

Lucrarea 4: Materiale optoelectronice

Scopul lucrării:

Scopul acestei lucrări de laborator este cunoașterea unor materiale folosite în optoelectronică, măsurarea caracteristicilor unor dispozitive optoelectronice: diode luminescente (LED) și fototranzistoare.

Conspectul platformei:

Optoelectronică face referire la dispozitivele optoelectronice care se bazează pe semiconductoare, unde procesele de recombinare emit lumină. Materialele semiconductoare prezintă banda interzisă în structura de benzi energetice și, în funcție de poziționarea maximului benzii de valență (BV) față de minimul benzii de conducție (BC), se împart în:

- a – materiale semiconductoare cu benzi directe la care maximul benzii de valență coincide, din punct de vedere al vectorului de undă k , cu minimul benzii de conducție;
- b – materiale semiconductoare cu benzi indirecte la care maximul benzii de valență este deplasat, din punct de vedere al vectorului de undă k , față de minimul benzii de conducție.

Un LED este o diodă semiconductoare ce emite lumină la polarizarea directă a joncțiunii p-n. Acest efect este o formă de electroluminescență. Astfel un LED face conversia energiei electrice în energie luminoasă.

În cazul LED-urilor, dar și al laserelor semiconductoare, dioda este direct polarizată: ieșirea – radiația luminoasă crește exponențial cu tensiunea aplicată diodei (în cazul unei diode ideale ignorând rezistența parazită) și este influențată de temperatură – factorul care apare la partea exponențială – aceasta dependentă poate fi controlată folosind un mecanism de reacție negativă pentru a obține curentul diodei independent de temperatură.

Recombinarea electron-gol eliberează o cantitate de energie - un foton. Prin urmare, pentru a face un semiconductor să radieze este necesar să susținem recombinarea electron-gol.

Diferența este că în diodele obișnuite, această recombinare eliberează energie sub formă de căldură - nu sub formă de lumină (adică într-un alt domeniu al spectrului). Într-un LED, aceste recombinări eliberează energie sub formă de lumină. Recombinarea generatoare

de caldura se numeste neradiativa, in timp ce recombinarea generatoare de lumina se numeste radiativa. In realitate, in orice dioda au loc ambele tipuri de recombinari; cand majoritatea recombinarilor sunt radiative, avem un LED. Curentul direct injecteaza electroni in regiunea saracita de purtatori, unde ei se recombină cu golurile in mod radiativ sau neradiativ. Prin urmare, recombinările neradiative "consuma" din electronii excitati necesari recombinării radiative, ceea ce scade eficienta procesului. Acest fapt este caracterizat prin eficienta cuantica interna, η_{int} , parametru care arata ce fractie din numarul total de electroni excitati produce fotoni.

Pe scurt, puterea luminoasa, P , este energia per secunda, adica numarul de fotoni înmultit cu energia unui foton, E_p . Numarul de fotoni este egal cu numarul de electroni injectati, N , inmultit cu eficienta cuantica interna.

Ca si diodele, toate tranzistoarele sunt sensibile la lumina. Varianta cea mai comuna este un tranzistor NPN bipolar cu baza expusa. In acest caz, semnalul electric de intrare aplicat pe baza este inlocuit de semnal electromagnetic luminos, deci, un fototranzistor amplifica variatiile de semnalului luminos de intrare.

Desfășurarea lucrării

Determinarea formei semnalelor GT și corelația dintre ele

Generatorul de 16 trepte

Tabel 4.2

Treapta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
U(V)	0	0.45	0.87	1.32	1.77	2.22	2.64	3.09	3.53	3.98	4.41	4.86	5.31	5.76	6.18	6.63

