli izolyasiya polietilenini, qəzet kağızını və s. göstərmək olar.

Adətən hər bir materialın adında onun əsas xüsusiyyətləri mümkün qədər əks olunur. Məsələn, elektrotexniki polad və ya mis, izolyasiya polietileni, dəşik keçiricilikli silisium, qəzet kağızı və s. Qeyd etmək lazımdır ki, hər materialın xassələri haqqında daha tam məlumatlar rəsmi mənbələrdə (sənədlərdə), eləcə də xüsusi məlumat ədəbiyyatlarında göstərilir.

Hər bir qurğu ayrı-ayrı hissələrdən yığılır (təşkil olunur) ki, bu hissələrə adətən “detal” deyilir. *Detal* - bir qayda olaraq, adına, tərkibinə və markasına görə bircins olan materialdan quraşdırılma əməliyyatı aparılmadan hazırlanmış, hansısa bir alət, cihaz və ya qurğuda nəzərdə tutulan müəyyən bir funksiyanı yerinə yetirmək üçün istifadə olunan bir məmulatdır. Bu baxımdan rezistor, kondensator, yarımkeçirici cihazlar və başqa radiokomponentlər detal deyil, çünki onlar mürəkkəb tərkibə malikdir. Bununla belə, hər hansı detalın üzərinə (səthinə) rəng, başqa materialdan olan nazik lay,

qoruyucu təbəqə və ya lak çəkilməsi, heç də onu detallar sinfindən çıxarmır.

1.3. Xassə, parametr və xarakteristika

Materialın xassəsi dedikdə, həm onun xüsusiyyətlərinin “sözgəlişi”, həm də müqayisəli təsviri nəzərdə tutulur. Məsələn, “mis yaxşı keçiricidir”, “şüşə və tekstolit getinaksdan möhkəmdir”, “keramika istiliyə davamlıdır” - deyimləri kimi. Necə ki, deyirik: “avtomobil yeyin hərəkət edir”, “bu gün hava istidir”, “bu material yumşaqdır” və s. Ancaq hər bir materialın hər hansı xassəsini dəqiq qiymətləndirmək üçün hökmən həmin xassəni kəmiyyətcə qiymətləndirən amili bilmək lazımdır ki, bu da *parametrdir*. Məsələn, materialın elektrik cərəyanını keçirmə xassəsi onun xüsusi elektrik müqaviməti, mexaniki möhkəmliyi - qırılmaya qarşı olan dözümlülük həddi, istiliyə davamlılığı - ərime temperaturu ilə təyin olunur. Bunların hər biri baxılan materialın nəzərdə tutulan hər hansı bir məqsəd üçün yararlılıq dərəcəsini təyin edə bilən parametrlərdir. Ümumi şəkildə *parametr* – materialın uyğun xassəsini kəmiyyətcə dəqiq xarakterizə və ya təyin edən amil və ya anlayışdır. Materialın xassəsini xarakterizə edən parametrlərin qiymət və xüsusiyyətləri təcrübələr vasitəsilə eksperimental yolla təyin olunur. Bəzi hallarda, daha doğrusu, mümkün olduqda onlar nəzəri üsullarla da hesablanı bilər.

Belə təcrübələri həyata keçirmək üçün adətən, xüsusi tələblərə uyğun olaraq hazırlanmış nümunələrdən və təcrübi qurğulardan istifadə olunur. Həm də bu ölçmələr müvafiq təlimatlarda və ya elmin, texnikanın, texnologiyanın uyğun sahələri üçün mövcud olan standartlarda şərh olunmuş üsullarla həyata keçirilir.

Nəzərə almaq lazımdır ki, materialların parametrləri heç də dəyişməyən (sabit) kəmiyyətlər deyil. Onlar müxtəlif xarici və

eləcə də materialdaxili amillərin təsirinə məruz qalaraq, eləcə də zaman keçdikcə dəyişir. Bu dəyişmələr müvafiq xarakteristikalarda öz əksini tapır.

Xarakteristika - hər hansı bir parametrin müəyyən xarici amildən funksional asılılığına deyilir. Hər hansı xarakteristikanı qurmaq üçün uyğun parametri baxılan xarici və ya daxili amilin müxtəlif qiymətlərində təyin etmək üzrə bir sıra eksperimentlər aparılır. Bu yolla alınmış cədvəl şəklindəki məlumatları qrafik şəklinə çevirmək, həmçinin analitik funksiya ilə təqribat etmək olar.

Demək olar ki, bütün materialların parametrlərinin hamısının asılı olduğu ən universal amil temperatur və zamandır.

Qeyd etmək lazımdır ki, mövcud materialların xarakteristikalarının hamısı mütləq mənada qeyri-stabildir. Lakin bu qeyri-stabilliyin dərəcəsi müxtəlifdir və bəzi hallarda müxtəlif vasitələrlə azaldıla (kiçildilə) bilər. Məsələn, hər hansı materialın müəyyən xassələrinin temperatura görə qeyri-stabilliyinin qiymətini kiçiltmək üçün həmin materialın tərkibini dəyişirlər (misal üçün – minimal temperaturdan genişlənmə əmsalına malik superinvar ərintisi); özü də zamandan asılı olaraq kiçilən, zamana görə qeyri-stabilliyin dərəcəsini azaltmaq üçün kvarts rezonatorlarının lövhələrini “süni köhnəlmə” adlanan işlənməyə məruz edirlər. Əgər materialın temperatura görə qeyri-stabilliyini başqa cür kiçiltməyə imkan yoxdursa, onda təsir edən xarici amilin dəyişmə diapazonunu daraldırlar. Məsələn, bu məqsədlə həmin materialdan hazırlanmış həssas elementi termostatda yerləşdirirlər.

II FƏSİL

ELEKTRON SİSTEMLƏRİ MATERİALLARININ TƏSNİFATI

2.1. Elektron sistemləri materiallarının özəl xüsusiyyətləri

Elektron sistemləri materialları dedikdə, bir qayda olaraq elektron sistemlərində (elektronikanın müxtəlif sahələrində istifadə olunan funksional elementlərdə, cihaz və qurğularda) elektrik, maqnit və elektromaqnit sahələrinin, eləcə də temperaturun, mexaniki deformasiyanın təsirləri dəyişdikdə spesifik təyinatlı funksiyaları yerinə yetirə bilən və eyni zamanda əlverişli elektrik, maqnit, optik, fotoelektrik, dielektrik xassələrinə malik olan materiallar nəzərdə tutulur.

Elektronika (elektron sistemləri) materiallarının digər texnika sahələri üçün olan materiallardan əsas fərqi ondan ibarətdir ki, elektron sistemlərinin materialları praktiki olaraq kimyəvi, bioloji, akustik, yüksək enerjili hissəciklərin təsiri və s. kimi təbiətdə mövcud olan bütün növ xarici təsirlərə (məsələn, həm elektromaqnit sahəsinə bütövlükdə, həm də onun komponentlərinə ayrı-ayrılıqda; mexaniki təsirlərə; istilik təsirinə, radiasiyaya və s.) məruz qalır.

Elektron sistemləri materiallarının digərlərindən ikinci ən mühüm fərqi ondan ibarətdir ki, əksər hallarda eyni bir məmulatda, qovşaqda və hətta komponentdə eyni zamanda kimyəvi və fiziki xassələrinə görə tamamilə bir-birindən fərqli olan materiallar iştirak edir. Sözsüz ki, onlar bir-birinə kimyəvi təsir göstərə, və ya eyni fiziki parametrləri bir-birindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənə bilər (onlar həmin fiziki parametrlərin qiymətinə görə bir-biri ilə uyuşmaya bilər).

Nəhayət, elektron sistemlərində, xüsusi ilə də mikroelektronika sistemlərində istifadə edilən işçi materiallar

elə kiçik ölçü və kütləyə (elə kiçik həndəsi həcmə və səth sahəsinə) malik olur ki, onların quruluş və tərkibinin hətta çox kiçik qeyri-bircinsliyi belə, həmin məmulatı işə yararsız edə bilər.

Bu sferada istifadə olunan materiallar şərti olaraq aşağıdakı qruplara bölünür: *elektrotexniki materiallar, keçirici materiallar, yarımkeçirici materiallar, maqnit materiallar, lüminessensiya materialları, konstruksiya materialları, dielektrik materiallar və nanomateriallar.*

2.2. Elektrotexniki materiallar

Elektron sistemləri və vasitələrinin düzəldilməsində tətbiq olunan müxtəlif materiallar sırasında başlıca yer tutanlardan bir qrupu da elektrotexniki materiallardır.

Elektrotexniki materiallar - elektrik və maqnit sahələrinə qarşı özlərinin malik olduqları müəyyən özəl xassələrlə xarakterizə olunan və texnikada məhz həmin bu xassələrinə görə tətbiq edilən materiallara deyilir.

Radioelektron sistemləri və vasitələri materiallarından fərqli olaraq, elektrotexniki materiallar elektromaqnit sahəsinin komponentlərinin vəhdətdə təsir göstərdiyi şəraitdə yox, başlıca olaraq onlardan birinin (elektrik və ya maqnit sahələrinin) ayrılıqda təsir etdiyi şəraitdə istismar olunur.

Bundan başqa, elektrotexniki materialların istifadə olunduğu elektrik və maqnit sahələrinin tezlik diapazonu da radioelektron sistemləri materiallarının istismar olunduğu elektromaqnit dalğalarının tezlik diapazonundan əhəmiyyətli dərəcədə kiçikdir. Sonuncuların, yəni radioelektron sistemləri materiallarının istifadə olunduğu işçi tezlik diapazonu çox geniş olub, elektromaqnit dalğaları şkalasının ifratyüksək tezlikli oblastından başlayıb, infraqırmızı (İQ) oblastına qədər uzanır.

Maqnit sahəsində özlərini aparmalarına görə elektrotexniki materiallar iki qrupa bölünür: maqnit sahəsinin təsirinə həssas olan – *güclü maqnit (maqnit) və maqnit sahəsinin təsirini hiss etməyən – zəif maqnit (qeyri-maqnit) xassəli materiallar.*

2.3. Keçiricilər, yarımkeçiricilər və dielektriklər

Elektrik sahəsində özlərini aparma xüsusiyyətlərinə görə materiallar üç əsas qrupa - *keçiricilər, yarımkeçiricilər və dielektriklər qrupuna* ayrılır.

Keçiricilərin əsas xüsusiyyəti, onların çox yüksək xüsusi elektrik keçiriciliyinə malik olmasıdır.

Dielektrik materialların başlıca xassələri onların kiçik xüsusi elektrik keçiriciliyinə, lakin xarici elektrik sahəsində güclü *polyarlaşma* qabiliyyətinə malik olması və onların daxilində elektrik sahəsinin yaranmasıdır.

Yarımkeçirici materialların başlıca xüsusiyyətləri onların xüsusi elektrik keçiriciliyinin qiymətinin keçirici və dielektrik materialların xüsusi elektrik keçiriciliyinin qiymətləri aralığında yerləşməsi, fiziki xassələrinin müxtəlif xarici və maddədaxili amillərdən, məsələn, işığın təsirindən, temperaturdan, mexaniki deformasiyadan, elektrik sahəsindən, maqnit sahəsindən, daxilindəki aşqarların kimyəvi təbiətindən, növlərindən, konsentrasiyasından, tərkibindəki müxtəlif tip defektlərdən, radioaktiv şüalanmaların təsirindən və s. müstəsna dərəcədə güclü asılı olmasıdır.

2.4. Materialların istifadə olunma təyinatına görə təsnifatı

Materialların başqa bir təsnifatı da onların elektron sistemlərində və qurğularında hansı funksiyanı yerinə yetirməsinə görə, daha doğrusu, funksional əlamətlərinə görə qruplaşdırılmasıdır.

Funksional əlamətlərinə görə materialların aşağıdakı sinifləri, yaxud da qrupları var: *konstruksiya materialları və ərintiləri; keçirici və ya cərəyan ötürən materiallar; izolyasiya materialları; işçi (aktiv) materiallar; kontakt materialları.*

Nəzərə almaq lazımdır ki, fiziki xassələrinin rəngarəngliyi və müxtəlifliyi sayəsində materialların ayrı-ayrı sinifləri (və ya qrupları) arasında elə bir kəskin sərhəd yoxdur. Belə ki, eyni bir material müxtəlif detallarda müxtəlif funksiyaları yerinə yetirə bilməklə yanaşı, həm də eyni bir detalda eyni zamanda bir neçə funksiyamı yerinə yetirə bilər.

Məsələn, mis əksər hallarda yaxşı keçirici material kimi geniş tətbiq olunsada, bir sıra hallarda ondan yarımkeçirici cihazların korpuslarının (örtüklərinin) düzəldilməsində, bəzən isə hətta kontakt materialı kimi də istifadə edilir. Hər hansı bir cihazın polad örtüyü onun daxili hissəsini kənar mexaniki və xarici elektromaqnit sahələrinin təsirindən qorumaqla yanaşı, həm də əksinə, digər cihazları həmin bu cihazın yaratdığı elektromaqnit sahələrinin təsirindən qoruyur və s.

2.5. Materialların fiziki-kimyəvi və istehlakçı xüsusiyyətlərinə görə təsnifatı

Hər hansı bir məmulatı hazırlamaq üçün material seçərkən, konstrukturlara materialın bir-iki yox, bəzən onlarla müxtəlif xassələrini nəzərə almaq lazım gəlir. Bu seçmə işini asanlaşdırmaq üçün, ilk növbədə, materialların xassələrinin dəqiq təsnifatı aparılmalıdır.

Belə təsnifata görə materialların bütün xassələrini *fiziki-kimyəvi və istehlakçı xassələr* qruplarına bölürlər.

Fiziki-kimyəvi xassələrə isə öz növbəsində *funksional (xidməti) və texnoloji emal olunma* xassələri daxildir.

Maddənin nəzərdə tutulan hər hansı bir məmulatı hazırlamaq üçün yararlığını təyin edən xassəsinə həmin

maddənin funksional xassəsi deyilir. Elektron sistemlərinin detalları üçün əsas funksional xassələr materialın elektrik, maqnit, mexaniki, istilik, optik, kimyəvi və radiasiya xassələridir.

Maddənin hər hansı məmulat hazırlamaq prosesinin mərhələlərində idarə olunma xassəsinə isə onun texnoloji xassələri deyilir. Bu prosesdə tökmə, soyuq qəlibləmə, kəsmə, presləmə, elektrokimyəvi, kimyəvi və başqa bu kimi işlənmə əməliyyatlarından hansının tətbiq edilməsindən asılı olaraq, baxılan hər bir konkret halda istilik, mexaniki möhkəmlik, plastiklik, elastiklik, kövrəklik, həllolma və s. kimi texnoloji xassələrdən müəyyən biri əsas rol oynayır.

Qeyd etmək lazımdır ki, materialın fiziki-kimyəvi xassələrinin *funksional və texnoloji xassələr* olmaqla iki qrupa bölünməsi tamamilə şərtidir. Belə ki, eyni bir xassə (məsələn, mexaniki bərklik, kimyəvi dayanıqlıq) verilmiş material üçün həm funksional, həm də texnoloji xassə ola bilər.

İstehlakçı xassələr və xarakteristikalar – bir qayda olaraq, materialın fiziki-kimyəvi xassələrindən törəyir və bilavasitə onların nəticəsi olur. Materialın istehlakçı xassələrinə onun *iqtisadi, ekoloji və estetik xassələri* daxildir.

III FƏSİL

MATERIALLARIN QURULUŞ XASSƏLƏRİ

3.1. Amorf və kristal cisimlər

Bərk cisimlər onları təşkil edən atomların fəzada düzülüşünə görə – *nizamsız və nizamlı* olmaqla iki qrupa ayrılırlar.

Atomlar bərk cisimdə nizamsız yerləşdiyi halda, onlar bir-birlərinə nəzərən heç də yalnız müəyyən olunmuş yerləri tutmurlar. Belə bərk cisimlər *amorf bərk cisimlər* adlanır. Qeyd etmək lazımdır ki, amorf bərk cisimlər formal olaraq bərk cisim əlamətlərinə malikdir. Onlar müəyyən şəraitdə sabit həcm və həndəsi forma saxlamağa qadir olsalar da, heç də sabit bir ərimə və bərkimə temperaturuna malik deyillər. Amorf cisimlər əsl həqiqətdə çox yüksək özlülüyə malik olan mayedirlər. Belə ki, uzun müddət ərzində saxlanıldıqda onlarda həm çox kiçik sürətli axıcılıq, həm də kristallaşma prosesi müşahidə olunur.

Təşkil olunduğu atomlar nizamlı, yəni fəzada tamamilə müəyyən olunmuş yerləri tutmaqla yerləşmiş maddələr (bərk cisimlər) isə *kristal maddələr (kristal cisimlər)* adlanır.

Belə cisimlərdə atomlar öz tarazlıq vəziyyətlərinə nəzərən təqribən 10^{13} Hz tezliyi ilə rəqs edirlər və həmin rəqslərin amplitudu temperaturdan asılı olur.

Kristal cisimlərdə fəzada nizamlı vəziyyətdə yerləşmiş atomların mərkəzlərini xəyali düz xətlərlə birləşdirdikdə, həmin düz xətlər toplusu bir fəza qəfəsi mənzərəsi yaradır ki, bu qəfəsə *kristal qəfəsi* deyilir.

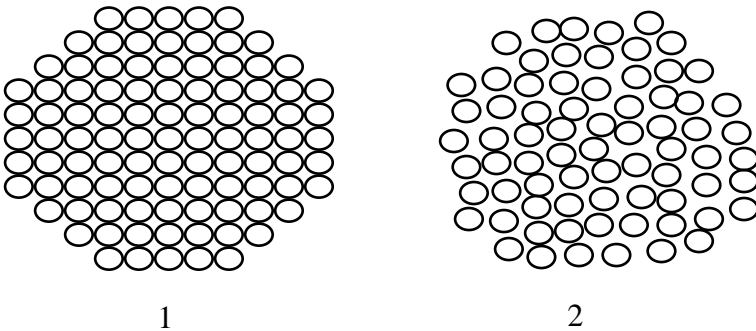
Kristal qəfəsdəki qonşu atomların xarici elektron örtükləri biri-birinə toxunur və ya bir-birini qismən bürüyür (örtür). Buna görə də həmin atomlar bir biri ilə çox möhkəm əlaqədə

olur, kristal qəfəsdə atomların düzülüş nizamlılığı bütövlükdə pozulmur və cismi təşkil edən atomların *qablaşma sıxlığı* çox böyük olur.

Bütün kristal materialları *mono-* və *polikristallar* kimi iki qrupa bölmək olar.

Monokristallar özlərini vahid, bütün istiqamətlərdə kristal qəfəsi təkrar olunan, təhrif olunmaz bir monolit kütlə kimi təcəssüm etdirir. Böyük ölçülü təbii monokristallara nadir hallarda təsadüf etmək olur.

Əksər hallarda kristal cisimlər *polikristal* olur, yəni çoxlu sayda, yalnız çox güclü böyüdükdən sonra görünə bilən kiçik kristalciqlər (dənəciklər) çoxluğundan təşkil olunur. Polikristal cisimlərin təşkil olunduğu bu kiçik kristal dənəciklər *kristallitlər* adlanır. Eyni bir polikristal kütlədəki qonşu kristallitlərin kristal qəfəsləri biri-birinə nəzərən müəyyən bucaq qədər dönmüş olur.



Şəkil 3.1. Kristal (1) və amorf (2) maddələrdə atomların bir-birinə nəzərən yerləşmə vəziyyəti

Kristal cisimlərdə həm *yaxın*, həm də *uzaq nizamlılığa* riayət olunur. Bu tələb verilmiş hər bir atomun həm əhatə olunduğu yaxın qonşuları ilə (*yaxın nizamlılıq*), həm də

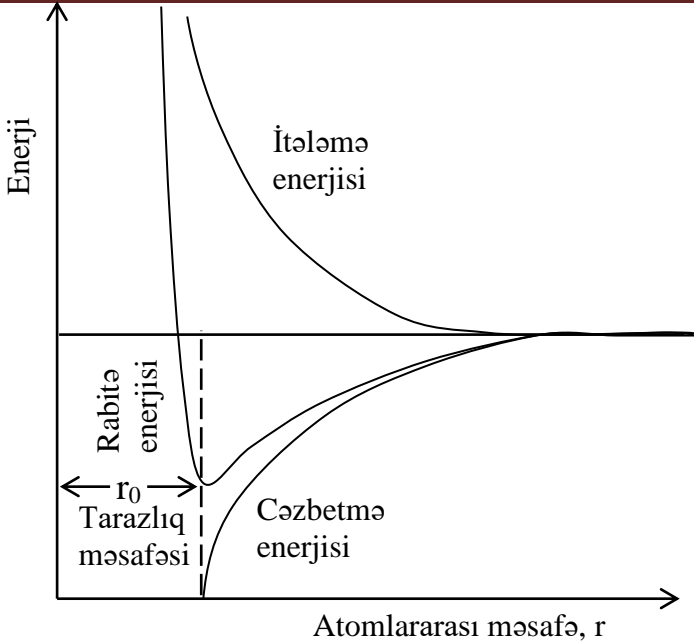
özündən kifayət qədər uzaqlıqdakı, polikristallarda isə hətta kristallitlərin sərhədindəki (*uzaq nizamlılıq*) atomların arasında nizamlı yerləşmənin və stabilliyin mövcudluğuna uyğundur. Bərk cismi təşkil edən atomlar arasında yalnız yaxın nizamlılığın ödənilməyi hal amorf cisimlərə, eyni zamanda həm yaxın, həm də uzaq nizamlılığın ödənilməyi hal isə kristal cisimlərə xasdır. Baxmayaraq ki, diffuziya nəticəsində ayrı-ayrı atomlar özlərinin kristal qəfəsinin düyünlərindəki yerlərini tərk edə bilər, lakin bu zaman kristal quruluşun nizamlılığı bütövlükdə pozulmaya bilər.

3.2. Kristalların əmələgəlmə mexanizmi və bərk cisimlərdə kimyəvi rabitələr

Bərk cisimlərin həm fiziki, həm də kimyəvi xassələri əsaslı dərəcədə onların *elektron və atom quruluşlarından (strukturlarından)* asılıdır. Quruluş, daha doğrusu, atomlarının düzülüş və qarşılıqlı təsir xüsusiyyətlərinə görə, kristallar əsasən *ion, kovalent, molekulyar və metallik kristallar* olmaqla, dörd sinfə bölünür. Bu səbəbdən də bərk fazanın ümumi xassələrini nəzərdən keçirmək üçün məsələyə ilk növbədə onlarda atomlar arasındakı kimyəvi rabitənin təsnifatı aspektindən yanaşmaq lazımdır.

Bərk cisimləri təşkil edən atomların arasında kimyəvi rabitənin əsas tipləri *ion, kovalent, metal və Van-der-Vaals əlaqələridir*. Baxmayaraq ki, bir tipli kimyəvi əlaqəli halları təhlil etmək daha sadə və əlverişlidir, ancaq nəzərə almaq lazımdır ki, bu cür yanaşma, məsələyə sadələşdirilmiş şəkildə yanaşmadır. Belə ki, real bərk kristal cisimlərdə əksər hallarda onları təşkil edən atomlar arasındakı kimyəvi rabitələr *qarışıq xarakterli* olur.

Bərk cisimlərdə kimyəvi əlaqənin yaranmasını atomlar (və ya ionlar) arası qarşılıqlı təsirə baxmaqla daha yaxşı təsəvvür



Şəkil 3.2. İki atom arasında qarşılıqlı təsirin potensial enerjisinin həmin atomlar arasındakı məsafədən asılılıq qrafiki

etmək olar (şəkil 3.2).

Şəkil 3.2-dən göründüyü kimi, atomlar bir-birindən sonsuz məsafədə olduqda onların arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi və onların qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisi sıfıra yaxınlaşır. Atomlar bir-birinə yaxınlaşdıqca onların arasında cazibə və itələmə qüvvələri yaranır. Bunun nəticəsində atomlar arasındakı məsafədən asılı olaraq, onların qarşılıqlı təsirinin potensial enerjisi ya müsbət, ya da mənfi qiymət alır. Kifayət qədər böyük məsafələrdə atomlar arasındakı elektrostatik cazibə qüvvəsi həlledici təsir göstərir. Kiçik məsafələrdə isə atomların tərkibindəki eyni işarəli yüklərin arasındakı itələmə

qüvvəsinin təsiri üstünlük təşkil etməyə başlayır və qarşılıqlı təsirin yekun potensial enerjisi müsbət olur. Çünki bu zaman atomları yaxınlaşdırmaq üçün iş görmək (enerji sərf etmək) lazım gəlir.

Baxılan prosesdə tam potensial enerjini təqribi şəkildə iki həddin cəmi kimi ifadə etmək olar:

$$W_p = -\alpha/r^n + \beta/r^m \quad (3.1)$$

Burada r - atomlar arasındakı məsafə, α və β – cazibə və itələmə qüvvələrini xarakterizə edən sabitlər, m və n – baxılan tip qarşılıqlı təsir üçün xarakterik olan sabitlərdir. Bu halda potensial enerjinin minimumuna uyğun olan r – məsafəsi (şəkil 3.2) 0 K -də qarşılıqlı təsirdə olan atomlar arasındakı məsafəyə bərabərdir. Belə ki, bu halda potensial enerjinin atomlararası məsafəyə görə törəməsi kimi təyin olunan əvəzləyici qüvvə məhz həmin nöqtədə sıfıra bərabərdir, cazibə və itələmə qüvvələri isə bir-birini tam tarazlaşdırır.

Əgər bərk cismi təşkil edən atom cütlərindən biri kifayət qədər *elektromüsbət*, digəri isə *elektromənfi* olarsa, onda birinci atom öz valent elektronunu ikinci atoma verir. Nəticədə yaranmış əks işarə ilə yüklənmiş ionlar arasındakı elektrostatik (Kulon) qarşılıqlı təsir hesabına onların arasında cazibə qüvvəsi meydana gəlir və *ion rabitəsi* yaranır. Belə kristallar *ion kristalları* adlanır.

İon kristallarında valent elektronlarının müxtəlif tipli atomlar arasında baş verən belə keçidi nəticəsində hər bir ion Kulon cazibə qüvvəsinin təsiri altında özünün əks işarəli ionlarla əhatə olunmasına çalışır. Eyni işarə ilə yüklənmiş ionlar isə Kulon qarşılıqlı təsiri hesabına bir-birindən dəf olunaraq, daha uzaq vəziyyət (mövqe) tuturlar.

İonlar arasındakı güclü elektrostatik qarşılıqlı təsirin mövcud olması nəticəsində ion kristallarında atomlar arasındakı rabitə çox möhkəmdir və bir qayda olaraq, belə maddələr böyük mexaniki möhkəmlik, bərklik və yüksək ərimə

temperaturu ilə xarakterizə olunur. İon kristallarında atomlar arasındakı rabitə istiqamətlənməmiş (yönəlməmiş) xarakterə malik olduğundan, bu kristallar həm çox kövrəkdir, həm də kiçik xüsusi elektrik keçiriciliyinə malikdir. İon kristalları ardıcıl düzölmüş, bir-birini ciddi şəkildə əvəzləyən, elektrostatik cəzətmə və itələmə qüvvələri ilə bir-birini müəyyən məsafədə saxlayan *kation* və *anionlardan* təşkil olunur. Buradakı elektrostatik qüvvələr istiqamətlənmiş deyil və hər bir ion öz ətrafında həmin ətrafa yerləşə bilən qədər əks işarəli ion toplayır. Bununla belə, bu zaman itələmə və cazibə qüvvələri bir-birini tarazlaşdırmalı və kristalın ümumi elektroneytrallığı saxlanılmalıdır.

Kristalın təşkil olunduğu ionların ölçülərini də nəzərə almaqla, bütün bu sadalanan amillər müxtəlif tip kristal quruluşların mövcudluğuna (yaranmasına) səbəb olur. Məsələn, Na^+ (radiusu 0.10 nm) və Cl^- (radiusu 0.18 nm) ionlarının qarşılıqlı təsiri zamanı oktaedrik koordinasiya yaranır, yəni hər bir ion öz ətrafında (yanında) oktaedrin təpələrində yerləşən əks işarəli altı ion saxlayır. Bu zaman bütün kation və anionlar sadə kubik kristal qəfəs əmələ gətirir və buradakı hər kubun təpələri, bir-birini növbələyən Na^+ və Cl^- ionları ilə tutulmuş olur. KCl , BaO , CaO və bir sıra başqa maddələrin kristalları da analogi şəkildə qurulur. Kubik və həcmdə mərkəzləşmiş daha mürəkkəb quruluşlu kristallar da mövcuddur (Məsələn, radiusu 0.165 nm olan Cs^+ müsbət ionu ilə radiusu buna yaxın olan mənfi Cl^- ionundan təşkil olunmuş $CsCl$, eləcə də çoxlu sayda digər belə ion kristalları).

Kovalent kristallara bəzən atomar kristallar da deyilir. Bu kristalların kristal qəfəsinin düyünlərində ionlar deyil, eyni və ya müxtəlif kimyəvi elementlərin atomları yerləşir və belə qonşu atomlar bir-biri ilə kovalent rabitələrlə bağlı olur.

Atomlar arasında kovalent rabitənin yaranmasını onlardan birinə və ya hər ikisinə məxsus olan elektronların əlaqələndirici

orbitlərinin bir-birini örtməsi nəticəsində ümumiləşməsi kimi təsvir etmək olar ki, bu da sistemin enerjisini azaldır. Bu tip rabitə, adətən üzvi molekullar üçün daha xarakterikdir və karbon-karbon, karbon-hidrogen rabitələrini özündə yaxşı əks etdirir. Birqat (tək) rabitələr əksər hallarda hərəsi bir atomdan olmaqla iki elektronun ümumiləşməsi zamanı yaranır. İkiqat və üçqat rabitələr isə - uyğun olaraq dörd və ya altı elektronun ümumiləşməsi ilə bağlı olur. Atomlar arasındakı kovalent rabitə yönəlmiş xarakterə malikdir. Belə rabitə zamanı ümumiləşmiş elektronlar hər bir atomun xarici təbəqəsini doldurur.

Kovalent rabitə çox möhkəm (güclü) rabitədir. Buna həmin rabitənin üstünlük təşkil etdiyi bərk cisimlərin (məsələn, almazın) böyük mexaniki bərkliyə və yüksək ərimə temperaturuna malik olması da dəlalət edir. Almazdan başqa, bor (*B*), silisium (*Si*), germanium (*Ge*), mərgümüş (*As*), *ZnS*, *SiO₂*, *ReO₃*, *TiO₃* də kovalent kristallardır. Qeyd etmək lazımdır ki, kovalent kimyəvi rabitəli sadə üzvi molekullarda da molekul daxili rabitə möhkəmdir.

Həmin maddələrin ərimə temperaturunun aşağı və mexaniki möhkəmliyinin kiçik olması isə molekullar arasındakı kovalent olmayan rabitənin zəifliyi ilə bağlıdır.

Təmiz (xalis) ion və təmiz (xalis) kovalent rabitələrlə yanaşı, xarakterinə görə aralıq vəziyyət tutan rabitələr də mövcuddur. Məsələn, *Al₂O₃*-də kovalent rabitə, *CoAl₂O₄*-də (alüminat kobaltda) isə - ion rabitə üstünlük təşkil edir.

Polinqlin elektromənfilik şkalası hər hansı iki müxtəlif atomun elektromənfiliyinə, yaxud da başqa sözlə desək, onların özlərinə əlavə elektron birləşdirə bilmək qabiliyyətinə görə aralarında yaranan rabitənin ion və ya kovalentlik dərəcəsini yarımempirik qiymətləndirməyə imkan verir.

İon və kovalent rabitələr üçün yuxarıda şərh olunan sadə modellər bərk cisimlərdə rabitələrin əksər xüsusiyyətlərini

keyfiyyətə izah edə bilsələr də, *metal rabitəni* sadə üsullarla təsvir etmək cəhdləri bununla müqayisədə çox uğursuz olmuşdur.

Metallarda rabitəyə bərk cismi təşkil edən atomların və onların valent elektronlarının hamısının (vəhdətdə) həmin cismə məxsus olduğunu nəzərə almaqla baxmaq lazımdır.

Metalların əksər xassələrini Drudenin "*sərbəst elektronlar qazı*" nəzəriyyəsi əsasında izah etmək mümkündür. Həmin nəzəriyyəyə görə metalın müsbət yüklənmiş ionları kristal qəfəsi əmələ gətirir. Bu kristal qəfəs isə bütövlükdə onu dolduran elektron qazının içərisinə batırılıb (salınıb). Belə sistemin dayanıqlığı ion və elektronlar arasındakı elektrostatik qarşılıqlı təsir hesabına təmin olunur.

Metallardakı valent elektronların bütün kristal boyunca sərbəst hərəkət edə bilməsi onların (metalların) yüksək elektrik keçiriciliyinə malik olmasını təmin edir.

Qələvi metallarda (məsələn, natriumda) rabitə enerjisi ion kristallarındakından (məsələn, *NaCl*) kiçikdir. Bu metallar həm də asanlıqla deformasiya olunur. Bundan əlavə, keçid metalları (məsələn, dəmir və volfram) daha yüksək ərimə temperaturuna və çox böyük mexaniki möhkəmliyə malikdir. Bu metallardakı qismən dolmuş daxili elektron təbəqələri də kimyəvi rabitənin yaranmasında əhəmiyyətli dərəcədə rol oynayır.

Van-der-Vaals qüvvələri kimi məlum olan zəif elektrostatik qüvvələr də bərk cisimlərdə atomlar arasında əlaqə (kimyəvi rabitə) yaradan qüvvələr ola bilər. Bu qüvvələr atom və molekularda elektronların hərəkəti nəticəsində yaranan ani (çox qısa müddət ərzində mövcud olan) elektrik dipollarının bir-biri ilə zəif cəzb olunması ilə əlaqədardır. Bu cazibə qüvvələri çox cüzi olduğundan, molekulyar kristallardakı kimyəvi rabitə də olduqca zəifdir. Belə rabitənin hegemon olduğu bərk cisimlərə misal olaraq təsirsiz qazların aşağı temperaturlardakı bərk halını göstərmək olar. Qeyri-üzvi

birləşmələrdən bir çox qeyri-metallar (təsirsiz qazlar, hidrogen, azot, ağ fosfor, oksigen, kükürd, hallogenlər) və molekulları yalnız kovalent rabitəli olan birləşmələr (H_2O , HCl , NH_3 , CO_2 və b.) də *molekulyar kristallar* əmələ gətirir. Molekulyar kimyəvi rabitə, demək olar ki, bütün üzvi birləşmələr üçün də xarakterikdir. *Molekulyar rabitəli kristallar* aşağı ərimə temperaturu və böyük olmayan mexaniki möhkəmliliklə xarakterizə olunur.

Molekulyar kristalların mexaniki möhkəmliyinin qiyməti onları təşkil edən molekulların ölçülərindən və mürəkkəbliyindən asılıdır. Məsələn, helium kristalları $-271.4\text{ }^{\circ}C$ -də, ksenonun kristalları $-111.8\text{ }^{\circ}C$ -də, yodun kristalları $+113\text{ }^{\circ}C$ və s. əriyir.

Hidrogen rabitəli kristallar da mövcuddur. Bu rabitənin əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, hidrogen atomu cəmi bir elektrona malikdir. Bununla belə, elə kimyəvi birləşmələr var ki (məsələn HF_2), onların tərkibinə daxil olduqda, hidrogen atomu iki müxtəlif atom arasında “dartılmış” vəziyyətdə qalaraq, körpü əmələ gətirir. Bu zaman hidrogen atomu öz elektronunu verərək, başqa elementin atomunun biri ilə (F -la) kovalent rabitə, özü isə müsbət yüklənərək həmin elementin ikinci atomu ilə ion rabitəsi əmələ gətirir. Bu səbəbdən də hidrogen rabitəsi ikili xarakter daşıyır, yəni bu rabitə ion-kovalent tipli olur. Hidrogen rabitəli kristalların rabitə enerjisi $0.2 \frac{eV}{molekul}$ tərtibində olur və özünü H_2O , H_2S , H_2Te , H_2Se kimi birləşmələrdə nümayiş etdirir. Hidrogen rabitəsi polimerlərdə və ferroelektrik (KH_2PO_4) kristallarda mühüm rol oynayır.

3.3. Kristal qəfəsin tipləri

Kristal cisimləri xarakterizə etmək üçün istifadə olunan əsas anlayışlardan biri *kristal qəfəsin tipidir*. Bir qayda olaraq, kristal qəfəsləri iki əsas tipə ayırırlar: *Brave translyasiyalı qəfəs* və *bazisli qəfəs*. Kristal qəfəsin elementar özəklərinin isə

öz formalarına görə yeddi tipi var: *triklin, monoklin, rombik, romboedrik, heksaqonal, tetraqonal və kubik*. Bu sadalanan yeddi formaya kristalların təsvir oluna bildiyi yeddi kristalloqrafik koordinat sistemi və yeddi simmetriya sistemi (*sinqoniya*) uyğun gəlir. Kristal qəfəsin təşkil olunduğu elementar qəfəslərin təpələri *qəfəs düyünləri* adlanır və kristal qəfəsindəki bütün qəfəs düyünlərinin hamısı biri-birinə ekvivalentdir. Elementar özəkdəki düyünlərin sayına görə qəfəslər iki cür olur - *sadə və mürəkkəb qəfəslər*.

Qəfəsin tipi onu əmələ gətirən elementar özəyin forması ilə təyin olunur.

Metallar, nisbətən mürəkkəb kubik qəfəs tiplərinə: *həcmə görə mərkəzləşmiş və üzə görə mərkəzləşmiş kubik kristal qəfəs* tiplərinə malikdirlər. Daha bir kristal qəfəs tipi isə *sıx qablaşmış heksaqonal kristal qəfəsidir*.

Metalların hamısı müəyyən tip kristal qəfəsə malik olub, aralarında kiçik yürüklüklü sərbəst elektronlar (sərbəst elektron qazı) hərəkət edən müsbət yüklü ionlardan təşkil olunur.

3.4. Kristal qəfəsin əsas parametrləri

Kristal qəfəsin qablaşması və ya onun ümumi həcmnin hansı hissəsinin atomlarla dolması kristalın əsas xarakteristikalarındandır. Bu xarakteristika *qəfəs parametrləri, elementar özəyin tilləri arasındakı bucaqlar, hər elementar özəkdəki atomların sayı, koordinasiya ədədi və qablaşma sıxlığı* ilə təyin olunur.

Qəfəs parametri – a, b, c kəmiyyətləri elementar özəyin tili boyunca qonşu atomlar arasındakı məsafəni, α, β, γ – isə onların arasındakı bucağı göstərir. Qəfəs parametrləri nanometrlərlə ($1\text{nm}=10^{-3}\text{mkm}=10\text{ \AA}$), bucaqlar isə dərəcələrlə ölçülür. Qəfəs parametrləri (a, b, c) və bucaqların qiymətlərinə

görə kristal qəfəslər bir-birindən fərqlənir – yeddi sinqoniyaya ayrılır.

Kubik kristal qəfəsin parametrləri kubun tilinin uzunluğu ilə təyin olunur və a - hərfi ilə işarə olunur.

Heksaqonal kristal qəfəsi xarakterizə etmək üçün onun oturacağındakı altıüzlünün tərəfinin uzunluğu olan a və təşkil olunduğu prizmanın c -hündürlüyü götürülür.

Əgər $c/a=1.663$ olarsa, onda belə kristalda atomların çox sıx qablaşdığı deyilir və həmin kristal *sıx qablaşmış hekşaqonal quruluşlu kristal* adlandırılır.

Bəzi metallar *hekşaqonal kristal qəfəs quruluşuna* malik olsalar da, daha seyrək qablaşmaya malikdirlər ($c/a>1.663$). Məsələn, $c/a=1.86$ olan sink, $c/a=1.88$ olan kadmiium və s.

Müxtəlif metalların kubik qəfəsinin parametrləri $0.286\text{-}0.607\text{ nm}$, hekşaqonal qəfəsinin a - parametri $0.228\text{-}0.607\text{ nm}$, c parametri isə $0.357\text{-}0.652\text{ nm}$ aralığında yerləşir.

Metalların, eləcə də digər kristal bərk cisimlərin kristal qəfəs parametrlərinin qiymətləri *rentgen-struktur* analizləri vasitəsi ilə təyin edilə bilər.

Həcmdə mərkəzləşmiş kristalların elementar qəfəsində 2, *üzdə mərkəzləşmiş kristalların* elementar qəfəsində isə - 4 atom olur. Çünki bütün hallarda hər bir atom eyni zamanda bir-biri ilə qonşu olan (bir-birinə söykənən) bir neçə elementar qəfəsə (özəyə) daxil olur.

Koordinasiya ədədi dedikdə, kristal qəfəsdəki hər bir baxılan atomun ən yaxın qonşu atomlarının sayı nəzərdə tutulur.

Həcmdə mərkəzləşmiş kubik kristal qəfəsdə koordinasiya ədədinin qiyməti 8, *üzdə mərkəzləşmiş kubik kristal qəfəsdə* isə 12-dir.

Qablaşma sıxlığı dedikdə, kristalı təşkil edən atomların özlərinin bütövlükdə tutduğu həcmnin (V_{at}), kristalın ümumi həcminə ($V_{ü}$) olan nisbəti nəzərdə tutulur ($\frac{V_{at}}{V_{ü}}$). Müxtəlif tip

kristal qəfəslərdə atomların qablaşma sıxlığının qiyməti müxtəlif olur. Məsələn, üzdə (yanda) mərkəzləşmiş kubik kristallarda atomların həcmi kristalın ümumi həcmnin 74%-ni, həcmdə mərkəzləşmiş kubik kristallarda isə 68%-ni tutur.

Qəfəsin yığcamlığı, maddələrin elektron quruluşundan və onların atomları arasındakı kimyəvi rabitənin xarakterindən asılıdır.

Hər bir maddənin fiziki və kimyəvi xassələri ilk növbədə onun kristal qəfəsinin tipindən asılıdır.

3.5. Kristalloqrafik istiqamətlər və müstəvilər

Kristal quruluşun fəza qəfəsindəki nizamlılığı xarakterizə etmək üçün *kristalloqrafik istiqamətlər* və *kristalloqrafik müstəvilər* kimi anlayışlardan istifadə olunur. Bu anlayışlar həmin nizamlılığı xarakterizə etməyə imkan verir.

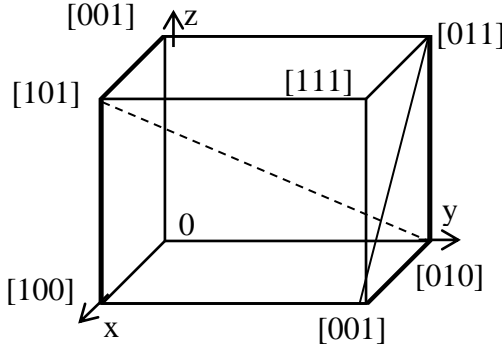
Kristalloqrafik istiqamətlər – hesablama başlanğıcından çıxan elə xarakterik düz xətlərdir ki, kristal qəfəsdəki atomlar həmin düz xətlərin üzərində yerləşmiş olsunlar.

Kubik qəfəs quruluşlu kristallarda hesablama başlanğıcı rolunu kubun təpələri, kristalloqrafik istiqamətlər rolunu isə həmin kubun tilləri və həcmindəki, eləcə də üzlərindəki diaqonalları oynayır.

Kristalloqrafik müstəvilər isə öz üzlərindəki atomlarla birlikdə kristal qəfəsin üz və ya dioqanal müstəviləridir. Heksaqonal quruluşlu sıx qablaşmış kristal qəfəslərdə kristalloqrafik müstəvi rolunu oturmaq müstəviləri də oynaya bilər.

Hər hansı *kristalloqrafik istiqamətin indeksini* təyin etmək üçün həmin hesablama nöqtəsinə yaxın olan və bu istiqamətdə yerləşən atomun indeksini tapmaq lazımdır. Məsələn, “OX” oxu boyunca ən yaxın atomun indeksləri [100] rəqəmləri ilə ifadə olunur (Şəkil 3.3). Bu rəqəmlər “O” nöqtəsinə nəzərən

həmin atomun qəfəs parametri vahidləri ilə OX , OY , OZ istiqamətlərindəki uyğun koordinatlarını ifadə edir.



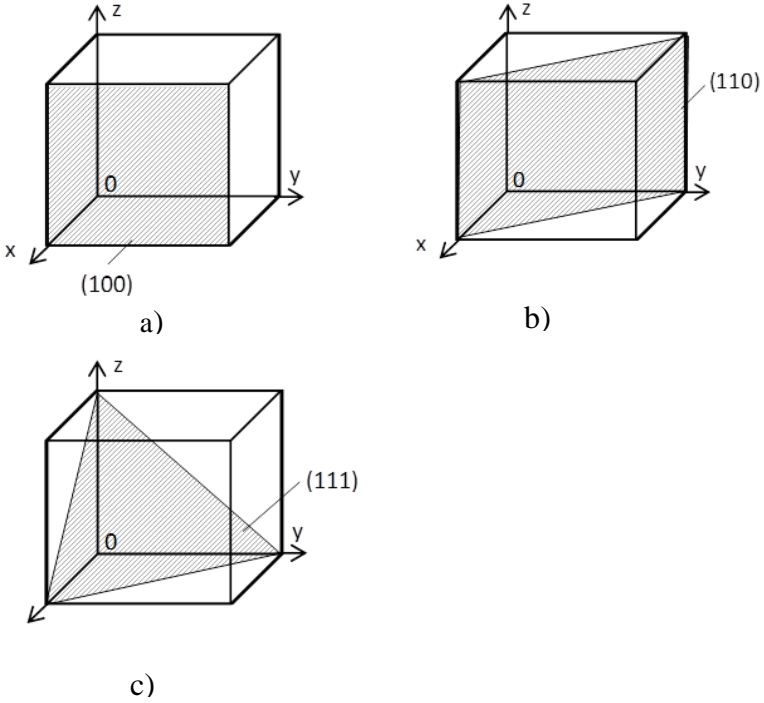
Şəkil 3.3. Kubik qəfəs quruluşlu kristalda kristalloqrafik istiqamətlər.

Fəza qəfəsində kristal düzülüşün nizamlılığı ayrı-ayrı kristalloqrafik istiqamət və müstəviləri bir-birindən ayıra bilməyə (fərqləndirməyə) imkan verir.

Kristalloqrafik müstəvilərin indeksləri həmin müstəvinin koordinat oxları ilə kəsişdiyi ən yaxın nöqtələrin hesablamada başlanğıcına nəzərən koordinatlarından təşkil olunur və kiçik mötərizə daxilində adi ardıcılıqla göstərilir. Məsələn, şəkil 3.4-dəki a - (100), b - (110), c - (111) müstəviləri kimi.

3.6. Kristalların anizotropluğu

Kristalların anizotropluğu dedikdə, müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlər üzrə onların hər hansı müəyyən bir və ya eyni zamanda bir sıra xassə və parametrlərinin (mexaniki, optik, elektrik, dielektrik, maqnit və s.) fərqlənməsi (eyni olmaması)



Şəkil 3.4. Kubik qəfəs quruluşlu kristallarda kristalloqrafik müstəvilər.

nəzərdə tutulur. Bu xüsusiyyət kristal düzülüşünün öz xüsusiyyətlərindən doğan təbii bir nəticədir. Belə ki, kristalda müxtəlif kristalloqrafik müstəvilərdə və istiqamətlərdə yerləşən atomların sıxlığı fərqlənə bilər. Müxtəlif istiqamətlərdə kristalın fiziki və kimyəvi xassələri isə, ilk növbədə, məhz həmin istiqamətlərdəki atomların sıxlığından asılıdır. Buna görə də müxtəlif istiqamət və müstəvilərdə yerləşən atomların sıxlığı ilə fərqlənən kristalın fiziki və kimyəvi xassələri müxtəlif istiqamətlərdə eyni olmaz.

Anizotropluq yalnız monokristallarda bütövlükdə və ya polikristallardakı bir kristallitin hüdudları daxilində özünü göstərir. Bütövlükdə böyük polikristal cisimlərdə anizotropluq müşahidə olunmur. Çünki polikristal cisimdə hər bir kristalloqrafik istiqamətdə külli miqdarda müxtəlif orientasiyalı kristallitlər mövcuddur, polikristalın bütövlükdə fiziki və kimyəvi xassələri həmin mikrokristallitlərin xassələrinin istiqamətdən asılı olmayan ortalaması ilə təyin olunur. Bu səbəbdən də real metallar kvaziizotrop, başqa sözlə psevdooizotrop cisimlərdir.

3.7. Metalların allotropluğu

Bəzi metallar, məsələn, dəmir, titan, qalay və bir sıra başqaları, müəyyən temperatura qədər qızdırıldıqda öz kristal düzülüşünü, yəni öz kristal qəfəsinin elementar özəyinin tipini dəyişə bilər. Bu hadisə *allotropluq* və ya *polimorfizm*, bir kristal düzülüştən (quruluşdan) digərinə keçid isə *allotropik* və ya *polimorf çevrilmə* adlanır. Metalların müxtəlif allotropik formaları yunan əlifbasının hərfləri ilə işarə olunur. Ən aşağı temperatura uyğun *modifikasiya α*, sonrakılar isə temperaturun yüksəlməsi ilə *β*, *γ*, *ε* və s. hərflərin ardıcılığı ilə işarələndirilir.

3.8. Bərk cisimlərdə (kristal quruluşunda) defektlər

Kristalların quruluşu və fəza qəfəsi haqqında 3.1-3.7-də şərh olunan kimyəvi rabitə, kristal qəfəs, kristal qəfəsin tipləri və parametrləri, kristalloqrafik istiqamətlər və müstəvilər, eləcə də digər fikir və anlayışlar yalnız *ideal kristallara* aiddir. Əslində isə hər bir *real kristal* heç də belə bir ifrattəkmil quruluşa malik deyil və müxtəlif səbəblərdən ideal fəza qəfəsinin bir sıra təhriflərinə (pozuntularına) məruz qalmış bir sistemdir. Həmin bu təhriflər *kristal qəfəsin defektləri* adlanır.

Ərimə temperaturu, dielektrik nüfuzluğu, paramaqnit və diamaqnit xarakteristikaları, elastiklik modulu kimi bəzi parametr və xarakteristikalar bir qədər az həssas olsalar da, kristalların defektləri materialın demək olar ki, bütün digər fiziki və kimyəvi xassələrinə güclü təsir göstərir. Bu səbəbdən də hər hansı bir materialın yaradılmasında və onun əsasında cihazların düzəldilməsində *materialın defekt tərkibi* və bu defektlərin idarə olunması məsələsinin öyrənilməsi, bu haqda məlumatların bilinməsi mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Kristallarda bir qayda olaraq, qəfəsin ideal simmetriyası müxtəlif xarici amillərin həyəcanlaşdırıcı təsirinə məruz qalır. Məsələn, ən aşkar həyəcanlaşdırıcı təsirlərdən biri qəfəsi təşkil edən atomların istilik hərəkətidir. Simmetriyanın pozulması cismin istidən genişlənməsi zamanı da yarana bilər. Bəzi cismlər üçün isə müəyyən temperaturda simmetriyanın xarakterinin əhəmiyyətli dərəcədə dəyişməsi ilə nəticələnən qəfəsin tam yeniləşməsi (polimorfizm hadisəsi) baş verə bilər. Bundan əlavə, istilik hərəkəti, temperaturun yüksəlməsi ilə tarazlıq konsentrasiyası artan qəfəs düyünlərinin vakansiyalarının və düyünlərarası atomların yaranmasına da səbəb ola bilər.

Mexaniki təsirlər də kristal qəfəsin deformasiyasına gətirir və bu proses nəticəsində də onun simmetriyası pozula bilər. Bu zaman kristalda nöqtəvi, xətti, ikiölçülü və üçölçülü defektlər yaranır. *Kristalların göyərdilməsi* prosesində külçədə lokal “göyörtmə” defektləri və ya bərk haldakı faza keçidləri zamanı digər defektlər əmələ gələ bilər. Həmçinin plastik deformasiya, yüksək enerjili elementar zərrəciklərlə bombalama (*radiasiya defektləri*), *stexiometriyadan* kənara çıxmalar (*stexiometrik defektlər*) hesabına da kristallarda defektlər yarana bilər.

Kristal qəfəsin defektləri ən sadə yanaşmada *ölçüsüz (nöqtəvi), birölçülü, ikiölçülü və üçölçülü defektlər* qrupuna bölünür.

Ölçüsüz (nöqtəvi) defektləri də öz-özlüyündə *energetik, elektron və atom defektləri* kimi qruplaşdırmaq olar.

Ən geniş yayılmış energetik defektlər istilik hərəkəti hesabına kristal qəfəsin müntəzəmliyinin müvəqqəti pozulması, yəni *fononlardır*.

Kristalın energetik defektləri sırasına qəfəsin müxtəlif radiasiyaların (ışığın və ya γ -, α -şüalanmalarının, neytron selinin) təsiri ilə yaradılan pozuntuları (həyəcanlandırılmış halları) da daxildir.

Elektron defektlərinə *artıq elektronlar*, elektron çatışmazlığı (kristalda dolmamış valent əlaqələri) *deşiklər* və *eksitonlar* aiddir.

Sonuncular, yəni eksitonlar - özlərini elektron vədeşiklərdən, eləcə də elektron (və yadeşik) və aşqar ionlarından ibarət olub, bir-biri ilə Kulon qüvvələri ilə bağlı olan cüt defektlər şəklində təzahür etdirir. Birincilər – *sərbəst eksitonlar*, ikincilər isə *bağlı eksitonlar* adlanır.

Kristallarda mövcud ola bilən digər defektləri dörd əsas sinfə ayırırlar.

Bunlardan birincisi *nöqtəvi defektlər* sinfidir və bu sinfə o defektlər daxildir ki, onların hər üç istiqamətdə ölçüləri bir və ya bir neçə atomlararası məsafədən böyük olmur.

Nöqtəvi defektlər kristal qəfəsdə ideal qəfəs simmetriyası üçün xas olmayan mövqedə atomlar yerləşdikdə (mövcud olduqda) əmələ gələn defektlərdir. Bu defektlərə düyünlərarası mövqedə yerləşən atomlar və ya düyünlərdəki vakansiyalar aiddir. Belə “təsadüfi” vakansiyalardan başqa, verilmiş kristal qəfəsi təşkil edən atomlarla bərabərhüquqlu element olan qanunauyğun yerləşən stexiometrik vakansiyalar da mövcud olur. Kristal qəfəsin düyünlərindəki boşluqlar, yaxud boş yerlər - *Şottki defektləri*; qəfəsə daxil edilmiş kənar atom, yaxud da qəfəsin düyünündən düyünlərarasına sürüşmüş atomla düyünlərdəki vakansiya cütü isə - *Frenkel defektləri* adlanır.

İon rabitəli kristallarda elektroneytrallığı saxlamaq üçün həm *kationlar*, həm də *anionlar* üçün Şottki və Frenkel defektlərinin konsentrasiyası eyni olmalıdır.

Nöqtəvi defektlərin nisbi sıxlığı çox böyük olmadıqda da kristalların fiziki (mexaniki, elektrik, maqnit, optik və s.) xassələrinə həmin defektlərin təsiri kifayət qədər böyük ola bilər. Məsələn, yarımkeçirici materiala atom faizinin mində biri qədər miqdarda hər hansı aşqarın daxil edilməsi, həmin yarımkeçirici materialın elektrik keçiriciliyini $10^5 \div 10^6$ dəfəyə qədər dəyişə bilər.

Vakansiya tipli nöqtəvi defektlər göyördilmə rejiminin dəqiqliyindən asılı olmayaraq hər bir kristalda mövcud olur. Bununla yanaşı, real kristallarda istilik flüktuasiyalarının təsiri altında da vakansiyalar daima yaranır və yox olur.

İon və kovalent kristallarda nöqtəvi defektlər elektrik baxımından aktiv olur və onlar *donor*, yaxud da *akseptor* xarakterinə malik olub, kristalda müəyyən keçiricilik tipi yarada bilər. Aşqar atomları kristallaşma zamanı birbaşa həcmə daxil edilməklə və ya kristallaşmadan sonra səthdən həcmə diffuziya etdirilməklə kristala daxil olur.

İkinci sinif defektlər *xətti (birölçülü) defektlərdir*. Bu defektlər kristalda bir istiqamət boyunca yerləşib, bir neçə qəfəs sabiti qədər uzunluğa malik olur. Xətti defektlərə *kənar (künc, qıraq)* və *vintvari mikroçatlar, vakansiya və düyünlərarası atomlar* sırası aiddir.

Kristal qəfəsin xətti (birölçülü) defektlərinə *dislokasiyalar* da aiddir (“*dislokasiya*” sözünün mənası sürüşmədir). Dislokasiyanın ən sadə şəkli *kənar (qıraq)* və *vint dislokasiyalarıdır*. Kristal qəfəsdəki hər bir dislokasiya, kənar və vint dislokasiyalarının vəhdəti (birləşməsi) kimi təsvir oluna bilər.

Dislokasiyalar kristalın davamlı defektləri olub, özünün təsir sahəsi ilə təhrif olunmuş kristalın atom defektləri ilə

müqayisədə onun daha böyük sayda düyünlərini əhatə edir. *Dislokasiyanın nüvəsinin* eni bir neçə qəfəs sabiti qədər olsa da, onun uzunluğu çox minlərlə perioda (qəfəs sabitinə) qədər çatır.

Dislokasiyaların ən vacib, daha doğrusu ən başlıca xassəsi onların mütəhərrikliliyi (yürüklüyü), eləcə də öz aralarında və qəfəsin istənilən digər defektləri ilə aktiv qarşılıqlı təsirdə ola bilməsidir.

Üçüncü sinif defektlər isə *ikiölçülü defektlərdir*. Bu defektlər iki istiqamətdə qəfəs parametrlərindən çox böyük məsafələrə qədər yayılmış defektlərdir. İkiölçülü (müstəvi) defektlərə kristal dənəcikləri arasındakı sərhədlər, xətti dislokasiyalar cərgəsi daxildir. Kristalın öz səthinə də ikiölçülü defekt kimi baxıla bilər. Daha doğrusu, kristaldakı ən mühüm ikiölçülü defekt, məhz elə həmin kristalın səthidir.

Nəhayət, kristallarda mövcud ola bilən dördüncü sinif defektlər *həcmi (üçölçülü) defektlərdir*. Bu defektlər, bir qayda olaraq, mikroboşluqlar və başqa fazaların əlavələri hesabına yaranır.

IV FƏSİL

MÜRƏKKƏB KİMYƏVİ TƏRKİBLİ MATERİALLAR

4.1. Ərintilər və onların faza tərkibi

Ərinti sözü geniş mənalı bir anlayış olub, çox müxtəlif üsullarla alınan qarışıq maddələrə şamil edilir. Belə ki, keçmiş zamanlarda tərkibində bir neçə kimyəvi element olan materiallar, başlıca olaraq, əritmə üsulu ilə alınırıdısa, indi bir çox belə mürəkkəb tərkibli materiallar başqa texnoloji üsullarla da alınır. Bu üsullara misal olaraq, *tozvari metallurgiya*, *diffuziya*, *plazma tozlanması* və s. göstərmək olar.

Elektron sistemləri sənayesində, başlıca olaraq təmiz metallar və qeyri-metallar deyil, müxtəlif metalların metallarla, qeyri-metalların qeyri-metallarla, yaxud da metalların qeyri-metallarla ərintilərindən istifadə olunur.

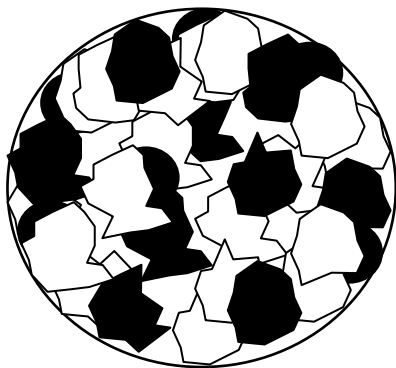
Ərintilərdə onların tərkibinə daxil olan kimyəvi elementlər özlərinin kimyəvi təbiətinə, kimyəvi rabitə növünə və quruluşuna görə fərqlənən fazalar yaratmaqla, öz aralarında müxtəlif növ qarşılıqlı təsirdə ola bilirlər. Qeyd etmək lazımdır ki, *faza* dedikdə, metalın, qeyri-metalın və ya ərintinin eyni tərkibə, quruluşa və xassəyə malik olan bircins hissəsi nəzərdə tutulur.

Komponentləri arasındakı qarşılıqlı təsirin xarakterindən asılı olaraq ərintilər aşağıdakı qruplara bölünür: *mexaniki qarışıqlar*; *kimyəvi birləşmələr*; *bərk məhlullar*.

4.2. Mexaniki qarışıqlar

Mexaniki qarışıq olan *ərinti* o halda əmələ gəlir ki, onun tərkibinə daxil olan komponentlər bərk halda biri-birində - qarşılıqlı həll olmağa qadir deyillər və bir-biri ilə birləşmə

yaradan kimyəvi reaksiyalara da girmirlər. Bu halda qarışıqın tərkibindəki müxtəlif elementlər biri-birindən öz quruluşlarına və xassələrinə görə əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir, eləcə də eyni kimyəvi təbiətli atomlar arasındakı qarşılıqlı təsir müxtəlif kimyəvi təbiətli atomlar arasındakı qarşılıqlı təsirdən qat-qat güclü olur. Mexaniki qarışıq (ərinti) bütövlükdə özünün tərkibinə daxil olan ayrı-ayrı komponentlərin kristallarından ibarət olur (Şəkil 4.1). *Mexaniki qarışıqlarda onların tərkibinə daxil olan komponentlərin hər birinin fərdi kristal qəfəsi saxlanılır.*



Şəkil 4.1. Mexaniki qarışıqın mikrostrukturunun sxematik təsviri

4.3. Kimyəvi birləşmələr

Kimyəvi birləşmə öz quruluş və xassələrinə görə əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənən elə müxtəlif təbiətli kimyəvi elementlər arasında əmələ gəlir ki, həmin elementlərin atomları arasında olan qarşılıqlı təsir qüvvəsi, birləşmənin tərkibinə daxil olan hər bir kimyəvi elementin öz atomları arasındakı

qarşılıqlı təsir qüvvəsindən böyük olsun.

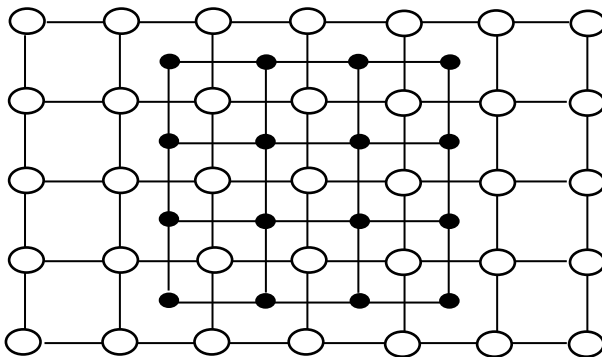
Kimyəvi birləşmələr aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdir:

1. *Tərkibin sabitliyi*, yəni kimyəvi birləşmə (ərinti) onun tərkibinə daxil olan komponentlərin atomlarının sayının yalnız müəyyən (konkret) nisbətində yarana bilər. Kimyəvi birləşmə A_nB_m şəklindəki düstur ilə işarə olunur. Bu düsturda A və B hərfləri baxılan birləşməyə daxil olan ayrı-ayrı komponentlərin (kimyəvi elementlərin) kimyəvi işarəsini, n - və m - isə onların hər molekulda iştirak edən atomlarının miqdarını göstərir;

2. Kimyəvi birləşməni təşkil edən kimyəvi elementlərin kristal qəfəsindən fərqlənən, lakin atomların düzgün nizamlı düzülüşünə malik *özünəməxsus (spesifik) kristal qəfəsinin əmələ gəlməsi* (Şəkil 4.2);

3. Yalnız həmin birləşməyə məxsus olan *fərdi xüsusiyyətlərin* parlaq şəkildə *təzahür etməsi*;

4. Təmiz komponentlərdə olduğu kimi burada da *ərimə və kristallaşma temperaturlarının sabitliyi* (əgər kimyəvi birləşmə kristaldırsa).



Şəkil 4.2. Kimyəvi birləşmənin kristal qəfəsi

4.4. Bərk məhlullar

Bərk məhlullar elə çoxkomponentli kristal fazalardır (mürəkkəb tərkibli maddələrdir) ki, həmin maddələr yarandıqda onların tərkibinə daxil olan komponentlərdən birinin, daha doğrusu *həlledici komponentin* kristal qəfəsi saxlanılır və digər komponentin (*həllolan komponentin*) atomları tədricən onun (həlledici komponentin) atomlarını əvəz edir. Belə maddələr (bərk məhlullar) dəyişən tərkibli kristal fazalardır, yəni onların tərkibindəki *həlledici element (matrisa* və ya *əsas)* başqa elementin (*həll olan elementin*) müxtəlif miqdarlarını özündə həll edə bilir.

Bu zaman iki hal mümkündür. Birinci halda *həll olan elementin* atomları *həlledicinin* kristal qəfəsinin düyünlərində yerləşərək, *əvəzetmə (tutma) bərk məhlulu* əmələ gətirir. İkinci halda isə həll olan elementin atomları həlledicinin kristal qəfəsinin düyünləri arasındakı boşluğa (*məsamələyə*) girməklə, *daxilolma bərk məhlulu* əmələ gətirir.

Bərk məhlullar əmələ gələrkən, bir qayda olaraq, həlledicinin mexaniki bərkliyi və xüsusi elektrik müqaviməti böyüyür, istilikkeçirməsi və plastikliyi isə kiçilir.

Ən mühüm, yəni daha çox təsadüf olunan bərk məhlulların əmələgəlmə xüsusiyyətləri aşağıdakılardır:

1. *Daxilolma bərk məhlulu.* Həlledicinin kristal qəfəsində düyünlər arasındakı məsafə böyük, daxil olan elementin atomları isə kiçik radiuslu olduqca, daxilolma prosesi daha asan olur. (Şəkil 4.3, a);

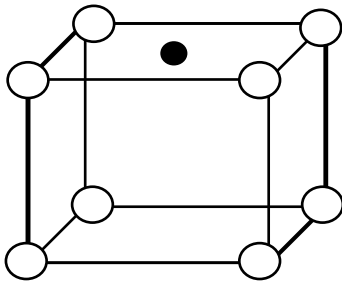
2. *Əvəzetmə (və ya tutma) bərk məhlulu.* Bu tip bərk məhlul məhdud və qeyri-məhdud ola bilər.

