

ƏHMƏD ABDİNOV, VAQİF SƏFƏROV

**ELEKTRON TEXNİKASININ
MATERİALLARI VƏ
NANOTEKNOLOGİYANIN
ƏSASLARI**

Ali məktəblər üçün dərslik

*Azərbaycan Respublikası Təhsil
Nazirliyinin 10.11.2008-ci il tarixli
1226 №-li əmri ilə təsdiq edilmişdir.*

**«TƏHSİL»
BAKİ – 2010**

Elmi redaktor:

N.M.Mehdiyev,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

Rəyçilər:

A.H.Kazımcadə,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

Y.Q.Nurullayev,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

621.3
+ A14

273244

Abdinov Ə.Ş., Səfərov V.H.

A14 Elektron texnikasının materialları və nanotexnologiyanın əsasları (*ali məktəblər üçün dərslik*). Bakı, «Təhsil», 2010, 184 səh.

Dərslikdə elektron texnikasında istifadə edilən müxtəlif növ materialların fiziki xassələri, tətbiq sahələri və xüsusiyyətləri, eləcə də nanotexnologiya haqqında ən vacib məlumatlar verilmişdir. Kitab ali məktəblərin fizika, fiziki elektronika, elektron texnikası, radioelektronika, materialşünaslıq ixtisasları üzrə təhsil alan tələbələr (bakalavr və magistrlər) üçün nəzərdə tutulsa da, ondan ali və orta ixtisas təhsili məktəblərinin müəllimləri, elmi işçilər, aspirantlar, doktorantlar, mühəndis və laborantlar da faydalana bilər.

Dərslik 184 səhifə, 64 illüstrasiya və istinad olunan 20 adda ədəbiyyatın siyahısından ibarətdir.

A 2302030000 2010
053



© «Təhsil», 2010

M Ü N D Ə R İ C A T

GİRİŞ	5
-------------	---

I F Ə S İ L . V A K U U M T E X N İ K A S I N I N M A T E R İ A L L A R I : M E T A L L A R V Ə Ə R İ N T İ L Ə R

§ 1.1. Vakuum texnikasında istifadə olunan materiallara qoyulan ümumi tələblər	7
§ 1.2. Elektrovakuum sistemlərində istifadə olunan metallar	8
§ 1.3. Çətin əriyən və qalvanik çıxışlar üçün istifadə olunan ərintilər	11
§ 1.4. Metalların şüşə və keramika ilə birləşməsi	12

II F Ə S İ L . K E Ç İ R İ C İ M A T E R İ A L L A R

§ 2.1. Keçiricilər haqqında ümumi məlumat	14
§ 2.2. Metalların təsnifatı	16
§ 2.3. Metalların elektrik və istilik keçiriciliyi	18
§ 2.4. Metalların elektrik xassələri	21
§ 2.5. Metal ərintilərinin elektrik xassələri	24
§ 2.6. İfratkeçiricilik	25
§ 2.7. İfratkeçirici materiallar	29
§ 2.8. İfratkeçiricilərin tətbiqi	30
§ 2.9. Əlvan metallar	31
§ 2.10. Qeyri-metal keçirici materiallar	34

III F Ə S İ L . D İ E L E K T R İ K L Ə R

§ 3.1. Dielektriklərin polyarlaşması	36
§ 3.2. Dielektriklərin elektrik keçiriciliyinin əsas növləri	40
§ 3.3. Qazların elektrik keçiriciliyi	41
§ 3.4. Maye dielektriklərin elektrik keçiriciliyi	43
§ 3.5. Bərk dielektriklərin elektrik keçiriciliyi	45
§ 3.6. Dielektriklərin elektrik möhkəmliyi və dəşilməsi	46
§ 3.7. Dielektrik itkisi	50
§ 3.8. Dielektrik materialların təsnifatı	52
§ 3.9. Passiv dielektriklər	54
§ 3.10. Kompozisiyalı tozlu plastmaslar və laylı plastiklər	55
§ 3.11. Elektroizolyasiya üçün istifadə olunan kompaundlar	57
§ 3.12. Qeyri-üzvi şüşələr	58
§ 3.13. Aktiv dielektriklər	63
§ 3.14. Elektretlər	76

IV FƏSİL. YARIMKEÇİRİCİLƏR

§ 4.1. Ümumi məlumat	79
§ 4.2. Məxsusi və aşqar yarımkeçiricilər	81
§ 4.3. Sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının temperaturdan asılılığı	84
§ 4.4. Yarımkeçiricilərdə sərbəst yükdaşıyıcıların yüyürüklüyü	86
§ 4.5. Tarazlıqda olmayan sərbəst yükdaşıyıcılar və onların rekombinasiyası	87
§ 4.6. Yarımkeçiricilərdə optik udulma	89
§ 4.7. Fotokeçiricilik	94
§ 4.8. Lüminessensiya	96
§ 4.9. Termoelektrik hadisələri	97
§ 4.10. Holl effekti	98
§ 4.11. Güclü elektrik sahəsində yarımkeçiricilərin elektrik keçiriciliyi	100
§ 4.12. Qann effekti	101
§ 4.13. Yarımkeçirici materialların təsnifatı	104
§ 4.14. Germanium və onun tətbiq sahələri	107
§ 4.15. Silisium və onun tətbiq sahələri	109
§ 4.16. Karbidlər və onların tətbiq sahələri	112
§ 4.17. A ^{III} B ^V birləşmələri tipli yarımkeçiricilər	114
§ 4.18. Oksid yarımkeçiricilər	117
§ 4.19. Şüşəvari yarımkeçiricilər	119
§ 4.20. Üzvi yarımkeçiricilər	120
§ 4.21. Bərk üzvi yarımkeçiricilərin təsnifatı	122
§ 4.22. Yarımkeçirici materialların alınması	124
§ 4.23. Yarımkeçirici strukturların hazırlanması	126