Generatorul de 8 trepte

Tabel 4.3

Treapta	1	2	3	4	5	6	7	8
U(V)	0	0.83	1.67	2.50	3.26	4.1	4.93	5.77

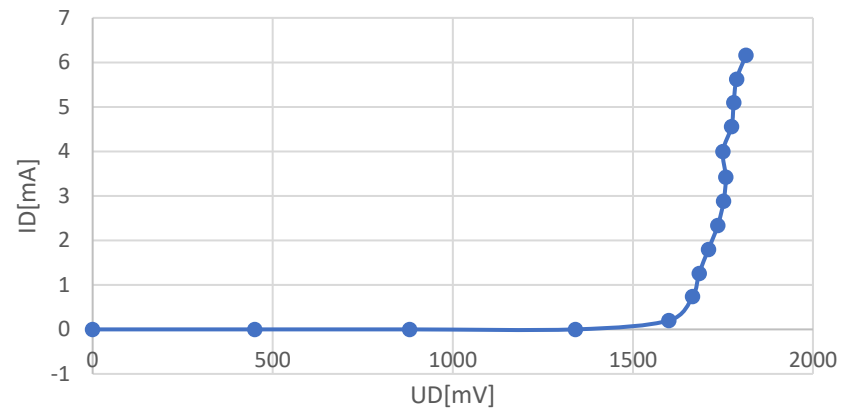
Determinarea caracteristicii $I_D = f(U_D)$ pentru diodele electroluminiscente

Tabel 4.4

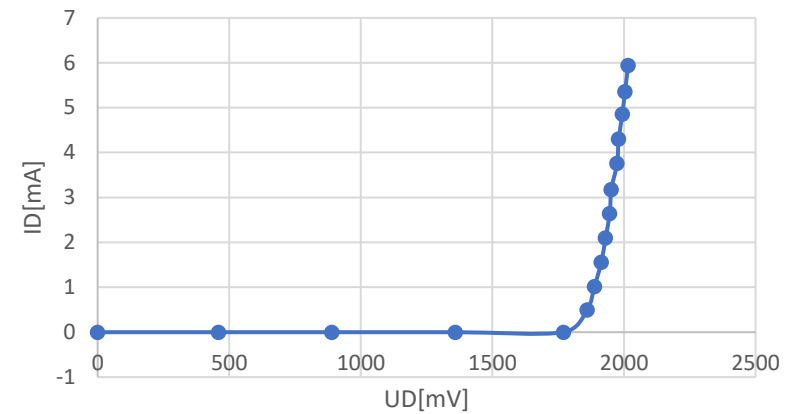
 $R_1=100\Omega$

Treapta		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	U_x [V]	0	0.47	0.89	1.08	1.16	1.24	1.3	1.36	1.42	1.49	1.54	1.61	1.67	1.74	1.79	1.85
Dioda L_I	U_y [mV]	0	0	0	38	92	150	200	254	310	370	422	480	538	592	646	700
	$I_D = U_y/R_1$ [mA]	0	0	0	$0.38 \cdot 10^{-3}$	$0.92 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2.54 \cdot 10^{-3}$	$3.1 \cdot 10^{-3}$	$3.7 \cdot 10^{-3}$	$4.22 \cdot 10^{-3}$	$4.8 \cdot 10^{-3}$	$5.38 \cdot 10^{-3}$	$5.92 \cdot 10^{-3}$	$6.46 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$
	$U_D = U_x - U_y$	0	470	890	1042	1068	1090	1100	1106	1110	1120	1118	1130	1132	1148	1144	1150
	U_x [V]	0	0.45	0.88	1.34	1.62	1.74	1.81	1.89	1.97	2.04	2.1	2.15	2.23	2.29	2.35	2.43
Dioda L_R	U_y [mV]	0	0	0	0	20	74	126	180	234	288	342	400	456	510	562	616
	$I_D = U_y/R_1$ [mA]	0	0	0	0	0.2	0.74	1.26	1.80	2.34	2.88	3.42	4	4.56	5.1	5.62	6.16
	$U_D = U_x - U_y$	0	450	880	1340	1600	1666	1684	1710	1736	1752	1758	1750	1774	1780	1788	1814
	U_x [V]	0	0.46	0.89	1.36	1.77	1.91	1.99	2.07	2.14	2.21	2.27	2.35	2.41	2.48	2.54	2.61
Dioda L_V	U_y [mV]	0	0	0	0	0	50	102	156	210	264	318	376	430	486	536	594
	$I_D = U_y/R_1$ [mA]	0	0	0	0	0	0.5	1.02	1.56	2.1	2.64	3.18	3.76	4.30	4.86	5.36	5.94
	$U_D = U_x - U_y$	0	460	890	1360	1770	1860	1888	1914	1930	1946	1952	1974	1980	1994	2004	2016
	U_x [V]	0	0.45	0.88	1.35	1.88	2.25	2.59	2.74	2.84	2.92	3	3.08	3.15	3.24	3.3	3.39
Dioda L_A	U_y [mV]	0	0	0	0	0	0	0	60	108	162	212	266	318	378	430	484
	$I_D = U_y/R_1$ [mA]	0	0	0	0	0	0	0	0.6	1.08	1.62	2.12	2.66	3.18	3.78	4.3	4.84
	$U_D = U_x - U_y$	0	450	880	1350	1880	2250	2590	2680	2732	2758	2788	2814	2832	2862	2870	2906