Məhdud xarakterli əvəzetmə məhlullarından fərqli olaraq, *qeyri-məhdud əvəzetmə bərk məhlulları* Mendeleyevin Kimyəvi Elementlərin Dövri Sistemi Cədvəlində bir-birinə yaxın yerləşən və atom radiusları çox cüzi dərəcədə (8-10%)

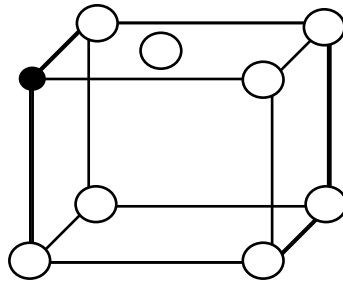
fərqlənən *izomorf metallarda* yaranır. Məhlulun tərkibinə daxil olan elementlərin atom radiuslarının fərqi böyük olduqca, həllolma dərəcəsi daha kiçik olur. (Şəkil 4.3, b);

3. *Nizamsız və nizamlı bərk məhlullar*. Adi bərk məhlullarda həll olan kimyəvi elementin atomları başlanğıc mərhələdə həlledicinin kristal qəfəsində nizamsız şəkildə yerləşir (Şəkil 4.3, c). Müəyyən şəraitlərdə, daha doğrusu, diffuziyaya səbəb olan asta soyutma zamanı isə həll olan komponentin atomları həlledicinin kristal qəfəsində yalnız müəyyən yerləri tuturlar. Bu proses *nizamlanma* adlanır (Şəkil 4.3, d).

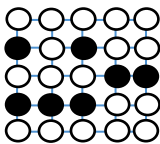
Təmiz maddənin kristal qəfəsinə kənar element atomunun girməsi (daxil olması) onun (qəfəsin) təhrif olunmasına səbəb



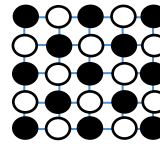
4.3, a



4.3, b



4.3, c



4.3, d

Şəkil 4.3. Bərk məhlulların növləri.

a - daxilolma; b - əvəzetmə;

c - nizamsız; d-nizamlı.

olur. Aydındır ki, kənar element atomu özünün radiusu ilə müqayisədə təşkil olunduğu atomların radiusu böyük olan kristal qəfəsə daha asan, təşkil olunduğu atomlarının radiusu kiçik olan kristallara isə çətinliklə daxil ola bilər. Bu səbəbdən də hər hansı bərk məhlulun yaranması prosesində həmin bərk məhlulun tərkibinə daxil olan komponentlərin atomlarının ölçüləri (həcmi və radiusu), həlledicinin kristal qəfəsindəki atomlararası məsafə və qəfəsdəki boşluqların (məsamələrin) forma və ölçüləri mühüm rol oynayır.

Əvəzetmə bərk məhlullarında əvəzetmə, başlıca olaraq, həlledici ilə həllolanın atomlarının radiusları bir-birindən 15%-dən çox fərqlənmədikdə mümkündür. Bu şərt, bərk məhlulların əmələ gəlməsi üçün *ölçü faktoru* adlanır. Əvəzetmə bərk məhlullarının əmələ gəlməsində qeyri-məhdud həllolma yalnız o vaxt baş verə bilər (mümkündür) ki, ölçü faktorunun tələbləri ödənsin və tərkibdəki elementlərin kristal qəfəsləri eyni tipə malik olsun. Əvəzetmə bərk məhlulları *nizamlı və nizamsız* olur.

Daxilolma bərk məhlulları adətən keçid metalları ilə kiçik atom radiuslu qeyri-metalları (məsələn, H , N , C , B) birlikdə əritdikdə əmələ gəlir. Daxilolma (girmə) bərk məhlulları əmələ gələrkən kristal qəfəsin təhrifi, əvəzetmə bərk məhlullarının əmələ gəlməsi zamanı baş verən təhriflərdən böyük olur.

Bərk məhlulların tərkibini yunan hərfləri ilə işarə edirlər. Məsələn, $Ge_{1-x}Si_x$; $Cd_{1-x}Hg_xTe$; $Cd_{1-x}Zn_xS_{1-y}Se_y$ və s.

Real bərk məhlulların əksəriyyəti üçün *nizamlanma ilə nəticələnən faza keçidinin* baş verməsi daha xarakterikdir. Bu zaman həmin məhlulu təşkil edən atomların atomlararası məsafə miqyasında yenidən paylanması baş verir. Bu proses son nəticədə həmin ərintilərin nizamlı fazasının yaranmasına səbəb olur (Şəkil 4.4). Bu fazada atom mövqeləri müxtəlif növ atomların dolması üçün ekvivalent olmur: qeyri-nizamlı fazanın kristal qəfəsi bir neçə *alt qəfəsə* parçalanır. Hər alt

V FƏSİL

KONSTRUKSIYA MATERIALLARI

Konstruksiya materialları başlıca olaraq müəyyən bir qurğu, cihaz və ya elektron sistemi blokunun əsas işçi elementlərinə xidmət edən detal və hissələrinin (cihazın örtüyünün, dayağının, gövdəsinin, qoruyucu və tutmaq üçün olan hissələrinin və s.) düzəldilməsi üçün istifadə olunur. Bu materiallardan düzəldilən hissə və detalların daşdığı funksiyadan asılı olaraq, onların (konstruksiya materiallarının) mexaniki, istilik, kimyəvi davamlılıq, maqnit, elektrik və elektromaqnit sahələrinin, eləcə də radiasiya şüalanması təsirlərinə qarşı davamlılıq xassələrinə daha çox diqqət verilir. Müasir elektron sistemləri və funksional elementlərin düzəldilməsində istifadə olunan konstruksiya materiallarının çeşidi kifayət qədər genişdir. Belə ki, buraya müxtəlif növ poladlar, mis, alüminium, titan və onların ərintiləri, nikel, əlvan və çətin əriyən metallar, onların ərintiləri, polimer materiallar, maye kristallar və s. daxildir. Həmin materialları ümumi şəkildə aşağıdakı kimi qruplaşdırmaq olar: bircins materiallar, kompozitlər, metallar, qeyri-metallar, kristallar, amorf materiallar, ərintilər, plastik materiallar və s.

5.1. Polad və onun növləri

Konstruksiya materialları sırasında ən başlıcalarından biri *konstruksiya poladlarıdır*. Bir qayda olaraq, konstruksiya poladları dedikdə maşın, konstruksiya və qurğu detallarını düzəltmək üçün istifadə olunan poladlar nəzərdə tutulur.

Konstruksiya poladları həm karbonlaşdırılma, həm də aşqarlanma yolu ilə alına bilər. Bu qrup konstruksiya poladlarında karbonun miqdarı 0.6 %-dən artıq olmur.

Polad mürəkkəb tərkibli material olub, dəmirin karbonla ərintisindən ibarətdir. Onun sıxlığı təqribən 7600 kq/m^3 olur. Karbon poladın ən vacib komponentidir və o, poladın mexaniki xassələrini, termik işlənmə zamanı həmin xassələrin dəyişə bilmək qabiliyyətini təmin edir. Ümumiyyətlə, müxtəlif növ poladlarda karbonun miqdarı 0.05%-dən 1.60%-ə qədərki aralıqda dəyişir.

Əgər *dəmir-karbon* ərintisində karbonun miqdarı 0.05%-dən kiçikdirsə, belə material *texniki dəmir* adlanır.

Dəmir-karbon ərintisində karbonun miqdarı 1.60%-dən çox olduqda isə, o, *çuqun* adlanır. Elektron sistem və vasitələrinin hazırlanmasında çuqundan istifadə edilir.

Tərkibində dəmir və karbonla yanaşı, poladda digər əlavələr də mövcud ola bilər. Bu əlavələrin sırasına daimi (mövcudluğu qaçılmaz olan) və təsadüfi (ilkin xammalın tərkibinin xüsusiyyətlərini özündə əks etdirən), eləcə də poladın hazırlanması prosesində onun tərkibinə məqsədyönlü şəkildə daxil edilmiş xüsusi aşqarlar daxildir. *Daimi* və *təsadüfi aşqarlar*, bir qayda olaraq, poladın keyfiyyətini pisləşdirir. Məqsədyönlü daxil edilmiş *xüsusi aşqarlar* isə poladın tərkibinə müəyyən (nəzərdə tutulan) miqdarda daxil olunur və poladın xassələrini nəzərdə tutulan şəkildə dəyişməyə xidmət edir. Xüsusi aşqarlar daxil edilməmiş polad – *karbonlaşdırılmış polad*, xüsusi aşqarlar daxil edilmiş polad isə – *aşqarlanmış polad* adlanır.

Keyfiyyətinə görə polad üç qrupa: *adi keyfiyyətli*, *keyfiyyətli* və *yüksək keyfiyyətli poladlar* qruplarına bölünür.

Poladın mexaniki xassələri onun tərkibi və əvvəlki işlənməsi (mənşəyi) ilə təyin olunur.

Poladın mexaniki xassələrinin tənzimlənməsində ən təsirli vasitə termik işlənmədir. Bu proses maksimal temperatur və soyudulma sürətindən asılı olaraq, bir neçə rejimdə həyata keçirilə bilər. Belə ki, kifayət qədər yüksək temperatura qədər

qızdırıldıqda və sürətlə soyudulduqda poladın qızdırılmış halda qərarlaşmış kristal quruluşu sürətli soyudulmada pozulmağa macal tapmır və nəticədə o, yüksək bərklik əldə edir. Lakin bu zaman polad öz plastikliyini itirir və hətta kövrək də ola bilər. Poladın belə termik işlənmə rejimi *suvadılma* adlanır.

Əgər qızdırıldığı yüksək temperaturdan polad yavaş sürətlə soyudularsa, onun kristal quruluşu tamamilə yenidən formalaşır, polad plastiki olur, ancaq öz bərkliyini və möhkəmliyini qismən itirir. Bu cür termik işlənmə rejimi *tovalama* adlanır.

İstiliyə davamlılığına və istiyə dözümlülyünə görə poladlar, eləcə də digər *xəlitə* və *metallar* iki növə ayrılır. Qeyd etmək lazımdır ki, poladların istiliyə davamlılığı həm də onların oksidləşməyə qarşı müqavimət qabiliyyətini nümayiş etdirir. Belə ki, istiyə daha çox dözümlü metal və ərintilər yüksək temperaturlarda da yaxşı mexaniki xassələrə malik olur.

Ümumiyyətlə, xarici mühitin təsiri altında poladın, eləcə də digər metal və metal ərintilərinin səthdən dağılması prosesinə *korroziya* deyilir. Korroziyaya qarşı dözümlülüyünə görə poladlar aşağıdakı qruplara bölünür: *xromlanmış polad*; *xrom-nikel polad*; *austenit polad*; *austenit-martenit polad*; *austenit-ferrit polad*.

Austenit poladlarda karbonun materialın tərkibindən çıxması və ya *deabsorbsiyası* baş verir ki, bu da əlverişsiz şəraitdə kristallitlərarası səthlərdə korroziyanın baş verməsinə səbəb olur.

Çox aşağı mənfi temperaturlarda (~5 K-nə qədər) işləmək üçün *kriogen poladlarından* və *ərintilərindən* istifadə olunur. Bu poladlar eyni zamanda həm də austenit, yəni korroziyaya davamlı poladlardır.

Sintetik qeyri-metal materialların, gübrələrin, eləcə də digər kimyəvi məhsulların istehsalında istifadə olunan maşın və aparatların detallarının düzəldilməsində daha yüksək səviyyədə aşqarlanmış poladlardan və bəzi xüsusi tərkibli

metal ərintilərindən istifadə edilir. Belə poladlar və ərintilər *tuşuya davamlı poladlar və ərintilər* adlanır. Onlarda kristallitlərarası korroziya yaradan karbonun miqdarı az olur.

Qeyd etmək lazımdır ki, tuşuların daha yüksək konsentrasiyalarında, eləcə də çox yüksək temperaturlarda işləyən cihaz və qurğuların düzəldilməsində yalnız molibden, niobium, tantal və keramikadan istifadə olunur.

5.2. Alüminium, mis və onların ərintiləri

Alüminium - yüngül (sıxlığı 2700 kq/m^3 olan), yüksək ərime temperaturuna ($650 \text{ }^\circ\text{C}$) malik, elektrik cərəyanını yaxşı keçirən (xüsusi müqaviməti $\rho \approx 2.7 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$ olan), qeyri-maqnit xassəli, səthində sıx və möhkəm qoruyucu Al_2O_3 təbəqəsi yarandığından, quru atmosferdə korroziyaya qarşı davamlı olan tökmə metalıdır. Təmiz yumşaq alüminiumun mexaniki parametrlərinin qiymətləri çox da yüksək deyil. Belə ki, onun qırılmaya qarşı möhkəmlik həddi $\sigma \geq 60 \text{ MPa}$, möhkəmliyi isə $HB \geq 25$ -dir. Lakin bu kəmiyyətlərin qiyməti deformasiya nəticəsində kəskin artır.

Mis - kifayət qədər ağır (sıxlığı 8900 kq/m^3 olan), yüksək elektrik keçiriciliyinə malik olması ilə fərqlənən ($\rho \approx 1.72 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$ xüsusi müqavimətli), həm də yüksək istilik keçiriciliyinə və tovlanmış halda orta möhkəmliyə (qırılmaya qarşı möhkəmlik həddi 200 MPa , deformasiya olunmuş halda isə $400\text{-}500 \text{ MPa}$) malik metalıdır. Mis konstruksiya materialı kimi çox nadir hallarda, daha doğrusu, yalnız onun çox yüksək elektrik və istilik keçiriciliyinə ehtiyac yarandıqda tətbiq edilir. Çox əlverişli mexaniki parametrlərə malik olduğundan, bu metaldan elektron sistemlərində başlıca olaraq cərəyan ötürən detalların hazırlanmasında istifadə olunur.

Mis və onun ərintiləri yumşaq lehimlərlə (məsələn, qalay-qurğuşun əsasında hazırlanmış lehimlərlə) və qeyri-fəal

flyuslar tətbiq etməklə montaj edilən elektron sistemlərində istifadə olunur.

Mis və onun əksər ərintiləri qeyri-maqnit xassəli olduqlarından onların yüksək elektrik keçiriciliyi yüksək tezliklərdə də saxlanılır.

Misin ərintiləri iki əsas qrupa ayrılır - *bürünc* və *latun*. Bunlardan birincisi özünün yüksək mexaniki, ikincisi isə texnoloji xüsusiyyətləri ilə fərqlənir.

Əvvəllər bir material olaraq, yalnız misin qalayla ərintisindən ibarət olan bürüncdən istifadə edilirdi. İndi isə tərkibində ya tamamilə qalay olmayan, ya da qalayla bərabər, digər aşqarlayıcı kimyəvi elementlər də olan mis ərintilərindən – bürünclərdən daha çox istifadə edilir.

Bürüncün özünün isə *tökmə* və *təzyiqlə işlənən bürünc* kimi iki növü var. Tökmə bürüncdən elektron sistemlərində çox nadir hallarda istifadə olunur. İkinci növ bürünc isə bu sahədə daha geniş tətbiq tapmışdır.

Latun – misin sinklə birbaşa, bəzən isə digər aşqarlayıcı elementlər də daxil edilməklə alınmış ərintisidir. Latun tovlanmış halda plastiki, təzyiqlə və kəsilmə ilə yaxşı işlənir, yumşaq lehimlərlə lehimlənmə bilər, ancaq möhkəmlik, elastiklik və sürtülmə (sürtünmə nəticəsində yeyilmə) baxımından bürüncə əhəmiyyətli dərəcədə güzəştə gedir. Bu ərintidən elektron sistemlərində əsasən cərəyanötürən və kontakt elementlərinin hazırlanmasında, *sürüşən kontakt* və *kontakt ləçəklərinin* düzəldilməsində istifadə olunur. Latundan düzəldilmiş detalları korroziyadan qorumaq və onların kontakt xassələrini yüksəltmək üçün bir qayda olaraq onların üzərini nikel, yaxud da gümüş, qızıl, palladium kimi kimyəvi baxımdan təsirsiz metalların nazik təbəqəsi ilə örtürlər.

Sinkdən əlavə, tərkibində başqa aşqarlayıcı elementlər də olan latunlara *xüsusi latunlar* deyilir. Bunların sırasında elektron sistemləri üçün ən qiymətli *qurğuşunlu latundur*.

Belə latunlar çox yaxşı emal olunur.

5.3. Digər metallar və metal ərintiləri

Titan (Ti) - kiçik sıxlığa, lakin yüksək möhkəmliyə və korroziyaya qarşı davamlılığa malik metaldir. O, hidrogenin təsiri ilə kövrəkləşir, aşqarlara qarşı isə çox həssasdır və aşqarlandığında özünün plastiki xassələrini kəskin şəkildə itirir.

Titanın ərimə temperaturu 1725°C , istidən xətti genişlənmə əmsalı $1.13 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, çıxış işi isə 4.09 eV -dur. O, 500°C -də qazları aktiv surətdə uda bilir. Bu metalın xüsusi elektrik müqaviməti $\rho=4.2 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$, elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı isə $5.5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ -dir.

Titan məftildən düzəldilmiş spirallar, eləcə də titan örtüklü anod və torlar (elektrovakuum cihazlarında) yüksək qazudma və istilik şüalandırma xassələrinə malikdir. Titan daha çox aviataxnika avadanlıqlarının düzəldilməsində və raketqayırmada, dəniz gəmiqayırmasında tətbiq olunur.

Nikel (Ni) - ərimə temperaturu 1452°C olan, gümüşü-ağ rəngli metaldir. Elektrovakuum əritmə üsulu ilə təmizlik dərəcəsi 99.99 % olan nikel almaq mümkündür. Nikelin $25\text{-}600^{\circ}\text{C}$ intervalında istidən xətti genişlənmə əmsalı $1.55 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, xüsusi elektrik müqaviməti $\rho=6.83 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$, elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı isə $6.8 \cdot 10^{-1} \text{ K}^{-1}$ -dir.

Manqanlaşdırılmış nikeldən gücləndirici elektrovakuum lampalarının möhkəmlənmiş torları və dolaqlar (travers) hazırlanır.

Vakuumda nikel üçün normal işçi temperatur 800°C -dir.

Dəmir (Fe) - ərimə temperaturu 1535°C olub, tərkibindəki qazlardan çox çətinliklə təmizlənən, kimyəvi baxımdan dayanıqlı olmayan metaldir. Dəmirin istidən xətti genişlənmə əmsalı $1.4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, xüsusi elektrik müqaviməti $\rho=9.6 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$, müqavimətinin temperatur əmsalı isə $5.6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ -dir.

Sirkonium (Zr) - ərimə temperaturu 1845°C , istidən xətti genişlənmə əmsalı $8.4 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$, çıxış işi 3.8 eV , xüsusi elektrik müqaviməti $\rho=4 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$, elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı isə $4.6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ olan metaldır. Bu metal oksigen və azotu 700°C -də, hidrogeni isə 800°C -dən yuxarı temperaturlarda udmağa başlayır.

Niobium (Nb) - ərimə temperaturu 2500°C , xüsusi elektrik müqaviməti $1.6 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$, çıxış işi 3.96 eV , elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı isə $3.95 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ olan metaldır. Niobium yüksək plastikliyə malik olduğundan ondan nazik lent və məftillərin, bir sıra elektrovakuum lampalarında anod və ekranların, eləcə də güclü generator elektrovakuum lampalarında katodların hazırlanmasında istifadə olunur. Bu materialın maksimal işçi temperaturu 2100°C -dir.

Molibden (Mo) - ərimə temperaturu 2622°C , istidən xətti genişlənmə əmsalı $5.4 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, çıxış işi 4.27 eV , xüsusi elektrik müqaviməti $4.8 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$, elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı $4.79 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ olan gümüşü-ağ rəngli metaldır. Bu metalın yüksək temperaturlarda böyük sərtliyə və möhkəmliyə malik olması ondan geniş miqyasda istifadə etməyə imkan verir. Molibdendən işçi temperaturu $1000\text{-}1700^{\circ}\text{C}$ olan generator və gücləndirici elektrovakuum lampalarının anod və torlarının, maqnetron və qazla doldurulmuş elektron cihazlarında oturacaq lövhəsinin və çətin əriyən şüşələrin üzərindəki qalvanik çıxışların hazırlanmasında istifadə edilir. Molibdenin maksimal işçi temperaturu 1700°C -dir.

Tantal (Ta) - öz fiziki və kimyəvi xassələrinə görə niobioma oxşayır. Ərimə temperaturu 3000°C olan bu metalın istidən xətti genişlənmə əmsalı $8.8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, xüsusi elektrik müqaviməti $4.2 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$, elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı $5.5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$, çıxış işi 4.1 eV -dir. Tantal vakuumda çox kiçik buxarlanma intensivliyinə, 1800°C temperaturda isə yüksək qaz uduculuğuna malikdir.

Renium (Re) - ərimə temperaturu 3177°C , istidən xətti genişlənmə əmsalı $0.68 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, xüsusi elektrik müqaviməti $2.1 \cdot 10^{-7} \text{Om}\cdot\text{m}$, elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı $1.73 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$, çıxış işi 4.8 eV olan, həm də yüksək möhkəmliyə və buxarlanma intensivliyinə malik metaldır.

Volfram (W) - ərimə temperaturu 3395°C , istidən xətti genişlənmə əmsalı $0.44 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, xüsusi elektrik müqaviməti $5.5 \cdot 10^{-8} \text{Om}\cdot\text{m}$, elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı $4.8 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$, çıxış işi 4.54 eV , maksimal işçi temperaturu 2500°C olan və çox kiçik buxarlanma intensivliyinə malik metaldır.

Elektron sistemlərində kimyəvi cəhətdən dayanıqlı olan əlvan metallardan da, başlıca olaraq isə qızıl, gümüş, platin və palladiumdan istifadə edilir. Bu metallar təbiətdə külçə şəklində və ya bəzi filizlərin tərkibində tapılır.

Onların yüksək təmizlik dərəcəsini təmin etmək üçün kimyəvi və elektrolitik çökdürmə üsullarından istifadə olunur. Bu üsullarla təmizlik dərəcəsi 99.998% olan qızıl (*Au*), 99.998% olan platin (*Pt*), 99.999% olan gümüş (*Ag*) və 99.94% olan palladium (*Pd*) alınır.

Qızıl (Au) - yüksək plastikliyə malik, dartılma zamanı bərklik hüdudu 150 MPa , qırılmaya uyğun nisbi uzanması 40% , ərimə temperaturu 1063°C , xüsusi elektrik müqaviməti $2.25 \cdot 10^{-4} \text{Om}\cdot\text{m}$, çıxış işi 4.3 eV olan diamaqnit xassəsinə malik sarı rəngli parlaq metaldır. Qızıl ifratkeçiricilik xassəsinə malik deyil.

Nazik qızıl təbəqəsini katod tozlanması, vakuumda termik buxarlanma və kondensasiya üsulları ilə almaq mümkündür. Belə təbəqələr yüksək elektrik keçiriciliyinə malik olmaqla yanaşı, həm də üzərinə düşən işıq şüasını çox az udur. Dielektriklərlə adgeziyası pis olduğundan, qızıl nazik təbəqə şəklində xrom altlığı üzərinə çəkilir. Qızılın alüminiumla təmasında bir sıra intermetal birləşmələr əmələ gəlir. Belə

birləşmələr böyük xüsusi elektrik müqavimətinə malik olmaqla yanaşı, həm də kövrəkdir.

Gümüş (Ag) - ağ rəngli parlaq metal olub, normal şəraitdə oksidləşməyə qarşı davamlıdır. Gümüşün xüsusi elektrik müqaviməti $1.6 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$, ərimə temperaturu isə 660°C -dir.

Gümüş məftilin dartılmada möhkəmlik hüdudu 200 MPa , qırılmaya uyğun nisbi uzanması isə 50% -dir.

Gümüş həmçinin digər əlvan metallara nisbətən kimyəvi təsirlərə daha güclü məruz qalır. Kükürlü mühidə olduqda gümüşün üzərində elektrik cərəyanını keçirməyən qara rəngli Ag_2S örtüyü əmələ gəlir. Bu səbəbdən də tərkibində rezin, ebonit və kükürd olan materiallarla gümüşün təmasda olması qeyri-məqbuldur.

Platin (Pt) - ağ rəngli metal olub, oksigenlə praktiki olaraq birləşmə yaratmır. O, kimyəvi təsirlərə qarşı olduqca davamlıdır. Platin çox asanlıqla texniki aşılır. Buna görə də ondan çox nazik məftil və lent hazırlamaq mümkündür. Gümüşdən fərqli olaraq, platin atmosferdə kükürlə birləşmə yaratmır və bu səbəbdən də ondan qalvanik kontaktların yaradılmasında istifadə edilir. Platin hidrogeni həll etmir və qızdırılmış halda oksigeni özündən buraxır. Platini hidrogen mühitində qızdırdıqda öz xassələrini itirmir, karbonlu mühidə qızdırıldıqda isə - kövrəkləşir.

Çətin əriyən metal ərintiləri onların əsasını təşkil edən uyğun metallardan daha yüksək möhkəmliyə və xüsusi elektrik müqavimətinə malik olması ilə fərqlənir. Bir sıra hallarda bu ərintilər daha yaxşı emal olunur. Məsələn, müəyyən tərkibli molibdenli ərinti kifayət qədər bərk və möhkəm olması ilə təmiz molibdendən kəskin fərqlənir. Molibdenin reniumla (35%) ərintisinin bərkliyi təmiz molibdenlə müqayisədə 3 dəfə çox olub, öz keyfiyyətini 1600°C -ə qədər saxlayır və onu daha asanlıqla ştamplamaq olur. Molibdenin volframla (50 %) ərintisi yüksək ərimə temperaturuna (2900°C) malik olub, daha

böyük mexaniki möhkəmlik və xüsusi elektrik müqaviməti ilə ($1.2 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$) xarakterizə olunur. Molibden-dəmir-nikel ərintisi 1400°C ərimə temperaturuna malik olub, tərkibindəki metallarla müqayisədə daha böyük mexaniki möhkəmliyə malikdir.

Dəmir-nikel-xrom ərintisi 42% Ni, 6% Cr, 52-47% Fe komponentlərindən ibarətdir. Onun ərimə temperaturu 1400°C , istidən xətti genişlənmə əmsalı $9.1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, xüsusi elektrik müqaviməti isə $9 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$ -ə bərabərdir. Bu ərinti maqnetiklər qrupuna mənsub olub, kiçik Kuri ($\theta=260^\circ\text{C}$) temperaturuna malikdir.

Elektron sistemlərində bir sıra hallarda cürbəcür istilik və elastiklik xassələrinə malik metal ərintiləri tələb olunur. Məsələn, istidən xətti genişlənmə əmsalı şüşənin istidən xətti genişlənmə əmsalına bərabər və ya sıfır olan ərintilər; yaxud istidən xətti genişlənmə əmsalı çox böyük olan ərintilər. Belə ərintiləri bəzən şərti olaraq, *xüsusi istilik və elastiklik xassələrinə malik ərintilər* adlandırırlar.

Praktikada dəmiri müxtəlif miqdarda nikellə aşqarlarla müxtəlif istidən xətti genişlənmə əmsalına malik olan ərintilər almaq mümkündür. Tərkibində 36% nikel olan belə ərinti *invar* adlanır (invar sözü “dəyişməz” deməkdir). Onun istidən xətti genişlənmə əmsalı $\sim 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ -dir, yəni bu material praktiki olaraq istidən genişlənmir. İnvarın tərkibindəki nikelin bir hissəsi kobaltla əvəz edildikdə superinvar ərintisi alınır. Bu ərinti invarla müqayisədə daha kiçik istidən xətti genişlənmə əmsalına malikdir.

Tərkibinə 18 % kobalt, 29 % nikel daxil edilməklə dəmir əsasında hazırlanmış və istidən xətti genişlənmə əmsalının qiyməti $(4.5-5.2) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, ərimə temperaturu 1450°C , xüsusi elektrik müqaviməti $5 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$, Kuri temperaturu 450°C olan *kovar* ərintisinin istidən genişlənmə əmsalının qiyməti şüşənin istidən xətti genişlənmə əmsalının qiymətinə çox yaxındır.

Bir sıra hallarda çox dəqiq cihazların hazırlanmasında elastiklik modulu temperaturdan asılı olmayan ərintilər tələb olunur. Belə ərintilər *elinvarlar* adlanırlar (elinvar sözü “*sabit elastiklik*” deməkdir). Elinvarlar tərkibində 36 % nikel və 8 % kobalt olan dəmir ərintiləridir.

Nikel və titanın ərintilərində müşahidə olunan *dönən qeyri-elastiki forma dəyişməsi hadisəsi*, yaxud da *forma yaddaşı* və ya *ifratelastiklik effekti* praktiki istifadə baxımından böyük maraq kəsb edir. Bu ərintilər *Ti-Ni* şəklində işarə olunur və “*Titanat-nikelid*” ərintisi adlandırılır. Titanat nikelid ərintilərinin çeşidi çox olduğundan, onların praktiki tətbiq sahələri də genişdir. Bu ərintilər otaq temperaturunda özünü elastiki bərk cisim kimi aparır, lakin 0°C-ə qədər soyudulduqda plastiki materiala çevrilir və çox kiçik xarici qüvvənin təsiri altında da öz formasını asanlıqla dəyişir. Həmin ərintini yenidən otaq temperaturuna qədər qızdırdıqda o, özünün əvvəlki formasını və elastikliyinə bərpa edir. Plastiklik xassəsi bu ərintidən hazırlanmış müxtəlif formalı (məsələn, vərəq, boru və ya məftil formalı) cisimləri istənilən formaya gətirməyə imkan verir. Onların *superelastiklik* davranışı dağılmasının və israfının qarşısını alır.

Qeyri-kristal metallar və onların ərintiləri *amorf metallardır*. Metal və qeyri-metal maddələrin amorfluğu təcrübi yolla onların rentgen-, neytron- və elektronogrammalarında kristal maddələrə xas olan difraksiya maksimumlarının yoxluğu ilə sübut edilir.

Amorf metallar əsasən aşağıdakı üsullarla alınır:

- 1) Sürətli (10^6 K/san sürəti ilə) soyudulma (Bu üsulla alınan amorf ərintilər *metal şüşə* adlanırlar);
- 2) Soyuq altlıq üzərinə buxarın kondensasiyası və ya tozlandırma yolu ilə nazik amorf metal təbəqəsinin alınması;
- 3) Elektrokimyəvi çökdürmə;
- 4) Kristal metalların ion və neytronların intensiv seli ilə

şualandırılması.

Ən böyük maraq kəsb edən metal şüşə 1960-cı ildə alınmışdır. Əksər metal şüşələr unikal mexaniki, maqnit və kimyəvi xassələrə malikdir. Bir sıra metal şüşələrin axıcılıq və möhkəmlik hədləri çox yüksək olub, nəzəri qiymətlərə yaxındır. Bununla belə, metal şüşələr həm də yüksək plastikliyə malik olmaqla dielektrik və yarımkeçirici şüşələrdən fərqlənir.

Bəzi metal şüşələrin korroziyaya qarşı davamlılığı hətta ən yüksək keyfiyyətli paslanmayan poladdan da yüksəkdir. Metal şüşələrin digər unikal xüsusiyyətləri onların səsi zəif udması və katalitik xassəsidir.

Metal şüşələrin əsas xüsusiyyətləri, ilk növbədə, onların yüksək mikroskopik bircinsliyə malik olması, yəni onlarda dənəciklərarası sərhədlərin, dislokasiyaların və s. bu kimi quruluş defektlərinin olmaması ilə bağlıdır.

Metal şüşələrin xassələrini və onlarda baş verən fiziki hadisələrin dəqiq nəzəriyyəsi çox da inkişaf etdirilməmişdir.

Metal şüşələrin istiyə qarşı dayanıqlığı onların yüksək kristallaşma temperaturuna malik olması ilə bağlıdır. (Kristallaşma temperaturu elə temperaturdur ki, həmin temperaturdakı bir saat ərzində termik işlənmə baxılan nümunənin tam kristallaşmasını təmin edir). Metal şüşələrin kristallaşma temperaturunun qiyməti $300-1000\text{ K}$ arasındadır.

Buxarlandırma üsulu ilə soyuq altlıq üzərinə çökdürməklə alınmış amorf metal şüşələr istiyə qarşı daha az dayanıqlıdır və onlar 300 K -də kristallaşır.

Amorf təbəqələrin korroziyaya qarşı davamlılığı, bir qayda olaraq, kristallardan yüksəkdir.

5.4. Polimer materiallar

Polimerlər - yüksək elastikliyə malik, məmulatın hazırlanması prosesində özlü - axıcı, istismar vaxtı isə şüşəvari

və ya kristal halda olan müxtəlif inqredientlərin kompozisiyasından ibarət materiallardır.

Polimerlərdə atomlararası əlaqənin çox geniş variantları mümkündür.

Metallardan fərqli olaraq, polimerlərin xarici təsirlərə qarşı davamlılığı çox yüksəkdir.

