

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ
ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱԳԻՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ
(ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿ)**

*Էլեկտրատեխնիկական ֆակուլտետ
Էլեկտրական մեքենաների և
ապարատների ամբիոն*

Ն Յ ՈՒ Թ Ա Գ Ի Տ ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

Ուսումնական ձեռնարկ

**ԵՐԵՎԱՆ
ՃԱՐՏԱՐԱԳԵՏ
2011**

ՀՏԴ 620.22 (075.8)
ԳՄԴ 30.3 ց 73
Ն 820

Չրատարակվում է Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի 20.12.2008թ. գիտական խորհրդի նիստում հաստատված 2009թ. հրատարակական պլանի համաձայն

Կազմողներ՝ **Է.Խ.Մարտիրոսյան, Է.Վ.Կուրդիյան, Մ.Ս.Թովմասյան**
Գրախոսներ՝

«ԱՐՆԻԻԿՊ» ՓԲԸ գլխավոր տնօրեն,

տ.գ.դ.՝ **Գ. Պ. Ղազանչյան,**

ԷՄԱ ամբիոնի դոցենտ՝

Լ.Գ.Աթաբեկյան

Ն 820 **Նյութագիտություն:** Ուսումնական ձեռնարկ/ Կազմ.՝ Է.Խ.Մարտիրոսյան, Է.Վ.Կուրդիյան, Մ.Ս.Թովմասյան; ՀՊՀՀ.- Եր.: Ճարտարագետ, 2011.- 156էջ:

«Նյութագիտություն» առարկայի ուսումնական ձեռնարկը նախատեսված է՝ Էլեկտրատեխնիկական, Էներգետիկայի, Ռադիոտեխնիկայի և կապի համակարգերի, Քոմպյուտերային համակարգերի և ինֆորմատիկայի, Կիբեռնետիկայի ֆակուլտետների ուսանողների համար:

ՀՏԴ 620.22 (075.8)

ԳՄԴ 30.3 ց 73

ISBN 978-9939-55-662-8

© ՃԱՐՏԱՐԱՐԳԵՏ, 2011

© Մարտիրոսյան Է.Խ., 2011

© Կուրդիյան Է.Վ., 2011

© Թովմասյան Մ.Ս., 2011

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

Նախաբան	5
Ներածություն.....	6
ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՎԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ	
1 ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՎԱՆԵՐԻ ԲՆԵՌԱՑՈՒՄ	9
1.1 Դիէլեկտիկը էլեկտրական դաշտում	9
1.2 Դիէլեկտրիկների բևեռացումը և դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը	10
1.3 Բևեռացման հիմնական տեսակները	14
1.4 Դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը տարբեր գործոններից	21
2 ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՎԱՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱՅԱՂՈՐԴԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	30
2.1 Հիմնական հասկացություններ	30
2.2 Գազերի էլեկտրահաղորդականությունը	33
2.3 Հեղուկ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը	36
2.4 Պինդ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը	38
2.5 Կարծր դիէլեկտրիկների մակերևութային էլեկտրահաղորդականությունը	41
3. ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՎԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՄՏՆԵՐ	43
3.1 Հիմնական հասկացություններ	43
3.2 Դիէլեկտրիկական կորուստների տեսակները	46
3.3 Դիէլեկտրիկական կորուստների հզորության և կորուստներ անկյան տանգենսի կախումը տարբեր գործոններից	52
4. ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՎԱՆԵՐԻ ԾԱԿՈՒՄԸ	55
4.1 Դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրության որոշումը	55
4.2 Գազերի ծակում	56
4.3 Հեղուկ դիէլեկտրիկների ծակումը	64
4.4 Կարծր դիէլեկտրիկների ծակումը.....	66
5 ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՎԱՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ	71
6 ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԿԱՈՒՄԻԶ ՆՅՈՒԹԵՐ	74
6.1 Գազային դիէլեկտրիկներ	74
6.2 Հեղուկ դիէլեկտրիկներ	75

6.3	Խեժեր.....	78
6.4	Կերամիկական նյութեր	82
6.5	Փայլարը և նյութեր նրա հիման վրա	84
6.6	Շերտավոր պլաստիկատներ.....	85
6.7	Լաքագործվածքներ	86
6.8	Թղթե դիէկտրիկներ	86
7	ԱԿՏԻՎ ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐ	88
7.1	Սեզնետոէկտրիկներ	88
7.2	Պիեզոէկտրիկներ	93
7.3	Պիրոէկտրիկներ	96
7.4	Քվանտային էլէկտրոնիկայի նյութեր	97
	ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ.....	101
8.	Ընդհանուր տեղեկություններ մագնիսացման տեսության մասին	101
8.1	Ռեզերֆորդի և Բորի ատոմի մոդելները	101
8.2	Նյութերի մագնիսական վիճակների տեսակները.....	105
8.3	Ընդհանուր տեղեկություն ֆերոմագնիսականության մասին	108
8.4	Մագնիսացման կորերը	112
8.5	Հիստերեզիսի օղակ	117
8.6	Կորուստները մագնիսական նյութերում	119
8.7	Ցածր հաճախության մագնիսափափուկ նյութեր.....	120
8.8	Բարձր հաճախության մագնիսափափուկ նյութեր	123
8.9	Մագնիսակոշտ նյութեր	125
	ՉԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐ	128
9.1	Հաղորդիչների տեսակները.....	128
9.2	Հաղորդիչների հիմնական հատկությունները	129
9.3	Բարձր հաղորդման նյութեր	136
9.4	Դժվարահալ մետաղներ	139
9.5	Բարձր դիմադրության համահալույթներ	141
9.6	Գերհաղորդիչներ և կրիոհաղորդիչներ	142
	ԿԻՍԱՉԱՂՈՐԴԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐ	146
10.1	Ընդհանուր տեղեկություններ կիսահաղորդիչ նյութերի վերաբերյալ	146
	ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ	154

Ն Ա Խ Ա Ք Ա Ն

Նոր տեխնոլոգիաները և ավելի խստացված պահանջները էլեկտրատեխնիկական, ռադիոտեխնիկական, էլեկտրոնային և այլ սարքավորումների նկատմամբ, թելադրում են օգտագործվող նյութերի ինչպես որակի, այնպես էլ հատկությունների բարելավում և նոր նյութերի ստեղծում:

«Նյութագիտություն» ուսումնական ձեռնարկն ընդգրկում է օգտագործվող նյութերի մեծ խումբ, որտեղ տեղ են գտել դիէլեկտրիկները, կիսահաղորդիչները, հաղորդիչները, գեր հաղորդիչները և հիպերհաղորդիչները, մագնիսական նյութերը, ակտիվ դիէլեկտրիկները: Ձեռնարկում համառոտ բերված են նյութերի էլեկտրաֆիզիկական հատկությունները, դրանց կախվածությունը էլեկտրամագնիսական դաշտից, ջերմաստիճանից և այլ գործոններից, նյութերի նկարագրությունը և ստացման տեխնոլոգիան:

«Նյութագիտություն» ուսումնական ձեռնարկը նախատեսված է ՀԴՃՀ էլեկտրատեխնիկական, էներգետիկայի, ռադիոտեխնիկայի և կապի համակարգերի, քոմպյութերային համակարգերի և ինֆորմատիկայի, կիբեռնետիկայի ֆակուլտետների ուսանողների համար:

ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Էլեկտրառադիոնյութերը անհրաժեշտ են լարեր, կաբելներ, ալիքատարներ, անտենաներ, մեկուսիչներ, կոնդեսատորներ, մեկուսիչներ, ռեզիստորներ, ինդուկտիվության կոճեր, տրանսֆորմատորներ, էլեկտրաշարժիչներ և գեներատորներ, դիոդներ, տրանզիստորներ, էլեկտրոնային լամպեր, էլեկտրամեխանիկական փոխակերպիչներ, լազերներ և մազերներ, լույսի ընդունիչներ պատրաստելու համար: Դրանց հատկություններից կախված է սարքի էլեկտրական սխեմայի աշխատանքը՝ գեներացումը, հաղորդումը, ուղղումը, էլեկտրական հոսանքի ուժեղացումն ու մոդուլացումը, էլեկտրական մեկուսացման ստեղծումը և այլն:

Էլեկտրական դաշտի նկատմամբ նյութի հիմնական հատկությունը էլեկտրահաղորդականությունն է, այսինքն՝ հաստատուն (չփոփոխվող ժամանակից) էլեկտրական լարման ազդեցության տակ էլեկտրական հոսանք հաղորդելու ընդունակությունը: Եթե նյութը գտնվում է E լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում, ապա նյութում եղած ազատ լիցքավորված մասնիկները՝ լիցքակիրները, $F=qE$, (որտեղ q -ն մասնակի լիցքն է) ուժի ազդեցության տակ ձեռք են բերում արագացում E վեկտորի ուղղությամբ (զ դրական լիցք ունեցող լիցքակիրների համար) կամ (զ բացասական լիցքով կրիչների համար): Այս ձևով տարածության մեջ առաջացող էլեկտրական լիցքերի կարգավորված (ի տարբերություն ջերմային քաոսայինի) շարժումը հենց էլեկտրական հոսանքն է նյութում:

Այն դեպքում, երբ նյութում գոյություն ունեն միայն մեկ տեսակի ազատ լիցքակիրներ, հոսանքի խտությունը J -ն, այսինքն՝ այն էլեկտրական լիցքը, որը տեղափոխվում է միավոր ժամանակում միավոր մակերեսով, ուղղահայաց է E -ին,

$$J = qNv_t, \quad (Ն.1)$$

որտեղ N -ը նյութում ազատ լիցքակիրների քանակն է միավոր ծավալում (կրիչների կոնցենտրացիան) m^{-3} , v_t -ն կրիչների կարգավորված շարժման միջին արագությունն է, որն առաջացել է էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ: Սովորաբար V_t արագությունը համեմատական է E լարվածությանը

$$\mathbf{v}_t = \mu \mathbf{E} , \quad (\text{Լ.2})$$

որտեղ μ -ը համեմատականության գործակիցն է, $\text{մ}^2/(\text{Վ}\cdot\text{վրկ})$, որը կոչվում է *լիցքակիրների շարժունակություն*:

Հաշվի առնելով (Լ.2)-ը (Լ.1) հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ կերպ՝

$$\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E} = \frac{\mathbf{E}}{\rho} , \quad (\text{Լ.3})$$

որտեղ $\gamma = qN\mu$ տեսակարար էլեկտրական հաղորդականությունն է, Սիմ/մ, $\rho = 1/\gamma$ տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունն է, Օհմ-մ:

Տեսակարար հաղորդականությունը և տեսակարար դիմադրությունը որոշում են նյութում հոսանքի խտությունը տրված էլեկտրական դաշտի լարվածության դեպքում, այսինքն՝ քանակապես բնութագրում են էլեկտրահաղորդականության երևույթը:

γ և ρ պարամետրերը որոշում են նյութում էլեկտրական էներգիայի ցրումը: Համաձայն Ջոուլ-Լենցի օրենքի դիֆերենցիալ ձևի, E լարվածությամբ էլեկտրական դաշտի էներգիան ($\text{Վտ}/\text{մ}^3$), միավոր ժամանակում և նյութի միավոր ծավալում վերափոխվում է ջերմության,

$$\rho = \gamma E^2 = \frac{E^2}{\rho} : \quad (\text{Լ.4})$$

Տարբեր էլեկտրառադիոնյութերի γ -ի և ρ -ի արժեքները խիստ տարբեր են: Գերհաղորդման վիճակում նյութերի տեսակարար դիմադրությունը գործնականում հավասար է զրոյի, իսկ նոսր գազերում ձգտում է անվերջության: Եթե դիտարկումը սահմանափակվի նույնիսկ միայն պինդ մարմիններով, որոնք գտնվում են նորմալ պայմաններում, ապա ρ -ի արժեքները ընդգրկում են 25 կարգ $\approx 10^{-8}$ Օհմ \cdot մ-ից լավագույն մետաղական հաղորդիչների համար (պղինձ, արծաթ, ալյումին) մինչև $\approx 10^{17}$ Օհմ \cdot մ լավագույն դիէլեկտրիկների համար (որոշ պոլիմերներ):

Դիէլեկտրիկները բարձր տեսակարար դիմադրությամբ նյու-

թեր են և օգտագործվում են, հատկապես, որպես էլեկտրամեկուսիչ նյութեր: Այս դեպքում դրանք նախատեսվում են արգելելու հասանքի անցմանը տվյալ սարքի աշխատանքի համար անցանկալի ուղիներով: Կոնդեսատորներում դիէլեկտրիկ նյութերը ծառայում են՝ տրված ունակությունը ստեղծելու համար:

Ակտիվ դիէլեկտրիկները տարբերվում են սովորական դիէլեկտրիկներից (էլեկտրամեկուսիչ նյութերից) նրանով, որ էլեկտրական սխեմայի աշխատանքին ակտիվ մասնակցություն են ունենում, համապատասխան մասերում ծառայում են գեներացման՝ ուժեղացման, մոդուլացման, էլեկտրական ազդանշանների կերպափոխման համար: Ակտիվ դիէլեկտրիկներին պատկանում են լազերների ու մագներների համար նյութերը, սեզնետո-, պիեզո- և պիերոէլեկտրիկները, էլեկտրաօպտիկական ու ոչ գծային օպտիկական նյութերը, էլեկտրետները և այլն: Մագնիսական նյութերը, ի տարբերություն ոչ մագնիսայինների (որոնք գործնականորեն մագնիսացվածություն ձեռք չեն բերում մագնիսական դաշտում տեղավորելիս), օժտված են մագնիսամալու ընդունակությամբ, իսկ որոշ մասը պահպանում է իր մագնիսացվածությունը նաև մագնիսական դաշտը վերացնելուց հետո: Մագնիսական նյութերից պատրաստում են ինդուկտիվության կոճերի և տրանսֆորմատորի միջուկներ, մագնիսական հիշող համասարքեր, հաստատուն մագնիսներ և այլն:

Հաղորդիչ նյութերը ծառայում են՝ էլեկտրական հոսանքն անցկացնելու համար: Դրանք, որպես կանոն, օժտված են շատ փոքր կամ տրված տեսակարար դիմադրությամբ: Դրանց պատկանում են մի կողմից՝ գերհաղորդիչ և կրիոհաղորդիչ նյութերը, որոնց □-ն ցածր ջերմաստիճանում անչափ փոքր է, իսկ մյուս կողմից՝ մեծ դիմադրության նյութերը, որոնք օգտագործվում են ռեզիստորներ և էլեկտրատաքացման տարրեր պատրաստելու համար:

Կրիոհաղորդիչ նյութերը տեխնիկայում օգտագործում են այն դեպքերում, երբ անհրաժեշտ է լարման, ջերմաստիճանի, լուսավորվածության և այլ գործոններով ղեկավարել հաղորդականությունը: Այդ նյութերից պատրաստում են դիոդներ, տրանզիստորներ,

թերմիստորներ, ֆոտոռեզիստորներ և այլ կիսահաղորդչային սարքեր:

ԱՌԱՋԻՆ ՄԱՍ

ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ

1. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐԻ ԲՆԵՈԱՑՈՒՄ

1.1. Դիէլեկտիկը էլեկտրական դաշտում

Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիէլեկտրիկում տեղի ունեցող կարևորագույն պրոցեսներից է **բևեռացումը**: Այն առաձգական կապված լիցքերի սահմանափակ շեղումն է կամ դիպոլային մոլեկուլների կողմնորոշումը էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ: Դիէլեկտրիկում բևեռացման պրոցեսը բնութագրվում է հարաբերական դիէլեկտրիկական թափանցելիությամբ՝ ϵ և դիէլեկտրիկական կորուստների անկյան տանգենսով՝ $\operatorname{tg} \delta$:

Բոլոր տեխնիկական դիէլեկտրիկներում գոյություն ունեն որոշ քանակով ազատ լիցքեր, և էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ տեղի է ունենում այդ լիցքերի շարժումը դաշտի ուղղությամբ: Դիէլեկտրիկում առաջանում են շատ փոքր մեծությամբ հոսանքներ, որոնք կոչվում են **անցողիկ** կամ **միջանցիկ** հոսանքներ ($i_{միջ}$), և անցնում են դիէլեկտրիկի ծավալով և մակերևույթով: Այս երևույթը դիէլեկտրիկում բնութագրվում է տեսակարար ծավալային դիմադրությամբ՝ ρ_v (Օհմ/մ) և տեսակարար մակերևութային դիմադրությամբ՝ ρ_s (Օհմ):

Դիէլեկտրիկները կարող են օգտագործվել լարման որոշակի արժեքների ժամանակ, որից բարձրի դեպքում տեղի է ունենում դիէլեկտրիկի **ծակում**, այսինքն՝ դիէլեկտրիկը կորցնում է իր էլեկտրամեկուսչային հատկությունները: Դիէլեկտրիկների այս երևույթը բնութագրվում է էլեկտրական ամրության մեծությամբ՝ E_* (ՄՎ/մ), որը ցույց է տալիս նյութի առանց քայքայման, աշխատելու ունակությունը կիրառված լարման տակ:

$$E_{\delta} = \frac{U_{\delta}}{h},$$

որտեղ U_{δ} -ն դիէլեկտրիկի ծակման լարումն է (ՄՎ),

h – ը՝ դիէլեկտրիկի հաստությունը (մ),

Գրականության մեջ հանդիպում է նաև Միջազգային համակարգին չհամապատասխանող տեսք՝ կՎ/մմ: 1 ՄՎ/մ = 1 կՎ/մմ:

1.2. Դիէլեկտրիկների բևեռացումը և դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը

Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիէլեկտրիկում ընթանում են բևեռացման պրոցեսներ:

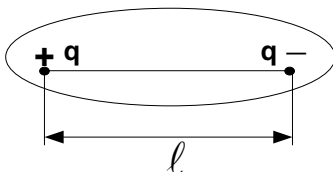
Էլեկտրական դաշտը հանելուց հետո, շեղված լիցքերը ձգտում են վերադառնալ իրենց նախնական վիճակին: Բևեռային դիէլեկտրիկում էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ տեղի է ունենում դիպոլային մոլեկուլների կողմնորոշում դաշտի ուղղությամբ: Էլեկտրական դաշտը հանելուց հետո մոլեկուլների ջերմային շարժման հետևանքով տեղի է ունենում դիպոլների անկանոն վերադասավորում:

Ըստ բևեռացման, դիէլեկտրիկները բաժանվում են երկու խմբի՝ **բևեռային**, որոնք ունեն մշտական գործող դիպոլային մոմենտ և **ոչ բևեռային**, որտեղ դիպոլային մոմենտները բացակայում են:

Եթե որևէ մոլեկուլում բոլոր դրական լիցքերը փոխարինենք մեկ գումարային դրական կետային լիցքով, և այն տեղադրվի դրական լիցքերի ծանրության կենտրոնում, կատարելով նույնափսի գումարում և տեղադրում բացասական լիցքերի հետ, ապա այդ գումարային կետային լիցքերը տարածության մեջ կարող են իրար հետ չհամընկնել կամ համընկնել: Եթե լիցքերի ծանրության կենտրոնները համընկնում են, դիէլեկտրիկը կոչվում է **ոչ բևեռա-**

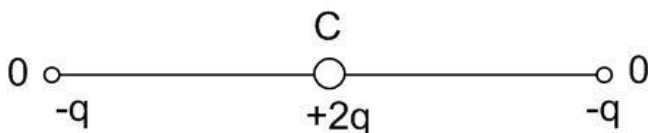
յիւն, հակառակ դեպքում՝ բևեռային մշտական գործող հաստատուն էլեկտրական մոմենտով՝

$$M = q \cdot \ell :$$

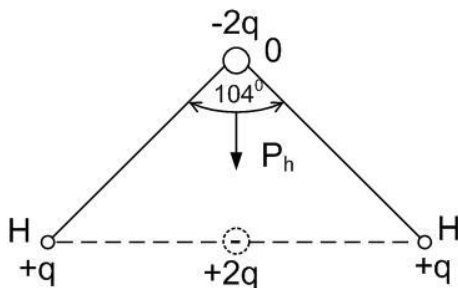


Օրինակ՝

Ածխածնի երկօքսիդ՝ CO_2 - ոչ բևեռային



Ջուր՝ H_2O - բևեռային



Դիէլեկտրիկի բևեռացման ժամանակ, երբ այն տեղադրված է երկու շրջադիրների միջև, դրական լիցքերը կուտակվում են բացասական C վրա և հակառակը: Այս դեպքում մենք ունենք հարթ կոնդենսատոր: Դիէլեկտրիկում առաջանում է E_0 ներքին դաշտ, որն ուղղված է արտաքին $E_{արտ}$ դաշտին հակառակ, այսինքն՝ ցանկացած դիէլեկտրիկ էլեկտրական դաշտում կարելի է պատկերացնել որպես հարթ կոնդենսատոր (նկ.1.1):

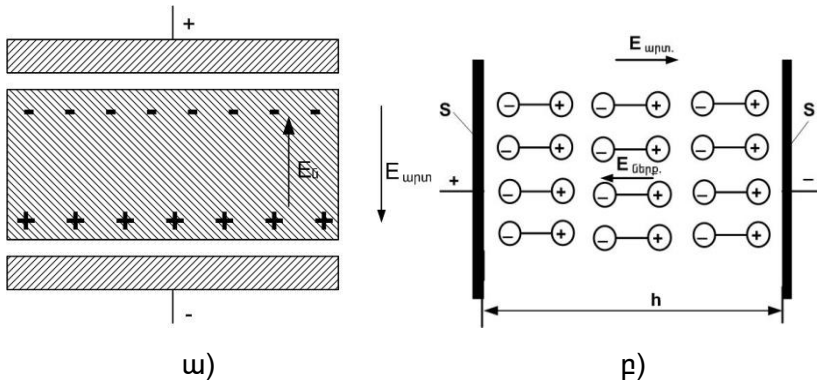
Այդպիսի կոնդենսատորի թիթեղների վրա կուտակված լիցքերի քանակը՝

$$Q = C \cdot U, \quad (1.1)$$

որտեղ U - ն շրջադիրների կիրառված լարումն է, (Վ)

C - ն ունակությունն է, (Ֆ)

Q - ն լիցքերի քանակն է շրջադիրների վրա, (Կ):



Նկ. 1.1. դիէլեկտրիկում լիցքերի դասավորությունը էլեկտրական լարման ազդեցության տակ.

(ա) ոչ բևեռային, (բ) բևեռային դիէլեկտրիկում:

$$Q = Q_0 + Q_n, \quad (1.2)$$

որտեղ Q_0 -ն լիցքերի քանակն է շրջադիրների վրա, երբ դրանց միջև լակուում է:

Q_n -ն լիցքերի քանակն է շրջադիրների վրա՝ պայմանավորված դիէլեկտրիկի բևեռացումով,

Հարաբերական դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը՝ ϵ -ը, դիէլեկտրիկի կարևորագույն բնութագրերից է: Այն ցույց է տալիս, թե դիէլեկտրիկի առկայության դեպքում քանի անգամ է մեծանում կուտակված լիցքերի քանակը կոնդենսատորի շրջադիրների վրա

համեմատ այն լիցքերի քանակի, երբ շրջադիրների միջև վակուում է բոլոր հավասար պայմանների դեպքում (կիրառված լարում, շրջադիրների միջև եղած հեռավորություն, շրջադիրների մակերես և այլն):

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_0} = \frac{C}{C_0}$$

կամ (1.3)

$$\varepsilon = \frac{(Q_0 + Q_n)}{Q_0} = 1 + \frac{Q_n}{Q_0},$$

որտեղ C_0 -ն կոնդենսատորի ունակությունն է վակուումի դեպքում, C -ն կոնդենսատորի ունակությունն է դիէլեկտրիկի առկայության դեպքում:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0},$$

որտեղ ε -ը հարաբերական դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է,

ε' -ը բացարձակ դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է (նյութի),

ε_0 -ն նյութի էլեկտրական հաստատունն է

($\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Գ/Մ}$):

Ինչպես երևում է (1.3) արտահայտությունից, դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը 1-ից մեծ է ($\varepsilon > 1$), իսկ 1-ի հավասար է վակուումի դեպքում ($\varepsilon = 1$):

1.3. Բևեռացման հիմնական տեսակները

Ինչպես նշված էր, դիէլեկտրիկները բաժանվում են երկու խմբի՝

- **բևեռային**, որոնք ունեն մշտական գործող դիպոլային մոմենտներ, $\varepsilon > 3$,

- **ոչ բևեռային**, որոնք դիպոլային մոմենտներ չունեն, $\varepsilon \approx 2 \div 2.5$,

Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիէլեկտրիկում դիտվում է բևեռացման երկու հիմնական տեսակ՝

1. **ակնթարթային**, որը կատարվում է առանց դիէլեկտրիկական կորուստների: Այն կարող է լինել

- ա) էլեկտրոնային,

- բ) իոնային

2. **դանդաղ** կամ **ռելաքսային**, որը կատարվում է զգալի դիէլեկտրիկական կորուստներով և կարող է լինել՝

- ա) դիպոլառելաքսային,

- բ) իոնառելաքսային,

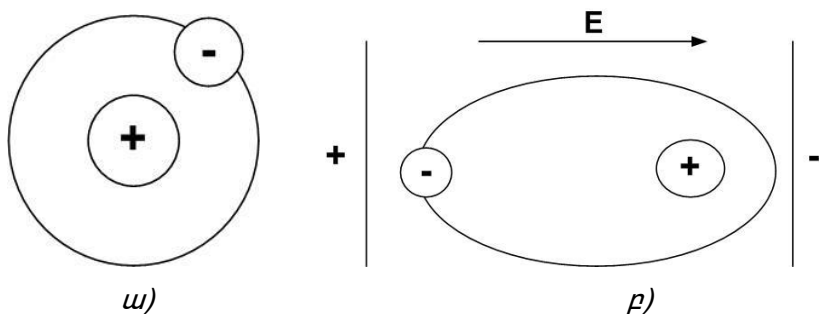
- գ) էլեկտրոնառելաքսային,

- դ) տարաշարժային (միգրացիոն) կամ միջշերտային,

- ե) ինքնական (սպոնտան):

ա) էլեկտրոնային բևեռացում:

Այն դրականորեն լիցքավորված միջուկի նկատմամբ էլեկտրոնների ուղեծրի առաձգական շեղումն է և դեֆորմացիան, որը հաստատվում է $10^{-14} \dots 10^{-15}$ վայրկյանում (նկ.1.2): Էլեկտրոնային բևեռացումը դիտվում է բոլոր դիէլեկտրիկներում առանց էներգիայի կորուստների:



Նկ. 1.2. Էլեկտրոնային բևեռացում

ա) էլեկտրական դաշտը բացակայում է, բ) էլեկտրական դաշտն առկա է:

Մաքուր էլեկտրոնային բևեռացման դեպքում թափանցիկ դիէլեկտրիկների դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը՝ $\epsilon \approx n^2$, որտեղ n -ը լույսի բեկման ցուցիչն է՝

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\mu\epsilon},$$

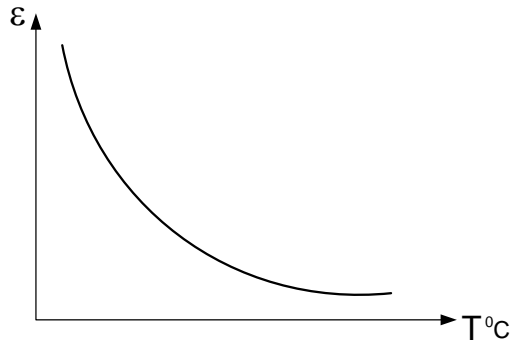
$$\mu \approx 1, \epsilon \approx n^2,$$

որտեղ c – ց լույսի արագությունն է վակուումում,

v – ց՝ էլեկտրամագնիսական ալիքի արագությունը,

μ - ց՝ հարաբերական մագնիսական թափանցելիությունը:

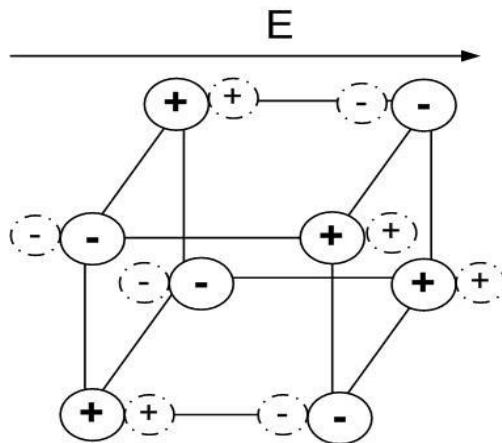
Ջերմաստիճանի բարձրացումից տեղի է ունենում դիէլեկտրիկի ջերմային ընդհարձակում, միավոր ծավալում մոլեկուլների քանակը, հետևաբար և բևեռացման աստիճանը նվազում են, և ϵ -ը փոքրանում է (Նկ.1.3):



Նկ. 1.3. ϵ – ի կախումը ջերմաստիճանից միայն էլեկտրոնային բևեռացման ժամանակ

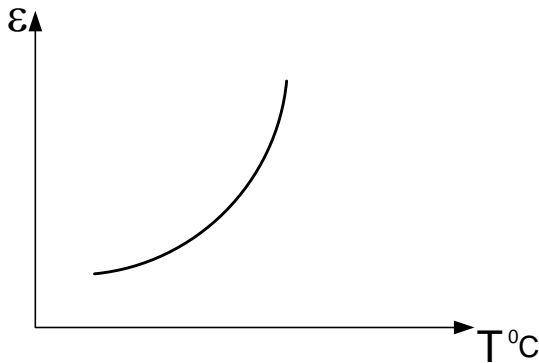
բ) Իոնային բևեռացում:

Այն տեղի է ունենում իոնային կառուցվածքով կարծր դիէլեկտրիկներում և տարանուն լիցքերով իոնների՝ իրար նկատմամբ առաձգական շեղումն է (նկ.1.4): Բևեռացումը կատարվում է $10^{-12} \dots 10^{-13}$ վայրկյանում, առանց կորուստների:



Նկ. 1.4. Իոնային բևեռացում

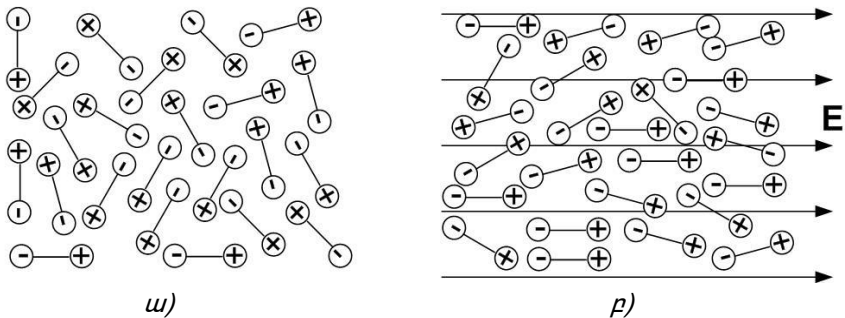
Ջերմաստիճանի բարձրացումից իոնների միջև առաձգական կապերը թուլանում են, բևեռացման աստիճանը աճում է, ε -ի արժեքը մեծանում է (նկ.1.5):



Նկ. 1.5. ε -ի կախումը ջերմաստիճանից իոնային բևեռացման ժամանակ

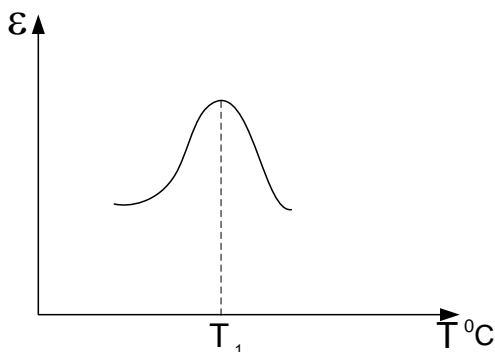
գ) Դիպոլառեւաքային բևեռացում:

Այս բևեռացումը բնորոշ է բևեռային դիէլեկտրիկներին, այն դիպոլային մոլեկուլների շեղումն է էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ և պայմանավորված է կապված մոլեկուլների ջերմային շարժման հետ (նկ.1.6):



Նկ. 1.6. Դիպոլների կողմնորոշումը էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ. ա) էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում, բ) էլեկտրական դաշտի առկայության դեպքում:

Էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում դիպոլները ջերմային շարժման մեջ են: Էլեկտրական դաշտ կիրառելիս բոլոր դիպոլները շեղվում են դաշտի ուղղությամբ, առաջացնելով բևեռացման մեծ էֆեկտ: Ջերմաստիճանի բարձրացումից միջնուկեկուլային կապերը թուլանում են, դիպոլները սկսում են ավելի հեշտ կողմնորոշվել դաշտի ուղղությամբ, բևեռացման աստիճանն աճում է, ε -ը մեծանում է՝ հասնելով առավելագույն արժեքի: Սակայն ջերմաստիճանի հետագա աճի դեպքում մոլեկուլների ջերմային շարժումը մեծանում է և խոչընդոտում բևեռացմանը, բևեռացման աստիճանը նվազում է, համապատասխանաբար փոքրանում է նրանց կողմնորոշումը դաշտի ուղղությամբ, ε -ը փոքրանում է (նկ.1.7):



Նկ. 1.7. ε – ի կախումը ջերմաստիճանից դիպոլառեւելաքսային բևեռացման ժամանակ

Դիպոլների կողմնորոշումը դաշտի ուղղությամբ պահանջում է հաղթահարել որոշակի դիմադրություն՝ պայմանավորված դիպոլների միջև գործող շփման ուժերով, այդ պատճառով դիպոլառեւելաքսային բևեռացումն ընթանում է էներգիայի կորուստներով:

Բարձր հաճախության դեպքում դիպոլները չեն հասցնում հետևել դաշտի փոփոխմանը, և ε -ը նվազում է: Այն ժամանակահատվածը, որի ընթացքում բևեռացված դիպոլների քանակը դաշտը հեռացնելուց հետո նվազում է e ($e = 2,73$) անգամ,

կոչվում է *ռելաքսացիայի ժամանակ*՝ τ_0 : Դիպոլառելաքսային բևեռացումը կատարվում է $10^{-6} \dots 10^{-10}$ վրկ.:

դ) Իոնառելաքսային բևեռացում:

Դիտվում է անօրգանական ապակիների և բևեռային կառուցվածք ունեցող որոշ նյութերի մոտ որոնք ունեն իոնների ոչ խիտ դասավորություն: Թույլ կապված իոնները ջերմային շարժման ժամանակ ձեռք են բերում լրացուցիչ շարժում դաշտի ուղղությամբ: Դաշտը հանելուց հետո բևեռացումը նվազում է էքսպոնենտի օրենքով, սակայն ջերմաստիճանի բարձրացումից բևեռացման ինտենսիվությունը մեծանում է:

ե) Էլեկտրոնառելաքսային բևեռացում:

Այս բևեռացումն առաջանում է հավելյալ էլեկտրոնների և խոռոչների ջերմային շարժման արդյունքում: Էլեկտրոնառելաքսային բևեռացումը հատուկ է բարձր բեկման գործակից և էլեկտրոնային հաղորդականություն ունեցող դիէլեկտրիկներին (տիտանի երկօքսիդի TiO_2 , նիոբիումի Nb^{+5} , կալցիումի Ca^{+2} , բարիումի Ba^{+2} իոնների խառնուրդներով): Այս բևեռացման ժամանակ նկատվում է ε -ի բարձր արժեք և ջերմաստիճանից կախված ε -ի առավելագույն արժեք: Հաճախությունից կախված ε -ը նվազում է:

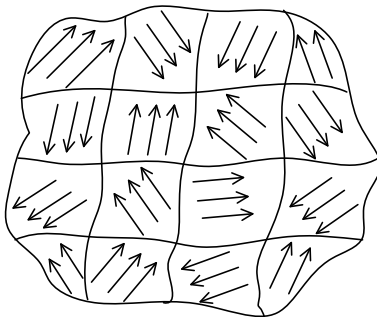
զ) Տարաշարժային (միգրացիոն) կամ միջշերտային բևեռացում:

Այս բևեռացումը լրացուցիչ բևեռացման տեսակ է, որը կատարվում է անհամասեռ կառուցվածքով կարծր դիէլեկտրիկներում, որոնց մեջ գոյություն ունեն հաղորդչային կամ կիսահաղորդչային ներամուծվածքներ: Բևեռացումը կատարվում է հաստատուն լարման կամ ցածր հաճախության փոփոխական լարման ժամանակ և ընթանում է էներգիայի զգալի կորուստներով: Էլեկտրական դաշտ կիրառելիս հաղորդչային կամ կիսահաղորդչային ներամուծվածքներում տեղի են ունենում ազատ լիցքերի տեղաշարժ դեպի այս ներամուծվածքի սահմանը, և բաժանման սահմանում առաջանում է ազատ լիցքերի տեղային կուտակում (տեղային բևեռացում):

Այդպիսի բևեռացումը կոչվում է տարաշարժային (միգրացիոն): Շերտավոր դիէլեկտրիկներում տեղի է ունենում շերտերի սահմանին դանդաղ շարժվող տարբեր նշանի լիցքերի կուտակում, այդպիսի բևեռացումը կոչվում է միջշերտային բևեռացում:

դ) Ինքնակամ (սպոնտան) բևեռացում: Այն դիտվում է բյուրեղային կառուցվածքով կարծր դիէլեկտրիկներում, որոնց մեջ կան դոմեններ (մակրոսկոպիկ տիրույթներ):

Դոմենում էլեկտրական մոմենտները ուղղված են միմյանց գոլգահեռ, սակայն յուրաքանչյուր դոմեն ունի դաշտի իր արդյունարար ուղղվածությունը: Էլեկտրական դաշտի բացակայության ժամանակ նյութի գումարային մոմենտը հավասար է զրոյի $\sum M = 0$ (նկ.1.8):

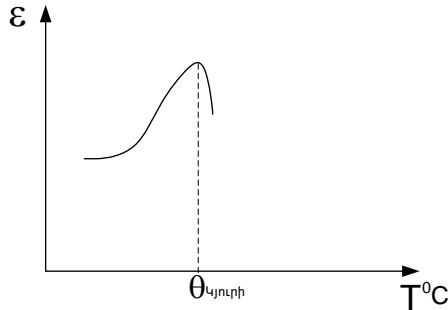


Նկ. 1.8. Պինդ դիէլեկտրիկների դոմենային կառուցվածքը

Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դոմենների մոմենտները շեղվում են դաշտի ուղղությամբ՝ առաջացնելով ուժգին բևեռացում: Այսպիսի դիէլեկտրիկներում դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը՝ $\varepsilon = 1000 \dots 10000$ է:

Ինքնակամ բևեռացումը բնութագրվում է բևեռացման հագեցումով, այսինքն էլեկտրական դաշտի լարվածության որոշակի արժեքի դեպքում, բևեռացումն աստիճանը չի աճում: Ինքնակամ բևեռացումը կախված է ջերմաստիճանից և ունի առավելագույն արժեք: Այսինքն՝ ջերմաստիճանի որոշակի արժեքների դեպքում

քում ($\theta_{\text{կյուրի}}$), տեղի է ունենում նյութի դոմենային կառուցվածքի ջերմային քայքայում, բևեռացումը վերանում է, այդ ջերմաստիճանը կոչվում է Կյուրիի ջերմաստիճան կամ Կյուրիի կետ՝ $\theta_{\text{կյուրի}}$ (նկ.1.9):



Նկ.1.9. ε – ի կախումը ջերմաստիճանից ինքնակամ բևեռացման ժամանակ

1.4. Դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը տարբեր գործոններից

ա) դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից և ճնշումից:

ε -ի կախումը ջերմաստիճանից բնութագրվում է դիէլեկտրիկական թափանցելիության ջերմաստիճանային գործակցով՝

$$TKe = a_e = \frac{1}{e} \times \frac{de}{dT} \quad (K^{-1}), \quad (1.4)$$

որտեղ T -ն բացարձակ ջերմաստիճանն է, որը ցույց է տալիս ε -ի հարաբերական փոփոխությունը, երբ ջերմաստիճանը բարձրանում է մեկ աստիճանով:

Ոչ բևեռային դիէլեկտրիկներում ջերմաստիճանը բևեռացման պրոցեսի վրա անմիջականորեն չի ազդում: Մոլեկուլների էլեկտրոնային բևեռացվածությունը ջերմաստիճանից կախված չէ, սակայն ջերմաստիճանը բարձրացնելիս նյութի ջերմային ընդարձակման

պատճառով բևեռացվող մոլեկուլների քանակը միավոր ծավալում փոքրանում է, հետևաբար TK_ε -ը բացասական է: Ոչ բևեռային գազերի համար TK_ε -ը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$TK_\varepsilon = -\frac{\varepsilon - 1}{T} \quad (4^{-1}) \quad (1.5)$$

Օդի համար $T=20^\circ\text{C}$ – ի դեպքում՝

$$TK_\varepsilon = -\frac{1,00058 - 1}{293} = -2 \cdot 10^{-6} \quad (4^{-1}) \quad (1.6)$$

