

ՀՏԴ 53.01

ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԵՎ ԿԻՍԱՀԱՂՈՐԴԻՉՆԵՐԻ ԴԻՄԱԴՐՈՒԹՅԱՆ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ
ԿԱՆՎԱՍՏՈՒԹՅՈՒՆԻՑ ՈՐՈՇ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ
Ֆ. Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ռ. Ս. ՄԱՔԱՆՅԱՆ

**Խ. Արսլյանի անվան հայկական պետական մանկավարժական համալսարան,
0010, Երևան, Տիգրան Մեծի 17
e-mail: fkarapetyan@gmail.com**

Հետազոտվել է *Cu*-ի և *Ge*-ի դիմադրությունների կախումը ջերմաստիճանից: Պարզ փորձնական հետազոտության արդյունքներից որոշվել են մետաղների և կիսահաղորդիչների բավականին կարևոր հաստատուններ՝ դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը, արգելված գոտու լայնությունը, տեսակարար դիմադրությունը, տեսակարար հաղորդականությունը, լիցքակիրների շարժունակությունը և կոնցենտրացիան: Դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածության հետազոտությունները կատարվել են *Cu*-ի և *Ge*-ի համար 20°C - 120°C ջերմաստիճանային տիրույթում: Որոշված պարամետրները օգտագործվում են կիսահաղորդիչների մաքրությունը գնահատելու համար, քանի որ խառնուրդի աննշան քանակը զգալի փոխում է լիցքակիրների կոնցենտրացիան և էլեկտրահաղորդականությունը:

Բանալի բառեր Կիսահաղորդիչներ, մետաղներ, դիմադրություն, ջերմաստիճան, դիէլեկտրիկներ, արգելված գոտու լայնություն, շարժունակություն:

Ներկայացված է խմբագրություն 06.11.2016թ.

Մետաղների և կիսահաղորդիչների էլեկտրահաղորդականության բնույթը հասկանալու համար խիստ կարևոր են նրանց այնպիսի պարամետրեր, ինչպիսին են արգելված գոտու լայնությունը, դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը, տեսակարար հաղորդականությունը, լիցքակիրների շարժունակությունը:

Պինդ մարմինների էլեկտրահաղորդականության գոնային տեսությունը բացատրում է մետաղների և կիսահաղորդիչների հաղորդականության մեխանիզմը:

Հայտնի է, որ [1], քվանտային համակարգում էլեկտրոնների էներգիան չի կարող ընդունել ցանկացած արժեք, այլ միայն դիսկրետ արժեքներ, որոնց անվանում են թույլատրելի էներգիական մակարդակներ: Էլեկտրոնները ենթարկվում են Պաուլիի սկզբունքին. տվյալ քվանտային վիճակում կարող է գտնվել միայն մեկ էլեկտրոն: Սովորաբար մեկ էներգետիկ մակարդակում կարող են գտնվել երկու հակադրահեռ սպին ունեցող էլեկտրոններ: Երբ առանձին ատոմները փոխազդեցության ընթացքում իրար շատ են մոտենում յուրաքանչյուր էներգետիկ մակարդակ տրոհվում է իրար շատ մոտ մակարդակների, որոնք առաջացնում են էներգետիկ գոտիներ: Թույլատրելի գոտիները իրարից բաժանված են որոշ տիրույթով, որում էլեկտրոնները բացակայում են, որը անվանվել է արգելված գոտի: Արգելված գոտու լայնությամբ որոշվում է էլեկտրոնների կապի էներգիան ցանցի իոնների հետ: Կախված արգելված գոտու լայնությունից (ակտիվացման էներգիա) նյութերը բաժանվում են երեք խմբի՝ հաղորդիչներ, կիսահաղորդիչներ և մեկուսիչներ:

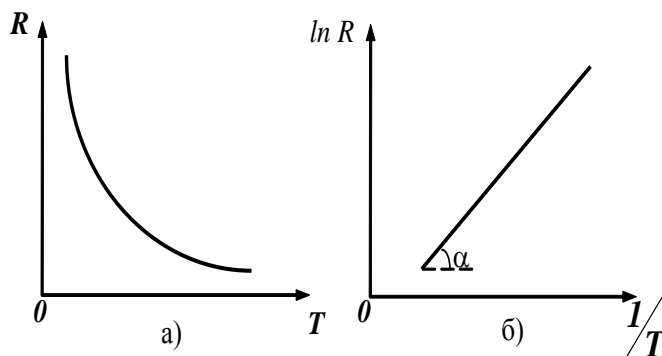
Մետաղներում արգելված գոտու լայնությունը կամ էլեկտրոնների ակտիվացման էներգիան $\sim 10^{-2}$ էՎ կարգի է: Կիսահաղորդիչների մոտ վալենտական գոտին լրացված է ամբողջությամբ, իսկ արգելված գոտու լայնությունը չի գերազանցում 1 էՎ, մեկուսիչներինը մի քանի էլեկտրոնվոլտ է [2]: Որոշելով դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածությունը բավականին պարզ փորձարարական եղանակով կարելի է հաշվել ակտիվացման էներգիան, ինչպես նաև վերը նշած մնացած բոլոր պարամետրերը: Էլեկտրոնին վալենտական գոտուց հաղորդականության գոտի տեղափոխելու համար ակտիվացման ΔE էներգիան որոշվում (1)-ին հավասարումից [2]՝

$$\Delta E = 2k \frac{\Delta \ln R}{\Delta \left(\frac{1}{T}\right)} \quad (1)$$

Որտեղ k -ն Բոլցմանի հաստատունն է, R -ը դիմադրությունը տվյալ ջերմաստիճանում, T -ն բացարձակ ջերմաստիճանը:

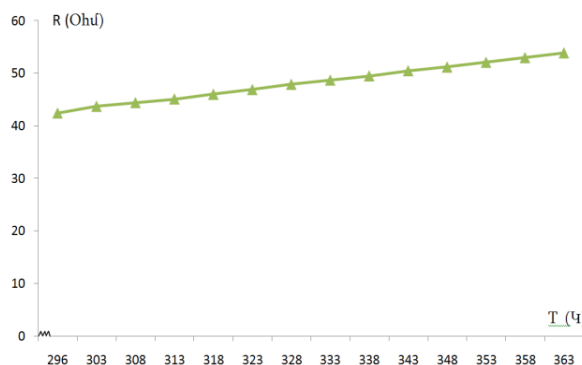
Օգտվելով $R(T) \approx \ln R \left(\frac{1}{T}\right)$ (նկ1) կախվածության գրաֆիկներից կարելի որոշել

$$K = \text{tg } \alpha = \frac{\Delta \ln R}{\Delta \left(\frac{1}{T}\right)} :$$

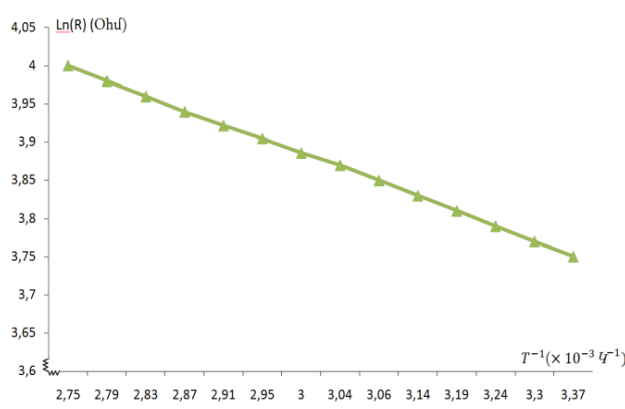


Նկ1. Կիսահաղորդիչների դիմադրության կախումը ջերմաստիճանից

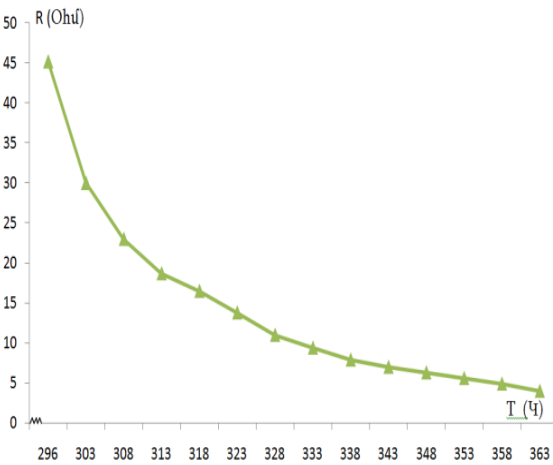
Աշխատանքում ուսումնասիրվել են Cu-ի և Ge-ի դիմադրության ջերմաստիճանային կախումը 20C° - 120C° տիրույթում: Նկ.2 ա-ում բերված է փորձի տվյալների հիման վրա կառուցված պղնձի դիմադրության ջերմաստիճանից կախման գրաֆիկը, նկ.2 բ-ում նույն նմուշի $\ln R$ -ի $\left(\frac{1}{T}\right)$ -ից գրաֆիկը: Նկ.3 ա-ում և նկ.3 բ-ում բերված են գերմանիումի նմուշի համար փորձի արդյունքների հիման վրա կառուցված $R(T)$ և $\ln R \left(\frac{1}{T}\right)$ գրաֆիկները:



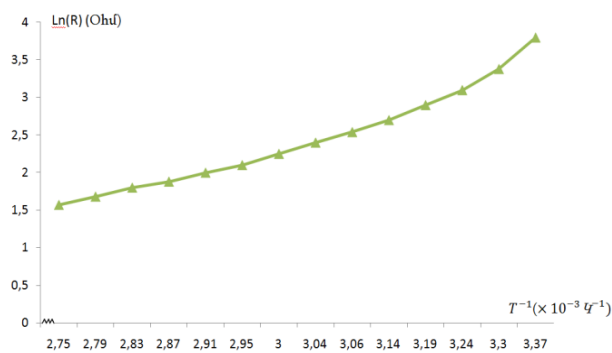
Նկ.2ա. Պղնձի դիմադրության կախումը ջերմաստիճանից



Նկ.2բ. Պղնձի $\ln R$ -ի կախումը $(\frac{1}{T})$ -ից



Նկ. 3 ա. Գերմանիումի դիմադրության կախումը ջերմաստիճանից



Նկ.3բ. Գերմանիումի $\ln R$ -ի կախումը $(\frac{1}{T})$ -ից

Ֆիքսված ջերմաստիճաններում պղնձի դիմադրության արժեքներից որոշվել է տվյալ ջերմաստիճանային տիրույթի համար փորձանմուշի դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը հետևյալ բանաձևից.

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1 t_2 - R_2 t_1} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ աստ}^{-1}$$

Որոշելով K անկյունային գործակիցը, հաշվել ենք պղնձի էլեկտրոնների ակտիվացման էներգիան հետևյալ բանաձևով՝

$$E = 2kK = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 0,25}{0,0006237} = 0,07 \text{ էՎ}:$$

Օգտվելով վերը հաշվարկած α -ի արժեքից, տեսակարար դիմադրության ρ -ի համար ստացվել է՝

$$\rho = 1,7811 \cdot 10^{-8} \text{ Օհմ}\cdot\text{մ}:$$

Տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը որոշվել է հետևյալ արտահայտությունից՝

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = 5,6145 \cdot 10^7 \text{ 1/Օհմ}\cdot\text{մ}$$

Լիցքակիրների կոնցենտրացիայի համար ստացվել է՝

$$n = \frac{\rho N_A}{\mu} = 8,5 \cdot 10^{28} \text{ մ}^{-3}:$$

Մետաղների համար ստացված արդյունքները տեղադրելով ստորև բերված բանաձևում [3], կստանանք պղնձի լիցքակիրների շարժունակությունը՝

$$u = \frac{\sigma}{en} = \frac{5,6145 \cdot 10^7}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,5 \cdot 10^{28}} = 4,128 \cdot 10^{-3} \frac{\text{մ}^2}{\text{Վ}\cdot\text{վ}}$$

Պղնձի համար ստացված արդյունքները համապատասխանում են գրականության մեջ բերված արժեքներին [4]:

Տարբերում են սեփական և խարնուրդային հաղորդականությամբ կիսահաղորդիչներ: Սեփական հաղորդականությամբ կիսահաղորդիչների թվին են պատկանում Ge, Si, Se և այլն: Մեր կողմից հետազոտվող կեսահաղորդիչը Ge-ի մնուշն է:

Ինչպես գիտենք [2] կիսահաղորդիչների տեսակարար հաղորդականությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}$$

կամ $R = R_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}},$

որտեղ ΔE -են ակտիվացման էներգիան է, T -ն ջերմաստիճանն է, k -ն Բոլցմանի հաստատունը, R_0 -ն նմուշի դիմադրությունն է 0°C -ում:

Կիսահաղորդիչների դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածության գրաֆիկից (նկ.3բ) հաշվել ենք կիսահաղորդիչների համար $K = \frac{\Delta \ln R}{\Delta(\frac{1}{T})}$ -ն: 1-ին բանաձևով որոշվել է գերմանիումի ակտիվացման էներգիան՝

$$\Delta E = 2kK = 2k \frac{(\ln R)_{վերջ} - (\ln R)_{սկզբ}}{(\frac{1}{T})_{վերջ} - (\frac{1}{T})_{սկզբ}} = 0,6 \text{ էՎ}:$$

Գերմանիումի դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը $\alpha = \frac{1 \cdot 40,5}{45,2 \cdot 67} = 0,013 \text{ աստ}^{-1}$:

Գերմանիումի տեսակարար էլեկտրահաղորդականությունը որոշվել է հետևյալ արտահայտությունից՝

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = 5,6145 \cdot 10^7 \text{ 1/Օհմ}\cdot\text{մ}:$$

Լիցքակիրների շարժունակությունը որոշվել է $u = \sigma R_H$ [2] արտահայտությունից, որտեղ R_H -ը Հոլի հաստատունն է գերմանիումի համար՝

$$u = \sigma R_H = 58,8 \cdot 6,3 \cdot 10^{-3} = 0,37 \frac{\text{մ}^2}{\text{վ}}$$

Ստացված արդյունքների հիման վրա արվել է հետևյալ եզրակացությունները՝

1. Դիմադրության ջերմաստիճանային կախվածության բավականաչափ պարզ փորձարարական ուստիմնասիրության միջոցով ($20^\circ\text{C} - 120^\circ\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթում) կարելի է որոշել էլեկտրահաղորդականության մեխանիզմները պարզաբանող այնպիսի կարևոր պարամետրեր ինչպիսիքն են տեսակարար դիմադրությունը, և շարժունակությունը, արգելված գոտու լայնությունը (լիցքակիրների ակտիվացիայի էներգիան), դիմադրության ջերմաստիճանային գործակիցը տեսակարար հաղորդականությունը, լիցքակիրների կոնցենտրացիան:

2. Ուսումնասիրությունից ստացված տվյալներից երևում է, որ մետաղների և կիսահաղորդիչների լիցքակիրների արգելված գոտու լայնությունները էապես տարբերվում են իրարից, մետաղների $R(T)$ կախումը տվյալ ջերմաստիճանային տիրույթում գծային է, իսկ կիսահաղորդիչների մոտ նվազում է $R = R_0 e^{\frac{\Delta E}{2kT}}$ օրենքով: Փորձից ստացված արդյունքները համապատասխանում են գրականության [4] մեջ բերված տվյալներին:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. У. В. Савельев, Курс общей физики, т.3 ,Москва, 2001, с. 368.
2. В. В. Андреев, А. А. Балмашов, В. И. Корольков, О. Т. Лоза, В. П. Милантьев, Физическая электроника и ее современные применения, Учебное пособие, Москва, 2008, с.80-104.
3. В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников, Физика полупроводников, Москва, Наука, 1990, с.14, с.41.
4. И.С. Григорьев, Е.З.Михайлов Физические величины. Справочник , Москва ,1991г.

РЕЗЮМЕ
ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОВ И
ПОЛУПРОВОДНИКОВ ИСХОДЯ ИЗ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ
СОПРОТИВЛЕНИЯ
Ф.С. КАРАПЕТЯН, Р.С. САКАНЯН

В работе исследована зависимость сопротивления металлов и полупроводников от температуры. На основании предложенного простого метода исследования температурной зависимости сопротивления были определены следующие важные параметры металлов и полупроводников: ширина запрещенной зоны, удельная проводимость, удельное сопротивление, температурный коэффициент сопротивления, подвижность и концентрация заряженных частиц. Исследования температурной зависимости сопротивления для *Cu* и *Ge* были осуществлены в интервале температур 20°C- 120°C. Некоторые из этих параметров используются для оценки чистоты полупроводников, так как незначительное количество примеси заметно меняют концентрацию заряженных частиц и электропроводность.

SUMMARY
DETERMINATION OF SEVERAL PHYSICAL CHARACTERISTICS OF METALS AND
SEMICONDUCTORS BASED ON THE DEPENDENCE OF RESISTANCE ON TEMPERATURE
F.S.KARAPETYAN, R.S.SAKANYAN

The study analyses the dependence of the resistance of metals and semiconductors on temperature. Based on the experimental results of temperature dependence on resistivity the following important parameters of metals and semiconductors have been identified: the width of the forbidden zone, specific electrical conductivity, specific resistivity, temperature coefficient of resistance, mobility and concentration of charged particles. The study of temperature dependence on resistance for *Cu* and *Ge* were carried out in the temperature range 20°C - 120°C. Some of the identified parameters are used to assess the purity of semiconductors, as even a very small change in consistency significantly change the concentration of charged particles and their electrical conductivity.