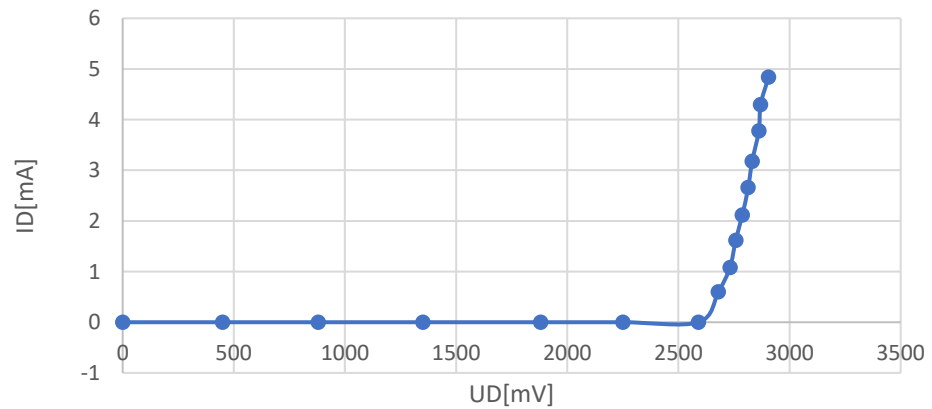
Dependenta IDR(UDR)



Dependenta IDv(UDv)



Dependenta IDA(UDA)

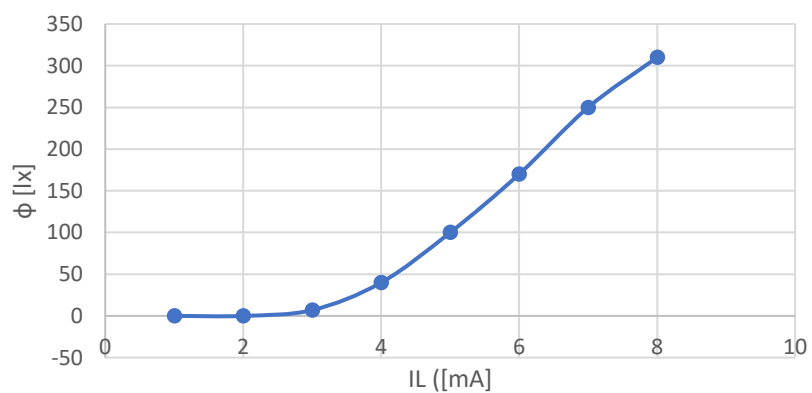


Fluxul în unghi solid emis de diodele electroluminiscente L1 și L2

Tabelul 4-5.

 $R_1 = 100 \, \Omega$ $R_2 = 1,6 \, k\Omega$

Treapta	1	2	3	4	5	6	7	8
U_B [V]	0	0.86	1.15	1.29	1.41	1.52	1.65	1.77
U_A [mV]	0	0	0	96	196	360	556	772
$I_{L1} = U_B / R_1$ [mA]	0	$0.86 \cdot 10^{-5}$	$1.15 \cdot 10^{-5}$	$0.81 \cdot 10^{-5}$	$0.88 \cdot 10^{-5}$	$0.95 \cdot 10^{-5}$	$1.03 \cdot 10^{-5}$	$1.11 \cdot 10^{-5}$
$I_{F1} = U_A / R_2$ [mA]	0	0	0	0.06	0.122	0.225	0.348	0.483
Φ_1 [lx]	0	0	0	20	50	110	200	250
U_A [mV]	0	0	24	82	166	272	396	530
$I_{F2} = U_A / R_2$ [mA]	0	0	0.015	0.051	0.104	0.17	0.247	0.331
Φ_2 [lx]	0	0	7	40	100	170	250	310