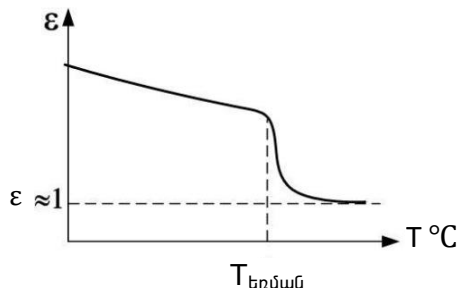
ճնշումից կախված՝

$$DK_\varepsilon = \frac{1}{\varepsilon} \cdot \frac{d\varepsilon}{dP} \quad (\text{Պա}^{-1}) \quad (1.7)$$

DK_ε -ն դիէլեկտրիկական թափանցելիության ճնշման գործակիցն է, ցույց է տալիս ε -ի հարաբերական փոփոխությունը ճնշումը մեկ միավորով բարձրացման դեպքում:

Դիէլեկտրիկների վրա ազդող ճնշումը մեծացնելիս նյութի խտությունը՝ հետևաբար մասնիկների քանակը նյութի միավոր ծավալում աճում է, ε –ի արժեքը մեծանում է:

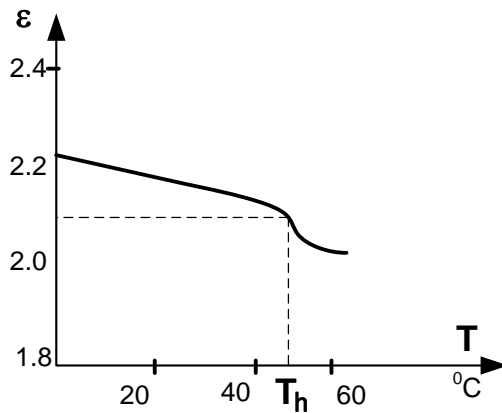
▪ Ոչ բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկների համար դիէլեկտրիկական թափանցելիության՝ ε -ի կախումը ջերմաստիճանից ունի հետևյալ տեսքը (նկ.1.10):



Նկ. 1. 10. Ոչ բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկների դիէլեկտրիկական թափանցելիության՝ ε -ի կախումը ջերմաստիճանից

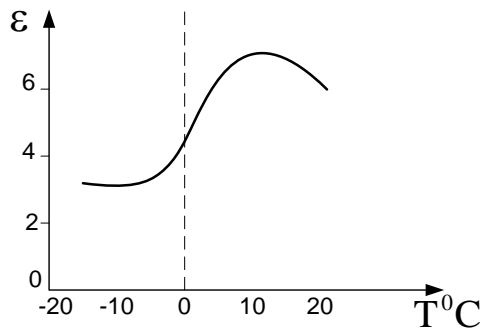
ε -ը կախված ջերմաստիճանից նվազում է, քանի որ ջերմային ընդարձակման ժամանակ մոլեկուլների քանակը միավոր ծավալում փոքրանում է: Եռման ջերմաստիճանում $T_{\text{եռման}}$ հեղուկը անցնում է գազային վիճակի, ε -ի արժեքը կտրուկ փոքրանում է:

▪ Ոչ բևեռային պինդ դիէլեկտրիկների համար դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից փոփոխվում է նույն օրինաչափությամբ, ինչպես ոչ բևեռային հեղուկներինը: ε -ի կտրուկ փոքրացումը պարաֆինի համար բացատրվում է ֆազային անցումով պինդ մարմնից հեղուկի, որը պայմանավորված է ծավալի և խտության թռիչքային փոփոխությամբ (նկ.1.11):



Նկ.1.11. Ոչ բևեռային պինդ դիէլեկտրիկների դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից պարաֆինի համար

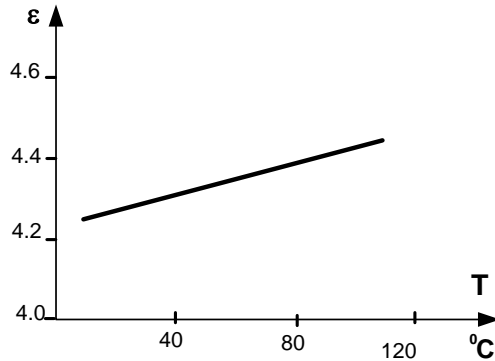
▪ Բևեռային դիէլեկտրիկներում դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից ավելի բարդ տեսք ունի, քանի որ, դրանց մոտ դիտվում են ռելաքսային բևեռացումներ: Օրինակ՝ հեղուկ բևեռային դիէլեկտրիկ սովոլի ($C_{12}H_{25}Cl$) համար ε -ի կախումը ջերմաստիճանից, ունի հետևյալ տեսքը (նկ.1.12)՝



Նկ.1.12. ε –ի կախումը ջերմաստիճանից բևեռային դիէլեկտրիկ սովուղի համար

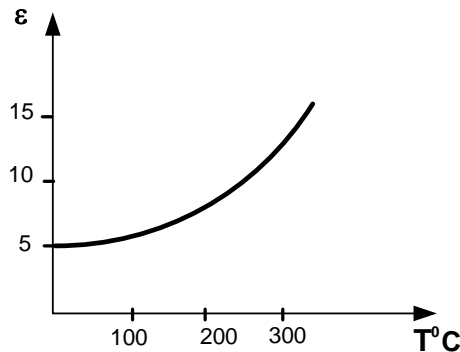
Ջերմաստիճանի բարձրացումից հեղուկի մածուցիկությունը փոքրանում է, դիպոլները հեշտությամբ կողմնորոշվում են դաշտի ուղղությամբ, բևեռացման աստիճանը աճում է, ε -ը մեծանում է մինչև որոշակի առավելագույն արժեք, որից բարձր ջերմաստիճանների ժամանակ դիպոլների ջերմային շարժումը ուժգնանում է և խոչընդոտում բևեռեցմանը, հետևաբար ε -ը փոքրանում է:

▪ Իոնային կառուցվածքով պինդ դիէլեկտրիկներում իոնների խիտ դասավորվածության դեպքում դիտվում են էլեկտրոնային և իոնային բևեռացումներ: Ջերմաստիճանի բարձրացումից էլեկտրոնային բևեռացման աստիճանը նվազում է, իսկ իոնային բևեռացման աստիճանը՝ աճում, ընդ որում, վերջինիս ազդեցությունը ավելի ուժեղ է, որի շնորհիվ ջերմաստիճանի բարձրացումից դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը՝ ε -ը աճում է: Օրինակ՝ KCl -ի համար այն ունի հետևյալ տեսքը (Նկ.1.13)



Նկ. 1.13. Դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից $KC\ell$ -ի համար

▪ Իոնային կառուցվածքով պինդ դիէլեկտրիկներում իոնների ոչ խիտ դասավորվածության դեպքում, բացի իոնային և էլեկտրոնային բևեռացումից, դիտվում է նաև ռելաքսային բևեռացում, ջերմաստիճանի լայն տիրույթում դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն աճում է: Օրինակ, էլեկտրատեխնիկական կերամիկայի համար ε -ի կախումը ջերմաստիճանից ունի հետևյալ տեսքը (նկ. 1.14)



Նկ. 1.14. Դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը ջերմաստիճանից էլեկտրատեխնիկական խեցի համար

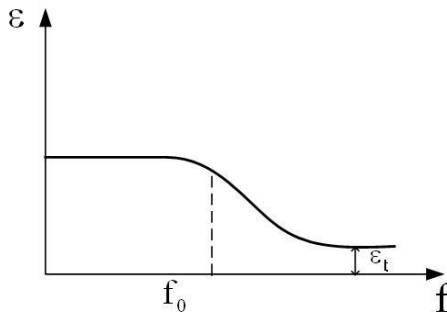
բ) դիէլեկտրիկական թափանցելիություն կախումը հաճախությունից:

▪ Ոչ բևեռային դիէլեկտրիկների համար ε -ը հաճախությունից կախված չէ, քանի որ դրանցում դիտվում են միայն էլեկտրոնային բևեռացում, որը ակնթարթային է և կախված չէ դաշտի հաճախությունից (նկ.1.15):



Նկ. 1. 15. Ոչ բևեռային դիէլեկտրիկների համար դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը հաճախությունից

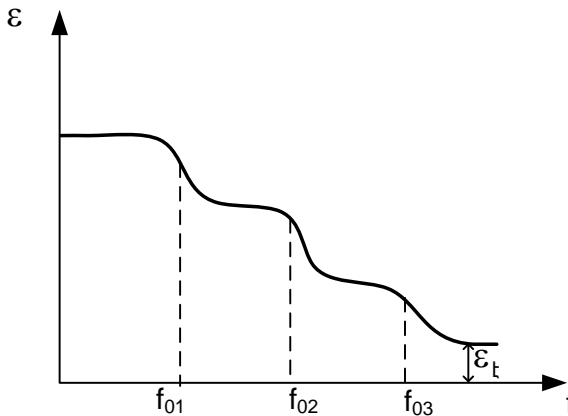
▪ Բևեռային դիէլեկտրիկներում, բացի էլեկտրոնային և իոնային բևեռացումներից, դիտվում են ռելաքսային բևեռացումներ: Այդպիսի դիէլեկտրիկներում դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախվածությունը հաճախությունից բերված է նկ.1.16-ում :



Նկ. 1. 16. Բևեռային դիէլեկտրիկների համար դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը հաճախությունից

Հաճախությունը մեծացնելիս ε -ը սկզբում չի փոխվում, քանի որ դիպոլները հասցնում են կողմնորոշվել դաշտի ուղղությամբ, բայց որոշակի f_0 հաճախությունից սկսած՝ դիպոլները չեն հասցնում կողմնորոշվել դաշտի ուղղությամբ, բևեռացման աստիճանը նվազում է, ε -ը փոքրանում է՝ ձգտելով էլեկտրոնային բևեռացումով պայմանավորված ε_t -ի արժեքին:

Բազմաքանակ բևեռացումներ ունեցող բևեռային դիէլեկտրիկների ε -ի կախումը հաճախությունից ունի հետևյալ տեսքը նկ.1.17:



Նկ. 1.17. Հաճախությունների լայն տիրույթում բևեռային դիէլեկտրիկների դիէլեկտրիկական թափացելիության կախումը հաճախությունից

Ինչպես երևում է նկ.1.17-ից յուրաքանչյուր բևեռացման տեսակ ունի իր գոյության հաճախային տիրույթը, որից բարձր հաճախության դեպքում բևեռացման այդ տեսակը վերանում է: f_0 հաճախությունը, որի դեպքում տեղի է ունենում ε -ի նվազում, որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$f_0 = \frac{kT}{8\pi^2 \eta r^3} \quad (1.8)$$

որտեղ k -ն Բոլցմանի հաստատունն է,

f_0 –ը ռեզոնանսային հաճախությունն է,

η –ն՝ հեղուկի դիմամիկական մածուցիկությունը,

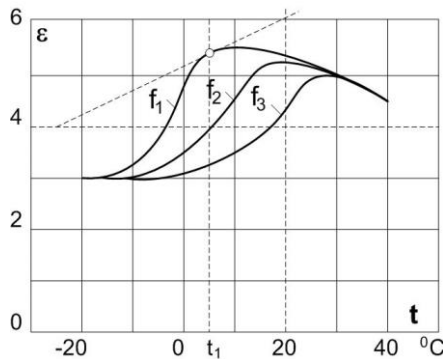
r –ը՝ մոլեկուլի շառավիղը:

ε -ի փոփոխությունը հաճախությունից կոչվում է *դիէլեկտրիկական դիսպերսիա*: Այն դիսպերսիան, որը անընդհատ նվազում է հաճախության աճի հետ կոչվում է *ռելաքսային*: Այն բնորոշ է դիպոլային և միգրացիոն բևեռացումների համար:

f_0 հաճախության կախումը մոլեկուլի ռելաքսացման ժամանակից՝ τ_0 -ց արտահայտվում է.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\tau_0} \quad (1.9)$$

Բևեռային դիէլեկտրիկում ε -ի ջերմային կախվածությունը տարբեր հաճախությունների դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝ $f_1 < f_2 < f_3$ (նկ.1.18):



Նկ. 1.18. Բևեռային դիէլեկտրիկի (սովուլ) դիէլեկտրիկական թափացելիության կախումը ջերմաստիճանից տարբեր հաճախությունների համար

1- $f_1=50$ Հց, 2- $f_2=400$ Հց, 3- $f_3=1000$ Հց,

Հաճախությունը մեծացնելիս ε -ի առավելագույն արժեքը շեղվում է ավելի բարձր ջերմաստիճանների գոտի, առավելագույն արժեքի համար ռելաքսացման ժամանակը կլինի՝

$$\tau_0 = \frac{1}{2\pi f_0} \quad (1.10)$$

Հաճախությունը մեծացնելիս τ_0 -ն փոքրանում է: Ջերմաստիճանի աճի հետ փոքրանում է նյութի խտությունը, ուստի բևեռացման ժամանակի նվազագույն արժեքը τ_0 -ն (կամ ε -ի առավելագույն արժեքը) ձգտում է դեպի բարձր ջերմաստիճանների տիրույթ: Ջերմաստիճանը բարձրացնելու ընթացքում բևեռացմանը սկսում է խանգարել ջերմային շարժումը, հետևաբար ε -ը նվազումի է:

գ) դիէլեկտրիկական թափանցելիության կախումը խոնավությունից:

Հիդրոսկոպիկ դիէլեկտրիկների ε -ը սովորաբար զգալիորեն մեծանում է խոնավացնելիս, որը բացատրվում է ջրի ε -ի բարձր արժեքով: Հաճախ դիէլեկտրիկի ε -ի չափումը օգտագործում են նրա խոնավությունը հսկելու համար:

2. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱԳՆՈՐՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

2.1. Հիմնական հասկացություններ

Բևեռացման ընթացքում, երբ տեղի է ունենում առաձգական կապված լիցքերի կամ դիպոլային մոլեկուլների կողմնորոշումը դաշտի ուղղությամբ, առաջանում են շեղման հոսանքներ: Էլեկտրոնային և իոնային բևեռացումով պայմանավորված շեղման հոսանքները կարճատև են և դրանք հնարավոր չէ չափել:

Ռեֆրաքային բևեռացումով պայմանավորված հոսանքները կոչվում են *աբսորբային* ($i_{աբս}$) կամ *կլանման հոսանքներ* և դրանք հնարավոր է չափել: Հաստատուն լարման դեպքում այս հոսանքները դիտվում են լարման միացման և անջատման ժամանակ: Փոփոխական լարման կիրառման դեպքում այդ հոսանքները գոյություն ունեն լարման կիրառման ամբողջ ժամանակահատվածում:

Բոլոր տեխնիկական դիէլեկտրիկներում գոյություն ունեն որոշ քանակությամբ ազատ լիցքեր:

Լարման կիրառման ժամանակ ազատ լիցքերի ուղղորդված շարժումը առաջացնում է փոքր մեծությամբ *միջանցիկ* ($i_{միջ}$) կամ անցողիկ հոսանք: i հոսանքի կախումը ժամանակից հաստատուն լարման դեպքում ունի հետևյալ տեսքը (մկ.2.1):

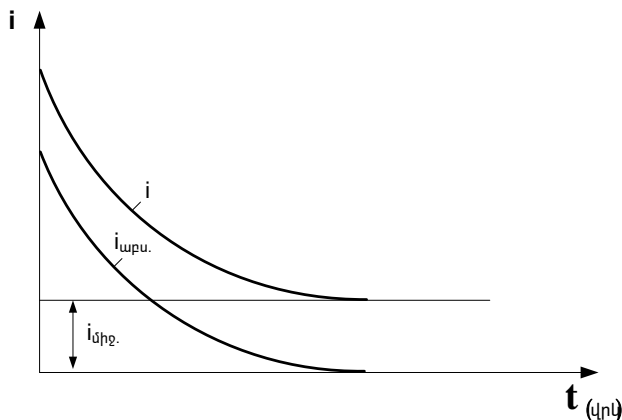
Այսպիսով դիէլեկտրիկով անցնող հոսանքը՝

$$i = i_{աբ} + i_{միջ} \quad (2.1)$$

Դիէլեկտրիկի մեկուսացման դիմադրությունը պայմանավորված է միջանցիկ հոսանքով՝

$$R_{մեկ.} = \frac{U}{i_{միջ}} = \frac{U}{i - \sum i_{բևեռ}} \quad (2.2)$$

որտեղ U -ն դիէլեկտրիկին կիրառված լարումն է, i -ն ընդհանուր դիտվող հոսանքը, $\sum i_{բևեռ}$ -ն բևեռացումներով պայմանավորված շեղման հոսանքների գումարն է:



Նկ. 2.1. Ղիէլէկտրիկով անցնող հոսանքի կախումը ժամանակից
 i – ընդհանուր հոսանքը, $i_{արս.}$ – արսորբային հոսանքը, $i_{միջ.}$ – միջանցիկ հոսանքը

Ղիէլէկտրիկների հաղորդականությունը հիմնականում պայմավորված է խառնուրդներում գտնվող ազատ իոնների շարժումով, այսինքն՝ այն հիմնականում ունի իոնային բնույթ։ Որոշ ղիէլէկտրիկներում պայմանավորված է նաև ազատ էլէկտրոններով։ Միջանցիկ հոսանքներն անցնում են ղիէլէկտրիկի ծավալով և մակերևույթով միաժամանակ, հետևաբար լրիվ դիմադրությունը կլինի՝

$$R_{մեկ} = \frac{R_{\delta} R_{մ}}{R_{\delta} + R_{մ}} \quad (Օմ) \quad (2.3)$$

Ղիէլէկտրիկի կարևորագույն բնութագրերից են տեսակարար ծավալային՝ ρ_v և տեսակարար մակերևութային դիմադրությունը՝ ρ_s :

Տեսակարար ծավալային դիմադրությունը՝ ρ_v -ն, ղիէլէկտրիկի ծավալից մտովի վերցված 1մ կողով խորանարդի դիմադրությունն է, երբ հոսանքն անցնում է ուղղահայաց հանդիպակաց միստերով (նկ.2.2 ա)՝

$$\rho_v = R_v \frac{S}{h} \text{ (Օմ}\cdot\text{մ)} \quad (2.4)$$

որտեղ R_v - ն մնուշի ծավալային դիմադրությունն է (Օմ),

S - ը էլեկտրոդի մակերեսն է (մ^2),

h - ը մնուշի հաստությունն է (մ):

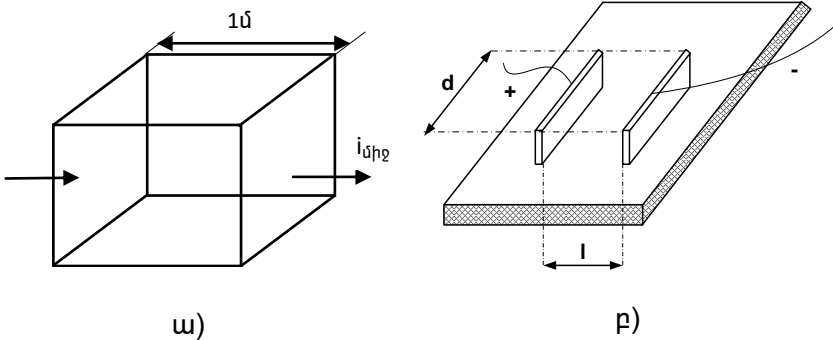
Տեսակարար մակերևութային դիմադրությունը՝ ρ_s -ը, դիէլեկտրիկ մակերևութից մտովի վերցված ցանկացած չափի քառակուսու դիմադրությունն է, երբ հոսանքն անցնում է հանդիպակաց այդ քառակուսու կողմերին (նկ.2.2 բ)՝

$$r_s = R_s \frac{d}{l} \text{ (Օմ)} \quad (2.5)$$

որտեղ R_s - ը մնուշի մակերևութային դիմադրությունն է (Օմ),

d -ն՝ էլեկտրոդների երկարությունն է (մ),

l -ը՝ էլեկտրոդների միջև եղած հեռավորությունը (մ):



Նկ. 2.2. ա) ծավալային հոսանքի ուղղությունը ρ_v -ի չափման դեպքում, բ) էլեկտրոդների դիրքը ρ_s -ի չափման դեպքում

Տեսակարար ծավալային՝ γ_v և մակերևութային՝ γ_s հաղորդականությունները որոշվում են հետևյալ բանաձևերով՝

$$\gamma_v = \frac{1}{\rho_v} \text{ (Սմ/մ)} \text{ և } \gamma_s = \frac{1}{\rho_s} \text{ (Սմ)}: \quad (2.6)$$

2.2. Գազերի էլեկտրահաղորդականությունը

Էլեկտրահաղորդականությունը գազերում կախված է էլեկտրական դաշտի լարվածությունից: Էլեկտրական դաշտի ցածր լարվածության դեպքում էլեկտրահաղորդականությունը գազերում շատ փոքր է և պայմանավորված է արտաքին գործոններով (ճառագայթում, բարձր ջերմաստիճան), այդ էլեկտրահաղորդականությունը կոչվում է *ոչ ինքնուրույն*:

Գազերում էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածության դեպքում տեղի է ունենում հարվածային իոնացում: Գազերի իոնացումը, պայմանավորված էլեկտրահաղորդականությամբ, կոչվում է *ինքնուրույն*:

Թույլ դաշտերում հարվածային իոնացումը բացակայում է, և ինքնուրույն էլեկտրահաղորդականություն տեղի չի ունենում, հաղորդականությունը ոչ ինքնուրույն է:

Արտաքին գործոններով պայմանավորված իոնացման դեպքում գազերում առաջանում են դրական և բացասական իոններ: Միևնույն ժամանակ տարբեր նշանի իոններ կարող են միանալ՝ ստեղծելով չեզոք մոլեկուլներ: Այս երևույթը կոչվում է՝ *վերամիավորում (ռեկոմբինացում)*:

Նորմալ պայմաններում գազերում գործում է հավասարակշռության պայմանը. ինչ քանակությամբ մոլեկուլներ իոնացվում են, նույն քանակությամբ էլ վերականգնվում են:

Ենթադրենք գազի միավոր ծավալում կան n_0 քանակությամբ դրական և բացասական իոններ: Իոնների քանակը, որոնք վերամիավորվում են միավոր ժամանակահատվածում, միավոր ծավալում, որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$n_1 = v \cdot n_0^2 \quad (2.7)$$

որտեղ v -ն վերամիավորման գործակիցն է,

n_0 -ն դրական և բացասական լիցքերի քանակն է միավոր ծավալում:

Համաձայն հավասարակշռության պայմանի իոնացված n_1 և վերամիավորված n_2 լիցքերի քանակը հավասար է՝

$$n_1 = n_2 \quad (2.8)$$

Եթե իոնացված գազում կիրառենք էլեկտրական դաշտ, իոնները կշարժվեն դաշտի ուղղությամբ՝ շղթայում առաջացնելով հոսանք։ Իոնների մի մասը, շարժվելով դաշտի ուղղությամբ, ճանապարհին վերամիավորվում է, իսկ մյուս մասը, հասնելով շրջադիրների, չեզոքանում է։ Այս երևույթը արտահայտվում է հետևյալ տեսքով.

$$n_2 = v \cdot n_0^2 + \frac{j}{q} \quad (2.9)$$

որտեղ j -ն հոսանքի խտությունն է,

$\frac{j}{q}$ -ն շրջադիրների վրա չեզոքացած իոնների քանակն է:

Դիտարկենք երկու դեպք

- 1) Հոսանքի խտությունը շատ փոքր է: Լիցքերի քանակը, որոնք չեզոքանում են թիթեղների վրա, կարելի է անտեսել:

$$\frac{j}{q} \ll v \cdot n_0^2, \quad n_2 = v \cdot n_0^2 \quad (2.10)$$

այս դեպքում կարող ենք գրել՝

$$j = n_0 q (v_+ + v_-) = n_0 q (\mu_+ + \mu_-) E = \gamma E \quad (2.11)$$

որտեղ v_+ -ը և v_- -ը դրական և բացասական լիցքերի արագություններն են,

μ_+ -ը և μ_- -ը դրական և բացասական լիցքերի շարժունակություններն են,

γ -ն տվյալ մյուսի էլեկտրահաղորդականությունն է,

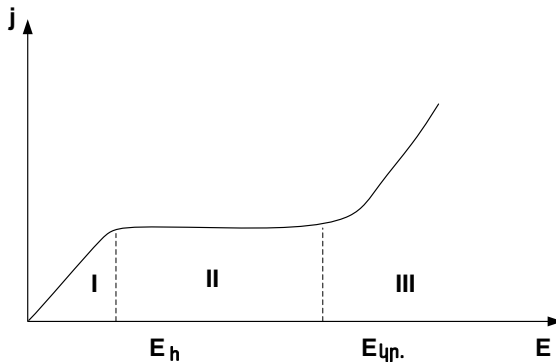
E -ն էլեկտրական դաշտի լարվածությունն է:

(2.11)-բանաձևից երևում է, որ թույլ դաշտերում գործում է Օհմի օրենքը, այսինքն՝ հոսանքի խտությունը ուղիղ համեմատական է էլեկտրական դաշտի լարվածությանը՝ $j = g E$:

2) Հոսանքի խտությունը մեծ է: Այս դեպքում դաշտի լարվածության մեծացումից Օհմի օրենքը խախտվում է: Դա պայմանավորված է նրանով, որ լարվածության մեծացման հետ իոնների շարժման արագությունը մեծանում է, որից կտրուկ նվազում է վերամիավորման հավանականությունը: Այս դեպքում գազում եղած բոլոր իոնները չեզոքանում են շրջադիրների վրա առանց վերամիավորման, և գազերում առաջանում է հազեցման վիճակ: Այստեղ հոսանքի խտությունը կախված չէ դաշտի լարվածությունից.

$$n_2 = \frac{j}{q} \quad (2.12)$$

Հոսանքի խտության կախումը դաշտի լարվածությունից գրաֆիկորեն ունի հետևյալ տեսքը՝ (նկ.2.3)



Նկ.2.3. Գազերում հոսանքի խտության կախումը դաշտի լարվածությունից

I - թույլ դաշտերի հատվածն է, որտեղ գործում է Օհմի օրենքը մինչև հազեցման E_h կետը, II - միջին դաշտերի հատվածն է, որը կոչվում է հազեցման վիճակ, III - ուժեղ դաշտերի հատվածն է:

Էլդ-ից հետո էլեկտրահաղորդականությունը գազերում կտրուկ աճում է, քանի որ առաջանում է հարվածային իոնացում, աճում է ինքնուրույն էլեկտրահաղորդականությունը, որից հետո տեղի է ունենում գազերի ծակում:

2.3. Հեղուկ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը

Հեղուկների էլեկտրահաղորդականությունը կախված է հեղուկի վիճակից: Ոչ բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկներում այն պայմանավորված է հեղուկներում խառնուրդների դիսոցմամբ, այդ թվում նաև խոնավությամբ: Բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկում այն պայմանավորված է ինչպես հեղուկում գոյություն ունեցող խառնուրդների, այնպես էլ սեփական մոլեկուլների դիսոցմամբ:

Էլեկտրահաղորդականությունը հեղուկներում պայմանավորված է ինչպես իոնների, այնպես էլ հարաբերական մեծ կոլիդային մասնիկների (մոլիոնների) ուղղորդված շարժումով: Եթե ոչ բևեռային հեղուկ դիէլեկտրիկով երկար ժամանակ անցկացվի հաստատուն լարման հոսանք, ապա ազատ լիցքակիրների տեղաշարժումով դեպի շրջադիրներ, հեղուկ դիէլեկտրիկը կմաքրվի խառնուրդներից, որի հետևանքով նրա տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը կփոքրանա, տեղի կունենա հեղուկի էլեկտրական մաքրում:

Հեղուկների տեսակարար հաղորդականությունը կախված է ջերմաստիճանից:

Ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ նվազում է հեղուկի մածուցիկությունը, մեծանում է իոնների շարժունակությունը, աճում է մոլեկուլների ջերմային դիսոցման աստիճանը, և այս երկու գործոնները բարձրացնում են հեղուկի էլեկտրահաղորդականությունը՝

$$\gamma = A e^{-\frac{b}{T}} \quad (2.13)$$

որտեղ A -ն և b -ն տվյալ նյութը բնութագրող գործակիցներ են:

Ջերմաստիճանի ոչ լայն տիրույթում՝

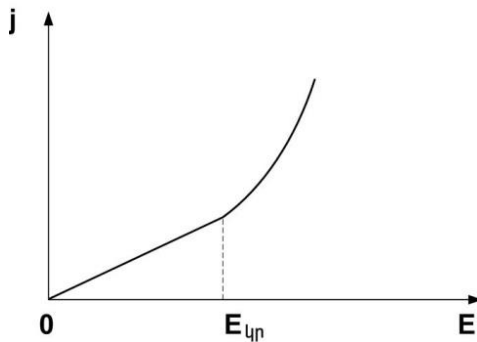
$$\gamma = \gamma_0 e^{\alpha T} \quad (2.14)$$

որտեղ γ_0 -ն և α -ն տվյալ հեղուկի համար հաստատուն մեծություններ են,

T -ն ջերմաստիճանն է, $^{\circ}\text{C}$,

Էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածության՝ մոտ 10-100 ՄՎ/մ դեպքում, ինչպես ցույց է տվել փորձը, հոսանքը հեղուկում չի ենթարկվում Օհմի օրենքին, որը բացատրվում է էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ շարժվող իոնների քանակի կտրուկ մեծացումով:

Հեղուկներում հոսանքի խտության կախումը դաշտի լարվածությունից ունի հետևյալ տեսքը՝



Նկ.2.4. Հոսանքի խտության կախումը դաշտի լարվածությունից

Մինչև $E_{կ}$ լարվածությունը հեղուկներում հաղորդականությունը ենթարկվում է Օհմի օրենքին: $E_{կ}$ -ից բարձր լարվածության դեպքում հեղուկներում առաջանում է հարվածային իոնացում, հաղորդականությունը կտրուկ աճում է:

Խառնուրդներից առավելագույնս մաքրված հեղուկներում նկ.2.4-ի կորում առաջանում է հորիզոնական տիրույթ (հագեցման երևույթ) ինչպես գազերում:

Կոլոիդային համակարգերում էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է մոլեկուլների խմբերով (մոլիոններով) այդպիսի

Էլեկտրահաղորդականությունը կոչվում է էլեկտրաֆորեզային, իսկ երևույթը՝ էլեկտրաֆորեզ: Կոլոիդային համակարգից էլեկտրատեխնիկայում օգտագործվում են էմուլսիաները (երկու բաղադրիչներն էլ հեղուկ) և սուսպենզիաները (կարծր մասնիկները հեղուկում): Էմուլսիաների և սուսպենզիաների կայունությունը բացատրվում է մոլիոնների լիցքավորվածությամբ: Արտաքին դաշտի ազդեցության տակ մոլիոնները սկսում են շարժվել և հասնելով շրջադիրների՝ չեզոքանում են, շրջադիրը ծածկվում է դիսպերսային փուլում գտնվող նյութով: Էլեկտրաֆորեզային էլեկտրահաղորդականություն ունեն էմուլսիայի տեսքով ջուր պարունակող յուղերը և խեժեր պարունակող սինթետիկ հեղուկները:

Ի տարբերություն էլեկտրոլիզի, էլեկտրաֆորեզի ժամանակ նոր նյութեր չեն առաջանում, այլ ուղղակի տեղի է ունենում հեղուկի տարբեր շերտերում դիսպերսային փուլի հարաբերական կոնցետրացիայի փոփոխություն:

2.4. Պինդ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը

Պինդ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է ինչպես դիէլեկտրիկի սեփական իոններով, այնպես էլ պատահական խառնուրդների իոններով, իսկ որոշ դիէլեկտրիկներում այն պայմանավորված է ազատ էլեկտրոններով: Եթե պինդ դիէլեկտրիկներով (ինչպես հեղուկ դիէլեկտրիկներում) երկար ժամանակ կիրառվի հաստատուն լարման հոսանք, ապա խառնուրդների տեղափոխման պատճառով տեղի կունենա պինդ դիէլեկտրիկի էլեկտրական մաքրում:

Պինդ դիէլեկտրիկների էլեկտրահաղորդականության բնույթը կախված է նյութի կառուցվածքից: Իոնային կառուցվածքով պինդ դիէլեկտրիկներում էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ իոնների տեղաշարժումով, որոնք անջատվում են բյուրեղային ցանցի հանգույցներից: Ընդ որում, էլեկտրական դաշտի ցածր լարվածության և ցածր ջերմաստիճանի արժեքների դեպքում սկզբում անջատվում են թույլ կապված իոններ, որոնք հիմնականում խառնուրդների

իոններ են և գտնվում են թույլ կապված կամ ազատ վիճակում: Այսպիսի էլեկտրահաղորդականությունը կոչվում է խառնուրդային: Էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածության և ջերմաստիճանի դեպքում բյուրեղային ցանցի հանգույցներից պոկվում են սեփական իոններ: Այսպիսի էլեկտրահաղորդականությունը կոչվում է սեփական:

Մոլեկուլային և ատոմային կառուցվածքով պինդ դիէլեկտրիկներում էլեկտրահաղորդականությունը պայմանավորված է խառնուրդների իոններով:

Անկախ նյութի կառուցվածքից՝ էլեկտրահաղորդականությունը պինդ դիէլեկտրիկներում հիմնականում բնութագրվում է լիցքավորված մասնիկների ակտիվացման էներգիայով: Այս դեպքում տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը տվյալ ջերմաստիճանի համար որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$\gamma = q n_{0T} \mu_T \quad (2.15)$$

որտեղ q -ն իոնի լիցքն է,

n_{0T} -ն միավոր ծավալում իոնների քանակն է,

μ_T -ն դրական և բացասական իոնների շարժունակությունն է:

Իոնային կառուցվածքով դիէլեկտրիկներում իոնների քանակը՝ n_{0T} -ն, և շարժունակությունը՝ μ_T -ն, կախված ջերմաստիճանից, որոշվում են հետևյալ արտահայտություններով՝

$$n_{0T} = n_0 e^{-\frac{w_i}{kT}} \quad (2.16)$$

$$\mu_T = \mu_m e^{-\frac{w_m}{kT}} \quad (2.17)$$

որտեղ n_0 -ն իոնների ընդհանուր քանակն է,

kT -ն ջերմային էներգիան է,

μ_m -ն իոնների առավելագույն շարժունակությունն է,

w_i -ն իոնների դիսոցման (անջատման) էներգիան է,

$W_{\text{տ}}$ - իոնների տեղաշարժման էներգիան է, որն անհրաժեշտ է իոնների տեղաշարժը մի անհավասարակշիռ վիճակից մեկ այլ վիճակի անցնելու համար:

Տեղադրելով (2.16) և (2.17) հավասարումները (2.15) արտահայտության մեջ կստանանք՝

$$\gamma = qn_0\mu_m e^{-\frac{W_{\text{դ}}+W_{\text{տ}}}{kT}} \quad (2.18)$$

Նշանակելով՝

$$A = qn_0\mu_m, \quad b = \frac{W_{\text{դ}}+W_{\text{տ}}}{k} \quad (2.19)$$

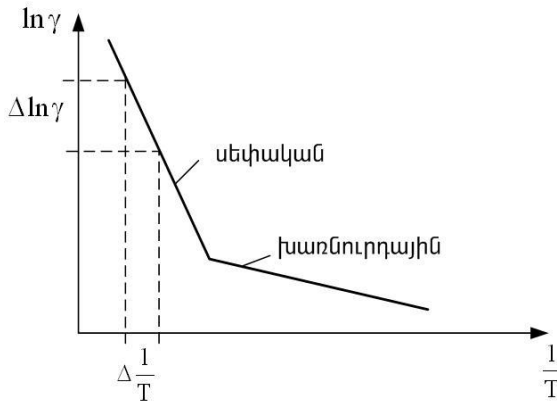
որտեղ A -ն և b -ն գործակիցներ են որոնք բնութագրում են տվյալ նյութը:

Կստանանք՝

$$\gamma = Ae^{-\frac{b}{T}} \quad (2.20)$$

Քանի որ $W_{\text{դ}} \gg W_{\text{տ}}$, ուստի γ -ի արժեքը, կախված ջերմաստիճանի փոփոխությունից, կապված է լիցքակիրների խտության փոփոխման հետ:

Պինդ դիֆուզիոնների համար տեսակարար էլեկտրահաղորդականության կախվածությունը (լոգարիթմական մասշտաբում) բացարձակ ջերմաստիճանի հակադարձ մեծությունից ունի հետևյալ տեսքը՝ (նկ.2.5)



Նկ. 2.5. Պինդ դիէլեկտրիկի տեսակար էլեկտրահաղորդականության կախումը ջերմաստիճանից

Խառնուրդային էլեկտրահաղորդականությունը ի հայտ է գալիս ցածր ջերմաստիճաններում, իսկ սեփական էլեկտրահաղորդականությունը՝ բարձր ջերմաստիճաններում:

Բերված կորից հնարավոր է որոշել b գործակիցը՝

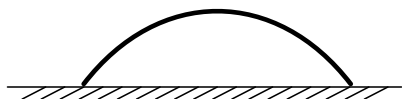
$$b = \frac{\Delta \ln \gamma}{\Delta \ell / T} : \quad (2.21)$$

2.5. Կարծր դիէլեկտրիկների մակերևութային էլեկտրահաղորդականությունը

Կարծր դիէլեկտրիկների մակերևութային էլեկտրահաղորդականությունը առաջին հերթին կախված է խոնավությունից, որի ազդեցությունը զգալի է՝ սկսած 70-80% հարաբերական խոնավության և դիէլեկտրիկի մակերևույթի վրա կուտակված աղտոտվածությունից: Ջուրը բարձր ε -ով դիէլեկտրիկ է, սակայն նրանում հեշտությամբ են դիսոցվում նյութեր, որոնք առաջացնում են էլեկտրահաղորդականություն: Ուստի դիէլեկտրիկը չորացնելուց հետո մակերևութային էլեկտրահաղորդականությունը պետք է նվազի:

Մակերևութային դիմադրությունը մեծացնելու նպատակով դիէլեկտրիկի մակերևույթը մաքրում են, ծածկում զանազան պաշտպանիչ շերտերով:

Բևեռային դիէլեկտրիկները ավելի լավ են թրջվում ջրով, քանի որ մեծ են միջմոլեկուլային ուժերը ջուր - դիէլեկտրիկ սահմանին, ուստի բևեռային դիէլեկտրիկի մակերևութային հաղորդականությունը ոչ բևեռայինից մեծ է:



ա) բևեռային դիէլեկտրիկ,



բ) ոչ բևեռային դիէլեկտրիկ

3. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿԱԿԱՆ ԿՈՐՈՒՄՏՆԵՐ

3.1. Հիմնական հասկացություններ

Ցանկացած դիէլեկտրիկի վրա էլեկտրական դաշտ կիրառելիս նրանում նկատվում է որոշ քանակությամբ էներգիայի ցրում, որը վերածվում է ջերմայինի: Այն էներգիան, որը ցրվում է դիէլեկտրիկում էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ և հանգեցնում է դիէլեկտրիկի տաքացմանը, կոչվում է *դիէլեկտրիկական կորուստ*: Հաստատուն E լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում կորուստները ուղիղ համեմատական են դաշտի լարման քառակուսուն և պայմանավորված են մեկուսացման $R_{մեկ}$ դիմադրությամբ՝

$$P_w = \frac{U^2}{R_{մեկ}} \quad (3.1)$$

Փոփոխական E լարվածությամբ էլեկտրական դաշտում դիէլեկտրական կորուստները շատ անգամ մեծ են հաստատուն լարվածությամբ էլեկտրական դաշտի կորուստներից, ենթարկվում են բարդ կառուցների և կախված են կիրառված լարումից՝ U , հաճախությունից՝ f , և ունակությունից՝ C :

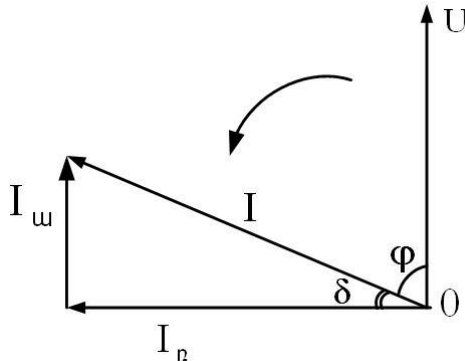
Էլեկտրական կոնդենսատորներում հոսանքի վեկտորն առաջ է ընկած լարման վեկտորից φ անկյունով, որը կոչվում է *ֆազային շեղման անկյուն*, իդեալական դիէլեկտրիկներում, որտեղ կորուստներ չկան, այդ անկյունը 90° է: Իրական դիէլեկտրիկներում միշտ կան կորուստներ, ուստի ֆազային շեղման անկյունը հավասար չէ 90° -ի: Այն անկյունը, որը լրացնում է φ -ն մինչև 90° , կոչվում է *կորուստների անկյուն*՝ δ :

$$\delta = 90^\circ - \varphi \quad (3.1)$$

Դիէլեկտրական կորուստները կախված են նյութի վիճակից (պինդ, հեղուկ, գազային) և պայմանավորված են ռելաքսային բևեռացումներով, էլեկտրահաղորդականությունով, իոնացումով,

կառուցվածքային անհամասեռությամբ և այլն: Այդ կորուստները կարող են բերել դիէլեկտրիկի ուժեղ տաքացմանը և նրա ջերմային քայքայմանը:

Կորուստներով դիէլեկտրիկներում հոսանքների վեկտորական դիագրամն ունի հետևյալ տեսքը՝ (նկ.3.1)



Նկ. 3.1. Հոսանքների վեկտորական դիագրամը

Կորուստներ ունեցող դիէլեկտրիկի համարժեք էլեկտրական սխեմայում դիէլեկտրիկը փոխարինում են ակտիվ դիմադրությամբ և ունակությամբ՝ միացված զուգահեռ կամ հաջորդաբար (նկ.3.2):

Չուգահեռ միացված սխեմայի համար.

