ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ, ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ,

ՄՇԱԿՈՒՅԹԻ ԵՎ ՍՊՈՐՏԻ

ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ՎԵՐԱՊԱՏՐԱՍՏՎՈՂ ՈՒՍՈՒՑՉԻ

ՀԵՏԱԶՈՏԱԿԱՆ ԱՇԽԱՏԱՆՔ

ԹԵՄԱ՝ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՀՈՍԱՆՔԸ ՏԱՐԲԵՐ ՄԻՋԱՎԱՅՐԵՐՈՒՄ

ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ՂԵԿԱՎԱՐ՝

ԽԱԺԱԿ ՆԱՎԱՍԱՐԴՅԱՆ

ՎԵՐԱՊԱՏՐԱՍՏՎՈՂ ՈՒՍՈՒՑԻՉ՝

ՍԻԼՎԱ ՔՈՉԱՐՅԱՆ

ԱՌԱՐԿԱ՝ ՖԻԶԻԿԱ

ԴՊՐՈՑ՝ ԱՅԳՈՒՏԻ ՄԻՋՆԱԿԱՐԳ ԴՊՐՈՑ

Սևան 2022

Բովանդակություն

1. Ներածություն.....3
2. Հոսանքի հայտնաբերումը.....4
3. Հոսանքի աղբյուր.....5
4. Հոսանքի աղբյուրի կառուցվածքը 6
5. Կարճ միացում: Ապահովիչ.....6
6. Հոսանքի տսակները.....7
7. Էլեկտրական հոսանքը մետաղներում.....8
8. Էլեկտրական հոսանքն էլեկտրոլիտներում.....11
9. Էլեկտրական հոսանքը գազերում.....11
10. Էլեկտրական հոսանքը վակուումում.....15
11. Էլեկտրական հոսանքը կիսահաղորդիչներում.....18
12. Էլեկտրոնիկայի զարգացման հիմնական փուլերն ու հեռանկարները.....22
13. Նոր բայլ ֆիզիկայում՝ էլեկտրական հոսանքն իրեն կարող է հեղուկի պես դրսևորել.....23
14. Եզրակացություն.....25
15. Օգտագործված գրականության ցանկ.....26

Ներածություն

Էլեկտրական հոսանքը լիցքավորված մասնիկների ուղղորդված շարժում է: Նման մասնիկները կարող են լինել օրինակ մետաղներում - էլեկտրոնները, էլեկտրոլիտներում – իոնները (կատիոններ և անիոններ), գազերում – իոնները և էլեկտրոնները, վակուումում որոշակի պայմանների դեպքում – էլեկտրոնները, կիսահաղորդիչներում՝ էլեկտրոնները և խոռոչները (էլեկտրոնա - խոռոչային հաղորդականություն): Երբեմն էլեկտրական հոսանք է կոչվում նաև շեղման հոսանքը, որը առաջանում է էլեկտրական հոսանքի առկայության համար անհրաժեշտ է իրագործել երկու պայմաններ:

1. Նյութը պետք է լիցքավորված լինի, սակայն ազատ մասնիկներ ունենա, այնպիսի մասնիկներ, որոնք կարող են ազատ տեղաշարժվել մարմնի ողջ ծավալով (հոսանքակիրներ):
2. Այդ մասնիկների վրա պետք է ուժ ազդի և ստիպի շարժվել մի որոշակի ուղղությունով:

Սակայն որպեսզի էլեկտրական հոսանք անցնի, պետք է հոսանքի աղբյուր: Հոսանքի աղբյուրը հատուկ «սարք» է, որի միջոցով հաղորդիչում էլեկտրական դաշտ է առաջանում:

Հոսանքի հայտնաբերումը

Հաղորդիչում շարժվող էլեկտրոններն անհնար է տեսնել: Հոսանքը հայտնաբերվում է նրա ազդեցությամբ: Հոսանք հայտնաբերելու չորս եղանակներն են.

1. Հոսանք անցնելու ժամանակ հաղորդիչը տաքանում է, դա կոչվում է հոսանքի ջերմային ազդեցություն:
2. Աղերի, թթուների, ալկալիների լուծույթները հոսանքի լավ հաղորդչներ են: Երբ որ հոսանք է անցնում, նրանց մեջ նյութերը անջատվում են և նստում լուծույթի մեջ գտնվող մետաղական հաղորդիչների մակերեսի վրա, սա կոչվում է հոսանքի քիմիական ազդեցություն:
3. Հաղորդիչը, որի միջով հոսանք է անցնում, ձեռք է բերում մագնիսական հատկություններ: Այս հաղորդիչը մագնիսների նման իրեն է ձգում երկաթյա մարմիններ, սա կոչվում է հոսանքի մագնիսական ազդեցություն:
4. Եթե կենդանու մարմնի միջով հոսանք է անցնում, կենդանու մկանների կծկում է առաջանում, սա կոչվում է հոսանքի կենսաբանական ազդեցություն:

Ամենաառաջին մարդը, ով հոսանքն իր վրա ստուգեց, հոլանդացի ֆիզիկոս Մուշենբրուկն էր: Երբ որ հոսանքի հարված ստացավ՝ նա աշխարհին հայտարարեց, որ երբեք չի համաձայնի այսպիսի փորձության ենթարկվել, նույնիսկ թե ֆրանսիական գահը իրեն տրվի: Բայց այս նոր երևույթի գյուտը շատ արագ տարածվեց եվրոպական մի շարք երկրներում և արդեն մարդկանց մարմնով էլեկտրական հոսանք անցկացնելու կարելի էր տեսնել ոչ միայն անվանի ֆիզիկոսների փորձասենյակներում, այլ նաև՝ Եվրոպայի խոշոր քաղաքների զվարճանքներում:

Հոսանքի աղբյուր

Հոսանքի առաջին աղբյուրը ստեղծել է Ալեքսանդր Վոլտան 1800 թվականին: Նա վերցրել է արծաթե ու ցինկե մի քանի տասնյակ զույգ կլոր թիթեղներ և նրանց միջև աղաջրի մեջ թրջված ստվարաթղթի կլոր միջադիրներ դնելով, այդ ամենը դասավորում է սյան տեսքով: Հետո վերին և ներքևի թիթեղներին հաղորդալար ամրացնելով, Վոլտան ստանում է հաստատուն հոսանքի առաջին աղբյուրը: Այս հոսանքի աղբյուրը կոչում են վիլտյան սյուն: Հոսանքի աղբյուրը սարք է, որտեղ կողմնակի ուժերն առաջացնում են լիցքերի բաժանում:

- Ունի ներքին դիմադրություն (r):
- Էներգիայի պաշար և կուտակում էլեկտրական շղթայում լիցքերի տեղաշարժման աշխատանք կատարելու համար (մարտկոց, ակումլյատոր, գեներատոր և այլն):

Կողմնակի ուժը լիցքավորված մասնիկներին ուղղորդված շարժման մեջ դնող դրական և բացասական լիցքերն իրարից բաժանող ոչ էլեկտրաստատիկ բնույթի ուժերն են: Կախված հոսանքի աղբյուրի տեսակից՝ կողմնակի ուժերը կարող են լինել տարբեր բնույթի: Կողմնակի ուժերի ազդեցությամբ հոսանքի աղբյուրի ներսում լիցքավորված մասնիկները շարժվում են կուլոնյան ուժերին հակառակ ուղղությամբ, որի արդյունքում աղբյուրի բևեռների միջև պահպանվում է պոտենցիալների տարբերություն: Տարբեր աղբյուրներում առաջանում են տարբեր պատճառներով (հոսանքի քիմիական աղբյուրներում, օրինակ՝ մեքենայի ակումլյատորում կամ գալվանական մարտկոցում, դրանք առաջանում են քիմիական ռեակցիաների շնորհիվ, էլեկտրական գեներատորներում՝ մագնիսական դաշտում հաղորդալարերի շարժման շնորհիվ, լուսաէլեմենտներում՝ կիսահաղորդիչների վրա լույսի ազդեցության շնորհիվ և այլն):