Polimerlər müəyyən şəraitdə şüşələşir. Bu proses birinci növ faza keçidi deyil. O, kristallaşma, ərimə və sublimasiyadan prinsipcə fərqlənir. Bununla belə, polimerlər şüşələşəndə onların istilik tutumu, sıxılma əmsalı (ikinci növ faza keçidi) sıçrayışla dəyişir. Şüşələşmə temperaturundan yüksək temperaturlarda olan polimerə mexaniki təsir göstərildikdə, o, özünün axıcılıq qabiliyyətini itirə bilər və özünü elastiki cisim kimi aparar. Polimerlər yüksək elastiki haldan özlü - axıcı hala keçdikdə öz strukturunu uzun müddət saxlayır. Bu hadisəyə *polimerin struktur yaddaşı effekti* deyilir.

Polimerlərin bir material olaraq başlıca çatışmazlığı onların *kimyəvi və termik destruksiyasıdır*, qırılması və istilik parçalanması dislokasiyasıdır. Bu proses yalnız polimer kütləsinin səthində deyil, həm də həcmində baş verir.

Polimerlərdəki mexaniki gərginliklər, kristallaşma, həlledicinin və ya plastifikatorun uçuculuğu hesabına bu materiallar *fiziki köhnəlir (qocalır)*.

Polimerlər polikristal quruluşlu materiallardır.

Onlardakı kristal oblastlar müxtəlif ölçüyə malikdir və xarici təsir göstərilmədikdə müəyyən bir üstün yönəlmə istiqamətinə malik deyil. Polimer kristallar polimorfizm xassəlidir.

Polimerlərin monokristalları yalnız məhluldan kristallaşdırma yolu ilə, yaxud da onların sintezi prosesində alınır.

Polimerlər onları təşkil edən makromolekulların quruluşlarına görə *xətti, budaqlanmış və torvari* olur. Bu

materiallar öz quruluşuna və xarici şəraitə görə iki faza halında mövcud ola bilər: *amorf və kristal*.

Amorf polimerlər temperaturdan asılı olaraq şüşəvari, yüksək elastiki və ya özlü - axıcı halda olur.

Temperatur aşağı düşdükcə polimer bu halları əks istiqamətdə keçir.

Qızdırılma prosesindəki davranışlarına görə polimerlər şərti olaraq *termoplastik (termoplast)* və *termoreaktiv (reaktoplast)* qruplarına bölünür.

Termoplastik polimerlər (həm xətti, həm də budaqlanmış) şüşələşmə temperaturundan yuxarı temperaturlarda yumşalır və yüksək plastiklik xassəsi qazanır; soyudulduqda isə - yenidən bərkilərək, elastiklik qazanır. Bu polimerlər həm də müvafiq həlledicilərdə həll ola bilər.

Termoreaktiv polimerlər qızdırıldıqda ya heç yumşalmır, ya da çox az yumşalır, ancaq axıcılıq halına keçmir. Bu növ polimerlər həlledicilərə qarşı davamlıdır və ən pis halda həlledicinin təsiri altında azacıq köpür (şişir).

Termoplastlar öz xassələrinə görə adi rezinlərə çox yaxındır, lakin rezinlərdən fərqli olaraq, plastmaslar üçün mövcud olan yüksək məhsuldarlıqlı üsullarla emal oluna bilərlər.

Plastik kütlələr xammal halında məmulat hazırlamaq üçün yarayan toz, dənəcik, vərəq və təbəqə şəklində olur. Plastik kütlələrdən ən vacibləri *fenoplastlar, poliamidlər, poliolefinlər, akril-dakrillərdir*.

Plastmasların başlıca üstünlükləri onların kiçik sıxlığa, korroziyaya qarşı yüksək davamlılığa, böyük xüsusi özlülüyə və möhkəmliyə, yüksək elektroizolyasiya qabiliyyətinə malik olmasıdır.

5.5. Kompozitlər

Kompozitlər süni yolla yaradılmış, biri *matrisa*, digəri *armatur (möhkəmlədici)* olmaqla, iki və daha çox komponentdən ibarət, *quruluşca heterofazalı, makromiqyasca bircins*, təşkil olunduğu komponentlərin hər *birinin* fərdiliyinin saxlanması ilə bağlı olan additiv fiziki-kimyəvi xassələrin kompleksinə malik massiv materialdır.

Kompozitlərin komponentləri xüsusi xammallar, daha doğrusu, *tozlar, dənəciklər, folqalar, liflər, torlar, parçalar* olur. Matrisa olaraq, adətən bunların ilk üçündən, yəni tozlardan, dənəciklərdən və folqalardan istifadə edilir. Digərləri isə armatur fazası vəzifəsini daşıyır. Müxtəlif kompozit materiallar biri-birindən armaturlanma tipinə və armaturlayıcı fazanın istiqamətinə görə fərqlənir. Ümumi halda kompozitlər anizotropluğa da malik ola bilər.

Kompozit materiallar öz quruluş əlamətlərinə və matrisalarının görünüşünə görə aşağıdakı əsas siniflərə ayrılır:

- matrisalı metal kompozit materiallar*;
- polimerlər əsasında kompozitlər*;
- evtektik kompozit ərintilər*;
- psevdoərintilər və bərk ərintilər*;
- karbonlaşdırılma və pirolitik proseslər əsasında alınmış kompozitlər*.

VI FƏSİL

KEÇİRİCİ MATERIALLAR

6.1. Keçirici materialların ümumi xassələri

Fizika baxımından keçirici materialların digərlərindən (dielektriklərdən və yarımkeçiricilərdən) əsas fərqi onlarda sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının çox böyük və bununla əlaqədar yüksək elektrik keçiriciliyinə malik olmasıdır. Keçirici materialların cinsindən asılı olaraq onlarda sərbəst yükdaşıyıcılar sərbəst elektronlar və ya sərbəst ionlar ola bilər. Məhz bu yanaşmadan şərti olaraq keçirici materiallar iki qrupa bölünür: sərbəst yükdaşıyıcıları elektronlar olduğu birinci növ naqillər (bu naqillər başlıca olaraq bərk cisim keçiricilərdir) və keçiriciliyi əsasən sərbəst ionlar hesabına yaranan ikinci növ naqillər (bu materiallar əsasən məhlullar və ionlaşmış qaz mühtiləridir).

Elektron sistemləri elementləri və qurğularında, başlıca olaraq, birinci növ, yəni elektron keçiriciliyinə malik olan, metallardan və onların ərintilərindən, eləcə də karbon və onun kompozitlərindən istifadə edilir. İkinci növ, yəni ion keçiricilikli materiallardan isə yalnız bəzi qalvanik elementlərdə, akkumulyatorlarda, elektrolitik kondensatorlarda və elektrokimyəvi texnoloji proseslərdə istifadə olunur.

Keçirici materiallar *yüksək elektrik keçiriciliyinə* və *yüksək xüsusi elektrik müqavimətinə* malik keçiricilər olmaqla da iki qrupa ayrılır.

Birinci qrup, yəni yüksək elektrik keçiricilikli keçiricilərdən elektron sistemləri elementlərini bir-biri ilə birləşdirmək (əlaqələndirmək) üçün, ikinci qrup keçiricilərdən isə elektrik dövrələrindəki rezistiv elementləri hazırlamaq üçün istifadə olunur.

Keçirici materialların əsas xassəsi olan elektrik keçiriciliyi texniki məsələlərdə kəmiyyətcə *xüsusi elektrik keçiriciliyi* (σ) və ya *xüsusi elektrik müqaviməti* (ρ) adlanan parametrlərlə xarakterizə olunur. Xüsusi elektrik müqaviməti $Om \cdot m$, xüsusi elektrik keçiriciliyi isə - $Om^{-1} \cdot m^{-1}$ vahidləri ilə ölçülür. Bəzi hallarda $Om^{-1} \cdot m^{-1}$ əvəzinə $Cm \cdot m^{-1}$ (Cm - “Simens”) və $\frac{Om \cdot mm^2}{m}$ ölçü vahidlərindən də istifadə olunur.

Bütün uzunluğu boyunca sabit S – en kəsiyinə malik olan l - uzunluqlu keçirici cismin (naqilin) ucları arasındakı müqaviməti R - olarsa, həmin naqilin hazırlandığı keçirici materialın xüsusi elektrik müqaviməti:

$$\rho = R \frac{S}{l}, \quad (6.1)$$

xüsusi elektrik keçiriciliyi isə

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{l}{R \cdot S} \quad (6.2)$$

düsturu ilə təyin olunur.

Klassik elektron nəzəriyyəsinə görə metalların xüsusi elektrik keçiriciliyi

$$\sigma = \frac{e^2 n l_0}{2 m v_T} \quad (6.3)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. *Buradakı* e – elektronun elektrik yükü, n - materialın vahid həcmindəki sərbəst elektronların sayı (materialda sərbəst elektronların konsentrasiyası), l_0 – elektronun sərbəst qaçış yolunun uzunluğu, m – elektronun kütləsi, v_T - isə onun istilik hərəkətinin orta sürətidir.

Normal şəraitdə ən kiçik xüsusi elektrik müqavimətinə (ən böyük keçiriciliyə) malik olan keçirici material gümüşdür. Onun xüsusi elektrik müqaviməti $\rho = 1.6 \cdot 10^{-8} Om \cdot m$ -dir. Ən böyük xüsusi elektrik müqavimətinə ($\rho = 10^{-5} Om \cdot m$) malik keçirici isə *FeCrCoAl* ərintisidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, keçiricinin xüsusi elektrik müqavimətinin qiyməti onun tərkib və kristal quruluşundan,

eləcə də bir sıra xarici amillərdən (temperaturdan, təzyiqdən, maqnit sahəsindən və s.) asılıdır.

Keçiricinin elektrik keçiriciliyinə ən güclü təsir edən xarici amil temperaturdur. Metal və metal ərintilərinin xüsusi elektrik müqaviməti temperaturun yüksəlməsi ilə qeyri-xətti qanunla artır. Lakin elektron sistemləri üçün xarakterik olan müəyyən bir dar temperatur diapazonunda bu asılılığı

$$\rho(t) = \rho_0(1 + \alpha_t t) \quad (6.4)$$

xətti qanunu ilə təsvir etmək olar. Buradakı ρ_0 – kəmiyyəti naqilin 0°C -dəki xüsusi elektrik müqaviməti, α_t – müqavimətin temperatur əmsalındır (MTƏ). Onun ölçü vahidi K^{-1} və ya $^\circ\text{C}^{-1}$ -dir. Müxtəlif keçiricilər üçün MTƏ-nin qiyməti fərqlidir. Bununla belə, təmiz metalların böyük əksəriyyəti üçün $\alpha_t \sim 4 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ -dir. Ərintilərdə α_t -nin qiyməti $1 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$ -lə $1.8 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$ arasında dəyişir.

Texniki metallarda xüsusi müqavimətin qiyməti üçün təyinedici amillərdən biri metalın təmizlik dərəcəsi, daha doğrusu, onun tərkibindəki aşqarlardır. Müxtəlif kimyəvi təbiətli aşqarların təsiri də müxtəlif olur.

Mexaniki qarışıq olan ərintilərdə isə elektrik keçiriciliyi həmin qarışığı təşkil edən ayrı-ayrı komponentlərin qarışıqdakı miqdarından xətti asılıdır.

6.2. Yüksək keçirici materiallar

Mis – elektron sistemləri üçün əsas keçirici materialdır. Onun başlıca üstünlükləri aşağıdakılardır:

- 1) kiçik xüsusi elektrik müqaviməti (yalnız gümüşünkündən böyükdür);
- 2) kifayət qədər böyük mexaniki möhkəmliyi;
- 3) korroziyaya qarşı qanəedici dayanıqlığı;
- 4) yaxşı emal oluna bilməyi (asanlıqla vərəq, lent, məftil, boru və s. şəklinə salına bilir);

5) nisbətən asan lehimplənə bilməyi.

Quru havada müsbət 200°C -ə kimi mis demək olar ki, oksidləşmir. Rütubətli havada, xüsusi ilə də dəniz duzları, kükürd, onun birləşmələri və başqa aşqarlar olan mühitdə misin asta korroziyası müşahidə olunur. Misdən hazırlanmış təmiz səthə malik detallar yumşaq və bərk lehimplərlə aktiv flyuslar tətbiq edilmədən də yaxşı lehimplənə bilir. İstilik keçirməsi yüksək olduğundan misin qaynaq edilməsi çətindir.

Alüminium misdən sonra elektron sistemlərində öz əhəmiyyətinə görə ikinci yeri tutan bir keçirici materialdır. Onun əsas parametrləri aşağıdakı kimidir:

- xüsusi elektrik müqaviməti $2.7 \cdot 10^{-8} \text{ Om}\cdot\text{m}$;
- xüsusi elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı $4.1 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$;
- istilikkeçirmə əmsalı $209 \text{ Vt/m}\cdot\text{K}$.

Alüminiumu yalnız xüsusi lehimplər vasitəsi ilə və yalnız yüksək aktivliyə malik flyuslardan istifadə etməklə lehimpləmək olur. Bu keçirici material arqon qövs və elektrokontakt qaynaqları vasitəsi ilə qaynaq edilir.

Polad – keçirici material olsa da, o, adətən elektron sistemlərində yalnız dayaq, gövdə, qoruyucu örtük və s. vəzifəsində işlədilir. Poladın eyni bir şəraitdə xüsusi elektrik keçiriciliyi misin xüsusi elektrik keçiriciliyindən 6-7 dəfə kiçikdir.

Yüksək tezlikli dəyişən cərəyanlarda polad naqillərdə *səth* və *histerezis effektləri* yarandığından onlarda cərəyanın güc itkisi baş verir. Buna görə də poladdan yalnız bir keçirici naqıl kimi o hallarda istifadə olunur ki, burada naqilin xüsusi elektrik müqaviməti yox, mexaniki möhkəmliyi əsas rol oynamış olsun.

6.3. Xüsusi xassələrə malik keçirici materiallar

Çətin əriyən keçirici metallar. Bu qrupa o metallar daxildir

ki, onların ərimə temperaturu 1700°C -dən yüksəkdir. Ən başlıca çətin əriyən metallar Kimyəvi Elementlərin Dövri Sisteminin orta hissəsində yerləşən metallardır: *volfram (W)*, *xrom (Cr)*, *molibden (Mo)*. Bu metallarda metallik rabitə ilə yanaşı, həm də kovalent rabitə mövcuddur. Bundan başqa, ərimə temperaturu $1700-3500^{\circ}\text{C}$ arasında yerləşən, yəni çətin əriyən metallar sırasına *tantal (Ta)*, *niobium (Nb)*, *vanadium (V)*, *titan (Ti)*, *renium (Re)* da daxildir.

Ən çətin əriyən metal *volframdır*. Volfram həm də yüksək mexaniki möhkəmliyə malikdir. Bu metaldan adi közərmə lampalarında, elektron lampalarında, rentgen borularında, yüksək vakuum sistemlərində geniş istifadə olunur. Molibdendən başlıca olaraq yüksək temperaturlarda işləyən elementlər hazırlanır.

Xrom şüşə və keramika ilə yaxşı adgeziyaya (yapışma xassəsinə) malik olduğundan, ondan inteqral sxemlərdə adgeziya alt təbəqəsi kimi istifadə edilir. Bu metal nominal müqaviməti $100-500\text{ Om}$ olan nazik təbəqəli rezistorların hazırlanmasında da tətbiq olunur.

Təsirsiz keçirici metallar. Təsirsiz keçirici metallar öz kimyəvi dayanıqlıqları hesabına ətraf mühitlə praktiki olaraq qarşılıqlı təsirə girmir. Bu metallar sırasına *qızıl (Au)*, *gümüş (Ag)*, *platin (Pt)*, *palladium (Pd)* daxildir.

Qızıl korroziyaya davamlı örtüklər üçün kontakt materialıdır. Qızıl həm də kükürd və oksid təbəqələrinin yaranmasına qarşı davamlığa malikdir.

Gümüş yüksək elektrik keçiriciliyi ilə yanaşı, həm də elektron sxemlərində birləşdirici mis xətlərinin qoruyucu təbəqəsi, səth örtükləri, kontaktlar, elektrodlar olaraq, eləcə də kondensatorların hazırlanmasında istifadə olunur. Gümüşün başlıca çatışmazlığı onun dielektrik altlıqlara miqrasiya etməyə meyilli olması, kimyəvi davamlılığının zəifliyi, 20°C -dən yüksək temperaturlarda oksidləşməsidir.

Platindən termocütlərin düzəldilməsində istifadə edilir.

Palladium isə bəzi hallarda platini əvəz edir və ondan təqribən 4-5 dəfə ucuzdur.

6.4. İfratkeçiricilər

İfratkeçiricilik keçiricinin elektrik müqavimətinin sıçrayışla sıfıra ("0"-a) qədər düşməsinə deyilir. İlk dəfə bu hadisə 1911-ci ildə Kamerlinq-Onnes tərəfindən müşahidə olunmuşdur. Bu zaman aşkar edilmişdir ki, cıvə maye helium temperaturuna qədər (4.4 K) soyudulduqda öz elektrik müqavimətini sıçrayışla tamamilə itirir (onun xüsusi elektrik müqaviməti $\sim 10^{-25}$ Om·m olur). Sonralar aparılan tədqiqatlar nəticəsində göstərilmişdir ki, bu xassə təkcə cıvəyə deyil, qalaya, qurğuşuna və başqa bəzi metallara da xasdır.

İndiyə qədər ifratkeçiricilik xassəsi 35 metalda, eləcə də mindən artıq ərinti və kimyəvi birləşmələrdə müşahidə olunub.

Təmiz monokristallarda ifratkeçiricilik halına keçid çox kəskin, yəni dərəcənin mində bir hissəsi qədər olan temperatur intervalında baş verir.

İfratkeçiricilik halına keçid maddənin kristal qəfəsinin quruluşundan asılıdır. Məsələn, eyni maddə olan qalayın bir modifikasiyası (ağ qalay) ifratkeçiricilik xassəsinə malikdir, digər modifikasiyası (boz qalay) isə – yox.

Təmiz maddələrdən alüminiumda, indiumda, qalliumda ifratkeçiricilik müşahidə olunur.

Hər bir maddənin ifratkeçirici hala keçdiyi temperatur həmin maddə üçün *ifratkeçiriciliyin böhran (kritik) temperaturu* adlanır.

Maddələrdə yaranmış ifratkeçiricilik halı müəyyən böhran (kritik) qiymətdən böyük induksiya malik olan xarici maqnit sahəsinin təsiri altında yox olur (aradan qalxır). Xarici maqnit sahəsinin *böhran (kritik) maqnit sahəsi* adlanan bu qiyməti

ifratkeçiricinin materialından və temperaturdan asılıdır. Təcrübi yolla müəyyənləşdirilmişdir ki, maqnit sahəsinin böhran qiyməti (H_{kr}) kifayət qədər dəqiqliklə aşağıdakı düsturla ifadə edilə bilər:

$$H_{kr} = H_0 \left[1 - \left(\frac{T}{T_k} \right)^2 \right]. \quad (6.5)$$

Burada T – materialın ifratkeçiricilik halına keçmə temperaturu, H_0 - mütləq sıfır temperaturundakı kritik maqnit sahəsinin qiyməti, T_k isə maqnit sahəsi olmadıqda ifratkeçiricilik halına keçid temperaturudur.

İfratkeçiricidən axan cərəyanın sıxlığının elə bir qiyməti var ki, onun həmin bu qiymətdən böyük qiymətlərində ifratkeçiricilik aradan qalxır. Cərəyan sıxlığının bu qiyməti *böhran cərəyan sıxlığı* (j_{kr}) adlanır.

İfratkeçiricilik hadisəsi üçün xas olan maraqlı bir xüsusiyyət də, xarici maqnit sahəsinin ifratkeçirici cismin və ya naqilin həcmindən sıxışdırılıb çıxarılmasıdır. İlk dəfə bu hadisə 1933-cü ildə müşahidə olunmuşdur. Bu hadisə *Meysner effekti* adlanır. Hadisənin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, ifratkeçiricinin səthinə yaxın olan nazik təbəqəni tutan səth cərəyanı ifratkeçiricinin daxilindəki xarici maqnit sahəsini yox edir (məhv edir). Bu səbəbdən də ifratkeçirici formal olaraq özünü ideal diamagnet kimi aparır.

İfratkeçirici maddələr *birinci, ikinci və üçüncü növ ifratkeçirici maddələr* olmaqla üç qrupa bölünür.

Birinci növ ifratkeçiricilər tam Meysner effektinin müşahidə edildiyi (maddə daxilindəki maqnit sahəsinin 10^5 A/m-dən kiçik olduğu) təmiz maddələrdir.

İkinci növ ifratkeçiricilər - Meysner effektinin qismən müşahidə edildiyi (maddə daxilində xarici maqnit sahəsinin 10^7 - 10^8 A/m-dən böyük olduğu) maddələrdir. Bu ifratkeçiricilərdə maqnit sahəsi ayrı-ayrı saplar şəklində paylanır və onlarda da birinci növ ifratkeçiricilərdə olduğu kimi, elektrik müqaviməti sıfıra bərabərdir. Bu növ ifratkeçiricilərə başlıca olaraq ərintilər

aiddir. Təmiz metallardan yalnız niobium, vanadium və texnesium ikinci növ ifratkeçiricidir.

Üçüncü növ ifratkeçiricilər burulğanların yapışmasına (yerləşməsinə) xidmət göstərən quruluş defektlərinə malik olan ərinti və kimyəvi birləşmələrdir. Burulğan – ifratkeçiricinin elə hissələridir ki, oraya xarici maqnit sahəsi nüfuz edə (girə) bilir. İfratkeçiricilər yüksək maqnit sahəsi (ifratkeçirici maqnitlər) və yüksək faydalı iş əmsalına malik (~99.5%-ə qədər) generatorları və cərəyan ötürən xətləri yaratmaqda, eləcə də digər texniki sahələrdə tətbiq oluna bilər.

İfratkeçiricilik halında materialların xüsusi müqaviməti təqribən 10^{-25} Om·m tərtibində olur ki, bu da misin otaq temperaturundakı xüsusi müqavimətdən 10^{17} dəfə kiçikdir.

İfratkeçiricilik hadisəsini yalnız kvant fizikası anlayışları əsasında başa düşmək olar.

Alınmış təcrübi nəticələri izah edən ifratkeçiriciliyin mikroskopik nəzəriyyəsi 1957-ci ildə Amerika alimləri Bardin, Kuper və Şriffer tərəfindən yaradılmışdır. Bu nəzəriyyə çox vaxt qısaltılmış şəkildə BKŞ nəzəriyyəsi adlandırılır.

Təmiz ifratkeçirici metallar *birinci növ ifratkeçiricilər* adlanır. Bu metalların əksəriyyətinin böhran temperaturu $4.2 K$ ətrafında olduğundan, onlar ifratkeçirici materiallar kimi elektrotexnikada istifadə olunmur. Bu metallardan əlavə, daha 13 kimyəvi element yüksək təzyiqlə altında ifratkeçirici xüsusiyyətinə malik olur ki, bunlara *silisium, germanium, selen, tellur, sürmə* kimi yarımkəçiricilər də aiddir.

Qeyd etmək lazımdır ki, normal şəraitdə yüksək keçiriciliyə malik metallar (*qızıl, mis, gümüş*) ifratkeçiricilik xassəsinə malik deyil. Həmin materialların xüsusi müqavimətinin kiçik olmasına səbəb sərbəst elektronların qəfəslə qarşılıqlı təsirinin zəif olmasıdır. Belə zəif qarşılıqlı təsir mütləq sıfır temperaturunda elektronlar arasındakı cazibənin Kulon qarşılıqlı itələmə qüvvəsindən kiçik olduğunu göstərir. Bu da onların ifratkeçiri-

cilk halına keçməsinə mane olur.

İfratkeçirici intermetallar və ərintilər *ikinci növ ifratkeçiricilərdir*. Bu materiallar üçün $T_{kr} \geq 20 K$ -dir. Onları ifratkeçirici hala keçirmək üçün maye heliumdan deyil, daha ucuz başa gələn maye hidrogəndən istifadə etmək olar. Qeyd etmək lazımdır ki, ifratkeçiriciləri birinci və ikinci növ kimi qruplara ayırmaq heç də mütləq deyil. Çünki hər bir birinci növ ifratkeçirici materialın qəfəsində kifayət qədər defektlər yaratmaqla, onu ikinci növ ifratkeçirici materiala çevirmək olar. Məsələn, təmiz qalayı ($T_{ik}=3.7K$) qeyri-bircins mexaniki deformasiyaya uğratmaqla onun böhran temperaturunu $9 K$ -ə qədər, maqnit sahəsinin böhran gərginliyini isə təqribən 70 dəfə yüksəltmək olar.

6.5. Kriokeçiricilər

İfratkeçiriciliyin əksər hallarda çox aşağı temperaturlarda təmin olunması ilə əlaqədar olaraq, müasir elektronika və elektrotexnikada daha çox *kriokeçiricilik* hadisəsindən istifadə olunur.

Kriokeçiricilik metalların *kriogen temperaturlarda* (müəyyən mühitlər vasitəsi ilə yaradılmış aşağı temperaturlarda) ifratkeçiricilik halına keçmədən də, çox kiçik müqavimətə malik olmasıdır. Belə xassəyə malik olan metallar, *kriokeçiricilər* adlanır. Qeyd etmək lazımdır ki, kriokeçiriciliyin fiziki mexanizmi ifratkeçiriciliyin fiziki mexanizmindən fərqlidir.

Kriokeçiricilik metalların aşağı temperaturlarında normal elektrik keçiriciliyinin xüsusi bir halıdır. Kriokeçiricilik elektron sistemləri və qurğularının hazırlanmasında və onların iş prosesində nəzərəcarpacaq əhəmiyyətə malikdir. Bununla belə, nəzərə almaq lazımdır ki, bütün hallarda yüksək keyfiyyətli kriokeçiricilər yaratmaq üçün metalın müstəsna dərəcədə yüksək təmizliyə malik olması (onun tərkibində aşqarların

olmaması) ən vacib şərtidir.

6.6. Yüksək müqavimətli keçirici materiallar

Elektron sistemləri və qurğularında xüsusi dəqiqlik tələb edən *presizion rezistorların*, *dəyişən rezistorların*, *yük və qızdırıcı elementlərin* hazırlanmasında yüksək elektrik müqavimətinə malik olan keçirici materiallardan - ərintilərdən istifadə olunur. Belə ərintilərə misal olaraq, digər metallarla aşqarlanmış *mis-nikel*, *manqanın* və *konstantan* ərintilərini (nixromu) göstərmək olar.

Presizion rezistorların hazırlandığı materiallar yüksək stabilliyə malik olduğundan mislə müqayisədə daha kiçik müqavimətin temperatur əmsalı və termoelektrik hərəkət qüvvəsi nümayiş etdirməlidir.

Dəyişən rezistorlar üçün olan keçirici materiallar isə həm də sürtünmə nəticəsində yeyilməyə qarşı yüksək dayanıqlığa və yaxşı kontakt xüsusiyyətinə malik olmalıdır. Bu tələbləri ödəyən keçirici materiallardan biri məhz *mis-nikel* ərintisidir.

Yük və qızdırıcı elementləri hazırlamaq üçün lazım olan keçirici materiallar isə, ilk növbədə, istiyə davamlı, yəni yüksək temperaturalarda oksidləşməyən materiallar olmalıdır. Onlardan adətən yüksək dəqiqlik və stabillik tələb olunmur, lakin onların xüsusi müqavimətinin böyük olması arzuolunandır.

Təsirsiz metallar (gümüş, qızıl, platin, palladium) əsasında yüksək müqavimətli materiallar böyük dəyərə (maya dəyərinə) malik olduqları üçün, onlardan yalnız çox xüsusi əhəmiyyət daşıyan hallarda, yüksək temperatur və rütubətli aqressiv mühitlərdə işləyən yüksək dəqiqliyə malik müqavimətlərin hazırlanmasında, eləcə də bioloji obyektlərdə olan kontaktlarda istifadə edilir. Bu materiallar $0.1-1.2 \text{ Om}\cdot\text{m}$ xüsusi elektrik müqavimətinə, 10^{-6} K^{-1} -dən kiçik olmayan

müqavimətin temperatur əmsalına malik olur. Onların bir-birləri və mislə əmələ gətirdikləri termocütlərdəki (mis-konstantan, xromel-alyumel) termoelektrik hərəkət qüvvəsi $\sim 0.5 \text{ mV/K}$ təşkil edir. Bu materiallar sürtünmə nəticəsində yeyilməyə qarşı yüksək dayanıqlığa və yaxşı qalvanik kontakt xassələrinə malik olurlar.

6.7. Elektrik kontaktları və kontakt materialları

Elektrik kontaktı - bir cərəyan daşıyan detallarla digərinə keçid yaradır. Elektron sistemləri və qurğularının təşkil olunduğu sxemlər çoxlu sayda belə kontaktlara malik olur.

Bəzi kontaktlar bir dəfə, daha doğrusu, cihaz yaradılarkən qapanır və sonra daha heç vaxt açılmır. Belə kontaktlar *montaj kontaktları* və ya *hərəkətsiz kontaktlar* adlanır. Digər bir qrup kontaktlar nisbətən az-az hallarda (təsadüfi hallarda) qapanır və açılır. Belə kontaktlar *açarlar*, *çeviricilər* və ya *sıxaclar* adlanır. Başqa bir qrup kontaktlar isə bir saniyə ərzində yüz dəfəyə qədər açılıb-qapanır. Elə kontaktlar da var ki, onlar birbaşa cərəyan altında, digərləri isə cərəyansız rejimdə açılıb-bağlanır.

İki cür kontaktlar bir-birindən fərqləndirilir – *bütöv metal-lik* və *həqiqi (əsil) kontaktlar*. Bütöv metallik kontaktlar cərəyan daşıyan detalları bir-birinə lehimləmək və ya qaynaq etmək yolu ilə alınır. Bu zaman bir-biri ilə kontakta gətirilən detallar arasındakı fiziki sərhəd aradan qalxır (olmur). Həqiqi (və ya əsl) kontaktlar isə kontakta gətirilən detalların bir-birinə yaxınlaşdırılması və qarşılıqlı sıxılması nəticəsində yaranır. Bu kontaktların normal funksiya göstərdiyi şəraitdə kontakta gətirilən detallar (cisimlər) arasındakı fiziki sərhəd saxlanılır.

İş (istismar) şəraitindən asılı olaraq, həqiqi kontaktların üç növü var: *sıxaclı, ayrılan və sürüşən kontaktlar*.

Real kontaktlarda əksər hallarda müxtəlif tip kontaktların vəhdəti müşahidə olunur.

6.8. Lehim materialları

Lehim materialı (yaxud da sadəcə olaraq *lehim*) keçirici naqilləri bir-biri ilə *lehimləmə* məqsədi ilə işlədilən ərintilərə deyilir. Lehimləmə isə adətən ya mexaniki möhkəm (bəzən hermetik) tikişləri, ya da kiçik keçid müqavimətinə malik olan daimi elektrik kontaktı yaratmaq üçün istifadə edilir.

Lehimləmə zamanı lehim yeri və lehim materialı (lehim) qızdırılır. Lehimin ərimə temperaturu birləşdiriləcək metalların ərimə temperaturundan xeyli aşağı olduğundan, bu zaman lehim əriyir, lehimlənəcək metallar isə bərk halda qalır. Ərimiş lehimlə bərk metalın toxunma (təmas) sərhədində mürəkkəb fiziki-kimyəvi proseslər gedir. Lehim əriyib, metalların səthi boyunca axır, onların arasındakı boşluğu doldurur. Lehim əsas metala diffuziya edir, əsas metal isə lehimdə həll olur. Nəticədə, aralıq qat əmələ gəlir və bərkidikdən sonra həmin qat detalları vahid bir cisim kimi birləşdirir.

Lehimlərin iki qrupu – *yumşaq və sərt lehimlər* mövcuddur. Yumşaq lehimlərin ərimə temperaturu 300°C -ə qədərdir, sərt lehimlərin ərimə temperaturu isə 300°C -dən yüksəkdir.

Yumşaq və sərt lehimlər mexaniki xassələrinə görə də bir-birindən fərqlənir. Yumşaq lehimlərin dartılmaya qarşı möhkəmliyi $16-100\text{ MPa}$, sərt lehimlərinki isə $100-500\text{ MPa}$ -dır.

6.9. Qeyri-metal keçirici materiallar

Metal və metal ərintiləri ilə yanaşı, bir sıra hallarda rezistor, kontakt və cərəyan keçirən elementlərin düzəldilməsində müxtəlif növ *qeyri-metal keçirici materiallardan* – kompozitlərdən və karbonun modifikasiyalarından da istifadə olunur.

Bərk qeyri-metal keçiricilərdən elektron sistemlərində

daha geniş istifadə olunan təmiz karbonun allotrop formalarından biri olan *qrafitdir*.

Praktiki məqsədlər üçün *təbii qrafit, antrasit və pirolitik karbondan istifadə* olunur.

Kiçik xüsusi elektrik müqavimətinə malik olması ilə yanaşı, qrafitin daha bir qiymətli xüsusiyyəti də onun yüksək istilik keçiriciliyinə, çoxlu kimyəvi təcavüzkar materiallara qarşı yüksək dərəcədə dayanıqlığa, yüksək qızdırılma davamlılığına, asan mexaniki emal olunma keyfiyyətlərinə malik olmasıdır.

Qrafitdən yarımkeçirici materialların texnologiyasında müxtəlif növ qızdırıcıların, ekranların, qutuların, qabların və s. hazırlanmasında istifadə olunur.

Vakuumda və qoruyucu qaz mühitlərində qrafitdən hazırlanmış məmulatlar 2500°C -ə qədər temperaturalarda istifadə oluna bilər.