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_w}{I_c} = \frac{1}{\omega C_p R} \quad (3.2)$$

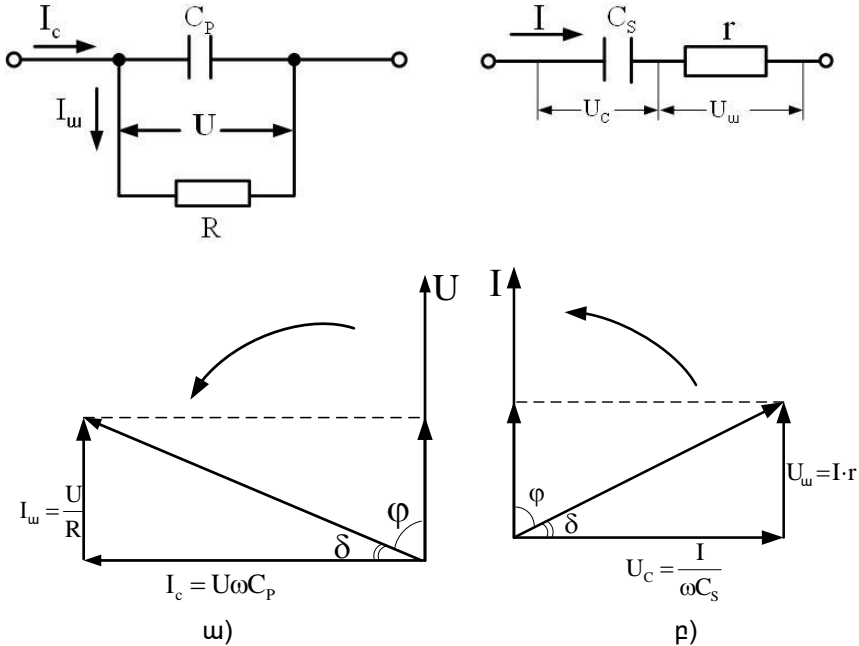
$$P_w = UI_w = U^2 \omega C_p \operatorname{tg} \delta \quad (3.3)$$

Հաջորդաբար միացված սխեմայի համար

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_w}{U_c} = \omega C_s r \quad (3.4)$$

$$P_w = I \cdot U_w = I^2 \cdot r = \frac{U^2 r}{x^2 + r^2} = \frac{U^2 r}{x^2 \left(1 + \frac{r^2}{x^2}\right)} = \frac{U^2 \omega C_s \operatorname{tg} \delta}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \quad (3.5)$$

որտեղ $x_C = \frac{1}{\omega C_s}$, $r = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\omega C_s}$:



Նկ.3.2. Կորուստներով դիէլեկտրիկի համարժեք զուգահեռ (ա) և հաջորդաբար (բ) միացված էլեկտրական սխեմաները և վեկտորական դիագրամները

Քանի որ այս երկու սխեմաները համարժեք են, ապա հավասարեցնելով (3.2) և (3.4) արտահայտությունները, կստանանք՝

$$R = r \left(1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \delta}\right) \quad (3.6)$$

և հավասարեցնելով (3.3) ու (3.5) արտահայտությունները կստանանք՝

$$C_p = \frac{C_s}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \quad (3.7)$$

Բարձրորակ դիէլեկտրիկով կոնդենսատորների համար $\operatorname{tg} \delta$ -ն փոքր մեծություն է, առավել փոքր կլինի նրա $\operatorname{tg}^2 \delta$ -ն, որը կարելի է անտեսել մեկի նկատմամբ, այսպիսով կարող ենք գրել, որ՝

$$C_p \approx C_s \approx C,$$

իսկ դիէլեկտրիկական կորուստների հզորությունը կունենա հետևյալ տեսքը՝

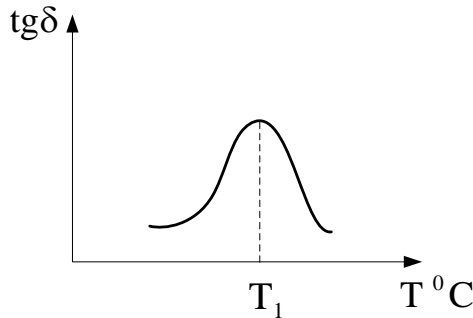
$$P_w = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \quad (3.8)$$

3.2. Դիէլեկտրիկական կորուստների տեսակները

Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիէլեկտրիկներում դիտվում են կորուստների հետևյալ տեսակները .

- 1) Ռելաքսային բևեռացումով պայմանավորված կորուստներ:
- 2) Էլեկտրահաղորդականությամբ (միջանցիկ հոսանքով) պայմանավորված կորուստներ:
- 3) Իոնացումով պայմանավորված կորուստներ:
- 4) Կառուցվածքի անհամասեռությամբ պայմանավորված կորուստներ (տարաշարժման կամ միջշերտային):

1) Ռելաքսային բևեռացումով պայմանավորված կորուստները դիտվում են բևեռային դիէլեկտրիկներում և կապված են մասնիկների ջերմային շարժման խախտման հետ: Կիրառված էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ դիպոլային մոլեկուլները շեղվում են դաշտի ուղղությամբ՝ առաջացնելով կորուստներ, այդ կորուստները կախված են ջերմաստիճանից և հաճախությունից : $\operatorname{tg} \delta$ -ի կախումը ջերմաստիճանից պատկերված է նկ.3.3-ում



Նկ.3.3. $\text{tg}\delta$ -ի կախումը ջերմաստիճանից ռելաքսային բևեռացման համար

Ջերմաստիճանի ցածր արժեքների դեպքում մասնիկների ջերմային շարժման ուժգնությունը շատ փոքր է, ռելաքսացիոն բևեռացում գործնականորեն տեղի չի ունենում, կորուստները շատ փոքր են:

Ջերմաստիճանի բարձր արժեքների դեպքում մասնիկների ջերմային շարժումը շատ ինտենսիվ է, դիպոլները առանց շփման՝ հեշտությամբ, կողմնորոշվում են դաշտի ուղղությամբ, ռելաքսային բևեռացումը գործնականորեն տեղի է ունենում առանց կորուստների:

Ռելաքսային կորուստների հասնում են իրենց առավելագույն արժեքին միայն ջերմաստիճանի որոշակի արժեքների դեպքում, որի հիմնական պայմանը (1.10) հետևյալն է՝

$$\tau_0 = \frac{1}{2\pi f_0} \quad (3.9)$$

2) Դիէլեկտրիկական կորուստների այն մասը, որը պայմանավորված է դիէլեկտրիկի միջանցիկ հոսանքով, անվանում են *էլեկտրահաղորդականության դիէլեկտրիկական կորուստներ*: Այս կորուստները գոյություն ունեն ոչ միայն հաստատուն, այլև փոփոխական լարման դեպքում: Միջանցիկ հոսանքով պայմանավորված տեսակարար կորուստները կախված չեն կիրառված լար-

ման հաճախությունից և որոշվում են հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$p_{տես} = \gamma E^2 \quad (3.10)$$

որտեղ γ -ն տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունն է,

E -ն կիրառված դաշտի լարվածությունն է:

Սակայն միջանցիկ հոսանքով պայմանավորված կորուստների անկյան տանգենսը հակադարձ համեմատական է կիրառված լարման հաճախությանը

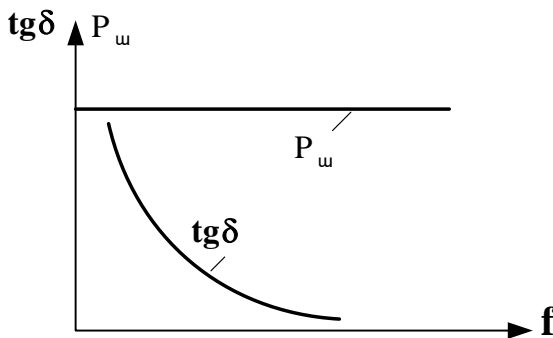
$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1.8 \cdot 10^{10}}{\varepsilon \cdot f \cdot \rho} \quad (3.11)$$

որտեղ ε -ն նյութի դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է,

f -ը կիրառված լարման հաճախությունն է,

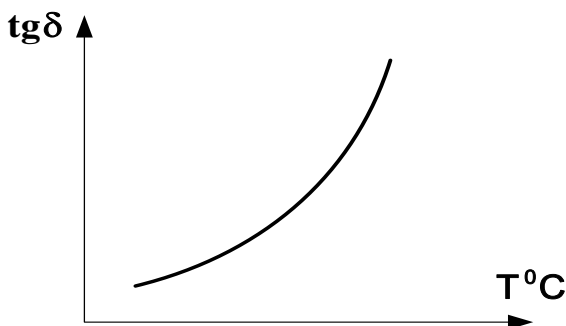
ρ -ն նյութի տեսակարար դիմադրությունն է:

Էլեկտրահաղորդականությամբ պայմանավորված դիէլեկտրիկական կորուստների P_w -ի և $\operatorname{tg} \delta$ -ի կախումը հաճախությունից պատկերված է նկ.3.4-ում՝



Նկ.3.4. P_w -ի և $\operatorname{tg} \delta$ -ի կախումը կիրառված լարման հաճախությունից:

Ջերմաստիճանից կախված կորուստները կտրուկ աճում են, քանի որ աճում է տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը:



Նկ.3.5. $\text{tg}\delta$ -ի կախումը ջերմաստիճանից

Միջանցիկ հոսանքով պայմանավորված կորուստները, կախված ջերմաստիճանից, աճում են էքսպոնենցիալորեն օրենքով՝

$$P_{\omega T} = A e^{\frac{b}{T}} \quad (3.12)$$

որտեղ A –ն և b -ն հաստատուններ են և բնութագրում են տվյալ նյութը:

3) Իոնացումով պայմանավորված կորուստները դիտվում են ծակոտկեն դիէլեկտրիկներում: Էլեկտրական դաշտի ցածր լարվածությունների դեպքում այս կորուստները շատ փոքր են և պայմանավորված են էլեկտրահաղորդականությամբ:

Էլեկտրական դաշտի ցածր լարվածությունների դեպքում իոնացման կորուստները գաղերում գործնականորեն բացակայում են, քանի որ շատ փոքր է և առաջանում է հաղորդականության հաշվին (3.11):

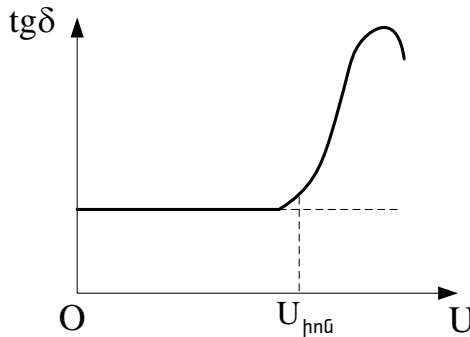
Էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածությունների դեպքում, քանի որ գաղերում սկսվում է հարվածային իոնացում, իոնացման կորուստները կտրուկ աճում են, $\text{tg}\delta$ -ն մեծանում է: Իոնացումով պայմանավորված կորուստների հզորությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$P_{\omega h} = A_1 f(U - U_h)^3 \quad (3.13)$$

որտեղ A_1 -ն գործակից է տվյալ նյութի համար,
 f -ը կիրառված լարման հաճախությունն է,
 U -ն կիրառված լարումն է, U_h -ն այն լարումն է, երբ սկսվում է իոնացումը (իոնացման շեմ):

U_h -ից բարձր լարումների դեպքում գազային դիէլեկտրիկներում առաջանում է հարվածային իոնացում:

Ծակոտկեն դիէլեկտրիկներում առաջանում են մասնակի պարպումներ, որոնք հանգեցնում են էլեկտրական դաշտի էներգիայի ցրման, որը կոչվում է իոնացման կորուստներ: Մասնակի պարպումների ազդեցության տակ դիէլեկտրիկը հետզհետե քայքայվում է: Լարումից կախված $\text{tg}\delta$ -ի կորը կոչվում է իոնացման կոր (նկ.3.6):

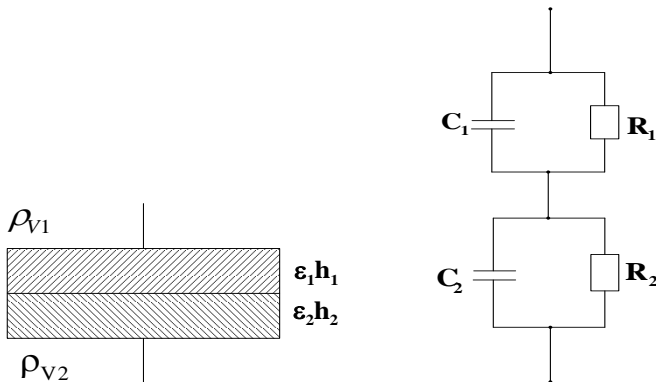


Նկ.3.6.Ծակոտկեն դիէլեկտրիկների իոնացման կորուստները

Իոնացման կորով գնահատում են բարձր լարման տակ օգտագործվող էլեկտրական մեկուսացման որակը, իոնացման U_h լարումը կախված է ճնշումից. որքան մեծ է ճնշումը, այնքան մեծ է իոնացման լարման սկիզբը՝ U_h : Որքան մեծ է իոնացման շեմը այնքան որակով է մեկուսիչ կոնստրուկցիան :

4)Չաղորդիչ ներմուծվածքներ պարունակող դիէլեկտրիկներում տարաշարժային բևեռացումով պայմանավորված կորուստների հետ միասին նկատվում են լրացուցիչ ռելաքսային կորուստներ, իսկ այն դիէլեկտրիկներում, որոնք պարունակում են

գազային միացություններ՝ նկատվում են և իոնացման կորուստներ: Տարաշարժային բևեռացումը պայմանավորված է լիցքավորված հաղորդիչ ներմուծվածքների շարժումով և անհամասեռությունների սահմաններում դրանց կուտակումով: Տարաշարժային բևեռացումը ընթանում է դանդաղ և չի հասցնում հետևել բարձր հաճախության էլեկտրական դաշտի փոփոխմանը: Այս երևույթը դիտարկվում է նաև շերտավոր դիէլեկտրիկում, որի համարժեք սխեման բերված է նկ. 17.1- ում:



Նկ.3.7. Երկշերտ դիէլեկտրիկը և նրա համարժեք սխեման

Շերտավոր դիէլեկտրիկում շերտերի հաջորդաբար միացման ժամանակ $\operatorname{tg}\delta$ -ն որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{C_1 \operatorname{tg}\delta_1 + C_2 \operatorname{tg}\delta_2}{C_1 + C_2} \quad (3.14)$$

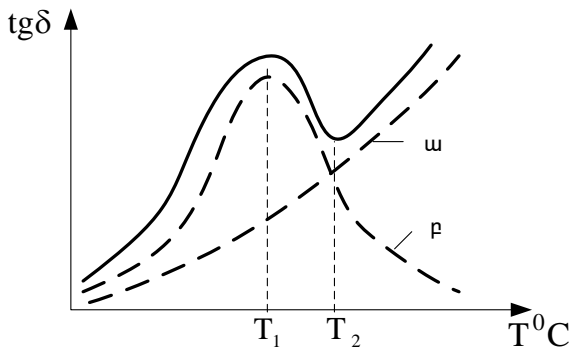
որտեղ h_1 , h_2 -ը և ε_1 , ε_2 -ը համապատասխան շերտերի հաստությունը և դիէլեկտրիկական թափանցելիություններն են:

Գրեթե բոլոր ռեալ դիէլեկտրիկներում գոյություն ունեն տարաշարժային կորուստներ, սակայն դրանց ի հայտ գալը կախված է ինչպես ջերմաստիճանից, այնպես էլ հաճախությունից:

3.3. Դիէլեկտրիկական կորուստների հզորության և կորուստների անկյան տանգենսի կախումը տարբեր գործոններից

Ոչ բևեռային դիէլեկտրիկներում կորուստները փոքր են և պայմանավորված են միայն էլեկտրահաղորդականությամբ: Այստեղ դիէլեկտրիկական կորուստները պայմանավորված են միջանցիկ հոսանքով (տես՝ 3.2...2): Դիէլեկտրիկական կորուստների P_ω -ի և $\operatorname{tg}\delta$ -ի կախումը հաճախությունից պատկերված է նկ.3.4 և 3.5-ում վրա:

Բևեռային դիէլեկտրիկում կորուստները պայմանավորված են ռելաքսային բևեռացումներով և կախված են ջերմաստիճանից և հաճախությունից: Ջերմաստիճանի որոշակի արժեքների դեպքում նկատվում են $\operatorname{tg}\delta$ -ի առավելագույն և նվազագույն արժեքներ (նկ. 3.8):



Նկ.3.8. $\operatorname{tg}\delta$ -ի կախումը ջերմաստիճանից դիպոլ ռելաքսային բևեռացման համար

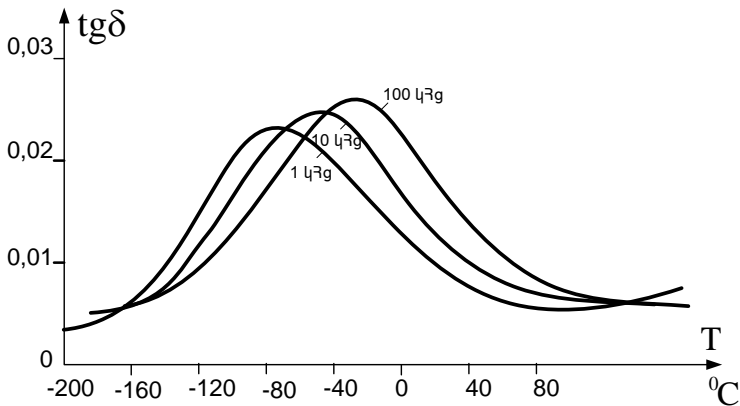
ω / հաղորդականությամբ պայմանավորված բաղադրիչ.

ρ / բևեռացումով պայմանավորված բաղադրիչ.

Նվազագույն արժեքներից հետո կորուստների աճը պայմանավորված է միջանցիկ էլեկտրահաղորդականության աճով:

Բևեռային դիէլեկտրիկում $\operatorname{tg}\delta$ -ի ջերմային կախվածությունը տարբեր հաճախությունների դեպքում ունի հետևյալ տեսքը՝

$$f_1 < f_2 < f_3 \text{ (նկ.3.9)}$$



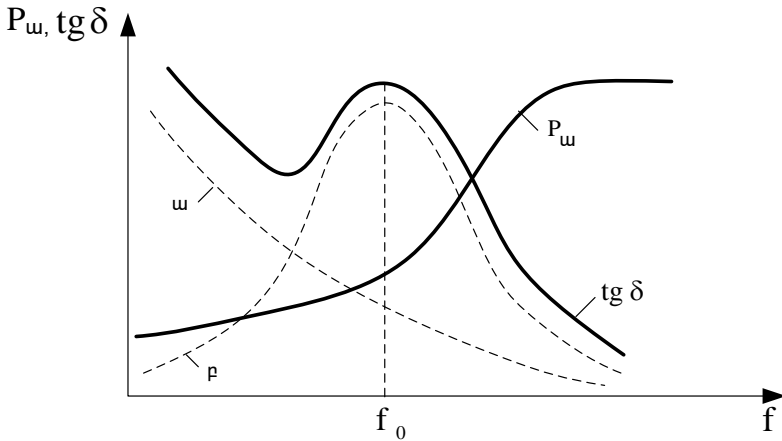
Նկ.3.9. Չորացրած թղթի համար կորուստների անկյան տանգենսի՝ $\text{tg}\delta$ -ի, կախումը ջերմաստիճանից՝ t -ից, տարբեր հաճախությունների դեպքում

Հաճախությունը մեծացնելիս $\text{tg}\delta$ -ի ջերմային կախվածության առավելագույն արժեքը շեղվում է ավելի բարձր ջերմաստիճանների գոտի: Ջերմային կախվածության դեպքում առավելագույն արժեքի պայմանն է՝

$$\tau_0 = \frac{1}{2\pi f_0} \quad (3.15)$$

Հաճախությունը մեծացնելիս ռելաքսացիայի ժամանակը՝ τ_0 -ն, պետք է փոքրանա, որպեսզի տեղի ունենա առավելագույն արժեքի պայմանը, իսկ τ_0 -ի փոքրացումը տեղի կունենա հեղուկի մածուցիկության կամ պինդ դիէլեկտրիկի խտության փոքրացման դեպքում: Դա հնարավոր է միայն դիէլեկտրիկի տաքացման ժամանակ: Այդ պատճառով էլ $\text{tg}\delta$ -ի ջերմային կախվածության առավելագույն արժեքը հաճախությունը մեծացնելիս շեղվում է բարձր ջերմաստիճանների գոտի:

Բևեռային դիէլեկտրիկներում դիէլեկտրիկական կորուստների P_w -ի և $\operatorname{tg} \delta$ -ի կախումը հաճախությունից ունի հետևյալ տեսքը՝
 նկ.3.10



Նկ.3.10. Դիէլեկտրիկական կորուստներ և կորուստների անկյան տանգենսի f հաճախությունից կախումը, բևեռային դիէլեկտրիկների համար

ա/ հաղորդականությամբ պայմանավորված բաղադրիչ.
 բ/ բևեռացումով պայմանավորված բաղադրիչ

Հաճախությունը մեծացնելիս դիէլեկտրիկական կորուստները P_w -ն և $\operatorname{tg} \delta$ -ն աճում են մինչև որոշակի f_0 հաճախություն, քանի որ դիպոլները հասցնում են հետևել էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ, բայց որոշակի f_0 հաճախությունից սկսած՝ դիպոլները չեն հասցնում հետևել դաշտի փոփոխությանը, բևեռացման աստիճանը նվազում է, $\operatorname{tg} \delta$ -ն փոքրանում է, կորուստները (բանաձև (3.8)) մնում են անփոփոխ:

4. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐԻ ԾԱԿՈՒՄԸ

4.1. Դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրության որոշումը

Դիէլեկտրիկը էլեկտրական դաշտում կարող է կորցնել իր էլեկտրամեկուսիչ հատկությունները, երբ էլեկտրական դաշտի լարվածությունը գերազանցում է որոշ կրիտիկական արժեք: Հաղորդիչ կանալի առաջացումը կրիտիկական լարվածության ներքո կոչվում է դիէլեկտրիկի ծակում: Լարման այն արժեքը, որի ժամանակ ծակվում է դիէլեկտրիկը, կոչվում է ծակման լարում՝ U_0 իսկ համապատասխան դաշտի լարվածությունը, դիէլեկտրիկի էլեկտրական ամրություն՝ E_0 :

Ծակումը կարող է լինել *լրիվ* (եթե հաղորդիչ կանալը հասնում է մեկ էլեկտրոդից մյուսին և միացնում է նրանց), *ոչ լրիվ* (եթե հաղորդիչ կանալը չի հասնում էլեկտրոդից որևէ մեկին) և *մասնակի* (եթե ծակվում է միայն դիէլեկտրիկի գազային կամ հեղուկ ներամուծվածքը):

Այսպիսով, բոլոր դիէլեկտրիկները կարող են օգտագործվել մինչև լարման որոշակի կրիտիկական արժեքները:

$$E_0 = \frac{U_0}{h} \quad (U_0/\text{մ}) \text{ կամ } (կՎ/\text{մմ}) \quad (4.1)$$

որտեղ U_0 – ն ծակման լարումն է,

h – ը դիէլեկտրիկի հաստությունն է:

Պինդ դիէլեկտրիկներում, բացի ծավալային ծակումից, հնարավոր է նաև ծակումը մակերևութով, որը կոչվում է *մակերևութային ծակում*:

Պինդ դիէլեկտրիկներում ծակման տեղամասում առաջացած կայծը կամ աղեղը կարող է այրել կամ առաջացնել ճեղքվածքներ:

Եթե ծակումը տեղի է ունեցել գազ կամ հեղուկ դիէլեկտրիկներում, ապա մոլեկուլների շարժունակության շնորհիվ լարումը հանելուց հետո ծակված տեղամասը վերականգնում է իր մեկուսիչ հատկությունները: Այս երևույթը կոչվում է էլեկտրական ամրության ինքնավերականգնում:

4.2. Գազերի ծակում

Ելնելով հարվածային իոնացման տեսությունից՝ գազերում գոյություն ունեն որոշակի քանակությամբ ազատ լիցքակիրներ՝ իոններ և էլեկտրոններ, (որոնք առաջանում են արտաքին գործոնների շնորհիվ (տես 2.2)), և ինչպես գազի չեզոք մոլեկուլները, կատարում են ջերմային քառսային շարժում: Էլեկտրական դաշտի լարվածության աճի դեպքում այդ լիցքերը, ձեռք բերելով լրացուցիչ կինետիկ էներգիա՝ w_e , տեղաշարժվում են էլեկրական դաշտի ուղղությամբ՝

$$W_e = Eq\lambda \quad (4.2)$$

որտեղ λ - ց ազատ վազքի միջին երկարությունն է,
զ-ն՝ լիցքը,

Է-ն՝ կիրառված դաշտի լարվածությունը:

Եթե այդ լրացուցիչ կինետիկ էներգիան մեծ է տվյալ գազի իոնացման էներգիայից՝ $W_{\text{ի}}$ կամ հավասար, ապա ազատ վազքի λ երկարության վրա էլեկտրոնները հանդիպելով գազի չեզոք մոլեկուլներին՝ հարվածում են դրանց և իոնացնում: Այս երևույթը կոչվում է հարվածային իոնոցում, որի պայանն է.

$$W_e \geq W_{\text{ի}} \quad (4.3)$$

Իոնացման էներգիան՝ $w_{\text{ի}}$ -ն բնութագրվում է իոնացման պոտենցիալով՝ $U_{\text{ի}}$, որը տարբեր գազերի համար գտնվում է 4...25 Վ լարման սահմաններում՝

$$U_{\text{ի}} = \frac{W_{\text{ի}}}{q} \quad (4.4)$$

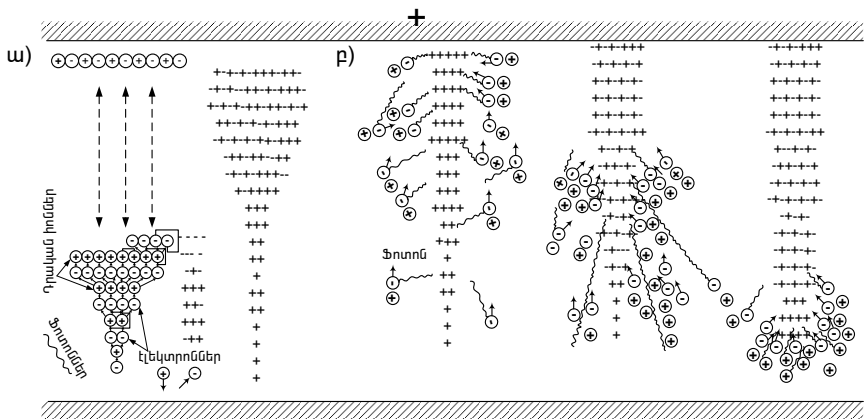
Էլեկտրոնների հարվածային իոնացումը գազի ծակման հիմքն է: Չայտնի են գազերի ծակման երկու մեխանիզմներ՝ *հեղեղային* և *հեղեղաստորիմերային*:

Չեղեղային ծակումն առաջանում է ցածր ճնշման դեպքում: Ցածր ճնշման դեպքում ազատ վազքի երկարությունը՝ λ , մեծ է: Էլեկտրոնները այդ երկարության վրա հասցնում են ձեռք բերել համապատասխան արագություն և կինետիկ էներգիա, որպեսզի տեղի ունենա գազի չեզոք մոլեկուլների հարվածային իոնացում: Գազի չեզոք մոլեկուլների հետ բախվելիս առաջանում են նոր ազատ էլեկտրոններ, որոնք իրենց հերթին շարժվելով էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ իոնացնում են ավելի շատ մոլեկուլներ: Այս երևույթի հետևանքով, էլեկտրոնների քանակը գազի հատվածում աճելով, շատ արագ մեծանում է՝ առաջացնելով էլեկտրոնային հեղեղներ: Ընդ որում, ամեն մի նոր ստեղծված հեղեղ նախորդի հետ համեմատած պարունակում է էլեկտրոնների ավելի մեծ քանակ: Այդ հեղեղները, լցվելով մեկը մյուսի մեջ, շարժվելով էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ, հասնում են դրական թիթեղին, և երբ դրանց հաղորդականությունը բավականին բարձր է, տեղի ունենում *գազային տարածքի ծակում* (նկ.4.1 ա):

Չեղեղաստրիմերային ծակումը տեղի է ունենում գազերի բարձր ճնշման դեպքում: Այս դեպքում ազատ վազքի λ երկարությունը, փոքր է: Էլեկտրոնները, շարժվելով էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ, չեն կարող ձեռք բերել համապատասխան արագություն և կինետիկ էներգիա՝ գազի չեզոք մոլեկուլներին իոնացնելու համար: Էլեկտրոնը կարող է իոնացնել գազի մոլեկուլներին, երբ նրա շարժման արագությունը գերազանցում է 10^6 մ/վրկ: Էլեկտրոնները, հարվածելով գազի չեզոք մոլեկուլներին, փոխանցում են դրան իրենց կինետիկ էներգիան: Մոլեկուլների ներքին էներգիան մեծանում է, մոլեկուլը գրգռվում է: Գրգռված մոլեկուլը ճառագայթում է էներգիա ֆոտոնի տեսքով, որն իր հերթին գրգռում է կամ իոնացնում է հարևան չեզոք մոլեկուլներին: Այսպիսի իոնացումը կոչվում է ֆոտոիոնացում, որը բավարար պայման չէ տվյալ գազային տիրույթի ծակման համար:

Գազային տարածքի ծակման համար անհրաժեշտ է բարձրացնել էլեկտրական դաշտի լարվածությունը, որը կբերի հարվածային իոնացման առաջացման պայմանին (4.3):

Էլեկտրական դաշտի լարվածության աճի դեպքում գազերում առաջանում են էլեկտրոնային հեղեղներ, որոնք առավելագույն զարգացման կիսանեն դրական թիթեղի մոտ (քանի, որ դրական իոնների խտությունը հասնում է առավելագույն արժեքի անոդի մոտ, 10^{18} իոն 1մ^3 -ում): Դրական թիթեղի՝ անոդի մոտից էլ սկսվում է դրական ստրիմերի (տարածական դրական լիծքի) զարգացումը: Դրական ստրիմերը անընդհատ ճառագայթում է ֆոտոններ, որոնք շրջակա միջավայրում առաջացնում են ինտենսիվ ֆոտոիոնացում: Ֆոտոիոնացումից առաջացած էլեկտրոնները ձգվում են դեպի դրական ստրիմեր՝ ճանապարհին առաջացնելով հարվածային իոնացում և էլեկտրոնային հեղեղներ: Դրական ստրիմերը, որը դրական և բացասական լիցքերի ծավալ է, այդ հեղեղների շնորհիվ անընդհատ զարգանում է:



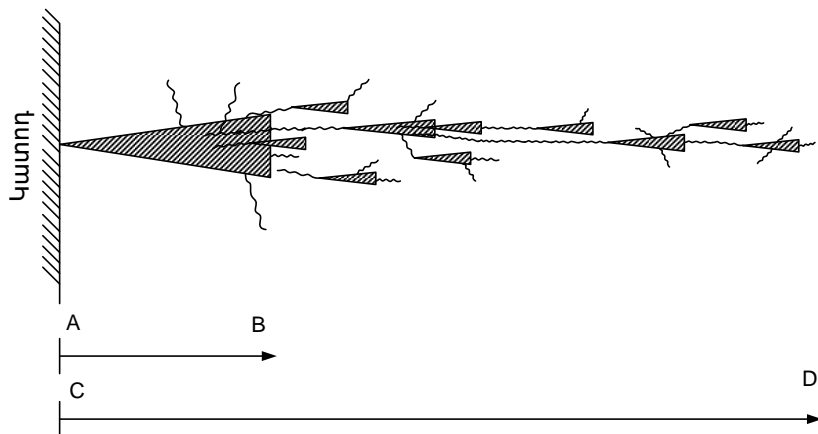
Նկ.4.1. Հեղեղային (ա) և հեղեղաստրիմերային (բ-դրական ստրիմեր) մեխանիզմների առաջացման և զարգացման սխեման

Հայտնի է, որ երբ ուժեղ իոնացված գազի միավոր ծավալում դրական և բացասական լիցքերի քանակը հավասար է, այդ միջավայրը կոչվում է պլազմա և ունի բարձր էլեկտրահաղորդականություն և երրորդ փուլում, երբ այդ ստրիմեր – պլազմա ծավալը հասնում է բացասական թիթեղին՝ կատոդին, տեղի է ունե-

նում գազի ծակում (նկ.4.1բ):

Դաշտի գերբարձր լարվածության դեպքում գազերի ծակումը բնութագրվում է բացասական ստրիմերի առաջացումով: Գերբարձր լարվածության դեպքում կատոդի մակերեսից անջատվում են էլեկտրոններ (սառը էմիսիա), որոնք ունենալով մեծ էներգիա, առաջացնում են հարվածային իոնիացում և հիմնական էլեկտրոնային հեղեղ (մեծ եռանկյունի), որը ճառագայթում է ֆոտոններ (ալիքային գծեր):

Գազերի ներքին ֆոտոիոնացման շնորհիվ, ֆոտոնի տարածման մեծ արագությունը առաջացնում է գազի բարձր հաղորդականությամբ կանալի արագ զարգացում (նկ.4.2):



Նկ.4.2. Բացասական ստրիմերի զարգացման սխեման

Նկար 4.2-ում պատկերված է էլեկտրահաղորդիչ կանալի (ստրիմերի) աճի արագ զարգացումը՝ համեմատած էլեկտրոնային հեղեղի տեղաշարժման հետ: Հեղեղները պատկերված է ստվերագծված եռանկյունների տեսքով, իսկ ալիքաձև գծերով պատկերված է ֆոտոնի շարժման ուղիները: Յուրաքանչյուր կոնի ներսում գազի իոնացումը կատարվում է էլեկտրոնների հարվածով: Տարանջատված էլեկտրոնները իոնացնում են իրենց ճանապարհին հանդիպող մասնիկներին: Այսպիսով, հեղեղանման աճում

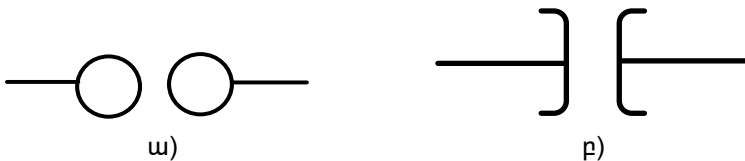
է դեպի անոդ շարժվող էլեկտրոնների, ինչպես նաև դրական իոնների քանակը, որոնք շարժվում են դեպի կատոդ: Ալիքաձև գծերը սկիզբ են առնում էլեկտրոնների հարվածներից գրգռված ատոմներից, որի հետևանքով առաջանում է ֆոտոնը:

Այն շարժվելով մեծ արագությամբ, հասնելով և անցնելով հեղեղներին՝ ալիքաձև գծերի վերջում իոնացնում է գազի մասնիկներին: Տարանջատված էլեկտրոնները ձգտելով անոդ՝ առաջացնում են նոր հեղեղներ՝ շատ ավելի հեռու հիմնական հեղեղից: Այսպիսով, մինչ հիմնական հեղեղը կաճի մինչև ենթադրենք AB երկարություն, գազի բարձր հաղորդականություն ունեցող կանալը՝ ստրիմերը, արդեն տարածվում է և հասնելով աբողջ տարածքի CD երկարության՝ հանգեցնում է գազի ծակմանը (նկ. 4.2):

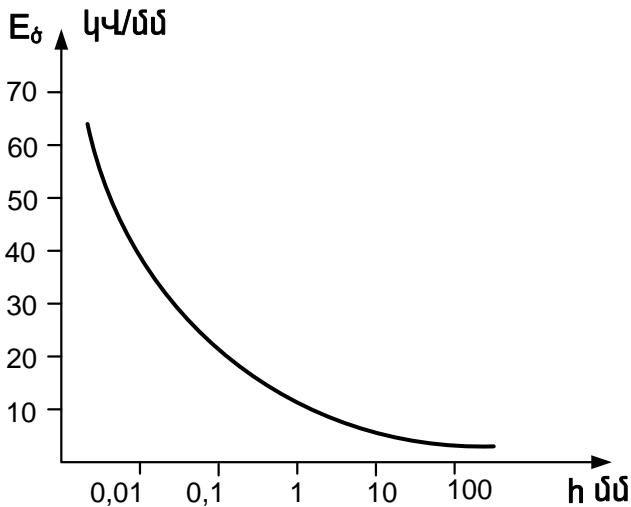
Գազերի ծակումը կախված է էլեկտրական դաշտի համասեռությունից.

Դիտարկենք գազերի ծակումը համասեռ էլեկտրական դաշտում:

Համասեռ դաշտ կարելի է ստանալ 2 մետաղական գնդերի (ա) կամ 2 հարթ կորացված մետաղական թիթեղների (բ) միջև, երբ դ+-րանց չափսերը շատ մեծ են նրանց միջև եղած հեռավորությունից, ընդ որում ծակումը կատարվում է ակնթաթորեն, ծակման լարման որոշակի արժեքի դեպքում մետաղական թիթեղների միջև առաջանում է էլեկտրական կայծ, որը կարող է վերածվել էլեկտրական աղեղի, եթե սնող աղբյուրը բավականին հզոր է:



Գազերի էլեկտրական ամրությունը կախված է թիթեղների միջև հեռավորությունից, օրինակ օդի համար նորմալ պայմաններում ($f=50\text{Յգ}$, $t=20^\circ\text{C}$, $p=0.1\text{ՄՊա}$): Այդ կախվածությունը ունի հետևյալ տեսքը.

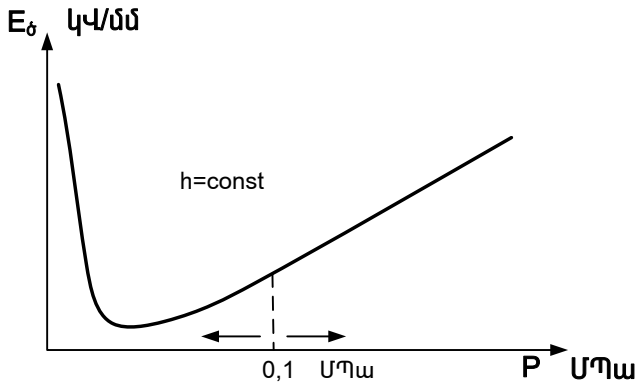


Նկ. 4.3. Օդի էլեկտրական ամրության կախվածությունը թիթեղների միջև եղած հեռավորությունից համասեռ դաշտում

Շրջադիրների միջև եղած հեռավորության մեծացման հետ նվազում է էլեկտրական ամրությունը, քանի որ պարպման առաջացման հավանականությունը փոքրանում է:

Շրջադիրների միջև եղած փոքր հեռավորության դեպքում էլեկտրական ամրությունը՝ E_0 -ն մեծանում է, քանի որ պարպում առաջանալու հավանականությունը դժվարանում է:

Գազերի էլեկտրական ամրությունը խիստ կախված է ճնշումից և ունի հետևյալ տեսքը.



Նկ. 4.4. Գազերի էլեկտրական ամրության կախումը ճնշումից

Երբ ճնշումը մեծ է մեկ մթնոլորտից ($0,1 \text{ ՄՊա}$), ազատ վազքի միջին երկարությունը փոքրանում է, կիմետիկ էներգիան բավարար չէ հարվածային իոնացման առաջացման համար: Այդ պատճառով էլեկտրական դաշտի լավածությունը՝ E -ն, մեծացնում ենք 4.3 պայմանը ապահովելու համար:

Երբ ճնշումը փոքր է մեկ մթնոլորտից, էլեկտրական ամրությունը մի փոքր նվազելով՝ նորից աճում է: Դա բացատրվում է նրանով, որ ցածր ճնշումների դեպքում գազը նոսրանում է՝ ձգտելով վակուումային վիճակի: Մոլեկուլների քանակը միավոր ծավալում կտրուկ նվազում է, փոքրանում է լիցքակիրների բախման հավանականությունը: Իոնացման պայմանը ապահովելու նպատակով (4.3) էլեկտրական դաշտի լարվածությունը՝ E -ն, մեծացնում ենք:

Դիտարկենք գազերի ծակումը անհամասեռ դաշտում:

Անհամասեռ դաշտ կարելի է ստանալ 2 մետաղական ասեղ-հարթություն (α) կամ ասեղ-ասեղ (β) շրջադիրների միջև:



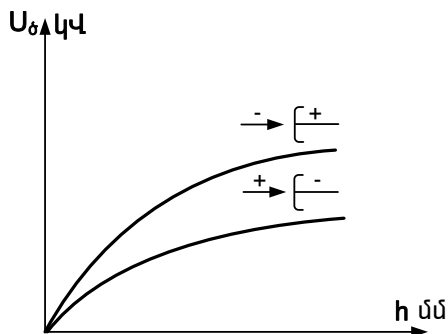
ա)



բ)

Դիտարկենք ասեղ հարթության դեպքը.