Հոսանքի աղբյուրի կառուցվածքը

Հոսանքի աղբյուրն ունի տարբեր պոտենցիալ ունեցող երկու էլեկտրոդ: Ավելի մեծ պոտենցիալ ունեցող էլեկտրոդն անվանում են դրական բևեռ: Դրական բևեռին միացված էլեկտրոդը կոչվում է անոդ (anodos՝ ճանապարհ դեպի վեր), բացասական բևեռին միացվածը՝ կատոդ (kathodos՝իջեցում, վայրէջք): Բևեռների միջև առաջանում է պոտենցիալների տարբերություն՝ լարում:

Կարճ միացում: Ապահովիչ

Կարճ միացումը աղբյուրի բևեռների միացումն է այնպիսի հաշորդչով, որի դիմադրությունը շատ փոքր է աղբյուրի ներքին դիմադրության համեմատությամբ (շղթայում ծագում է այն առավելագույն հոսանքի ուժը, որը կարելի է ստանալ այդ հոսանքի աղբյուրից):

Կարճ միացումը կարող է առաջանալ, օրինակ, լարման տակ գտնվող հաղորդագծերի նորոգման ժամանակ կամ մրկ հաղորդալարերի պատահական հպման դեպքում: Կարճ միացման ժամանակ հաղորդալարերը կարող են ուժեղ շիկանալ և հրդեհի պատճառ դառնալ: Խուսափելու համար դրանից, ցանցին միացնում են ապահովիչներ: Ապահովիչը օգտագործվում է շղթան անջատելու համար, երբ հոսանքի համար ուժը դրանում թույլատրված չափից ավել մեծ է դառնում: Ապահովիչը կարող է լինել դյուրահալ: Այն սպառիչին միացվում է հաջորդաբար և սովորաբար տեղավորվում են հատուկ վահանակի վրա:

Հոսանքի տեսակները

Էլեկտրական հոսանքն ունի հետևյալ հատկանիշները՝

- Հաղորդիչների տաքացում (գերհաղորդիչների մոտ ջերմություն է անջատվում):
- Քիմիական կազմի փոփոխություն (հիմնականում նկատվում է էլեկտրոլիտների մոտ):
- Ստեղծում է մագնիսական դաշտ (դրսևորվում է բոլոր հաղորդիչների մոտ, առանց բացառության):

Երբ լիցքավորված մասնիկները տեղափոխվում են մակրոսկոպիկ միջավայրի ներում մարմինների հետ կապված ապա այդպիսի հոսանքը կոչվում է էլեկտրական հաղորդման հոսանք:

Տարբերակվում են՝

1) Հաստատուն հոսանք
2) Փոփոխական հոսանք
3) Իմպուլսային էլեկտրական հոսանք

1. Հաստատուն հոսանք – որի մեծությունը և ուղղությունը ժամանակի ընթացքում չի փոփոխվում:
2. Փոփոխական հոսանք – որի մեծությունը և ուղղությունը ժամանակի ընթացքում փոփոխվում են, լայն իմաստով նշանակում է ցանկացած հոսանք, որը հաստատուն չէ:

Փոփոխվող հոսանքներից հիմնականը այն հոսանքներն են, որոնք տատանվում են սինուսոիդային օրենքով:

Այս դեպքում հաղորդիչի յուրաքանչյուր ծայրի պոտենցիալը փոփոխվում է համեմատած մյուս ծայրի պոտենցիալի հետ, դրականից բացասական և հակառակը, որի հետևանքով առաջանում է անընդհատ ուղղությունը և մեծությունը փոփոխվող հոսանք: Շարժվելով մի ուղղությամբ նրա արժեքը մեծանում է հասնելով իր գագաթնակետին, որը կոչվում է ամպլիտուդային արժեք, ապա նվազում է և ինչ-որ պահի

դառնում է զրո, իսկ հոտ ավելացնում է, բայց մի այլ ուղղությամբ, ինչպես նաև հասնում է նվազագույն արժի և ցիկլի փոփոխությունը շարունակվում է.

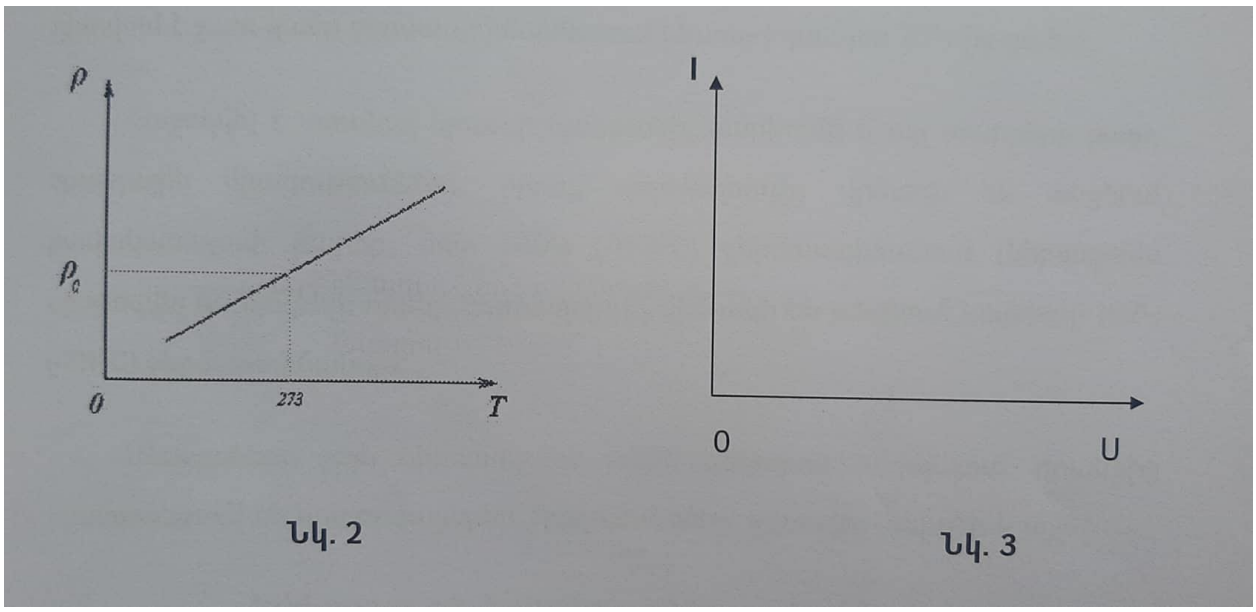
Ըստ Օհմի օրենքի շղթայի հոսանքի ուժը ուղիղ համեմատական լարմանը U և հակադարձ համեմատական է դիմադրության R : I = U/R

Հոսանքի ուժի միավորն է 1Ա-ը ՄՀ համակարգում:

Էլեկտրական հոսանքը մետաղներում

Մետաղները բյուրեղային նյութեր են, որոնց բյուրեղային ցանցը կազմված է տվյալ նյութի՝ տարածության մեջ պարբերաբար դասավորված ատոմներից, որոնք այնքան մոտ են, որ ատոմի արժեքական էլեկտրոնը հարևան ատոմների միջուկներից ունենալով գրեթե նույն հեռավորությունը, ինչ որ «իր» ատոմի միջուկից, ենթարկվում է բոլոր հարևանների համատեղ ազդեցությանը՝ դառնալով ընդհանուր էլեկտրոն բյուրեղը կազմող բոլոր ատոմների համար: Այսինքն՝ առաջանում են բոլոր ատոմների համար ընդհանուր էլեկտրոններ, որոնց անվանում են հաղորդականության էլեկտրոններ: Ի դեպ, ատոմները, կորցնելով իրենց արժեքական էլեկտրոնները, վերածվում են դրական իոնների, որոնք տատանվում են բյուրեղային ցանցի հանգույցներում, իսկ ազատ էլեկտրոնները բյուրեղում կատարում են անկանոն, ջերմային շարժում: Էլեկտրոնները բացի քաոսային շարժումից, դաշտի ազդեցությամբ, կատարում են ուղղորդված շարժում և տեղափոխվում դաշտի ուրվագծերին հակառակ ուղղությամբ՝ ստեղծելով էլեկտրական հոսանք:

Փորձը ցույց է տվել, որ հաղորդիչով անցնող հոսանքի ուժն ուղիղ համեմատական է հաղորդիչի ծայրերին կիրառված լարմանը (Օհմի օրենք) մետաղների տեսակարար դիմադրությունը ջերմաստիճանից կախված փոխվում է գծային օրենքով (նկ. 2):



Նկ. 2 Նկ. 3

Սակայն, քանի որ հաղորդիչի տսակարար դիմադրությունը ջրմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց մեծանում է, ապա մեծանում է նաև հաղորդիչի դիմադրությունը: Էլեկտրական հոսանքը հակադարձ համեմատական է դիմադրությանը, հետևաբար՝ հաղորդիչով անցնող հոսանքի ուժը դիմադրությունից կախված նվազում է, ուստի հոսանքի ուժի կախումը կիրառված լարումից կտարբերվի գծային օրենքից և կունենա նկ. 3-ում պատկերված տեսքը:

Շատ ցածր՝ մեկ-երկու տասնյակ կելվին ջերմաստիճաններում մետաղների տեսակարար դիմադրությունը ջերմաստիճանը ցածրացնելիս աստիճանաբար փոքրանում է, իսկ խիստ որոշակի ջերմաստիճանում կտրուկ դառնում է զրո: Այս երևույթն անվանում են գերհաղորդականություն:

Գերհաղորդիչ նյութերի համար գոհություն ունի կրիտիկական Tc ջերմաստիճան, որից ցածր ջերմաստիճաններում հաղորդիչը գտնվում է գրհաղորդիչ վիճակում: Լայն կիրառում կարող է գտնել տեխնիկայում, սակայն ոլորտը սահմանափակված է, քանի որ այդ երևույթը սովորաբար դիտվում է շատ ցածր ջերմաստիճաններում (մոտավորապես 25 Կ-ից ցածր):

Հաջողվել է ստանալ նյութեր (լանթանի, բարիումի և այլ տարրերի բարդ օքսիդային միացություններ), որոնք գերհաղորդիչ վիճակի են անցնում բավականաչափ բարձր, մոտ 100 Կ (-173°C)

ջերմաստիճանում (ներկայումս սինթեզվել են նյութեր, որոնք գերհաղորդիչ վիճակի են անցնում նույնիսկ 162 Կ (-111°C) ջերմաստիճանում:

Մետաղները լայն կիրառություն ունեն էլեկտրոտեխնիկայում՝ դրանցից պատրաստում են հաղորդալարեր, հաղորդագծեր, ջեռուցիչ սարքեր և այլն:

Էլեկտրական հոսանքն էլեկտրոլիտներում

Էլեկտրոլիտը հեղուկ հաղորդիչների հատուկ դաս է, որի մեջ շարժունակ լիցքակիրներ են հանդիսանում միայն իոնները (աղերի. Ալիքների ու թթուների ջրային լուծույթներ, աղերի և ալկալիների հալույթներ): Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս, լուծույթի դիմադրությունը փոքրանում է՝ պայմանավորված իոնների կոնցենտրացցիայի աճով: Էլեկտրական հոսանքն էլեկտրոլիտներում պայմանավորված է դրական և բացասական իոնների ուղղորդված շարժմամբ (իոնային հաղորդականություն): Ուղեկցվում է նյութի տեղափոխմամբ (ի տարբերություն մետաղների), նկարագրվում է Օհմի օրենքով: Էլեկտրոլիտի լուծույթով էլեկտրական հոսանք անցնելիս էլեկտրոդների վրա նյութի անջատման պրոցեսը կոչվում է **էլեկտրոլիզ**, որը պայմանավորված է օքսիդավերականգման ռեակցիաներով:

Անոդի վրա անջատված իոնները (բացասական լիցք կրողները) կոչվում են անիոններ, իսկ կաթոդի վրա անջատվածները՝ (դրական լիցք կրողները) կատիոններ:

Էլեկտրոլիզի տեխնիկական կիրառությունները

- Մաքուր (ռաֆինացված) պղնձի ստացումը հանքանյութից:
- Մետաղական ալյումինի ստացումը բոքսիտներից:

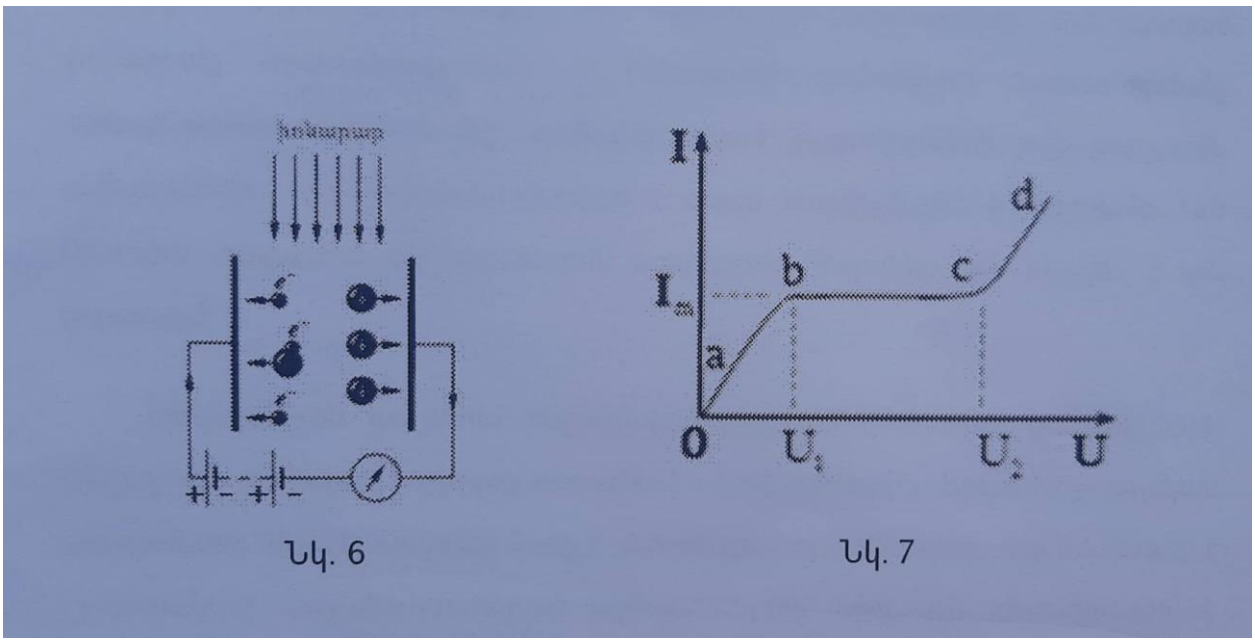
- Մետաղե առարկաները պատում են այլ մետաղների՝ նիկելի, քրոմի, արծաթի շերտով (գալվանոստեգիա Բ. Յակոբի):
- Պատրաստում են տարբեր առարկաների պատճենները (գալվանոպլաստիկա):

Լուծիչի ազդեցությամբ տեղի է ունենում մի պրոցես՝ էլեկտրոլիտիկ դիսոցում, որի ժամանակ մոլեկուլները տրոհվում են իոնների էլեկտրական դաշտ կիրառելիս քառսային շարժման հետ մեկտեղ, իոնները կատարում են ուղղորդված շարժում՝ դրական իոնները շարժվում են դեպի բացասական էլեկտրոդը՝ (կաթոդը), բացասական իոնները՝ դեպի դրական էլեկտրոդը (անոդը), և էլեկտրոլի լուծույթում առաջանում է էլեկտրական հոսանք:

Այսպիսով՝ էլեկտրոլիտների լուծույթներում էլեկտրական հոսանքը պայմանավորված է դրական և բացասական իոնների ուղղորդված շարժմամբ: Ի տարբերություն մետաղների, ջերմաստիճանը բարձրացնելիս էլեկտրոլիտի լուծույթի դիմադրությունը փոքրանում է, որը պայմանավորված է իոնների կոնցենտրացիայի աճով: Էլեկտրոլիտներում հաստատուն ջերմաստիճանում էլեկտրական հոսանքի կախումը լարումից կարելի է պատկերել գրաֆիկի միջոցով:

Էլեկտրական հոսանքը գազերում

Բոլոր գազերը բնական վիճակում մեկուսիչներ են՝ դրանց ատոմները և մոլեկուլները էլեկտրաչեզոք են: Որպեսզի գազը դառնա էլեկտրականության հաղորդիչ, անհրաժեշտ է նրանում սեղծել ազատ լիցքակիրներ, որոնք էլ արտաքին էլեկտրական դաշտի առկայությամբ կստեղծեն հոսանք: Գազը կարելի է իոնացնել զանազան ճառագայթումների միջոցով, որոնք անվանում են իոնացնող: Էլեկտրական հոսանքը գազերում պայմանավորված է իոնների և էլեկտրոնների ուղղորդված շարժմամբ՝ իոնացված գազն օժտված է էլեկտրոնային և իոնային էլեկտրահաղորդականությամբ: Գազի միջոցով էլեկտրական հոսանք անցնելու պրոցեսը կոչվում է գազային պարպում:



Նկ. 6 Նկ. 7

Իոնացնող ճառագայթման ազդեցությամբ ատոմից կամ մոլեկուլից պոկվում է նրա հետ ամենաթույլ կապված էլեկտրոնը, որի հետևանքով չեզոք մասնիկը վրածվում է դրականապես լիցքավորված իոնի և ազատ էլեկտրոնի: Իոնացման հետևանքով առաջացած էլեկտրոնը կարող է կապվել չեզոք մոլեկուլի հետ՝ ստեղծելով բացասական իոն: Այսպիսով՝ էլեկտրական հոսանքը գազերում պայմանավորված է ազատ էլեկտրոնների և դրական ու բացասական իոնների ուղղորդված շարժմամբ: Գազերում հոսանքի ուժի կախումը լարումից ունի նկ. 7-ում պատկերված տեսքը: Լարման փոքր արժեքների դեպքում գազերում առաջացած լիցքակիրները դանդաղ են շարժվում, և մինչև էլեկտրոդներին հասնելը դրանց մեծ մասը վրամիավորվում է, հետևաբար հոսանքի ուժն այնքան էլ մեծ չէ: Լարման մեծացմանը զուգընթաց հոսանքի ուժը մեծանում է, քանի որ աճում է լիցքակիրների արագությունը, . ավելի մեծ քանակով լիցքակիրներ են հասնում էլեկտրոդներին: Լարման U արժեքից սկսած կարելի է մեծ ճշտությամբ համարել, որ հոսանքի ուժը կախված չէ կիրառված լարումից և ընդունում է իր առավելագույն արժեքը, այսինքն՝ բոլոր լիցքակիրները մասնակցում են ուղղորդված շարժմանը: Հոսանքի այդ արժեքը հայտնի է «հագեցման հոսանք» անվանումով: Հոսանքի ուժի և լարման միջև ստացված կախումը բնորոշ է ոչ ինքնուրույն պարպմանը, երբ գազում իոնացումը պայմանավորված է իոնաբարի (իոնացնող ճառագայթման) առկայությամբ: Լարման U

արժեքից սկսած լիցքակիրների թվի թռիչքաձև ավելացմամբ, որը պայմանավորված է գազի հարվածային իոնացմամբ: Այս երևույթն անվանում են ինքնուրույն պարպում: Պարզենք, թե ինչպես է այն ընթանում:

Էլեկտրական դաշտում ուղղորդված շարժում կատարող էլեկտրոններն անընդհատ բախվում են չեզոք ատոմներին կամ իոններին: Երկու հաջորդական բախումների միջև էլեկտրոնը ձեռք է բերում կինետիկ էներգիա, որը հավասար է էլեկտրական դաշտի կատարած աշխատանքին: Եթե այն գերազանցում է ատոմի իոնացման էներգիան, ապա բախման արդյունքում տղի է ունենում չեզոք ատոմի իոնացում: Կարճ ժամանակում կիցքավորված մասնիկների թիվը կտրուկ մեծանում է: Իոնարարն անջատելիս հոսանքը վերանում է, քանի որ առաջացած էլեկտրոնները, հասնելով անոդին, այլևս չեն մասնակցում պարպման պրոցեսին:

Պարպումը շարունակվելու համար անհրաժեշտ է, որպեսզի ընթանա մեկ այլ պրոցես՝ դրական իոնների բախման հետևանքով կաթոդից էլեկտրոնների արձակում, որը հնարավոր է, երբ դրական իոնը ձեռք է բերում կաթոդից էլեկտրոններ պոկելու համար բավարար էներգիա: Արտաքին իոնարարի կարիք այլևս չկա, և ոչ ինքնուրույն պարպումըվերափոխվում է ինքնուրույնի: Կաթոդը կարող է էլեկտրոններարձակել նաև, երբ բավականաչափ տաքացած է:

Կայծակ

Գազի ինքնուրույնպարպման օրինակ է կայծային պարպումը: Կայծային պարպումն առաջանում է, երբ գազում էլեկտրական դաշտի լարվածությունը հասնում է որոշակի Ec կրիտիկական արժեքի, որը կոչվում է միջավայրի ծակման լարվածություն (Օդի համար նորմալ պայմաններում Ec = 3.10^6 Վ/Մ): Կարող է առաջանալ նաև ամպի և երկրի միջև, (լարումը հասնում է 10^8 – 10^9 Վ/Մ, հոսանքի ուժը փոփոխվում է 10^4 – 5.10^5 սահմաններում, առանձին պարպուների տևողությունը 10^{-6} Վ է): Հազվադեպ դիտվում է նաև գնդաձև կայծակ, որն ունի 10-20 սմ տրամագծով գնդի տեսք:

Պլազմա

Պլազման օժտված է մի շարք հատկություններով, որոնց շնորհիվ այն դիտվում է որպես նյութի առանձին ագրեգատային վիճակ: Մասամբ կամ լրիվ իոնացված գազը, որում դրական և բացասական լիցքերի կոնցենտրացիաները գործնականորեն հավասար են: Այն իոններից, էլեկտրոններից և չեզոք ատոմներից կազմված էլեկտրաչեզոք համակարգ է: Պլազմա կարելի է ստանալ գազի տաքացման և տարբեր իոնարարների ազդեցությամբ՝ (գազանման ճառագայթումների, լիցքավորված մասնիկներ և այլն): Պլազման, ի տարբերություն գազերի, օժտված է մեծ ջերմահաղորդականությամբ և էլեկտրահաղորդականությամբ: Ջերմաստիճանը բարձրացնելիս պլազմայի դիմադրությունը փոքրանում է (ի տարբրություն մետաղների), շատ բարձր ջերմաստիճաններում դիմադրությունը փոքրանում է (փոքրանում է, գրեթե հավասարվում է զրոյի) իրեն դրսևորում է որպես գերհաղորդիչ:

10^3 – 10^4 Կ ջերմաստիճան ունեցող պլազման անվանում են ցածր ջերմաստիճանային կամ սառը (բոցը, իոնացված գազը, երկրագունդը շրջապատող իոնոլորտը, աստղերի և գալակտիկաների միջև գտնվող տարածությունը լցնող միջաստղային նյութ և այլն): 10^5 Կ-ից բարձր ջերմաստիճան ունեցող պլազման անվանում են բարձրաջերմաստիճանային կամ տաք (Արեգակի և այլ աստղերի ընդերքում, որտեղ ընթացող ջերմամիջուկային ռեակցիաների հետևանքով անջատվում է հսկայական էներգիա): Այդպիսի ռեակցիաները ընթանում են շատ բարձր (տասնյակ միլիոնավոր Կելվին) ջերմաստիճանում: Նման ջերմաստիճան ունեցող կայուն պլազմայի ստեղծումը թույլ կտա իրականացնել կառավարվող ջերմամիջուկային ռեակցիաներ և ստանալ էներգիայի գործնականում անսպառ աղբյուր:

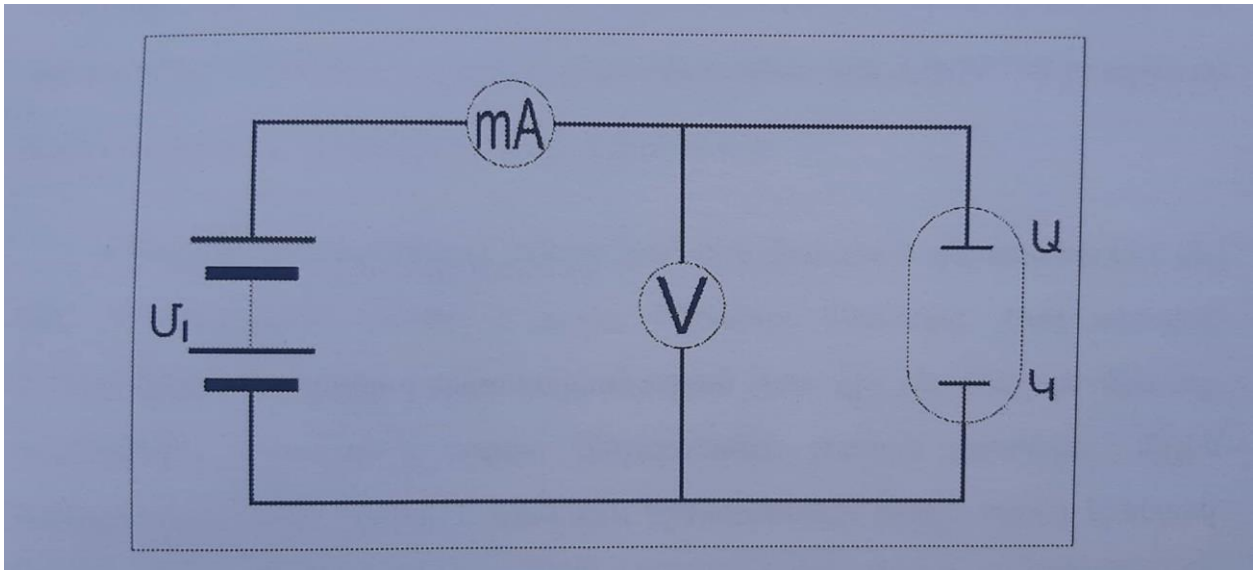
Ներկայումս, լայնածավալ հետազոտություններ են կատարվում այդ ուղղությամբ: Պլազման բնութագրվում է իոնացման աստիճանով (թույլ իոնացված պլազմայում իոնացման աստիճանը 10^{-3} –ի կարգի մեծություն է, իսկ լրիվ իոնացված պլազմայում այն 1-ին մոտ թիվ է): Պլազմայի իոնացման

աստիճանը՝ լիցքավորված մասնիկների կոնցենտրացիայի հարաբերությունն է մասնիկների լրիվ կոնցենտրացիային:

Եթե երկրագնդի վրա պլազման նյութի համեմատաբար հազվադեպ հանդիպող վիճակ է և ստացվում հիմնականում արհեստական ճանապարհով, ապա տիեզերքում պլազմային վիճակում է նյութի 99 %-ը:

Էլեկտրական հոսանքը վակուումում

«Վակուում» ասելով ֆիզիկայում հասկանում են խիստ նոսր գազ, որի մոլեկուլների ազատ վազքի միջին երկարությունը մեծ է գազը պարունակող անոթի չափերից: Փորձից եզրակացնում ենք, որ վակուումում ազատ լիցքակիրներ չկան, հետևաբար՝ վակուումը դիէլեկտրիկ է: Վակուումի էլկտրական հատկություններն ուսումնասիրելու համար կատարեմք այսպիսի փորձ՝ Ա-ն միացնենք U_1 մարտկոցի դրական բևեռին, մյուսը՝ Կ-ն՝ բացասական: Էլեկտրոդները տեղակայենք անոթի մջ, որտեղ ստեղծված է վակուում:



Բանալին փակելուց հետո, չնայած Ա և Կ էլեկտրոդներին կիրառված զգալի լարմանը (մի քանի տասնյակ վոլտ) շղթայով հոսանք չի անցնում: Ի՞նչ տեղի կունենա, եթե էլեկտրոդներից որևէ մեկը դառնա լիցքավորված մասնիկների աղբյուր: Էլեկտրոնները, որ մետաղից են ազատ էլեկտրոնների «շտեմարան» են:

Եթե այդ էլեկտրոնները «պոկվեն» օրինակ էլեկտրոդից (կաթոդից), ապա էլեկտրական դաշտի ազդեցությամբ կկատարեն ուղղորդված շարժում դեպի Ա էլեկտրոդ (անոդ) իրենց ճանապարհին չբախվելով գազի մոլեկուլներին: Անոթում կառաջանա էլեկտրական հոսանք, որը կգրանցի միլիամպերաչափը: Վակուումում էլեկտրական հոսանքն էլեկտրոնների ուղղորդված շարժում է: Սովորական լամպերում վակուումային վիճակ է առաջանում $10^{-6} – 10^{-7}$ մմ սնդիկի սյան ճնշման դեպքում: Բայց որպեսզի ազատ էլեկտրոնները կարողանան հաղթահարել իրենց պահող ուժերը և հռանալ մետաղից անհրաժեշտ է արտաքին աղբյուրից նրանց լրացուցիչ էներգիա հաղորդել, որ պետք է հաղորդել էլեկտրոնին մտաղի մակերևույթից հեռանալու համար, անվանում են էլեկտրոնի ելքի աշխատանք (A_0): Տարբեր մետաղների համար էլեկտրոնի ելքի աշխատանքը տարբեր է. օրինակ՝ ցեզիումի համար այն $2,9 \times 10^{-19}$ Ջ է, արծաթի համար՝ $6,4 \times 10^{-19}$ Ջ է, նիկելի համար՝ $7,8 \times 10^{-19}$ Ջ է:

Միայն այն էլեկտրոնները, որոնց կինետիկ էներգիան գերազանցում է (A_0) ելքի աշխատանքին, կարող է թռչել, հեռանալ մետաղից: իսկ այդպիսի էլեկտրոնները ոչ բարձր ջերմաստիճաններում շատ քիչ են: Սակայն մետաղը տաքացնելիս մեծանում է ազատ էլեկտրոնների ջերմային շարժման միջին կինետիկ էներգիան, աճում է նաև այն էլեկտրոնների թիվը, որոնց կինետիկ էներգիան մեծ է էլեկտրոնների ելքի աշխատանքից: Ուստի բավականաչափ բարձր՝ (700-800°C և ավելի) ջերմաստիճաններում մետաղից դուրս են թռչում մեծ թվով ազատ էլեկտրոններ: Տաքացած մետաղի մակերևույթից ազատ էլեկտրոնների արձակման երևույթը կոչվում է ջերմաէլեկտրոնային առաքում:

Ջերմաէլեկտրոնային առաքման հետևանքով մետաղը ձեռք է բերում դրական լիցք և դեպի իրեն է ձգում էլեկտրոններ: Ցուրաքանչյուր էլեկտրոնի արագությունն սկսում է փոքրանալ, քանի որ էլեկտրոնի վրա ազդող ուժն ուղղված է նրա շարժմանը հակառակ: Մետաղի մակերևույթից որոշ հեռավորություն անցնելուց հետո էլեկտրոնը, այդ նույն ուժի ազդեցության տակ նորից վերադառնում է դեպի մետաղ: Մետաղից դուրս, մակերևույթին մոտ էլեկտրոնների համախումբն անվանում են էլեկտրոնային ամպ, և

մետաղի միջև հաստատվում է շարժուն հավասարակշռության վիճակ, մեծ կինետիկ էներգիայով օժտված էլեկտրոնները դուրս են թռչում մետաղից, իսկ դրսից մետաղի մակերևույթին մոտ էլեկտրոնները, ձգվելով դրական լիցքավորված մտացից, շարժվում են դեպի մտացի ներս: Միավոր ժամանակում մետաղից հեռացող և մետաղ վերադարձող էլեկտրոնների քանակը հավասարվում է: Դրանից հետո էլեկտրոնների բաշխումն էլեկտրոնային ամպում (հավասարվում են) ժամանակից կախված չի փոխվում: Մետաղի մակերևույթից հանալիս էլեկտրոնների կոնցենտացիան զգալիորեն նվազում է: Ջերմաէլեկտրոնային առաքումը վակուումում էլեկտրոններ ստանալու համար վակուումային անոթի կաթոդը պատրաստում են դժվարահալ մետաղի (սովորաբար վոլֆրամ) բարակ թելիկից: Այդ թելիկի ծայրերը հանվում են անոթից և միացվում հոսանքի աղբյուրին (ծիկացման մարտկոցին):

Այն սարքերը, որոնց հիմքում ընկած է ջերմաէլեկտրոնային առաքման երևույթը, կոչվում են էլեկտրոնային լամպեր: Դրանցից պարզագույնը երկէլեկտրոդ էլեկտրոնային լամպն է՝ վակուումային դիոդը: Դիոդներն օգտագործվում են փոփոխական հոսանքներն ուղղելու համար, այսինքն հաստատուն ուղղության հոսանքն ուղղելու համար: Դիոդի կաթոդը օքսիդային է (նրանից էլեկտրոններ է արձակվում նույնիսկ ցածր ջերմաստիճաններում), նրա ճակատը ծածկում են հողալկալիական մետաղների (ստրոնցիումի, բարիումի, կալցիումի և այլն) օքսիդներով և տաքացվում է փոփոխական հոսանքով սնվող ծիկացման թելիկի օգնությամբ:

Անոդը պատրաստվում է սովորական մետաղից և չի տաքացվում:

Էլեկտրոնային լամպերից է եռէլեկտրոդ լամպը (տրիոդը): Տրիոդը ցանց ունեցող էլեկտրոնային լամպն է: Հոսանքը ղեկավարելու նպատակով կաթոդի և անոդի միջև տեղադրվում է ցանց (ավելի մոտ է տեղադրվում կաթոդին՝ նրա նկատմամբ՝ համակենտրոն):

Մյուս էլեկտրոնային լամպերի թվին է պատկանում **<u>էլեկտրոնաճառագայթային</u>** **<u>խողովակը</u>**, որն օգտագործում են էլեկտրոնների փնջի միջոցով օսցիլոգրաֆներում, հեռուստացույցներում,

ռադիոտեղորոշիչ կայանքներում և այլ էլեկտրոնային սարքերում էկրանի վրա պատկերներ ստանալու համար: Իրենից ներկայացնում է լայն հատակով հերմետիկորեն փակված ապակյա անոթ, որից գազը հեռացված է: Խողովակի ներսի մասում տեղավորված է էլեկտրոնային թնդանոթը, որը բաղկացած է տաքացվող կաթոդից և կառավարվող էլեկտրոդից: Կաթոդը տաքացնելիս առաջանում է ջերմաէլեկտրոնային առաքում: Կառավարող էլեկտրոդը հնարավորություն է տալիս կարգավորելու դեպի անոդը թռչող էլեկտրոնների թիվը և օգնում է հավաքել նրանց մի նեղ փնջի մեջ, որը կոչվում է էլեկտրոնային ճառագայթ:

Էլեկտրոնաճառագայթային խողովակի անոդը իրենից ներկայացնում է անցքեր ունեցող մի քանի սկավառակներ, որոնք տեղավորված են մետաղյա սյան մեջ և օգնում են էլեկտրոնային ճառագայթը անոթի հատակի (էկրանի) վրա կենտրոնացնելուն: Բարձր լարման տակ անոդի և կաթոդի միջև առաջացած ազդեցությամբ էլեկտրոնները ձեռք են բերում շատ մեծ արագություն և բախվում լյումինոֆորով պատած էկրանին (էկրանի վրա առաջանում է լուսավոր գիծ):

Էլեկտրական հոսանքը կիսահաղորդիչներում

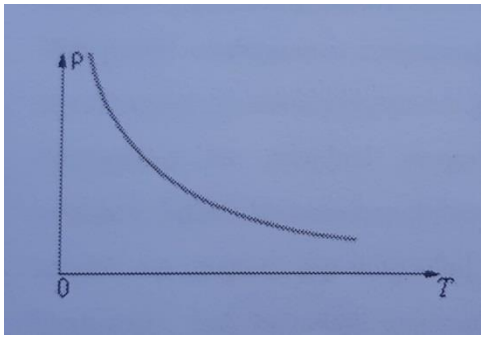
Կիսահաղորդիչներն այն նյութերն են, որոնք միջանկյալ տեղ են զբաղեցնում հաղորդիչների և մեկուսիչների միջև: Կիսահաղորդիչների հաղորդականությունն էապես կախված է նյութի կառուցվածքից, խառնուկների տեսակից և քանակից, ինչպես նաև արտաքին պայմաններից (ջերմաստիճան, լուսավորվածություն, ճնշում, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի առկայություն և այլն):

Կիսահաղորդիչները կարող են լինել ինչպես բյուրեղային, այնպես էլ ամորֆ և հեղուկ նյութերը:

Կիսահաղորդիչներ են քիմիական որոշ տարրերի (սիլիցիում, գերմանիում, սելեն, ֆոսֆոր և այլն) բյուրեղները, օքսիդների, սուլֆիդների, սելենիդների և թելուրիդների մեծ մասը, որոշ համաձուլվածքներ, շատ միներալներ և այլն: Ցածր ջերմաստիճաններում կիսահաղորդիչները մեկուսիչներ են, սակայն դրանց

ամենաբնորոշ հատկությունը ֆիզիկական բնութագրերի խիստ կախումն է արտաքին ազդակներից: Ցածր ջերմաստիճաններում կիսահաղորդիչները ունեն մեծ տեսակարար դիմադրություն, սակայն, ի տարբերություն մետաղների, ջերմաստիճանի բարձրացմանը զուգընթաց, դրանց դիմադրությունը նվազում է (նկ.10): Պատճառը հասկանալու համար անհրաժեշտ է ուսումնասիրել կիսահաղորդիչային բյուրեղի կառուցվածքը:

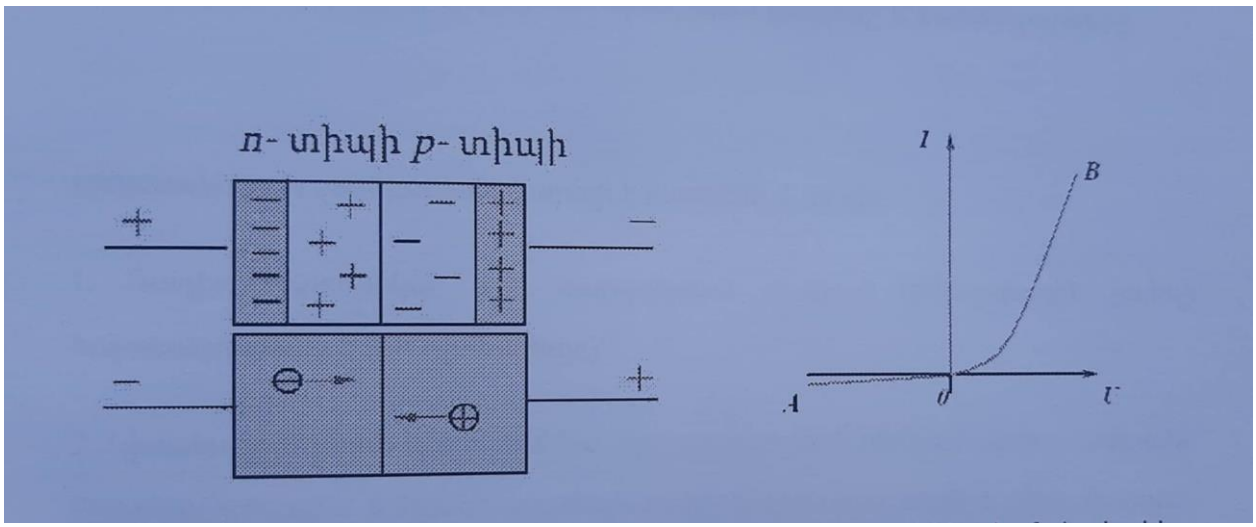
Դիտարկենք գերմանիումի բյուրեղը: Գերմանիումը քառարժեք տարր է, այսինքն՝ դրա ատոմի արտաքին էլեկտրոնային թաղանթում կան չորս արժեքական էլեկտրոններ, որոնք թույլ են կապված միջուկի հետ: Հարևան ատոմների զույգի միջև փոխազդեցությունը տեղի է ունենում կովալենտ կապի միջոցով, ընդ որում, յուրաքանչյուր ատոմ հարևանների հետ առաջացնում է չորս կապ: Այդ կապերը բավական ամուր են: Կիսահաղորդիչը տաքացնելիս կամ լուսավորելիս նրա արժեքական էլեկտրոնների ջերմային շարժման միջին կինետիկ էներգիան աճում է, և էլեկտրոնների մի մասն այդ էներգիայի հաշվին խզում է ատոմների հետ կապը և դառնում ազատ: Ուստի էլեկտրական դաշտի առկայությամբ ազատ էլեկտրոնները կատարում են ուղղորդված շարժում՝ առաջացնելով էլեկտրական հոսանք (էլեկտրոնային հաղորդականություն):



Բացի այս մեխանիզմից, կիսահաղորդիչում հնարավոր է նաև հոսանքի առաջացման մեկ այլ մեխանիզմ: Կովալենտ կապը խզվելիս, խզված տեղում առաջանում է թափուր տեղ՝ պայմանավորված հեռացած էկեկտրոնով: Խզման տիրույթը, որտեղ առաջանում է հավելուրդային դրական լիցք, անվանում են խոռոչ, որի գոյացումը լրացուցիչ հնարավորություն է ընձեռում լիցքի տեղափոխման համար (խոռոչային հաղորդականություն): Էլեկտրոնների և խոռոչների թիվը ջերմաստիճանի աճին զուգընթաց մեծանում է,

հետևաբար՝ մեծանում է կիսահաղորդչի հաղորդականությունը: Այսպիսով՝ էլեկտրական հոսանքը կիսահաղորդիչներում պայմանավորված է էլեկտրոնների և խոռոչների ուղղորդված շարժմամբ:

Եթե կիսահաղորդիչը խառնուկ չի պարունակում, ապա դրա հաղորդականությունն անվանում են սեփական հաղորդականություն: Կիսահաղորդիչներում հաղորդականությունը կախված է խառնուկի առկայությունից: Խառնուկները լինում են դոնորային և ակցեպտորային: Քառարժեք սիլիցիումի դոնորային խառնուկ է հնգարժեք արսենը, որի չորս արժեքական էլեկտրոնները մասնակցում են կովալենտ կապերի ստեղծմանը, իսկ 5-րդ էլեկտրոնը դառնում է հաղորդականության էլեկտրոն: Այս դեպքում կիսահաղորդիչն անվանում են n-տիպի: Քառարժեք սիլիցիումի ակցեպտորային խառնուկ է եռարժք ինդիումը, որի 3 արժեքական էլեկտրոնները մասնակցում են կովալենտ կապերի ստեղծմանը, իսկ 4-րդ կապը մնում է չլրացված: Այդ կապը լրացվում է սիլիցիումի որևէ ատոմի արժեքական էլեկտրոնի օգնությամբ: Սիլիցիումի արժեքական էլեկտրոնի թափուր տիրույթում առաջանում է խոռոչ: Այս դեպքում կիսահաղորդիչն անվանում են p- տիպի: Հետաքրքիր ֆիզիկական բևեռներ են դիտվում տարբեր բնույթի էլեկտրահաղորդականությամբ օժտված երկու կիսահաղորդիչների բաժանման սահմանին, որը հայտնի է որպես n-p անցում: n-p անցումով կիսահաղորդիչի ծայրերին արտաքին լարում կիրառելիս, եթե հոսանքի աղբյուրի դրական բևեռը միացված է n տիրույթին, իսկ բացասականը՝ p տիրույթին, ապա շղթայում հոսանքի ուժը շատ փոքր է (հակադարձ միացում): Բևեռները փոխելիս շղթայով հոսանք կանցնի (ուղիղ միացում): n-p անցման վոլտ-ամպերային բնութագիծը այսպիսի տեսք ունի n-p անցումն օժտված է միակողմանի հաղորդականությամբ:



Կիսահաղորդչային սարքերը լայն կիրառություն ունեն ժամանակակից տեխնիկայի շատ ոլորտներում՝ ռադիոկապ, հեռուստատսություն, ավտոմատիկա, համակարգչային տեխնիկա, տիեզերական հետազոտություններ և այլն: Կիսահաղորդչային դիոդը մեկ **n-p** անցում պարունակող կիսահաղորդիչ է, այն օգտագործում են փոփոխական հոսանքի ուղղման համար: Կիսահաղորդչային տրանզիստորը երեք տիրույթներից (**n-p-n** կամ **p-n-p**) կազմված կիսահաղորդչային բյուրեղ է: Ձախ տիրույթն անվանում են էմիտեր, աջը՝ կոլեկտոր, իսկ այդ տիրույթները բաժանող բարակ շերտը՝ բազա: Կիսահաղորդիչների ֆիզիկական հատկությունների կառավարման բազմապիսի մեթոդները հնարավորություն են տալիս ստանալու նախապես տրված պարամետրերով կիսահաղորդչային բյուրեղներ: Հենց այդ պատճառով կիսահաղորդիչները ծանրակշիռ տեղ են գտել ժամանակակից էլեկտրոնիկայում: Դրանք ունեն մի շարք առավելություններ՝ մեծ ՕԳԳ, փոքր չափեր և զանգված,մեխանիկական մեծ ամրություն, փոքր աշխատանքային լարումներ, իսկ թերությունն այն է, որ բնութագրերը զգայուն են ջերմաստիճանի բարձրացման, էլեկտրական գերբեռնվածությունների և ուժեղ թափանցող ճառագայթումների նկատմամբ:

Էլեկտրոնիկայի զարգացման հիմնական փուլերը և հեռանկարները

Էլեկտրոնիկայի զարգացումը կարելի է բաժանել 4 փուլի.

1. Ռադիոէլեկտրոնիկա, որի զարգացման հիմքում էլեկտրոնային լամպի հայտնագործումն է (Լի դը Ֆորեստ):
2. Կիսահաղորդչային էլեկտրոնիկա, որի զարգացման հիմքում պինդմարմնային կիսահաղորդչային երկբևեռ տրանզիստորի հայտնագործումն է (Ջոն Բարդին, Ուոլտեր Բրատեյն և Ուիլյամ Շոկլի):
3. Միկրոէլեկտրոնիկա, որի զարգացման հիմքում առանց լարերի էլեկտրոնային սարքավորումների պինդ բլոկի (ինտեգրալային սխեմաներ) ստեղծումն է:
4. Նանոէլեկտրոնիկա, որի զարգացման հիմքում կառավարվող ֆիզիկական բնութագրերով կիսահաղորդչային նանոհամակարգերի ստեղծումն է:

Նոր քայլ ֆիզիկայում

Էլեկտրական հոսանքն իրեն կարող է հեղուկի պես դրսևորել: ԱՄՆ-ի Մասաչուսեթսի տեխնոլոգիական ինստիտուտի մասնագետներին հաջողվել է փորձնական ճանապարհով ապացուցել կանխատեսված քվանտային էֆեկտի գոյությունը, համաձայն որի, էլեկտրական հոսանքը վերածվում է ոչ թե մասնիկների, այլ ալիքների շարժման: Ալիքների շարժումը բնորոշ է հեղուկի համար, քանի որ խոշոր մոլեկուլները հրում են միմյանց և կարող են տարբեր հորձանուտներ ստեղծել՝ անկախ հիմնական հոսքի ուղղությունից:

Սակայն էլեկտրոնները չափազանց փոքր են և, հետևաբար, ավելի շատ ենթարկվում են շրջական տարածության ազդեցությանը քան միմյանց: Երբ էլեկտրական հոսանքն անցնում է սովորական մետաղների մեծամասնության և կիսահաղորդիչների միջով հոսանքի մեջ էլեկտրոնների իմպուլսը և ուղիները կախված են այդ նյութում առկա խառնուրդներից և ատոմների միջև տատանումներից: Սակայն, տեսականորեն նման պայմանական, դասական պայմանների բացակայության դեպքում քվանտային էֆֆեկտները պետք է գերակշռեն:

Մասնավորապես էլեկտրոնները պետք է ընկալեն միմյանց նուրբ քվանտային վարքը և շարժվեն միասին՝ որպես մեղրի նման մածուցիկ էլեկտրոնային հեղուկ: Նման վարքագիծը պետք է դրսևորվի գերմաքուր նյութերում և գրեթե զրոյական ջրմաստիճաններում: Սա շատ գրավիչ թիրախ է ճարտարագետների համար, քանի որ նոր ճանապարհ է բացում գերհաղորդիչների ստեղծման համար:

Էլեկտրոնային հորձանուտներ ստանալու համար ուսումնասիրել են վոլֆրամի դիթելյուրդի (WTe2) կոչվող նյութը, որը գերմաքուր մետաղական միացություն է, և ինչպես պարզվել է ցուցադրում է էկզոտիկ էլեկտրոնային հատկություններ, երբ ներկայացված է մկ ատոմի հաստությամբ երկչափ ձևով: Այս նյութի բարակ շերտի վրա փորագրեցին էլեկտրոնների շարժման համար նախատեսված նեղ ճանապարհ, որը երկու

կողմերում ավելացրեցին կլոր թակարդներ: Նմանատիպ փորագրությունն արվեց նաև ոսկու բարակ շերտի վրա:

Հայտնի է, որ ոսկին լավ հաղորդիչ է, և էլեկտրոնները շարժվում էին մեկ ուղղությամբ, իսկ վոլֆրամի դիթելյուրիդի շերտի վրա փորագրված թակարդներում հայտնվելուց հետո էլեկտրոնները սկսում էին պտտվել և հորձանուտներ ձևավորել, ինչի արդյունքում էլ փոխում էին իրենց շարժման ուղղությունը:

Գիտնականները բացառում էին, որ դա հենց կանխատեսված էլեկտրոնային հորձանուտներն են, որոնցում նկատվում են հեղուկին բնորոշ վարքագծի դրսևորումները: Իսկ դա նշանակում է, որ այժմ գիտնականները կարող են սովորել, թե ինչպես կառավարել էլեկտրական հոսանքը բոլորովին նոր ձևով:

Եզրակացություն

Մեծ է էլեկտրական հոսանքի դերը ինչպես մարդու կյանքում, այնպես էլ ժամանակակից տեղեկատվական տեխնոլոգիաների արագընթաց զարգացման, ուսուցման ժամանակակից մեթոդների կիրառման, սովորողների ինքնակրթության, ստեղծագործական մտքի զարգացման գործում:

Անհրաժեշտ է կիրառել ուսուցման գործընթացում այնպիսի տեխնոլոգիաներ, որոնք կբարձրացնեն կրթության արդյունավետությունն ու որակը:

Այդ բոլորը արդյունավետ դարձնելու համար անհրաժեշտ է տիրապետել էլեկտրական հոսանքի բոլոր առանձնահատկություններին և կիրառության ոլորտին:

ՕԳՏԱԳՈՐԾՎԱԾ ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Ղազարյան Է., Կիրակոսյան Ա., Սելիմյան Գ., Մամյան Ա., Մայիլյան Ս., Ֆիզիկա-11: Ավագ դպրոցի 11-րդ դասարանի դասագիրք ընդհանուր և բնագիտամաթեմատիկական հոսքերի համար: Եր., «Էդիթ Պրինտ», 2010-368 էջ:
2. Видеоролик-анимация Электрический ток в металлах., vk.com/video-20083515_165547738
3. Как происходит электролитическая диссоциация www.youtube.com/watch?v=roUPpXiZ6sQ
4. Կիրակոսյան Ա., Էլեկտրական հոսանքը գազերում, Կրթությունը և գիտությունը Արցախում: N3-4, էջ 52-57, 2002:
5. Как работает транзистор https://www.youtube.com/watch?v=4B519vJOHjI
6. Ղազարյան Է., Սարգսյան Հ., Հայրապետյան Դ., Զարմանահրաշ նանոաշխարհ: «Դպրոցական գրադարան» մատենաշար: Եր., «Ասրղիկ գրատուն», 2013-128 էջ: