

## 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, precum și prezentarea unor aplicații ale dispozitivelor optoelectronice cu placa de test EasyPIC 4.

### Noțiuni teoretice

Prin “optoelectronică” înțelegem numai dispozitivele optoelectronice bazate pe semiconductoare, unde procesele de recombinare emit lumină. Acest proces de radiație este numit emisie spontană a luminii, pentru că are loc statistic fără alte ingrediente în afara electronilor și golurilor.

Materialele semiconductoare prezintă o structură de benzi energetice, și funcție de poziționarea maximului benzii de valență (BV) față de minimul benzii de conducție (BC) se împart în materiale directe la care maximul BV coincide cu minimul BC și materiale indirecte la care maximul BV este deplasat față de minimul BC.

Siliciul este un material indirect și energia emisă nu produce fotoni în cantitate apreciabilă și, ca urmare, nu este folosit în aplicații pentru optoelectronică. Aceasta este parțial adevărat, deoarece există materiale semiconductoare indirecte care emit suficienți fotoni pentru a fi folosite în aplicații practice în optoelectronică. Dar, încă o dată, în general, se folosesc materiale directe de la care se așteaptă ca recombinarea să aibă ca rezultat emisia luminii.

### Lungimea de undă a radiației emise

Dacă lumina este produsă prin recombinarea bandă-bandă, este valabilă relația:

$$h \cdot \nu = E_c - E_v \quad (4.1)$$

și folosind relația:

$$C_{\text{mat}} = \nu \cdot \lambda \quad (4.2)$$

$C_{\text{mat}}$  = viteza luminii în material =  $c_0/n$ ,  $c_0$  = viteza luminii în vid și  $n$  = indicele de refracție al materialului, se obține:

$$\lambda = h \cdot c_0 / n \quad (4.3) \text{ Dacă recombinarea are loc între alte stări energetice,}$$

simpliciter, se înlocuiește  $E_c - E_v$  cu  $\Delta E$ , diferența relevantă de energie.

### Ledul și fotorezistorul

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 temperatura – factorul care apare la partea exponențială – această dependență 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 recombinația electron-gol. Banda de modulație, BW, este intervalul de frecvențe de modulație în cadrul căruia puterea electrică detectată scade la -3dB. În cazul unui LED, aceasta este limitată de timpul de viață al purtătorilor. Explicația fizică a acestui principiu este următoarea: presupunem că un electron este excitat în banda de conducție; lui îi ia  $\tau$  ns până când să cadă în banda de valență prin recombinație. În acest interval de timp nu se poate modifica starea lui, astfel încât chiar dacă se întrerupe curentul direct, trebuie așteptat  $\tau$  ns până când radiația va înceta practic.

Ca și diodele, toate tranzistoarele sunt sensibile la lumină. Fototranzistoarele sunt concepute special pentru “a profita” de acest fapt. Varianta cea mai comună este un tranzistor NPN bipolar cu baza expusă. În acest caz, semnalul electric de intrare aplicat pe bază este înlocuit de semnal electromagnetic luminos, deci, un fototranzistor amplifică variațiile de semnalului luminos de intrare. Fototranzistoarele au funcție similară cu fotodiodele – acestea au câștig mult mai mic, dar au timpi de răspuns mai mici

#### Aparatura de măsură și control folosită

- osciloscop GOS -635G 35MHz GW Instek sau osciloscop numeric DSO 3102 A, 100 MHz, Agilent
- Multimetru tip PM 2423
- Placa de test care conține diodele și fototranzistoarele măsurate