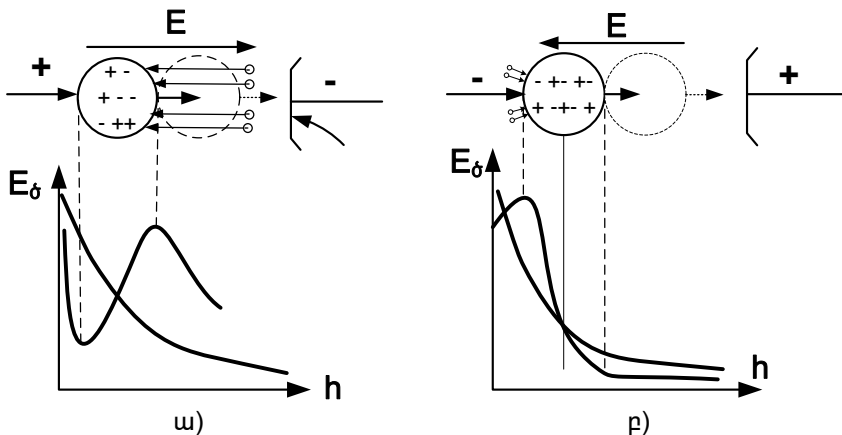
Գազերի ծակունը անհամասեռ դաշտում բացատրվում է պսակի տեսքով (պսակային պարպում) մասնակի պարպման առաջացումով: Ծակման լարման կախվածությունը թիթեղների միջև եղած հեռավորությունից հաստատուն լարման դեպքում ունի հետևյալ տեսքը (նկ.4.5.)



Նկ.4.5. Ծակման լարման կախվածությունը շրջադիրքների միջև եղած հեռավորությունից անհամասեռ դաշտի դեպքում

Ինչպես երևում է այս կախվածություններից, ասեղի բացասական բևեռականության դեպքում գազը ծակվում է ավելի բարձր լարման տակ, քան ասեղի դրական բևեռականության դեպքում, որը բացատրվում է հետևյալ կերպ (նկ. 4.6 ա, բ):

Էլեկտրոդների ցանկացած բևեռականության դեպքում հարվածային իոնացումն առաջանում է ասեղի մոտ: Դրական իոնների փոքր շարժունակության պատճառով ասեղի եզրին կուտակվում է դրական իոնների ամպ: Դրական ասեղի դեպքում (նկ. 4.6 ա) դրական իոնային ամպը նպաստում է պարպման առաջացմանը: Բացասական ասեղի դեպքում (նկ 4.6 բ) դրական իոնային ամպը խոչընդոտում է պարպման առաջացմանը: Այդ պատճառով էլ ասեղի բացասական բևեռականության դեպքում գազը ծակվում է ավելի բարձր լարման տակ, քան ասեղի դրական բևեռականության դեպքում:



Նկ.4.6. Էլեկտրական ամրության կախվածությունը թիթեղների միջև եղած հեռավորությունից անհամասեռ դաշտի դեպքում

4.3. Հեղուկ դիէլեկտրիկների ծակումը

Հեղուկ դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրությունը շատ անգամ մեծ է, քան գազերինը: Դա բացատրվում է էլեկտրոնների ազատ վազքի փոքր երկարությամբ: Հեղուկ դիէլեկտրիկներում միշտ գոյություն ունեն տարբեր տեսակի խառնուրդներ (գազային միացումներ, կարծր մասնիկներ, ջրի կաթիլներ), որոնք դժվարացնում են հեղուկ դիէլեկտրիկի ծակման տեսությունը: Գոյություն ունի հեղուկ դիէլեկտրիկների ծակման 2 հիմնական տեսություն՝

1) Մաքուր էլեկտրական ծակման տեսություն:

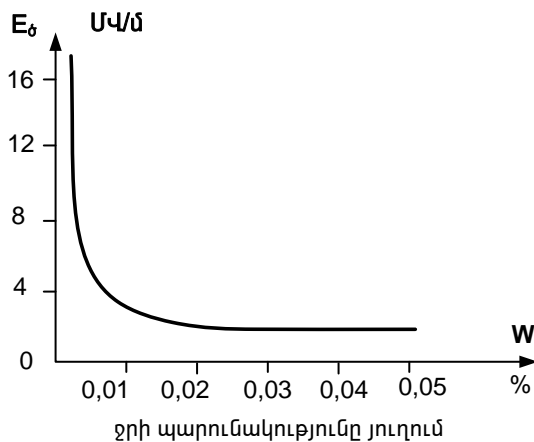
2) Ջերմային ծակման տեսություն:

Պետք է նշել, որ այս 2 տեսությունները կարող են հանդես գալ միաժամանակ:

Մաքուր էլեկտրական ծակման տեսությունը գործում է խառնուրդներից առավելագույնս մաքրված է հեղուկներում: Դաշտի բարձր լարվածության տակ տեղի է ունենում էլեկտրոնների անջատում մետաղական թիթեղից (սառը էմիսիա), հեղուկում առաջացնում է հարվածային իոնացում և էլեկտրոնային հեղեղներ, որի հետևանքով էլ տեղի է ունենում հեղուկի մոլեկուլների քայքայում:

Ջերմային ծակման տեսությունը իրավացի է խառնուրդներ ունեցող հեղուկ դիէլեկտրիկների համար: Խառնուրդների ամենամեծ կուտակման տիրույթներում տեղի են ունենում ջերմային կորուստներ, որոնք բերում են հեղուկի տաքացմանը՝ առաջացնելով գազային ներմուծվածքներ, որոնք հանգեցնում են հեղուկի ծակմանը:

Հեղուկների էլեկտրական ամրությունը կախված է խոնավությունից, որն առկա է հեղուկ դիէլեկտրիկում էմուլսիայի տեսքով: Էլեկտրական դաշտի ազդեցության տակ ջրի կաթիլները բևեռանում են, և շրջադիրների մեջ ստեղծում են հաղորդիչ շղթաներ, որոնցով էլ տեղի է ունենում հեղուկի ծակումը, օրինակ տրանսֆորմատորային յուղի համար այդ կախվածությունն ունի հետևյալ տեսքը (նկ.4.7):



Նկ.4.7. էլեկտրական ամրության կախվածությունը խոնավությունից տրանսֆորմատորային յուղի համար

Հեղուկ դիէլեկտրիկների մաքրումը հատկապես յուղերից, զգալիորեն մեծացնում է էլեկտրական ամրությունը: Օրինակ, չմաքրված տրանսֆորմատորային յուղի էլեկտրական ամրությունը՝ $E_0=4$ կՎ/մմ է, մաքրումից հետո էլեկտրական ամրությունը փոքրանում է մինչև 20 - 25 կՎ/մմ:

4.4. Կարծր դիէլեկտրիկների ծակումը

Կարծր դիէլեկտրիկներում կա ծակման չորս հիմնական մեխանիզմ:

Դիտարկենք՝

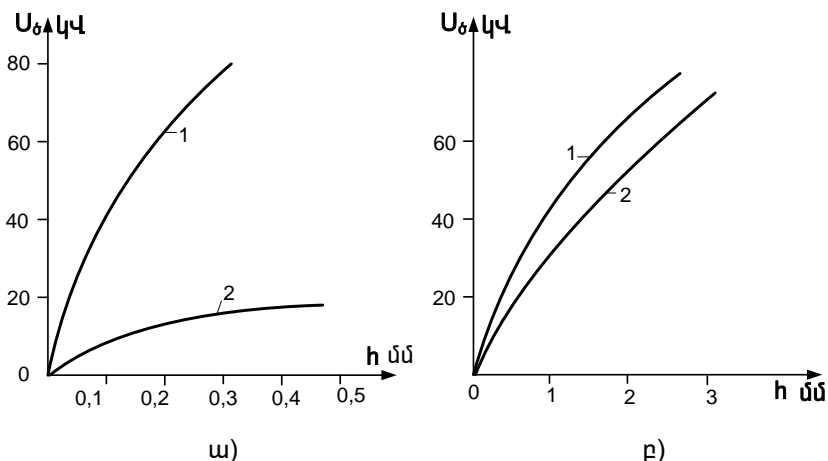
1. Մաքուր էլեկտրական ծակում մակրոսկոպիկ համասեռ դիէլեկտրիկում:

2. Էլեկտրական ծակում անհամասեռ դիէլեկտրիկում:

3. Էլեկտրաջերմային ծակում:

4. Էլեկտրաքիմիական ծակում:

1. *Մաքուր էլեկտրական ծակում մակրոսկոպիկ համասեռ դիէլեկտրիկում* բնութագրվում է արագ զարգացումով ($10^{-7} \dots 10^{-8}$), որը պայմանավորված չէ ջերմային էներգիայով: Մաքուր էլեկտրական ծակումը մակրոսկոպիկ համասեռ դիէլեկտրիկում պայմանավորված է պինդ մարմնում հարվածային իոնացման և էլեկտրոնային հեղեղների առաջացումով: Այն տեղի է ունենում էլեկտրական դաշտի բարձր լարվածության դեպքում և մաքուր էլեկտրոնային պրոցես է: Մաքուր էլեկտրական ծակման դեպքում բացառվում է էլեկտրահաղորդականության և դիէլեկտրիկական կորուստների ազդեցությունը, ինչպես նաև բացակայում է գազային ներամիութումների իոնացումը: Համասեռ կարծր դիէլեկտրիկների ծակման լարման կախումը դիէլեկտրիկի հաստությունից համասեռ և անհամասեռ դաշտերում ունի հետևյալ տեսքը.



Նկ.4.8. Ծակման լարման կախումը հաստությունից, երբ $f=50\%g$

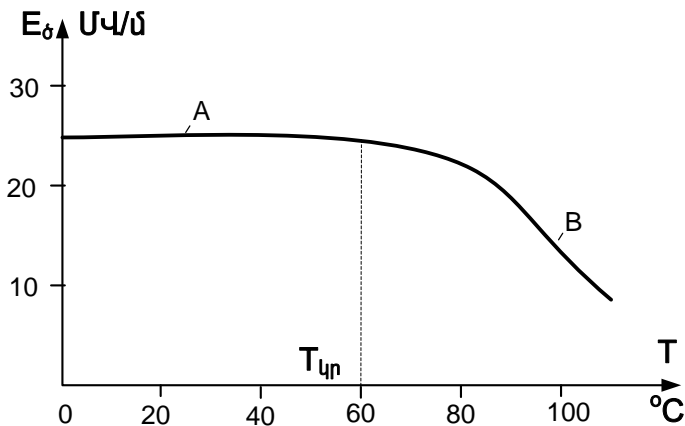
ա) տեխնիկական ապակու համար, բ) տեխնիկական կերամիկայի համար, 1-համասեռ դաշտ, 2- խիստ անհամասեռ դաշտ

2. Էլեկտրական ծակումը անհամասեռ դիէլեկտրիկում բնութագրվում է արագ զարգացումով, ինչպես և առաջին դեպքում այն տեղի է ունենում բոլոր տեխնիկական դիէլեկտրիկներում:

Ընդունում են, որ անհամասեռ կարծր դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրությունը կախված չէ դիէլեկտրիկի հաստությունից, սակայն այն ճիշտ է միայն փոքր հաստությունների դեպքում՝ 0.05 ... 0.5մմ, երբ դեֆեկտային կետերի քանակը քիչ է: Դիէլեկտրիկի հաստության մեծացման դեպքում, նմուշի կառուցվածքի անհամասեռությունը մեծանում է, դեֆեկտային կետերի քանակն աճում է, որի հետևանքով նմուշի էլեկտրական ամրությունը փոքրանում է:

Անհամասեռ դիէլեկտրիկների էլեկտրական ամրությունը կախված չէ ջերմաստիճանից (A հատվածը), բայց մինչև ջերմաստիճանի որոշակի կրիտիկական արժեքների, որից բարձր արժեքների դեպքում զարգանում են ջերմային քայքայման պրոցեսները, որը բերում է էլեկտրական ամրության փոքրացման (B հատվածը),

օրինակ, էլեկտրատեխնիկական ճենապակու համար՝ (նկ.4.9):



Նկ.4.9. Էլեկտրատեխնիկական ճենապակու էլեկտրական ամրության կախվածությունը ջերմաստիճանից $f=50$ Հց դեպքում

3. Էլեկտրաջերմային ծակումը կարծր դիէլեկտրիկներում բնութագրվում է ջերմային հավասարակչության պայմանի ($P=Q$ խախտումով, որն առաջացնում է դիէլեկտրիկների գերտաքացում:

Որպեսզի դիէլեկտրիկի գերտաքացում տեղի չունենա, պետք է ճիշտ ընտրել և հաշվարկել կիրառվող թույլատրելի լարումը: Այդ հաշվարկը և ընտրությունը կատարվում է՝ ելնելով դիէլեկտրիկի ջերմային հավասարակչության պայմանից, որի էությունը հետևյալն է՝ դիէլեկտրիկական կորուստների պատճառով դիէլեկտրիկում առաջացած ջերմային հզորությունը՝ P_d , պետք է հավասար կամ փոքր լինի դիէլեկտրիկից հեռացվող, շրջապատին տրվող ջերմային հզորությանը՝ $P \leq Q$: Դիէլեկտրիկական կորուստներից առաջացած ջերմային հզորությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$P_d = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta \quad (4.4)$$

որտեղ U -ն կիրառված լարումն է,
 ω -ն անկյունային հաճախությունն է,

C - ն դիֆերենցիալի ունակությունն է,
 $tg\delta$ -ն դիֆերենցիալական կորուստների անկյան տանգենսն է,
 այստեղ ընդունում ենք հաստատուն:

Նմուշից անջատվող ջերմային հզորությունն արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով.

$$Q = \alpha \cdot S(T - T_0) \quad (4.5)$$

որտեղ α -ն ջերմահաղորդականության գործակիցն է,

S - ը նմուշի մակերեսն է,

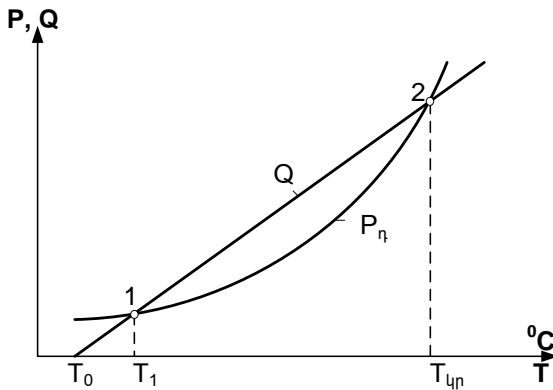
T_0 -ն շրջապատող միջավայրի ջերմաստիճանն է,

T -ն դիֆերենցիալի ջերմաստիճանն է:

Այսպիսով ջերմային հավասարակշռության պայմանը կլինի՝

$$U^2 \omega C tg\delta \leq \alpha S(T - T_0) \quad (4.6)$$

Ջերմային հավասարակշռության պայմանը գրաֆիկորեն ունի հետևյալ տեսքը (նկ.4.10):



Նկ.4.10. Ջերմային հավասարակշռության պայմանը

Առաջին կետը կոչվում է կայուն, որի համար (4.6) արտահայտությունից կարող ենք հաշվել աշխատանքային լարումը՝

$$U_{\omega_2 \text{ Խ}} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot S(T_{1\omega_2 \text{ Խ}} - T_0)}{\omega C \text{tg} \delta_1}} \quad (4.7)$$

Երկրորդ կետի համար (նույն բանաձևից), որը կայուն չէ, գտնում ենք ծակման կրիտիկական լարումը՝

$$U_{\text{կր}} = \sqrt{\frac{\alpha \cdot S(T_{2\text{կր}} - T_0)}{\omega C \text{tg} \delta_2}} \quad (4.8)$$

4. *Էլեկտրաքիմիական ծակումը* տեղի է ունենում օդի բարձր ջերմաստիճանի և խոնավության դեպքում: Այս ծակման տեսակը դիտվում է հաստատուն և ցածր հաճախության փոփոխական լարման դեպքում, երբ դիէլեկտրիկում զարգանում են դանդաղ ընթացող էլեկտրոլիտիկ պրոցեսներ, որոնք բերում են դիէլեկտրիկի դիմադրության փոքրացմանը: Այս երևույթը կոչվում է դիէլեկտրիկի ծերացում էլեկտրական դաշտում, որի զարգացման համար պահանջվում է երկար ժամանակ:

5. ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Դիէլեկտրիկական նյութ ընդելիս անհրաժեշտ է հաշվի առնել ոչ միայն նրա էլեկտրական այլ նաև ջերմային հատկությունները: Դիէլեկտրիկների ջերմային հատկություններն են՝ ջերմակայունություն, ջրտակայունություն, ջերմահաղորդականություն, ջերմային ընդարձակում:

1. *Ջերմակայունությունը* դիէլեկտրիկի ընդունակությունը երկարատև առանց քայքայման դիմանալն է կիրառված բարձր ջերմաստիճանին և վերջինիս կտրուկ փոփոխությամբ: Անօրգանական դիէլեկտրիկների ջերմակայունությունը որոշվում է էլեկտրամեկուսիչ հատկությունների զգալի փոփոխությամբ՝ ρ_v –ի նվազումով և $\epsilon\delta$ –ն կտրուկ աճով: Օրգանական դիէլեկտրիկների ջերմակայունությունը որոշվում է մեխանիկական դեֆորմացիաների (ծգում, ծռում) առաջացումով, ինչպես նաև էլեկտրամեկուսիչ հատկությունների զգալի փոփոխությամբ՝ ρ_v –ի նվազումով և $\epsilon\delta$ –ն կտրուկ աճով: Ջերմակայունությունը գնահատվում է ջերմաստիճանի t °C–ի արժեքով, որի դեպքում տեղի են ունեցել այդ փոփոխությունները:

Հեղուկ դիէլեկտրիկների ջերմային հատկությունները բնութագրվում են *բռնկման* և *բոցավառման* ջերմաստիճաններով: Հեղուկի բռնկման ջերմաստիճանը հեղուկի այն ջերմաստիճանն է, որի տաքացման դեպքում նրա գոլորշիների խառնուրդը օդի հետ բռնկվում է փոքր կրակի մոտեցման դեպքում: Հեղուկի բոցավառման ջերմաստիճանը ավելի բարձր է, որի դեպքում կրակ մոտեցնելիս վառվում է ինքը՝ հեղուկը:

Եթե էլեկտրամեկուսիչ նյութի որակի վատացումը հայտնաբերվում է բարձր ջերմաստիճանի երկարատև ազդեցության դեպքում դանդաղ ընթացող քիմիական պրոցեսների առաջացումով, այդ երևույթը կոչվում է *դիէլեկտրիկի ջերմային ծերացում*:

Էլեկտրական սարքավորումների մեկուսացման համար օգտագործվող նյութերը ըստ գործող ստանդարտի բաժանվում են

ջերմակայունության դասերի, ընդ որում, ամեն մի դասի համար սահմանվում է որոշակի առավելագույն աշխատանքային ջերմաստիճան:

Ջերմակայունության դասերը	Ջերմաստիճանները (t° C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180
C	>180

2. Ցրտակայունությունը, դիէլեկտրիկի ընդունակությունն է՝ առանց քայքայման աշխատել ցածր ջերմաստիճանների (-60...-70° C) և ավելի ցածր (կրիոգենային) ջերմաստիճանների տակ: Ցածր ջերմաստիճաններում մեկուսիչ նյութերի էլեկտրական հատկությունները սովորաբար լավանում են: Սակայն նորմալ պայմաններում ճկուն և էլաստիկ շատ նյութեր ցածր ջերմաստիճաններում դառնում են փխրուն և ավելի կոշտ: Էլեկտրամեկուսիչ նյութերի և դրանցից պատրաստված իրերի ցրտադիմացկունության ստուգումը հաճախ կատարվում է միաժամանակ վիբրացիայի ազդեցության պայմաններում:

3. Ջերմահաղորդականության կարևոր նշանակությունը բացատրվում է նրանով, որ էլեկտրական մեքենաների, տրանսֆորմատորների, ապարատների հաղորդալարերում և մագնիսալարերում, ինչպես նաև կաբելների հոսանքատար ջղերում ջերմային կորուստների շնորհիվ առաջացած ջերմային հոսքը պետք է շրջապատող միջավայր անցնի մեկուսացման շերտով, որն ունի որոշակի ջերմային դիմադրություն: Այսպիսով, էլեկտրական մեկուսացման ջերմահաղորդականությունից է կախված հաղորդալարերի և մագնիսալարերի գերտաքացումը: Հատուկ նշանակություն ունի համեմատաբար հաստ մեկուսիչների ջերմահաղորդա-

կանությունը բարձր լարման և մեծ հզորության սարքավորումներում: Ջերմահաղորդականությունը կարևոր դեր է խաղում էլեկտրաջերմային ծակման զարգացման (տես 4.3.3) և նյութի դիմացկունության վրա ջերմահարվածների նկատմամբ:

Ջերմահաղորդականությունը բնութագրվում է տեսակարար ջերմահաղորդականությամբ՝ ν_T , որը որոշվում է միավոր ժամանակում միավոր մակերեսով 1 Կ/մ ջերմաստիճանային գրադիենտի դեպքում և մտնում է Ֆուրյեի հավասարման մեջ:

$$\Delta P_T = \nu_T \left(\frac{dT}{d\ell} \right) \Delta S \quad (5.1)$$

որտեղ ΔP_T - ջերմային հոսքի հզորությունն է, որը անցնում է ΔS մակերեսին ուղղահայաց, $\frac{dT}{d\ell}$ - ջերմաստիճանի գրադիենտն է :

4. Ջերմային ընդարձակումը բնութագրվում է գծային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակցով՝

$$TK_\ell = \alpha_\ell = \frac{1}{\ell} \frac{d\ell}{dt} \quad (\text{աստ}^{-1}) \quad (5.2)$$

Նյութերի ջերմակայունության և գծային ընդարձակման ջերմաստիճանային գործակցի միջև կա հետևյալ կապը. այն նյութերը, որոնք ունեն փոքր α_ℓ , որպես կանոն, ունեն բարձր ջերմակայունության և հակառակը:

6. ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԿՈՒՍԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐ

6.1. Գազային դիէլեկտրիկներ

Գազային դիէլեկտրիկները, որպես էլեկտրամեկուսիչ նյութեր, ունեն հետևյալ առավելությունները.

- 1) մեծ տեսակարար դիմադրություն՝ ρ ,
- 2) փոքր դիէլեկտրիկական թափանցելիություն՝ ε ,
- 3) դիէլեկտրիկական կորուստների անկյան փոքր տանգենս՝ $\operatorname{tg}\delta$,

- 4) էլեկտրական ամրության ինքնավերականգնում:

Գազային էլեկտրամեկուսիչ նյութերի թերությունը ցածր էլեկտրական ամրությունն է: Օդը գազային դիէլեկտրիկներից է: Օդը շատ հաճախ օգտագործում են էլեկտրական սարքավորումների կառուցվածքում: Օրինակ, էլեկտրահաղորդման օդային գծերի հեմարանների տեղամասում օդը միակ մեկուսիչն է մերկ լարերի համար: Օդի համար $\varepsilon=1.00058$, $E_0=3\text{ՄՎ/մ}$, երբ էլեկտրոդների միջև եղած հեռավորությունը 1 սմ է: Գազային դիէլեկտրիկներից, բացի օդից, մեծ կիրառում են գտել հետևյալ գազերը:

Էլեգազ (SF_6) –ը6 ֆտորային ծծումբ՝ SF_6 է: Էլեկտրական ամրությունը 2.5 անգամ մեծ է օդի էլեկտրական ամրությունից և 5 անգամ ծանր է օդից: Եռման ջերմաստիճանը -64°C է: Էլեգազը սեղմվում է մինչև 20 մթն. ճնշման տակ առանց հեղուկանալու: Քիմիապես կայուն և ոչ թունավոր գազ է: Մինչև 800°C տաքացնելու դեպքում կայուն է և չի փոխում իր հատկությունները: Հիմնականում օգտագործում են կաբելներում և կոնդենսատորներում:

Ֆրեոն (CCl_2F_2) – ֆրեոնի էլեկտրական ամրությունը շատ մոտ է էլեգազի էլեկտրական ամրությանը: Եռման ջերմաստիճանը -28°C է: Ֆրեոնը սեղմվում է մինչև 6 մթն. ճնշման տակ առանց հեղուկանալու: Այն կարող է առաջացնել որոշ օրգանական կարծր դիէլեկտրիկների կոռոզիա, որը պետք է հաշվի առնել էլեկտրական սառնարանների նախագծման ժամանակ:

Ջրածին (H_2) – Օդի փոխարեն լայն կիրառում է գտել ջրածինը,

այն շատ թեթև գազ է: Ջրածինը հիմնականում օգտագործում են որպես հովացնող միջավայր էլեկտրական մեքենաներում, որի շնորհիվ շատ անգամ փոքրանում են ռոտորի պտտման ժամանակ շփման ուժերից առաջացած կորուստները: Բացի այդ, ջրածնի միջավայրում տեղի չի ունենում փաթութալարերի մեկուսացման օքսիդացում, որը նպաստում է մեկուսացման դանդաղ ծերացմանը: Բացի դրանից, կարճ միացման ժամանակ ջրածնի միջավայրում հրդեհ չի առաջանում, քանի որ թթվածինը բացակայում է:

Էլեկտրավակուումային տեխնիկայում լայնորեն օգտագործում են գտել իներտ գազերը (արգոն, նեոն և այլն), որոնք ունեն շատ ցածր էլեկտրական ամրություն, ամենացածր էլեկտրական ամրություն ունի հելիումը, որը մոտ 17 անգամ ցածր է, քան օդինը:

6.2. Հեղուկ դիէլեկտրիկներ

Հեղուկ դիէլեկտրիկները բաժանվում են երկու մասի՝ **նավթային յուղեր և սինթետիկ հեղուկ դիէլեկտրիկներ:**

Նավթային յուղեր: Նավթային յուղերից էլեկտրատեխնիկայում լայն կիրառում են գտել տրանսֆորմատորային, կաբելային և կոնդենսատորային յուղերը: Այն օգտագործում են ուժային տրանսֆորմատորներում, որպեսզի մեկուսացվեն և տոգորվեն բոլոր օդային տարածքները, բոլոր միջփաթութային տարածքները, միջուկը մեկուսացվում է մետաղական իրանից: Եվ երկրորդ, հովացնող միջավայր է ուժային տրանսֆորմատորներում, որպեսզի հեռացվի ջերմությունը, որն առաջանում է գումարային կորուստների պատճառով (ջուրլյան կորուստները հաղորդալարերում, կորուստները մագնիսալարերում և դիէլեկտրիկական կորուստները): Տրանսֆորմատորային յուղը լայնորեն կիրառվում է նաև բարձր լարման յուղային անջատիչներում: Նրա օգնությամբ մարվում է էլեկտրական աղեղը, որը կարող է առաջանալ անջատիչի միացման կամ անջատման ժամանակ: Տրանսֆորմատորային յուղը ստանում են նավթից՝ կրեկինգից. թափանցիկ անգույնից մինչև մուգ դեղին գույնի հեղուկ է: Գործնականորեն ոչ բևեռային դիէլեկտրիկ է: Էլեկտրամեկուսիչ հատկությունները հետևյալներն են՝

$$\text{tg}\delta=0.003, t=20^{\circ}\text{C},$$

$$\text{tg}\delta=0.025, t=70^{\circ}\text{C}:$$

Շահագործվող տրանսֆորմատորներում՝ $\varepsilon=2,2\dots2,3$, $E_0=10\dots20$ ՄՎ/մ: Տրանսֆորմատորային յուղը վառվող նյութ է: Նրա այրման աստիճանը բնութագրվում է բռնկման ջերմաստիճանով, որը պակաս չէ $+135^{\circ}\text{C}$ -ից: Սառեցման ջերմաստիճանը - 45°C է: Կինեմատիկական մածուցիկությունը $+20^{\circ}\text{C}$ -ի դեպքում 30 CCT (CCT -սանտիստոքս) է, իսկ 65°C -ի դեպքում 9.6 CCT: Տրանսֆորմատորային յուղի ու նյութ բոլոր յուղերի էլեկտրական ամրությունը պետական ստանդարտով նորմավարված չէ, քանի որ շահագործման ժամանակ յուղը փոխում է իր էլեկտրական ամրությունը: Սովորաբար տրանսֆորմատորային յուղը երկարատև օգտագործման ժամանակ ծերանում է, այսինքն՝ վատանում են նրա էլեկտրամեկուսչային հատկությունները: Որպեսզի լավացվի և բարձրացվի էլեկտրական ամրությունը, յուղն անընդհատ ենթարկվում է մաքրման, որի ընթացքում հատուկ ֆիլտրերի օգնությամբ, որոնք գտնվում են տրանսֆորմատորի իրանում, յուղը մաքրվում է, որը նորից օգտագործվում է: Յուղից զազերը և խոնավությունը վերացնելու համար, այն ենթարկվում է դեզազագման և ռեգեներացիայի:

Կաբելային յուղերն օգտագործում են էլեկտրական ուժային կաբելների արտադրության մեջ: Տոգորված թղթյա մեկուսացումում կաբելային յուղը բարձրացնում է նրա էլեկտրական ամրությունը և օգնում է ջերմության հեռացմանը:

Կոնդենսատորային յուղը ծառայում է թղթե և թաղանթե կոնդենսատորների տոգորման համար, որի շնորհիվ մեծանում է դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը և էլեկտրական ամրությունը: Տրանսֆորմատորային յուղը տարբերվում է իր առանձնահատուկ մաքրությամբ:

Սինթետիկ հեղուկ դիէլեկտրիկներ: Որոշ սինթետիկ հեղուկ դիէլեկտրիկներ իրենց հատկություններով գերազանցում են նավթային էլեկտրամեկուսիչ յուղերին: Սինթետիկ հեղուկ յուղերից

էլեկտրատեխնիկայում լայն կիրառում են գտել քլորացված ածխաջրածինները, սիլիցիումօրգանական հեղուկները և ֆտորօրգանական հեղուկները:

– Քլորացված ածխաջրածիններ: Քլորացված ածխաջրածինները ստանում են հիմնականում տարբեր ածխաջրածիններից՝ դրանց մոլեկուլներում ջրածնի որոշ ատոմները փոխարինելով քլորի ատոմներով: Քլորացված ածխաջրածիններից լայն կիրառում է ստացել սովոլը ($C_{12}H_5Cl_5$), որը թափանցիկ անգույն հեղուկ է: Նրա խտությունը 1500 կգ/մ^3 է, մածուցիկությունը 65°C -ի դեպքում $20\dots30 \text{ CCT}$ է, որի պատճառով այն տրանսֆորմատորներում չի օգտագործվում: Այն օգտագործում են կոնդենսատորների տոգորման համար: Սովոլի համար $\varepsilon=5$, $\text{tg}\delta=0,01\dots0,03$, $E_\delta=20 \text{ ՄՎ/մ}$: Թերությունն այն է, որ թունավոր և ոչ ցրտակայուն հեղուկ է:

– Սիլիցիումօրգանական հեղուկներ: Ունեն շատ փոքր $\text{tg}\delta$ և բարձր ջերմակայունություն: Սիլիցիումօրգանական հեղուկները լայն կիրառում են գտել կաբելների և կոնդենսատորների տոգորման և լցման համար: Աշխատանքային ջերմաստիճանը՝ $t_{\text{աշխ}} = -60^\circ\text{C} \dots +200^\circ\text{C}$: Բռնկման ջերմաստիճանը ոչ ցածր $+150^\circ\text{C}$, սառեցմանը ջերմաստիճանը ոչ բարձր -60°C -ից: Էլեկտրական հատկությունները են՝ $\rho_v=10^{11}\dots10^{12} \text{ Օմ}\cdot\text{մ}$, $\varepsilon=2,4\dots2,7$, $\text{tg}\delta = (3\dots8)10^{-4}$, $E_\delta=20 \text{ ՄՎ/մ}$: Այս հեղուկի թերությունը նրա թանկությունն է:

– *Ֆտորօրգանական հեղուկներ*: Ինչպես սիլիցիումօրգանական, այնպես էլ ֆտորօրգանական հեղուկները ունեն շատ փոքր $\text{tg}\delta$ և բարձր ջերմակայունություն: Ապահովում են ավելի ինտենսիվ ջերմահեռացում, քան նավթային յուղերը: Ֆտորօրգանական հեղուկների առավելությունը սիլիցիումօրգանական հեղուկների նկատմամբ՝ բացարձակ չայրելիությունն է: Թերությունը դրանց թանկ լինելն է:

6.3. Խեժեր

Խեժերը լինում են երկու տեսակի՝ **բնական** և **սինթետիկ**:

- **Բնական խեժեր**: Բնական խեժերը իրենցից ներկայացնում են տարբեր կենդանի օրգանիզմների կենսագործունեության արդյունք են (շելլակ): Լինում են նաև բուսական խեժեր (կանիֆոլ): Սրանք ստանում են բնական վիճակում, ենթարկվում են մաքրման և վերամշակման:

Շելլակ - հանդիպում են արևադարձային երկրներում ծառերի ճյուղերի վրա: Որոշ թռչունների օրգանիզմի կենսագործունեության արդյունք է: Բարդ կառուցվածքի օրգանական թթու է, լավ լուծվում է սպիրտի մեջ, չի լուծվում ածխաջրածիններում: Հիմնականում օգտագործվում են որպես սոսինձ որոշ էլեկտրամեկուսիչ ժապավենների կամ նյութերի միացման համար: Էլեկտրական հատկություններն են՝ $\rho_v = 10^{13} \dots 10^{14}$ Օմ·մ, $tg\delta = 0.01$ $\varepsilon = 3,5$, $E_\delta = 20 \dots 30$ ՄՎ/մ: $50 \dots 60^\circ\text{C}$ ջերմատիճանի դեպքում այն փափկում է և հալչում:

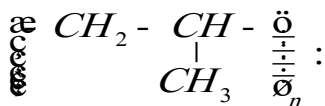
Կանիֆոլ - ստանում են սոճու բնական խեժից, ենթարկվում է մաքրման և վերամշակման: Լայն կիրառում է գտել եռակցման համար: Օգտագործվում են թղթայուղային մեկուսացման ուժային կաբելներում և նավթային յուղերում որպես բաղադրություն: Կանիֆոլով տոգորում են թղթամեկուսացումը: Էլեկտրական ամրությունը՝ $\rho_v = 10^{13} \dots 10^{14}$ Օմ·մ, $tg\delta = 3 \cdot 10^{-3}$ $\varepsilon = 2,8$, $E_\delta = 10 \dots 15$ ՄՎ/մ է: $50 \dots 60^\circ\text{C}$ ջերմատիճանի դեպքում այն փափկում է և հալչում է:

Կոպալներ - Բավականին ամուր, դժվարահալ և դժվար լուծվող խեժեր են: Առաջանում են ծառերի քայքայման համաժոներում: Որպես խեժ ավելացնում են յուղային լաքերում՝ դրանց մածուցիկությունը բարձրացնելու նպատակով: Կոպալներից հայտնի է սաթը (յանտարը): Էլեկտրական հատկությունն են՝ $\varepsilon = 2,8$, $tg\delta = 0.002 \dots 0.033$, $\rho_v = 10^{15} \dots 10^{17}$ Օմ·մ, էլեկտրական ամրությունը մինչև 20 ՄՎ/մ է:

• **Սինթետիկ խեժեր:** Սինթետիկ խեժերը բարձր մոլեկուլային պոլիմերային միացություններ են, որոնք ստանում են մոնոմերների պոլիկոնդենսացման կամ պոլիմերացման եղանակով: Լինում են բևեռային և ոչ բևեռային: Ոչ բևեռային սինթետիկ խեժերից են.