Pirolitik karbon təbəqəsindən xətti rezistorların hazırlanmasında istifadə olunur.

Müxtəlif karbonlu məhsulların emalı zamanı karbonlu xammalı toz halına saldıqdan sonra onu əlaqələndirici maddələrlə qarışdırır və xüsusi formalarda (qəliblərdə) bişirirlər. Bundan sonra o, kifayət qədər yüksək möhkəmliyə malik olur və asanlıqla mexaniki emal edilir.

Kompozit materiallar isə dielektrik əlaqəli keçirici qatqılardan ibarətdir. Tərkibini və komponentlərinin paylanma xarakterini dəyişməklə həmin materialların elektrik xassələrini kifayət qədər geniş diapazonda məqsədyönlü şəkildə dəyişmək mümkündür.

Kompozit materialların hamısının ümumi olan bir mühüm xassəsi, onların elektrik keçiriciliyinin tətbiq olunan elektrik gərginliyinin tezliyindən asılı olması və uzun müddət xarici elektrik gərginliyi altında saxlanıldıqda köhnəlməsidir (qocalmasıdır). Bir sıra hallarda kompozitlərin elektrik

xassələrinin qeyri-xəttiliyi nəzərəcarpacaq dərəcədə təzahür edir.

Kompozitlərin hazırlanmasında bir qayda olaraq keçirici faza kimi metallardan, qrafitdən, hisdən, bəzi oksidlərdən və qeyri-üzvi dielektriklərdən istifadə edilir.

Qeyri-metal keçiricilərin bir qrupu da *kontaktollar və kermətlərdir*.

Qeyri-metal keçirici materiallar sırasında daha çox diqqəti cəlb edən *kontaktollar* özlərini ya kombinə olunmuş kiçik özlülüklü, ya da məcunabənzər polimer kompozit kimi təcəssüm etdirir. Onlar əsasən cərəyan keçirən yapışqan, boya, örtük və emal vəzifəsini yerinə yetirir.

Kermətlər isə qeyri-üzvi əlaqələndiricili metal-dielektrik kompozitlərdir.

Metalların təmiz oksidlərinin böyük əksəriyyəti normal şəraitdə yaxşı dielektriklərdir. Bununla belə, tam oksidləşmədikdə (stexiometriya pozulduqda), eləcə də tərkiblərinə bəzi aşıqlar daxil edildikdə onların keçiriciliyi kəskin artır.

Həmin materiallardan kontaktlar və rezistiv laylar kimi istifadə edilir. Bu baxımdan qalay-iki oksid (Sn_2O) daha böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edir. Bu materialdan əksər hallarda şəffaf keçirici örtüklərin yaradılmasında istifadə olunur. İndium-oksidi (In_2O_3) təbəqələri də yüksək elektrik keçiriciliyinə və spektrin görünən oblastında yüksək şəffaflığa malik olan materialdır.

VII FƏSİL

YARIMKEÇİRİCİ MATERİALLAR

7.1. Yarımkəçiricilərin təsnifatı və əsas parametrləri

Yarımkəçirici maddələr öz adını elektrik keçiriciliyinin qiyməti elektrik cərəyanını çox yaxşı keçirən metallarla (keçiricilərlə) praktiki olaraq elektrik cərəyanını keçirməyən dielektriklər (izolyatorlar) arasında yerləşməsi ilə bağlı olaraq almışdır. Bununla belə, həmin ad yarımkəçiricilərin çox qısa zaman ərzində olduqca geniş miqyasda tətbiq tapmış xassələrinin heç də hamısını əks etdirmir. Yarımkəçiricilərin ən başlıca və xarakterik xüsusiyyəti onların temperatura, işığa, elektrik və maqnit sahələrinə, radiasiyanın təsirinə, təzyiqa, deformasiyaya və s. qarşı yüksək dərəcədə həssas olmasıdır. Bu maddələrin xüsusi elektrik keçiriciliyi onların kimyəvi tərkibi, kristal quruluşu ilə yanaşı, onlara nüfuz etmiş aşqarların və defektlərin növündən, miqdarından da güclü şəkildə asılıdır. İndi sənayenin, texnikanın, elmin, məişətin və s. elə bir sahəsi yoxdur ki, orada yarımkəçiricilər tətbiq olunmasın.

Bununla yanaşı, yarımkəçiricilərin xassələrinin öyrənilməsi bərk cisimlərin xassələri haqqındakı biliklərin genişlənməsini və dərinləşməsini də təmin edir.

Yarımkəçirici xassəsinə qeyri-üzvi maddələrin əksəriyyəti ilə yanaşı, həm də bir sıra üzvi maddələr malikdir və bütün bu maddələri iki qrupa bölmək olar: *bəsit və mürəkkəb yarımkəçirici maddələr*.

Bəsit yarımkəçirici maddələr yalnız eyni kimyəvi element atomlarından təşkil olunur. *Mürəkkəb yarımkəçirici maddələr* isə müxtəlif element atomlarından təşkil olunur. Mürəkkəb

yarımkeçirici maddələr kimyəvi birləşmələr, yaxud da bərk məhlullar ola bilər.

Yarımkeçiricilərin otaq temperaturunda *xüsusi elektrik müqavimətinin qiyməti* 10^{-6} - 10^9 Om·m, *qadağan olunmuş zonasının eninin qiyməti* isə 0.1-3.0 eV intervalında olur.

Yarımkeçirici kristallar əksər hallarda qarışıq kimyəvi rəbitəyə malik olur (məsələn, kovalent–metallik, ion–metallik və s.).

Yarımkeçirici maddələrə misal olaraq çox sayda kimyəvi elementləri, kimyəvi birləşmələri və bərk məhlulları göstərmək olar. Məsələn:

Bəsit maddələrdən germanium (Ge), silisium (Si), selen (Se), tellur (Te), bor (B), karbon (C), fosfor (P), kükürd (S), sürmə (Sb), mərəgümiş (As), boz qalay (Sn), yod (I) və b.;

$A^{II}B^{VI}$ tipli birləşmələr (CdS, ZnS, CdSe, ZnSe və s.);

$A^{III}B^{VI}$ tipli birləşmələr (GaSe, InSe, GaS, InS, GaTe, InTe və s.);

$A^{III}B^V$ tipli birləşmələr (GaAs, InSb, GaP, InP və s.);

Metalların oksidlərindən və sulfidlərindən: NiO, Cu₂O, CuO, CdO, PbS və b.;

Üçqat birləşmələrdən: CuInSe₂, CuGaSe₂, CuSbSr, CuFeSe₂, PbBiSe₃ və b.;

Bərk məhlullardan: Ge_{1-x}Si_x, GaAs_{1-x}P_x, Cd_{1-x}Hg_xTe və b.;

Üzvi boyalardan və başqa materiallardan: antrasen, naftalin və b.

Yarımkeçiricilər maye və bərk, kristal və amorf hallarda ola bilər.

Yarımkeçiricilərin əsas və ən vacib elektrofiziki parametri onların xüsusi elektrik keçiriciliyi və ya bu kəmiyyətin tərsi olan xüsusi elektrik müqaviməti; sərbəst elektron və deşiklərin konsentrasiyası; xüsusi elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı; qadağan olunmuş zonasının eni; aşqarların aktivləşmə enerjisi; çıxış işi; sərbəst yükdaşıyıcıların diffuziya əmsalı və

yürüklüyü, eləcə də başqalarıdır. Bununla belə, bir sıra tətbiqi məsələlər üçün termoelektrik əmsalı, Holl sabiti, optik udma əmsalı və başqa kəmiyyətlər də mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Yarımkeçiricilərin fundamental parametrlərinə onların sıxlığı, qadağan olunmuş zonasının eni, əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyası, kristal qəfəs sabiti, istilikkeçirmə əmsalı, ərime temperaturu və s. aiddir.

7.2. Yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyi

İon keçiricilikli yarımkeçiricilərin də mövcud olmağına baxmayaraq, yarımkeçiricilərdə elektrik keçiriciliyi əsasən elektron mənşəlidir. Burada sərbəst elektronlar ya baxılan yarımkeçirici materialın öz atomlarının, ya da həmin yarımkeçirici materialda mövcud olan aşqar atomlarının ionlaşması hesabına yaranır. Buna uyğun olaraq, yarımkeçiricilərdə iki növ elektrik keçiriciliyi: *məxsusi və aşqar keçiricilik* mövcud olur.

Bəzi (çox nadir) hallarda yarımkeçiricilərdə elektrik keçiriciliyi ion mənşəli də ola bilər.

Məxsusi keçiricilik halında *elektrik keçiriciliyinin aktivləşdirilmə enerjisi*, yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eninə (E_g), aşqar keçiricilik halında isə – *aşqar atomlarının ionlaşması enerjisinə* (E_a) bərabər olur.

Məxsusi keçiricilik halında yarımkeçiricilərin xüsusi elektrik keçiriciliyi:

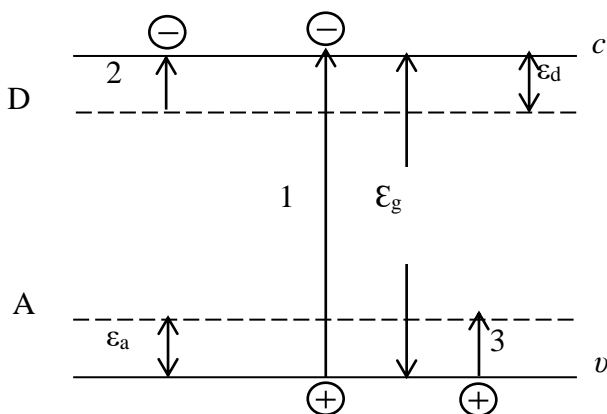
$$\sigma = e(n\mu_n + p\mu_p) \quad (7.1)$$

şəkilində ifadə olunur. Burada e – elementar yük, n - və p - yarımkeçiricidə baxılan şəraitdə sərbəst elektron və deşiklərin konsentrasiyası, μ_n və μ_p isə uyğun olaraq, onların yürüklüyüdür. Bir qayda olaraq, deşiklərin yürüklüyü elektronlarınkindən əhəmiyyətli dərəcədə kiçik olur.

Aşqar elektrik keçiriciliyi məxsusi elektrik keçiriciliyi ilə

müqayisədə daha aşağı temperaturlarda müşahidə olunur. *Keçirici zonaya* sərbəst elektron verən aşqarlar *donor*, valent zonadan elektron alıb, orada sərbəst deşiyin yaranmasına səbəb olan aşqarlar isə *akseptor* adlanır (şəkil 7.1).

Aşqar səviyyələri “*dayaz*” və “*dərin*” olmaqla da iki qrupa ayrılır. Dayaz aşqar səviyyələri adətən $200-400\text{ K}$ -ə qədər olan temperaturlarda, dərin aşqar səviyyələri isə daha yüksək temperaturlarda ionlaşır.



Şəkil 7.1. Yarımkeçiricinin ümumi halda sadə enerji diaqramı

Yarımkeçiricidə eyni zamanda dayaz və dərin aşqar səviyyələri yaratmaqla onları kompensə etmək və bu yolla onların xüsusi elektrik müqavimətinin qiymətini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir.

Aşqar keçiricilikli yarımkeçiricidə sərbəst elektron və deşiklərin konsentrasiyaları arasında aşağıdakı kimi bir əlaqə var:

$$n \cdot p = n_i^2. \quad (7.2)$$

Burada n_i – məxsusi konsentrasiya, n – sərbəst elektronların, p - sərbəst deşiklərin *konsentrasiyasıdır*.

Yarımkəçiricilərdə sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyü (μ) temperaturdan (T) asılıdır. Qəfəs ionlarının istilik rəqsləri sərbəst yükdaşıyıcıların nizamlı hərəkətinə əngəl törədir. Bu asılılıq $\mu \sim T^{(-3/2)}$ şəklindədir, yəni temperatur yüksəldikcə, yürüklük üstlü qanunla kiçilir.

Aşağı temperaturlarda sərbəst yükdaşıyıcıların aşqar ionlarından səpilməsi üstünlük təşkil edir və buna uyğun olaraq, onların yürüklüyü temperaturdan $\mu \sim T^{(3/2)}$ şəklində asılı olur, yəni bu halda temperatur yüksəldikcə sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyü üstlü qanunla böyüyür.

Məxsusi yarımkəçiricidə sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının temperaturdan asılılığı analitik olaraq

$$n, p \sim \exp\left(-\frac{\mathcal{E}_g}{kT}\right) \quad (7.3)$$

şəklində ifadə olunur. Burada \mathcal{E}_g – yarımkəçiricinin qadağan olunmuş zonasının eni, k – Bolsman sabiti, T isə temperaturdur.

7.3. Yarımkəçiricilərin optik və fotoelektrik xassələri

Optik udulma. Digər maddələr kimi, hər hansı yarımkəçirici maddəni də işıqlandırdıqda səthdən qayıtma, səpilmə və həcmdə udulma prosesləri nəticəsində həmin yarımkəçiricidən keçən işığın intensivliyi zəifləyir.

Yarımkəçiricinin üzərinə düşən monoxromatik işıq dəstəsinin intensivliyi I_0 olduqda, *qayıtarma əmsalı* adlanan R kəmiyyəti, düşən işığın I_0 intensivliyinin hansı I_R hissəsinin yarımkəçiricinin səthindən əks olunmasını müəyyənləşdirir və

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad (7.4)$$

ifadəsi ilə təyin olunur.

İşığın intensivliyinin kiçik qiymətlərində R - düşən işığın intensivliyindən asılı olmayıb, yalnız onun tezliyi (dalğa uzun-

luğu) ilə təyin olunur və $R(\nu)$, yaxud da $R(\lambda)$ asılılıqları baxılan maddənin *qaytarma spektri* adlanır.

Qayıdan şüanın intensivliyi

$$I_R = I_0 R, \quad (7.5)$$

düşmə səthindən hesablanan d - qalınlığını keçdikdən sonra işığın intensivliyi isə:

$$I = I_0(1 - R)e^{-\alpha d} \quad (7.6)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Sonuncu ifadədəki α – işığın zəifləməsi ilə intensivliyi arasında əmsal olub, vahid uzunluğa bərabər qalınlıqlı qatda işığın intensivliyinin nisbi azalmasını nümayiş etdirir və *udma əmsalı* adlanır. Qaytarma əmsalı kimi, udma əmsalı da mühitə düşən işığın tezliyindən (dalğa uzunluğundan) asılıdır. Bu halda $\alpha(\nu)$ və ya $\alpha(\lambda)$ asılılıqları mühitin işığı *udma spektri* adlanır. Qalınlığı d olan mühitin qarşı səthindən xaric olan intensivliyi isə $(1-R)^2 I_0 e^{-\alpha d}$ şəklində ifadə edilir. Mühitdən xaric olan işığın intensivliyinin həmin mühitin üzərinə düşən işıq dəstəsinin intensivliyinə nisbəti kimi təyin olunan *şəffaflıq əmsalının* (T) ifadəsi R -in kiçik, (αd) -nin isə nisbətən böyük qiymətlərində

$$T = (1 - R)^2 e^{-\alpha d} \quad (7.7)$$

şəklində olur.

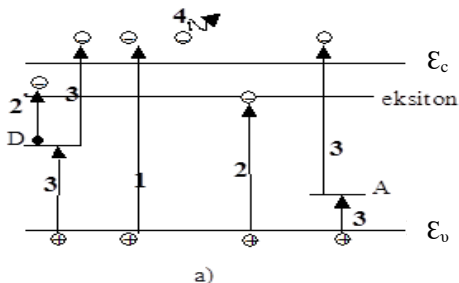
Mühitin α - udma və R - qaytarma əmsalları bir-biri ilə əlaqədardır: α - artdıqca R də artır. Udma əmsalı $\alpha \gg 1$ olduqda isə $R \approx 1$ olur, yəni *metallik parıltı* halına uyğun gəlir.

Maddənin R - və α - əmsalları onun optik sabitləri olan n – *işıqı sındırma əmsalı* və ε - *dielektrik nüfuzluğundan* asılıdır.

İşığın müxtəlif udulma mexanizmlərini təsvir etmək üçün valent zonası (\mathcal{E}_v) tam dolu, keçirici zonası (\mathcal{E}_c) isə boş olmaqla yanaşı, həm də qadağan olunmuş zonasında eyni zamanda həm D - donor, həm də A – akseptor səviyyələri mövcud olan yarımkeçirici materialın sadə enerji modelinə baxaq (şəkil 7.2). Belə yarımkeçiricini işıqlandırdıqda işıq fotonunun enerjisindən (tezliyindən) asılı olaraq, müxtəlif növ udulma prosesləri

baş verə bilər:

1. *Məxsusi (fundamental) udulma* – işıq fotonunun udulması nəticəsində bilavasitə elektronun valent zondan keçirici



Şəkil 7.2. Yarımkəçiricilərdə işığın müxtəlif növ udulma mexanizmlərini təsvir edən sadə enerji modeli

zonaya keçməsi prosesinə deyilir. Məxsusi udulma $h\nu \geq \varepsilon_g$ olduqda, yəni yarımkəçiriciyə təsir edən fotonun $h\nu$ enerjisi, yarımkəçiricinin ε_g qadağan olunmuş zonasının enindən kiçik olmadıqda, baş verir və bu halda udma əmsalı kifayət qədər böyük qiymətə ($\alpha \geq 10^4 \text{ sm}^{-1}$) malik olur (şəkil 7.2-də 1 keçidi).

2. *Eksiton udulması* iki cür olur. Birinci halda işığın təsiri ilə elektron həyəcanlansa da deşiklə əlaqəsini tam itirmir və kristalda onunla birlikdə hərəkət edir. Belə elektron-deşik cütü *sərbəst eksiton*, bu növ udulma isə *eksiton udulması* adlanır. Eksitonun enerji səviyyələri hidrogenəbənzər atomun enerji spektrinə uyğun diskret xarakterə malik olduğundan, bu udulma $h\nu \leq \varepsilon_g$ ətrafında baş verir və udma əmsalının böyük qiyməti ilə xarakterizə olunur. Əgər işığın təsiri ilə elektron aşqar səviyyəsindən həyəcanlaşdırılırsa və həmin elektron aşqar ionu ilə əlaqəsini qıra bilmirsə, belə elektron-deşik cütü *bağlı*

eksiton adlanır (şəkil 7.2-də 2'-keçidi).

3. *Aşqar udulması* - işığın təsiri ilə donor və akseptorların elektron itirərək və ya onlara əlavə elektronların keçməsi ilə ionlaşması nəticəsində (şəkil 7.2-də 3 keçidləri) baş verir.

4. *Sərbəst yükdaşıyıcılarla udulma* - işığın təsiri ilə sərbəst yükdaşıyıcıların kinetik enerjisinin artması kimi təyin olunur (şəkil 7.2-də 4 keçidləri).

Müxtəlif yarımkeçiricilərdə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, fundamental udma kənarı bir sıra amillərdən – temperaturdan, xarici təzyiqdən, elektrik və maqnit sahələrindən, güclü aşqarlanmada aşqar atomlarının konsentrasiyasından (N_a) asılıdır. Bu asılılıqlar həm yarımkeçiricilərdə baş verən proseslərin aydınlaşdırılmasında, həm də kristalların fiziki xassələrini idarə etməklə onlardan praktiki məqsədlər üçün istifadə olunmasında mühüm rol oynayır.

Fotoelektrik hadisələri. İşığın təsiri ilə mühitlərdə yükdaşıyıcıların yaranması, eləcə də yükdaşıyıcılarla bağlı baş verən digər elektrik hadisələri *fotoelektrik hadisələri* adlanır. Fotoelektrik hadisələrinin *xarici* və *daxili* olmaqla iki növü var.

Xarici fotoeffekt enerjisi elektronun maddədən çıxışından kiçik olmayan işıq kvantlarının təsiri ilə həmin maddədən elektronun qopması hadisəsidir.

Daxili fotoeffekt hadisəsi isə işığın təsiri ilə yarımkeçiricinin elektrik keçiriciliyinin (müqavimətinin) dəyişməsi (*fotokeçiricilik*) və yarımkeçiricinin daxil olduğu sistemdə müxtəlif elektrik hərəkət qüvvələrinin yaranması (*fotovoltaiik* və ya *fotoqalvanik effektlər*) kimi özünü göstərir.

Daxili fotoeffekt halında yarımkeçiricidə yaranan əlavə sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası $\Delta n = n - n_0$, $\Delta p = p - p_0$ (burada n_0 , p_0 – qaranlıqda, n , p – isə işıq təsir etdikdə yarımkeçiricidə sərbəst elektron və deşiklərin konsentrasiyasıdır) kimi təyin olunduğundan, artıq konsentrasiya elektrik keçiriciliyinin qaranlıq keçiriciliyinə nəzərən artmasına (foto-

keçiriciliyin yaranmasına) səbəb olur. Bu hal üçün fotokeçiricilik:

$$\Delta\sigma = \sigma - \sigma_q = e(\mu_n \Delta n + \mu_p \Delta p) \quad (7.8)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada σ_q – qaranlıqda, σ – işıq təsir etdikdə yarımkeçiricinin xüsusi elektrik keçiricilikləri, μ_n və μ_p isə – uyğun olaraq elektron və deşiklərin yürüklükləridir.

Daxili fotoeffekt zamanı əlavə sərbəst yükdaşıyıcıların yaranması, ilk növbədə yarımkeçiricinin üzərinə düşən fotonun həmin yarımkeçirici tərəfindən udulması ilə bağlı olduğundan, yaranan fotokeçiricilik işığın maddə tərəfindən udulma mexanizmlərindən asılı olur.

Əgər yarımkeçiricinin üzərinə düşən foton elektronu valent zonasından qopararaq, keçirici zonaya keçirsə, onda *məxsusi fotokeçiricilik* hadisəsi baş verir. Məxsusi fotokeçiricilik halında həm elektron, həm də onun boş yeri kimi özünü göstərən deşik hesabına fotokeçiricilik (*elektron və deşik fotokeçiriciliyi*) yaranır. Əgər yarımkeçirici düz zonalıdırsa, şaquli keçidlər yaratmaq üçün düşən fotonun enerjisi qadağan olunmuş zonanın enindən kiçik olmamalıdır ($h\nu \geq \mathcal{E}_g$).

Yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasında lokal enerji səviyyələri mövcud olarsa, müəyyən şəraitdə işığın təsiri ilə bu səviyyələrlə yarımkeçiricinin icazəli zonaları arasında keçidlər hesabına da tarazlıqda olmayan sərbəst yükdaşıyıcılar yaranar. Bu yükdaşıyıcıların əmələ gətirdiyi əlavə keçiricilik *aşqar fotokeçiricilik* adlanır. Lokal səviyyənin ionlaşma enerjisi qadağan olunmuş zonanın enindən kiçik olduğundan, aşqar fotokeçiriciliyin spektri məxsusi fotokeçiriciliyin spektrinə nəzərən daha uzundalğalı oblasta doğru sürüşmüş olur.

Eksitonlar dissosiasiya edərək sərbəst elektron və sərbəst deşik yaratmaqla, son nəticədə *eksiton fotokeçiriciliyinin* əmələ gəlməsinə səbəb ola bilər.

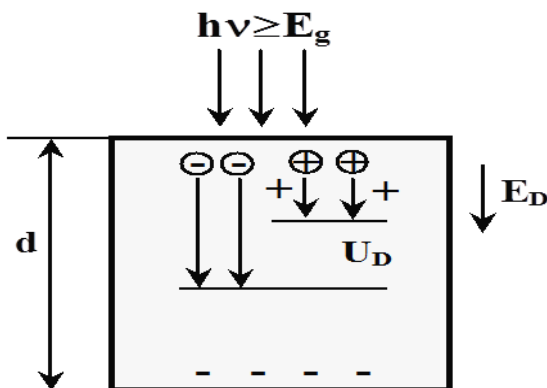
Bütün baxılan hallarda aktivləşmə enerjisi $\Delta\mathcal{E}$ olduqda sərbəst yükdaşıyıcılar yaratmağa qadir olan işığın dalğa

uzunluğu

$$\lambda_{max}(mkm) = \frac{1,24}{\Delta\mathcal{E}(eV)} \quad (7.9)$$

kimi empirik ifadə ilə təyin oluna bilər. Burada $\Delta\mathcal{E}$ - zona-zona keçidləri halında qadağan olunmuş zonanın enini, aşqar fotokeçiriciliyi halında aşqarların aktivləşmə enerjisini, eksiton fotokeçiriciliyi halında isə eksitonların enerjisini göstərir.

Dember effekti. Müstəvi lövhə şəklində olan (şəkil 7.3) fotohəssas yarımkeçirici nümunənin bir üzü məxsusi udma



Şəkil 7.3. Işıqlandırılan yarımkeçiricidə Dember effektinin yaranmasının sxematik təsviri

oblastından olan işıqla işıqlandırılırsa, lövhənin həmin üzü yaxınlığında elektron-deşik cütləri ($n=n_0+\Delta n$; $p=p_0+\Delta p$; $\Delta n=\Delta p$) yaranar. Bu səthin yaxınlığında yükdaşıyıcıların konsentrasiyası (n və p) yarımkeçiricinin həcmindəki (n_0 və p_0) konsentrasiyasından böyük olduğundan, tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların işıqlandırılan səth yaxınlığındakı hissədən həcmə doğru diffuziyası baş verir. Bu halda həm elektronlar, həm də deşiklər eyni istiqamətdə hərəkət etsələr də, onların μ_n

və μ_p yürüklüyünün və uyğun olaraq v_n , v_p dreyf sürətlərinin biri-birindən fərqlənməsi nəticəsində diffuziya istiqaməti boyunca tarazlıqda olmayan elektronların və dəşiklərin bir-birindən məkanca ayrılması baş verər. Əksər materiallarda $\mu_n > \mu_p$ olduğundan, eyni bir şəraitdə vahid zaman ərzində sərbəst elektronların qət etdiyi məsafə sərbəst dəşiklərin qət etdiyi məsafə ilə müqayisədə daha böyük olar və şəkil 7.3-də göstərilən istiqamətdə baxılan nümunə boyunca daxili elektrik sahəsi (E_D) yaranar. Yaranan həmin bu E_D elektrik sahəsi dəşiklərin hərəkətini sürətləndirmək, elektronların hərəkətini isə ləngitməklə, nümunənin daxilində dreyf cərəyanları yaradır. İşıqlandırılma kəsilməz (müntəzəm) olarsa, müəyyən zaman müddətindən sonra yükdaşıyıcıların dreyf sürətlərində olan fərq E_D - elektrik sahəsi tərəfindən tam kompensə olunar, dinamik tarazlıq yaranar və yekun cərəyanın qiyməti sıfır olar. Yarımkeçirici nümunənin qeyri-bircins işıqlandırılması nəticəsində yaranan bu elektrik sahəsi və potensiallar fərqi uyğun olaraq *Dember sahəsi* və *Dember elektrik hərəkət qüvvəsi* adlanır.

Sadə halda Dember e.h.q.-nin qiyməti:

$$U_D = \frac{kT}{e} \frac{b-1}{b+1} \ln \left[1 + \frac{(b+1)\Delta n}{bn_0 + p_0} \right] \quad (7.10)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada $b = \frac{\mu_n}{\mu_p}$ (sərbəst elektron və dəşiklərin yürüklüklərinin nisbəti), k – Bolsman sabiti, T – temperatur, e isə elektronun yüküdür. (7.10) ifadəsindən görüldüyü kimi, $\mu_n = \mu_p$, yəni $b=1$ olduqda $U_D=0$. Bu isə o deməkdir ki, elektron və dəşiklərin yürüklüyü bərabər olan yarımkeçiricidə Dember effekti baş verməz. Dember gərginliyinin qiyməti μ_n ilə μ_p bir-birindən daha çox fərqləndiyi yarımkeçirici materiallarda böyük olur və müxtəlif materiallarda ($10 \div 100$) mV tərtibindədir.

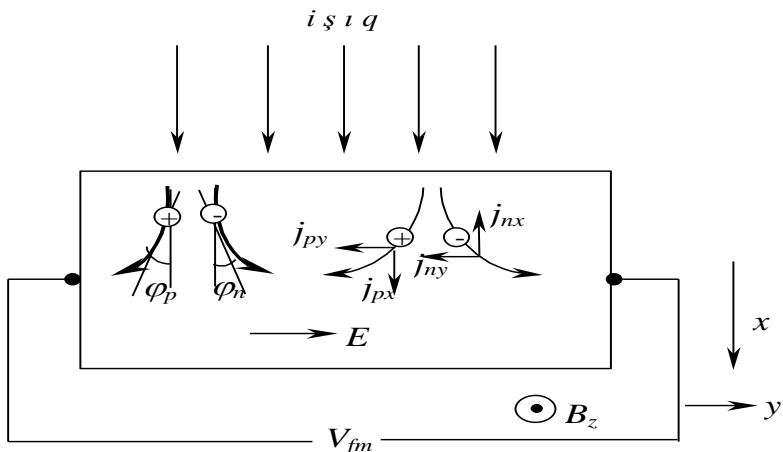
Həcmi fotoelektrik hərəkət qüvvəsi. Hər hansı yarımkeçirici nümunədə xüsusi müqavimətin qradienti, yəni $\rho(x)$ asılılığı

mövcud olarsa, həmin nümunə işıqlandırıldıqda, onda *həcmi fotoe.h.q.* yaranar.

n-tip yarımkəçiricidə tarazlıqda olmayan (artıq) fotoelektronların konsentrasiyası yalnız bir koordinatdan (məsələn, *x*-dən) asılı olduğu halda, işıqlanan oblastın eninin *diffuziya uzunluğuna* nisbətən çox kiçik olması səbəbindən işıqlandırılan oblastında rekombinasiyanın baş vermədiyini və $\mu_n \cdot n \gg \mu_p p$ şərtinin ödənilməsi şəraitdə yaranan həcmi fotoe.h.q.

$$V = \frac{e}{S} N \cdot L_p^2 \frac{d\rho_0}{dx} \quad (7.11)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada L_p - deşiklərin diffuziya uzunluğu, N - işıqlanan oblastın işıqlanma intensivliyi ilə mütənasib olan fotoyükdaşıyıcılar cütünün sayı, S - nümunənin en kəsiyinin sahəsi, $\frac{d\rho_0}{dx}$ - işıqlanan oblastda xüsusi müqavimətin qaranlıq halındakı qradientidir. $L_p \approx 0.1 \text{ sm}$, $S = 10^{-2} \text{ sm}^2$,



Şəkil 7.4. Fotoelektromaqnit effektə fotogərginliyin yaranması prosesinin sxematik təsviri

$$\frac{d\rho_0}{dx} = 10 \frac{0m \cdot sm}{sm}, \quad N=10^{15} \text{ sm}^{-3} \text{ olduqda } V=1 \text{ mV.}$$

Fotoelektromaqnit effekti. Güclü udulan işıqla işıqlandırılmış yarımkeçirici nümunə \vec{B} – induksiya xarici maqnit sahəsində yerləşdirilsə, maqnit sahəsinin induksiyası işığın təsiri ilə generasiya olunmuş elektron və deşiklərin diffuziya hərəkəti istiqamətinə perpendikulyar olduğu halda həmin yarımkeçiricidə eninə e.h.q. meydana gəlir (şəkil 7.4).

Bu hadisə *fotoelektromaqnit effekt və ya Kikoin-Noskov effekti* adlanır.

Səth rekombinasiyasının sürəti kiçik olduğu halda yaranan fotoelektromaqnit e.h.q.-nin qiyməti:

$$V_{jm} = \frac{raDB(\mu_n + \mu_p)\Delta n(0)}{(\mu_n + \mu_p)[ln_0 + L\Delta n(0)]} \quad (7.12)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada L – işığın təsiri ilə generasiya olunmuş sərbəst yükdaşıyıcıların diffuziya uzunluğu, D – onların diffuziya əmsalı, r – sərbəst yükdaşıyıcıların yarımkeçiricidə səpilmə mexanizmini xarakterizə edən Holl faktoru, B – maqnit sahəsinin induksiyası, l və a – nümunənin ölçüləri, I – nümunə üzərinə düşən işığın intensivliyi, $h\nu$ – fotonun enerjisidir.

Həyəcanlaşdırıcı işığın I intensivliyi kiçik ($\Delta n \ll n_0 + p_0$) olduqda:

$$V_{jm} = arB\beta L \frac{I}{h\nu ln_0}, \quad (7.13)$$

böyük olduqda isə

$$V_{jm} = raDB \frac{I}{L} \quad (7.14)$$

Anomal fotogərginlik. Bir sıra yarımkeçirici materialların polikristallarından hazırlanmış nazik təbəqələri işıqlandırdıqda, həmin yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eninə uyğun qiymətdən dəfələrlə böyük olan fotogərginlik müşahidə

edilir. Təcrübələrdə hətta 3000 V gərginlik generasiya edən nazik təbəqələrin mövcudluğu aşkara çıxarılmışdır. Bu hadisə *anomal fotogərginlik effekti*, yaranan gərginlik isə *anomal fotogərginlik (AFG)* adlanır. AFG başlıca olaraq, *CdTe*, *GaAs*, *Si*, *Ge* və s. yarımkeçiricilərin buxarlanması vasitəsi ilə alınmış nazik təbəqələrdə, həm də o halda müşahidə olunur ki, nazik təbəqənin yerləşdiyi altlıq buxarlanan maddə molekullarının hərəkəti istiqamətinə perpendikulyar yox, müəyyən bucaq altında qoyulsun. Effekt özünün ən böyük qiymətini o halda alır ki, bu meyl bucağı $30\text{--}60^\circ$ arasında olsun və əvvəlcədən altlıq 100°C -də termik işlənsin. Bu halda bir sıra texnoloji amillər, daha doğrusu, altlığın materialı və bircinsliyi, buxarlanma prosesində vakuumun tərtibi və s. əhəmiyyətli dərəcədə rol oynayır.