- Multimetru tip HM 8112-3
- Generator de trepte
- Placa de test EasyPIC 4

#### Desfășurarea lucrării

**Tabelul 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

**Tabelul 4-3**

Treapta	1	2	3	4	5	6	7	8
U(V)	0	0.83	1.67	2.5	3.26	4.1	4.93	5.77

Tabelul 4-4

R1=100Ω

Treapta			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	U <sub>x</sub>	[V]	0	0.45	0.87	1.32	1.59	1.69	1.77	1.85	1.93	1.99	2.06	2.12	2.19	2.26	2.32	2.38
<b>Dioda</b> <b>L<sub>R</sub></b>	U <sub>y</sub>	[V]	0	0.001	0.006	0.03	0.07	0.12	0.17	0.23	0.28	0.31	0.33	0.39	0.44	0.5	0.55	0.60
	I <sub>D</sub> =U <sub>y</sub> /R <sub>1</sub>	[mA]	0	0.01	0.06	0.3	0.7	1.2	1.7	2.3	2.8	3.1	3.3	3.9	4.4	5	5.5	6
	U <sub>D</sub> =U <sub>x</sub> - U <sub>y</sub>	[V]	0	0.449	0.864	1.29	1.52	1.57	1.6	1.62	1.65	1.68	1.73	1.73	1.75	1.76	1.77	1.78
	U <sub>x</sub>	[mV]	0	0.45	0.87	1.32	1.73	1.86	1.94	2.02	2.09	2.17	2.23	2.3	2.37	2.43	2.49	2.56
<b>Dioda</b> <b>L<sub>v</sub></b>	U <sub>y</sub>	[mV]	0	0	0	0	5.56	50.75	99.38	150	200	260	310	360	420	470	520	580
	I <sub>D</sub> =U <sub>y</sub> /R <sub>1</sub>	[mA]	0	0	0	0	0.056	0.05	0.1	1.5	2	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7	5.2	5.8
	U <sub>D</sub> =U <sub>x</sub> - U <sub>y</sub>	[mV]	0	0.45	0.87	1.32	1.72	1.81	1.84	1.87	1.89	1.91	1.92	1.94	1.95	1.96	1.97	1.98
	U <sub>x</sub>	[V]	0	0.45	0.87	1.32	1.76	2.21	2.55	2.69	2.78	2.87	2.95	3.03	3.1	3.17	3.24	3.31
<b>Dioda</b> <b>L<sub>A</sub></b>	U <sub>y</sub>	[mV]	0	0	0	0	0	0	12.8	37.47	106.91	159	200	260	310	360	420	470
	I <sub>D</sub> =U <sub>y</sub> /R <sub>1</sub>	[mA]	0	0	0	0	0	0	0.13	0.58	1.07	1.59	2	2.6	3.1	3.6	4.2	4.7
	U <sub>D</sub> =U <sub>x</sub> - U <sub>y</sub>	[mV]	0	0.45	0.87	1.32	1.76	2.21	2.54	2.63	2.68	2.71	2.75	2.77	2.79	2.81	2.82	2.84

Tabelul 4-5.

$R_1 = 100 \, \Omega$

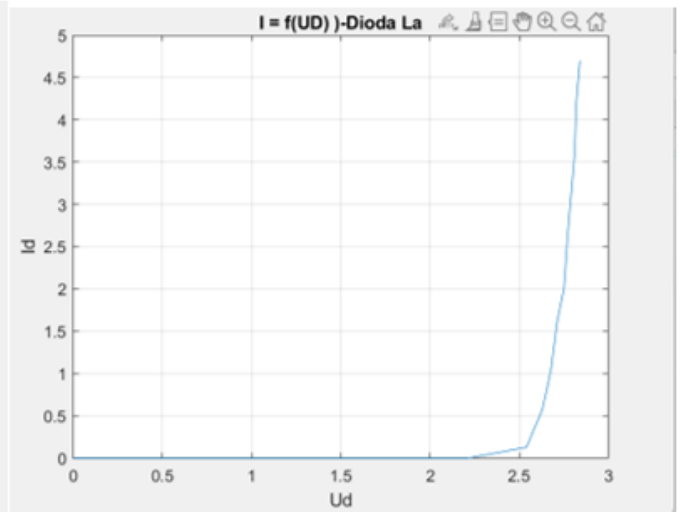
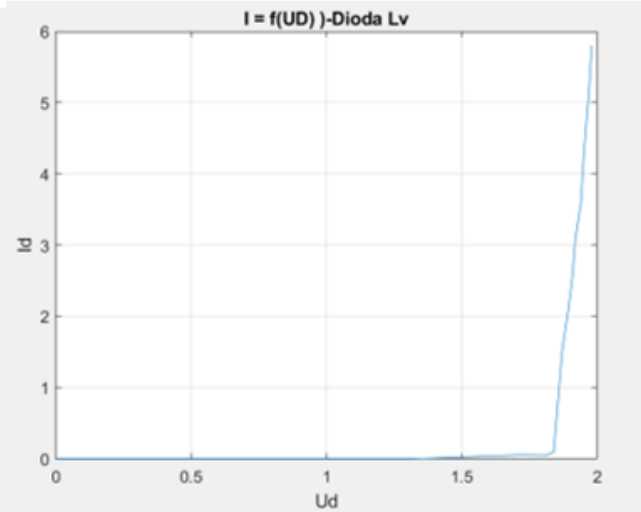
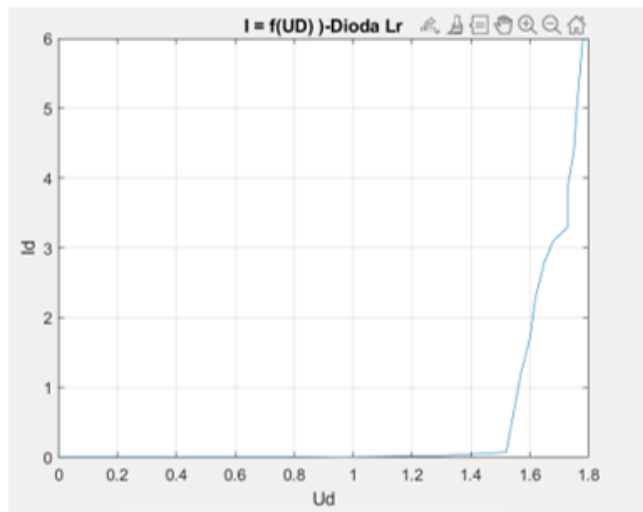
$R_2 = 1.6 \, k\Omega$