V FƏSİL. NANOMATERİALLAR

§ 5.1. Nanomaterialların təsnifatı	130
§ 5.2. Kvant çuxuru, kvant sapı və kvant nöqtəsi	131
§ 5.3. Nanoborucuqlar	138
§ 5.4. Nanoborucuqların elektrik və mexaniki xassələri	140
§ 5.5. Nanoborucuqların tətbiq sahələri	143
§ 5.6. Mexaniki möhkəmləndirmə	148
§ 5.7. Həcmi nanoquruluşlu materiallar	149
§ 5.8. Optik şüşələrdə metallik nanoklasterlər	151
§ 5.9. Məsaməli silisium	153
§ 5.10. Nanoquruluşlu kristal materiallar	155

VI FƏSİL. MAQNİT MATERİALLARI

§ 6.1. Maddənin maqnitlənməsini xarakterizə edən parametrlər	157
§ 6.2. Maddələrin maqnit xassələri	158
§ 6.3. Maqnit materialların təsnifatı	167
§ 6.4. Böyük və hədsiz böyük maqnit müqaviməti	170
ƏDƏBİYYAT	182

Azərbaycan Respublikasında elektron texnikası materiallarının alınması və tədqiqi sahəsində çox dəyərli işlər görmüş, bu sahədə dünya miqyasında tanınan elmi məktəb yaratmış, elmi və elmi-pedaqoji kadrların hazırlanmasına böyük əmək sərf etmiş görkəmli alim, gözəl müəllim, ləyaqətli insan, maraqlı şəxsiyyət və heç vaxt həmkarlarının, şagirdlərinin yaddaşından silinməyən, bizim isə müəllimimiz, dostumuz və həmkarımız olan fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor Qüdrət Əli oğlu Axundovun nurlu xatirəsinə həsr edirik.

Müəlliflər

GİRİŞ

Müasir texniki tərəqqinin başlıca vəzifələrindən biri də məişət və istehsalatda tətbiq olunan müxtəlif təyinatlı cihaz və qurğuların təbii proseslərin gedişinə mənfi təsir göstərmədən işləməsini təmin etməkdir. Bu cihaz və qurğuların qoyulan tələbdən yayınması təbiətdə idarə olunmayan global proseslərin baş verməsinə səbəb olur. Belə proseslərə misal olaraq, müxtəlif cihaz və qurğuların işləməsi prosesində atmosferə müxtəlif qazlar buraxılması nəticəsində Yer kürəsində hər il orta temperatur göstəricisinin yüksəlməsini, atmosferdə canlı orqanizmlər üçün çox təhlükəli olan ozon dəliklərinin yaranması nəticəsində ionlaşdırma qabiliyyəti yüksək olan şüaların maneəsiz yer ətrafına çata bilməsi təhlükəsini göstərmək olar. Belə qurğularla təbiət proseslərinin öz axınına uyğun inkişafı arasında sıx əlaqə yaratmaq üçün ekoloji cəhətdən zərərsiz qurğu və cihazların yaradılması müasir elektron texnikasının əsas problemlərindəndir. Bu problemlərin həlli isə ilk növbədə müxtəlif təyinatlı mürəkkəb proseslərin idarə olunmasını yüksək dəqiqliklə həyata keçirə bilən, ölçüləri və enerji sərfi kiçik, əməliyyatı yerinə yetirmə müddəti isə çox-çox kiçik olan müasir elektron cihaz və qurğularının hazırlanması ilə bağlıdır. İstənilən şəraitdə işləyə bilən belə cihaz və qurğuların hazırlana bilməsi isə ilk növbədə onların düzəldilməsində istifadə olunan materialların fiziki xassələrindən asılıdır.

Bu baxımdan elektron texnikasında istifadə olunan materialların təsnifatını hər hansı xarici təsirlə əlaqələndirmək başlıca amillərdən biridir.

Elektron texnikasında istifadə olunan materialların təsnifatını elektrik və maqnit sahələrinin, işıqın, radiasiyanın, deformasiyanın hər birinin ayrı-ayrılıqda, eləcə də müəyyən bir qrupunun birlikdə həmin materiallara göstərdikləri təsirə görə aparmaq olar. Mövcud maddələri maqnit sahəsinin təsirinə həssaslığına görə güclü və zəif maqnetiklərə, elektrik sahəsinin təsirinə göstərdiyi reaksiyaya görə isə keçiricilər, yarımkeçiricilər və dielektriklərə, işıq təsirinə həssaslığına görə fotokeçiricilərə və qeyri-fotohəssas materiallara, radiasiyanın təsirinə həssaslığına görə radioaktiv həssas və radioaktiv dayanıqlı, deformasiyaya həssaslığına görə tenzohəssas və tenzodayanıqlı materiallara ayırırlar.

Tətbiq sahələrindən asılı olaraq bu qruplara daxil olan materiallar bir sıra alt qrup əmələ gətirirlər. Belə alt qruplara maqnit, lüminofor, kvant elektronikasi və vakuum texnikası, optoelektronika və s. üçün materiallar daxildir.

Əsas qrupa daxil olan keçirici materiallar, onlardakı sərbəst yükdaşıyıcıları hesabına yaxşı elektrik keçiriciliyinə malikdirlər. Keçirici materiallar elektron (metallar və yarımkeçiricilər), ion (elektrolitlər) və qarışıq elektron-ion (plazma) keçiriciliyinə malik olurlar. Metalların xüsusi elektrik müqaviməti 10^{-5} Om-m-dən kiçik olur. Yarımkeçiricilərin fiziki xassələri, o cümlədən elektrik keçiriciliyi onun tərkibindəki aşqarın miqdarı və kimyəvi təbiəti ilə yanaşı, həm də xarici təsirlərdən kəskin asılı olur. Bu materialların (yarımkeçiricilərin) xüsusi müqaviməti, bir qayda olaraq 10^{-6} - 10^9 Om-m aralığında dəyişir. Dielektriklər xarici elektrik sahəsində polyarlaşmaları və daxillərində elektrostatik sahənin yaranması ilə xarakterizə olunur. Dielektrik materiallar üçün xüsusi müqavimətin qiyməti 10^9 Om-m-dan böyük olur. Kimyəvi Elementlərin Dövri Sisteminə daxil olan 110 kimyəvi elementdən 25-i qeyri metal, 12-si isə yarımkeçirici xüsusiyyətinə malikdir. Sistemin yerdə qalan elementləri isə elektrik keçiriciliyinə görə metaldır. Elementar maddələrdən əlavə, keçirici, yarımkeçirici və dielektrik xassələrinə malik minlərlə kimyəvi birləşmələr, ərintilər və yaxud kompozitsiyalar (qarışıqlar) da var. Son zamanlar nanotexnologiyanın inkişafı çoxlu sayda nanomaterialların alınması, onların təsnifatı və tətbiq dairəsinin müəyyən olunmasını tələb edir.

I FƏSİL

VAKUUM TEXNİKASININ MATERIALLARI: METALLAR VƏ ƏRİNTİLƏR

§ 1. Vakuum texnikasında istifadə olunan materiallara qoyulan ümumi tələblər

Vakuum – latın sözü olub, boşluq deməkdir. Vakuumun fiziki xarakteristikası olaraq buradakı qaz molekullarının sərbəst yolunun orta uzunluğunun (λ) onların yerləşdiyi vakuum kamerasının (qabın) divarları arasındakı məsafəyə və ya elektrovakuumun cihazlarında elektrodlar arasındakı məsafəyə (d) olan nisbəti götürülür. Bu iki kəmiyyətin qiymətindən asılı olaraq baxılan həcmdəki təzyiğin 1 mm Hg -dən böyük olduğu aşağı ($\lambda d \ll 1$); $1 \div 10^{-3}\text{ mm Hg}$ tərtibində olduğu orta ($\lambda d \approx 1$); 10^{-8} mm Hg -dən kiçik olduğu – ifrat yüksək vakuum anlayışlarından istifadə olunur.

İfrat yüksək vakuum λd nisbəti ilə deyil, vakuumda bərk cismin səthində monomolekulyar qaz layının yaranma müddəti (τ) ilə təyin olunur. 10^{-6} mm Hg təzyiqdə $\tau=1$ san olur. Digər hallarda isə $\tau = \frac{10^{-6}}{P}$ ifadəsi ilə təyin edilir. Qeyd etmək lazım-

dır ki, bu ifadə o halda özünü doğruldur ki, hər bir qaz molekulu bərk cismin səthi ilə toqquşduqdan sonra onun səthində qalmış olsun. Beləliklə, hər bir vakuum cihazının keyfiyyəti, ilk növbədə onun hansı materialdan hazırlanması ilə təyin olunur. Bu məsələni ətraflı nəzərdən keçirək.

Keçirici materiallar vakuum cihazlarında, bir qayda olaraq aşağı təzyiqlər və yuxarı temperaturalarda istifadə edilir. Bu şəraitdə işçi temperatur ərimə temperaturu (T_{er}) ilə deyil, materialın doymuş buxarının (P_d) təzyiqi ilə məhdudlaşır. Verilmiş temperaturda (T) vakuumda metalın buxarlanma intensivliyi

(I) böyük olduqca P_d də bir o qədər yüksək olur. Bu iki kəmiyyət arasında

$$P_d = k \frac{I\sqrt{T}}{M}$$

şəklində əlaqə var. Burada k –vahidlərin seçilməsindən asılı olan əmsal, M -maddənin molekulyar kütləsidir.

Metal və ərintilər buxarlanaraq vakuum cihazlarının izo-lədedici soyuq hissələrində çökür və keçirici lay yaradır. Bunun nəticəsində cihazın elementlərinin ölçüləri və elektrodlar arasındakı məsafə dəyişir. Bu da ümumilikdə cihazın parametrlərinin pisləşməsinə səbəb olur. Buna görə də vakuumba istifadə edilən metalın işçi temperaturda doymuş buxarının təzyiqi və onunla mütənasib olan buxarlanma intensivliyi kiçik olmalıdır.

Vakuum materiallarının başlıca parametrləri sırasında xətti genişlənmənin temperatur əmsalı ilə yanaşı mexaniki xassəsini xarakterizə edən sürüşmə hüdudunu da (G) göstərmək olar. G – yüksək temperaturlarda metalda “axıcılıq” başlanmasının göstəricisidir. Həmin proses nəticəsində torların və katod spirallarının çökməsi baş verir. Metal və ərintilər qazlara qarşı kimyəvi baxımdan dayanıqlı olmalıdır. Çünki cihazların ayrı-ayrı elementlərini hazırlayarkən onlarda qazların udulması sulfid oksidlərinin və digər aşqarların yaranmasına səbəb ola bilər. Materialların əsas xarakteristikalarına xüsusi müqavimət (ρ), müqavimətin temperatur əmsalı α , və çıxış işi ($A_{\text{çix}}$) də aiddir.