Müəyyən hallarda alınan nazik təbəqə yalnız əlavə termik işlənmələrdən sonra AFG xassəsinə malik olur.

Termik işlənmə zamanı oksigenin adsorbsiya və desorbsiyası nəticəsində hətta alınan fotogərginliyin işarəsi dəyişə də bilər.

Varizon strukturlarda fotoelektrik hadisələri. Müxtəlif yarımkeçirici cihazların hazırlanmasında son zamanlar *homop-n* keçidlər, hetero keçidlər, metal-yarımkeçirici kontaktları ilə yanaşı, *varizon strukturlu yarımkeçiricilərdən* də (*varizon strukturlardan da*) istifadə olunmağa başlanılmışdır.

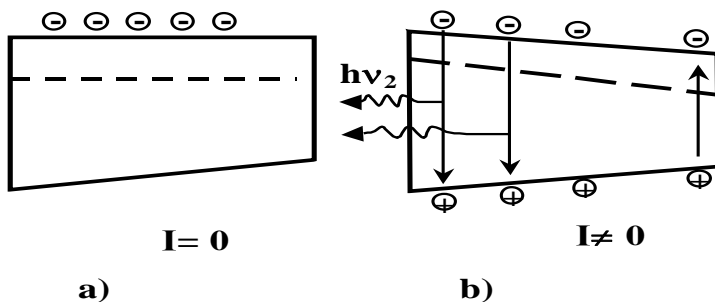
Varizon strukturlu yarımkeçirici dedikdə, müəyyən istiqamətdə (müəyyən ox boyunca) kimyəvi tərkibi müntəzəm dəyişən yarımkeçirici material nəzərdə tutulur. Sözsüz ki, tərkibin dəyişməsinə uyğun olaraq, həmin istiqamət üzrə yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eni də kəsilməz dəyişəcəkdir.

Varizon yarımkeçiricilər homogenlik oblastında komponentlərinin miqdarı müntəzəm dəyişən bərk məhlullar əsasında alınır və onlar özlərini kəsilməz heterostrukturlar kimi aparır.

Varizon yarımkeçiricidən hazırlanmış nümunələri işıqlandırdıqda, qadağan olunmuş zonanın eninin qradienti hesabına həmin nümunədə müəyyən fotoelektrik hərəkət qüvvəsi yaranır. Bu fotoe.h.q.-nin əsas xüsusiyyətləri spektrin maksimumunun qadağan olunmuş zonanın eninin dəyişməsinə uyğun olan oblastında fotonların $h\nu$ - enerjisinin böyüməsi ilə xətti artması, eləcə də tarazlıqda olan sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının azalması ilə e.h.q.-nin böyüməsidir.

Varizon yarımkeçiricilər infraqırmızı şüalanmanı görünən işığa çevirən fotoelektrik çeviricilərinin hazırlanmasına imkan yaradır.

Varizon strukturların enerji zona diaqramı və fəaliyyət mexanizmi şəkil 7.5-də təsvir olunmuşdur.



Şəkil 7.5. Varizon yarımkeçiricinin enerji zona diaqramı

- Termodinamik tarazlıq halında.
- Xarici elektrik sahəsində işıqlandırıldıqda.

7.4. Yarımkeçiricilərdə lüminessensiya

Cisimlərin şüalandırması onların daxilində gedən proseslərdə hasil olan və ya kənardan onlara verilən müxtəlif növ

enerjilər hesabına ola bilər. Bütün bu hallarda müxtəlif növ enerjilər cismin şüalandırdığı işıq enerjisinə çevrilir.

Şüalanma dedikdə, həm elektromaqnit dalğaları, həm də *fotonlar seli (optik şüalanma)* nəzərdə tutulur. Ən geniş yayılmış şüalanma növü *istilik şüalanmasıdır*. Bu şüalanma cismin daxili enerjisinin elektromaqnit dalğaları şəklində şüalanma enerjisinə çevrilməsi kimi başa düşülür.

Daxili enerjidən başqa digər enerji növlərinin çevrilməsi hesabına baş verən şüalanma lüminessensiya adlanır. Məsələn, kimyəvi reaksiyadan ayrılan enerjinin işıq enerjisinə çevrildiyi - *kimyəvi lüminessensiya*, elektrik enerjisinin çevrilməsi hesabına yaranan - *elektrolüminessensiya*, bərk cismin elektron seli ilə bombalanması zamanı yaranan - *katodlüminessensiya*, cismin optik şüaların təsiri ilə həyəcanlandırılması hesabına baş verən - *fotolüminessensiya* və s.

Lüminessensiya şüalanmasının baş verməsi üçün şüalanan cisim hökmən *həyəcanlandırılmış hala* gətirilməlidir. Həyəcanlandırılma növü, bilavasitə lüminessensiyanın tipini təyin edir.

Lüminessensiya şüalanması intensivlik, spektral tərkib, koherentlik, polyarlaşma və şüalanmadan sonrakı sürəklilik kimi başlıca parametrlərlə xarakterizə olunur. Lüminessensiya hadisəsi *həyəcanlaşma, enerji verilməsi və şüalanma* kimi üç ardıcıl prosesin baş verməsi ilə reallaşır.

Həyəcanlaşma və şüalanma aktları bir-birindən ayrıldığından, həyəcanlaşdırıcı təsir kəsildikdən sonra da şüalanma hələ «uzun müddət» davam edir. Bu davam etmə müddəti çox böyük olduqda baş verən şüalanma *fosforessensiya*, kiçik olduqda isə - *flüoressensiya* adlandırılır.

Yarımkəçiricilərdə lüminessensiya şüalanmasının *monomolekulyar, metastabil, rekombinasiyalı* kimi üç növü mövcuddur.

İlk iki növ lüminessensiya bərk cisimlərdə həyəcanlaşma

və şüalanma proseslərinin eyni bir aşqar atomu daxilində baş verməsinə uyğundur.

Bərk cismin lüminessensiya spektri, izolə edilmiş atomların uyğun spektrindən iki əsas amillə fərqlənir. Əvvəla, izolə edilmiş atomlardakı şüalanma *xətti* xarakterli olur, bərk cisimlərdə isə *enli şüalanma zolağına* çevrilir; ikincisi, bərk cisimlərdəki lüminessensiya şüalanması zolağı *xətti* həyəcanlaşmaya nəzərən uzun dalğalara doğru sürüşür.

Monomolekulyar lüminessensiyanın sürəkliyi həyəcanlaşmış elektronun həmin səviyyədə yaşama müddəti ilə təyin olunur və demək olar ki, temperatur, təzyiq, eləcə də başqa xarici təsirlərdən asılı olmur. Bu tip lüminessensiya, adətən infraqırmızı (*IQ*) oblasta uyğun gəlir.

Metastabil lüminessensiya xüsusi növ metastabil həyəcanlaşmış hallara malik olan bərk cisimlərdə müşahidə olunur. Bu zaman həyəcanlaşmış hala qaldırılan elektron özbaşına deyil, müəyyən xarici amillərin təsiri ilə əsas hala qayıdaraq, işıq fotonu buraxır. O səviyyələr *metastabil səviyyələr* adlanır ki, onlardan şüalanma vasitəsi ilə kiçik enerjili səviyyələrə keçidlər *tam* və ya *qismən qadağan edilmiş* olsun. Metastabillik ölçüsü olaraq, elektronun həmin səviyyədə yaşama müddəti götürülür.

Rekombinasiya lüminessensiyası başlıca olaraq yarımkeçiricilərə xasdır. Bu lüminessensiya halında keçirici zonaya həyəcanlaşdırılmış elektronun valent zonadakı sərbəst deşiklə *annihiliasiyası* nəticəsində enerjinin fotonlar şəklində mühiti tərk etməsi - *rekombinasiya şüalanması* baş verir. Rekombinasiya zamanı şüalanma baş verməyə də bilər. Bu halda rekombinasiya hesabına ayrılan enerji qəfəsə verilir və onu qızdırır.

Yarımkeçiricidə sərbəst elektron-deşik cütü və eksitonlar yaratdıqda həyəcanlaşdırılmış elektronlarla deşiklərin birbaşa rekombinasiyası və eksitonun annihiliasiyası, eləcə də aşqar səviyyələri həyəcanlaşdırmaqla yaradılmış elektron və deşiklərin

rekombinasiya mərkəzləri vasitəsi ilə rekombinasiyası nəticəsində fotonların şüalanması baş verə bilər.

Əksər hallarda temperaturun yüksəlməsi ilə lüminessensiya şüalanmasının intensivliyi azalır ki, bu da *lüminessensiyanın temperatur sönməsi* adlanır. Temperaturun dəyişməsi ilə intensivliyin dəyişməsi əsasən şüalanan və şüalanmayan keçidlərin ümumi rekombinasiya aktlarındakı payının dəyişməsi ilə bağlıdır. Şüalanma rekombinasiyası aktlarının ümumi rekombinasiyada payı *lüminessensiyanın daxili kvant effektivliyi* adlanır və

$$\eta = \frac{P_r}{P_{um}}$$

şəklində ifadə olunur. Burada P_r - şüalanan, P_{um} - isə ümumi rekombinasiya aktlarının sayıdır. Əgər şüalanmayan rekombinasiya aktlarının sayı P_{nr} ilə işarə olunarsa, onda ümumi şüalanma aktlarının sayı $P_{um} = P_{nr} + P_r$, şüalanmanın kvant effektivliyi isə

$$\eta = \frac{P_r}{P_r + P_{nr}} \quad (7.15)$$

şəklində təyin olunur. Nəzərə alınsa ki, zonalar arası şüalanmayan rekombinasiya aktlarının sayı temperaturdan eksponensial asılıdır, onda E^* - aktivləşmə enerjisi halında

$$P_{nr} = P_{nr}(0)e^{-\frac{E^*}{kT}}$$

və

$$\eta = \frac{1}{1 + Ce^{-\frac{E^*}{kT}}} \quad (7.16)$$

olar. Sonuncu ifadədəki C - sabit kəmiyyətdir.

Rekombinasiya lokal səviyyələr vasitəsi ilə baş verdikdə də lüminessensiyanın intensivliyinin temperaturdan asılı olaraq azalması (7.16) ifadəsi ilə təsvir olunur.

Elektron və deşiklərin bilavasitə rekombinasiyası halında lüminessensiyanın temperatur sönməsi nisbətən zəif olur və şüalanmanın kvant effektivliyi

$$\eta = \frac{1}{1 + cT^\gamma} \quad (7.17)$$

ifadəsi ilə təyin edilir. Burada c və γ - sabit kəmiyyətlərdir. Bərk cisimlərdə monomolekulyar lüminessensiya halında da intensivliyin temperaturdan asılılığı (7.16) ifadəsi ilə müəyyən-ləşə bilər.

7.5. Bəzi yarımkeçirici materiallar

Yarımkeçiricilik xüsusiyyətinə müxtəlif tip materiallar - üzvi, qeyri-üzvi, kristal, amorf, maye, maqnit və qeyri-maqnit maddələr malikdir. Müasir elektronikanın əsasını kristal qeyri-üzvi yarımkeçirici materiallar təşkil edir.

Kimyəvi Elementlərin Dövri Sisteminin orta hissəsində yerləşən on iki kimyəvi element yarımkeçirici xüsusiyyətinə malikdir. Bu yarımkeçiricilər bəsit yarımkeçiricilərdir. Onların Kimyəvi Elementlərin Dövri Sistemində yerləşməsi müəyyən qanunauyğunluğa tabedir. Belə ki, Dövri Sistemin bir dövrdən digərinə soldan sağa keçdikdə yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasının eni böyüyür, qrupun daxilində yuxarıdan aşağıya doğru hərəkət etdikdə isə qadağan olunmuş zonanın eni kiçilir.

Məlum olduğu kimi, karbon iki allotropik şəkildə: almaz və qrafit kimi mövcuddur. Qrafit elektrik keçiriciliyinə görə metal, təmiz almaz isə dielektrik qrupuna aiddir. Süni yolla alınmış və bir qədər aşqarlanmış almaz isə yarımkeçirici xassəsinə malik olur.

Normal şəraitdə qalay yaxşı metal xassəsinə malikdir. Ancaq 13.2°C -dən aşağı temperaturalarda o, yarımkeçirici xassəsinə malik α - modifikasiyasına çevrilir və boz qalay

adlanır.

Elementar (bəsit) yarımkeçiricilər sırasında Yer Qabığındakı miqdarına, tələb olunan fiziki parametrlərə malik olan kristallarının alınması mümkünlüyünə, qadağan olunmuş zonasının eninə, sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasına və yürüklüyünün qiymətinə görə *Si*, *Ge* və bir qədər də *Se* digərləri ilə müqayisədə geniş tətbiq olunur.

Qeyri-üzvi birləşmələr sırasında iki və daha çox kimyəvi elementdən təşkil olunmuş yarımkeçirici material qrupları mövcuddur. Belə birləşmələrə misal olaraq, *GaAs*, *InSb*, *CdSe*, *ZnS*, *ZnSiAs₂*, *CuGe₂P₃*-i göstərmək olar.

Bir sıra yarımkeçiricilər almaz tipli kristal qəfəsinə malik olduğu üçün, *almazabənzər yarımkeçiricilər* adlanır.

Tərkibində mərgümüş (*As*), kükürd, tellur, karbon olan binar yarımkeçirici birləşmələr isə, uyğun olaraq *arsenidlər*, *sulfidlər*, *telluridlər*, *karbidlər* adlanır.

Yarımkeçirici birləşmələr qrupu latın əlifbası ilə işarə edilir – *A*, *B*, *C* və s. Burada *A* - birləşmənin birinci, *B* - ikinci, *C* - üçüncü və s. komponentini göstərir. Həmin hərflər indekslərə malik olur. Hərfin Rum rəqəmi ilə işarə olunan yuxarı indeksləri elementin Dövrü Sistemdəki qrupunu, Ərəb rəqəmləri ilə işarə olunan aşağı indekslər isə stexiometrik əmsalın göstəricisidir.

Məsələn, *InP* birləşməsi $A^{III}B^V$ yarımkeçirici birləşmələr qrupuna, *Bi₂Te₃* birləşməsi - $A_2^VB_3^{VI}$ qrupuna, *ZnSiP₂* isə $A^{II}B^{IV}C_2^V$ qrupuna daxildir.

Bu birləşmələrlə yanaşı, müxtəlif maddələrin bərk məhlulları əsasında da mürəkkəb yarımkeçirici materiallar mövcuddur. Bərk məhlulların kimyəvi düsturunda aşağıda yazılan indeks elementin bərk məhluldakı payını göstərir. Məsələn, *Ge* ilə *Si* və *InAs* ilə *InP* arasındakı bərk məhlul $Si_{1-x}Ge_x$ və $InAs_{1-x}P_x$ şəklində ifadə olunur. $InAs_{0.8}P_{0.2}$ yazılışı həmin bərk məhlulda fosforun atom payının, yaxud *InP*-in payının 0.2

mol olduğunu göstərir.

Germanium Yer Qabığında geniş şəkildə səpələnmiş elementlərdəndir və təbiətdə ona sərdəst halda rast gəlinmir. Yer Qabığında germaniumun kütləcə miqdarı $7 \cdot 10^{-4}$ % təşkil edir. Bu miqdar gümüş, sürmə və ya bismutdan çoxdur. Hal-hazırda germanium daş kömürün koklaşdırılması prosesində və germanium konsentratından alınır.

Təmiz germanium metal parlaqlığına malik olub, nisbətən yüksək bərkliyə və kövrəkliyə malikdir. Onun elementar qəfəs özəyində 8 atom yerləşir və almaz quruluşuna bənzər kristallaşma baş verir. Kristal germanium otaq temperaturunda havada dayanıqlıdır, lakin 650°C -də oksidləşərək, GeO_2 birləşməsini əmələ gətirir.

Yarımkeçirici cihazların hazırlanmasında elektroaktiv aşqarlar daxil edilmiş germaniumdan istifadə olunur. *Ge* əsasında müxtəlif cihazlar, ilk növbədə isə diod və tranzistorlar hazırlanır.

Sərbəst yükdaşıyıcıların yüksək yürüklüyə malik olması germaniumdan Holl qeydediciləri və digər maqnitəhəssas cihazların hazırlanmasında istifadə etməyə imkan verir.

Qadağan olunmuş zonasının eni 0.66 eV olan germaniumun optik və fotoelektrik xassələri bu materialdan fototranzistor, fotodiod, infraqırmızı şüalar üçün optik linza, optik filtr, işıq modulyatoru, nüvə hissəciklərinin sayğaclarını hazırlamağa da imkan verir. İşçi temperatur diapazonunun yuxarı sərhədinin kiçik olması ($+70^{\circ}\text{C}$ -ə qədər), germaniumdan hazırlanmış cihazların çatışmayan cəhətidir.

Silisium Yer Qabığında oksigendən sonra ən çox yayılmış (kütlə hesabı ilə miqdarı 29.5%-dir) kimyəvi elementdir. Təbiətdə silisium sərbəst halda yox, birləşmələr şəklində mövcuddur. Onun ən geniş yayılmış birləşməsi SiO_2 -dir. Silisium elektronikada yarımkeçirici material kimi, ötən (XX) əsrin ortalarından istifadə edilməyə başlanmışdır.

Kristal silisium da almaz kimi, kubik qəfəs quruluşuna malikdir. Silisiumun hər atomu dörd valentli rabitə ilə tetraedrin təpəsində yerləşən digər *Si* atomları ilə birləşir.

Otaq temperaturunda silisium kimyəvi baxımdan təsirsiz maddə hesab olunur. O, suda həll olmur və istənilən konsentrasiyada bir çox turşularla reaksiyaya girmir. *Si* azot və flüorit turşularının qarışığında, eləcə də qaynar qələvi məhlulunda həll olur. Normal şəraitdə *Si* dalğa uzunluğu *1 mkm*-dən böyük olan optik şüalar üçün şəffafdır.

Qadağan olunmuş zonasının eni böyük (~ 1.10 eV) olduğundan, silisiumun xüsusi elektrik müqaviməti germaniumun xüsusi elektrik müqavimətindən üç tərtib böyük olur.

Kimyəvi Elementlərin Dövrü Sistemindəki III və V qrup elementlərinin atomları silisiumda uyğun olaraq dayaz akseptor və donör, I, II və VII qrup elementlərinin atomları isə - dərin aşqar səviyyələri yaradır.

Böyük ölçülü inteqral mikrosxemlərin (BİS-lərin) hazırlanmasında polikristal silisiumdan istifadə olunur. Bu zaman silisium lövhəsinin səthi SiO_2 dielektrik təbəqəsi ilə örtülür və onun üzərinə polikristal silisium çökdürülür.

Yüksəkəmlü polikristal silisium təbəqəsi SiO_2 qatı ilə birlikdə inteqral mikrosxemlərin (İS-lərin) ayrı-ayrı elementləri arasında elektrik izolyasiyası yaratmaq üçün istifadə olunur.

Planar tranzistorların və inteqral mikrosxemlərin yaradılmasında silisium əsas material kimi istifadə olunur.

Silisiumdan düzləndirici, impuls və ifratyüksək tezlikli diodların, alçaq və yüksək tezlikli, kiçik güclü və güclü bipolyar tranzistorların, o cümlədən sahə tranzistorlarının hazırlanmasında istifadə olunur.

Optik şüalanmanın təsirinə çox qısa zaman müddətində (dərhəl) reaksiya verən (az ətalətli, cəld) fotohəssas diodların hazırlanmasında da silisiumdan istifadə olunur.

Silisium həm də şüalanma detektorlarının, Holl qeydedici-

lərinin və tenzoqeydedicilərin düzəldilməsi üçün keyfiyyətli yarımkeçirici materialdır.

Silisiyumun qadağan olunmuş zonasının eni böyük olduğundan, bu yarımkeçirici əsasında düzəldilmiş cihazların işçi temperaturu daha yüksək olub, $180-200^{\circ}\text{C}$ ətrafındadır.

Karbidlər karbonun digər elementlərlə birləşmələridir. *Silisiyum karbid* karbonun yeganə binar birləşməsidir ki, yarımkeçirici xassəsinə malikdir. Bu birləşmə *karborund* adlanır. Karborund kristalları heksaqonal quruluşa malik olub, təmiz halda rəngsizdir. Lakin ona aşqar daxil edildikdə açıq sarı, yaxud da yaşıl rəngdə olur. Karborundun heksaqonal modifikasiyalı kristal quruluşda atomların düzülüşü ilə fərqlənir. Karborundun (*SiC*) iki modifikasiyası: α -*SiC* və β -*SiC* mövcuddur. α -*SiC* modifikasiyası bir layda eyni tip atomların müxtəlif istiqamətdə düzülüşü ilə fərqlənən politiplərdən ibarətdir. *SiC* birləşməsi 100-dən artıq politipə malikdir.

Karborund ən bərk materiallardan biridir. O, 1400°C -ə kimi oksidləşmir, otaq temperaturunda turşularda həll olmur, yalnız qızdırıldıqda qələvi ərintilərinə həll olur. Bu maddə *ortofosfat turşusunun* və ($\text{HNO}_3 + \text{HF}$) qarışığının təsirini hiss edir.

SiC-in elektrik keçiriciliyinin xüsusiyyətləri ona daxil edilmiş aşqarın növündən və *SiC* birləşməsinin stexiometrik tərkibdən kənara çıxmasından asılıdır. *SiC*-in tərkibində stexiometrik tərkibdən artıq miqdarda *Si* atomları olduqda n -, stexiometrik tərkibdən artıq miqdarda *C* atomları olduqda isə p -tip keçiriciliyə malik olur. *SiC*-ə aşqar kimi Kimyəvi Elementlərin Dövrü Sisteminin *V* qrupunun elementləri (*fosfor*, *mərgümüş*, *sürmə*, *bismut*) daxil olduqda yaşıl rəng almaqla yanaşı, həm də n -tip keçiriciliyə malik olur; aşqar kimi *II* (*Ca*, *Mg*) və *III* (*B*, *Al*, *Ga*, *In*) qrup elementləri daxil olduqda isə - keçiriciliyi p -tip, rəngi isə mavi və ya bənövşəyi olur. *Silisiyum karbiddə* məxsusi keçiricilik $\sim 1400^{\circ}\text{C}$ -dən yüksək temperaturlarda baş verir.

Bu birləşmənin daha çox nəzərə çarpan xüsusiyyəti optik

spektrin görünən oblastında onun lüminessensiya xassəsinə malik olmasıdır.

Silisiyum karbiddən aqressiv kimyəvi mühitdə işləyə bilən və böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edən güclü düzləndirici diodların, yüksəktemperaturlu tenzorezistorların, yüksək enerjili elementar zərrəcikləri qeyd edən qurğuların düzəldilməsində istifadə olunur. Bundan əlavə, *SiC*-dən həm də yaxşı tezlik xarakteristikasına malik sahə tranzistorları, ifratyüksək tezlikli diodlar, termistorlar hazırlanır. Qadağan olunmuş zonasının eninin böyük olması, bu cihazların əksəriyyətinin işçi temperatur diapazonunun yuxarı sərhədini 500°C -ə çatdırmağa imkan verir.

A^{III}B^V birləşmələri tipli yarımkeçiricilər Kimyəvi Elementlərin Dövrü Sisteminin *III* qrupuna daxil olan alüminium, qalium və indiumun, *V* qrupun elementlərindən sürmə, mərgümüş və fosforla birləşməsindən alınır. Nitridlərdən fərqli olaraq, *A^{III}B^V birləşmələrinin* hamısı sfalerit tip qəfəs quruluşunda kristallaşır.

GaAs, *GaSb* və *InSb* əsasında tunel diodları, yüksək temperaturlu düzləndiricilər və tranzistorlar da düzəldilir.

Oksid yarımkeçiricilər keçid metallarının yarımkeçirici xüsusiyyətinə malik olan bəzi oksidləridir. Belə yarımkeçiricilərə *mis*, *sink*, *kadmium*, *titan*, *molibden*, *volfram*, *uran*, *manqan* və *nikel oksidləri* aiddir.

İon rabitəli qəfəs quruluşuna malik olan yarımkeçirici *Cu₂O* təbəqəsi mis lövhə üzərində yüksək temperaturda alınır. Bu təbəqə tünd qırmızı moruq rəngində olub, dəşik keçiriciliyinə malikdir. Mis oksidinin ərimə temperaturu 1230°C , qadağan olunmuş zonasının eni isə 1.56 eV -dur. *Cu₂O*-də əsas yükdaşıyıcıları olan sərbəst deşiklərin yürüklüyü $80\text{ sm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ -yə, xüsusi elektrik keçiriciliyi isə alınma texnologiyasından və tərkibindəki aşqarlardan asılı olaraq, $10^{-6}\text{ Om}^{-1}\cdot\text{sm}^{-1}$ -ə çatır.

Mis lövhə üzərindəki *Cu₂O* təbəqəsini oksidləşdirici

mühitdə termik aşılamaqla onun əsasında elektron-deşik keçidi (p - n keçid) yaratmaq olur.

Yarımkeçirici xassəli *manqan-oksidi* tetraqonal kristal qəfəs quruluşuna malikdir. Bu yarımkeçiricinin ərimə temperaturu 1700°C , qadağan olunmuş zonasının eni isə 1.25 eV-dir.

Şüşəvari yarımkeçiricilər də kristal yarımkeçiricilər kimi zona quruluşuna malikdir. Lakin bu yarımkeçiricilərdə kristal quruluşun pozulması valent və keçirici zonaların genişlənməsinə, qadağan olunmuş zonasının eninin isə kiçilməsinə səbəb olur. Adi şüşələr ion keçiriciliyinə malik olduğu halda, yarımkeçirici şüşələr elektron keçiriciliyinə malikdir. Belə yarımkeçirici materiallara aşqarların daxil edilməsi kristallardan fərqli nəticələrə gətirir.

Metal oksidi və ərintiləri tipli şüşəvari yarımkeçiricilərlə yanaşı, *oksigeniz şüşəvari yarımkeçirici birləşmələr* də mövcuddur. Belə birləşmələrdə kükürd, selen və tellur iştirak etdiyindən onlar *halkogenid şüşələr* adlanır.

Oksigenli şüşəvari yarımkeçiricilərə misal olaraq *vanadium-fosfat* ($\text{V}_2\text{O}_5\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Me}_x\text{O}_y$) tipli yarımkeçirici şüşələri göstərmək olar. Burada metal *Me* - göstəricisi olub, *kadmium*, *sink*, *sürmə*, *kobalt* və s. ola bilər. *Vanadium-fosfat* şüşəsi spektrin görünən oblastında qeyri-şəffaf olduğu halda, infraqırmızı şüalar ($2 \div 5$ *mkm*) üçün şəffafdır. Onun xüsusi elektrik keçiriciliyi $10^{-12} \div 10^{-5} \text{Om}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$ intervalında dəyişir. Tərkibində 80% V_2O_5 , 20% P_2O_5 olan şüşə, deşik keçiriciliyinə malik olduğu halda, ona 20% *sürmə-oksidi* əlavə edildikdə n -tip keçirici olur. Bu materialda elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı eksponensial xarakterlidir. Halkogenid şüşələrin yumşalma temperaturu $200\text{-}450^{\circ}\text{C}$ aralığındadır. Bu növ şüşə birləşmələrinin tərkibində *Ge* komponenti olduqda, yumşalma temperaturu 550°C -ə çatır. Belə şüşələr dalğa uzunluğu $1\text{-}17$ *mkm* olan infraqırmızı şüalar üçün şəffafdır və onların qadağan olunmuş zonasının eni kifayət qədər böyükdür (Məsələn, *SeAs* – 1.7eV ,

SeGe – 2.2 eV).

Şüşələrdə sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyü kiçikdir ($10^{-8} \text{ sm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ tərtibindədir). Bu tip şüşələrin xüsusi elektrik keçiriciliyi $10^{-14} \text{ Om}^{-1}\cdot\text{sm}^{-1}$ və daha kiçik olur. Onların yüksək tezliklərdəki dielektrik nüfuzluğu isə kifayət qədər böyükdür ($9.5\cdot 10^9 \text{ Hz}$ tezliklərdə 7.5-10.0 təşkil edir). Bu xüsusiyyətlər və dielektrik itkisinin kiçik olması ($\text{tg}\delta < 6\cdot 10^{-4}$) həmin materiallardan uyğun kondensatorların hazırlanmasında istifadə etməyə imkan verir. Lazımı şəffaflıq spektrinə və yüksək fətohəssaslığa malik olması, bu materiallardan televizor ekranlarının düzəldilməsində geniş istifadə etməyə imkan yaradır.

Üzvi yarımkeçiricilərə elə kimyəvi birləşmələr aiddir ki, onlarda elektrik keçiriciliyi sərbəst ionlar deyil, sərbəst elektron və deşiklər hesabına yaranır. Bu birləşmələrin xüsusi elektrik keçiriciliyi $10^{-16} \div 10^{-1} \text{ Om}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ aralığında dəyişir və temperaturun yüksəlməsi ilə artır. Bundan əlavə, yarımkeçiricilərə xas olan Holl və fotoeffekt hadisələri də üzvi yarımkeçiricilərdə müşahidə olunur. Üzvi yarımkeçiricilərin qeyri-üzvi yarımkeçiricilərdən əsas fərqli cəhətlərindən biri, onlarda sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyünün bir neçə tərtib kiçik olmasıdır.

Polimer yarımkeçiricilərdə əlaqəli zəncirlərin uzunluğu böyüdükcə, elektrik keçiriciliyi artır. Bir-biri ilə rəbitədə olan molekullarda elektronların sayı N - olarsa, aktivləşmə enerjisi

$$E_{ak} = \frac{h^2}{8m^*l} \frac{N+1}{N^2} \quad (7.18)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada l – molekulların əmələ gətirdiyi zəncivari hədqələrin uzunluğudur.

Temperaturun yüksəlməsi ilə elektrik keçiriciliyi

$$\sigma_T = \sigma_0 e^{-\frac{E_{ak}}{KT}} \quad (7.19)$$

qanunu ilə artır. Bu ifadədəki E_{ak} - aktivləşmə enerjisi müxtəlif materiallar üçün $0.02 \div 1.70 \text{ eV}$ intervalına uyğun gəlir.

Üzvi yarımkeçiricilərdə daxili və ventillə fotoeffekt hadisələri müşahidə olunur. Aromatik birləşmələrin metallarla kontaktını işıqlandırdıqda fotoe.h.q. yaranır. Bu növ materiallarda fotokeçirilik işığın intensivliyinin və temperaturun yüksəlməsi ilə artır və müəyyən spektral xarakteristikaya malikdir. Üzvi yarımkeçiriciyə oksigen daxil etməklə onun fotokeçiriciliyini tənzimləmək mümkündür.

Bərk üzvi yarımkeçiriciləri - molekulyar kristallar, molekulyar və metal-üzvi komplekslər, polimer yarımkeçiricilər və pigmentlər kimi qruplara ayırmaq olar.

Molekulyar kristallara çoxsilsiləli az molekullu aromatik birləşmələr daxildir. Azmolekullu yarımkeçiricilərin fərqləndirici xüsusiyyəti onların kristal və ikiqat rabitəli aromatik həlqəli sistemə malik olmasıdır. Belə birləşmələrə antrasen, naftalin, fenantren, perilen, koronen, violantron və s. daxildir. Bu sinfə daxil olan yarımkeçirici materiallar p-tip keçiriciliyə və $1\div 3$ eV tərtibində aktivləşmə enerjisində malikdir. Onlarda sərbəst yükdaşıyıcıların yürekliyi və xüsusi elektrik keçiriciliyi çox kiçikdir.

Molekulyar komplekslər çoxsilsiləli azmolekullu birləşmələrdir. Bu maddələrin əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onların tərkibindəki molekullar arasındakı əlaqə elektron qarşılıqlı təsiri ilə təyin olunur. Molekulyar komplekslər molekulyar kristallara nisbətən böyük elektrik keçiriciliyinə malikdir. Bu birləşmələrdə molekulların biri elektronu özünə birləşdirdiyi halda, ikincisi onu itirə bilər ki, bu da akseptor-donor tipli cütliyə uyğun gəlir. Bir molekuldan digərinə yükün verilməsi nəticəsində onların arasında ion rabitəsi yaranır. Donor xüsusiyyəti naftalinə, pirenə, perilenə, iolantrən aromatik birləşmələrə, akseptor xüsusiyyəti isə tetrasianetilenə, brom və yoda xasdır. Donor və akseptor molekulları arasındakı nisbət yarımkeçiricinin xassələrinə təsir edir. Molekulyar komplekslər öz quruluşlarına görə laylı və monolit (bütöv) olur.

Metal-üzvi komplekslər qrupuna mərkəzində metal atomu dayanan kiçikmolekullu yarımkeçirici maddələr daxildir.

Belə birləşmələrdə keçiriciliyin aktivləşmə enerjisi 1 eV tərtibindədir. Onlarda sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyü isə $10^2 \text{ sm}^2/\text{V}\cdot\text{san}$ -ə çata bilir, əsas sərbəst yükdaşıyıcıları dəşiklərdir və xüsusi elektirik keçiriciliyi $10^{-13} \div 10^{-9} \text{ Om}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$ aralığında qiymətlər alır. Metal-üzvi komplekslər polimerləşmə xüsusiyyətinə malikdir.