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	8.6	11.5	12.9	14.1	15.2	16.5	17.7
$I_{F1} = U_A / R_2$ [mA]	0	0	0	0.006	0.1225	0.225	0.3475	0.4825
$\Phi_1$ [lx]								
$U_A$ [mV]	0	0	24	82	166	272	396	530
$I_{F2} = U_A / R_2$ [mA]	0	0	0.15	0.05125	0.10375	0.272	0.396	0.530
$\Phi_2$ [lx]								



$I_c =$ $U_Y / R_2$ [mA]	0	20	62.5	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
$U_{CE}$ [V]	0	- 31.58	- 99.12	- 206.6 6	- 206.1 8	- 205.7 4	- 205. 3	- 204.8 6	- 204.4	- 203.9 4	- 203.4 8	- 203.0 8	- 202. 6	- 202.1 4	- 201. 8	- 201.2 8
$U_Y$ [V]	0	100	208	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356	356
$I_c =$ $U_Y / R_2$ [mA]	0	62.5	130	222.5	222.5	222.5	222. 5	222.5	222.5	222.5	222.5	222.5	222. 5	222.5	222. 5	222.5
$U_{CE}$ [V]	0	- 99.58	- 207.1 2	- 354.6 6	- 354.1 8	- 353.7 4	- 353. 3	- 352.8 6	- 352.4	- 351.9 4	- 351.4 8	- 351.0 8	- 350. 6	- 350.1 4	- 349. 8	- 349.2 8
$U_Y$ [V]	0	208	456	508	568	568	568	568	568	568	568	568	568	568	568	568
$I_c =$ $U_Y / R_2$ [mA]	0	130	285	317.5	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355
$U_{CE}$ [V]	0	- 207.5 8	- 455.1 2	- 506.6 6	- 566.1 8	- 565.7 4	- 565. 3	- 564.8 6	- 564.4	- 563.4	- 563.4 8	- 563.0 8	- 562. 6	- 562.1 4	- 561. 8	- 561.2 8
$U_Y$ [V]	0	208	456	700	732	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772	772
$I_c =$ $U_Y / R_2$ [mA]	0	130	285	437. 5	457. 5	482. 5	482.5	482.5	482.5	482.5	482.5	482.5	482. 5	482. 5	482. 5	482.5
$U_{CE}$ [V]	0	- 207.5 8	- 455.1 2	- 698.6 6	- 730.1 8	- 769.7 4	- 769. 3	- 768.8 6	- 768.8 4	- 767.9 4	- 767.4 8	- 767.0 8	- 766. 6	- 766.1 4	- 765. 8	- 765.2 8

### Graficele corespunzatoare tabelului 4-4



Intrebari si exercitii

1. Joncțiunea pn (partea activă a LED-ului) se introduce într-o calotă sferică realizată dintr-un material plastic cu un indice de refracție foarte mare pentru a păstra toată căldura și toate undele care sunt emise.

$$2. E_{Bi} = E_C \cdot E_V = h\lambda = 550 \cdot 10^{-9} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34}$$

$$E_{Bi} = 3,64 \cdot 10^{-30} \text{ eV}$$

$$3. E_{Bi1} = h\lambda_1 = 550 \cdot 10^{-9} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} = 3,64 \cdot 10^{-34} \text{ eV}$$

$$E_{Bi2} = h\lambda_2 = 600 \cdot 10^{-9} \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} = 3,97 \cdot 10^{-34} \text{ eV}$$

$$E_{Bi1} < E_{Bi2}$$

4. Siliciul este un semiconductor indirect.

Gd(gadolinu) este un semiconductor direct.

5. Este un fenomen care duce la conversia energiei electrice în energie luminoasă (la polarizarea directă a joncțiunii pn a LED-ului)

6. Acestea sunt diode care au intensitatea luminoasă mai mare decât la diodele luminescente și au la bază tot joncțiune pn.