§ 1.2. Elektrovakuum sistemlərində istifadə olunan metallar

Nikel (Ni). Ərimə temperaturu 1452°C olan Ni, gümüşü – ağ rəngli metaldir. Elektrovakuum əritmə üsulu ilə təmizlik dərəcəsi 99,99% olan nikel almaq mümkündür. Nikelin $25-600^{\circ}\text{C}$ intervalında xətti genişlənmə əmsalı $1,55 \cdot 10^{-5}$ dər⁻¹, xüsusi müqaviməti $\rho=0,0683 \cdot 10^{-6}$ Om·m, müqavimətin temperatur əmsalı isə $6,8 \cdot 10^{-1}$ K⁻¹-dir. Manqanlaşdırılmış nikeldən gücləndirici lampaların möhkəmlənmiş torları və dolaqlar (travers) hazırla-

nır. Elektron lampalarının anodlarını hazırlamaq üçün səthində 8-15 mkm qalınlıqlı alüminumlaşdırılmış təbəqə olan nikel lentlərindən istifadə olunur. Vakuumda nikel üçün normal işçi temperatur 800°C-dir.

Dəmir (Fe). Dəmirin ərimə temperaturu 1535°C olub, qazlardan çox çətinliklə təmizlənir. Elektron texnikasında, əksər hallarda tərkibində 0,05% karbon olan poladdan istifadə edilir. Dəmir kimyəvi baxımdan dayanıqlı deyil. Bununla belə, civə ilə reaksiyaya girmir. Dəmirin xətti genişlənmə əmsalı $1,4 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, xüsusi müqaviməti $\rho = 9,6 \cdot 10^{-8} Om \cdot m$, müqavimətin temperatur əmsalı isə $5,6 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ -dir.

Alüminiumlaşdırılmış dəmir 800°C-ə qədər qızdırıla bildiyindən anod və ekranların, az karbonlu polad isə - 500°C-ə qədər civəli düzləndiricilərin və iqnitronların hazırlanmasında istifadə olunur. Ərimə temperaturunun qiymətinə görə çətin əriyən metallar aşağıdakı ardıcılıqla düzülür: Ti (titan), Zr (sirkonium), Nb (niobium), Mo (molibden), Ta (tantal), Re (renium), W (volfram).

Titanın (Ti) ərimə temperaturu 1725°C, xətti genişlənmə əmsalı $1,13 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, çıxış işi isə $A = 4,09 eV$ –dir.

Titan 500 °C-də qazları aktiv sürətdə uda bilir. Bu metalın xüsusi müqaviməti $\rho = 0,42 \cdot 10^{-6} Om \cdot m$, müqavimətin temperatur əmsalı isə $5,5 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ -dir.

Titan məftildən düzəldilmiş spirallar, eləcə də titan örtüklü anod və torlar yüksək qaz uduculuğuna və istilik şüalanmasına malikdir.

Sirkoniumun (Zr) ərimə temperaturu 1845°C, xətti genişlənmə əmsalı $8,4 \cdot 10^{-5} K^{-1}$, çıxış işi $A = 3,8 eV$, xüsusi müqaviməti $\rho = 0,4 \cdot 10^{-6} Om \cdot m$, müqavimətinin temperatur əmsalı isə $4,6 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ -dir. Bu metal 700°C -də oksigen və azotu yaxşı udur, hidrogeni isə yalnız 800°C-dən yuxarı temperaturda udmağa başlayır.

Niobiumun (Nb) Xüsusi müqaviməti $0,18 \cdot 10^{-6} Om \cdot m$, çıxış işi 3,96 eV, müqavimətin temperatur əmsalı isə $3 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ -ə

bərabərdir. Niobium yüksək plastikliyə malik olduğundan ondan nazik folqa və məfillərin, bir sıra lampalarda anod və ekranların, eləcə də güclü generator lampalarında katodların hazırlanmasında istifadə olunur. Bu materialların maksimal işçi temperaturu 2100°C -dir.

Molibdenin (Mo) ərimə temperaturu 2622°C , xətti genişlənmə əmsalı $5,4 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, çıxış işi $4,27 \text{ eV}$, xüsusi müqaviməti $0,048 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{m}$, müqavimətinin temperatur əmsalı $4,79 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ -dir. Gümüşü-ağ rəngə malik olan bu metalın yüksək temperaturda sərtliyə və möhkəmliyə malik olması ondan geniş miqyasda istifadə etməyə imkan verir. O, işçi temperaturu $1000\text{-}1700^{\circ}\text{C}$ olan generator və gücləndirici lampaların anod və torlarının hazırlanmasında da istifadə edilir. Maqnetron və qazla doldurulmuş cihazlarda oturacaq lövhəsi və çətin əriyən şüşələrin üzərindəki qalvanik çıxışlar molibdendən hazırlanır. Molibdenin maksimal işçi temperaturu 1700°C -dir.

Tantal (Ta) öz fiziki və kimyəvi xassələrinə görə niobiuma oxşayır. Ərimə temperaturu 3000°C olan bu metalın xətti genişlənmə əmsalı $8,8 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, xüsusi müqaviməti $0,42 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{m}$, müqavimətin temperatur əmsalı $5,5 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$, çıxış işi $4,1 \text{ eV}$ -dir. Vakuumda çox kiçik buxarlanma intensivliyinə, 1800°C temperaturda isə yüksək qaz uduculuğuna malikdir. Bunun üçün də digər qazuduculardan istifadə etmədən tantandan generatorlarda, eləcə də lampalarda anod və torların hazırlanmasında istifadə olunur. Bu metaldan, həmçinin dolaylı yolla qızdırılmış katodların hazırlanmasında istifadə edilir.

Reniumun (Re) ərimə temperaturu 3177°C , xətti genişlənmə əmsalı $0,68 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, xüsusi müqaviməti $0,21 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{m}$, müqavimətinin temperatur əmsalı $1,73 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$, çıxış işi $4,8 \text{ eV}$ -dir. Bununla yanaşı, yüksək möhkəmliyə, xüsusi elektrik müqavimətinə və buxarlanma intensivliyinə malik olan reniumdan, həm də birbaşa qızdırılan katodların və katod qızdırıcılarının hazırlanmasında istifadə edilir.

Volfram (W) ərimə temperaturu 3395°C , xətti genişlənmə əmsalı $0,44 \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, xüsusi müqaviməti $0,055 \cdot 10^{-6} \text{ Om}\cdot\text{m}$,

müqavimətinin temperatur əmsalı $4,8 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$, çıxış işi 4,54 eV-dır. Maksimal işçi temperaturu 2500°C olan volfram çox kiçik buxarlanma intensivliyinə və xətti genişlənmə əmsalına malikdir. Ondan generatorların və yüksəkvoltlu düzləndiricilərin lampalarında bilavasitə qızdırılan katodların, həm də rentgen və maqnetron katodlarının hazırlanmasında istifadə edilir.

§ 1.3. Çətin əriyən və qalvanik çıxışlar üçün istifadə olunan ərintilər

Elektrovakuum cihazlarında § 2-də adları çəkilən metallarla yanaşı, onların əsasında hazırlanmış müxtəlif ərintilərdən də istifadə olunur. Bu ərintilər göstərilən materiallardan, daha da yüksək möhkəmliyə və xüsusi müqavimətə malik olması ilə fərqlənir. Bir sıra hallarda ərintilər daha yaxşı emal olunur. Məsələn, müəyyən tərkibli molibdenli ərinti kifayət qədər bərk və möhkəm olub, təmiz molibdendən kəskin fərqlənir. Molibdenin reniumla (35%) ərintisinin bərkliyi təmiz molibdenlə müqayisədə 3 dəfə böyük 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 müqavimətlə ($1,2 \cdot 10^{-7} \text{Om}\cdot\text{m}$) xarakterizə olunur. Belə ərintilərdən katodların qızdırıcılarını hazırlamaq üçün istifadə edilir. Mo-Fe-Ni ərintisi 1400°C ərimə temperaturuna malik olub, tərkibindəki metallarla müqayisədə daha böyük mexaniki möhkəmliyə malikdir. Bu ərintidən hazırlanmış məftildən elektrovakuum lampalarının torlarının və dolaqlarının (travers) düzəldilməsində istifadə olunur.

Elektrovakuum cihazlarında, bir qayda olaraq elə ərintilərdən istifadə edilir ki, onların xətti genişlənmə əmsalı şüşə və keramikanın işçi rejimdəki xətti genişlənmə əmsalına mümkün qədər yaxın olsun. Bundan əlavə, həmin ərintilər, həm də yüksək mexaniki möhkəmliyə, ərimə temperaturuna və kiçik xüsusi müqavimətə malik olmalıdır.

Dəmir-nikel-xrom ərintisi 42% Ni ,6% Gr, 52-47% Fe komponentlərindən ibarət olur. Onun ərimə temperaturu 1400°C , xətti genişlənmə əmsalı $9,1 \cdot 10^{-6} \text{ dər}^{-1}$, xüsusi müqaviməti isə $9 \cdot 10^{-7} \text{ Om}\cdot\text{m}$ -ə bərabərdir. Bu ərinti maqnetiklərə aid olub kiçik Küri ($\theta=260^{\circ}\text{C}$) temperaturuna malikdir.

Kobaltlı (Ni 30%, Ge 8%, Co 25%, Fe 37%) ərinti üçün Küri temperaturu 380°C -dir. Bu ərintidən tez əriyən şüşələrdə cərəyan çıxışlarının hazırlanmasında istifadə olunur. 29% Ni, 18% Co və 53% Fe-dan təşkil olunmuş ərinti kovar adlanır. Bu ərintidən şüşə və keramikalarda cərəyan çıxışlarının hazırlanmasında istifadə olunur.

Elektrovakuum cihazlarında istifadə edilən lehimlərə qoyulan bir sıra ümumi tələblərlə yanaşı, həm də onların ərimə temperaturu sorma zamanı baş verən qızma temperaturundan ən azı 100°C yüksək olmalıdır. Qızma temperaturunda ($500\div 700^{\circ}\text{C}$) buxarın təzyiqi 10^{-7} mm Hg -dən böyük olmamalıdır. Adətən elektrovakuum cihazlarında orta ($500\div 700^{\circ}\text{C}$), yüksək ($1150\div 1850^{\circ}\text{C}$) ərimə temperaturuna malik olan və çətin əriyən ($t_{\text{er}} > 1850^{\circ}\text{C}$) lehimdən istifadə olunur. Oksid və flyusun qalığı vakuum aralığını çirkləndirdiyindən elektrovakuum texnikasında lehimlənmələr qaz (arqon) mühitində və ya 10^{-3} mm Hg -dən aşağı olmayan vakuumda flyüssus aparılır.

§ 1.4. Metalların şüşə və keramika ilə birləşməsi

Vakuum texnikasında metal və şüşə hissələri arasında rabitə, bu iki materialın aralığında oksid təbəqəsinin həll olması hesabına yaradılır. Bu zaman həmin hissələrin arasında keçid zonası əmələ gəlir və burada kəsilməz olaraq həll olan oksidin konsentrasiyası dəyişir. İstifadə edilən metal və şüşənin xətti genişlənmə əmsalları bir-birinə 10^{-6} K^{-1} -yə qədər yaxın olmalıdır.

Kovar və borsilikatlı şüşənin birləşməsi $1000\text{-}1080^{\circ}\text{C}$ -də baş verir. Kovarın tərkibindən asılı olaraq molibdenli və volframli şüşələrdən istifadə olunur. Bu zaman istifadə edilən lehi-

min tərkibi 96%-sirkonium, 3%-volfram və 1% titandan ibarət götürülür. Bu ərinti yaxşı işlənir, uzadılmaya və ştamplanmaya imkan verir.

Elektrovakuum cihazlarının düzəldilməsində keramika ilə metalların birləşməsində tərkibində 75-85% AlO_3 olan gil-torpaq keramikadan istifadə edilir. Son zamanlar bu məqsədlə beriliumlu keramikadan da istifadə olunur. İstifadə edilən ərintinin xətti genişlənmə əmsalı keramikanınkindən böyük olan halda elə konstruksiya seçilir ki, baxılan detalın keramika hissəsini əhatə etsin. Ümumiyyətlə, çalışılır ki, hər iki materialın xətti genişlənmə əmsalı uzlaşsın. Birləşmənin lehimlənməsi iki mərhələdə aparılır. Birinci mərhələdə keramikanın səthi əvvəlcə tərkibində 80% molibden və 20% manqan olan toz qarışığı ilə örtülür, sonra isə 3:1 nisbətində qarışdırılmış azot-hidrogen atmosferində 1300-1600°C-ə qədər qızdırılır.

İkinci mərhələdə hidrogen və ya azot-hidrogen mühitində mis-gümüş, mis-qızıl və nikel-qızıl tərkibli lehim materialından istifadə etməklə lehimləmə əməliyyatı həyata keçirilir. Bu zaman lehimləmə üçün misdən, dəmir-nikel və ya dəmir-nikel-kobalt ərintilərindən hazırlanmış detallardan istifadə edilir.

II FƏSİL

KEÇİRİCİ MATERIALLAR

§ 2.1. Keçiricilər haqqında ümumi məlumat

Elektrik cərəyanını keçirən materiallar bərk, maye və xüsusi şəraitdə qaz halında ola bilər. Keçirici bərk cisimlərə metallar, metal ərintiləri və karbonun bəzi modifikasiyaları aiddir.

Metal-istiliyi və elektrik cərəyanını yaxşı keçirən, xüsusi parlaqlığa, plastikliyə və kristal quruluşuna malik bərk cisimdir. Kristal cisimlərin anizotropiya xassəsi metallara xas deyil. Ərimiş metal soyuduqda onun həcmində çoxlu sayda elementar kristalciqlar əmələ gələrək, kristallitlərə çevrilir. Bunlar isə öz növbəsində müxtəlif istiqamətdə böyüyərək bir-biri ilə birləşir və düzgün olmayan quruluşa çevrilir. Kristallitlər öz xassələrinə görə izotrop cisimlərə daha yaxın olur. Metalların yüksək elektrik və istilik keçiriciliyinə malik olmasına səbəb, onlarda atomlara aid olmayan çoxlu sayda sərbəst elektronların mövcudluğudur. Elektrik sahəsi olmadıqda metallarda bu elektronların bütün istiqamətlərdəki istilik hərəkəti eyni ehtimalla malikdir. Xarici elektrik sahəsinin təsiri altında elektronların hərəkətində nizamlı hərəkət (dreyf hərəkəti) üstünlük təşkil etməyə başlayır. Bu istiqamətdəki elektronların sürəti çox da böyük olmur ki, bunun da səbəbi qəfəsin düyünlərindəki ionlardan və müxtəlif defektlərdən sərbəst elektronların səpilməsidir. Səpilmənin dərəcəsi qəfəsdə olan defektlərin artması ilə çoxalır. Məsəl üçün, misdə kiçik miqdarda marqans və ya silisiumun olması onun elektrik keçiriciliyini kəskin azaldır. Metal və ərintilərin elektrik keçiriciliyinin azalmasına ikinci səbəb, onların pərçimlənməyə (sıxlaşmağa) məruz qalmasıdır. Bərk halda dartılmış naqıl, yumşaq halda düzəldilmiş naqilə nisbətən daha kiçik keçiriciliyə malikdir. Metalın bərkiməsi zamanı kristallaşma prosesi baş verir ki, bu da keçiriciliyin artmasına səbəb olur.

Kristal qəfəsin bu prosesdə özünün düzgün formasını alması keçiriciliyin əvvəlki qiymətinə çatmasına səbəb olur.

Bəzi hallarda kiçik keçiriciliyə malik olan materialların alınması lazım gəlir. Bu məqsədlə metal ərintilərindən istifadə edilir. Belə metal ərintilər bərk məhlul şəklində mövcud olur. Bu tip ərintilərin alınma mexanizmi aşağıdakı kimidir. İki müxtəlif materialdan olan metal əridilərək qarışdırıldıqda onlardan (komponentlərdən) birinin atomları kristal qəfəsdə ikinci komponentin atomlarını qismən əvəz edir. Bu zaman alınmış məhlul əvəz edilmiş məhlul adlanır.

Komponentlərindən birinin atomunun ikinci komponentin kristal qəfəsinin düyün nöqtələrindəki atomlar arasında yerləşməsi nəticəsində alınmış ərinti isə daxil edilmiş bərk məhlul adlanır.

Birinci və ikinci komponentin atomlarının ölçüləri, elektron örtüyünün quruluşu və ya hər iki komponentin eyni tip qəfəs quruluşuna malik olması, ərintinin komponentləri arasında müxtəlif çəki nisbətərində kəsilməz (müntəzəm) əvəz edilmiş bərk məhlul almağa imkan verir.

Daxil edilmiş bərk məhlul alınır ki, bir komponentin atomunun ölçüsü digər komponentin atomunun ölçüsündən 15÷20% kiçik olduqda alınır. Ərintilərin elektrik keçiriciliyi onların komponentlərinin elektrik keçiriciliyindən kiçik olur. Məsələn, 6:4 nisbətində alınmış mis-nikel ərintisinin elektrik keçiriciliyi təmiz misinkindən 30 dəfə, nikelinkindən isə 7 dəfə kiçikdir. Ərintilərin elektrik müqavimətinin temperatur əmsalı çox da böyük olmur. Metallarda sərbəst elektronların konsentrasiyası temperaturdan asılı deyil. Onların yüyürüklüyü və uyğun olaraq materialın elektrik keçiriciliyi temperaturun yüksəlməsi ilə kiçilir. Bu, temperaturun yüksəlməsi ilə sərbəst elektronların səpilməsinin güclənməsi hesabına baş verir.

Bərk məhlulların qəfəs quruluşundakı pozuntular o qədər böyük olur ki, temperaturun yüksəlməsi ona az təsir göstərir. Bu səbəbdən də həmin materiallarda müqavimətin temperatur

əmsalı kiçik olur. Adətən metal və ərintilərin keyfiyyət xarakteristikası olaraq elektrik keçiriciliyi deyil, xüsusi müqavimət götürülür. Bu kəmiyyət $\text{Om}\cdot\text{mm}^2 / \text{m}$ və ya $\text{Om}\cdot\text{m}$ -lə ölçülür.

Maye keçiricilərə ərimiş metallar və müxtəlif elektrolitlər aiddir. Cıvə (ərimə temperaturu mənfi 35°C -dir) istisna olmaqla, metalların ərimə temperaturu yüksəkdir. Buna görə də normal şəraitdə keçirici maye metala cıvəni misal göstərmək olar. Qalliumun ərimə temperaturu $29,8^{\circ}\text{C}$ -dir.

Bərk və maye metalların keçiriciliyi sərbəst elektronların hərəkəti ilə müəyyən olunduğundan, onlar elektron keçiriciliyinə malik keçiricilər və ya birinci cins keçiricilər adlanır.

Elektrolitlərə və ya ikinci cins keçiricilərə turşuların, qələvilərin, duzların sulu məhlulları və həmçinin ionlu birləşmələrin ərintiləri daxildir. Bu cins keçiricilərdən cərəyan keçərkən elektrik yükü təkcə sərbəst elektronlar hesabına deyil, həm də ionlarla daşınır. Bu səbəbdən də cərəyan axan elektrolitlərin tərkibi dəyişir və elektrodların üzərində maddə toplanması baş verir. Bütün qaz və buxarlar, o cümlədən metalların buxarı elektrik sahəsinin kiçik intensivliklərində keçirici deyil. Lakin gərginliyin müəyyən bir qiymətdən böyük qiymətlərində zərbələrlə, istilik hesabına və fotoionlaşmanın təsiri nəticəsində qaz elektrik cərəyanını keçirən mühitə çevrilə bilər. Bu zaman o, qarışıq elektron və ion keçiriciliyinə malik olur. Güclü ionlaşmış qazın vahid həcmində olan elektron və mənfi yüklü ionların sayı müsbət yüklü ionların sayına bərabər olduqda yaranmış keçirici mühit **plazma** adlanır.

§ 2.2. Metalların təsnifatı

Hal-hazırda metalların keçirici material kimi ümumi qəbul edilmiş (qanunauyğun) bir təsnifatı mövcud deyil. Buna baxmayaraq, onları tərkibinə (təmiz metallar və ərintilər), elektrik keçiriciliyinin qiymətinə, Dövri Sistemdəki yerinə, elektron örtüklərinin quruluşuna və s. görə qruplaşdırmaq olar.

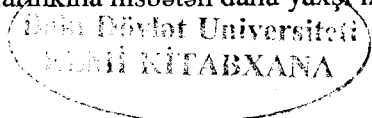
273344

Adətən keçiriciliyinin qiymətinə görə metallar “yaxşı” və “pis” keçiricilər qrupuna ayrılır. Yüksək plastikliyə malik olan metallar “yaxşı” keçiricilərə aid edilir. Bu qrupa qızıl, gümüş, alüminium, mis kimi bir çox metalları daxil etmək olar. “Pis” keçiricilər qrupuna Kimyəvi Elementlərin Dövri Sisteminin beşinci qrupunda yerləşən elementləri aid etmək olar. Məsələn, bismut, sürmə, mərgümüş və s. Həmin metallar çox kövrək olmaqla bərabər, həm də cərəyanı pis keçirir. Bunlar, bəzən yarımmetallar adlanır.

Kimyəvi Elementlərin Dövri Sistemində tutduqları yerə görə qələvi (Sistemin birinci A - yarımqrupuna daxil olan natrium və digər elementlər), əlvan (birinci B - qrupuna daxil olan birvalentli mis, gümüş, qızıl), qələvitorpaq (Sistemin ikinci yarımqrupuna daxil olan kalsium, stronsium, barium, radium), çoxvalentli, (ikinci qrupa, üçüncü A - və dördüncü A – yarımqrupa daxil olan elementlər), eləcə də aktinitlər və nadir torpaq elementləri kimi metal qrupları var.

Hər bir qrupun daxilində metalların elektrik keçiriciliyi bir-birinə yaxın olub, digər qruplardakından kəskin fərqlənir. Məsələn, əlvan metallar (mis, gümüş, qızıl) kiçik müqavimətə malik olduğu halda, nadir torpaq elementləri qrupundan olan metallar (qadolinium və digərləri) böyük müqavimətə malikdir.

Kvant mexanikasının müddəalarına əsasən, Kimyəvi Elementlərin Dövri Sistemində elementlərin sıra nömrəsi artdıqca ardıcıl olaraq onların elektron örtüklərinin elektronlarla dolma prosesi gedir. Ancaq sıra nömrəsinin müəyyən qiymətindən sonra qonşu iki örtüyün enerjisi eyni olduğundan əvvəlcə növbəti örtük deyil, bundan sonra gələn örtük dolur. Hansı elementdə belə proses gedirsə, həmin kimyəvi element keçid elementi adlanır. Bu elementlərin hamısı metal olub, Kimyəvi Elementlərin Dövri Sistemində bir neçə sıra təşkil edir (skandiumdan-nikelə, itterbiumdan-palladiuma, manqandan-platinə). Digər metallar, normal metallar adlanır. Müasir fizika normal metalların xassələrini keçid metallarına nisbətən daha yaxşı izah edə bilir.



Bu deyilənlərdən əlavə, metalları onların tətbiq sahələrindən asılı olaraq da, qruplara ayırmaq olar:

1. Elektrik dövrlərində istifadə olunan yüksək keçiriciliyə malik metallar;

2. Yüksək keçiriciliyə malik metallar əsasında hazırlanmış ərintilər;

3. Rezistorların, qızdırıcı elementlərin və termocütlərin hazırlanmasında istifadə olunan metallar;

4. Fotokatodların düzəldilməsində istifadə olunan metallar;

5. Elektrovakuum və qazla doldurulmuş cihazlarda istifadə olunan metal və ərintilər;

6. Elektrik dövrəsini açıb-bağlayan və ya dövrdə cərəyanın istiqamətini dəyişdirən açarların hazırlanmasında istifadə olunan metallar;

7. Lehim, toxunma və birləşmə yerlərində istifadə olunan metallar;

8. Müxtəlif xüsusi məqsədlər üçün istifadə olunan metallar.

§ 2.3. Metalların elektrik və istilik keçiriciliyi

Bərk cisim fizikasında potensiallar və ya temperaturlar fərqi nəticəsində yüklü zərrəciklər və enerji selinin yaranması hadisəsinə kinetik hadisələr deyilir. Bu zaman yaranan selin qiyməti onu törədən potensiallar və ya temperaturlar fərqi ilə mütənasibdir. Asılılığın mütənasiblik əmsalı isə keçiricinin həndəsi ölçülərindən və materialından asılı olur. Həndəsi ölçülərin qiyməti vahidə bərabər olduqda mütənasiblik əmsalı yalnız materialın xassələri ilə təyin edilməklə, onun fundamental fiziki xarakteristikası olur. Bu fiziki xarakteristika kinetik əmsal adlanır. Dəyişən sahədə yaranan cərəyan həndəsi ölçülər və kinetik əmsalla yanaşı, həm də sahənin dəyişmə tezliyindən, naqilin formasından və sxemin elementlərinin bir-birinə nəzərən yerləşmə vəziyyətindən asılıdır. Məsələn, naqilin dəyişən

cərəyana uyğun müqavimətinin cərəyanın dəyişmə tezliyindən asılılığı nəticəsində cərəyan naqilin en kəsiyinin mərkəzindən kənarlarına doğru sıxılır. Kinetik hadisələrə misal olaraq elektrikkeçirmə, istilikkeçirmə, termoelektrik-, qalvanomaqnit- və termomaqnit hadisələrini göstərmək olar. Bu kinetik hadisələr sırasındakı ən mühümləri elektrik və istilik keçiriciliyidir. Bu hadisələr kəmiyyətcə Om

$$j = \sigma E \quad (2.1)$$

və Furye

$$W = \alpha \Delta T \quad (2.2)$$

qanunları ilə ifadə olunur. Bu ifadələrdəki j -cərəyan sıxlığı, W - istilik selinin sıxlığı, ΔT – naqilin vahid uzunluğuna düşən

temperaturlar fərqi, $\sigma = \frac{n \tau e^2}{2 m_0}$ - metalların klassik elektron nə-

zəriyyəsinə əsasən hesablanmış xüsusi elektrik keçiriciliyi, n - elektronların konsentrasiyası, τ -onların sərbəst uçuş müddəti, e – elektronların elektrik yükü, m_0 – elektronların kütləsi,

$\alpha = \frac{3 n \tau k^2}{2 m_0}$ isə xüsusi istilik keçiriciliyidir. Empirik yolla alın-

mış Videman–Frans qanununa görə elektrik keçiriciliyi ilə istilikkeçirmə arasında xarakteristik bir asılılıq mövcuddur. Həmin asılılığa görə α/σ nisbəti temperaturla düz mütənasib olub, bütün metallar üçün təqribən eyni qiymətə malikdir. Bu nisbətin mütləq temperatura nisbəti ilə təyin olunan mütənasiblik əmsalı Lorents ədədi (L) adlanır və bütün metallar üçün eyni qiymətə malikdir:

$$L = 3 \left(\frac{k}{e} \right)^2 = 2,23 \cdot 10^{-8} \frac{V^2}{K^2} . \quad (2.3)$$

Sərbəst elektronlara Fermi-Dirak statistikasını tətbiq etdikdə Lorens ədədi üçün daha dəqiq qiymət alınır: