

## Lucrarea nr.3 – Proprietățile conductoare ale materialelor

### 1. Scopul lucrării

Studiul variației a 2 mărimi de material, rezistivitatea, respectiv conductivitatea în materiale conductoare și semiconductoare, în funcție de temperatură și studiul variației rezistenței pentru un material semiconductor fotosensibil în funcție de intensitatea luminoasă.

#### Notiuni teoretice

Conducția electrică într-un material constă în apariția unui flux dirijat de purtători mobili de sarcină la aplicarea unui câmp electric,  $E$ . Astfel, apare un curent electric, iar materialul în care are loc acest fenomen fizic se află într-o stare electrocinetică. Proprietățile conductoare ale unui material izotrop sunt descrise cantitativ în domeniul liniar de coeficientul de rezistivitate electrică de volum  $\rho$  sau de mărimea inversă, conductivitatea electrică de volum  $\sigma = \rho^{-1}$ . Aceste mărimi sunt definite de forma locală a legii de conducție electrică:  $J = \sigma \cdot E$  respectiv  $E = \rho \cdot J$  ( $E$  și  $J$  sunt vectori).

Conform teoriei cuantice, rezistivitatea a unui material are expresia: 
$$\rho = \frac{m_n}{n \times q_n^2} \frac{1}{\langle \tau \rangle}$$

În cazul materialelor semiconductoare, purtătorii mobili de sarcină sunt electronii de conducție și golurile, astfel încât:

$$\rho = \left( \frac{m_n}{ne^2} \frac{1}{\langle \tau_n \rangle} + \frac{m_p}{pe^2} \frac{1}{\langle \tau_p \rangle} \right)^{-1} = \frac{1}{e(n\mu_n + p\mu_p)}$$

Concentrația purtătorilor mobili de sarcină crește exponențial cu creșterea temperaturii. Mobilitatea acestor purtători scade în general la creșterea temperaturii după o lege practic liniară. În cazul acțiunii unui flux electromagnetic apare o concentrație suplimentară de purtători mobili de sarcină rezultată în urma interacției electronilor de valență cu fotonii. Totodată, se modifică și mobilitatea efectivă care caracterizează deplasarea dirijată a purtătorilor sub acțiunea câmpului electric. Acest fenomen constituie efectul fotoelectric intern. Modelul benzilor energetice al corpului solid permite descrierea purtătorilor de sarcină.

Conform acestui model, electronii unui atom ocupă diverse nivele energetice care pot fi grupe în benzi energetice:

- banda de valență: electronii de valență sunt fixați în legături covalente, sunt imobili, deci nu pot participa la fenomene de conducție;
- banda de conducție: electronii de conducție sunt electroni liberi, se pot deplasa prin structura internă a materialului, deci participă la fenomenele de conducție;
- banda interzisă: electronii nu pot ocupa nivele energetice în interiorul acestor benzi.

Diagrama benzilor energetice a materialelor permite clasificarea acestora din punct de vedere a conductibilității electrice (proprietatea unui material de a permite trecerea curentului electric) în trei tipuri: conductoare, semiconductoare și izolatoare. În cazul materialelor conductoare, conducția curentului electric este asigurată de electronii de conducție, iar pentru cele semiconductoare și izolatoare – electronii de conducție și goluri. Pentru materialele semiconductoare, valoarea benzii interzise este cuprinsă în intervalul  $EG \leq 0.025-3\text{eV}$ , iar pentru izolatoare,  $EG \geq 2.5-3\text{eV}$ .

Pentru desfășurarea lucrării de laborator vom folosi un multimetru TENMA 72-14610 și un multimetru TENMA 72-13330.

## 2. Tabelul 3-1 și împreună cu relațiile folosite la calcul;

Tabel 3-1

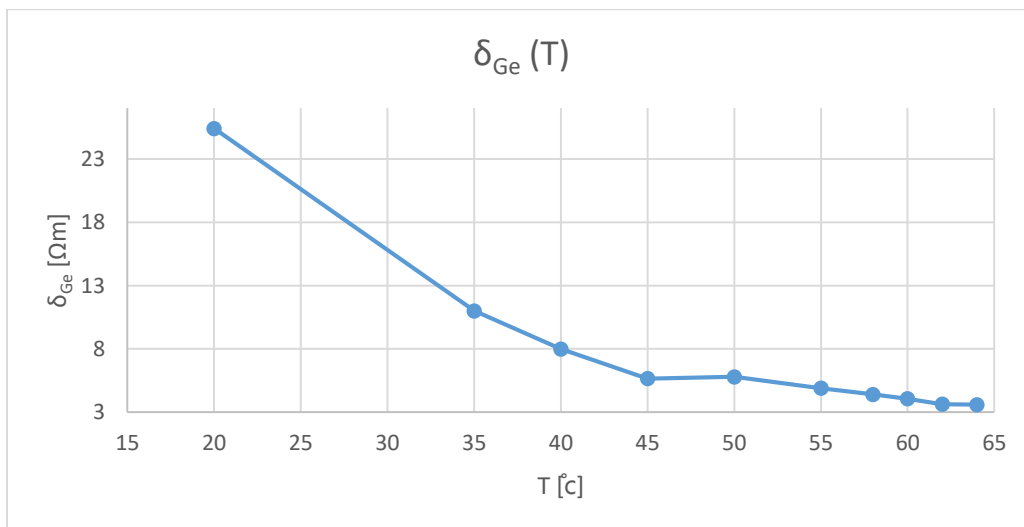
T [°C]		20	35	40	45	50	55	58	60	62	64
Valori masurate	$R_{Ge} [\Omega]$	2540	1100	799	566	580	490	440	407	364	360
	$R_{TiPt} [\Omega]$	119,8	128,5	131.7	135.7	137.2	140.1	141.7	142.8	143.5	144.3
Secțiunea pentru calcule	$\delta_{Ge} [\Omega m]$	25.4	11	7.99	5.66	5.8	4.9	4.4	4.07	3.64	3.6
	$\sigma_{Ge} (\Omega m)^{-1}$	0.039	0.09	0.125	0.176	0.172	0.204	0.227	0.245	0.274	0.277
	$\delta_{TiPt} [\Omega m] * 10^{-6}$	0.1537	0.1649	0.1690	0.17414	0.17606	0.1797	0.1818	0.1832	0.1841	0.18517
	$\sigma_{TiPt} (\Omega m)^{-1} * 10^6$	6.5045	6.0641	5.9167	5.74238	5.6795	5.5620	5.4992	5.4568	5.4302	5.4001

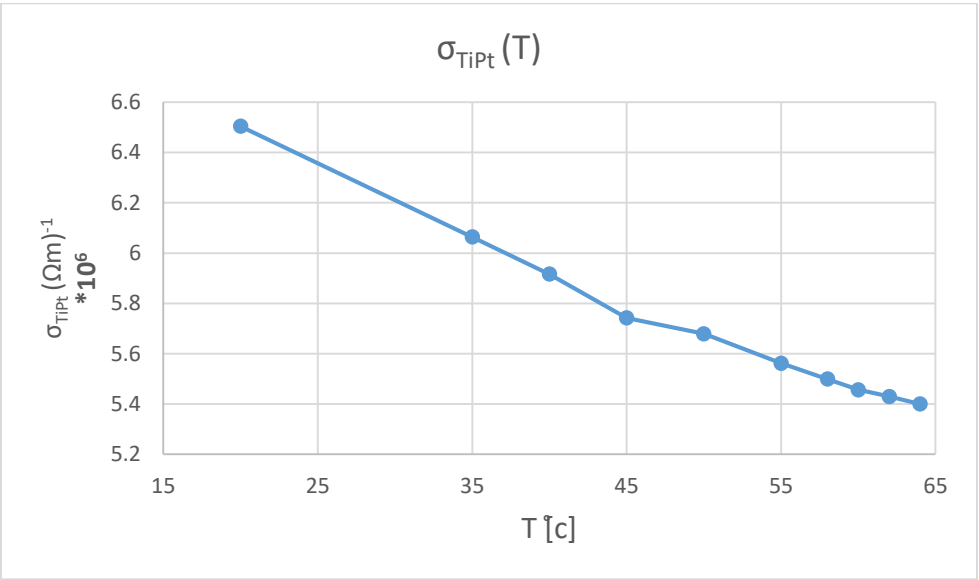
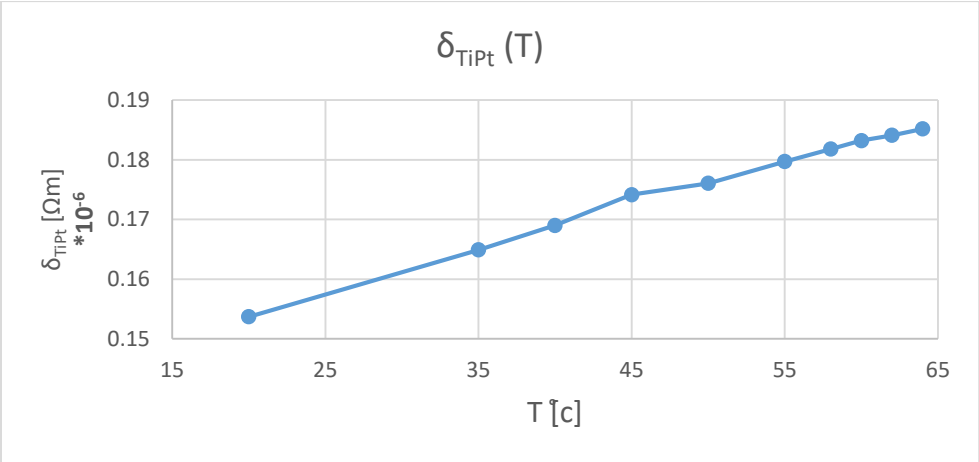
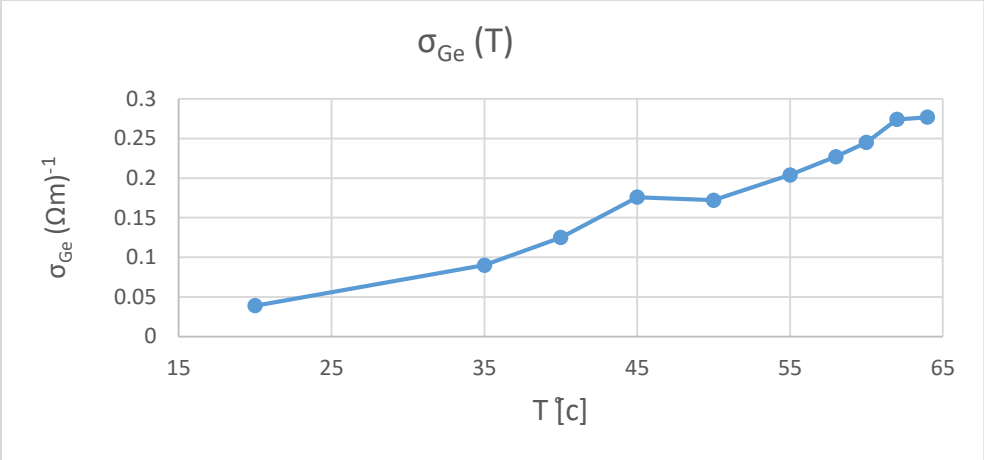
Tabelul a fost completat:

-> având dimensiunile probelor : *proba de Ge* are lungimea  $l = 10 \text{ mm}$  și secțiunea  $S = 10 \times 10 \text{ mm}^2$ , iar *proba de TiPt* are lungimea  $l = 90 \text{ mm}$  și secțiunea  $S = 0,7 \times 0,14 \text{ mm}^2$

-> utilizând următoarele formule :  $R = \rho \frac{l}{S}$  și  $\sigma = \frac{1}{\rho}$

## 3. Dependențele de temperatură ale rezistivității și conductivității pentru probele de germaniu și TiPt ;





#### 4. Calculul coeficientului de temperatură al rezistivității pentru cele două probe;

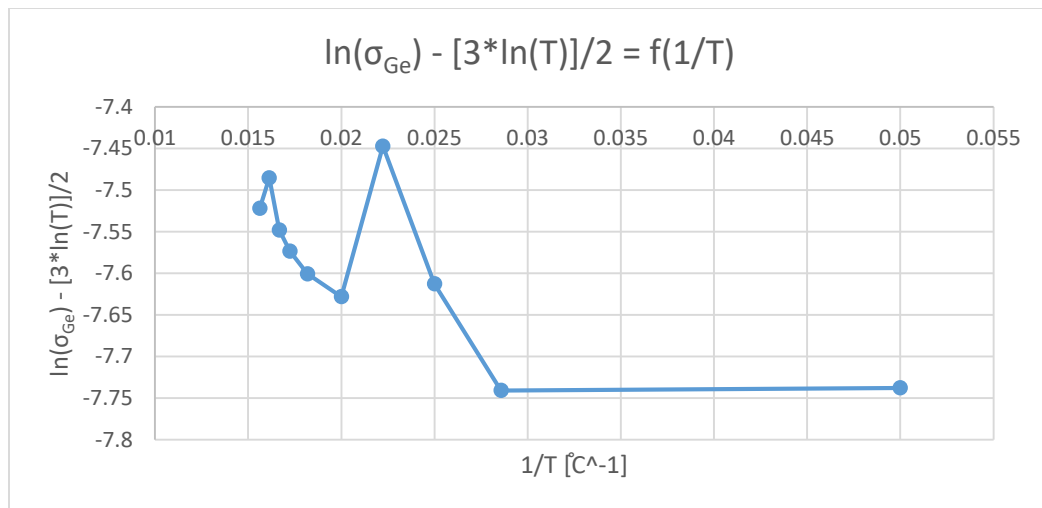
Abaterile se iau în jurul valorii de 60°C și se folosește formula :  $\alpha_\rho = \frac{1}{\rho} * \frac{\Delta\rho}{\Delta T}$

$$\alpha_{Ge} = \frac{1}{4.07} * \frac{3.64-4.4}{62-58} = -0.046 (^{\circ}\text{C})^{-1} / \text{K}^{-1}$$

$$\alpha_{TiPt} = \frac{1}{0.183} * \frac{(0.1841-0.1818)}{62-58} = 0.00314 (^{\circ}\text{C})^{-1} / \text{K}^{-1}$$

#### 5. Graficul pe baza căruia se va calcula banda interzisă a germaniului;

(Ați spus că este opțional. Nu știu dacă este bine, dar am încercat.)



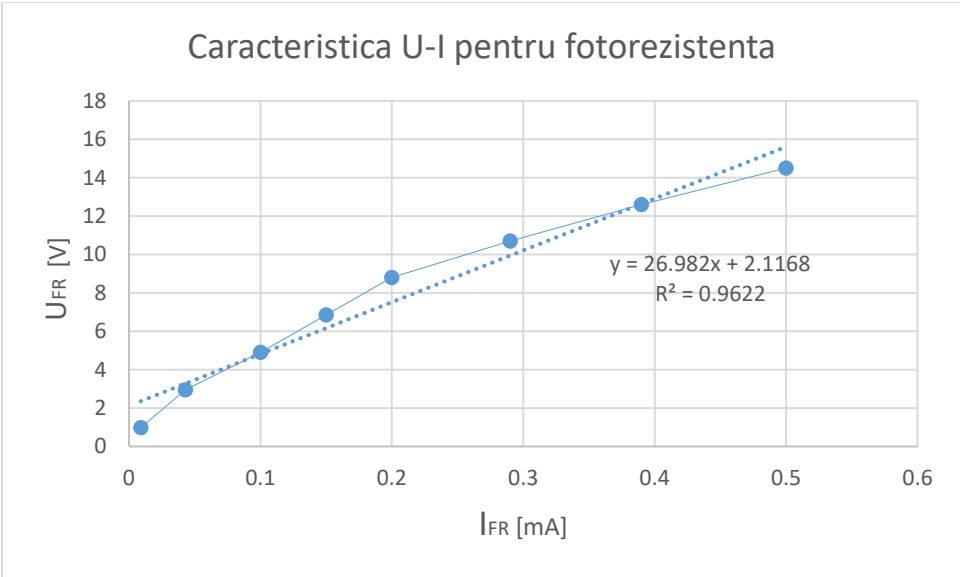
$$E_g = - \frac{\Delta \left[ \ln(\sigma T^{-3/2}) \right]}{\Delta \left( \frac{1}{T} \right)} \cdot 1.725 \cdot 10^{-4} [eV] = 1.0825 \text{ eV}$$

#### 6. Tabelul 3-2 și caracteristica curent-tensiune la întineric pentru fotorezistență, precum și calculul rezistenței la întineric obținută pe baza acestei caracteristici

Tabel 3-2

R = 1 KΩ

U [V]	1	3	5	7	9	11	13	15
U <sub>FR</sub> [V]	0.991	2.957	4.9	6.85	8.80	10.71	12.61	14.50
I <sub>FR</sub> = $\frac{U-U_{FR}}{R}$ [mA]	0.009	0.043	0.1	0.15	0.2	0.29	0.39	0.5



Ecuatia dreptei evidentiata in graficul de mai sus este  $y=26.982x + 2.1168$ , care corespunde dependentei dintre tensiune si intensitate  $U = R \cdot I$ . Ceea ce inseamna ca rezistenta la intuneric reprezinta psnta dreptei, adica  $R = 26.982 \text{ k}\Omega$ .

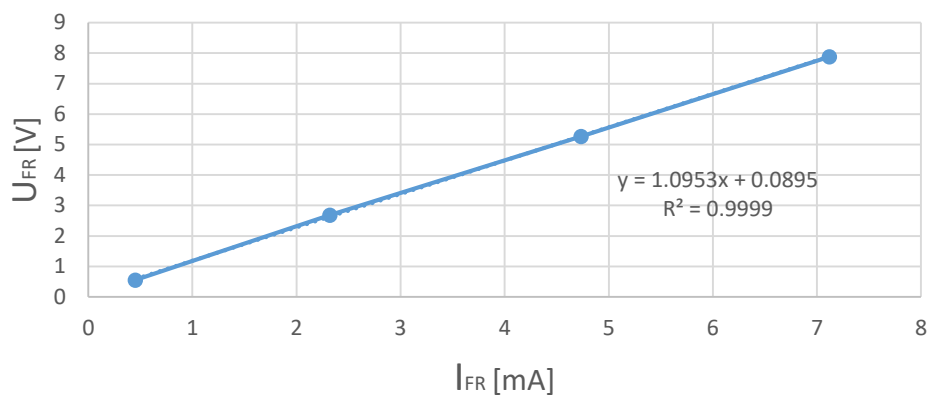
**7. Tabelul 3-3 și graficul cu caracteristicile curent-tensiune pentru fotorezistență la cele 3 valori ale fluxului optic;**

*Tabel 3-3*

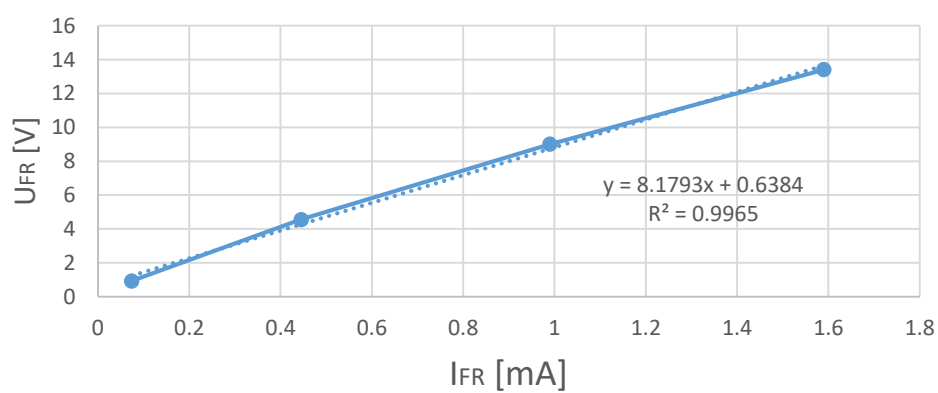
Flux	U [V]	1	5	10	15
$\phi(r_1)$	$U_{FR}$ [V]	0.550	2.680	5.266	7.88
	$I_{FR} = \frac{U - U_{FR}}{R}$ [mA]	0.45	2.32	4.734	7.12
$\phi(r_2)$	$U_{FR}$ [V]	0.926	4.555	9.01	13.41
	$I_{FR} = \frac{U - U_{FR}}{R}$ [mA]	0.074	0.445	0.99	1.59
$\phi(r_3)$	$U_{FR}$ [V]	0.981	4.852	9.65	14.39
	$I_{FR} = \frac{U - U_{FR}}{R}$ [mA]	0.019	0.148	0.35	0.61

$R = 1 \text{ k}\Omega$

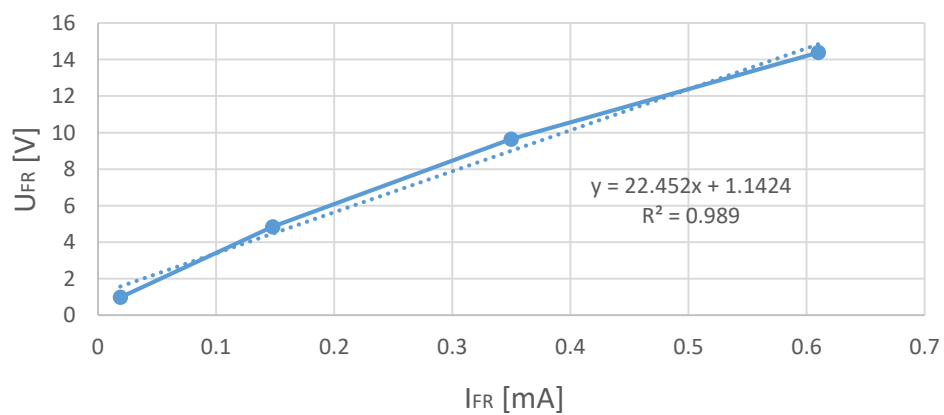
$R_{FR}$  este panta dreptei evidentiata pe fiecare grafic.

Caracteristica curent-tensiune pentru  $\phi(r_1)$ 

$$R_{FR} = 1.0953 \text{ k}\Omega$$

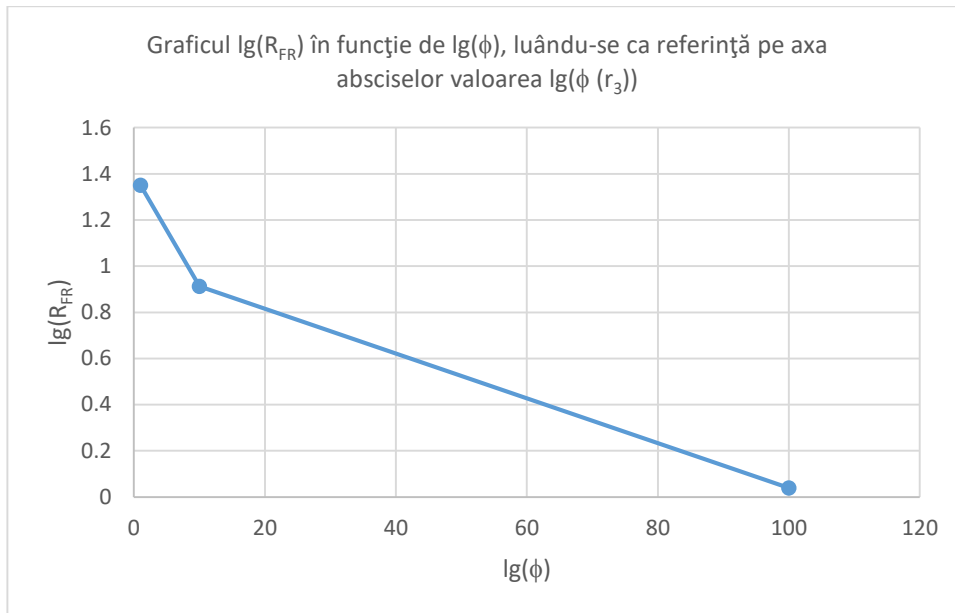
Caracteristica curent-tensiune pentru  $\phi(r_2)$ 

$$R_{FR} = 8.1793 \text{ k}\Omega$$

Caracteristica curent-tensiune pentru  $\phi(r_3)$ 

$$R_{FR} = 22.452 \text{ k}\Omega$$

**8. Graficul  $\lg(R_{FR})$  în funcție de  $\lg(\phi)$ , luându-se ca referință pe axa absciselor valoarea  $\lg(\phi(r_3))$ .**



$$R_{FR1} = 1.0953 \text{ k}\Omega \Rightarrow \lg(R_{FR1}) = 0.039533 \quad R_{FR2} = 8.1793 \text{ k}\Omega \Rightarrow \lg(R_{FR2}) = 0.912716 \quad R_{FR3} = 22.452 \text{ k}\Omega \Rightarrow \lg(R_{FR3}) = 1.351255$$

$$\phi(r_1) = 100\phi(r_3) \text{ și } \phi(r_2) = 10\phi(r_3)$$

**9. Concluzii si comentarii**

În cazul materialului semiconductor (Ge), odată cu creșterea temperaturii, crește și numărul de electroni liberi, datorită energiei termice care le permite electronilor să devină electroni de conducție. Se remarcă scăderea rezistenței și implicit și a rezistivității, fapt datorat creșterii curentului prin material. Conductivitatea fiind mărimea inversă rezistivității, crește.

În cazul probei din metal, a aliajului TiPt, pe măsură ce crește temperatura, electronii care deja formau curentul electric absorb căldură și se produce fenomenul de agitație termică. Curentul deja format prin metal o să scadă, deci conductivitatea o să scadă, iar rezistivitatea va crește.

## 10. Întrebări și probleme

1. Cum se explică faptul că, deși deplasarea purtătorilor mobili de sarcină se face sub acțiunea câmpului electric, mișcarea acestora nu este uniform accelerată, ci uniformă?

Asupra purtătorilor de sarcină acționează, pe lângă forța datorată aplicării câmpului electric extern, și o forță de fricare care determină mișcarea uniformă.

2. Cum se explică faptul că în general mobilitatea purtătorilor mobili de sarcină scade cu creșterea temperaturii?

Agitația termică este fenomenul care se petrece la creșterea temperaturii. Prin această agitație numărul ciocnirilor în rețeaua cristalină crește, fapt care determină scăderea mobilității purtătorilor de sarcină.



### 3. Definiți temperatura Debye.

Temperatura Debye este temperatura luată ca referință pentru a determina probabilitatea proporționalitatea rezistivității cu temperatura.

$$T \ll T^D \Rightarrow \rho \sim T^5$$

$$T \gg T_D \Rightarrow \rho \sim T$$

4. Este justificată utilizarea unui coeficient de temperatură al conductivității pentru metale sau este mai potrivită introducerea unui coeficient de temperatură al rezistivității?

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha (t - t_0))$$

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta \rho}{\Delta T}$$

Rezistența metalelor crește liniar cu temperatura  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  rezistivitatea crește liniar cu temperatura  $\Rightarrow$

$\Rightarrow$  se utilizează coeficientul de temperatură al rezistivității.

6. Precizia cu care se determină valoarea rezistenței fotorezistorului este mai bună dacă se măsoară tensiunea între bornele roșu-negru sau între bornele roșu-verde?

Rezistența fotorezistorului se măsoară cu o precizie mai bună între bornele roșu-negru.

7. Să se precizeze rolul rezistorului montat în serie cu dioda electroluminiscentă.

Un rol important este acela de a măsura curentul care trece prin fotorezistență la o anumită valoare a tensiunii. Alt rol este limitarea curentului.

8. După ce lege se modifică fluxul electromagnetic, emis de dioda electroluminiscentă și care cade pe fotorezistor, cu distanța dintre cele 2 comp.?

Fluxul incident FR. variază după legea proporțională cu  $1/r^2$ .