• **Պոլիէթիլեն-** ստանում են էթիլենի մոնոմերի պոլիմերացումով՝ $(CH_2-CH_2)_n$: Ոչ բևեռային լավագույն էլեկտրամեկուսիչ նյութն է: Նրա էլեկտրամեկուսիչ հատկություններն են՝ $\rho_v=10^{15}...10^{16}$ Օմ·մ, $\varepsilon=2,3...2,4$, $tg\delta=3\cdot10^{-4}$, 1մմ հաստության դեպքում $E_\delta=45...55$ ՄՎ/մ: Նրա թերությունը ցածր աշխատանքային ջերմաստիճանն է $t_{աշխ}=70^\circ C$: Մեծ կիրառում է գտել կենցաղում, էլեկտրատեխնիկայում, կաբելային արդյունաբերությունում՝ որպես մեկուսացում: Նրա աշխատանքային ջերմաստիճանը բարձրացնելու համար բարձր ճնշման և ջերմաստիճանի տակ ենթարկվում է վուլկանացման, որի ժամանակ տեղի է ունենում C—H մոլեկուլների միջև գծային կապի կարում (կարված պոլիէթիլեն), որը հանգեցնում է կապի էներգիայի մեծացմանը: Դրանով աշխատանքային ջերմաստիճանը հասնում է մինչև $90^\circ C$, որը թույլ է տալիս վուլկանացված պոլիէթիլենը օգտագործել բարձր լարման կաբելների մեկուսացման համար:

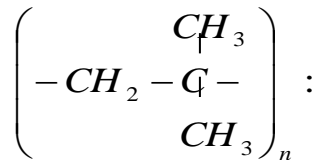
• **Պոլիպրոպիլեն-** ոչ բևեռային նյութ է լավագույն էլեկտրամեկուսիչ հատկություններով, նման է պոլիէթիլենին՝ $\rho_v=10^{12}...10^{15}$ Օհմ·մ, $\varepsilon=2,0$, $tg\delta=3\cdot10^{-4}$, 1մմ հաստության դեպքում $E_\delta=30...35$ ՄՎ/մ



Աշխատանքային ջերմաստիճանը մինչև $105^\circ C$ է: Նրա թերությունը ցածր ցրտակայունությունն է ($-5...-15^\circ C$), պատրաստման բարդ տեխնոլոգիան՝ հատկապես փոքր հաստությամբ (8...10 մկմ) պոլիպրոպիլենային ժապավենների ստացման ժամանակ, որոնք

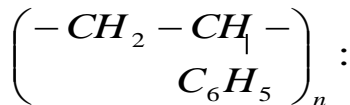
մեծ օգտագործում են գտել ուժային էլեկտրական կոնդենսատորներում:

- *Պոլիհոդրուբիլեն*-ոչ բևեռային նյութ է բարձր էլեկտրամեկուսիչ հատկություններով՝ $\rho_v=10^{13}...10^{14}$ Օհմ·մ, $\varepsilon=2,2...2,3$, $tg\delta=3\cdot10^{-4}$, $E_\delta=15...20$ ՄՎ/մ:



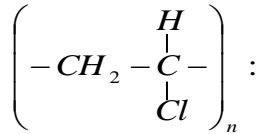
Աշխատանքային ջերմաստիճանը՝ $t_{աշխ}=-70...+100^{\circ}C$: Նրա թերությունը ցածր մեխանիկական ամրությունն է: Շատ փոքր մեխանիկական բեռնվածքի տակ նրա մոտ դիտվում է սառը հոսունություն, այդ իսկ պատճառով մաքուր տեսքով այն չի օգտագործվում: Օգտագործվում է կաբելային տեխնիկայում պոլիէթիլենի հետ միասին (կաբելային պոլիէթիլեն):

Պոլիստիրոլ – Ոչ բևեռային նյութ է լավագույն էլեկտրամեկուսիչ հատկություններով՝ $\rho_v=10^{14}...10^{15}$ Օհմ·մ, $\varepsilon=2,5...2,6$, $tg\delta=3\cdot10^{-4}$, $E_\delta=25...35$ ՄՎ/մ, աշխատանքային ջերմաստիճանը՝ $t_{աշխ}=70...100^{\circ}C$:



Նրա թերությունը ցածր ջերմաստիճանների դեպքում փխրունությունն ու կոշտությունն են: Ունենալով փոքր $tg\delta$ ՝ լայնորեն օգտագործվում է գտել կոնդենսատորներում և կապի կաբելներում: Բևեռային սինթետիկ խեժերից են պատկանում՝

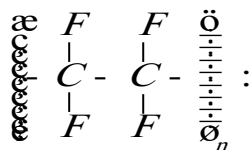
- *Պոլիվինիլքլորիդ* - Բևեռային նյութ է, դիպոլային մոլեկուլը առաջանում է H-ի և Cl-ի միջև:



Նրա էլեկտրամեկուսիչ հատկությունները ավելի ցածր են քան վերը նշված նյութերինը՝ $\rho_v=10^{13}...10^{14}$ Օհմ·մ, $tg\delta=0,01...0,03$, $\varepsilon=3,2...3,4$, 1մմ հաստության դեպքում $E_\delta=35...45$ ՄՎ/մ, $t_{աշխ}=60...70^\circ\text{C}$: Օգտագործում է գտել որպես մեկուսացում ցածր լարման լարերի համար: Բավականին կայուն նյութ է քիմիապես ագրեսիվ միջավայրում: Քիմիապես ակտիվ միջավայրում չեն ազդում թթուները, լուծույթները և այլն: Մեծ օգտագործում է գտել կաբելային տեխնիկայում որպես պաշտպանիչ պատյան, որի հիմքը ՊՎՔ պլաստիկատներն են, այսինքն ՊՎՔ-ին ավելացրած տարբեր պլաստիֆիկատորներ, որոնք տալիս են նրան բարձր մեխանիկական ամրություն, ճկունություն և այլն:

• Ֆտորօրգանական խեժեր- Լինում են բևեռային և ոչ բևեռային: Ֆտորօրգանական խեժերին վերաբերում են ֆտորոպլաստ 4-ը և ֆտորոպլաստ 3-ը:

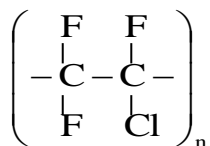
Ֆտորոպլաստ-4-ի քիմիական անունը պոլիտետրաֆտորէթիլեն է՝



Ոչ բևեռային նյութ է բարձր էլեկտրամեկուսիչ հատկություններով՝ $\rho_v=10^{15}...10^{17}$ Օհմ·մ, $\varepsilon=2,2$, $tg\delta=2 \times 10^{-4}$, 4մմ հաստության դեպքում $E_\delta=20...30$ ՄՎ/մ: Այն իրենից ներկայացնում է ոչ բևեռային ամորֆ-բյուրեղային նյութ: Բյուրեղների հալման ջերմաստիճանը $+290^\circ\text{C}$ է: Ամորֆ ֆազը տալիս է ցածր ջերմակայունություն -269°C Աշխատանքային ջերմաստիճանը $\pm 250^\circ\text{C}$ է: Քիմիապես

կայուն նյութ է: Չի թրջվում ջրում և մյուս հեղուկ դիէլեկտրիկներում: Մեծ օգտագործում է գտել կաբելային տեխնիկայում: Դրանից պատրաստում են տարբեր տեսակի էլեկտրական մեկուսիչներ: Թերությունը ցածր ռադիացիոն կայունությունն է, բարձր արժեքը և տեխնոլոգիապես դժվար մշակումը:

Ֆտորոպլաստ-3-ի քիմիական անունը պոլիտեթֆտորբլորեթիլեն է՝



Բևեռային նյութ է, էլեկտրամեկուսիչ հատկությունները՝ $\rho_v=10^{14} \dots 10^{16} \text{ Ohm}\cdot\text{մ}$, $\varepsilon=3,3$, $tg\delta=0,03$, 2մմ հաստության դեպքում $E_0=13 \dots 15 \text{ ՄՎ/մ}$, $t_{\text{աշխ}}=-195 \dots +190^\circ\text{C}$: Քիմիապես կայուն է: Ունի ռադիացիոն ավելի մեծ կայունություն, քան ֆտորոպլաստ-4, թերությունը դժվար մշակումն է և բարձր արժեքը:

6.4. Կերամիկական նյութեր

1. Կերամիկական նյութերը անօրգանական նյութեր են, որոնցից պատրաստում են տարբեր տեսակի մեկուսիչներ: Կերամիկական նյութերից է ճենապակին: Ճենապակին ստանում են հատուկ տեսակի կավից՝ կաոլինից, ավելացնելով կվարց (SiO_2) և դաշտային սպաթ: Այդ բոլոր բաղադրությունները լավ մաքրում են խարնուրդներից, մանրացնում և խառնում ջրով՝ ստանալով համասեռ զանգված: Այդ զանգվածից մամլումով ստանում են տարբեր տեսակի մեկուսչային իրեր, որից հետո դրանք ենթարկվում են չորացման, որպեսզի վերացվի խոնավությունը, ծածկվում են ջնարակով (գլազուրով) և ենթարկվում են թրծման: Ջնարակումը հատուկ զանգված է, որը պատվում է ճենապակու մակերեսը: Թրծման ժամանակ այն հալվում է և բարակ, փայլուն ապակե շերտով ծածկում ճենապակու մակերեսը: Դրանով ջնարակը ծածկում է բոլոր միկրոճեղքերը, որը բարձրացնում է տվյալ

Ճենապակյա մեկուսիչ մեխանիկական ամրությունը: Բացի դրանից, փայլուն ճենապակու մակերեսին փոշի չի նստում և այլն: Դրանով բացատրվում է մակերևութային բարձր էլեկտրական ամրությունը: Ճենապակուց պատրաստում են տարբեր տեսակի մեկուսիչներ՝ գծային, կայանային, ապարատային

1. Գծային մեկուսիչները լինում են երկու տեսակի՝ ծողային և կախովի: Զողային մեկուսիչներն օգտագործում են մինչև 35կՎ լարումով էլեկտրահաղորդման գծերի հաղորդման (ԷՀԳ) համար: Սրանցով նշված էլեկտրահաղորդման գծերը կոշտ ամրացվում են համապատասխան հենակետերում: Կախովի մեկուսիչներն օգտագործում են 35կՎ-ից բարձր լարման օդային էլեկտրահաղորդման գծերի կառուցման (ԷՀԳ) համար: Դրանցից հաջորդաբար հավաքվում է շղթա, որից կախվում է էլեկտրահաղորդիչ լարը: Այդ շղթան ապահովվում է լավ մեկուսացում և կախվող լարի ճկունություն: Կախված շղթայում մեկուսիչների քանակից՝ կարելի է իմանալ օդային ԷՀԳ-ի լարումը (6...7 օղակից շղթային համապատասխանում է 110կՎ լարում, 10.12 օղակից շղթային՝ 220կՎ):

2. Կայանային մեկուսիչները լինում են հենարանային և անցումային: Հենարանային մեկուսիչներն օգտագործում են տարբեր էլեկտրական սարքավորումների, ապահովիչների և էլեկտրական ապարատների տարբեր մասերի կոշտ ամրացման համար մետաղական բաշխիչ արկղի համապատասխան կետերում: Անցումային մեկուսիչներն օգտագործում են պատերի միջև, բարձր լարման տակ գտնվող լարերի, կաբելների անցկացման համար:

3. Ապարատային մեկուսիչներն օգտագործում են ուժային տրանսֆորմատորներում և կոնդենսատորներում՝ բարձր լարման տակ գտնվող լարերի մետաղական իրանից մեկուսացման համար:

6.5. Փայլարը և նյութեր նրա հիման վրա

Փայլարն ունի բարձր էլեկտրամեկուսիչ հատկություններ՝ բարձր էլեկտրական ամրություն, մեխանիկական ամրություն, խոնավակայունություն, ջերմակայունություն: Օգտագործում են կարևորագույն էլեկտրամեկուսացման տեղամասերում՝ հատկապես բարձր լարման և հզորության էլեկտրական մեքենաների մեկուսացման համար: Բացի այդ, որպես դիէլեկտրիկներ օգտագործում են կենդենսատորներում: Բնության մեջ հանդիպում են բյուրեղների տեսքով: Դրանք ջրային ալյումոսիլիկատներ են: Փայլարը բնությունում հանդիպում է երկու տեսակի՝

1. մոսկովիտ – $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$,

2. ֆլոգոպիտ – $K_2O \cdot 6MgO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$:

Մոսկովիտն ունի ավելի լավ էլեկտրամեկուսիչ հատկություններ, քան ֆլոգոպիտը: Բացի այդ, այն մեխանիկապես ավելի ամուր է, ճկուն, խոնավակայուն և ամուր է քերման հանդեպ: Փայլարն ունի բարձր ջերմակայունություն, հալվում է $1250...1300^\circ C$ ջերմաստիճանում: Մոսկովիտի աշխատանքային ջերմաստիճանը $500...600^\circ C$ է, իսկ ֆլոգոպիտինը՝ $800...900^\circ C$: Այստեղից երևում է, որ փայլարը լավագույն, բարձր որակի էլեկտրամեկուսիչ նյութ է, պատկանում է C ջերմակայունության դասին: Այն օգտագործում են կարևորագույն էլեկտրամեկուսացման մասերում: Փայլարը բնության մեջ հանդիպում է սահմանափակ մակերեսով թիթեղների տեսքով: Մեկուսացման համար օգտագործում են մեծ մակերեսով թիթեղներ կամ ժապավենային նյութեր, դրա համար էլ փայլարից պատրաստում են մեկուսիչ իրեր՝ միկանիտներ, որոնք փայլարի թիթեղներից սոսնձված իրեր են: Միկանիտներին լինում են՝

1.կոլեկտորային –պատրաստում են ֆլոգոպիտից, որն ունի ավելի ցածր կայունություն քերման նկատմամբ, որպեսզի կոլեկտորային պղնձյա թիթեղների հետ միասին հավասարաչափ մաշվի:

2.Միջնաշերտային–օգտագործում են որպես միջնաշերտային մեկուսացում, տափօղակներ և այլն: Պատրաստում են մոսկովիտից և ֆլոգոպիտից:

3. Կաղապարային – օգտագործում են որպես կոլեկտորային մեկուսացում, մեկուսչային մանժետներ, խողովակներ և այլն:

4. Ճկուն միկանիտներ – լայն օգտագործում է գտել որպես էլեկտրական մեքենաների փաթույթների հատվածամասերի մեկուսացում և այլն: Պատրաստում են սահմանափակ մակերեսով մուսկովիտի կամ ֆլոգոպիտի թիթեղներից, որոնք սոսնձում են թղթե կամ օրգանական պոլիմերների ժապավենների վրա:

6.6. Շերտավոր պլաստիկատներ

Շերտավոր պլաստիկատներից են գետինաքսը և տեքստոլիտը: Գետինաքսը ստանում են թղթե գլանափաթեթից, որը սպիրտի մեջ բակելիտային խեժով ենթարկում են տոգորման: Տոգորումից հետո այն ենթարկում են չորացման, որից հետո հավաքում են համապատասխան հաստության տուփեր, որոնք տեղավորում են հիդրավլիկ մամլիչի սալիկների միջև: Մամլման ժամանակ սալիկները տաքացվում են գերտաքացված գոլորշիով, այդ ջերմաստիճանը փոխանցվում է տուփերին, բակելիտային խեժը հալվում է՝ լցնելով տուփի շերտերի միջև բոլոր օդային տարածքները: Սառչելուց հետո ստացվում է մոնոլիտային պինդ մեկուսչային նյութ: Գետինաքսի խտությունը՝ $\rho = 1.350 \dots 1.4500$ կգ/մ³: Գետինաքսները լինում են A և B մակնիշի: A մակնիշի գետինաքսն օժտված է բարձր էլեկտրամեկուսիչ հատկություններով, B մակնիշինը՝ բարձր մեխանիկական հատկություններով: A մակնիշի համար՝ $\varepsilon = 6 \dots 7$, $\rho_v = 10^{11}$ Օհմ·մ, $\text{tg}\delta = 0.04 \dots 0.08$, $E_g = 25 \dots 30$ ՄՎ/մ:

Տեքստոլիտը ստանում են նույն եղանակով բայց տոգորված գործվածքից: Այն քան գետինաքսից 5...6 անգամ թանկ է: Նրա համար՝ $\rho_v = 10^{10}$ Օհմ·մ:

Լայնորեն օգտագործվում է ապակե տեքստոլիտը, որը ստանում են ապակե գործվածքից: Ունի բարձր խոնավակայունություն, ջերմակայունություն, էլեկտրակայունություն և մեխանիկապես ամուր է:

6.7. Լաքագործվածքներ

Լաքագործվածքները ճկուն էլեկտրամեկուսիչ նյութեր են, որոնք թղթաբամբակից կամ մետաքսյա գործվածքներ են, որոնք տոգորված են էլեկտրամեկուսիչ լաքով: Գործվածքներն ապահովում են մեխանիկական ամրություն, իսկ լաքային շերտերը՝ էլեկտրական ամրություն: Օգտագործվում են էլեկտրական մեքենաների, տրանսֆորմատորների, ապարատների, կաբելների մեկուսացման համար: Տոգորվող լաքի տեսանկյունից տարբերում են՝

- բաց գույնի (դեղին), լաքագործվածքներ՝ յուղային լաքերի հիման վրա,
- սև գույնի լաքագործվածքներ՝ յուղաբիտումային լաքերի հիման վրա:

Բաց գույնի լաքագործվածքները կայուն են օրգանական լուծույթների հանդեպ, յուղակայուն են և այլն: Նրանց թերությունը բարձր ջերմաստիճանների տակ ջերմային ծերացումն է: Բաց գույնի լաքագործվածքի համար $E_0=35...50$ ՄՎ/մ (թղթաբամբակային լաքագործվածքի համար), $E_0=55...90$ ՄՎ/մ (մետաքսյա լաքագործվածքի համար): Սև գույնի լաքագործվածքներն ունեն ավելի բարձր էլեկտրական ամրություն $E_0=55...60$ ՄՎ/մ: Դրանք ավելի խոնավակայուն են: Նրանց թերությունը ցածր կայունությունն է օրգանական լուծույթների հանդեպ: Նրանք յուղակայուն չեն: Գործնականում կայուն չեն յուղային տրանսֆորմատորներում: Հիմնականում օգտագործում են էլեկտրական մեքենաների մեկուսացման համար:

6.8. Թղթե դիէլեկտրիկներ

Թուղթը կարճաթելիկավոր կառուցվածքի թերթային կամ գլանափաթեթավոր նյութ է: Այն հիմնականում բաղկացած է ցելյուլոզից:

Եթե թուղթն օգտագործում են որպես էլեկտրական մեկուսիչ, ցելյուլոզան, որը ստանում են փայտը հիմնային լուծույթներում

եփելու միջոցով, պետք է լինի շատ ամուր և ջերմադիմացկուն:

Կաբելային թուղթը օգտագործում են ուժային էլեկտրական կաբելները մեկուսացնելու համար: Կաբելային թղթի հաստուկ տեսակը հեռախոսային թուղթն է, որն ունի 50մկմ հաստություն: Հեռախոսային թղթի ծավալային զանգվածը պետք է լինի փոքր, որպեսզի նվազեցնի հեռախոսային կաբելի չտոգորված թղթի մեկուսացման ունակությունը:

Կոնդենսատրային թուղթը տոգորված վիճակում օգտագործում են որպես դիէլեկտրիկ թղթե կոնդենսատրներում, որոնց հաստությունը տարբեր մակնիշների համար լինում է 4...40 մկմ: Կոնդենսատրային թղթի փոքր հաստությունը թույլ է տալիս ստանալ կոնդենսատորի տեսակարար ունակության բարձր արժեք:

Ստվարաթուղթը հիմնականում տարբերվում է ավելի մեծ հաստությամբ: Էլեկտրամեկուսիչ ստվարաթուղթը լինում է երկու տեսակի՝ օդային, որն ամուր է, ճկուն և նախատեսված է դրսում աշխատելու համար, և յուղային, որը փխրուն է և փափուկ, նախատեսված է հիմնականում տրանսֆորմատրային յուղում աշխատելու համար: Յուղային ստվարաթուղթը լավ տոգորվում է յուղով և տոգորված վիճակում ունի բարձր էլեկտրական ամրություն: Թղթե դիէլեկտրիկներն ունեն հետևյալ առավելությունները՝ մեծ մեխանիկական ամրություն և ճկունություն, հեշտ մշակում և փոքր արժեք: Թերություններն են՝ փոքր էլեկտրական ամրությունը, ջերմակայունությունը, հիդրոսկոպիկությունը: Թղթե դիէլեկտրիկների հատկությունները զգալի կերպով կարելի է լավացնել տոգորման միջոցով: Այդ պատճառով էլ էլեկտրական մեկուսացման համար նրանց օգտագործում են տոգորված վիճակում:

7. ԱԿՏԻՎ ԴԻԷԼԵԿՏՐԻԿՆԵՐ

Ակտիվ կոչվում են այն դիէլեկտրիկները, որոնք նախատեսված են էլեկտրական ազդանշանների գրգռման, ուժեղացման, մոդուլացման և կերպափոխման համար, այսինքն՝ այն դիէլեկտրիկները, որոնք ենթարկվում են դեկավարման:

Ի տարբերություն էլեկտրամեկուսիչ նյութերի, որոնցում հիմնական օգտագործվող երևույթը բևեռացումն է արտաքին էլեկտրական դաշտի ներքո, ակտիվ դիէլեկտրիկներում կան մի շարք այլ երևույթներ և հատկություններ, որոնք կարող են հանդես գալ դիէլեկտրիկի արտաքին ազդակների ինչպես առանձին, այնպես էլ փոխկապակցված ազդեցությունների շնորհիվ:

Օրինակ բևեռացում կարող է կատարվել հետևյալ ազդեցությունների շնորհիվ՝ մեխանիկական (պիեզոէլեկտրական էֆեկտ), ջերմաստիճանի փոփոխման (պիրոէլեկտրական էֆեկտ), մագնիսական դաշտի (սեզնետամագնիսական էֆեկտ) և այլ:

Ակտիվ դիէլեկտրիկներում օգտագործվում է P-ի և E-ի կամ այլ մեծությունների միջև կապերի ոչ գծայնությունը, ինչպես նաև այն հատկությունները, երբ $E=0$:

Ատիվ դիէլեկտրիկները, վերը նշված հատկությունների շնորհիվ, լայն կիրառություն ունեն թե էլեկտրական, թե ռադիոտեխնիկական և թե հաշվողական տեխնիկայի սարքավորումներում (էլեկտրական ֆիլտրեր, ձայնային ազդանշանների ուժեղարարներ, հիշող սարքեր և այլն):

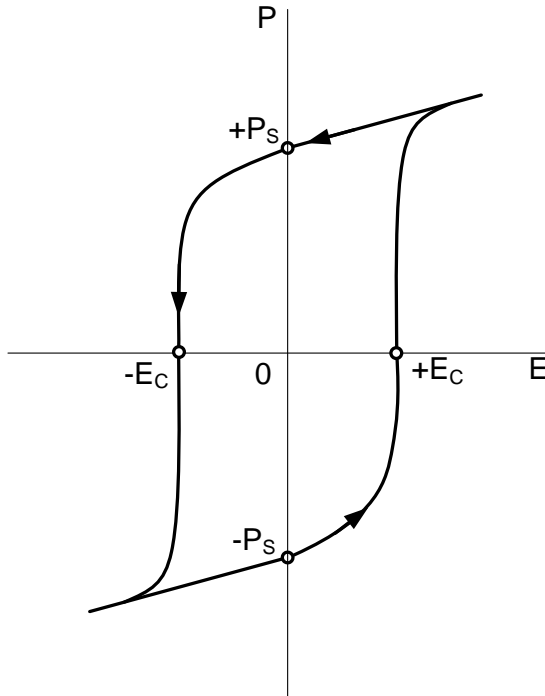
7.1. Սեզնետալեկտրիկներ

Սեզնետալեկտրիկներ կոչվում են այն նյութերը, որոնք օժտված են ինքնաբերական բևեռացմամբ, որի ուղղությունը կարող է փոփոխվել արտաքին ազդեցությունների դեպքում:

Ինքնաբերական բևեռացումը դիէլեկտրիկում, ներքին պրոցեսների ազդեցության տակ առաջացող բևեռացումն է: Սեզնետալեկտրիկի ծավալը, որպես կանոն, բաժանված է դոմենների՝ տիրույթների P_s ինքնաբերական բևեռացվածության վեկտորների

զանազան ուղղություններով: Այս պատճառով նմուշի գումարային բևեռացվածությունը ամբողջությամբ հավասար է զրոյի:

Սեգնետաէլեկտրիկներում P բևեռացվածության կախումը E լարվածությունից ոչ գծային է և E -ի ցիկլային փոփոխությունների դեպքում ունի փակ կորին բնորոշ տեսք, որը կոչվում է հիստերեզիսի օղակ (նկ. 7.1):



Նկ. 7.1. Իդեալական սեգնետաէլեկտրիկի դիէլեկտրիկական հիստերեզիսի օղակը

Միադոմեն նմուշի P բևեռացվածությունը $E=0$ դեպքում հավասար է $+P_s$ կամ $-P_s$: P_s -ի ուղղությամբ ուղղված դաշտի լարվածության աճին զուգընթաց P -ն գծայնորեն աճում է մակածվող բևեռացման սովորական մեխանիզմների հաշվին (էլեկտրոնային, իոնային, դիպոլային): Եթե հակառակ ուղղության էլեկտրական

դաշտ կիրառենք, ապա դաշտի որոշակի E_c լարվածության դեպքում տեղի կունենա վերաբևեռացում, այսինքն՝ P_s վեկտորի ուղղությունը կդառնա հակադիր: Դաշտի լարվածության այդ արժեքը, անվանում են կոերցիտիվ ուժ: Հիստերեզիսի օղակի առկայությունը սեգնետաէլեկտրիկների հիմնական հատկությունն է, որով նրանք տարբերվում են դիէլեկտրիկների այլ տեսակներից:

Ըստ կոերցիտիվ ուժի, մեծության սեգնետաէլեկտրիկները բաժնվում են սեգնետափափուկ ($E_c < 0.1$ ՄՎ/մ) և սեգնետակոշտ ($E_c > 1$ ՄՎ/մ) նյութերի:

Սեգնետաէլեկտրիկներին բնորոշ պարամետր է նաև Կյուրիի կետը: Դա այն ջերմաստիճանն է, որի դեպքում առաջանում է կամ վերանում է ինքնաբերական բևեռացում: Կյուրիի կետին հասնելուց հետո տեղի է ունենում ֆազային անցում (առաջին կարգի, երկրորդ կարգի, ոչ սահուն):

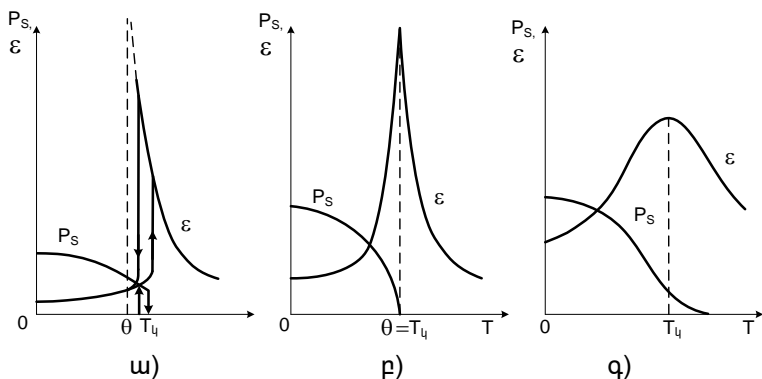
Նյութի դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը Կյուրիի կետի ջերմաստիճանում (T_k) ունի առավելագույն արժեք, իսկ $T > T_k$ դեպքում սովորաբար ենթարկվում է Կյուրի-Վեյսի օրենքին՝

$$\varepsilon = \frac{C}{(T - \theta)} \quad (7.1)$$

որտեղ C -ն Կյուրիի հաստատունն է, θ -ն Կյուրի-Վեյսի ջերմաստիճանը:

Առաջին կարգի ֆազային անցումով սեգնետաէլեկտրիկներում ինքնաբերական բևեռացվածությունը Կյուրիի կետում փոխվում է թռիչքով, $\theta < T_k$ (նկ. 7.2 ա): Այն անցման համար բնորոշ է ջերմաստիճանային հիստերեզիսի առկայությունը և անցման թաքնված ջերմության անջատումը:

Երկրորդ կարգի ֆազային անցման դեպքում (նկ. 7.2 բ), երբ $T \rightarrow T_k$, P_s -ը սահունորեն նվազում է մինչև զրո, $\theta \rightarrow T_k$, ջերմաստիճանային հիստերեզիս չկա, իսկ $\varepsilon \rightarrow 4$:



Նկ. 7.2. Սեգնետատէլեկտրիկների ինքնաբերական P_s բևեռացվածության և դիէլեկտրիկական թափանցելիության ջերմաստիճանային կախումները

ա) առաջին կարգի ֆազային անցումով, բ) երկրորդ կարգի ֆազային անցումով, գ) ոչ սահուն ֆազային անցումով

Կան նաև *ոչ սահուն* ֆազային անցումով սեգնետատէլեկտրիկներ, որոնք անցման որոշակի կետ չունեն, այլ դիտվում է ջերմաստիճանի միջակայքում, որտեղ P_s -ը աստիճանաբար նվազում է, իսկ ϵ -ը ունենում է ոչ ցայտուն առավելագույն արժեք (նկ. 7.2 գ): Ջերմաստիճանային այս միջակայքում, որը կոչվում է Կյուրիի միջակայք, գոյակցում են երկու վիճակներն էլ՝ սեգնետա և պարատէլեկտրականը:

Բևեռացման թվարկված առանձնահատկություններն առաջին անգամ հայտնաբերվել են սեգնետային աղի բյուրեղներում, իսկ այդպիսի հատկություններով դիէլեկտրիկները ստացել են սեգնետատէլեկտրիկներ անվանումը:

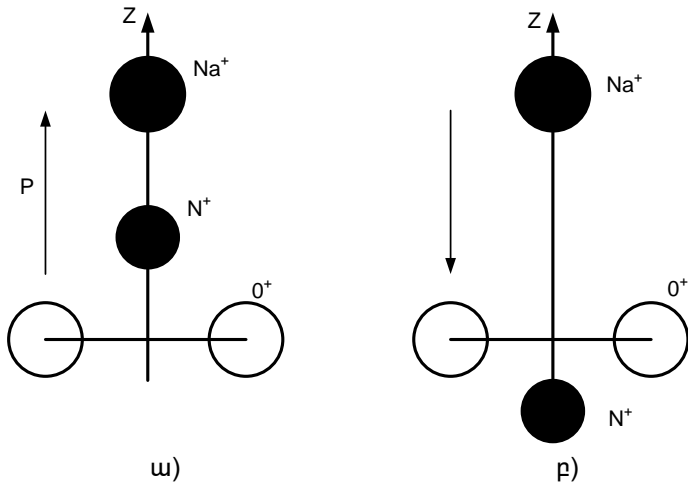
Կախված բևեռացման տեսակից, սեգնետատէլեկտրիկները բաժանվում են իոնայինների և դիպոլայինների:

Իոնային սեգնետատէլեկտրիկների թվին են պատկանում պերովսկիտի (CaTiO_3 հանքանյութ) բնույթի կառուցվածքով բազմաթիվ միացություններ. բարիումի տիտանատը՝ BaTiO_3 ($T_q=120^\circ\text{C}$), կապարի տիտանատը՝ PbTiO_3 ($T_q=490^\circ\text{C}$), կալիումի նիոբատը՝

KNbO_3 ($T_f=435^\circ\text{C}$), կալիումի յոդատը՝ KIO_3 ($T_f=210^\circ\text{C}$) և այլն:

Դիպոլային սեգնետաէլեկտրիկների թվին են պատկանում սեգնետային աղը՝ $\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6\text{H}_2\text{O}$ ($T_f=24^\circ\text{C}$), նատրիումի նիտրիտը՝ NaNO_2 ($T_f=160^\circ\text{C}$), և այլն:

Այս բյուրեղների տարրական բջիջը պարունակում է հավասարակշռության երկու դիրքով ատոմներ կամ ատոմների խմբեր, օրինակ, ազոտի ատոմը NaNO_2 -ի մեջ (նկ 7.3) :



Նկ. 7.3. NaNO_2 բյուրեղի տարրական բջիջի կառուցվածքը դիպոլային մոմենտի դրական (ա) և բացասական (բ) ուղղությունների դեպքում

Բջիջն օժտված է էլեկտրական P մոմենտով, որի ուղղությունը որոշվում է ատոմների դիրքով:

Սեգնետաէլեկտրիկները իրենց հատկությունների շնորհիվ լայն կիրառություն են գտել տեխնիկայում՝ երկարատև պահպանվող բևեռացված վիճակը օգտագործվում է հիշող սարքերում, խիստ արտահայտված ոչ գծայնությունը՝ վարիկոնդներում, էլեկտրահաղորդման առանձնահատկությունները՝ պազիստորներում:

Գոյություն ունեն մաս հակասեգնետաէլեկտրիկներ, որոնց բավարար ուժգնության էլեկտրական դաշտ կիրառելիս կարող է վերածվել սեգնետոէլեկտրիկի:

Կան այնպիսի բյուրեղներ, որոնք կարող են միաժամանակ ունենալ Կյուրիի էլեկտրական և մագնիսական կետեր, այսինքն այս նյութերը կարելի է վերամագնիսացնել էլեկտրական դաշտի օգնությամբ և վերաբևեռացնել մագնիսական դաշտի հաշվին, այդպիսի նյութերը կոչվում են սեգնետամագնիսներ:

Սեգնետաէլեկտրիկները վերոհիշյալ հատկությունների շնորհիվ լայն կիրառություն ունեն տեխնիկայում՝ մեծ ε -ով կոնդեսատորներում, երկարատև պահպանվող բևեռացման վիճակը հիշող սարքերում, ոչ գծայնությունը վարիկոններում, էլեկտրահաղորդման առանձնահատկությունները պոզիստորներում:

Սեգնետաէլեկտրիկները հիմք են պիեզոէլեկտրական, պիրոէլեկտրական, էլեկտրաօպտիկական և ոչ գծային օպտիկական նյութեր ստանալու համար:

Հիշող սարքերում հիմնականում օգտագործվում են այն սեգնետաէլեկտրիկները, որոնց հիստերեզիսային օղակը մոտ է ուղղանկյան ձևին:

Սեգնետաէլեկտրիկների կորուստները գնահատվում են հիստերեզիսի օղակի մակերեսով:

7.2. Պիեզոէլեկտրիկներ

Դիէլեկտրիկները, որոնցում բևեռացման երևույթը պայմանավորված է մեխանիկական լարման ազդեցությամբ կոչվում են պիեզոէլեկտրիկներ: Այս դեպքում առաջացած P բևեռացվածությունը ուղիղ համեմատական է կիրառված մեխանիկական σ լարմանը.

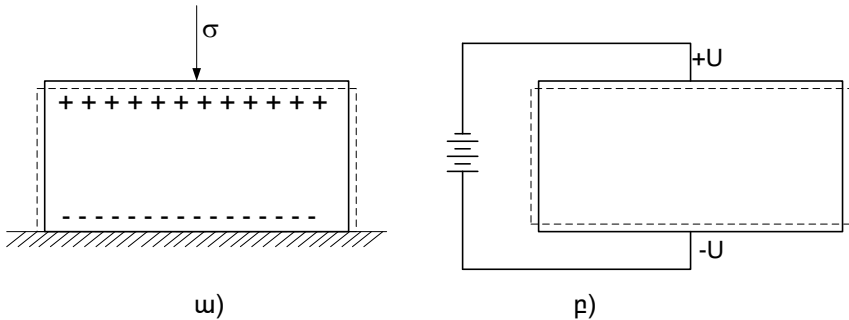
$$P = d\sigma \quad (7.2)$$

Համեմատականության d գործակիցը կոչվում է պիեզոէլեկտրական մոդուլ կամ պիեզոմոդուլ: σ -ի նշանի փոփոխությունը, այսինքն՝ ձգման փոխարինումը սեղմումով, հանգեցնում է P -ի նշանի փոփոխմանը՝ վերաբևեռացմանը: Բևեռացվելիս ցանկացած դիէլեկտրիկ դեֆորմացվում է: Դեֆորմացիան (X) (նկ. 7.4) սովորաբար ուղիղ համեմատական է բևեռացվածության քառա-

կուտուՆ (քառակուսային դեֆորմացիա):

$$X = QP^2 \quad (7.3)$$

որտեղ Q -ն էլեկտրաստորիկցիայի գործակիցն է: Բևեռացման նշանից անկախ դիէլեկտրիկի դեֆորմացիան անվանում են էլեկտրաստորիկցիա (մագնիսական նյութերի մագնիսացման դեպքում առաջացող համանման երևույթը կոչվում է մագնիսաստորիկցիա):



Նկ. 7.4. Էլեկտրամեխանիկական կապի գործակցի որոշման սխեման. ուղիղ (ա) և հակադարձ (բ) պիեզոէլեկտի դեպքում

Քառակուսային դեֆորմացիայի հետ միասին (սովորաբար շատ փոքր) որոշ դիէլեկտրիկներում դիտվում է բևեռացումից զծայնորեն կախված դեֆորմացիա՝

$$X = qP:$$

Այս երևույթը կոչվում է հակադարձ պիեզոէլեկտրական էֆեկտ: Քանի որ $P = \epsilon_0(\epsilon - 1)E$ ուստի

$$X = qP = q\epsilon_0(\epsilon - 1)E = dE \quad (7.4)$$

որտեղ հակադարձ պիեզոէլեկտի պիեզոմոդուլը

$$d = \epsilon_0 q(\epsilon - 1) \quad (7.5)$$

Ապացուցված է, որ թերմոդինամիկայում ուղիղ և հակադարձ

պիեզոէֆեկտների d պիեզոմոդուլները միևնույն դիէլեկտրիկի համար միմյանց հավասար են (նկ.7.3):

Որպես պիեզոնյութեր կիրառում են գտել բոլոր սեգնետաէլեկտրիկները:

Բևեռացված սեգնետակերամիկան, որը նախատեսված է պիեզոէֆեկտը օգտագործելու համար, կոչվում է պիեզոկերամիկա: Արդյունաբերական պիեզոկերամիկական նյութերը պինդ լուծույթներ են, որոնք կիրառվում են որոշակի բնագավառներում և ստանում են բաղադրամասերի հարաբերակցության ընտրությամբ և մոդիֆիկացնող հավելումների ավելացումով այդ բաղադրանյութում: Այդ բաղադրանյութերի համար տարբեր բաղադրիչները նշանակվում են բաղադրանյութի մեջ մտնող տարրեր սկզբնատառերը՝ Т- տիտան, ІІ- ցիրկոնիում, Н- նիոբիում, В- բարիում, К- կալիում, Л- լանթան և այլն: ТВ- բարիումի տիտանատ, НВК- կապար բարիումի նիոբատ և այլն:

Օրինակ բարիումի տիտանատի կոերցիտիվ ուժը մեծացնելու համար ավելացնում են հավելումներ՝ 5% CuTiO_3 (ТБК) կամ 8% CuTiO_3 և 12% PbTiO_3 (ТБКС):

Բաղադրանյութերով պիեզոկերամիկայի ստեղծումը մեծ հնարավորություններ է տալիս նրանց կիրառման համար:

Գոյություն ունեն մեծ պիեզոէլեկտրական միաբյուրեղներ, որոնք օգտագործվում են 10 ՄՅգ-ից բարձր, իսկ պիեզոկերամիկականները՝ մինչև 10 ՄՅգ հաճախություններում:

Միաբյուրեղներ են, օրինակ, կվարցը՝ SiO_2 , որը հայտնի է լեռնային բյուրեղապակի անունով, լիթիումի նիտրատը՝ LiNbO_3 և տանտալատը՝ LiTaO_3 , որոնք օգտագործվում են բարձր և գերբարձր հաճախություն զեներատորների և զտիչների սարքերում: Հայտնի են մեծ պիեզոհաղորդիչներ, որոնք օգտագործվում են թաղանթային կերպափոխիչների համար, որոնք էլեկտրամագնիսական տատանումները վերածում են ձայնային:

Դեֆորմացիան պահպանող հատուկ տեսակի էլեկտրամեխանիկական կերպափոխիչներում կիրառվում են մեծ սեգնետաէլաստիկ նյութեր:

7.3. Պիրոլեկտորիկներ

Պիրոլեկտորական էֆեկտը դիլեկտորիկի բևեռանալու երևույթն է՝ այն ամբողջ ծավալով համասեռ տաքացնելիս կամ հովացնելիս: Խիստ արտահայտված պիրոլեկտորական էֆեկտով նյութերը կոչվում են *պիրոլեկտորիկներ*:

Ինչպես հետևում է բնորոշումից, ջերմաստիճանի փոփոխման դեպքում պիրոլեկտորիկը բևեռանում է, այսինքն՝ նրա հակադիր կողմերում առաջանում են տարանուն լիցքեր (նկ. 7.5): Դա հնարավոր է միայն այն նյութերում, որոնք օժտված են ինքնաբերական կամ մնացորդային բևեռացմամբ, որտեղ P բևեռացվածությունը կախված է T ջերմաստիճանից: Էլեկտրահաղորդականության շնորհիվ բևեռացման հետ կապված լիցքերը սովորաբար չեզոքացված են հակադիր նշանի ազատ լիցքերով (նկ.7.5-ում ազատ լիցքերը շրջանազծված են) և բևեռացման առկայությունը չի արտահայտվում: Տաքացման կամ հովացման դեպքում P -ի արժեքը փոփոխվում է (նկ.7.5-ում P -ի նվազումը պայմանականորեն ցույց է տրված մի քանի դիպուկների վերացումով) և ազատ լիցքերի մի մասը կապակցությունից ազատվում է: Այս ազատված լիցքերը պիրոլեկտորական բևեռացման արդյունք է, որը ֆունկցիա է ջերմաստիճանից $P(T)$: Բացի այդ, բոլոր պիրոլեկտորիկները նաև պիեզաէլեկտրիկներ են, ուստի ջերմաստիճանի տատանման դեպքում, չափերի ջերմաստիճանային փոփոխման հաշվին, առաջանում է պիեզոէլեկտրական բևեռացում: Դա այսպես կոչված երկրորդական պիրոլեկտորական էֆեկտն է:

գայթման վրա:

Ինքնաբերական ճառագայթումը տեղի է ունենում, երբ գրգռված ատոմը ավելի բարձր էներգետիկ մակարդակից անցնում է ավելի ցածր՝ հիմնական մակարդակը:

Մագներների և լազերների համար կիրառվում են երկու, երեք և ավելի էներգետիկ մակարդակով միջավայրեր:

Միջավայրերի էներգիաների տարբերությունը ճառագայթվում է քվանտի տեսքով՝

$$f = \frac{\Delta W}{h} \quad (7.7)$$

հաճախությամբ, որտեղ h -ը Պլանկի հաստատունն է:

Գրգռված ատոմի ճառագայթումը տեղի է ունենում ֆոտոնի ազդեցության տակ, որն ընկնում է ատոմի վրա արտաքինից, օրինակ հարևան ատոմների ինքնաբերական ճառագայթման արդյունքում մեկ ֆոտոնը դառնում է նույն հաճախության երկու ֆոտոն: Եվ եթե մարմինը պարունակում է շատ թվով գրգռված ատոմներ, ապա երկու ֆոտոնները ստիպում են այլ ատոմներին ճառագայթելու, և մարմինը ունենում է գումարային կոհերենտ ճառագայթում:

$f = \Delta W/h$ հաճախությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքը ստիպում է այլ մակարդակի մասնիկներին անցնել հիմնական մակարդակ, և նրա էներգիան աճում է խթանված ճառագայթման քվանտների հաշվին, որի վրա էլ հիմնված քվանտային գեներատորների և ուժեղարարների աշխատանքը: Քվանտային էլեկտրոնիկայի սարքերում օգտագործվում են ակտիվ նյութեր՝ պինդ, հեղուկ և գազային:

Մագներներում լայն կիրառում ունեն քրոմով կամ երկաթով լեգիրացված α -կորունդի բյուրեղը Al_2O_3 , քրոմով և երկաթով ակտիվացրած ռուտիլի (TiO_3) բյուրեղներ և այլն: Լազերների աշխատանքի համար եռա կամ քառամակարդակ քվանտային համակարգեր ստեղծում են նյութերի լեգիրացումով:

Ըստ լազերներում օգտագործվող ակտիվ դիէլեկտրիկների

բնույթի՝ լազերները լինում են կարծրամարմին, կիսահաղորդչային, հեղուկ և գազային:

Լյումինեսցենստումը (սառը լուսարձակումը) մարմնի ջերմային ճառագայթումից դուրս նրա ոչ կոհերենտ էլեկտրամագնիսական ճառագայթումն է:

Այս երևույթն առաջանում է նյութի ատոմները արտաքին աղբյուրով նախապես գրգռելու միջոցով, դրանց հետագա կայուն վիճակի անցումով, որն ուղեկցվում է լույսի քվանտների արձակումով: Կախված գրգռման աղբյուրի բնույթից տարբերում են՝ ֆոտոլյումինեսցենստում լույսով, ռադիոլյումինեսցենստում – ռադիոակտիվ ճառագայթումով, կատոդալյումինեսցենստում–էլեկտրոնային փնջով, էլեկտրալյումինեսցենստում – էլեկտրական դաշտով, քիմիալյումինեսցենստում – քիմիական ռեակցիաներով և այլն:

Լյումինեսցենստող նյութերը կոչվում են լյումինաֆորներ: Այս նյութերը մեծ կիրառություն ունեն էլեկտրոնաճառագայթային խողովակներում, գույների ստացման համար, ցերեկային լույսի լամպերում, լուսարձակիչ ներկերում և այլն:

Էլեկտրաօպտիկական էֆեկտ կոչվում է օպտիկական դիսպազոնում էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ դիէլեկտրիկական թափանցելիության փոփոխությունը, որը կիրառվում է լույսի մոդուլացման և լուսային ճառագայթի ղեկավարման համար, իսկ այս երևույթով օժտված նյութերը կոչվում են էլեկտրաօպտիկական:

Էլեկտրաօպտիկական էֆեկտով օժտած նյութերը հիմնականում օգտագործվում են լազերային ճառագայթման մոդուլատորներում, լինում են բյուրեղային կառուցվածքի գերբարձր տիրույթի համար: Օգտագործվում են CaTe , CuCl և ZnS բնույթի բյուրեղներ ինֆրակարմիր տիրույթում, իսկ ուլտրամանուշակագույն տիրույթում՝ կվարցի բյուրեղը:

Էլեկտրաօպտիկայի համար առավել հետաքրքրություն են ներկայացնում թափանցիկ սեզնետակերամիկական նյութերը, որոնք ստացվում են հատուկ մշակման միջոցով՝ օրինակ տաք մամլումով: Մեծ կիրառություն ունի թափանցիկ կապարը, ցիրկոն

տիտանատ համակարգը լանթանի հավելումով՝ $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3 + y\text{La}_2\text{O}_3$ սեգմենտալեռամիկան:

x և y փոփոխման միջոցով կարելի է ստանալ հետևյալ էլեկտրաօպտիկական էֆեկտներ՝ գծային, քառակուսային, ցածր կոերցիտիվ ուժով և հիստերեզիսի օղակով (կիրառվում են էլեկտրաօպտիկական հաճախականային սահմանում):

Գոյություն ունի նաև առանձնահատուկ էլեկտրաօպտիկական էֆեկտ՝ էլեկտրականությամբ դեկավարվող լույսի ցրում: Եթե կերամիկան բևեռացված է լույսի տարածմանը զուգահեռ ուղղությամբ, ապա լույսն անցնում է նրա միջով առանց ցրվելու, իսկ ուղղահայաց ուղղությամբ բևեռացման կամ ապաբևեռացման դեպքում լույսը ցրվում է դոմենային կառուցվածքում և չի անցնում: Հետևաբար կերամիկայի այն մասերը, որոնք բևեռացված են ուղղահայաց ուղղությամբ, անդրադարձված լույսի մեջ երևում են բաց գույնով: Կարելի է նաև ինֆորմացիայի գրանցումը լույսի օգնությամբ, որի համար կերամիկայի թիթեղիկը պատում են ֆոտոկիսահաղորդիչ բարակ շերտով:

Էլեկտրետներն են այն պինդ դիէլեկտրիկները, որոնք իրենց նախօրոք էլեկտրականացման կամ բևեռացման հաշվին ստեղծում են էլեկտրական դաշտ: Սրանք հաստատուն մազնիսների էլեկտրական օրինակներն են: Ըստ լիցքերի ձևավորման եղանակի, լինում են թերմոէլեկտրետներ, ֆոտոէլեկտրետներ, ռադիոէլեկտրետներ, էլեկտրաէլեկտրետներ և տրիբոէլեկտրետներ (էլեկտրականացում շփումով):

Ե Ր Կ Ր Ո Ր Դ Մ Ա Ս

ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐ

8. Ընդհանուր տեղեկություններ մագնիսացման տեսության մասին

8.1. Ռեզերֆորդի և Բորի ատոմի մոդելները

Նյութերի մագնիսական հատկությունների առաջացման հիմնական պատճառը լիցքերի օղակաձև պտույտն է ատոմում: Դրանք են՝ էլեկտրոնի պտույտը ատոմի միջուկի շուրջը և էլեկտրոնի պտույտը սեփական առանցքի շուրջը: Այդ պտույտները առաջացնում են մեխանիկական շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտ՝ P_ℓ , նրան համապատասխան ուղեծրային մագնիսական մոմենտ՝ μ_ℓ , և սպինային շարժման քանակի մեխանիկական մոմենտ՝ P_s , նրան համապատասխան սպինային մագնիսական մոմենտ՝ μ_s : Այսպիսով էլեկտրոնի շարժումը ատոմում առաջացնում է ուղեծրային՝ μ_ℓ , և սպինային՝ μ_s , մագնիսական մոմենտներ:

Ռեզերֆորդի առաջարկած մոդել.

Ռեզերֆորդի կողմից առաջարկած ատոմի մոլորակային մոդելի հիման վրա, որտեղ էլեկտրոնները կատարում են օղակաձև պտույտ ատոմի միջուկի շուրջը, ուղեծրային մագնիսական մոմենտ՝ μ_ℓ -ը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$\mu_\ell = iS = \frac{e}{T} S = \frac{e}{T} \pi R^2 = \frac{eR^2 \omega m}{2m} = \frac{eP_\ell}{2m} \quad (8.1)$$

որտեղ i – ն էլեկտրոնների օղակաձև հոսանքն է,

S –ը ուղեծրի մակերեսն է,

T – ն՝ ուղեծրում պտտման պարբերությունը,

e -ն և m -ը համապատասխանաբար էլեկտրոնի լիցքը և զանգվածն են,

R-ը ուղեծրի շառավիղն է,
 ω -ն անկյունային հաճախությունն է,
 P_ℓ -ը մեխանիկական շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտն է:

Բորի առաջարկած մոդել.

Քանի որ Ռեզերֆորդի կողմից առաջարկած մոդելը չէր կարող բացատրել փորձնական եղանակով ստացած տվյալները, քանի որ ըստ դասական ֆիզիկայի, էլեկտրոնները, պտտվելով ատոմի միջուկի շուրջը, ճառագայթում են էներգիա էլեկտրամագնիսական ալիքների տեսքով, որոնք ըստ այդ տեսության պարուրածն մոտենալով ատոմի միջուկին մարում են նրա վրա: Սակայն ատոմները կայուն համակարգեր են, ելնելով այդ հանգամանքից Ն.Բորը իր առաջարկած պոստուլատների հիման վրա ներկայացրեց ատոմի կառուցվածքի մոր մոդել, որը կոչվում է կիսաքվանտային, որտեղ էլեկտրոնները, պտտվելով ատոմի միջուկի շուրջը, գրավում են այնպիսի ուղեծրեր, որոնց համար մեխանիկական շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտը՝ P_ℓ , ու անգամ մեծ է $h/2\pi$ մեծությունից՝

$$P_\ell = mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (8.2)$$

որտեղ n – ը գլխավոր քվանտային թիվն է, $n=1,2,3,\dots$,

h – ը Պլանկի հաստատունն է, $h = 6.65 \cdot 10^{-34}$ Ջվրկ,

v – ն գծային արագությունն է:

Տեղադրելով 8.2-ը 8.1 արտահայտության մեջ՝ երևում է Բորի առաջարկած ատոմի մոդելում քվանտացվում է ոչ միայն մեխանիկական շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտը՝ P_ℓ -ը նաև ուղեծրային մագնիսական մոմենտ՝ μ_ℓ -ը.

$$\mu_\ell = n \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{e}{2m} = n\mu_B \quad (8.3)$$

որտեղ μ_F -ն Բորի մագնետոնն է, $\mu_F = \frac{h}{2\pi} \cdot \frac{e}{2m} = 9.27 \cdot 10^{-24}$, Ա.մ²

$$\frac{\mu_\ell}{P_\ell} = \frac{e}{2m} \quad (8.4)$$

(8.4) հարաբերությունը կոչվում է ուղեծրային մոմենտների գիրոմագնիսական հարաբերություն:

Պետք է նշել, որ Բորի ատոմի մոդելն ուներ իր թերությունները և կոմպրոմիսային լուծում էր, դասական ֆիզիկայի և քվանտային մեխանիկայի տեսությունների միջև: Հաջորդաբար կիրառելով քվանտային մեխանիկայի տեսությունը՝ պարզվեց, որ էլեկտրոնի շարժումը ատոմի միջուկի կուլոնային դաշտում բնութագրվում է ոչ միայն մեկ քվանտային թվով, այլև չորս քվանտային թվերով՝ n, ℓ, m_ℓ, m_s ,

որտեղ n -ը գլխավոր քվանտային թիվն է, որը բնութագրում է էլեկտրոնի էներգիան տվյալ ուղեծրի վրա: Այն ընդունում է 1,2,3... արժեքներ:

ℓ -ը շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտն է, որը բնութագրում է ուղեծրային մագնիսական մոմենտը՝ μ_ℓ -ը և ընդունում է հետևյալ արժեքները՝ 0,1,2,3.... ($n-1$):

m_ℓ -ը մագնիսական քվանտային թիվն է, որը ներկայացնում է շարժման քանակի ուղեծրային մոմենտի՝ ℓ -ի պրոեկցիան դաշտի ուղղությամբ, որը բնութագրում է ուղեծրի տարածական կողմնորոշումը, և ցույց է տալիս, որ ատոմի մագնիսական մոմենտի փոխազդեցության ժամանակ արտաքին դաշտի հետ էլեկտրոնի պտույտը տեղի է ունենում տարբեր հարթություններում: m_ℓ -ը ընդունում են հետևյալ արժեքները՝ $\ell, (\ell - 1) \dots 1, 0, -1, \dots, -\ell$:

m_s -ը սպինային քվանտային թիվն է, որը բնութագրում է սպինային մագնիսական մոմենտ μ_s -ը և ասում է նրա մասին, որ էլեկտրոնը բացի լիցքից և զանգվածից, ունի սեփական շարժման

քանակի մեխանիկական մոմենտ և նրան համապատասխան մագնիսական մոմենտ: Էլեկտրոնի այդ հատկությունը կոչվում է *սպին* և բացատրվում է էլեկտրոնի պտույտով սեփական առանցքի շուրջ:

$$m_s = \pm \frac{1}{2} \quad (8.5)$$

$$\frac{\mu_s}{p_s} = \frac{e}{m} \quad (8.6)$$

(8.6) հարաբերությունը կոչվում է սպինային մոմենտների գիրոմագնիսական հարաբերություն:

Համեմատելով (8.4) և (8.6) արտահայտությունները՝ երևում է, որ սպինային մոմենտների գիրոմագնիսական հարաբերությունը երկու անգամ մեծ է ուղեծրային մոմենտների գիրոմագնիսական հարաբերությունից: Դա վկայում է, որ նյութերում մագնիսական հատկությունները հիմնականում պայմանավորված են սպինային մագնիսական մոմենտներով: Էլեկտրոնները որոնք ունեն նույն գլխավոր քվանտային n թիվը, կազմում են ատոմի թաղանթ: Եթե $n=4$, ապա ատոմը բաղկացած է չորս թաղանթից՝ K, L, M, N: Էլեկտրոնները որոնք ունեն նույն քվանտային թիվը՝ ℓ , կազմում են ենթաթաղանթներ:

ℓ	ենթաթաղանթ
0	S
1	p
2	d
3	f
4	g

8.2. Նյութերի մագնիսական վիճակների տեսակները

Նյութերի մագնիսական հատկությունները պայմանավորված են սպինային (երբ էլեկտրոնները պտտվում են իրենց առանցքի շուրջը) և ուղեծրային (երբ էլեկտրոնները պտտվում են ատոմի միջուկի շուրջը) մագնիսական մոմենտների առաջացումով, որոնց երկրաչափական գումարը տալիս է գումարային մոմենտ: Այն կոչվում է մագնիսացում և միավոր ծավալում նշանակում են J տառով: Եթե արտաքին մագնիսական դաշտը բացակայում է, և նյութը նախապես մագնիսացված չէ, ապա $J=0$: Եթե նյութի վրա ազդում է մագնիսական դաշտ որոշակի միջին H լարվածությամբ, ապա

$$J=K_d H \quad (8.7)$$

որտեղ K_d -ը մագնիսական ընկալունակության մեծությունն է,

Կախված K_d -ի արժեքից և նրա՝ H -ից և ջերմաստիճանից՝ T -ից կախվածության բնույթից, տարբերվում են նյութերի մագնիսական վիճակների հետևյալ տեսակները.

1. Դիամագնիսներ (դիամագնիսականություն):
2. Պարամագնիսներ (պարամագնիսականություն):
3. Ֆերոմագնիսներ (ֆերոմագնիսականություն):
4. Հակաֆերոմագնիսներ (հակաֆերոմագնիսականություն):
5. Ֆերիմագնիսներ (ֆերիմագնիսականություն):

Նյութերը, որոնցում հանդես են գալիս այս երևույթները, համապատասխանաբար կոչվում են դիամագնիսներ, պարամագնիսներ, ֆերոմագնիսներ, ֆերիմագնիսներ, հակաֆերոմագնիսներ:

1. Դիամագնիսական էֆեկտը արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության արդյունքն է մոլեկուլյար հոսանքների վրա և արտահայտվում է արտաքին մագնիսական դաշտին հակառակ ուղղությամբ մագնիսական մոմենտի առաջացումով: Այսինքն՝ էլեկտրամագնիսական դաշտի ազդեցության տակ, էլեկտրամագնիսականության ինդուկցիայի շնորհիվ փակ օղակային համակարգում (էլեկտրոնների պտտույտը ատոմի միջուկի շուրջը) առաջացում է էլեկտրաշարժ ուժ (էլշու) և լրացուցիչ հոսանք: Լրացուցիչ

հոսանքը իր հերթին առաջացնում է մոմենտ, որը Լենցի օրենքի համաձայն ուղղված է արտաքին մագնիսական դաշտին հակառակ, այդ երևույթը կոչվում է դիամագնիսական էֆեկտ, որը դիտվում է բոլոր նյութերում՝ առանց բացառության: Հետևաբար դիամագնիսների մագնիսական ընկալունակությունը՝ K_d -ը, բացասական է և կախված չէ արտաքին մագնիսական դաշտի լարվածությունից և ջերմաստիճանից:

K_d -ի մեծությունը շատ փոքր է և հավասար է՝ $K_d \approx -10^{-3} \dots -10^{-5}$: «Մաքուր տեսքով» դիամագնիսական էֆեկտը առաջանում է այն նյութերում (դիամագնիսներում), որոնցում տեղի է ունենում սպինային և ուղեծրային մագնիսական մոմենտների լրիվ կոմպեսացումը:

Արտաքինապես դիամագնիսական նյութերը տարբերվում են նրանով, որ դրանք վանվում են ոչ համասեռ մագնիսական դաշտի կողմից:

Դիամագնիսներից են իներտ գազերը, ջրածինը, ազոտը, տարբեր հեղուկներ (ջուրը, նավթը և այլն) և որոշ մետաղներ (պղիձը, ոսկին, արծաթը, ցինկը և այլն):

2. Պարամագնիսական էֆեկտը դիտվում է չկոմպեսացված սպինային մագնիսական մոմենտներով և մագնիսական ատոմային կարգը բացակայող նյութերում, որն արտահայտվում է արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում մագնիսական մոմենտների վեկտորները ջերմային էներգիայի ազդեցության շնորհիվ դասավորվում են հավասարահավանական: Արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ առաջանում է մագնիսական մոմենտների կողմնորոշումը դաշտի ուղղությամբ (կողմնորոշվում են միայն նրանում առկա սպինային մոմենտների 0.0001%-ը), այսինքն պարամագնիսների մոտ մագնիսական ընկալունակությունը դրական է՝ $K_d = 10^{-2} \dots 10^{-5}$:

Արտաքինապես պարամագնիսական նյութերը տարբերվում են նրանով, որ ձգվում են ոչ համասեռ մագնիսական դաշտի կողմից:

3. Ֆերոմագնիսական էֆեկտի էությունն այն է, որ արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության ժամանակ, մինչև Կյուրիի ջերմաստիճանի կետը (որը ամեն մի ֆերոմագնետիկի համար հատուկ է), գոյություն ունի ֆերոմագնիսական ատոմային կարգ, որին համապատասխանում է սպինային մոմենտների զուգահեռ դասավորում ($\uparrow\uparrow$): Հետևաբար արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության ժամանակ ֆերոմագնիսները նույնպես գտնվում են տեխնիկական հագեցված վիճակում (ինքնուրույն կամ սպոնտան մագնիսացման վիճակ): Ֆերոմագնիսների մագնիսական ընկալունակությունը և մագնիսական թափանցելիությունը շատ մեծ դրական արժեք ունեն և զգալիորեն կախված են մագնիսական դաշտի լարվածությունից և ջերմաստիճանից:

4. Հակաֆերոմագնիսական էֆեկտը բնութագրվում է նրանով, որ արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում հարևան ատոմների փոխազդեցության շնորհիվ մագնիսական մոմենտները կողմնորոշվում են հակազուգահեռ ($\uparrow\downarrow$), այնպես որ արդյունաբար մագնիսական մոմենտը հավասար է զրոյի: Արտաքին մագնիսական դաշտի ազդեցության դեպքում մագնիսական մոմենտները ձգտում են դասավորվել դաշտի ուղղությամբ, և հակաֆերոմագնիսները ձեռք են բերում փոքր դրական մագնիսական ընկալունակություն, որի մեծությունը կախված է ջերմաստիճանից:

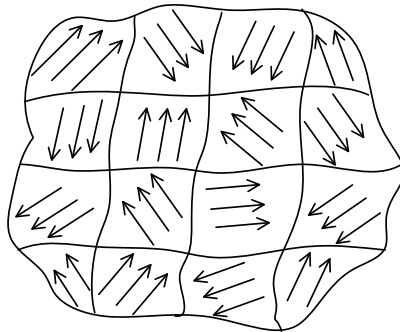
5. Ֆերիմագնիսական էֆեկտը չկոմպեսացված հակաֆերոմագնիս է: Ֆերիմագնիսականության բնույթը առաջին անգամ մանրակրկիտ ուսումնասիրվել է ֆերիտների՝ ֆերիմագնիսների առաջին խմբի վրա, որոնք ստացել են լայն գործնական կիրառություն: Ֆերիտը երկաթի օքսիդի (Fe_2O_3) միացություն է մետաղների օքսիդների հետ, օրինակ, $\text{MeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, որտեղ Me^{++} -ը երկվալենտ մետաղ է: Ֆերիմագնիսները օժտված են ատոմային հակաֆերոմագնիսական կարգով, որի ժամանակ էներգետիկապես արդյունավետ է արտաքին դաշտի բացակայության դեպքում հարևան ատոմների կամ իոնների սպինների հակազուգահեռ դասավորությունը ($\uparrow\downarrow\uparrow\downarrow$): Այդ պայմաններում ֆերիմագնիսների

համար գումարային մագնիսական մոմենտը հավասար չէ զրոյի, իսկ հակաֆերոմագնիսների համար զրո է: Ֆերիմագնիսների, ինչպես և ֆերոմագնիսների համար հատկանշական է դոմենային կառուցվածքի առկայությունը:

Դիա-պարա-հակաֆերոմագնիսական նյութերը կարելի է միավորել թույլ մագնիսական նյութերի խմբում, իսկ ֆերո- և ֆերիմագնիսական նյութերը՝ ուժեղ մագնիսական խմբում: Տեխնիկական կիրառությունների տեսանկյունից ամենամեծ հետաքրքրություն ներկայացնում են ուժեղ մագնիսական նյութերը, այդ պատճառով դիտարկում ենք այդ նյութերի բնույթը:

8.3. Ընդհանուր տեղեկություն ֆերոմագնիսականության մասին

Տեխնիկայում լայն կիրառում են գտել ֆերոմագնիսները: Ֆերոմագնիսների մոտ մագնիսական թափանցելիությունը՝ μ -ն, 1-ից շատ մեծ է և կախված է մագնիսական դաշտի լարվածությունից (H) և ջերմաստիճանից (T): Ֆերոմագնիսական երևույթը արտաքին մագնիսական դաշտի բացակայության դեպքում դիտվում է որոշ բյուրեղային կառուցվածքով նյութերում մինչև Կյուրիի ջերմաստիճանի կետը (θ_K), որոնց մոտ առաջանում են մակրոսկոպիկ շրջաններ (դոմեններ), որտեղ սպինային մոմենտները դասավորվում են իրար զուգահեռ (նկ.8.1):



Նկ. 8.1. Ֆերոմագնիսական երևույթի դոմենային կառուցվածք

Այսպիսով ֆերոմագնիսների ամբողջ ծավալը բաժանված է մեծ թվով տիրույթների՝ դոմենների, և առանձին դոմենների մագնիսական մոմենտների ուղղությունները նույնն են և ուղղված են միմյանց զուգահեռ: Այս նյութերում արտաքին դաշտի բացակայության ժամանակ առաջանում է ինքնական մագնիսացում: Գումարային մագնիսական մոմենտը արտաքին դաշտի բացակայության դեպքում հավասար է զրոյի՝ $\Sigma M=0$: Դաշտ կիրառելիս բոլոր դոմենների սպինային մոմենտները ուղղվում են դաշտի ուղղությամբ՝ ստեղծելով մագնիսացման մեծ էֆեկտ: Դոմենային կառուցվածքը ֆերոմագնիսական նյութերում գոյություն ունի մինչև որոշակի θ_c ջերմաստիճան, որից բարձր ջերմաստիճանի դեպքում դոմենային կառուցվածքը քայքայվում է, և նյութը դառնում է պարամագնիս: Ֆերոմագնիսական նյութերից են պատկանում երկաթը, կոբալտը, նիկելը: Որոնց համար Կյուրիի ջերմաստիճանային կետը՝

$$\theta_c (\text{Fe})=769^{\circ}\text{C},$$

$$\theta_c (\text{Co})=1128^{\circ}\text{C},$$

$$\theta_c (\text{Ni})=358^{\circ}\text{C}:$$

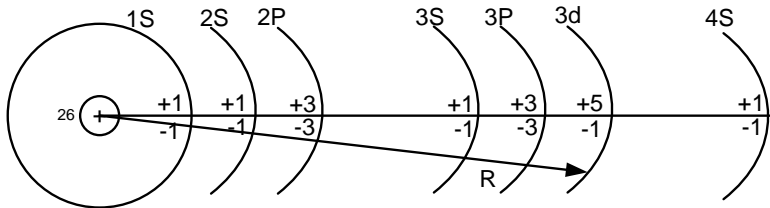
Քանի որ ինքնական (սպոնտան) մագնիսացումը վերաբերում է ներքին ատոմային երևույթներին, ապա նրա առաջացման բնույթը բացատրվում է քվանտային մեխանիկայի տեսությամբ, որից հետևում է, որ ինքնական (սպոնտան) մագնիսացումը առաջանում է այն նյութերում, որոնք ենթարկվում են երկու պայմանի՝

1. Ատոմները պետք է ունենան լրիվ չկառուցված ուղեծիրներ՝ մեծ մագնիսական թվով՝ ℓ (d կամ f) :
2. Հարևան ատոմների միջև պետք է տեղի ունենա էլեկտրոնների փոխադարձ փոխանակում:

Առաջին պայմանին բավարարում են պարբերական համակարգի բոլոր անցողիկ էլեմենտները, իսկ երկրորդ պայմանին՝ այդ էլեմենտներից՝ երկաթը(Fe), կոբալտը (Co), նիկելը (Ni):

Դիտարկենք ֆերոմագնիսականության երևույթը երկաթի ատոմների օրինակով.

երկաթի ատոմն ունի 26 էլեկտրոն, որոնք բաշխված են չորս ուղեծրերում ($n=4$) նկ. 8.2:



Նկ.8.2. Էլեկտրոնների բաշխումը ուղեծրերում՝ երկաթի ատոմի օրինակով

Ինչպես երևում է նկ.8.2-ից 1S, 2S, 2P, 3S, 3P և 4S ենթա-ուղեծրերում գոյություն ունեն հավասար քանակով էլեկտրոններ, հակաուղղված սպիններով, այսինքն՝ տեղի է ունենում սպինային մոմենտների լրիվ ինքնակոմպենսացում, իսկ 3d ենթաուղեծրում, որն ունի 6 էլեկտրոն, որից 4 կոմպենսացված չեն ենթաուղեծիրը լրիվ կառուցված չէ և առաջացնում է 4 սպինային մոմենտ: Այսպիսով, երկաթի ատոմում կատարվում է ինքնուրույն մագնիսացման առաջին պայմանը և հարևան ատոմների միջև տեղի ունեցող էլեկտրոնների փոխազդեցության հետևանքով կատարվում է երկրորդ պայմանը:

Պետք է նշել, որ էներգետիկ տեսանկյունից ավելի ձեռնատու է նրանց սպինային մոմենտների զուգահեռ դասավորումը ($\uparrow\uparrow$): Էլեկտրոնների փոխադարձ փոխանակմանը համապատասխանում է որոշակի փոխանակման էներգիա ($W_{\text{փոխ}}$):

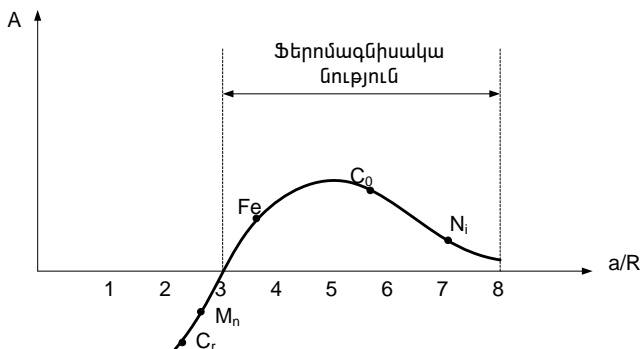
$$W_{\text{փոխ}} = -A \mathbf{m}_{S_i} \cdot \mathbf{m}_{S_k} \quad (8.6)$$

որտեղ m_{S_i}, m_{S_k} -ն փոխանակվող ատոմների մեխանիկական շարժման քանակի սպինային մոմենտներն են, A -ն փոխանակման էներգիայի ինտեգրալն է:

$A > 0$ համապատասխանում է փոխանակվող ատոմների սպինային մոմենտների զուգահեռ դասավորմանը, իսկ $A < 0$ համապատասխանում է հակազուգահեռ դասավորմանը: $A > 0$ վիճակը

անհրաժեշտ պայման է ինքնուրույն (սպոնտան) մագնիսացման առաջացման: Երկաթի, կոբալտի, նիկելի համար $A \gg 0$ –ից:

Փոխանակման էներգիայի համեմատման ինտեգրալը՝ A , կախված է a/R հարաբերությունից հետևյալ տեսքով (նկ.8.3)



Նկ. 8.3. Փոխանակման էներգիայի A ինտեգրալի կախվածությունը a/R հարաբերությունից:

a -ն միջատոմային տարածությունն է, R -ը՝ չկառուցված ենթաուղեծրի շառավիղը

Ֆերոմագնիսների մագնիսացման երևույթը բաղկացած է երկու հիմնական պրոցեսից.

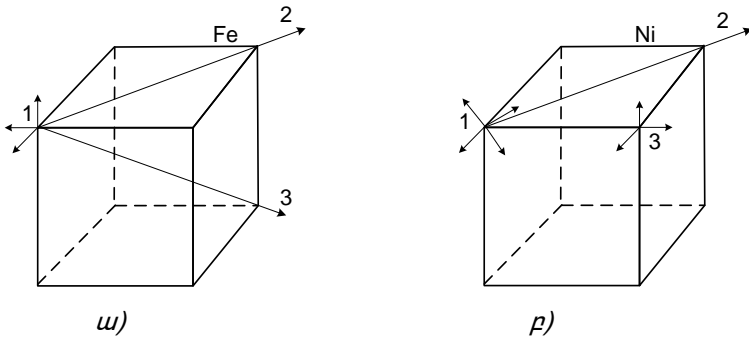
1. Սպինային մոմենտների կողմնորոշումը արտաքին մագնիսական դաշտի ուղղությամբ (կողմնորոշման պրոցես):

2. Դոմենների չափերի փոփոխումը դոմենային սահմանների հաշվին և բացատրվում է այն դոմենների մեծացումով, որոնց սպինային մոմենտները արտաքին դաշտի ուղղությամբ կազմում են նվազագույն անկյուն (սուր անկյուն), և դոմենների փոքրացումով, որոնց սպինային մոմենտները արտաքին դաշտի ուղղությամբ կազմում են առավելագույն անկյուն (բութ անկյուն) (շեղման պրոցես):

Ֆերոմագնիսների մոնոբյուրեղները բնութագրվում են մագնիսական անիզոտրոպիայով, որի իմաստը մոնոբյուրեղի տարբեր մագնիսացումներն են մագնիսական դաշտի տարբեր առանցք-

Ներքին ուղղությամբ:

Դիտարկենք երկաթի և նիկելի մոնոքրյուրեդները (նկ.8.4)



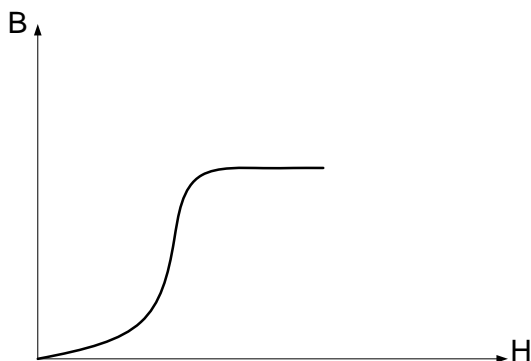
Նկ. 8.4. Երկաթի (ա) և նիկելի (բ) մոնոքրյուրեդները.

1-հեշտ մագնիսացում; 2-միջին մագնիսացում; 3- դժվար մագնիսացում

Եթե անիզատրոպիայի երևույթն արտահայտված է բավականին կտրուկ ձևով, ուրեմն, այդպիսի ֆերոմագնիսը օժտված է մագնիսական տեքստուրայով:

8.4. Մագնիսացման կորերը

Մագնիսական դաշտում մագնիսական նյութերի վարքը բնորոշող հիմնական բնութագիրն է մագնիսացման կորը, որը որոշում է ինդուկցիայի կախումն է մագնիսական դաշտի լարվածությունից՝ $B=f(H)$ (հիմնական մագնիսացման կոր նկ.8.5):



Նկ.8.5. Հիմնական մագնիսացման կոր

Հիմնական մագնիսացման կորի ցանկացած կետի համար կարելի է գտնել մագնիսական թափանցելիությունը՝ μ -ն, որպես ինդուկցիայի՝ B -ի, հարաբերությունը մագնիսական դաշտի լարվածությանը՝ H -ից: Տարբերում են բացարձակ մագնիսական թափանցելիություն՝ μ_p

$$\mu_p = \frac{B}{H} \quad (8.7)$$

և հարաբերական մագնիսական թափանցելիություն՝ μ

$$\mu = \frac{B}{\mu_0 H} \quad (8.8)$$

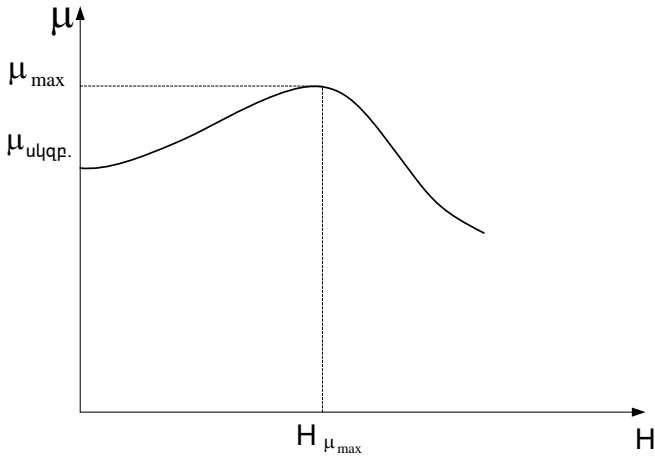
որտեղ μ_0 -ն վակուումի մագնիսական թափանցելիությունն է՝

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Հն/մ}$$

Մագնիսական թափանցելիության (μ) կախվածությունը մագնիսական դաշտի լարվածությունից (H) պատկերված է նկար 8.6-ում,

Տեղադրելով (8.7) և (8.8) բանաձևերում B -ի և H -ի ստույգ արժեքները՝ ստանում են մագնիսական թափանցելիության տարբեր տեսակները, որոնք լայն կիրառում են գտել տեխնիկայում:

Շատ հաճախ օգտագործվում են՝ հարաբերական՝ μ , սկզբնական՝ $\mu_{\text{սկզբ}}$, առավելագույն՝ μ_{max} , դիֆերենցիալ՝ $\mu_{\text{դիֆ}}$, իմպուլսային՝ $\mu_{\text{իմպ}}$ և դինամիկ՝ $\mu_{\text{դին}}$ մագնիսական թափանցելիություններ:

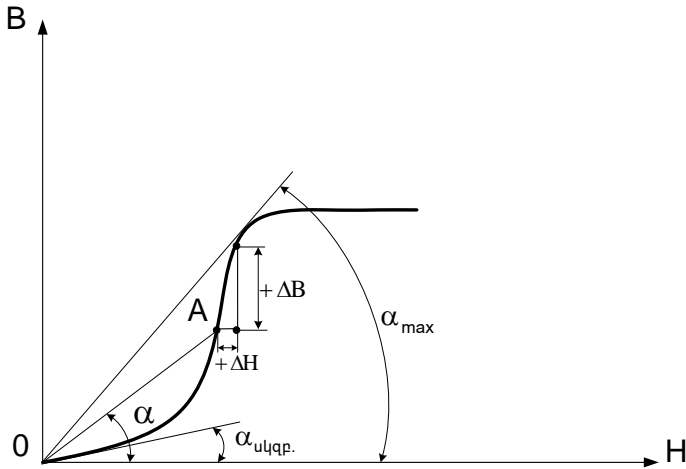


Նկ. 8.6. Մագնիսական թափանցելիության (μ) կախվածությունը մագնիսական դաշտի լարվածությունից (H)

Դիտարկենք հիմնական մագնիսացման կորը (նկ.8.7):

Հիմնական մագնիսացման կորի A կետի համար (նկ.8.7) մագնիսական թափանցելիությունը (μ) որոշվում է OA -ի α անկյան tg -ի մեծությամբ, այսինքն՝

$$\mu = \frac{B_A}{\mu_0 H_A} = \text{tg} \alpha \quad (8.9)$$



Նկ.8.7. Հիմնական մագնիսացման կորը տարբեր տեսակի մագնիսական թափանցելիությունների բացատրության համար

Սկզբնական և առավելագույն մագնիսական թափանցելիությունները հարաբերական մագնիսական թափանցելիության մասնակի դեպքերն են՝

$$\mu_{\text{սկզբ}} = \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{\mu_0 H} = \operatorname{tg} \alpha_{\text{սկզբ}} \quad (8.10)$$

$$\mu_{\text{max}} = \frac{B_{\mu_{\text{max}}}}{\mu_0 H_{\mu_{\text{max}}}} = \operatorname{tg} \alpha_{\text{max}} \quad (8.11)$$

Դիֆերենցիալ մագնիսական թափանցելիությունը որոշվում է մագնիսական ինդուկցիայի ածանցյալով ըստ մագնիսական դաշտի լարվածության հիմնական մագնիսացման կորի ցանկացած կետի համար՝

$$\mu_{\text{դիֆ}} = \frac{dB}{\mu_0 dH} \quad (8.11)$$

Իմպուլսային մագնիսական թափանցելիությունը՝

$$\mu_{\text{հմայ}} = \frac{\Delta B_{\text{հմայ}}}{\mu_0 \Delta H_{\text{հմայ}}} \quad (8.12)$$

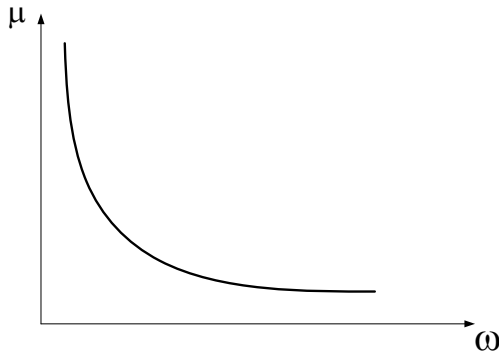
որտեղ $\Delta B_{\text{հմայ}}$ -ը մագնիսական ինդուկցիայի առավելագույն փոփոխությունն է, մագնիսական իմպուլսի՝ $\Delta H_{\text{հմայ}}$, դաշտի մագնիսացման դեպքում:

Դինամիկ մագնիսական թափանցելիությունը՝

$$\mu_{\sim} = \frac{B_m}{\mu_0 H_m} \quad (8.13)$$

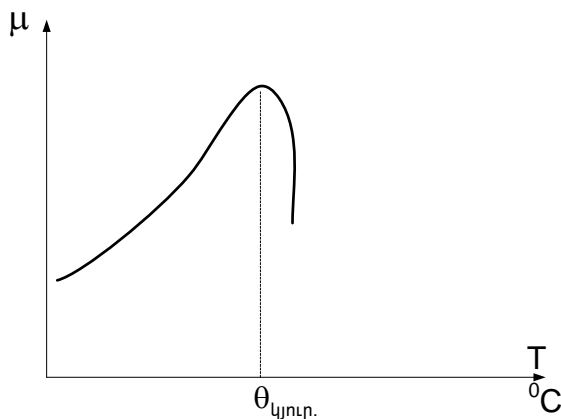
որտեղ B_m և H_m համապատասխանաբար ինդուկցիայի և մագնիսական դաշտի ամպլիտուդային արժեքներն են:

Փոփոխական մագնիսական դաշտի հաճախությունը մեծացնելիս մագնիսական թափանցելիությունը փոքրանում է, որը բացատրվում է մագնիսական երևույթների իներցիայով (նկ.8.8):



Նկ.8.8. Մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը հաճախությունից

Մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը ջերմաստիճանից ($\mu=f(T)$) ունի հետևյալ տեսքը (նկ.8.9)՝



Նկ.8.9. Մագնիսական թափանցելիության կախվածությունը ջերմաստիճանից

Ինչպես երևում է (նկ.8.9) $\Theta_{\text{կյուր}}$ -ի ջերմաստիճանից բարձր արժեքի դեպքում մագնիսական թափանցելիությունը կտրուկ նվազում է ($\mu \approx 0$), որը բացատրվում է ֆերոմագնիսների կյուրիի ջերմաստիճանային կետն անցնելուց նրանց ատոմային ֆերոմագնիսային կապի խզումով, դոմենային կառուցվածքի քայքայումով և պարամագնիսական վիճակի անցնելուց:

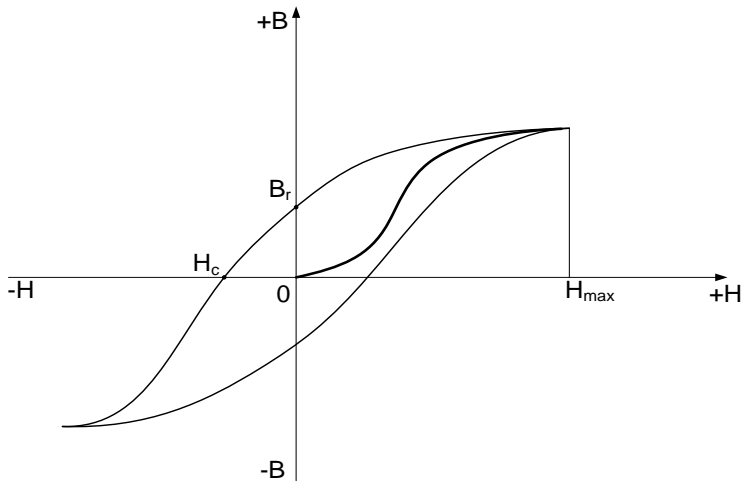
Մագնիսական թափանցելիությունը բնութագրվում է մագնիսական թափանցելության ջերմային α_μ գործակցով:

$$\alpha_\mu = T k \mu = \frac{1}{\mu} \cdot \frac{d\mu}{dt} \quad \text{աստ}^{-1} \quad (8.14)$$

8.5. Հիստերեզիսի օղակ

Ֆերոմագնիսների ցիկլիկ վերամագնիսացման ընթացքում մագնիսացման կորը հիստերեզիսի օղակ է (նկ.8.10), որի երկրաչափական գազաթների կետերի տեղը հիմնական մագնիսացման կորեր են: Փոփոխական մագնիսական դաշտի կիրառման դեպքում հիստերեզիսի օղակը անվանում են դինամիկ հիստերեզիսային իսկ նրան համապատասխան հիմնական մագնիսացման կորը՝

դիմամիկ: Հիստերեզիսի օղակը, որը ստանում են հագեցման պայմանի դեպքում, կոչվում է սահմանային օղակ: Հիստերեզիսի օղակի հիմնական բնութագրերն են՝ մնացորդային ինդուկցիան (B_r), կոերցիտիվ ուժը (H_c) և օղակի մակերեսը (S), որը բնութագրում է հիգտերոզիսային կորուստները (P_h) վերամագնիսացման մեկ ցիկլի ընթացքում:



Նկ.8.10. Հիստերեզիսի օղակ

Մնացորդային ինդուկցիան B_r կոչվում է այն ինդուկցիան, որը մնում է նախապես մագնիսացված նմուշում արտաքին դաշտը վերացնելիս:

Կոերցիտիվ H_c ուժը՝ ապամագնիսացման այն դաշտի լարվածությունն է, որն անհրաժեշտ է կիրառել նախապես մագնիսացված նմուշին, որպեսզի մագնիսական ինդուկցիան նրանում հավասարվի զրոյի:

Այն նյութերը, որոնք ունեն մեծ մագնիսական թափանցելություն և փոքր կոերցիտիվ ուժ, կոչվում են *մագնիսափափուկ նյութեր*, իսկ այն նյութերը, որոնք ունեն փոքր մագնիսական թափանցելություն և մեծ կոերցիտիվ ուժ, կոչվում են *մագնիսակոշտ նյութեր*:

8.6. Կորուստները մագնիսական նյութերում

Ֆերոմագնիսների վերամագնիսացման ժամանակ փոփոխական դաշտում տեղի է ունենում հիստերեզիսի օղակի մակերեսի փոփոխությունը (մակերեսի մեծացում), որը բնութագրում է էներգիայի ծախսերը մեկ ցիկլ վերամագնիսացման ընթացքում, և պայմանավորված է հիստերեզիսի երևույթների առաջացրած կորուստներով (P_h), մրրկային հոսանքներով (P_d) և լրացուցիչ կորուստներով (P_l): Այնդպիսի օղակը կոչվում է դիմամիկական, իսկ կորուստների գումարը՝ լրիվ կամ գումարային կորուստներ:

Հիստերեզիսի կորուստները մեկ վերամագնիսացման ցիկլի համար, վերագրված նյութի միավոր ծավալին (տեսակարար կորուստներ) f հաճախության դեպքում որոշվում են հետևյալ բանաձևով՝

$$P_h = f \oint H dB \quad (\text{Վտ/կգ}) \quad (8.15)$$

որտեղ γ -ն նյութի խտությունն է, կգ/մ³:

Մրրկային հոսանքներով պայմանավորված կորուստները կախված են ոչ միայն նյութի մագնիսական հատկություններից, այլև նաև էլեկտրական (տեսակարար էլեկտրական դիմադրություն) և միջուկի ձևից: Մրրկային հոսանքներով տեսակարար կորուստները թերթիկավոր նմուշի համար որոշվում են հետևյալ բանաձևով՝

$$P_d = \frac{164 d^2 f^2 B_{\max}^2}{\gamma \rho} \quad (\text{Վտ/կգ}) \quad (8.16)$$

որտեղ B_{\max} -ը մագնիսական ինդուկցիայի ամպլիտուդն է, S_L ,

f -ը փոփոխական հոսանքի հաճախությունն է, Հց,

d -ն նմուշի թերթիկի հաստությունն է, մ,

γ -ն նյութի խտությունն է, կգ/մ³,

ρ -ն տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունն է, Օհմ·մ:

Լրացուցիչ կորուստները որոշվում են որպես լրիվ կորուստների և հիստերեզիսային ու մրրկային հոսանքի գումարային կորուստների տարբերություն՝

$$P_L = P - (P_h + P_{\text{մր}}) \quad (8.17)$$

Փոփոխական հոսանքի բարձր հաճախության դեպքում առաջին հերթին պետք է հաշվի առնել մրրկային հոսանքներով պայմանավորված կորուստները, քանի որ, դրանք կախված են հաճախությունից քառակուսի աստիճանով (f^2):

8.7. Ցածր հաճախության մագնիսափափուկ նյութեր

Մագնիսափափուկ նյութերի դասակարգումը որոշվում է հիմնական քիմիական բաղադրությունից, որի հիման վրա մագնիսափափուկ նյութերը բաժանվում են հետևյալ խմբերի՝ տեխնիկապես մաքուր երկաթը, էլեկտրատեխնիկական պողպատներ, պերմալոյներ և ալսիֆերներ:

Տեխնիկապես մաքուր երկաթ.