Polimer yarımkeçiricilərin kiçikmolekullu birləşmələrdən əsas fərqləndirici xüsusiyyəti onların uzun əlaqəli zəncirvari makromolekula və mürəkkəb kimyəvi quruluşa malik olmasıdır. Əlaqəli zəncirlərin uzunluğunun artması onların keçiriciliyinin böyüməsinə və aktivləşmə enerjisinin kiçilməsinə səbəb olur. Çoxsaylı polimer yarımkeçirici birləşmələr qrupuna *hetero- və metal silsiləli əsas zəncirlər, asılılıq əlaqəli sistemlər* və əlaqəli zəncirlərdə *aromatik nüvəli polimerlər* daxildir.

VIII FƏSİL

DİELEKTRİK MATERİALLAR

8.1. Dielektrlərin təsnifatı - passiv və aktiv dielektrlər

Elektron qurğu və cihazlarında yerinə yetirdikləri funksiyadan asılı olaraq, dielektrlər iki qrupa – elektroizolyator materiallarına (*passiv dielektrlərə*) və fiziki xassələri müxtəlif amillərin təsiri ilə idarə oluna bilən işçi dielektrik materiallara (*aktiv dielektrlərə*) ayrılır.

Elektroizolyator materialları elektron qurğularında müxtəlif qiymətə malik elektrik gərginliyi altında olan cərəyan daşıyıcı hissələrdə elektrik izolyasiyası təmin etmək üçün və kondensatorlarda köynəklərərası mühit kimi istifadə olunur. Passiv dielektrlərdən kondensatorlarda istifadə edilməsi, ilk növbədə tələb olunan tutumun alınmasına imkan verir.

Elektron texnikasında elektroizolyator və kondensator materialları kimi bir qayda olaraq *slyuda, keramika, şüşə, polistirol* və digər dielektrik materiallardan istifadə olunur. Elektroizolyasiya və kondensator materiallarına qoyulan tələblər bir-birindən fərqlənir. Belə ki, əgər elektroizolyator materiallarının *nisbi dielektrik nüfuzluğunun* kiçik, xüsusi muqavimətinin isə böyük olması tələb olunursa, kondensatorlarda istifadə edilən dielektrlərin nisbi dielektrik nüfuzluğunun böyük, dielektrik itkisinin isə kiçik olması tələb edilir.

Aktiv dielektrlər elə dielektrik materiallara deyilir ki, onların xassələrini müxtəlif xarici amillərin təsiri ilə idarə etmək və bu asılılıqdan istifadə etməklə elektronika üçün müəyyən funksional elementlər yaratmaq mümkün olsun.

Aktiv bərk dielektrik materiallar sırasına *seqneto-, pyezo- və piroelektrlər, elektretlər, kvant elektronikasının dielektrik işçi materialları, eləcə də qeyri-xətti optik xassəyə malik olan*

dielektriklər daxildir.

Tətbiq sahələrindən asılı olaraq passiv və aktiv dielektriklərə qoyulan tələblər bir-birindən fərqlənir. Passiv dielektriklərdən müxtəlif xarici amillərin təsiri ilə özlərinin fiziki xassələrinin dəyişməməsi tələb olunduğu halda, aktiv dielektriklər üçün müəyyən xarici amillərin təsiri zamanı özlərinin müəyyən fiziki xassələrini kəskin dəyişməsi əsas şərtidir.

Passiv dielektrik materiallar qrupuna *xətti polimerlər, kompozisiyalı tozlu plastmaslar və laylı plastiklər, elektroizolyasiya kompaundları, qeyri-üzvi şüşələr, sitallar və saxsı* aiddir.

Elektroizolyasiya materiallarının hazırlanmasında üzvi maddələrdən, o cümlədən polimerlərdən, daha doğrusu quruluş baxımından təkrarlanan monomerlərdən ibarət olan yüksək molekullu birləşmələrdən istifadə edilir.

Fəza quruluşundan asılı olaraq, *polimerlər xətti və həcmi* polimerlər qruplarına ayrılır. Zəncirvari ardıcıl təkrar olunan qruplardan ibarət olan makromolekullar xəttidir və bu halda molekulun uzunluğunun onun en kəsiyinə nisbəti 10^3 tərtibində olur.

Xətti polimerlər elastiki olub, əyilə bilir, eləcə də orta temperaturalarda yumşalır və əriyir. Bu səbəbdən də xətti polimerlər *termoelastik material* adlanır. Molekullararası qarşılıqlı təsirin kiçik olması nəticəsində bu materiallar şişir və həlledicilərdə həll olaraq yüksək özüllüklü maye əmələ gətirir. Bu xüsusiyyət isə, öz növbəsində həmin materiallardan nazik təbəqələrin və liflərin hazırlanmasına imkan verir.

Molekulları dipol momentinə malik olmayan polimerlər (*polietilen, polistirol və politetraftoretilen*) *qeyri-polyar polimerlər* adlanır.

Kiçik dielektrik itkisinə malik olduqlarından, qeyri-polyar polimerlərdən yüksək və ifratyüksək tezliklər elektronikasında; polietiləndən televiziya və radiotezliklərdə kəbellərin izolyasi-

yasında; polistirol və politetraftoretilenin nazik təbəqələrindən isə böyük elektrik tutumuna və müqavimətə malik termostabil yüksək tezlikli kondensatorların izolyasiyasında istifadə olunur.

Polietilen kimyəvi baxımdan dayanıqlı olduğundan, ondan yarımkeçiricilərin texnologiyasında köməkçi material kimi də istifadə edilir.

Ən geniş tətbiq tapmış aktiv dielektriklər *seqnetoelektriklər* və *pyezoelektriklər*dir.

Seqnetoelektriklər özlərinin unikal xassələrinə görə elektronikanın müxtəlif sahələrində daha geniş tətbiq tapmışdır. Bu materialda *domen* adlanan spontan polyarlaşmış irimiqyaslı obastlar mövcuddur və həmin domenlər xarici elektrik sahəsinin təsiri altında öz xaoslu yönəlmiş elektrik momentlərini nizamlı düzülüşlə əvəz edir.

Seqnetoelektriklərdə elektrik induksiya vektorunun (D) elektrik sahəsinin intensivliyindən (E) asılılığında histerezisin yaranması domenlərin istiqamətlənməsi ilə bağlı enerji itkisinə səbəb olur. Seqnetoelektriklərin dielektrik xassəsini müxtəlif işçi rejimlərdə xarakterizə etmək üçün *statik*, *reversiv* və *effektiv dielektrik nüfuzluğu* adlanan kəmiyyətlərdən istifadə olunur.

Statistik dielektrik nüfuzluğu

$$\varepsilon_{st} = \frac{D}{\varepsilon_0 E} = 1 + \frac{P}{\varepsilon_0 E} \approx \frac{P}{\varepsilon_0 E} \quad (8.1)$$

şəklində təyin olunur. Burada \vec{P} – dielektrikin polyarlaşma vektoru, ε_0 – isə elektrik sabitidir.

Dəyişən elektrik sahəsində və eyni zamanda sabit elektrik sahəsinin təsiri altında seqnetoelektrikin polyarlaşmasını xarakterizə edən kəmiyyətə *reversiv dielektrik nüfuzluğu* deyilir.

Effektiv dielektrik nüfuzluğu (və ya kondensatorun C_{eff} - tutumu) verilmiş U gərginliyində qeyri-xətti elementdən keçən ω – tezlikli qeyri-sinusoidal cərəyanın təsiredici qiyməti (I) ilə

$$\varepsilon_{ef} \approx C_{ef} = \frac{I}{\omega U} \quad (8.2)$$

ifadəsi əsasında təyin olunur.

Xarici elektrik sahəsi domenlərin elektrik momentlərinin istiqamətini dəyişdiyindən, güclü polyarlaşma effekti yaradır. Bu isə öz növbəsində, seqnetoelektrlərin dielektrik nüfuzluğunun çox böyük ($\varepsilon=10^5$) qiymət almasına səbəb olur.

Seqnetoelektrlərin domen quruluşu elektrik induksiya-sının (D) elektrik sahəsinin intensivliyindən (E) qeyti-xətti asılılığına səbəb olur.

Seqnetoelektrlərin özəl xüsusiyyətləri müəyyən temperatur diapazonunda müşahidə olunur. Həmin temperatur diapazonundan kənarında isə domen quruluşu dağılır və seqnetoelektrlər *paraelektrik halına* keçir. Bu keçidin baş verdiyi temperatur seqnetoelektrik *Küri temperaturu* ($T_{küri}$) adlanır. Həmin temperaturda spontan polyarlaşma itir və dielektrik nüfuzluğu özünün maksimal qiymətinə çatır, histerezisə uyğun itki yox olduğundan dielektrik itkisi kəskin azalır.

Seqnetoelektrik xassəsinə malik olan çoxlu sayda kimyəvi birləşmələr və bu birləşmələrin əsasında hazırlanmış bərk məhlullar mövcuddur.

Seqnetoelektrlərdən başlıca olaraq, böyük elektrik tutumlu, kiçik ölçülü, alçaqtezlikli kondensatorların hazırlanmasında istifadə edilir.

Pyzeoelektrlər də aktiv dielektrik materialların maraqlı və praktiki baxımdan əhəmiyyətli bir qrupudur. Onlar mexaniki gərginliyin təsiri ilə polyarlaşmaq, elektrik sahəsinin təsiri altında isə xətti ölçülərini dəyişmək xassəsinə malikdir. Bu hadisələr uyğun olaraq *pyzeoelektrik və tərs pyzeoelektrik effektlər* adlanır.

Pyzeoelektrik effekti zamanı dielektrik lövhənin qarşı üzlərində yaranan elektik yükü kristalın mexaniki gərilməsinə yaranan qüvvə ilə düz mütənasib olur:

$$Q = d \cdot F \quad (8.3)$$

Burada Q – dielektrik lövhənin səthində yaranan elektrik yükü, d -pyezomodul, F – həmin lövhəyə təsir edən dartıcı mexaniki qüvvədir. Pyezomodul ədədi qiymətcə dielektrikin səthində vahid təzyiqin yaratdığı yükə bərabərdir və onun qiyməti təqribən 10^{-16} Kl/N tərtibində olur.

Pyezoelektrik effekti dönən prosesdir.

Tərs pyezoelektrik effekti zamanı pyezoelektrikin nisbi deformatsiyası ($\frac{\Delta l}{l}$) ilə həmin deformatsiyanı yaradan elektrik sahəsinin intensivliyi (E) arasında

$$\frac{\Delta l}{l} = d \cdot E \quad (8.4)$$

şəklində asılılıq mövcuddur. Materialın pyezomodulunun qiyməti həm düzünə, həm də tərsinə pyezoelektrik effekt zamanı eyni qalır. Xarici elektrik sahəsinin istiqaməti dəyişdikdə nisbi deformatsiyanın da işarəsi dəyişir.

Pyezoelektrik və tərs pyezoelektrik effektlər həm eninə, həm də uzununa ola bilər. Effekt zamanı yaranan yük və ya mexaniki deformatsiya uyğun olaraq mexaniki gərginliyə və ya elektrik sahəsinə perpendikulyardırsa, effekt *eninə*, onlarla eyni istiqamətdədirsə - *uzununa* adlanır.

Pyezoelektrik effekt hadisəsi heteropolıyar kimyəvi rabitəyə malik maddələrdə müşahidə olunur. Buna görə də pyezoelektriklərə başlıca olaraq ion və güclü polıyar dielektriklər aiddir. Dielektriklərin quruluşunda simmetriya mərkəzi olmadıqda pyezoelektrik effekt müşahidə olunur. Əks halda deformatsiya mənfi və müsbət yüklərin simmetrik yerdəyişməsinə səbəb olur. Bu isə öz növbəsində elektrik momentlərinin yaranmasına gətirib çıxarır. Pyezoelektrik effektlər yüksək xüsusi müqavimətə malik dielektrik materiallarda müşahidə oluna bilər.

İndiyədək çoxlu sayda materiallarda, o cümlədən seqneto-elektriklərdə pyezoelektrik xüsusiyyəti müşahidə olunmuşdur. Bunların sırasında praktiki tətbiqinə görə kvars monokristalı xüsusi yer tutur. Kvarsın pyezomodulunun qiyməti $d_e=2.3 \cdot 10^{-12}$ KI/N -dir.

Kifayət qədər böyük qeyri-xətti polyarlaşmaya malik olan pyezoelektriklər gücləndiricilərin, modulyatorların, idarə olunan qurğuların, hesablama texnikası üçün yaddaş elementlərinin, lazer şüaları modulyatorları və çeviricilərinin, pyezoelektrik və piroelektrik çeviricilərinin hazırlanmasında istifadə edilir.

Metal elektrodlarla təchiz olunmuş müstəvi paralel kvars lövhə pyezoelektrik rezonator, başqa sözlə, rezonans tezlikli rəqs konturu rolunu oynaya bilər. Kvars rezonatorun əsas üstünlüyü onun $tg\delta$ - dielektrik itkisinin kiçik, mexaniki keyfiyyətinin isə yüksək olmasıdır. Belə rezonatorlarda rəqslər yarandıqda, o uzun müddət sönmür.

Litium-sulfatdan ($Li_2SO_4H_2O$), *seqnet* ($LiTaO_3$) duzlarından, *dihidrofosfat ammoniumdan*, *niobat* ($LiNbO_3$) və *tantalat litiumdan* da pyezoelektrik kimi istifadə olunur. $LiNbO_3$ və $LiTaO_3$ seqnoelektriklərində pyezoelektrik xassəsi yaratmaq üçün onları Küri temperaturundan aşağı temperaturalarda güclü elektrik sahəsində bişirmə üsulu ilə monodomen halına keçirmək lazımdır.

Pyezoelektrik material kimi seqnoelektrik keramikadan da geniş istifadə olunur. Polyarlaşmış *seqnetokeramikadan* pyezoelektrik çeviriciləri hazırlanır. Bu materiallar *pyezokeramika* adlanır.

Pyezokeramik materialları hazırlamaq üçün $PbZrO_3$ - $PbTiO_3$ -in bərk məhlulundan da istifadə olunur. Belə pyezokeramikadan hidroakustikada, defektoskopiyada, materialların mexaniki işlənməsində və güclü ultrasəs şüalanma mənbələrinin yaradılmasında istifadə olunur.

Temperaturdan asılı olaraq dielektriklərin spontan polyar-

laşması *piroelektrik effekt*, bu xassəyə malik dielektriklər (materiallar) isə *piroelektriklər* adlanır. Piroelektrik effekt kəmiyyətcə

$$-dP_{sp} = p \cdot dT \quad (8.5)$$

şəklində ifadə olunur. Burada P_{sp} – dielektrikin spontan polyarlaşması, p – isə *piroelektrik əmsalıdır*.

Spontan polyarlaşmanın (P_{sp}) dəyişməsi nəticəsində dielektrikin səthində sərbəst elektrik yüklərinin əmələ gəlməsi həmin dielektrikin daxil olduğu qapalı dövrdə elektrik cərəyanının yaranmasına səbəb olur. Həmin cərəyanın qiyməti

$$i = -S \frac{dP_{sp}}{dt} = S \vec{P} \frac{dT}{dt} \quad (8.6)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada S - piroelektrikin səthinin sahəsi, $\frac{dP_{sp}}{dt}$ - spontan polyarlaşmanın, $\frac{dT}{dt}$ - isə temperaturun dəyişmə sürətidir.

Piroelektrik materialların keyfiyyəti

$$R = \frac{\vec{P}}{\epsilon c} \quad (8.7)$$

şəklində təyin olunan gətirilmiş fiziki kəmiyyətlə xarakterizə edilir. Burada ϵ – materialın dielektrik nüfuzluğu, c - isə onun xüsusi istilik tutumudur. R -in qiyməti böyük olduqda piroelektrik effekti də güclü olur.

Turmalın (Li_2SO_4) və seqnetoelektrik materialların hamısı piroelektrik xassəsinə malikdir. Seqnetoelektriklərdə piroelektrik xassəsi onların monodomenləşmiş halında müşahidə olunur. Bu halda domenlərin hamısının spontan polyarlaşması eyni istiqamətə malik olur.

Seqnoelektriklərdə piroelektrik effektinin böyük olması onların əsasında istilik qeydedicilərinin, eləcə də infraqırmızı və ifratyüksək tezlikli şüalanma enerjisi qeydedicilərinin düzəldilməsinə imkan verir. Piroelektrik əmsalı özünün maksimal qiymətini Küri temperaturunda alır. Belə seqnetoelektrik materiallara misal olaraq, *niobat-barium stronsiumu* ($Sr_xBa_{1-x}O_6$)

göstərmək olar. Bu material üçün piroelektrik əmsalının qiyməti $(4 \div 28) \cdot 10^{-4} \text{ Kl/m}^2 \cdot \text{K}$ tərtibindədir.

Piroelektrik effekt bir sıra polimer materiallarda da müşahidə olunur.

8.2. Dielektriklərin polyarlaşması

Dielektriklərin əsas elektrik xassələri onların *elektrik keçiriciliyi, dielektrik itkisi, elektrik möhkəmliyidir*. Bu xassələr dielektrikin kristal quruluşundan və kimyəvi tərkibindən asılıdır.

Elektrik sahəsinin təsiri altında dielektriklərdə elektrik yüklərinin yerdəyişməsi və nizamlanması prosesinə *dielektriklərin elektrik polyarlaşması* deyilir.

Daxili elektrik sahəsinin intensivliyi ilə təyin olunan elektrik momenti *dielektriklərin molyar polyarlaşması* adlanır. Bu kəmiyyət

$$P_M = \frac{4\pi}{3} N\alpha \quad (8.8)$$

şəklində ifadə olunur. Burada α - molekulların polyarlaşma əmsalı, N - Avoqadro ədədidir. Dielektriklərdə polyarlaşmanın *elektron, ion, ion-dipol və elastiki dipol relaksasiyası, nüvə yerdəyişməsi, eləcə də quruluş, spontan və qalıq polyarlaşması* kimi növləri var.

Elektron polyarlaşması atom və ionlarda elektron örtüklərinin elastiklik hüdudu daxilində yerdəyişməsi və deformasiyası hesabına baş verir. Elektron polyarlaşmasında yerdəyişmə 10^{-8} sm tərtibində olur.

Klauzius–Mosoti tənliyinə görə dielektrikin elektron polyarlaşması ilə dielektrik nüfuzluğu arasında

$$P = \frac{(\varepsilon-1)M}{(\varepsilon+2)d} = \frac{4\pi}{3} n_0 \alpha_e \frac{M}{d} = \frac{4\pi}{3} N \alpha_e \quad (8.9)$$

şəklində əlaqə mövcuddur. Burada ε - maddənin dielektrik nüfuzluğu; n_0 - atom, molekul və ionların konsentrasiyası; α_e -

vahid həcmdəki elektron polyarlaşması; M - molekulyar çəki; d - materialın sıxlığıdır.

Elektron polyarlaşmasının baş vermə müddəti 10^{-15} san-
dır.

İon polyarlaşması elastiki rabitədə olan ionların yerdə-
yişməsi nəticəsində baş verir. Bu növ polyarlaşma ani olaraq
(10^{-13} san ərzində) əmələ gəlir və geniş diapazonda (infra-
qırmızı oblasta qədər) tezlikdən asılı deyil. İon polyarlaşması

$$\alpha_i = \frac{2q^2}{v} \quad (8.10)$$

ifadəsi ilə təyin olunan α_i - kəmiyyəti ilə xarakterizə edilir.
Burada q - ionun yükü, v - isə ionlar arasındakı elastiki rabitə
əmsalıdır.

İon rabitəli binar kristalların dielektrik nüfuzluğunu
hesablamaq üçün Born düsturundan:

$$\varepsilon = n^2 + 4\pi \frac{q^2 d N^2}{\omega^2 M_1 M_2} \quad (8.11)$$

istifadə olunur. Burada n - materialın optik sındırma əmsalı;
 M_1 , M_2 - onu təşkil edən komponentlərin atom kütləsi; ω -
dairəvi məxsusi tezlik; d - dielektrikin sıxlığıdır. İon rabitəli
kristalların dielektrik nüfuzluğunun temperatur əmsalı müsbət
kəmiyyətdir.

İon-relaksasiya polyarlaşmasında öz kristalları ilə zəif ra-
bitədə olan ionlar istilik hərəkəti nəticəsində xarici elektrik sa-
həsinə daxil olaraq, elastiki yerdəyişməyə nisbətən daha böyük
məsafəyə sürüşə bilər.

Zəif rabitəli ionlar istilik hərəkəti nəticəsində xarici elek-
trik sahəsinin təsiri altında yerlərini dəyişərək, həcmdə yüklərin
paylanması asimetriya yaradır. Bu da öz növbəsində
vahid həcmdə sıfırdan fərqli yekun elektrik momentlərinin
yaranmasına səbəb olur. Elektrik sahəsinin təsirini kəsdikdən
sonra ion-relaksasiya polyarlaşması tədricən aradan qalxır.
Yüksək tezliklərdə bu növ polyarlaşma baş vermir.

Dipol-relaksasiya polyarlaşması xarici elektrik sahəsində

dielektriki təşkil edən dipolların xarici sahə olmayan haldakına nəzərən dönməsi və istiqamətli düzülüşü ilə əlaqədar olub, molekulların istilik hərəkətindən asılıdır. Xarici elektrik sahəsinin təsiri kəsildikdə bu növ polyarlaşma molekulların istilik hərəkəti nəticəsində aradan qalxır.

Dipol-relaksasiya polyarlaşmasının başvermə müddəti 10^{-10} ÷ 10^{-12} san aralığında dəyişir. Bu tip polyarlaşma temperaturun yüksəlməsi və özlülüynü kiçilməsi ilə əvvəlcə artaraq, müəyyən maksimum qiymətə çatır, sonra isə azalır.

Dipol-relaksasiya polyarlaşması xarici elektrik sahəsinin tezliyindən asılıdır və tezliyin kiçilməsi ilə asimptotik qaydada elektron polyarlaşmasına yaxınlaşır.

Elektron-relaksasiya polyarlaşması istilik enerjisi ilə həyəcanlaşdırılmış elektronların məhdud yerdəyişməsi ilə əlaqədarlıdır. Bu polyarlaşma elektron keçiriciliyinə malik dielektriklərdə (məsələn, *niobium, kalsium və bariumla* aşqarlanmış *titan oksidində*) özünü göstərir.

Elastik-dipol polyarlaşması bəzi kristallarda bir nöqtədə fiksə olunmuş dipol molekulların xarici elektrik sahəsinin təsiri altında çox kiçik bucaq altında dönməsi hesabına baş verir. Ona görə də bu tip polyarlaşmanın qiyməti böyük olmur.

Nüvə yerdəyişməsi polyarlaşması xarici elektrik sahəsinin təsiri altında atom və molekullarda nüvənin yerdəyişməsi nəticəsində yaranır. Bu tip polyarlaşma ani (10^{-13} san müddətində) olaraq baş verir. Elektron polyarlaşması kimi, xarici elektrik sahəsində nüvə yerdəyişmə polyarlaşması da elektrik sahəsinin tezliyindən və temperaturdan demək olar ki, asılı deyil.

Quruluş polyarlaşması dielektrikin müxtəlif keçiriciliyə malik laylara malik olması və materialda həcmi yüklərin yaranması ilə əlaqədardır. Belə polyarlaşma özünü yüksək gərginliklərdə və laylı quruluşlu bərk cisimlərdə göstərir. Belə materiallara *getinaksi, tekstoliti və mikaniti* misal göstərmək olar. Quruluş polyarlaşması çox kiçik sürətlə baş verir.

Spontan polyarlaşma xarici elektrik sahəsi olmadıqda da baş verir və elektrik sahəsinin intensivliyindən qeyri-xətti asılı olur. O, temperaturdan asılıdır və müəyyən temperaturda öz maksimum qiymətini alır. Belə polyarlaşma kristal quruluşa malik dielektrlərə xasdır. Bu dielektrlərdə polyarlaşmış oblastlar (domenlər) mövcuddur və onların qiyməti Küri temperaturuna qədər temperaturdan kəskin asılıdır. Küri temperaturunda ən böyük polyarlaşma təmin olunur və dielektrik nüfuzluğu öz maksimum qiymətini alır. Daha yüksək temperaturlarda domenlərdə quruluş dəyişməsi baş verdiyindən spontan polyarlaşma aradan qalxır. Bu növ polyarlaşma kiçik sürətlə yaranır və buna görə də elektrik sahəsinin yüksək tezliklərində özünü biruzə vermir. Spontan polyarlaşma prosesi histerezis xassəsinə malikdir və seqnetoelektrlərə xas olan xüsusiyyətdir.

Qalıq polyarlaşması xarici elektrik sahənin təsiri kəsildikdən sonra dielektrlərdə qalan polyarlaşmadır. Bu xassə yalnız bəzi dielektrlərə xasdır. Bu növ dielektrlər (*elektretlər*) öz ətrafında elektrik sahəsi yaradır və bu sahənin divergensiyası sıfıra bərabər deyil. Elektretlərdən gərginlik mənbəyi kimi istifadə oluna bilər. Bu materiallarda elektrik polyarlaşması aylar və illər ərzində saxlanıla bilər.

8.3. Dielektrlərin elektrik keçiriciliyi və dielektrik itkisi

Dielektrlərin elektrik keçiriciliyinin *elektron, ion və molion keçiriciliyi* kimi üç növü var.

Elektron keçiriciliyi xarici elektrik sahəsinin təsiri altında dielektrlərdə sərbəst elektronların yerdəyişməsi ilə əlaqədardır. Belə keçiricilik bir sıra metal oksidlərində, metalların kükürlə birləşmələrində müşahidə olunur. Dielektrlərdəki elektron keçiriciliyi zamanı maddə daşınması hadisəsi baş vermir.

Bərk dielektrlərdə elektrik keçiriciliyi həm maddənin öz ionlarının, həm də tərkibindəki aşqar ionlarının hesabına da baş verə bilər. Bu halda elektrik yükü ilə yanaşı, maddə də daşır. Dielektrlərdə ion keçiriciliyi zamanı aşağı temperaturlarda elektrik keçiriciliyi materialın özünün yalnız zəif rəbitədə olan ionlarının və aşqar ionlarının, yüksək temperaturlarda isə - kristal qəfəsin bütün ionlarının iştirakı ilə yaranır. Bərk dielektrlərdə elektrik keçiriciliyinin mexanizmi sərbəst yükdaşıyıcıların aktivləşmə enerjisi ilə təyin olunur və maye dielektrlərdə olduğu kimi, xüsusi elektrik keçiriciliyi:

$$\sigma = nq\mu \quad (8.12)$$

Burada n – dielektrikdəki sərbəst ionların konsentrasiyası, q - ionun elektrik yükü, μ - sərbəst ionun yürüklüyüdür. İon rəbitəli kristal dielektrlərdə elektrik keçiriciliyinin qiyməti ionların valentliyi ilə təyin olunur.

Kristalların baş oxu üzrə elektrik keçiriciliyi, həmin oxla perpendikulyar istiqamətdəki keçiriciliyin qiymətindən böyük olur. Kvarsda həmin kəmiyyətlərin nisbəti 1000-ə çatır. Bu xassə *dielektrik kristalın anizotropluğu* ilə izah olunur.

Amorf dielektrlərdə cərəyanın sıxlığı (j) ilə onu yaradan xarici elektrik sahəsinin intensivliyi (E) arasındakı mütənəsbilik ($j \sim E$ asılılığı) intensivliyin 10^4 - 10^5 $V \cdot sm^{-1}$ qiymətlərinə qədər davam edir. Sahənin intensivliyi bu limit qiymətlərindən böyük olduqda, σ ilə E arasındakı asılılıq

$$\sigma = \sigma_0 e^{\beta E} \quad (8.13)$$

qanununa tabe olur və $j \sim E$ asılılığı pozulur. Burada σ_0 – dielektrikin zəif elektrik sahəsindəki xüsusi elektrik keçiriciliyi; β - isə materialı xarakterizə edən əmsaldır. Bərk cisimlərdə həcmdəki xüsusi elektrik müqavimətinin temperaturdan asılılığı

$$\rho = B e^{\frac{b}{T}} \quad \text{və ya} \quad \rho = \rho_0 e^{-\alpha T} \quad (8.14)$$

şəklində ifadə olunur. Bu ifadələrdə B və b - materiala xas olan

əmsallar, α - elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı, ρ_0 - isə baxılan dielektrikin θ^0C -dəki xüsusi elektrik müqavimətdir. Bərk dielektriklər üçün b -nin qiyməti 10000-22000 aralığında dəyişir.

Dielektriklərdə elektrik cərəyanının gücünün dielektrikdəki elektrik sahəsinə və ya istiliyə çevrilməsinə *dielektrik itkisi* deyilir. Dielektrik itkisi sızma və s. hadisələr nəticəsində baş verə bilər.

Tam dielektrik itkisi

$$P = U^2 \omega C t g \delta; \quad t g \delta = \frac{I_a}{I_r} = \frac{I}{Q} \quad (8.15.)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Bu ifadədə ω –dəyişən cərəyanın tezliyi, C –kondesatorun tutumu, I_a - aktiv cərəyan, I_r - reaktiv cərəyan; Q - isə keyfiyyətlik əmsalıdır.

8.4. Şüşələr və keramikalar

Şüşə qeyri-üzvi *kvaziamorf* bərk maddədir. Kimyəvi tərkiblərinə görə şüşələr *elementar, halkogenid və oksid şüşələr* qrupuna ayrılır. Dielektrik xüsusiyyətinə yalnız oksid şüşələr malikdir. Şüşə əmələgətirən oksidlər qrupuna SiO_2 , B_2O_3 , GeO_2 , P_2O daxildir. Elektron texnikasında daha çox istifadə edilən şüşə SiO_2 əsasında yaradılmış *silikat şüşələr*dir. Şüşələrə müəyyən fiziki xassələr vermək üçün, bir qayda olaraq onların tərkibinə müxtəlif metalların oksidləri daxil edilir.

Şüşə hazırlamaq üçün xammal kimi *kvars tozu* – *qum* (SiO_2), *soda* (Na_2CO), *potaş* (K_2CO), *əhəng* ($CaCO_3$), *dolomit* ($CaCO_3 \cdot MgCO_3$), *natrium sulfat* (Na_2SO_4), *boraks* ($Na_2B_4O_7$), *sülügən* (Ph_3O_4), *çöl şpatı* ($Al_2O_3 \cdot 6SiO_3 \cdot K_2O$) və s.-dən ibarət qarışıq götürülür.

Texniki tətbiqinə görə şüşələrin *elektrovakuum şüşələri*, *izolyator şüşələri*, *rəngli şüşələr*, *lazer şüşələri*, *işıq ötürücülərində istifadə olunan şüşələr* kimi müxtəlif növləri var.

Elektrovakuum şüşələrinin tətbiq sahəsinin təyinedici parametri, onların istidən xətti genişlənməsinin temperatur əmsalıdır. Bu parametr həmin şüşələrin elektrodalara və metal özüllərə (gövdələrə) lehimlənməsində həlledici rol oynayır. Bu zaman hər bir elektrovakuum şüşəsinin xətti genişlənmə əmsalı (α_1) həmin şüşənin lehimləndiyi metalın xətti genişlənmə əmsalı (α_2) ilə eyni olmalıdır.

Yüksək tezlikli cihazlarda çox kiçik dielektrik itkisinə malik olan şüşələrdən istifadə olunur.

Kimyevi tərkiblərinə görə isə şüşələr *bor-silikat* ($B_2O_3+SiO_2$) və *alüminium-silikat* ($Al_2O_3+SiO_2$) şüşələrə ayrılır. Bu şüşələrə qələvi oksidləri əlavə edilir.

İzolyator kimi istifadə olunan şüşələr tez metallaşır və onlardan bir qayda olaraq müxtəlif cihazların (məsələn, diodların, tranzistorların və kondensatorların) metal çıxışlarını hermetikləşdirmək üçün istifadə olunur. Şüşələr bərk cisim lazerlərində işçi (aktiv) maddə kimi də tətbiq edilir.

Saxsı dielektrik materiallar yüksək dərəcədə istiliyə davamlı olmaqla yanaşı, həm də nəmliyi özündə saxlamaq qabiliyyətinə, yüksək elektrik xassələrinə və möhkəmliyə malikdir. Onlar yüksək enerjili şüalanmanın (radiasiya şüalanmasının) təsiri ilə öz xassələrini itirmir.

Keramik materiallar bir neçə fazadan ibarət ola bilsələr də, onların əsas fazası *şüşəvari kristal fazadır*. Belə kristal fazanı müxtəlif kimyevi birləşmələr və onların bərk məhlulları əmələ gətirir. Keramik materialların əsas parametrləri və xüsusiyyətləri onların dielektrik nüfuzluğu, dielektrik itkisi, istidən xətti genişlənmənin temperatur əmsalı, mexaniki möhkəmlik və bu parametrlərin kristal fazanın xüsusiyyətlərindən asılılığıdır. Şüşəvari faza nazik şüşə təbəqə olub, kristal faza ilə əlaqələnir.

Keramikalarda özlərinin tətbiq sahələrinə və elektrik xassələrinə görə *aşağı və yüksək tezlik materialları (keramikaları)*

olurlar.

Aşağı tezlik keramikalarına misal olaraq, farforu göstərmək olar. *Farforun* daha təkmilləşdirilmiş variantı *ultrafarfordur*. Ultrafarfor yüksək tezlikli dielektrikdir. O, yüksək mexaniki möhkəmliyə və kiçik dielektrik itkisinə malikdir.

Tərkibində təqribən 95-99% torpaq-gil olan korunddan ibarət keramika *alüminium oksidli keramika* adlanır. Bu material 1600⁰C-də çox kiçik dielektrik itkisinə malikdir. Alüminium oksidin xüsusi istilikkeçiriciliyi izolyasiya farforunun-
kundan 10-20 dəfə böyükdür.

8.5. Plastmaslar, plastiklər və getinaks

İsti pressləmə və ya təzyiqliq altında tökmə üsulu ilə müxtəlif kompozisiyalı tozlu plastmas məmulatlar hazırlanır. Belə plastmasların hazırlanmasında *əlaqələndirici maddələrdən* və *aşqarlardan* istifadə olunur. Əlaqələndirici material olaraq həcmi və xətti polimerlərdən, aşqar qismində isə adətən ağac unu, pambıq tullantısı, kvars tozu, asbest və ya şüşə liflərindən istifadə edilir. Alınmış kütləyə müxtəlif rənglər vermək üçün boya materiallarından, onun texnoloji keyfiyyətini yüksəltmək üçün isə - plastifikatorlardan istifadə edilir.

Aşqarlar plastmasın mexaniki xarakteristikasının, keyfiyyətinin və elektrik xassələrinin tənzimlənməsinə imkan verir.

Kompozisiyalı plastmastların növlərindən biri də laylı quruluşa malik olan plastik lövhələrdir. Bu halda doldurucu material kimi vərəq formasına malik olan lifli materiallardan istifadə edilir. *Laylı plastiklərə* misal olaraq *getinaksı* və *teks-toliti* göstərmək olar.

Getinaks fenol-formaldehid və digər qətran maddələri hopdurulmuş kağız laylarını isti pressləmə üsulu ilə alınır. İstehsalat məqsədləri üçün möhkəm və istiyədavamlı formaldehid qətranının sulu suspenziyası hopdurulmuş kağızlardan istifadə olunur.

Getinaks güclü polyar dielektriklər qrupuna daxildir. Laylara perpendikulyar istiqamətdə onun elektrik davamlılığı $30 MV/m$, dielektrik nüfuzluğu $\varepsilon = 6 \div 7$ tərtibində, $10^6 Hz$ tezlikdə dielektrik itkisi isə $0.04 \div 0.08$ aralığında olur.

Tekstolit də getinaks kimi plastiki materialdır. Onun hazırlanmasında qətran hopdurulmuş pambıq-kağız parçalardan istifadə edilir.

8.6. Kompaundlar

Qətran, bitum, efir, sellüloza və digər maddələrin qarışığından ibarət olan materiala *kompaund* deyilir. Belə kompaundlar bəzən *termokompaundlar* da adlanır.

Termoplastik və termoreaktiv kompaundlar da mövcuddur.

Termoplastik kompaundlar qızdırıldıqda müəyyən temperaturda əriyir, soyudulduqda isə bərkiyir. Bu tip kompaundlara misal olaraq *bitum kompaundunu* göstərmək olar.

Termoreaktiv kompaundlar kimyəvi reaksiya zamanı maye halında alınır və sonradan bərkiyir. Bu kompaundlar təkrar olaraq bərk haldan maye halına keçmir. Detal və cihazları belə termoreaktiv kompaundla izolə etdikdə, sonradan onları təmir etmək mümkün olmur.

Bir sıra *epoksid kompaundlar* optik spektrin yaxın infraqırmızı oblastlarında bircins və şəffafdır. Bu səbəbdən də onlardan şüanın işıq mənbələrindən (məsələn, işıq diodlarından) ətraf (kənar) mühitə çıxarılmasında əlaqələndirici maddə kimi istifadə edilir.

8.7. Elektretlər

Elektretlər xarici elektrik sahəsinin təsiri kəsildikdən sonra polyarlaşmış halını uzun müddət saxlamaqla yanaşı, həm də ətraf mühitdə elektrik sahəsi yaradan dielektriklərdir. Elektret

yaratmaq üçün müxtəlif texnoloji üsullar mövcud olsa da, bunların hamısının əsasında dielektriki müəyyən müddət ərzində güclü xarici elektrik sahəsində saxlamaq durur. Elektretlərin *termoelektret*, *fotoelektret*, *elektroelektret*, *psevdoelektret* və *mexanoelektret* kimi müxtəlif növləri mövcuddur.

Qızdırılmış dielektriki güclü elektrik sahəsində soyutmaq yolu ilə alınan elektretə *termoelektret* deyilir.

Fotokeçiriciliyə malik bəzi materialları (*S*, *CdS*, *ZnS* və s.) işıqın təsiri altında olmaqla güclü xarici elektrik sahəsində yerləşdirdikdə *fotoelektret* əldə edilir. Fotoelektretlər işıqın təsiri ilə onlarda yaranmış elektrik yükünü qaranlıqda uzun müddət özündə saxlamaq xassəsinə malikdir.

Otaq temperaturunda yalnız elektrik sahəsinin təsiri altında elektret xassəsi əldə edən materiallara *elektroelektretlər* deyilir.

Elektrik sahəsi olmadıqda belə, radioaktiv şüalanmanın təsiri altında səthində elektrik yükü əmələ gələn elektretlər *psevdoelektretlər*, deformasiya nəticəsində elektret xassəsi əldə edən polimerlər isə *mexanoelektretlər* adlanır.

Elektretin səthində polyarlaşdırıcı elektrodun işarəsinə uyğun yük əmələ gəldikdə, belə elektret *homoyüklü*, əks işarətli yük əmələ gəldikdə isə - *heteroyüklü elektret* adlanır.

Təcrübələr göstərir ki, homoyüklü elektretin səthində yaranmış elektrik yükləri, heteroyüklü elektretdəkinə nisbətən daha uzun müddət saxlanılır. Müxtəlif elektretlərin səthində yaranan yüklərin sıxlığı $10^{-6} \div 10^{-4} \text{ Kl/m}^2$ intervalında dəyişir.

Polyarlaşdırıcı sahənin $E_p < 0,5 \frac{mV}{m}$ qiymətlərində heteroyük,

$E_p > 1 \frac{mV}{m}$ qiymətlərində isə - homoyük yaranır.

Üzvi polyar elektretlərdə heteroyüklər, qeyri-üzvi materiallarda isə homoyüklər əmələ gəlir. Homoyüklər elektretin yalnız səthində, heteroyüklər isə - bütün həcmində yaranır.

Elektretlərin yaşama müddəti on illər boyu davam edə bilər. Bu müddətin qiyməti temperaturdan və rütubətdən asılı olaraq azalır.

Hazırda praktikada geniş tətbiq olunan elektretlər *politetraftoretilen*, *polietilentereftalat*, *polikarbonat* və *polimetilmetakrilat* polimer nazik lövhələr əsasında hazırlanır.

IX FƏSİL

MAQNİT MATERIALLAR

9.1 Maqnit materiallar - təsnifatı və əsas parametrləri

Elektron sistem və qurğularında istifadə olunan maqnit materialları *yumşaq və sərt maqnetiklər* olmaqla, iki növə ayrılır.

Kiçik *koersitiv qüvvəyə*, lakin yüksək maqnit nüfuzluğuna malik olan maqnit materiallar *yumşaq maqnit materialları* adlanır. Bu maddələr zəif maqnit sahəsində doyma halına qədər maqnitlənmə xüsusiyyətinə, dar histerezis ilgəyinə və kiçik *maqnitlənmə itkisinə* malikdir. Yumşaq maqnit materiallarından müxtəlif maqnit naqillərinin, eləcə də transformatorlarda, drossellərdə, elektromaqnitlərdə içliklərin düzəldilməsində istifadə olunur. Yumşaq maqnit materialları üçün koersitiv qüvvə $800A/m$ -dən kiçik olmalıdır. Yumşaq maqnit materiallara qoyulan əsas tələb onların xassələrinin zamana görə sabit qalması ilə yanaşı, həm də temperatur və mexaniki gərginliyə qarşı davamlı olmasıdır.

Əksər maqnit materiallarının əsas komponenti dəmirdir. Dəmir tipik yumşaq maqnit materialıdır. Bu maddənin maqnit xassələri onda aşqarların həllolma dərəcəsindən, kristal quruluşdan, kristal dənəciklərin ölçülərindən və mexaniki gərginliyin mövcudluğundan asılıdır.

Maqnit materiallardan elektron sistemlərində geniş istifadə olunması, daima müxtəlif xüsusiyyətlərə malik yeni maqnit materialların alınmasını tələb edir. Bu səbəbdən də *nanoquruluşlu həcmi maqnit materialların* alınması böyük uğur sayıla bilər. Həcmi nanoquruluşlu maqnit materiallara misal olaraq $Fe_{73.5}C_4Nb_3Si_{13.5}B_9$ -u göstərmək olar. Bu ərintinin maqnitlənməsi zamanı doyma halına uyğun maqnit induksiyası $1.24 Tl$,

qalıq induksiyası 0.67 Tl , koersitiv qüvvə isə çox kiçik olub, 0.53 A/m təşkil edir.

Tərkibindəki nanozərrəciklərin ölçüsü $10 \div 15 \text{ nm}$ olan $\text{Fe}_{69}\text{Ni}_9\text{CO}_2$ amorf materialın maqnitlənmə histerezis əyrisi, demək olar ki, yoxdur. Hər bir zərrəciyi yalnız bir doməndən ibarət, histerezis ilgəyi olmayan maqnit materiallarına *super-paramaqnitlər* deyilir. Ən güclü sabit maqnit neodim, dəmir və bor əsasında hazırlanmış xəlitədən düzəldilir.

Maqnit materialların başqa bir növü *karbonlu nanoborucuqlarla* əlaqədardır. Piroлиз prosesi zamanı karbonlu nanoborucuqların formalaşması və böyüməsi ferromaqnit (dəmir, kobalt) zərrəciklərinin olmasını tələb edir. *Ftalosianid dəmirin (FePc)* pirolizi zamanı eyni istiqamətli karbonlu nanoborucuqların əmələ gəlməsi üçün iki dəmir nanozərrəciyin olması vacibdir. Bunlardan biri nanoborucuqların əmələ gəlməsində başlanğıc özək rolunu oynayır, onların böyüməsində əsas rol oynayan ikincisi isə borucuğun digər ucunda yerləşir. Eyni istiqamətli karbon nanoborucuqlar *FePc* -in arqon-hidrogen mühitində pirolizi prosesində kvars şüşə üzərində alınır. Temperaturun 5 K -nə qədər azalması maqnit koersitiv qüvvələrin üç dəfə artmasına səbəb olur.

Nanomaqnit materialların yaradılmasının başqa bir üsulu da baxılan materialın daxilindəki məsamələrə nanozərrəciklərin daxil edilməsidir.

Təbiətdə molekulyar aralıqları maqnit nanozərrəciklərlə dolmuş materiallar mövcuddur. Belə materiallara misal olaraq *ferritini* göstərmək olar. Ferritin daxili diametri 7.5 nm , xarici diametri isə 12.5 nm olan sferik formalı zülaldan ibarətdir. Onun kütləsinin 25%-ni dəmir təşkil edir. Normal şəraitdə ferritinin boşluğu $5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ dəmir oksidi kristalı ilə dolur.

Daxilində məsamələri olan materiallara misal olaraq *seoliti* göstərmək olar. Bu material nanozərrəcikləri yerləşdirmək üçün matrisa rolunu oynaya bilər.

9.2. Böyük və ifratböyük maqnit müqaviməti

Keçirici materiallara təsir edən maqnit sahəsinin istiqamətini dəyişməklə onların elektrik müqavimətinin qiymətini tənzimləmək olur. Materialın müqaviməti elektrik cərəyanının istiqaməti maqnit sahəsinin istiqaməti ilə eyni olduqda artır, cərəyan maqnit sahəsinə perpendikulyar yönəldikdə isə - azalır. Bu hadisə *maqnit müqavimətinin antizotropiyası* adlanır və onun əsasında praktikada geniş istifadə olunan maqnitorezistiv material - *permaloyid* (dəmir və nikelin xəlitəsi) yaradılmışdır.

Metallarda maqnit müqaviməti aşağı temperaturalarda və güclü maqnit sahəsində müşahidə olunur. Məsələn, təmiz misin elektrik keçiriciliyi 4 K -də 10 Tl induksiya maqnit sahəsinin təsiri altında 10 dəfə dəyişir. Bununla belə, temperaturun belə çox aşağı, maqnit sahəsinin isə yüksək olması maqnit müqavimətlərinin tətbiq imkanlarını xeyli məhdudlaşdırır. Lakin çox böyük maqnit müqavimətinin kəşfi bu çətinliyin aradan qaldırılmasına imkan verdi. Çox böyük maqnit müqaviməti bir-birini əvəz edən ferromaqnit və qeyri-maqnit qatlarından təşkil olunmuş çoxlaylı materiallarda müşahidə olunur. Laylar süni çökdürmə yolu ilə əldə edilir və onlar ardıcıl olaraq ferromaqnit və qeyri-ferromaqnit metaldan ibarət olur. Bu effekt ilk dəfə dəmir və xromun nazik lövhələrindən ibarət olan laylı materiallarda, sonradan isə digər kombinasiyalarda da müşahidə edilmişdir. Sonuncularda (məsələn, kobalt-mis laylarında) maqnit müqavimətinin qiyməti daha böyük olmuşdur.

Qeyri-maqnit matrisada xaotik istiqamətlənmiş maqnitlənmə vektoruna malik birdomenli nanozərrəcikli materiallar da çox böyük (nəhəng) maqnit müqavimətinə malik olur. Laylı quruluşdan fərqli olaraq, bu sistemin maqnit müqaviməti bütün istiqamətlərdə eyni qiymətə malikdir. Sahənin intensivliyinin artması və nanozərrəciyin ölçüsünün kiçilməsi müqavimətə təsiri artırır. İki ferromaqnit layı arasında yerləşən metal matri-

sadakı nanozərrəciklərdən ibarət hibrid sistemdə maqnitorezistiv xüsusiyyət müşahidə olunur. Belə sistemlər laylı sistemlərə nisbətən daha böyük (*supernəhəng*) maqnit müqavimətə malik olur. Belə materiallardan yazan maqnit başlıqlarının və həssas maqnitometr elementlərinin düzəldilməsində istifadə olunur.

X FƏSİL

NANOMATERİALLAR

10.1. Nanomaterialların təsnifatı

Məlumdur ki, hər bir materialın forması onun üç həndəsi ölçüsü ilə müəyyən olunur. Makroskopik cismin ölçüləri tədricən kiçildildikdə müəyyən həddə qədər onun xassələrində dəyişiklik müşahidə olunmur. Lakin ölçülər 100 nm -dən kiçik olduqda cismin xassələrində kəskin dəyişmələr baş verir.

Nizamlı və ya nizamsız düzülüşlü baza elementləri nanometrlik ölçüyə ($1\text{-}100\text{ nm}$) malik olub, ölçü amili ilə təyin olunan yeni fiziki xassələr yaradan maddələr və ya kompozitlər *nanomateriallar* adlanır.

Üç həndəsi ölçünün müəyyən qayda ilə dəyişməsindən asılı olaraq, nanomaterialları dörd qrupa ayırmaq olar: *sıfır ölçülü (kvant nöqtə), birölçülü (kvant teli, nanoboruq, nanolif, xətti polimer), ikiölçülü (kvant çuxuru, infraqəfəs, Lənqmür-Broket nazik pərdəsi, biomembran), üçölçülü (fulleren, fullerod, astralen, 3D foton kristal, mitsel, bioüzvi polimer).*

Əgər baxılan materialdan hazırlanmış nümunənin müəyyən bir istiqamətdə ölçüsü nanometr diapazonunda, digər ölçüləri isə kifayət qədər böyük olarsa, belə material *kvant çuxuru* adlanır. Nümunənin iki istiqamətdə ölçüsü nanometr miqyasında olub, üçüncü ölçüsü böyük qalarsa, həmin nümunə *kvant teli* adlanır.

Hər üç ölçüsü nanometr diapazonunda olan material isə *kvant nöqtəsi* adlanır.

Ayrı-ayrı atom və molekulardan istifadə edərək, nizamlı quruluş yaratmaq konsepsiyası «*aşağıdan–yuxarıya yaxınlaşma*» adlanır. Bu konsepsiyanın əksi olan «*yuxarıdan–aşağıya yaxınlaşma*» konsepsiyası isə nanoquruluşu formalaşdırmağa

imkan verir. Belə yaxınlaşmada makromiqyaslı obyektin və strukturun ölçüləri tədricən kiçilməyə başlayır və proses nanoölçülərə qədər davam etdirilir. Bu prosesin daha geniş yayılmış növü *litoqrafiya*dır.

Kvant nanomateriallarından infraqırmızı şüalanma detektorlarının, yarımkeçirici lazerlərin və tranzistorların hazırlanmasında istifadə olunur.

Kvant nöqtəsində enerji səviyyələri arasında keçid optik spektrin infraqırmızı diapazonuna uyğun gəldiyindən, ondan infraqırmızı şüalanma fotodetektoru kimi istifadə etmək olur.

Kvant materiallarının tətbiq olunduğu digər bir sahə bir-elektronlu tranzistordur. Birelektronlu tranzistor bir elektronu idarə etməklə elektrik dövrəsini açıb-bağlayan dəyişdirici qurğu rolunu oynayır. Mövcud tranzistorlarda yüz minlərlə elektrondan ibarət sel idarə olunduğundan, onlar bir-elektronlu tranzistorlarla müqayisədə dəfələrlə çox enerji sərf edir. Birelektronlu tranzistor iki metal lövhənin arasında yerləşdirilmiş çox nazik (nanometr tərtibli) təcridedicilərdən ibarətdir. Elektron bir elektrodan digərinə bu təcridedicilərdən tunel etmək yolu ilə keçə bilər.

Geniş tətbiq sahəsinə malik olan nanoborucuqlar nanostrukturlu materiallar sırasında ən ön yerlərdən birində durur.

Karbonlu nanoborucuqlar müxtəlif atom quruluşlarına malik olduqlarından onların xassələri də bir-birindən fərqlənir.

Nanoborucuqların ən maraqlı xassələrindən biri onların diametrindən və quruluşundan asılı olaraq, metal və ya yarımkeçirici xassəli material ola bilməsidir. Sintez nəticəsində alınan qarışıq tipli nanoborucuqların təqribən üçdə bir hissəsi metal, üçdə iki hissəsi isə yarımkeçirici xassəsinə malik olur. Yarımkeçirici nanoborucuğun diametri böyüdükcə onun qadağan olunmuş zonasının eni kiçilir.

Nanoborucuqların elektron quruluşunu öyrənmək üçün *skanerləyici tunel mikroskopundan* istifadə olunur.

Metal nanoborucuqların elektrik keçiriciliyi olduqca böyükdür. Hesablamalar göstərir ki, nanoborucuqların hər kvadrat santimetrindən milyard Amperə qədər cərəyan keçə bilər.

Nanoborucuqların yüksək keçiriciliyə malik olmasının səbəbi onlarda elektronların səpildiyi defektlərin sıxlığının az olmasıdır.

Nanoborucuqlar həm də böyük istilik keçiriciliyinə malikdir.

Karbonlu nanoborucuqlar aşağı temperaturalarda *maqnitorezistiv* xassəyə malikdir.

Nanoborucuqların Yunq modulu $1.28 \div 1.80 \text{TPa}$ intervalında dəyişir ki, bu da poladın Yunq modulundan (0.21TPa) təqribən 7-9 dəfə böyükdür.

Karbonlu nanoborucuqlar əyilmədə çox yüksək dərəcədə elastikidir. Bir çox materiallar defektli olduğuna görə, əyilmə zamanı qırılır. Nanoborucuqlarda isə defektlərin sıxlığı çox kiçik olduğundan, əyilmə zamanı onlarda qırılma baş vermir. Biriqat nanoborucuqlar poladdan təqribən 20 dəfə möhkəmdir. Çoxlaylı nanoborucuqların mexaniki xarakteristikaları poladın mexaniki xarakteristikalarından keyfiyyətə yaxşı olsa da, birlaylı nanoborucuqların mexaniki xassələrindən yaxşı deyil.

Nanoborucuğun oxu boyunca çox da böyük olmayan elektrik sahəsi tətbiq edildikdə onun uçlarından elektronların intensiv emissiyası (*avtoelektron emissiyası və ya sahə emissiya effekti*) baş verir.

Yüksək elektrik keçiriciliyinə malik nanoborucuqlar elektromaqnit dalğalarını pis buraxdığından, onlardan hazırlanmış kompozitli məcun elektromaqnit şüalanmasını ekranlaşdırmaq üçün istifadə edilə bilən ən perspektivli materialdır.

Nanoborucuqların hidrogeni yığıb-saxlamaq xassəsinə malik olması imkan verir ki, onlardan gələcəkdə avtomobillərdə yanacaq mənbəyi kimi istifadə olunsun.

Kompozit materialların effektiv möhkəmliyinin göstəricisi

olan əsas parametrlər qırılmaya qarşı möhkəmlik, liflərin uzunluğunun diametrinə olan nisbəti, eləcə də matrisanın deforma-siya olunma xüsusiyyətidir. Qırılmaya qarşı möhkəmliyin və lifin uzunluğunun diametrinə olan nisbəti böyük olan kompo-zitlər elektron sistemləri üçün daha əlverişli materiallar sayılır.

Polipropilenə çəki hesabı ilə 11.5 %-ə qədər diametri 0.2 *mkm* olan karbonlu nanoborucuq əlavə etdikdə onun qırılmaya qarşı möhkəmliyi iki dəfə böyüyür. Alüminiuma 5 %-ə qədər nanoborucuq əlavə etdikdə isə onun möhkəmliyinin ikiqat art-ması ilə yanaşı, həm də kimyəvi davamlığı xeyli yüksəlir.

Poladın əsas komponentlərindən biri olan dəmirlə karbonlu nanoborucuqlar möhkəm rabitə yaratdığından, polada karbonlu nanoborucuqlar əlavə etməklə onun qırılmaya qarşı möhkəmli-yini kəskin artırmaq mümkündür.

Nanoborucuqların digər bir tətbiq sahəsi isə onlardan kimyəvi sensor və katalizator kimi istifadə edilməsidir.

10.2. Nanoquruluşlu kristal materiallar

Təbiətdə elə cisimlərə rast gəlmək olur ki, onlar nano-kristal quruluşa malikdir. Belə cisimlərə misal olaraq 20 üzlü ikosaedrik quruluşa malik olan on iki atomlu *bor klasterini* göstərmək olar. Bərk haldakı borun bir neçə kristal fazası mövcuddur ki, onlarda B_{12} - klasteri *quruluş elementi* rolunu oynayır.

Nanokristal quruluşa malik bərk cismin kristal quruluşunu ayrı-ayrı atom və ionlar deyil, çoxlu sayda atomlardan ibarət olan klasterlər əmələ gətirir. Belə klaster quruluşuna malik bərk cisimlər maraqlı xassələrə malik olur.

Kubik quruluşa malik və daxilində kəsilməz nizamla paylanmış məsəmələr olan *seolitdə* məsəmələrin ölçüsü kifayət qədər böyük olduğundan, onlarda klasterlər yerləşdirmək mümkündür. Həmin məsəmələr ərimiş halda olan maddələrlə

doldurulduqda seolit özünü kiçik ölçülü nanoquruluşa malik bərk cisim kimi aparır.

Fotonika üçün istifadə edilən kristalların daxilindəki dielektrik zərrəcikləri isə bir-birindən görünən işığın dalğa uzunluğuna bərabər məsafədə yerləşərək, qəfəs strukturu yaradır. Belə kristallar maraqlı optik xassələrə malik olur.

Nanoölçülü quruluşa malik bərk cisimlərə həcmi nanoquruluşlu materiallar deyilir. Belə materialları əmələ gətirən *quruluş elementləri* nizamsızlıqla yanaşı, həm də heç bir simmetriyaya malik olmur və bir qayda olaraq *kompakt, sürətli bərkimə, qazla atomlaşdırma, yaxud da qalvanik üsullarla* alınır.

**İSTİFADƏ VƏ TÖVSIYƏ OLUNAN
ƏDƏBİYYATIN SİYAHISI**

1. П.В.Павлов, А.Ф.Хохлов. Физика твердого тела. М., Высшая школа. 2000, – 494 с.
2. Ю.Г.Шретер, Ю.Т.Ребане, В.А.Зыков, В.Г.Сидоров. Широкозонные полупроводники. Спб. Наука, 2001, -125 с.
3. В.В.Пасынков, В.И.Сорокин. Материалы электронной техники, Спб. Лань, 2001, - 368 с.
4. В.Л.Бонч-Бруевич, С.Г.Калашников. Физика полупроводников, М., Наука, 1990, – 685 с.
5. К.Зеегер. Физика полупроводников, М., Мир. 1977. –615 с.
6. Ч.Уэрт, Р.Томсон. Физика твердого тела. М., Мир, 1969, - 658 с.
7. Н.Хенней, Химия твердого тела. М., Мир, 1971, – 223 с.
8. Л.С.Палатник, В.К.Сорокин. Материаловедение в микроэлектронике. М., Энергия, 1978, - 280 с.
9. Дж.М.Мартини-Дуарт, Р.Дж.Мартини-Палма, Ф.Агулло-Руеда. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. М., Техносфера, 2007, – 367 с.
10. Г.Грей. Электроны и химическая связь. М., Мир. 1967, -234 с.
11. Ч.Киттель. Введение в физику твердого тела. М., Наука, 1978, – 791 с.
12. Л.Солимер, Д.Уолш. Лекции по электрическим свойствам материалов. М., Мир, 1991, - 501 с.
13. В.В.Розов, В.И.Соболева. Сплавы для полупроводниковых приборов. М., Металлургия, 1969, -245с.
14. Д.М.Казарновский, С.А.Яманов. Радиотехнические материалы. М., Высшая школа, 1972, - 312 с.
15. Ə.Ş.Abdinov, N.M.Mehdiyev. Optoelektronika. Bakı, Maarif, 2005, - 410 s.

16. Н.Кабаяси. Введение в нанотехнологию. М., Техносфера, 2007, - 134 с.
17. Д.И.Рыжанков, В.В.Левина, И.К.Дзидзигури. Наноматериалы. М., Бинوم, 2008, - 304 с.
18. Ю.А.Чаплыгин. Нанотехнологии в электронике. М., Техносфера, 2005, - 208 с.
19. Ə.Abdinov, V.Səfərov. Elektron texnikasının materialları və nanotexnologiyanın əsasları. Bakı, Təhsil, 2010, - 183 s.
20. A.M.Məhərrəmov, M.Ə.Ramazanov, L.İ.Vəliyeva. Nanotexnologiya. Bakı, Çaxıoğlu, 2007, - 231 s.
21. M.M.Zərbəliyev. Yarımkəçiricilər fizikası. Bakı, Təhsil, 2008, - 324 s.
22. E.Ə.Eyvazov. Bərk cisimlər fizikası. Bakı, Çinar-çap, 2007, - 356 s.
23. B.Ş.Barxalov, Y.Y.Hüseynov, R.M.İsmayılov. Elektron texnikasının materialları. Sumqayıt, SDU nəşriyyatı, 2007, - 218 s.
24. O.M.Sadiqov, M.Ş.Həsənova. Elektron texnikasının materialları və komponentləri. Bakı, AzTU nəşriyyatı, 2002, - 205 s.

Müəlliflər haqqında

Əhməd Şahvələd oğlu Abdinov 30 may 1945-ci ildə



Azərbaycan Respublikası, Ordubad rayonu, Behrud kəndində anadan olmuşdur. 1968-ci ildə Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini “Fərqlənmə Diplomu” ilə bitirmişdir. Fizika-Riyaziyyat Elmləri Doktoru, Professorudur. 1972-ci ildə namizədlik, 1979-cu ildə isə doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmişdir. 1981-ci ildə professor elmi adını almışdır. 1992-ci ildən Bakı Dövlət

Universitetinin “Fiziki elektronika” kafedrasının müdürüdür. Ali məktəblər üçün 5 irihəcmli dərsləyin, Yarımkeçiricilər fizikası üzrə 400-dən artıq elmi əsərin və 2 ixtiranın müəllifidir. Apardığı elmi araşdırmalar əsasən mürəkkəb yarımkeçirici materialların, eləcə də onların əsəsindəki kontakt strukturlarının elektron xassələrinin tədqiqinə həsr olunub.

Ахмед Шахвелед оглы Абдинов родился 30 мая 1945 года в селе Бехруд Ордубадского района Азербайджанской Республики. В 1968 году закончил физический факультет Бакинского Государственного Университета. В 1972 году защитил кандидатскую, а в 1979 году докторскую диссертацию. С 1981 года является профессором. С 1992 года занимает должность заведующего кафедрой «Физическая электроника» в Бакинском Государственном Университете. Является автором более 400 научных работ по физике полупроводников. Проводимые им исследования относятся к изучению электронных свойств сложных полупроводниковых материалов и контактных структур на их основе.

Ahmed Shahvalad oglu Abdinov was born May 30, 1945 in the Behrud village of the Ordubad district of the Azerbaijan

Republic. In 1968 he graduated from the Physics Department of Baku State University. In 1972 he defended PhD thesis, and in 1979 Doctoral thesis. Since 1981 he is a Professor. Since 1992 occupies a position of Head of the "Physical Electronics" Department at Baku State University. He is the author of over 400 scientific papers on semiconductor physics. His researches related to the study of the electronic properties of complex semiconductor materials and contact structures based on them.



Rəna Fikrət qızı Babayeva 30 dekabr 1969-cu ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1991-ci ildə Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini bitirmişdir. Fizika üzrə Elmlər Doktoru, Professordur. 1997-ci ildə namizədlik, 2009-cu ildə isə doktorluq dissertasiyasını müdafiə etmişdir. 2017-ci ildə Professor elmi adı almışdır.

Azərbaycan Dövlət İqtisad Universitetinin "Fizika və kimya" kafedrasının professorudur. Ali məktəb tələbələri üçün 3 dərsliyin, Yarımkeçiricilər fizikası üzrə 170-dən artıq elmi əsərin və bir monoqrafiyanın müəllifidir. Apardığı elmi araşdırmalar başlıca olaraq laylı quruluşlu $A^{III}B^{VI}$ birləşmələri tipli yarımkeçiricilərin elektron (elektrik, optik, fotoelektrik, lüminessent və s.) xassələrinin tədqiqinə həsr olunub.

Рена Фикрет кызы Бабаева родилась 30 декабря 1969 года в городе Баку. В 1991 году закончила физический факультет Бакинского Государственного Университета. В 1997 году защитила кандидатскую, а в 2009 году докторскую диссертацию. В 2017-м году ей присвоено ученое звание профессор. Занимает должность профессора кафедры физики и химии в Азербайджанском Государственном Экономическом Университете. Является автором 3-х учебников для ВУЗ-ов и более 170 научных работ по

физике полупроводников, в том числе 1 монографии. В частности, ее исследования относятся к изучению электронных свойств (электрических, оптических, фотоэлектрических, люминесцентных и т.д.) полупроводников типа соединений $A^{III}B^{VI}$ со слоистой структурой.

Rena Fikrat gizi Babayeva was born December 30, 1969 in Baku. In 1991 she graduated from the Physical Faculty of the Baku States University. In 1997 she defended PhD thesis and Doctoral thesis in 2009. She occupies position of Professor of the “Physics and Chemistry” Department at the State Azerbaijan State Economic University. She is the author of more than 170 works on semiconductor physics. In particular, her researches include the study of the electronic properties (electrical, optical, photoelectrical, luminescent, etc.) of semiconducting $A^{III}B^{VI}$ compounds with a layered structure.



Eldar Aydın oğlu Rəsulov 10 fevral 1967-ci ildə Bakı şəhərində anadan olmuşdur. 1989-cu ildə Bakı Dövlət Universitetinin Fizika fakültəsini bitirmişdir. 2005-ci ildə namizədlik dissertasiyasını müdafiə edib, Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi alimlik dərəcəsi almışdır. Bakı Dövlət Universitetinin “Fiziki elektronika” kafedrasının dosentidir. Yarımkəçiricilər fizikası üzrə 30-dan artıq elmi əsərin müəllifidir. Apardığı tədqiqatlar yarımkəçiricilərdə elektrik və fotovoltaiq effektlərin öyrənilməsinə aiddir.

Эльдар Айдын оглы Расулов родился 10 февраля 1967 года в городе Баку. В 1989 году закончил физический факультет Бакинского Государственного Университета. В 2005 году защитил кандидатскую диссертацию. Занимает должность доцента кафедры «Физическая электроника» в Бакинском Государственном Университете. Является авто-

ром более 30 работ по физике полупроводников. В частности, его исследования относятся к изучению электрических и фотовольтаических эффектов в полупроводниках.

Eldar Aydın oğlu Rasulov was born on February 10, 1967 in Baku. In 1989 he graduated from the Physical Faculty of the Baku State University. In 2005 he defended PhD thesis. He occupies position of Associate Professor of "Physical Electronics" Department of the Baku State University. He is the author of more than 30 works on semiconductor physics. In particular, his researches related to the study of electrical and photovoltaic effects in semiconductors.