Dependenta ϕ (IL)

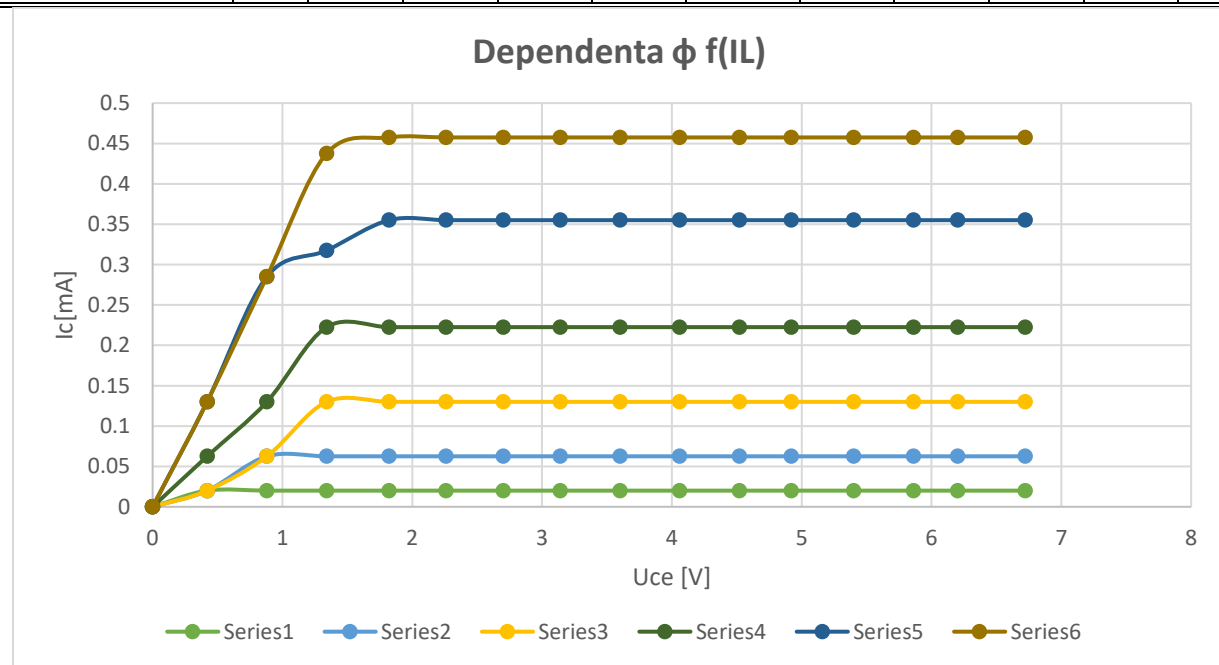
Determinarea caracteristicii $I_c = f(U_{CE})$ pentru fototranzistorul F1

Tabel 4-6

R2=1,6k

Treapta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
U_a [V]	0	0.42	0.88	1.34	1.82	2.26	2.7	3.14	3.6	4.06	4.52	4.92	5.4	5.86	6.2	6.72
U_Y [mV]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$I_c = U_Y / R_2$ [mA]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U_{CE} [V]	0	0.42	0.88	1.34	1.82	2.26	2.7	3.14	3.6	4.06	4.52	4.92	5.4	5.86	6.2	6.72
U_Y [mV]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$I_c = U_Y / R_2$ [mA]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U_{CE} [V]	0	0.42	0.88	1.34	1.82	2.26	2.7	3.14	3.6	4.06	4.52	4.92	5.4	5.86	6.2	6.72
U_Y [mV]	0	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
$I_c = U_Y / R_2$ [mA]	0	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
U_{CE} [V]	0	0.388	0.848	1.308	1.788	2.228	2.668	3.108	3.568	4.028	4.488	4.888	5.368	5.828	6.168	6.688
U_Y [mV]	0	32	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
$I_c = U_Y / R_2$ [mA]	0	0.02	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625	0.0625
U_{CE} [V]	0	0.388	0.78	1.24	1.72	2.16	2.6	3.04	3.5	3.96	4.42	4.82	5.3	5.76	6.1	6.62
U_Y [mV]	0	32	100	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208	208
$I_c = U_Y / R_2$ [mA]	0	0.02	0.0625	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
U_{CE} [V]	0	0.0388	0.78	1.132	1.612	2.052	2.492	2.932	3.292	4.392	4.312	4.712	5.192	5.652	5.992	6.412

U_Y [V]	0	100	208	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356
$I_C = U_Y / R_2$ [mA]	0	0.0625	0.13	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225	0.2225
U_{CE} [V]	0	0.32	0.672	0.984	1.464	1.904	2.344	2.784	3.244	3.704	4.164	4.564	5.044	5.504	5.844	6.364	
U_Y [V]	0	208	456	508	568	568	568	568	568	568	568	568	568	568	568	568	568
$I_C = U_Y / R_2$ [mA]	0	0.13	0.285	0.3175	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355	0.355
U_{CE} [V]	0	0.212	0.424	0.832	1.252	1.692	2.132	2.572	3.032	3.492	3.952	4.352	4.832	5.292	5.632	6.152	
U_Y [V]	0	208	456	700	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772
$I_C = U_Y / R_2$ [mA]	0	0.13	0.285	0.4375	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575	0.4575
U_{CE} [V]	0	0.212	0.424	0.64	1.048	1.488	1.928	2.368	2.828	3.288	3.748	4.148	4.628	5.088	5.428	5.948	



Întrebări și probleme

1. De ce se introduce joncțiunea pn (partea activă a LED-ului) într-o calotă sferică realizată dintr-un material plastic și cum se alege acesta din punct de vedere al indicelui de refracție?

Joncțiunea pn se introduce într-o calotă sferică din material plastic datorită rezistenței la căldură și a transparenței acestuia, iar indicele de refracție trebuie să fie cât mai mic.

2. Dacă un LED emite lumină cu lungimea de undă 550 nm, care este energia benzii interzise a materialului din care este realizat LED – ul?

Handwritten calculation for the bandgap energy $E_c - E_v$ of an LED emitting at $\lambda = 550 \text{ nm}$:

$$\textcircled{2} \quad E_c - E_v = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

$$E_c - E_v = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{550 \cdot 10^{-9}}$$

$$E_c - E_v = 9,036 \cdot 10^{-14} \text{ J} = 36 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$E_c - E_v = 2,25 \text{ eV}$$

3. Dacă un LED emite lumină cu lungimea de undă 550 nm și un altul 600 nm, comparați valorile benzilor interzise corespunzătoare materialelor din care sunt realizate cele 2 LED-uri.

③ $\lambda_1 = 550 \text{ nm}$ - pt. ledul 1
 $\lambda_2 = 600 \text{ nm}$ - — 2

Pt. ledul 1 am calculat la ex 2:
 $E_c - E_v = 2,25 \text{ eV}$

Pt. ledul 2:

$$E_c - E_v = h \cdot \nu = h \cdot \frac{c_0}{\lambda}$$

$$E_c - E_v = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot \frac{3 \cdot 10^8}{600 \cdot 10^{-9}}$$

$$E_c - E_v = 33,02 \cdot 10^{-20} \text{ J}$$

$$E_c - E_v = 2,06 \text{ eV}$$

Pentru LED-ul 1 valoarea benzii este mai mare fata de valoarea corespunzatoare materialului din care este realizat LED-ul 2.

4. Se consideră un LED pe GaAs. Banda interzisă a GaAs este 1.42eV. Variația acesteia cu temperatura are loc după legea $\frac{E_g}{dT} = -4.5 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$. Să se determine variația lungimii de undă emise dacă temperature variază cu 10°C.

$$\begin{aligned}
 \textcircled{3} \quad E_g &= \frac{h \cdot c_0}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{h \cdot c_0}{E_g} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,42 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 874 \text{ nm} \\
 \frac{d\lambda}{dt} &= \frac{d}{dt} \left(\frac{h \cdot c_0}{E_g} \right) = h \cdot c_0 \cdot \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{E_g} \right) = \frac{-h \cdot c_0}{E_g^2} \cdot \frac{dE_g}{dt} \\
 \frac{d\lambda}{dt} &= \frac{h \cdot c_0}{E_g^2} \cdot 4,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = \frac{874 \cdot 10^{-9}}{1,42 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \\
 \frac{d\lambda}{dt} &= 927 \text{ nm/s} \\
 \frac{d\lambda}{dt} &= \frac{\Delta \lambda}{\Delta t} \Rightarrow \Delta \lambda = \Delta t \cdot \frac{d\lambda}{dt} = 10 \cdot 927 \\
 \Delta \lambda &= 927 \text{ nm}
 \end{aligned}$$

5. Exemplificați materiale semiconductoare cu structură de benzi directă, respectiv indirectă.

Materiale cu structura de benzi directă : GaP, AlAs, GaAs, InP, AlGaAs, InGaAsP

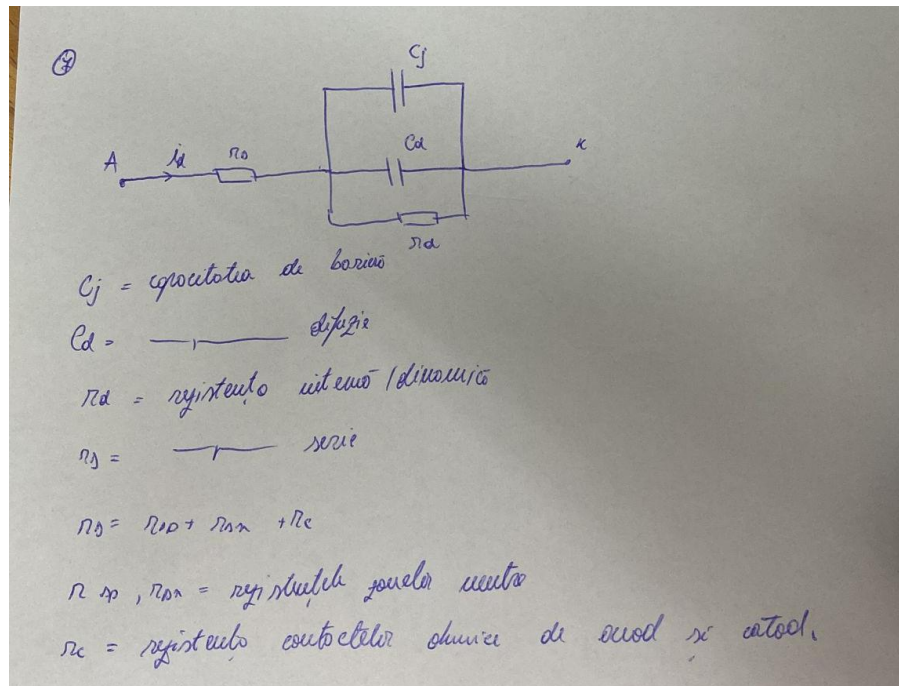
Materiale cu structura de benzi indirectă: Si

6. Ce este electroluminescența?

Un LED este o diodă semiconductoare ce emite lumină la polarizarea directă a joncțiunii p-n. Acest efect este o formă de electroluminescență. Astfel un LED face conversia energiei electrice în energie luminoasă

Electroluminescența este fenomenul de conversie a energiei electrice în energie luminoasă.

7. Schema echivalentă de semnal mic a unui LED.



8. Ce sunt diodele superluminescente?

Sunt dispozitive optoelectronice care implica emisia spontana a luminii (la fel ca in cazul LED-urilor), dar pe care o amplifica printr-un ghid de unda optic.

9. Care sunt cele două configurații de bază pentru structurile pentru LED-uri?

Cele doua configuratii sunt Edge emitting LED structure si Surface emitting LED structure

10. Exemplificați cel puțin cinci aplicații ale LED-urilor.

LED-urile se folosesc la masini, instalatii, panouri, semafor, iluminatul in cladiri.