Այն պարունակում է 0.05% ածխածին և նվազագույն քանակով ծծումբ, ֆոսֆոր, մանգան և այլ խառնուրդներ: Տեխնիկապես մաքուր երկաթը լինում է հետևյալ տեսակների՝

- ցածրածխածնային էլեկտրատեխնիկական պողպատ,
- էլեկտրոլիտիկ երկաթ,
- կարբոնիլային երկաթ:

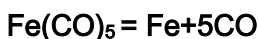
Ցածրածխածնային էլեկտրատեխնիկական պողպատը թողարկում են տաք կամ սառը գլանմամբ և արտադրում են բարակ թիթեղային և տեսակավորված:

Բարակ թիթեղային պողպատը պարունակում է 0.04%-ից ոչ ավելի ածխածին և 0.6%-ից ոչ ավել այլ խառնուրդներ և պատրաստվում է 0.2...4մմ հաստության թիթեղներից: Պողպատի մակնիշները նշանակվում են հնգանիշ թվերով, առաջին նիշը՝ 1-իզոտրոպ տաք գլանման, 2-իզոտրոպ սառը գլանման, 3- անիզոտրոպ սառը գլանման, երկրորդ նիշը բնութագրում է սիլիցիումի պարունակությունը՝ «0»-0.3%, երրորդ նիշը բնութագրում է հիմնա-

կան նորմավորման բնութագրերը, չորրորդ և հինգերորդ միջերը բնութագրում են հիմնական նորմավորված բնութագրերի քանակային արժեքները:

Էլեկտրոլիտիկ երկաթը պատրաստում են էլեկտրոլիզի միջոցով (երկաթի ծծմբաթթվի՝ $\text{Fe}(\text{SO})_4$ կամ երկաթի աղաթթվի FeCl միջոցով): Ընդ որում անողը պատրաստում են երկաթից, իսկ կաթոդը՝ որևէ փափուկ պողպատից: Էլեկտրոլիզի ընթացքում անջատված երկաթը նստում է կաթոդի վրա: Կաթոդը հանվում է վաննայից, նստեցված երկաթը խնամքով լվանալուց հետո մանրացնում են գնդային աղացների միջով մինչև փոշիացում: Ջրածնի բարձր հագեցվածության պատճառով այդպիսի երկաթի մագնիսական հատկությունները շատ ցածր են: Սակայն վակուումում վերահալեցման և բազմակի շիկամշակման միջոցով նրա հատկությունները կարելի է զգալի լավացնել: Այդ ձևով մշակված էլեկտրոլիտիկ երկաթը բնութագրվում է հետևյալ մագնիսական հատկություններով. $H_c=30$ Ա/մ, $\mu_{\max}=15000$: Բարձր ինքնարժեքի պատճառով էլեկտրոլիտիկ երկաթը հազվադեպ է կիրառվում:

Կարբոնիլային երկաթը ստանում են պենտակարբոնիլային երկաթի $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ջերմային տարրալուծումից:



Ընդ որում, կախված տարրալուծման պայմաններից՝ կարելի է ստանալ տարբեր ձևի երկաթ՝ փոշենման ծակոտկեն և այլն: Բարձր մագնիսական հատկություններ ստանալու համար կարբոնիլային երկաթը պետք է ջերմամշակման ենթարկվի ջրածնի առկայությամբ: Կարբոնիլային երկաթը լայնորեն օգտագործվում է որպես ֆերոմագնիսական ֆազ մագնիսադիէլեկտրիկներում:

Էլեկտրատեխնիկական սիլիցիումային պողպատներ

Էլեկտրատեխնիկական սիլիցիումային պողպատները երկաթում սիլիցիումի պինդ լուծույթ են: Տեխնիկապես մաքուր երկաթի լեգիրացումն է սիլիցիումի պինդ լուծույթ: Տեխնիկապես մաքուր երկաթի լեգիրացումը սիլիցիումով կատարվում է նյութի տեսակարար էլեկտրական դիմադրությունը բարձրացնելու նպատակով:

Սակայն միաժամանակ սիլիցիումը ոչ միայն լավացնում է մի քանի մագնիսական պարամետրեր (մեծանում մագնիսական թափանցելիությունը, փոքրանում է կոերցիտիվ ուժը), այլ նաև թողնում է և վնասակար ազդեցություն, որոշ չափով փոքրացնելով հագեցման ինդուկցիան և վատացնելով մեխանիկական հատկությունները (բարձրացնում են կարծրությունը և փխրունությունը): Այս պատճառով կիրառում են սիլիցիումային պողպատները սիլիցիումի 5%-ից ոչ ավելի պարունակությամբ: Էլեկտրատեխնիկական պողպատները արտադրվում են ըստ հետևյալ ստանդարտների ԳՈՍՏ 3836-83, ԳՈՍՏ 11036-75, ԳՈՍՏ 21427.1-83, ԳՈՍՏ 31427.2-83 և այլն, մակնիշավորվում են հնգանիշ թվերով առաջին նիշը՝ 1-իզոտրոպ տաք գլանման, 2-իզոտրոպ սառը գլանման, 3- անիզոտրոպ սառը գլանման, երկրորդ նիշը բնութագրում է սիլիցիումի պարունակությունը՝ «0»-0.4%, «1»-0.4...0.8%, «2»-0.8...1.8%, «3»-1.8...2.8%, «4»-2.8...3.8%, երրորդ նիշը բնութագրում է հիմնական նորմավորման բնութագրերը, չորրորդ և հինգերորդ նիշերը բնութագրում են հիմնական նորմավորված բնութագրերի քանակային արժեքները:

Պերմալոյներ

Պերմալոյները երկաթի ու նիկելի կամ երկաթի, նիկելի և կոբալտի համաձուլվածքներ են: Սովորաբար լեգիրացված են մոլիբդենով, քրոմով կամ այլ տարրերով: Դրանք ունեն շատ բարձր սկզբնական մագնիսական թափանցելիություն և կոերցիտիվ ուժի ցածր արժեք: Տարբերում են պերմալոյների հետևյալ տեսակները.

ա) Բարձր նիկելային պերմալոյ, որը պարունակում է 72-80% նիկել, օգտագործում են փոքր գաբարիտային դրոսելներում, տրանսֆորմատորներում, ինչպես նաև թույլ հոսանքի տրանսֆորմատորներում, որպես միջուկ:

բ) Ցածր նիկելային պերմալոյ, որը պարունակում է 45-50% նիկել, ունի մոտ 2 անգամ ավելի բարձր հագեցման ինդուկցիա, քան բարձր նիկելայինը, և օգտագործում են ուժային տրանսֆորմատորներում, դրոսելներում, այսինքն՝ այնտեղ, որտեղ պետք է մագնիսական հոսքի մեծ կոնցետրացիա:

Պերմալոյների թերությունը նիկելի բարձր արժեքն է և նրա սահմանափակ պաշարները (դեֆիցիտությունը) :

Ալսիֆերներ

Ալսիֆերները փոխարինում են պերմալոյներին և երկաթի, սիլիցիումի և ալյումինի համաձուլվածք են (Fe-Si-Al): Ալսիֆերի օպտիմալ բաղադրությունն է՝ 9.5% սիլիցիում, 5.6% ալյումին և մնացածը երկաթ: Այդպիսի համաձուլվածքը աչքի է ընկնում պնդությամբ և փխրունությամբ:

Ալսիֆերների հիմնական հատկություններն են՝ $\mu_{\text{սկզ}} = 35000$, $\mu_{\text{max}} = 120000$, $H_c = 1.8$ Ա/մ, $\rho = 0.8$ մկՕհմ·մ:

Ալսիֆերներից պատրաստում են մագնիսական էլրաններ, տարբեր սարքավորումների իրաններ և այլն: Շնորհիվ ալսիֆերի փխրունության, այն կարելի է փոշիացնել և օգտագործել կարբոնիլային երկաթի հետ միասին՝ բարձր հաճախային մամլված մագնիսական միջուկների պատրաստման համար:

8.8. Բարձր հաճախության մագնիսափափուկ նյութեր

Այս թվին են պատկանում մագնիսադիէլեկտրիկները և ֆերիտները:

Մագնիսադիէլեկտրիկները փոշեծև ֆերոմագնիսական և օրգանական կամ անօրգանական կապակցող մեկուսչային նյութերի մամլված խառնուրդ են: Հիմքը հանդիսանում է կարբոնիլային երկաթ, ալսիֆեր, պերմալոյ, իսկ կապակցող մեկուսիչը՝ ֆենոլֆորմալդեհիդային կամ էպոքսիդային խեժեր, պոլիստիրոլ, ապակի և այլն: Հիմքը պետք է ունենա բարձր մագնիսական հատկություններ, իսկ կապակցող մեկուսիչը բարձր դիէլեկտրիկական հատկություններ և ընդունակություն փոշեծև ֆերոմագնիսական նյութի հատիկների միջև առաջացնելու առանց կտրվածքի հոծ մեկուսչային ժապավեն:

Մագնիսադիէլեկտրիկի կորուստները բաղկացած են հիստերեզիսային, մրրկային հոսանքներից՝ առաջացած հետազդեցության և դիէլեկտրիկական կորուստներից .

$$P_{\text{մդ}} = P_{\text{հ}} + P_{\text{մր}} + P_{\text{հետ}} + P_{\text{դ}} \quad (8.18)$$

Այս կորուստները բերում են մագնիսադիէլեկտրիկական միջուկով ինդուկտիվ կոճի ակտիվ դիմադրության մեծացման, այդ ակտիվ դիմադրությունը համարժեք է մագնիսադիէլեկտրիկ կորուստներին.

$$r_{\text{մդ}} = r_h + r_{\text{մդ}} + r_{\text{հետ}} + r_{\eta} + r_{\omega} \quad (8.19)$$

որտեղ r_{ω} - ն կոճի պղնձյա փաթույթի կորուստներին համարժեք ակտիվ դիմադրությունն է :

Մագնիսադիէլեկտրիկ դիէլեկտրիկական թափանցելիությունը որոշվում է հետևյալ հավասարումով՝

$$\epsilon_{\text{մդ}} = \epsilon_{\text{մ}}^{\alpha} \cdot \epsilon_{\eta}^{1-\alpha} \quad (8.20)$$

որտեղ $\epsilon_{\text{մ}}$ -ը ֆերոմագնիսական հիմքի դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է:

ϵ_{η} -ը կապակցող մեկուսչի դիէլեկտրիկական թափանցելիությունն է:

α -ը՝ մագնիսական ֆազի պարունակությունը:

Մագնիսադիէլեկտրիկները լայն կիրառում են գտել բարձր հաճախային սարքերում, բարձր հաճախային ինդուկտիվ կոճերում և այն:

Ֆերիտներ

Ֆերիտները մագնիսական կերամիկա են, որոշ աննշան էլեկտրոնային հաղորդականությամբ, այսինքն՝ դրանք վերաբերվում են էլեկտրոնային հաղորդականության կիսահաղորդիչների շարքից են: Բարձր տեսակարար դիմադրությունը և հետևաբար մրրկային հոսանքներով պայմանավորված փոքր էներգիայի կորուստներ բարձր և գերբարձր հաճախություններում, բավականին բարձր մագնիսական հատկությունների հետ մեկտեղ, թույլ է տալիս ֆերիտներին լայնորեն կիրառել բարձր և գերբարձր հաճախություններում: Ֆերիտները երկաթի օքսիդի (Fe_2O_3) և երկվալենտային մետաղների օքսիդների համաձուլվածքներ են, որոնք համա-

պատասխանում են ընդհանուր բանաձևի՝



որտեղ Me-ն երկվալենտային մետաղի նշանն է :

Տեխնիկայում լայնորեն կիրառվում են պինդ լուծույթները, մի քանի հասարակ օքսիդային միավորումներից, օրինակ տեխնիկայում լայն կիրառվող նիկել-ցինկային ֆերիտները



որտեղ m, n և p-ն բաղադրամասերի միջև քանակական հարաբերակցության գործակիցներն են:

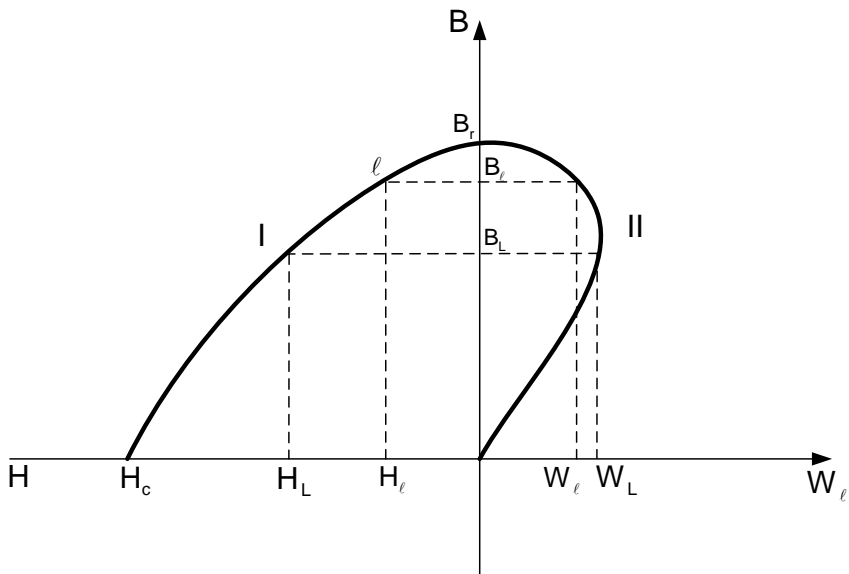
Ֆերիտների պատրաստման տեխնոլոգիան հետևյալն է՝ նախապես թրծված բոլոր ֆերիտային բաղադրությունները մաքրվում են խառնուրդներից, մանրացվում են և փոշու տեսքով խառնվում են միմյանց, ավելացնելով պլաստիկարար նյութ (սովորաբար պոլիֆինիլային սպիրտ) և ստացած ֆերիտային զանգվածը մեծ ճնշման տակ մամլում են՝ ստանալով տարբեր տեսակի իրեր, որոնք հետո 1100...1400°C ջերմաստիճանի տակ ենթարկվում են թրծման, որի ընթացքում տեղի է ունենում եռակալում և ֆերիտի պինդ լուծույթի առաջացում: Կախված օգտագործման պայմաններից՝ պատրաստում են մագնիսափափուկ, մագնիսակոշտ և ուղղանկյուն հիզտերեզիսի օղակով և այլ ֆերիտներ:

8.9. Մագնիսակոշտ նյութեր

Այն նյութերը, որոնք ունեն մեծ կոերցիտիվ ուժ (H_c) և փոքր մագնիսական թափանցելիություն (μ), կոչվում են մագնիսակոշտ նյութեր: Մագնիսակոշտ նյութերն օգտագործում են հաստատուն մագնիսների պատրաստման և ինֆորմացիայի գրանցման համար, որտեղ օգտագործում են մագնիսական էներգիա, այսինքն՝ հաստատուն մագնիսներով մագնիսական շղթաները պետք է բաց լինեն և ունենան օգտակար (աշխատանքային) օդային բացակ:

Հաստատուն մագնիսներում օգտագործվող նյութերի համար

կարևոր նշանակություն ունեն կոերցիտիվ ուժը (H_c), մնացորդային ինդուկցիան (B_r) և տեսակարար մագնիսական էներգիան արտաքին տարածության մեջ (W_ℓ): Մագնիսական հոսքը օդային բացակում առաջանում է, երբ հաստատուն մագնիսը կարճատև մտցնում են ուժեղ մագնիսական դաշտի մեջ: Օրինակ, եթե ունենք հաստատուն մագնիսից պատրաստված թորոիդային կոճ, ապա կոճում մագնիսական հոսք, ինչպես նաև մագնիսական էներգիա չի առաջանում: Եթե այդ կոճում ունենք օդային բացակ, կարճատև մագնիսական դաշտ կիրառելուց հետո առաջանում է մագնիսական հոսք և տեսակարար մագնիսական էներգիա: Հաստատուն մագնիսներում օգտագործվող նյութերի համար կարևոր նշանակություն ունի հիստերեզիսի օղակի ապամագնիսացման տիրույթը (նկ.8.11):



Նկ.8.11. Ապամագնիսացման (I) և մագնիսացման էներգիայի (II) կորերը օդային բացակում

Մագնիսական ինդուկցիան բացակում (B_ℓ) շատ ավելի փոքր է քան մնացորդային ինդուկցիան (B_r): Արտաքին դաշտը վերացնե-

լուց հետո նյութի մագնիսական հատկությունները բնութագրվում են ապամագնիսացման կորով: Ապամագնիսացման կորի որևէ ℓ կետի դիրքը որոշվում է H_ℓ և B_ℓ մեծություններով, ինչպես նաև W_ℓ մագնիսական էներգիայով, որը թվապես հավասար է ստվերագծված ուղղանկյան մակերեսին՝

$$W_\ell = \frac{\mathbf{B}_\ell \mathbf{H}_\ell}{8\pi} \quad (8.21)$$

որտեղ B_ℓ -ը թվացող մնացորդային ինդուկցիան է բացակում, H_ℓ -ը դաշտի լարվածությունն է բացակում:

Եթե $B_\ell = B_r$, ապա $H_\ell = 0$ և $W_\ell = 0$ այս դեպքում կունենանք փակ թորոիդային կոճ:

Եթե բացակի երկարությունը շատ մեծ է, ապա $H_\ell = H_c$, $B_\ell = 0$, $W_\ell = 0$:

Այսպիսով, օդային բացակում աշխատանքային կետը ընտրում ենք այնպես, որ տեսակարար մագնիսական էներգիան լինի առավելագույնը:

$W_{\text{առավ.}}$ -ը գնահատում է մագնիսակոշտ նյութերի որակը:

Առավելագույն էներգիան ուղիղ համեմատական B_r -ին, H_c -ին և նյութի ապամագնիսացման կորի ուռուցիկության գործակցին: Այսպիսով, օդային բացակը ընտրվում է այնպիսին, որ հաշվի առնելով մագնիսական էներգիայի առավելագույն արժեքը՝ բացակում որոշվի հաստատուն մագնիսի լավագույն օգտագործումը:

ԵՐՐՈՐԴ ՄԱՍ

ՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐ

9.1. Հաղորդիչների տեսակները

Էլեկտրատեխնիկայում կիրառվող հաղորդիչ նյութերը լինում են՝ պինդ, հեղուկ և գազային:

Պինդ նյութեր են համարվում մետաղները, դրանց համաձուլվածքները, ինչպես նաև ածխածնի որոշ տեսակներ:

Հեղուկ հաղորդիչների շարքին դասվում են հալված մետաղները, ինչպես նաև տարբեր էլեկտրոլիտներ:

Էլեկտրահաղորդականության տեսանկյունից հաղորդիչները կարող են լինել.

ա) առաջին կարգի հաղորդիչներ՝ էլեկտրոնային էլեկտրահաղորդականությամբ: Այդ տեսակին են պատկանում պինդ և հալված վիճակում գտնվող մետաղները:

բ) երկրորդ կարգի հաղորդիչներ՝ իոնային էլեկտրահաղորդականությամբ: Այդ տեսակին են պատկանում էլեկտրոլիտները և իոնային բյուրեղները:

Բոլոր գազերը և գոլորշիները, այդ թվում նաև մետաղների գոլորշիները՝ էլեկտրական դաշտի լարվածության բավականաչափ փոքր արժեքների դեպքում հաղորդիչներ չեն և օժտված են շատ մեծ տեսակարար դիմադրությամբ: Սակայն եթե էլեկտրական դաշտի լարվածությունը գերազանցում է որոշ կրիտիկական արժեքին, որը բավարար է իոնացում ստեղծելու համար, ապա գազը կարող է դառնալ հաղորդիչ էլեկտրոնային և իոնային էլեկտրահաղորդականությամբ: Խիստ իոնացված գազը, երբ դրական և բացասական լիցքերի քանակները միավոր ծավալում հավասար են, հատուկ հաղորդիչ միջավայր է, որը կոչվում է *պլազմա*:

9.2. Հաղորդիչների հիմնական հատկությունները

Հաղորդիչների հիմնական հատկություններն են՝

- էլեկտրահաղորդականությունը,
- ջերմահաղորդականությունը,
- պոտենցիալների կոնտակտային տարբերությունը և ջերմա-էլշուն,
- մեխանիկական ամրությունը,
- ջերմային ընդարձակումը:

էլեկտրահաղորդականություն- Մետաղների բյուրեղային կառուցվածքը այնքան խիտ է, որ հարևան ատոմների ներքին լրացված թաղանթները հպվում են, իսկ արտաքին էլեկտրոնները ձգվում են բոլոր շրջակա միջուկների կողմից: Այսպիսով, մետաղները համակարգեր են, որոնք կառուցված են դրական ատոմների կմախքից և գտնվում են ազատ էլեկտրոնների միջավայրում: Ազատ էլեկտրոնների մեծ քանակը բերում է մետաղների բարձր էլեկտրահաղորդականության և ջերմահաղորդականության: Հոսանքի մեծությունը հաղորդիչներում որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$I = n_0 e V_{\text{միջ}} S \quad (9.1)$$

որտեղ n_0 -ն ազատ էլեկտրոնների քանակն է, մետաղի միավոր ծավալում,

e -ն էլեկտրոնի լիցքն է,

$V_{\text{միջ}}$ -ը էլեկտրոնի ուղղորդված շարժման միջին արագությունն է՝ էլեկտրական դաշտի ուղղությամբ.

S -ը հաղորդալարի կտրվածքն է:

Եթե (9.1) բանաձևում հաշվի առնենք էլեկտրոնների շարժունակությունը ($V_{\text{միջ}} = UE$), ապա կստանանք.

$$I = n_0 e U E S \quad (9.2)$$

որտեղ U -ն էլեկտրոնի շարժունակությունն է,

E -ն էլեկտրական դաշտի լարվածությունն է :

Հոսանքի խտությունը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ.

$$j = \frac{I}{S} = n_0 e U E = \gamma E \quad (9.3)$$

որտեղ γ -ն տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունն է ($\gamma = n_0 e U$):

γ -ի հակադարձ մեծությունը կոչվում է տեսակարար դիմադրություն՝

$$\rho = R \frac{S}{\ell} \text{ (Օհմ·մ)} \quad (9.4)$$

որտեղ R -ը հաղորդալարի դիմադրությունն է (Օհմ), ℓ -ը երկարությունն է (մ), S -ը հաղորդալարի կտրվածքն է (մմ²):

$$1 \text{ Օհմ·մ} = 10^6 \frac{\text{Օհմ·մմ}^2}{\text{մ}} = 10^6 \text{ մկՕհմ·մ}:$$

Հիմնական էլեկտրատեխնիկական մյուսերի համար

$$\rho = 0.016 \dots 10 \frac{\text{Օհմ·մմ}^2}{\text{մ}}$$

Օրինակ՝

$$\rho_{\text{Ag}} = 0.016 \frac{\text{Օհմ·մմ}^2}{\text{մ}}:$$

$$\rho_{\text{Cu}} = 0.0172 \frac{\text{Օհմ·մմ}^2}{\text{մ}}:$$

$$\rho_{\text{Al}} = 0.028 \frac{\text{Օհմ·մմ}^2}{\text{մ}}:$$

Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս ազատ լիքցերի քանակը հաղորդիչներում չի ավելանում, սակայն ուժեղանում են բյուրեղային ցանցի տատանումները, ավելանում են պատմեշները լից-

քերի ուղղորդված շարժման ճանապարհին, փոքրանում է էլեկտրոնի ազատ վազքի միջին երկարությունը: Այսինքն՝ ջերմաստիճանի բարձրացման հետ տեսակարար հաղորդականությունը փոքրանում է, իսկ տեսակարար դիմադրությունը մեծանում է: Տեսակարար դիմադրության մեծությունը ջերմաստիճանի լայն տիրույթի վերջում որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha_p \Delta t) \quad (9.5)$$

որտեղ ρ_0 - տեսակարար դիմադրության արժեքն է տիրույթի սկզբում (20°C),

α_p -ն տեսակարար դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցն է, որը որոշվում է հետևյալ արտահայտությամբ՝

$$TK\rho = \alpha_p = \frac{\rho_t - \rho_0}{\rho_0 \Delta t} \quad (1/\text{աստ}) \quad (9.6)$$

$$TK\rho = \alpha_p = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} \quad (1/\text{աստ}) \quad (9.7)$$

Մաքուր մետաղների համար պինդ վիճակում՝

$$\alpha_p \approx \frac{1}{273} = 0.004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1},$$

ֆերոմագնիսների համար (Fe, Co, Ni)

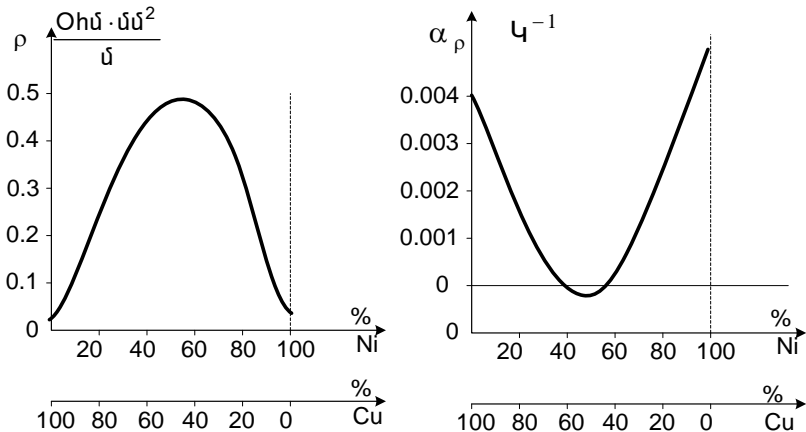
$$\alpha_p = 0.006 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}:$$

Այն համաձուլվածքների համար, որոնք տարբեր մետաղներից բաղկացած պինդ լուծույթներ են, տեսակարար դիմադրությունը ավելի մեծ է, քան դրանց առանձին բաղադրիչներինը, իսկ α_p -ն՝ հակառակը:

Պինդ լուծույթը այնպիսի համաձուլվածք է, որոնց երկու մետաղները բյուրեղանում են միաժամանակ, այսինքն՝ մի մետաղի ատոմները մտնում են մյուսի ատոմների բյուրեղային ցանցի մեջ:

Օրինակ, Cu-Ni-ի համար տեսակակար դիմադրության (ρ) և ջերմաստիճանային գործակցի (α_p) կախումը Cu և Ni տոկոսային քանակային բաղադրությունից (0...100%) պատկերված է նկ.9.1-ում:

α_p -ի մեծությունը (Cu-Ni) պինդ լուծույթի համար ավելի փոքր է, քան նրա առանձին բաղադրիչներինը և կարող է ընդունել բացասական արժեք:



Նկ. 9.1. Պինդ լուծույթի՝ Cu-Ni, համար տեսակակար դիմադրության (ρ) և ջերմաստիճանային գործակցի (α_p) կախումը Cu և Ni տոկոսային քանակային բաղադրությունից

Ջերմահաղորդականություն - Մետաղների ջերմահաղորդականությունը սերտ կապված է էլեկտրահաղորդականության հետ, քանի որ այն տեղի է ունենում նույն ազատ էլեկտրոնների միջոցով: Դրանց քանակը մետաղում միավոր ծավալում չափազանց մեծ է: Այն մետաղները, որոնք ունեն բարձր էլեկտրահաղորդականություն, ունեն բարձր ջերմահաղորդականություն: Որքան մեծ է մետաղի տեսակարար էլեկտրական հաղորդականությունը՝ γ -ն, այնքան մեծ է նրա ջերմահաղորդականության գործակիցը λ -ն: Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս, երբ մետաղում էլեկտրոնների շարժունակությունը և համապատասխանաբար γ հաղորդակա-

նությունը փոքրանում են, ապա մետաղի ջերմահաղորդականության գործակցի հարաբերությունը նրա տեսակարար էլեկտրական հաղորդականությանը՝ λ/γ պետք է աճի: Մաթեմատիկորեն դա արտահայտվում է Վիդեման- Ֆրանց –Լորենցի օրենքով՝

$$\frac{l}{g} = L_0 T \quad (9.8)$$

որտեղ T -ն բացարձակ ջերմաստիճանն է, L_0 ,

L_0 -ն Լորենցի թիվն է, որը բոլոր մետաղների համար հաստատուն մեծություն է և հավասար է՝

$$L_0 = \frac{\pi^2}{3} \cdot \left(\frac{k}{e} \right)^2 = 2.45 \cdot 10^{-8} \text{ Վ}^2/\text{Ա}^2 :$$

որտեղ k -ն Բոլցմանի հաստատունն է, $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ Ջ/Ա}$,

e - էլեկտրոնի լիցքն է, $e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Ա}$:

Պոտենցիալների կոնտակտային տարբերությունը և ջերմաէլշուն - Երկու տարբեր մետաղների հպման ժամանակ դրանց միջև առաջանում է պոտենցիալների կոնտակտային տարբերություն: Այն պայմանավորված է առանձին մետաղներում էլեկտրոնների ելքի աշխատանքի արժեքների և հավող մետաղների ազատ էլեկտրոնների կոնցենտրացիայի արժեքների տարբերությամբ: Եթե ունենք A և B մետաղներ, ապա դրանց հպման կետում, համաձայն մետաղների էլեկտրոնային տեսության, պոտենցիալների կոնտակտային տարբերությունն է՝

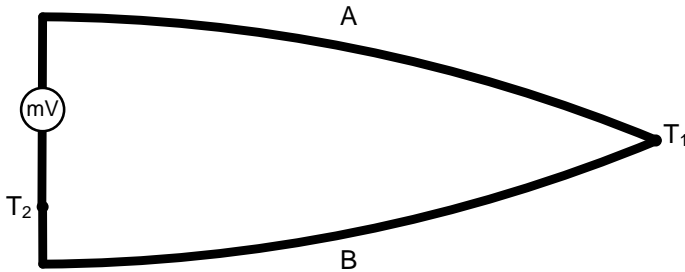
$$U_{AB} = U_B - U_A + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_A}{n_B} \quad (9.9)$$

որտեղ U_A և U_B -ն համապատասխան հավող մետաղների պոտենցյալներն են,

n_A և n_B ազատ էլեկտրոնների կոնցենտրացիան է համապատասխանաբար A և B մետաղներում,

Սովորաբար պոտենցիալների կոնտակտային լարումը կարող է տատանվել միլիվոլտից մինչև մի քանի վոլտ:

Եթե ունենք երկու՝ A և B մետաղներից բաղկացած փակ շղթա, ապա եթե երկու հպման կետերում $T_1 = T_2 = \text{const}$, փակ շղթայում պոտենցիալների կոնտակտային տարբերությունը հավասար է զրոյի: Իսկ եթե $T_1 \neq T_2$, ապա $U_{AB} + U_{BA} = U$



$$U = U_{AB} + U_{BA} = U_B - U_A + \frac{kT_1}{e} \ln \frac{n_A}{n_B} + U_A - U_B + \frac{kT_2}{e} \ln \frac{n_B}{n_A},$$

որտեղից

$$U = \frac{k}{e} (T_1 - T_2) \ln \frac{n_A}{n_B} = A (T_1 - T_2) \quad (9.10)$$

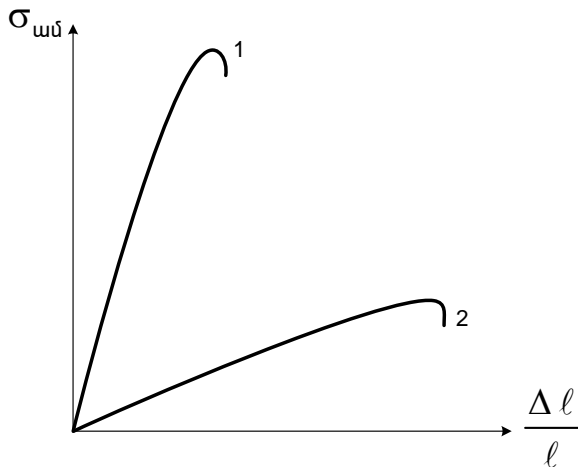
որտեղ A-ն տվյալ զույգ հաղորդիչների համար հաստատուն գործակից է («ջերմա-էլեկտրի գործակից»), այսինքն ջերմա-էլեկտր պետք համեմատական լինի զոդվածատեղերի ջերմաստիճանների տարբերությանը:

Երկարությամբ իրարից մեկուսացված տարբեր մետաղներից կամ համաձուլվածքներից կազմված երկու լարերը («ջերմագույգ») կարելի է օգտագործել ջերմաստիճան չափելու համար: Ջերմագույգերում օգտագործում են հաղորդիչներ, որոնք ունեն մեծությամբ բարձր և կայուն ջերմա-էլեկտրի գործակից: Ընդհակառակը չափիչ սարքերի փաթույթների և մնուշային ռեզիստորների համար ձգտում են օգտագործել հաղորդիչ մետաղներ և համաձուլվածք-

մեր պղնձի նկատմամբ հնարավորին չափով փոքր ջերմա-էլշու-ի գործակցով, որպեսզի չափման շղթաներում խուսափեն պարագիտային ջերմա-էլշու-ների առաջանալուց, որոնք կարող են սխալներ առաջացնել ճշգրիտ չափումներ կատարելիս:

Մեխանիկական ամրությունը – Հաղորդիչների մեխանիկական հատկությունները բնութագրվում են ձգման դեպքում ամրության սահմանով ($\sigma_{ամ}$) և խզման դեպքում՝ հարաբերական երկարացումով ($\Delta \ell / \ell$):

Ձգման դեպքում ամրության սահմանի ($\sigma_{ամ}$) կախվածությունը խզման դեպքում հարաբերական երկարացումից ($\Delta \ell / \ell$) ունի հետյալ տեսքը՝



Նկ. 9.2. Ձգման դեպքում ամրության սահմանի ($\sigma_{ամ}$) կախվածությունը խզման դեպքում հարաբերական երկարացումից ($\Delta \ell / \ell$)

1-պինդ ձգված լարի համար, 2- քրծված լարի համար

Նկար 9.2-ից երևում է, որ քրծման ազդեցությունը բերում է ձգման դեպքում ամրության սահմանի ($\sigma_{ամ}$) փոքրացմանը մոտ 1.5...2 անգամ, իսկ խզման դեպքում հարաբերական երկարացման ($\Delta \ell / \ell$) մեծացմանը մոտ 15...20 անգամ:

Էլեկտրատեխնիկայում օգտագործվող բոլոր հաղորդալարերը ենթարկվում են թրծման, որպեսզի մեծացվի դրանց ճկունությունը, փափկությունը:

Ջերմային ընդարձակումը - Բնութագրվում է գծային ընդարձակման ջերմային գործակցով (TK_ℓ), որը գծային ընդարձակման հարաբերական փոփոխումն է, երբ ջերմաստիճանը բարձրացնում ենք 1°C -ով:

$$TK_\ell = \alpha_\ell = \frac{1}{\ell} \frac{d\ell}{dt} \quad (1/\text{աստ}) \quad (9.10)$$

Մետաղներում α_ℓ -ի և հալման ջերմաստիճանների միջև կա հետևյալ կապը: Այն մետաղները, որոնք ունեն α_ℓ -ի բարձր արժեք, հալվում են ավելի ցածր ջերմաստիճաններում, իսկ α_ℓ -ի ցածր արժեքի դեպքում մետաղները դժվարահալ են:

9.3. Բարձր հաղորդման նյութեր

Պղինձ: Պղինձի առավելություններն են՝ բարձր հաղորդականություն, բարձր մեխանիկական ամրություն, հարաբերական կայունություն կոռոզիայի հանդեպ: Այն հեշտությամբ մշակվում և ենթարկվում է զոդման ու եռակցման: Պղինձը ստանում են՝ պղինձասուլֆիդային հումքը բազմաքանակ հալման և մաքրման ենթարկելով: Դրանից հետո այն ենթարկվում է էլեկտրոլիտիկ մաքրման և հալված վիճակում լցվում հատուկ ձևերի մեջ, որոնցից ստանում են ձուլվածքներ $100\dots200$ կգ քաշով: Այդ ձուլվածքները տաք գլանման եղանակով ձգում են՝ ստանալով $8\dots10$ մմ տրամագծով պղնձալար (կատանկա), որի մակերեսը տաք գլանման ժամանակ օդի հետ մտնում է ռեակցիայի մեջ՝ մակերեսի վրա առաջացնելով օքսիդային շերտ (CuO), որն ունի մեծ պնդություն և փխրունություն: Ստացված պղնձալարից (կատանկանից) սառը գլանման եղանակով ձգում են՝ ստանալով մինչև $0.02\dots0.03$ մմ համապատասխան տրամագծով պղնձալարեր: Մինչև սառը գլանումը կատանկան ենթարկում են քիմամաքրման, որպեսզի

վերացվի օքսիդային շերտը: Այդ պրոցեսը կոչվում է խաժատում, որը կատարում են H_2SO_4 -ի 5%-ային ջրային լուծույթում: Օքսիդային շերտը վերացնելիս պղնձալարը (կատանկան) հեշտությամբ ենթարկում են սառը գլանման:

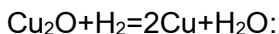
Պղինձի մակնիշները: Ժամանակակից պատրաստման տեխնիկական պրոցեսում պղնձի ամենամանցանկալի խառնուրդը թթվածինն է, որը վատացնում է մեխանիկական և էլեկտրական հատկությունները:

M1 մակնիշի պղնձում պարունակվում է 99.9 % պղինձ և 0.08% թթվածին:

MO մակնիշի պղնձում պարունակվում է 99.95 % պղինձ և 0.02% թթվածին:

Կոշտ ձգված լարը մակնիշավորվում է MT –ով, որն ունի մեծ ամրության սահման՝ $\sigma_{\text{ամ}}$: Թրծման ենթարկված պղնձալարը մակնիշավորվում է MM-ով, որն ունի մեծ ճկունություն համեմատաբար փոքր մեխանիկական ամրությամբ:

Էլեկտրավակուումային տեխնիկայում օգտագործում են անթթվածնային պղինձ MOO մակնիշի, որը պարունակում է 99.97% պղինձ: Թծվածինը պղնձում գտնվում է Cu_2O –ի տեսքով (ենթօքսիդ), երբ ջրածինը ներթափանցում է պղնձի մեջ առաջանում է ռեկցիա.



Ռեակցիայի շնորհիվ առաջացած ջուրը դուրս գալով պղնձից ճնշման տակ՝ քայքայում է նրան, զգալիորեն նվազացնելով նրա մեխանիկական հատկությունները:

Պղնձի համահալվածքները: Պղնձի համահալվածքներն են բրոնզը և արույրը: *Բրոնզը* պղնձի խառնուրդն է ֆոսֆորի, սիլիցումի, բերիլիումի, կադմիումի, անագի և այլ նյութերի հետ, որոնք որոշ չափով կարող են վատացնել հաղորդականությունը, բայց բավականին կտրուկ մեծացնել մեխանիկական հատկությունները ($\sigma_{\text{ամ}}$, $\Delta\ell/\ell$): Բրոնզից պատրաստում են հոսանքատար զսպանակներ, սահող կոնտակտներ, խողանակաբռնիչներ:

Կադմիումական բրոնզից, որն ունի բավականին մեծ մեխանիկական ամրություն, պատրաստում են էլեկտրական հաղորդալարեր էլեկտրական տրանսպորտի համար: Բերիլիումական բրոնզից պատրաստում են հոսանքատար զսպանակներ, սահող կոնտակներ, խոզանակաբռնիչներ և այլն:

Արույրը պղնձի և ցինկի համահալվածք է: Ունի բավականին մեծ հարաբերական երկարացում ($\Delta\ell/\ell$)՝ համեմատաբար մեծ ամրության սահմանի ($\sigma_{\text{ամ}}$) դեպքում: Այստեղից էլ հետևում է նրա ճկունությունը, հեշտ մշակումը և այլն:

Ալյումին: Մոտ 3.5 անգամ թեթև է պղնձից, բայց ունի ավելի ցածր մեխանիկական և էլեկտրական հատկություններ: Եթե համեմատենք նույն կտրվածքով և երկարությամբ երկու՝ ալյումինե և պղնձե լարեր, ապա կտեսնենք, որ ալումինի էլեկտրական դիմադրությունը 1.63 անգամ մեծ է պղնձի դիմադրությունից ($0.028/0.072 = 1.63$): Հետևաբար որպեսզի ստանանք նույն դիմադրությամբ ալումինե լար, պետք է նրա կտրվածքը 1.63 անգամ մեծ լինի պղնձյա լարի կտրվածքից, այսինքն՝ ալյումինե լարի տրամագիծը մոտ 1.3 անգամ մեծ պետք է լինի պղնձյա լարի տրամագծից: Համեմատելով նույն երկարությամբ և դիմադրությամբ երկու պղնձյա և ալումինե լարերը՝ կտեսնենք, որ չնայած ալումինե լարի տրամագիծը մեծ է պղնձյա լարից, սակայն նրա զանգվածը մոտ երկու անգամ փոքր է:

Այս հանգամանքը բերել է նրան, որ շատ դեպքերում էլեկտրահաղորդման օդային գծերի և՛ փոքր հզորությամբ, և՛ լարմամբ լարերի, և՛ կաբելների պատրաստման ժամանակ հիմնականում օգտագործում են ալյումինե լարեր պղնձի փոխարեն:

Ալյումինե լարերի պատրաստումը (տաք և սառը գլանումը, թրծումը) կատարում են նույն եղանակով, ինչպես պղնձե լարերինը:

Տաք գլանման ժամանակ ալումինե լարի (կատանկաի) մակերեսը ծածկվում է օքսիդային շերտով, որը պաշտպանում է մետաղը հետագա օքսիդացումից: Սակայն ալումինե լարը (կատանկան) քիմաքրման չի ենթարկվում, քանի որ օքսիդային

շերտը չունի մեծ պնդություն և չի խանգարում սառը գլանման եղանակին:

Ալյումինի մակնիշները: Էլեկտրատեխնիկական ալյումինը մակնիշավորվում է A1-ով, որի մեջ կան 0.5% -ից ոչ ավել խառնուրդներ:

ABOO մակնիշի ալյումինը պարունակում է 0.03 %-ից ոչ ավել խառնուրդներ և օգտագործում են ալյումինե նրբաթիթեղ պատրաստելու համար:

Լավ մաքուր ալյումինը մակնիշավորվում է ABOOO, որի մեջ պարունակվում են 0.004%-ից ոչ ավել խառնուրդներ: Էլեկտրատեխնիկական ալյումինից պատրաստում են ալյումինանրբաթիթեղ 6...7 մկմ հաստությամբ, որն օգտագործում են էլեկտրական կոնդենսատորների շրջադիրների պատրաստման համար:

Ալյումինի համահալվածքները: Ալյումինի մեխանիկական հատկությունները մեծացնելու համար այն լեգիրում են (մետաղը բարելավում են՝ նրա հալվածքի մեջ այլ մետաղներ ներմուծելով) մագնեզիումով, սիլիցիումով և երկաթով՝ 0.2...0.4% ամեն մի էլեմենտից:

Այդպիսի լեգիրացված ալյումինը կոչվում է *ալդրեյ* և մակնիշավորվում է AD31-ով, AD33-ով, որոնք մեխանիկապես ամուր են և պլաստիկ:

9.4. Դժվարահալ մետաղներ

Դժվարահալ մետաղները, որոնք ստանում են փոշեմետաղագործության տեխնոլոգիայով, օգտագործում են էլեկտավակումմային սարքավորումների և լույսի աղբյուրների պատրաստման համար:

Դժվարահալ մետաղներին են՝

1. **Վոլֆրամ (W):** Վոլֆրամը և նրա համահալվածքները օգտագործում են շիկացման մարմինների պատրաստման համար (կատոդներ, պարուրալարեր, տաքացուցիչներ և այլ) որոնք աշխատում են մինչև 2900°C ջերմաստիճանի տակ: Վոլֆրամի հալման ջերմաստիճանը 3380°C: Վոլֆրամից նաև պատրաստում

են տարբեր տեսակի կախիչներ, քանի որ վոլֆրամն ունի բարձր մեխանիկական ամրություն և առաձգականություն: Կախված տարբեր բաղադրությամբ հանքատեսակներից՝ տարբերում են հետևյալ մակնիշի վոլֆրամներ՝ **BM** (սիլիցիումահիմքային և թորիումի հալվեանյութերով), օգտագործում են շիկացման լարերի և պարուրալարերի պատրաստման համար ($t_{\text{աշխ}}=2100^{\circ}\text{C}$), **BI** (իտրիումի հալվեանյութով), որից պատրաստում են եռակցման էլեկտրոդներ:

2. **Մոլիբդեն (M_o):** Մոլիբդենը վոլֆրամին զիջում է իր հալման ջերմաստիճանով (2620°C), սակայն ավելի պլաստիկ է: M_o օգտագործում են էլեկտրավակուումային տեխնիկայում: Տարբերում են հետևյալ մակնիշի մոլիբդեններ՝ **МЧ** (մաքուր, առանց հալվեանյութի) որից պատրաստում են ցանցեր ռադիոլամպերի համար, **МК** (սիլիցիումահիմքային հալվեանյութով), որն ունի բարձր մեխանիկական ամրություն բարձր ջերմաստիճանների դեպքում:
3. **Տանտալ (T_a):** Հալման ջերմաստիճանը 2977°C է: Տանտալի տեխնոլոգիական առանձնահատկությունն այն է, որ նրա պատրաստում կատարում են վակուումային վառարաններում, որպեսզի այն զազեր չկլանի, որոնք ազդում են նրա փխրունության վրա: Տանտալից պատրաստում են գեներատորային լամպերի համար անոթներ և ցանցեր: Էլեկտրավակուումային սարքավորումներում տանտալը հանդիսանում զազակլանիչ է:
4. **Ռենիում (R_e):** Հալման ջերմաստիճանը 3180°C է: Ռենիումը ունի բարձր մեխանիկական ամրություն, պլաստիկություն և տեսակարար դիմադրություն: Այն հեռանկարային նյութ է, բայց ներկայումս օգտագործում են որպես վոլֆրամի և մոլիբդենի հալվեանյութ: Պատրաստման տեխնոլոգիան բարդ է և թանկ:

9.5. Բարձր դիմադրության համահալույթներ

Բարձր դիմադրության համահալույթները բաժանվում են երեք հիմնական խմբի.

- I. Ճշգրիտ էլեկտրաչափիչ սարքավորումների համար:
- II. Տարբեր նշանակության դիմադրությունների (ռեոստատների) համար:
- III. Տաքացուցիչ սարքավորումների համար:

Առաջին խմբի համահալույթների համար կարևոր դեր է խաղում R դիմադրության կայունությունը, TKp-ի և թերմոէլեկտի փոքր մեծությունը պղնձի հանդեպ: Այդ խմբի հիմնական հալույթներից մեկն է մանգանը (86% Cu, 12% Mn, 2% Ni), թերմոէլեկտն հավասար է 1մկՎ/աստ, $\rho=0.43$ մկՕհմ·մ, $TKp=10^{-5}$ աստ⁻¹: Տարբերում են մանգանի հետևյալ մակնիշները PMT-պինդ ձգած և PMM-փափուկ:

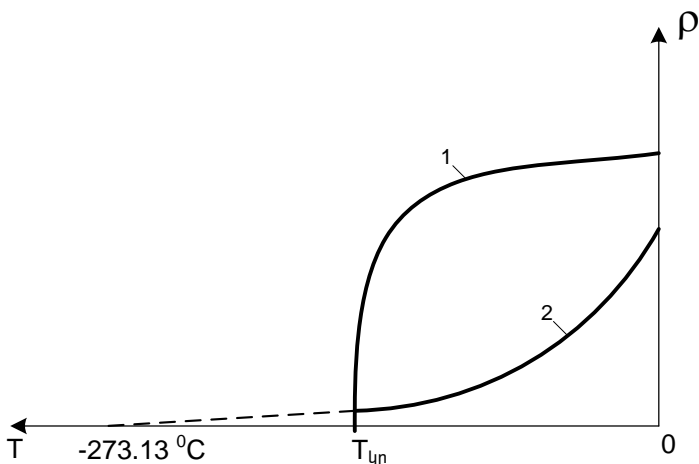
Երկրորդ խմբի համահալույթների համար էական է աշխատանքային ջերմաստիճանը և ցածր արժեքը: Թերմոէլեկտն և TKp-ն խաղում են երկրորդական դեր: Այս խմբի հիմնական համահալույթն է կոնստատանը (60% Cu, 40% Ni) $\rho=0.45...0.48$ մկՕհմ·մ փափուկ մակնիշի համար և $\rho=0.46...0.54$ մկՕհմ·մ պինդ մակնիշի համար: Օգտագործում են էլեկտրական դիմադրությունների դեպքում: Օքսիդացված կոնստանտանե լարով պատրաստում են ռեոստատներ:

Երրորդ խմբի համահալույթների կարևոր պահանջներն են բարձր աշխատանքային ջերմաստիճանը և օքսիդային շերտի բացակայությունը: Այդ տեսանկյունից լավագույն նյութ է պլատինը (Pt), որի $\rho=0.105$ մկՕհմ·մ: Պլատինը օգտագործում են լաբորատոր վառարաններում 1300°C աշխատանքային ջերմաստիճանով: Թերությունը թանկությունն է: Հիմնական համահալույթ տաքացուցիչ սարքավորումների համար նիքրոմն է (Ni-Cr՝ նիկելի և քրոմի համահալույթ) տարբերում են նիքրոմի տարբեր մակնիշներ՝ X15H60- $\rho=1.0...1.2$ մկՕհմ·մ, $t_{w27u}=1000^{\circ}\text{C}$,

X20H80 - $\rho=1.0...1.1$ մկՕհմ·մ, $t_{w27u}=1100^{\circ}\text{C}$ և այլն:

9.6. Գերհաղորդիչներ և կրիոհաղորդիչներ

1911թ. հոլանդացի գիտնական Կամերլինգ-Օննեսը հայտնաբերեց գերհաղորդականության երևույթը: Պարզվեց, որ 4.2Կ ջերմաստիճանի դեպքում սնդիկի էլեկտրական դիմադրությունը կտրուկ դառնում է զրո, այսինքն՝ սնդիկը ձեռք է բերում անսահման մեծ հաղորդականություն: Այն երևույթը, որի դեպքում մետաղները սառեցման ջերմաստիճանի ժամանակ ձեռք են բերում անսահման մեծ հաղորդականություն, կոչվում է գերհաղորդականություն: Կրիտիկական սառեցման ջերմաստիճանը, որի դեպքում տեղի է ունենում նյութի անցում գերհաղորդիչ վիճակի, կոչվում է գերհաղորդականության անցման ջերմաստիճան ($T_{կր}$), իսկ նյութերը՝ գերհաղորդիչներ: Այսպիսով, գերհաղորդիչներ կոչվում են այն մետաղները կամ նրանց համաձուլվածքները որոնք որոշակի կրիտիկական ջերմաստիճանում կորցնում են իրենց էլեկտրական դիմադրությունը, այսինքն $\rho \rightarrow 0$, $\gamma \rightarrow \infty$: Հարկ է նշել, որ գերհաղորդիչ շղթայում մեկ անգամ ստեղծված էլեկտրական հոսանքը երկար ժամանակ (տարիներով) կշռջի այդ շղթայով առանց նկատելի չափով փոքրացնելու իր ուժը, ընդ որում, արտաքինից առանց որևէ էներգիա մատուցելու: Ներկայումս հայտնի են 27 հասարակ (մաքուր մետաղներ) և հազարից ավելի բարդ (համաձուլվածքներ և միացուցումներ) գերհաղորդիչներ: Ամենաբարձր սառեցման կրիտիկական ջերմաստիճան ($T_{կր}$), մաքուր մետաղների մոտ ունի միոբիումը՝ Nb, ($T_{կր}=9.4Կ$) իսկ ամենացածրը ունի իրիդիումը՝ Ir, ($T_{կր}=0.140 Կ$), Համաձուլվածքների մոտ համեմատաբար բարձր սառեցման կրիտիկական ջերմաստիճան ունեն՝ 44%Nb+56%Ti ($T_{կր}=8.7 Կ$), 50%Nb+50% Zr ($T_{կր}=9.5 Կ$) համաձուլվածքները: Մետաղների տեսակարար դիմադրության փոփոխումը խոր սառեցման դեպքում բերված է նկ. 9.3-ում

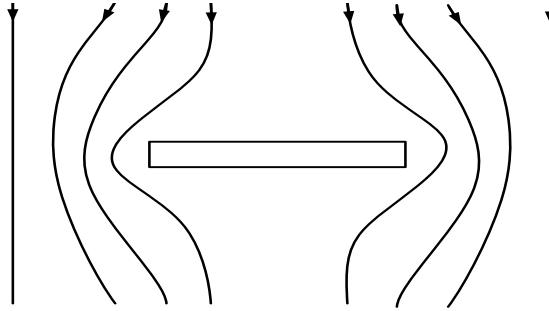


Նկ. 9.3. Մետաղների տեսակարար դիմադրության փոփոխումը խոր սառեցման դեպքում

1-գերհաղորդիչ, 2-սովորական մետաղ

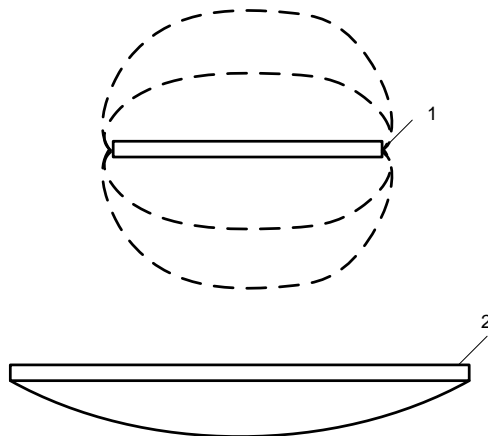
Հարկ է նշել, որ գերհաղորդականության երևույթը դարձելի է, այսինքն՝ ջերմաստիճանի բարձրացման ժամանակ մինչև $T_{կր}$ գերհաղորդականությունը խախտվում է, բացի այդ, գերհաղորդականության երևույթը խաղտվում է նաև գերհաղորդիչի մակերևույթին որոշակի կրիտիկական արժեքից մեծ ինդուկցիայով՝ $B_{կր}$, մագնիսական դաշտ առաջանալիս, և գերհաղորդիչի կրիտիկական ջերմաստիճանի $T_{կր}$ ամեն մի արժեքին համապատասխանում է մագնիսական դաշտի անցողիկ կրիտիկական ինդուկցիա՝ $B_{կր}$,

1933թ. կատարվեց երկրորդ հիմնավոր հայտնագործությունը գերհաղորդականության բնագավառում. պարզվեց, որ գերհաղորդիչները գերհաղորդականության վիճակի անցնելիս դառնում են «իդիալական դիամագնիսներ», այսինքն՝ նրանց մագնիսական μ թափանցելիությունը թռիչքաձև ընկնում է $\mu \approx 1$ -ից մինչև $\mu = 0$: Այդ պատճառով արտաքին մագնիսական դաշտը չի թափանցում գերհաղորդիչ մարմնի մեջ (Նկ.9.4), եթե մարմնի գերհաղորդականության վիճակի անցումը տեղի է ունենում մագնիսական դաշտում, ապա դաշտը «վանվում» է գերհաղորդիչի կողմից:



Նկ. 9.4. Մագնիսական դաշտը՝ նրանում գերհաղորդիչ մարմինն մտցնելու դեպքում

Այդ էֆեկտը ցուցադրվել է Վ.Կ.Արկադևի կողմից իր նշանավոր «կախված մագնիս» փորձում: Երբ 1 մագնիսը (նկ.9.5) իջեցնում են գերհաղորդիչ վիճակով 2 ափսեի մեջ, այդ մագնիսը վանվում է ափսեի կողմից և հավասարակշռված վիճակում մնում է օդում՝ չհավելյով ափսեին: Կամ հակառակը՝ գերհաղորդիչ մարմինը գերհաղորդման վիճակում կկախվի մագնիսի մակերևույթի վերևում: Մաքուր մետաղները ներկայացնող գերհաղորդիչները կոչվում են փափուկ, իսկ համաձուլվածքները կամ քիմիական միացություններից գերհաղորդիչներինը՝ կարծր գերհաղորդիչներ:



Նկ.9.5. Վ.Կ.Արկադևի փորձը «կախված» մագնիսով

Գերհաղորդականությունից բացի, լայն կիրառում է գտել կրիոհաղորդականության երևույթը, այսինքն՝ որոշակի մետաղների մոտ կրիոգենային ջերմաստիճաններում (բայց $T_{կր}$ -ից բարձր ջերմաստիճաններում, եթե տվյալ մետաղը պատկանում է գերհաղորդիչներին) այնպիսի շատ փոքր ρ -ի ստացում, որը հարյուր և հազար անգամ փոքր է , քան ρ -ն նորմալ ջերմաստիճանում: Այն նյութերը, որոնք օժտված են կրիոհաղորդականության օգտագործման համար բացառիկ բարենպաստ բնութագրերով, կոչվում են կրիոհաղորդիչներ (հիպերհաղորդիչներ): Կրիոհաղորդիչների կիրառումը էլեկտրական մեքենաներում, ապարատներում, կաբելներում և այլն, ունի զգալի առավելություններ, քանի որ գերհաղորդականության սարքավորումներում որպես հովացնող նյութ օգտագործում են հեղուկ հելիում, իսկ կրիոհաղորդիչների աշխատանքային ջերմաստիճանը ստացվում է ավելի բարձրաեռ և էժան սառցագեներների՝ հեղուկ ջրածնի կամ նույնիսկ հեղուկ ազոտի միջոցով: Դա զգալիորեն պարզեցնում և էժանացնում է սարքավորման իրագործումն ու շահագործումը:

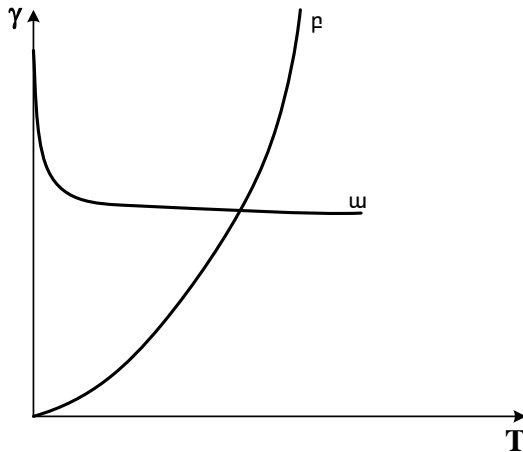
ՉՈՐՐՈՐԴ ՄԱՍ

ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐ

10.1. Ընդհանուր տեղեկություններ կիսահաղորդիչ նյութերի վերաբերյալ

Կիսահաղորդիչները, ըստ տեսակարար դիմադրության, որը սենյակի ջերմաստիճանում կազմում է $10^{-6} \dots 10^{-9}$ Օհմ-մ, մետաղների և դիէլեկտրիկների միջև զբաղեցնում են միջանկյալ դիրք: Ի տարբերություն մետաղների, կիսահաղորդիչները ջերմաստիճանային մեծ միջակայքում ունեն տեսակարար դիմադրության բացասական ջերմաստիճանային գործակից՝ TK_p , այսինքն՝ տեսակարար հաղորդականության դրական ջերմաստիճանային գործակից՝ TK_γ (նկ. 10.1):

Կիսահաղորդիչային նյութերի առանձնահատուկ հատկությունները, դրանց տեխնիկական լայն կիրառությունները նպաստեցին ամենատարբեր սարքեր՝ կիսահաղորդչային դիոդներ, տրանզիստորներ, ֆոտոտրանզիստորներ, լուսադիոդներ, կիսահաղորդչային լազերներ, ինչպես նաև ճնշման, մագնիսական դաշտերի, ջերմաստիճանի, ճառագայթման հայտնիչներ և այլ սարքեր պատրաստելուն: Կիսահաղորդիչների օգտագործումը արմատական վերափոխություններ առաջացրեց ռադիոտեխնիկայում, կիբեռնետիկայում, ավտոմատիկայում, հեռուստատեխնիկայում: Կիսահաղորդիչային էլեկտրոնիկան էլեկտրոնային միկրոմանրաչափ էլեկտրոնային սարքավորումներ պատրաստելու նոր ուղիներ բացեց:



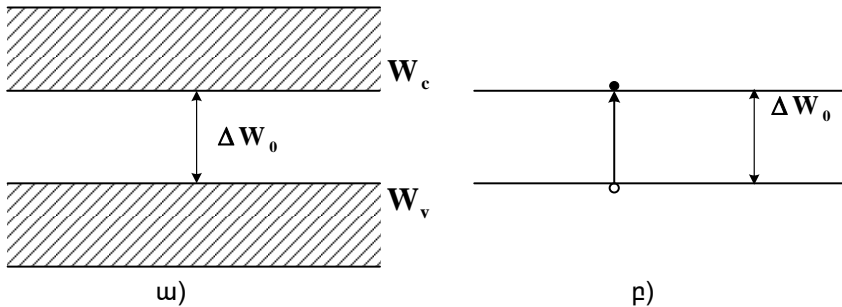
Նկ. 10.1. Մետաղների (γ) և կիսահաղորդիչների (ρ) տեսակարար հաղորդականության կախումը ջերմաստիճանից

Էլեկտրոնները մեկուսացված ատոմում ձգտում են զբաղեցնել նվազագույն էներգիայով մակարդակներ, վերին էներգետիկ մակարդակները մնում են ազատ: Հետևաբար պինդ մարմնի ոչ բոլոր էներգետիկ գոտիներն են զբաղեցված էլեկտրոններով: Համալրված գոտիներից ամենավերինը անվանում են վալենտական գոտի, իսկ ազատ գոտիներից ամենացածրը՝ հաղորդականության գոտի:

Քանի որ էլեկտրոնի շարժումը արտաքին էլեկտրական դաշտում կապված է նրա արագության և էներգիայի փոփոխման հետ, ապա էներգետիկ սխեմայում այդպիսի շարժումը համապատասխանում է էլեկտրոնի տեղափոխությանը թույլատրված գոտու մոտակա մակարդակներով: Դա նշանակում է, որ էլեկտրահաղորդականությանը կարող են մասնակցել միայն այն էլեկտրոնները, որոնք դասավորված են էլեկտրոններով ոչ լրիվ համալրված գոտիներում:

Կիսահաղորդիչների և դիէլեկտրիկների վալենտական հաղորդականության գոտիների միջև գոյություն ունի արգելված գոտի: Բացարձակ զրո ջերմաստիճանում և արտաքին ազդեցությունների

բացակայության դեպքում դրանց վալենտական գոտին լրիվ համալրված է, իսկ հաղորդականության գոտին ազատ է էլեկտրոններից: Այս տեսանկյունից դիէլեկտրիկների և կիսահաղորդիչների միջև տարբերությունը զուտ քանակական է: Պայմանականորեն կիսահաղորդիչների շարքը դասում են $\Delta W_i = 0.05$ էՎ արգելված գոտու շերտով նյութերը, իսկ դիէլեկտրիկներին՝ $\Delta W_i > 3$ էՎ նյութերը:



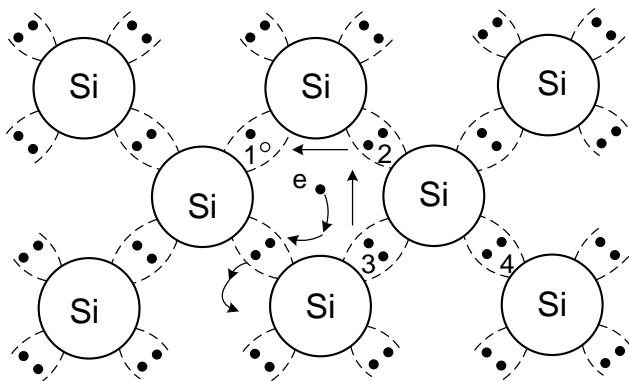
Նկ. 10.2. Սեփական կիսահաղորդիչի գոտային դիագրամը

Սեփական կոչվում են այն կիսահաղորդիչները, որոնք չեն պարունակում դոնորային և ակցեպտորային խառնուրդներ: Այդպիսի կիսահաղորդիչների գոտիների դիագրամը ցույց է տրված նկ. 10.2-ա -ում, որտեղ W_c –ն հաղորդականության գոտու էներգիայի ստորին մակարդակն է, որը կոչվում է հաղորդականության գոտու հատակ, W_v –ն վալենտական գոտու էներգիայի վերին մակարդակն է, որը կոչվում է վալենտական գոտու առաստաղ, ΔW_0 –ն արգելված գոտու լայնությունն է:

Գործնականում հաճախ օգտվում են նկ.10.2 բ-ում պատկերված էներգետիկ սխեմայից, որտեղ ցույց են տրված միայն վալենտական գոտու առաստաղն ու հաղորդականության գոտու հատակը: Սլաքով ցույց է տրված էլեկտրոնի անցումը վալենտական գոտուց հաղորդականության գոտի, որը կարելի է իրականացնել բյուրեղացանցի ջերմային տատանման էներգիայի միջոցով կամ կիսահաղորդի վրա ազդող արտաքին էներգիայով: էլեկտրոնի

անցումը հաղորդականության գոտի կիսահաղորդչի վալենտական գոտում ստեղծում է էներգետիկ ազատ վիճակ, որը կոչվում է խռոչ, իսկ ինքը՝ վալենտական գոտին դառնում է ոչ լրիվ համալրված:

Որպես սեփական կիսահաղորդչի օրինակ դիտենք սիլիցիումի միաբյուրեղը: Սիլիցիումի բյուրեղացանցի հարթ մոդելը պատկերված է նկ. 10.3-ում, որտեղ ցույց է տրված կովալենտ կապի պատկերման սինվոլը, որում մասնակցում են երկու էլեկտրոններ: Կովալենտ կապի խզման դեպքում սիլիցիումի ատոմների միջև առաջանում է ազատ էլեկտրոն և անավարտ կապ, որին գոտային դիագրամի վրա համապատասխանում է հնարավոր, բայց էլեկտրոնի կողմից վալենտական գոտում զբաղեցված վիճակ՝ խռոչ:



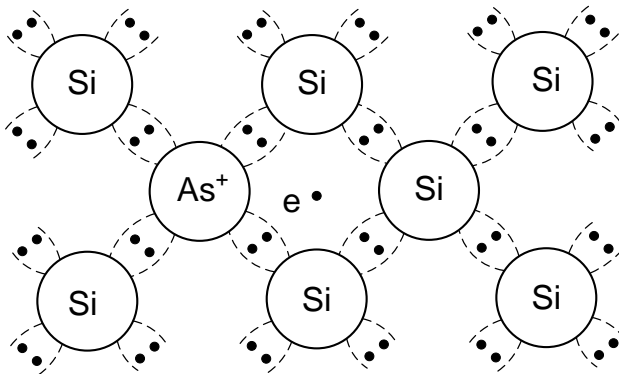
Նկ. 10.3. Սեփական կիսահաղորդչի (սիլիցիումի) բյուրեղացանցի հարթ մոդելը

Արտաքին էլեկտրական դաշտի բացակայության դեպքում խռոչը, ինչպես և էլեկտրոնը, բյուրեղի մեջ կկատարի քաոսային շարժում: Դա տեղի ունի այն պատճառով, որ հարևան կովալենտ կապի էլեկտրոնը բյուրեղացանցի ջերմային էներգիայի տատանումների հաշվին կարող է լրացնել անավարտ կովալենտ կապը, որի հետևանքով խռոչը 1 դիրքից կանցնի 2 դիրքը: Նույն ձևով այն կարող է անցնել 3,4 և այլ դիրքերը: Հետևաբար խռոչի շարժումը իրականացվում է այն էլեկտրոնի տեղափոխության հաշվին,

որը կովալենտ կապին:

Այսպիսով, կովալենտ կապի խզումից առաջանում են լիցքակիրների ազատ զույգ՝ հաղորդականության գոտում էլեկտրոն, իսկ վալենտական գոտում՝ խռոչ, որոնք ստեղծում են կիսահաղորդիչների սեփական էլեկտրահաղորդականությունը: Խառնուրդային կոչվում են այն կիսահաղորդիչները, որոնք պարունակում են դոնորային և (կամ) ակցեպտորային խառնուրդներ:

Եթե սիլիցիումի կամ գերմանիումի մեջ խառնուրդ մտցվի Մենդելևի աղյուսակի V խմբի տարր, օրինակ, արսեն, ապա խառնուրդի ատոմը հիմնական նյութի ատոմի հետ կովալենտ կապերը ավարտելու համար անհրաժեշտ են չորս վալենտական էլեկտրոններ (նկ.10.4): Խառնուրդի ատոմի հինգերորդ վալենտական էլեկտրոնը կովալենտ կապին չի մասնակցում: Այս ծով առաջացած խառնուրդի դրական իոնները էլեկտրահաղորդականությանը մասնակցել չեն կարող, քանի որ դրանք տեղայնացված են: գտնվելով կիսահաղորդչի բյուրեղացանցի հանգույցում, դրանք հանդիսանում են նրա կառուցվածքային տարրը:



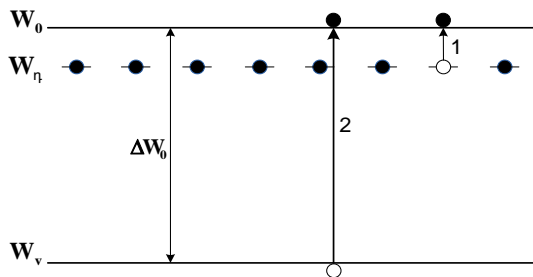
Նկ. 10.4. n-տիպի կիսահաղորդչի բյուրեղացանցի հարթ մոդելը (սիլիցիում՝ լեգիրացված արսենով)

Այն խառնուրդը, որն ունի ավելի վալենտական էլեկտրոններ, քան անհրաժեշտ է հիմնական նյութի մոտակա կապերը ավարտելու, և արդյունքում ընդունակ լինելու էլեկտրոններ տալու

համար, անվանում են դոնորական, իսկ այդպիսի խառնուրդով կիսահաղորդչին՝ էլեկտրոնային էլեկտրահաղորդականությամբ կիսահաղորդիչ:

Որպեսզի հիմնգերորդ վալենտական էլեկտրոնը դառնա ազատ (էներգետիկ սխեմայում անցնի հաղորդականության գոտի), անհրաժեշտ է ծախսել զգալիորեն ավելի փոքր էներգիա, քան կովալենտ կապը խզելու համար: Այս առումով գոտային դիագրամի վրա հիմնգերորդ վալենտական էլեկտրոնի էներգետիկ մակարդակը պետք է դասավորված է լինի արգելված գոտում՝ հաղորդականության գոտու հատակին մոտ (նկ.10.5):

Բացարձակ զրո ջերմաստիճանում և կիսահաղորդչի վրա արտաքին ազդեցության բացակայության դեպքում նրա վալենտական գոտին լրիվ համալրված է, հաղորդականության գոտին դատարկ է, դոնորային խառնուրդի տեղայնացված էներգետիկ մակարդակները W_n զբաղեցված են էլեկտրոններով: Ջերմաստիճանի աճի հետ սկզբում էլեկտրոնների մասը, իսկ այնուհետև տեղայնացված W_n մակարդակներից բոլոր էլեկտրոնները կանցնեն հաղորդականության գոտի (1 անցումները, նկ.10.5): Դրան զուգընթաց կկատարվեն և 2 անցումները, պայմանավորված լինելով կովալենտ կապերի խզումով, որի հետևանքով կազմվում է ազատ լիցքակիրների զույգ՝ էլեկտրոն և խոռոչ:

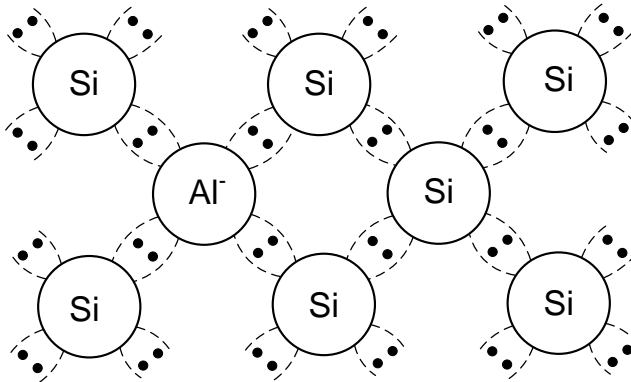


Նկ. 10.5. n-տիպի կիսահաղորդչի գոտային դիագրամը

Այն խառնուրդը, որն ունի ավելի պակաս վալենտական էլեկտրոններ, քան անհրաժեշտ է հիմնական նյութի մոտակա ատոմներ-

րի միջև կապերը ավարտելու համար, և դրա հետևանքով ընդունակ լինելու էլեկտրոններ զավթել, անվանում են ակցեպտորային, իսկ այդպիսի խառնուրդով կիսահաղորդիչը՝ խոռոչային էլեկտրահաղորդականությամբ (կամ p-տիպի) կիսահաղորդիչ:

Անվարտ կապը, բյուրեղացանցի ջերմային տատանումների հետևանքով, կարող է համալրվել հարևան կապի էլեկտրոններով, որը իր հերթին կդառնա անվարտ (նկ.10.6) :

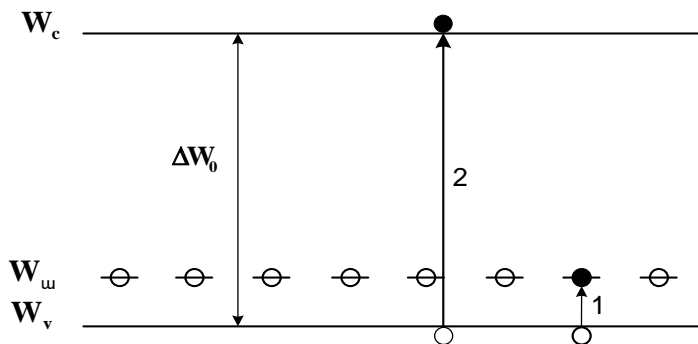


Նկ. 10.6. p-տիպի կիսահաղորդիչի բյուրեղացանցի հարթ մոդել (սիլիցիում, լեգիրացված ալյումինով)

Անվարտ կապ՝ խոռոչը բյուրեղացանցի ջերմային տատանումների հետևանքով կկատարի քառսային շարժում բյուրեղի սահմաններում: Ակցեպտորային խառնուրդի այն ատոմը, որն ընդունել է չորրորդ էլեկտրոնը կովալենտ կապը ավարտելու համար, դառնում է բացասական իոն: Այդպիսի իոնը անվանում են ակցեպտորային խառնուրդի իոնացված ատոմ: Այն չի կարող մասնակցել էլեկտրահաղորդականությանը, քանի որ բյուրեղի կառուցվածքային տարր է: Բացարձակ զրո ջերմաստիճանում և կիսահաղորդի վրա արտաքին ազդեցության բացակայության դեպքում ակցեպտորային մակարդակները ազատ են էլեկտրոններից: Ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց վալենտական գոտու էլեկտրոնները կհամալրվեն այս մեկուսացված մակարդակները վալենտական գոտում առաջացնելով խոռոչների քանակի պակաս (նկ.10.7, 1

անցումները): Միաժամանակ հնարավոր են և 2 անցումները, որոնց դեպքում կազմվում է ազատ կրիչների զույգ՝ էլեկտրոն-խոռոչ:

p-տիպի կիսահաղորդիչներում հիմնական լիցքակիրներն են խոռոչները, ոչ հիմնական՝ էլեկտրոնները:



Նկ. 10.7. p-տիպի կիսահաղորդիչի գոտային դիագրամը

Գ Ր Ա Վ Ա Ն ՈՒ Թ Յ ՈՒ Ն

1. Б.М.Тареев, Н.В. Короткова, В.М.Петров, А.А.Преображенский. Электрорадиоматериалы: Учебное пособие.-М.: Высш. Школа, 1978.-336с.
2. Богородицкий Н.П., Пасынков В.В., Тареев Б.М. Электротехнические материалы: Учебник для вузов.-Л.: Энергоатомиздат, 1985.-304с.
3. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники: Учебник для вузов.-М.: Высш. школа, 1986.-367с.
4. Էլեկտրառնային նյութեր. Ուս. ձեռնարկ. Թարգմանիչ ժ.Գ.Աբրահամյան.-Եր.Լույս, 1982.-443էջ:
5. Базуткин В.В., Ларионов В.П., Пинталь Ю.С. Техника высоких напряжений. Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1986.-464с.
6. Преображенский А.А. Магнитные материалы и элементы.- М.: Высшая школа, 1976.-336с.
7. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов.-М.: Энергоиздат, 1982.-320с.
8. Еύльман А.С. Проводниковые материалы в электротехнике.-М.: Энергия, 1974.-302с.
9. Маіофис И.М. Химия диэлектриков. Учебное пособие для вузов.-М.: Высшая школа, 1970.-332с.
10. Киреев П.С. Физика полупроводников.-М.: Высшая школа, 1975.-305с.

ԷՂՈՒԱՐԴ ԽԱՉԱՏՈՒՐԻ ՍԱՐՏԻԿՅԱՆ
ԷՂՈՒԱՐԴ ՎԱՂԱՐՇԱԿԻ ԿՈՒՐԴԻՆՅԱՆ
ՍԱՐԻԱՍ ՍԱՀԱԿԻ ԹՈՎԱՅԱՆ

ՆՅՈՒԹԱԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ

ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ՁԵՌՆԱՐԿ

ЭДУАРД ХАЧАТУРОВИЧ МАРТИКЯН
ЭДУАРД ВАГАРШАКОВИЧ КУРГИНЯН
МАРИАМ СААКОВНА ТОВМАСЯН

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Խմբագիր՝ Ն. Ա. Խաչատրյան

Ստորագրված է տպագրության՝ 18.11.2011
Թուղթը՝ «օֆսետ»։ Տպագրությունը՝ ռիզո, Ֆորմատ՝ (60×84) 1/16:
Շարվածքը՝ համակարգչային:
Տառատեսակը՝ Arial Armenian: 9.75 տպ. մամ.:
Պատվեր՝ 809 Տպաքանակ՝ 100

*Հայաստանի Պետական
Ճարտարագիտական
Համալսարանի տպարան*
Երևան, Տերյան 105 Հեռ.՝ 52-03-56

*Типография Государственного
Инженерного Университета Армении*
Ереван, ул. Теряна 105 Тел.: 52-03-56