Vojtěch Hrubý Úloha 5

Pracovní úkol

1. Změřte voltampérové a světelné charakteristiky připravených luminiscenčních diod v propustném směru a určete, z jakého materiálu jsou jednotlivé diody zhotoveny.
2. Ze změřených V-A charakteristik určete pro jednotlivé diody statický odpor R_d, dynamický odpor R_di, hodnotu konstanty n a prahové napětí U^*
3. Změřte charakteristiky fototranzistoru při třech různých hladinách osvětlení. Určete zisk fototranzistoru.
4. Naměřené charakteristiky zpracujte graficky.

Teoretická část

Luminiscenční dioda má v propustném směru podobnou voltampérovou charakteristiku jako běžná dioda. Lze ji vyjádřit vztahem

$$I_F = I_0\left(\exp\left(\frac{e(U_F - I_F R_S)}{nkT}\right) - 1\right), \tag{1}$$

kde I_F je proud tekoucí diodou, I_0 zbytkový proud, k Boltzmanova konstanta, e náboj elektronu, T termodynamická teplota, U_F napětí na diodě a R_S sériový odpor diody.

Za podmínek $eU_F > 4kT$ a $U_F > I_F R_S$ lze vztah (1) zjednodušit do tvaru

$$I_F = I_0 \exp(\left(\frac{eU_F}{nkT}\right). \tag{2}$$

Tvar charakteristiky závisí na paramteru n, který odpovídá geometrickému uspořádání přechodu, jeho vlastnostem a pod.

Sériový statický odpor je defionván v pracovním bodě charakteristiky

$$R_d = \frac{U_{F_0}}{I_{F_0}}. \tag{3}$$

Sériový dynamický odpor je definován vztahem

$$R_{di} = \left.\frac{\mathrm{d}U_F}{\mathrm{d}I_F}\right|_{I_{F0}} \tag{4}$$

Vztah mezi statickým a dynamickým odporem je

$$R_{di} = R_d \frac{nkT}{eU_F}. \tag{5}$$

Pro n platí

$$n = \frac{e}{kT} \cdot \frac{U_{F_1} - U_{F_2}}{\ln \frac{I_{F_1}}{I_{F_2}}}, \tag{6}$$

Hodnoty U_{F_1}, I_{F_1}, U_{F_2} a I_{F_2} určíme ze dvou dostatečně vzdálených bodů volamprérové charakteristiky.

Polovodičová fotodioda převádí světelnou energii na elektrický proud. Její světelná charakteristika je v širokém rozsahu lineární, a proto ji můžeme použít k relativnímu měření světelného toku.

Ve fototranzistoru je světlo pohlcováno v oblasti báze, kde vznikají páry nadbytečných nosičů náboje, které jsou strhávány polem kolektorového proudu a tvoří tzv. primární fotoproud I_Φ. Výsledný proud v kolektoru je pak dán přibližným vztahem

$$I_{CO} = G \cdot I_\Phi, \tag{7}$$

kde G je zisk fototranzistoru. Fototranzistor použitý v této úloze má vyvedenou bázi. Pokud zkratujeme bázi s emitorem, naměříme na vývodech E a C proud I_Φ.

Měření

Nejprve jsem proměřil voltampérovou a světelnou charakteristiku diod. Použil jsem zapojení ze schématu v [2]. Naměřená data jsou zapsána v tabulce 1 a vynesena do grafů 1, 2 a 3.

Statický odpor diod jsem vypočetl při pracovním bodě 20 mA.

$$R_{d\check{c}} = (82.8 \pm 0.3)\,\Omega, \quad \mathrm{R_{dz}} = (114.5 \pm 0.3)\,\Omega.$$

Faktor n pro červenou diodu jsem určil z napětí $U_{F_1} = 1.615\,\mathrm{V}$ a $U_{F_2} = 1.683\,\mathrm{V}$ při odhadnuté teplotě 297 K

$$n = 2.65 \pm 0.03,$$

pro zelenou ($U_{F_1} = 2.452\,\mathrm{V}$ a $U_{F_2} = 2.086\,\mathrm{V}$)

$$n = 13.2 \pm 0.2.$$

Z těchto hodnot jsem vypočítal dynamický odpor pro červenou diodu

$$R_{di} = (3.38 \pm 0.03)\,\Omega, \quad \text{pro zelenou } R_{di} = (16.8 \pm 0.2)\,\Omega.$$

Prahové napětí jsem odečetl z extrapolace lineární části voltampérové charakteristiky. Pro červenou diodu je

$$U^* = (1.59 \pm 0.1)\,\mathrm{V}, \quad \text{pro zelenou } U^* = (1.94 \pm 0.1)\,\mathrm{V}.$$

Podle hodnot v [2] jsem určil materiály diod. Červená dioda je $GaAs_{0.63}P_{0.37}$, zelená $GaAs_{0.52}P_{0.48}$

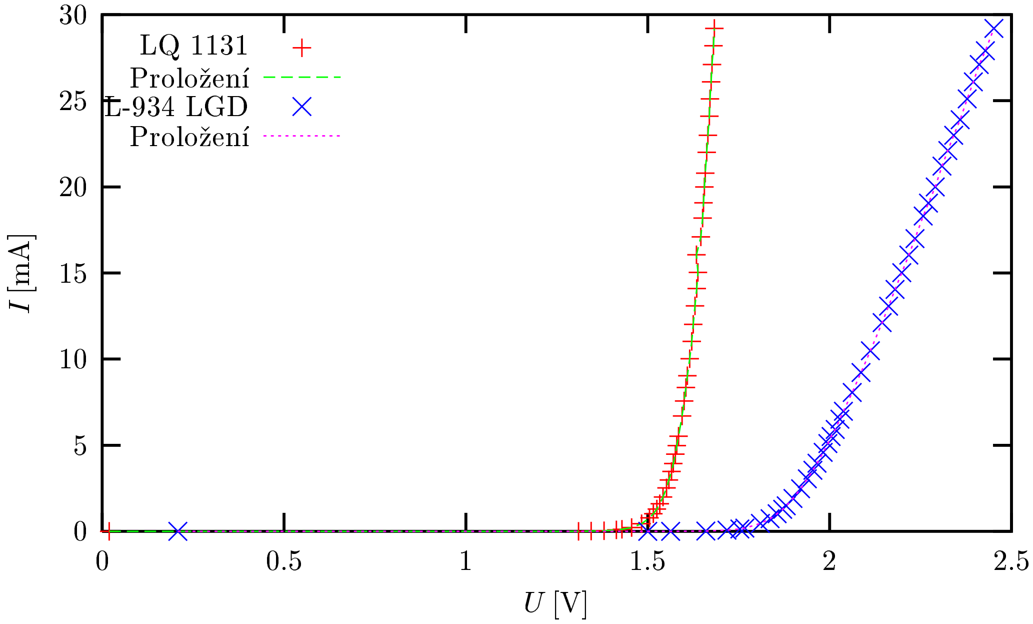
$I_d = 0.198\,\mathrm{mA}$		$I_d = 0.406\,\mathrm{mA}$		$I_d = 0.606\,\mathrm{mA}$	
U [V]	I [μA]	U [V]	I [μA]	U [V]	I [μA]
0.0053	0.00	0.0135	0.05	0.0182	0.20
0.0507	0.10	0.0424	0.40	0.0345	0.60
0.1008	0.23	0.0671	1.10	0.0525	1.50
0.1323	1.75	0.0850	2.25	0.0704	3.25
0.1522	2.75	0.1053	4.50	0.0790	4.25
0.1983	4.75	0.1241	7.5	0.0977	8.0
0.2629	5.50	0.1481	13.0	0.1122	12.5
0.3088	6.0	0.1829	22.8	0.1262	18.0
0.353	6.0	0.2364	30.0	0.1356	22.8
0.401	6.0	0.339	34.5	0.1639	35.0
0.503	6.0	0.403	34.5	0.1911	50.0
0.760	6.0	0.512	35.0	0.2185	65.0
1.004	6.0	1.055	35.0	0.2421	75.0
1.627	6.0	1.558	35.0	0.3015	85.0
1.958	6.0	2.016	35.5	0.514	87.5
2.555	6.1	2.584	36.0	0.711	88.0
3.079	6.1	3.043	36.0	0.999	89.0
3.97	6.1	4.04	36.5	2.042	90.0
5.06	6.4	5.02	37.0	3.07	92.5
				4.04	95.0
				5.17	97.5

Tabulka 2.: Voltampérová charakteristika tranzistoru při různém osvětlení

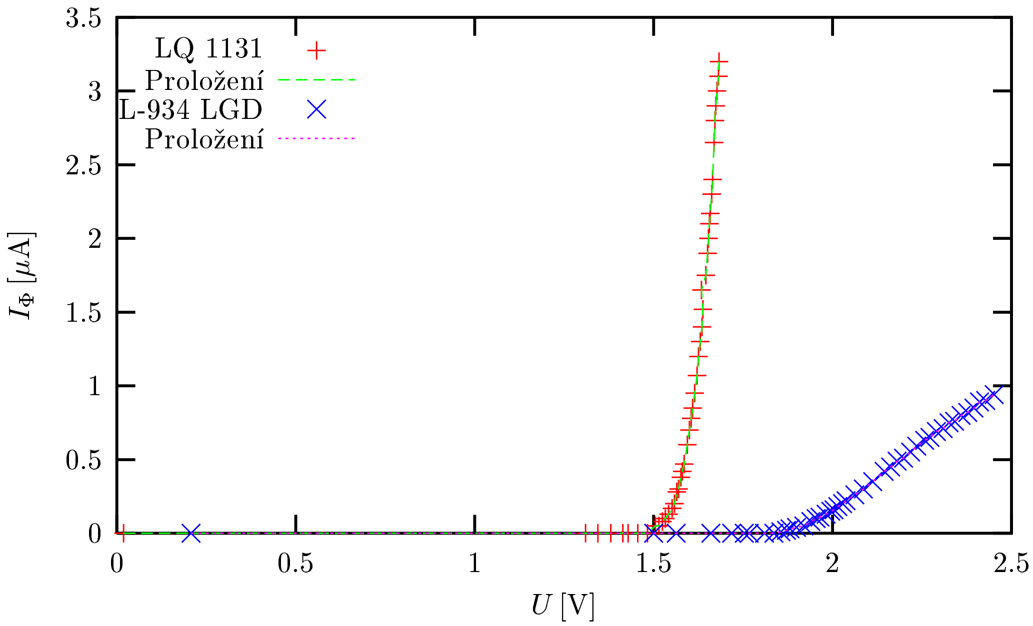
LQ 1131			L-934 LGD		
U [V]	I [mA]	I_{Φ} [μA]	U [V]	I [mA]	I_{Φ} [μA]
0.019	0	0	0.2077	0	0
1.310	0.0076	0	1.500	0.0007	0
1.344	0.0156	0	1.563	0.0024	0
1.380	0.0347	0	1.660	0.0171	0
1.414	0.0794	0	1.718	0.0637	0
1.429	0.1147	0	1.753	0.1372	0
1.456	0.226	0	1.767	0.1836	0
1.483	0.444	0	1.810	0.453	0
1.505	0.782	0.05	1.836	0.729	0
1.515	1.015	0.05	1.856	1.023	0.01
1.525	1.300	0.08	1.871	1.283	0.02
1.533	1.598	0.10	1.881	1.484	0.03
1.542	1.996	0.13	1.899	1.912	0.04
1.552	2.52	0.18	1.920	2.48	0.05
1.558	2.98	0.20	1.939	3.05	0.08
1.565	3.47	0.28	1.954	3.55	0.10
1.570	3.94	0.30	1.965	3.96	0.11
1.576	4.49	0.38	1.982	4.58	0.13
1.580	4.98	0.42	1.995	5.10	0.15
1.585	5.53	0.48	2.004	5.50	0.16
1.594	6.70	0.60	2.015	5.92	0.18
1.600	7.57	0.70	2.028	6.51	0.20
1.605	8.35	0.78	2.038	6.97	0.22
1.609	9.04	0.85	2.062	8.06	0.26
1.615	10.03	0.95	2.086	9.22	0.30
1.621	11.02	1.07	2.112	10.49	0.35
1.625	12.01	1.20	2.144	12.12	0.42
1.630	13.09	1.30	2.162	13.08	0.45
1.635	14.09	1.40	2.180	14.05	0.49
1.638	15.03	1.53	2.198	15.01	0.51
1.634	16.06	1.65	2.218	16.04	0.55
1.646	17.09	1.75	2.235	16.99	0.59
1.651	18.18	1.90	2.257	18.30	0.63
1.653	19.07	2.00	2.272	19.06	0.65
1.656	19.99	2.10	2.290	20.0	0.69
1.658	20.8	2.18	2.309	21.2	0.71
1.662	22.0	2.30	2.325	22.1	0.75
1.665	23.0	2.40	2.341	23.0	0.76
1.669	24.1	2.65	2.359	23.9	0.80
1.671	25.1	2.80	2.378	25.1	0.83
1.674	26.1	2.90	2.395	26.1	0.85
1.677	27.1	3.00	2.411	27.1	0.89
1.681	28.2	3.10	2.428	27.9	0.90
1.683	29.2	3.20	2.452	29.2	0.94

Tabulka 1.: Voltampérová a světelná charakteristika svítivých diod

Voltampérová charakteristika tranzistoru pro tři různé proudy luminiscenční diodou je zapsána v tabulce 2 a zobrazena v grafu 4.



Graf 1.: Voltampérová charakteristika diod



Graf 2.: Světelná charakteristika diod

Hodnoty primárního proudu a zisku tranzistoru při různých osvětleních (pro maximální napětí charakteristiky) jsou

$$I_d = 0.198\,\mathrm{mA} \quad I_\Phi = (0.50 \pm 0.25)\,\mu\mathrm{A} \quad G = 256 \pm 128,$$

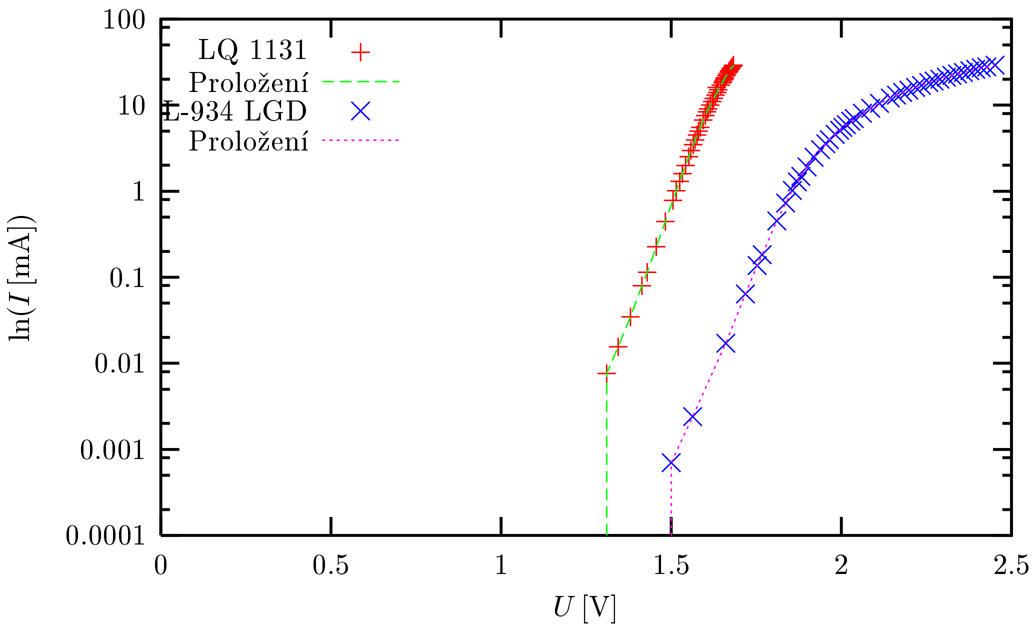
$$I_d = 0.406\,\mathrm{mA} \quad I_\Phi = (2.00 \pm 0.25)\,\mu\mathrm{A} \quad G = 370 \pm 46,$$

$$I_d = 0.606\,\mathrm{mA} \quad I_\Phi = (5.00 \pm 0.25)\,\mu\mathrm{A} \quad G = 390 \pm 20.$$

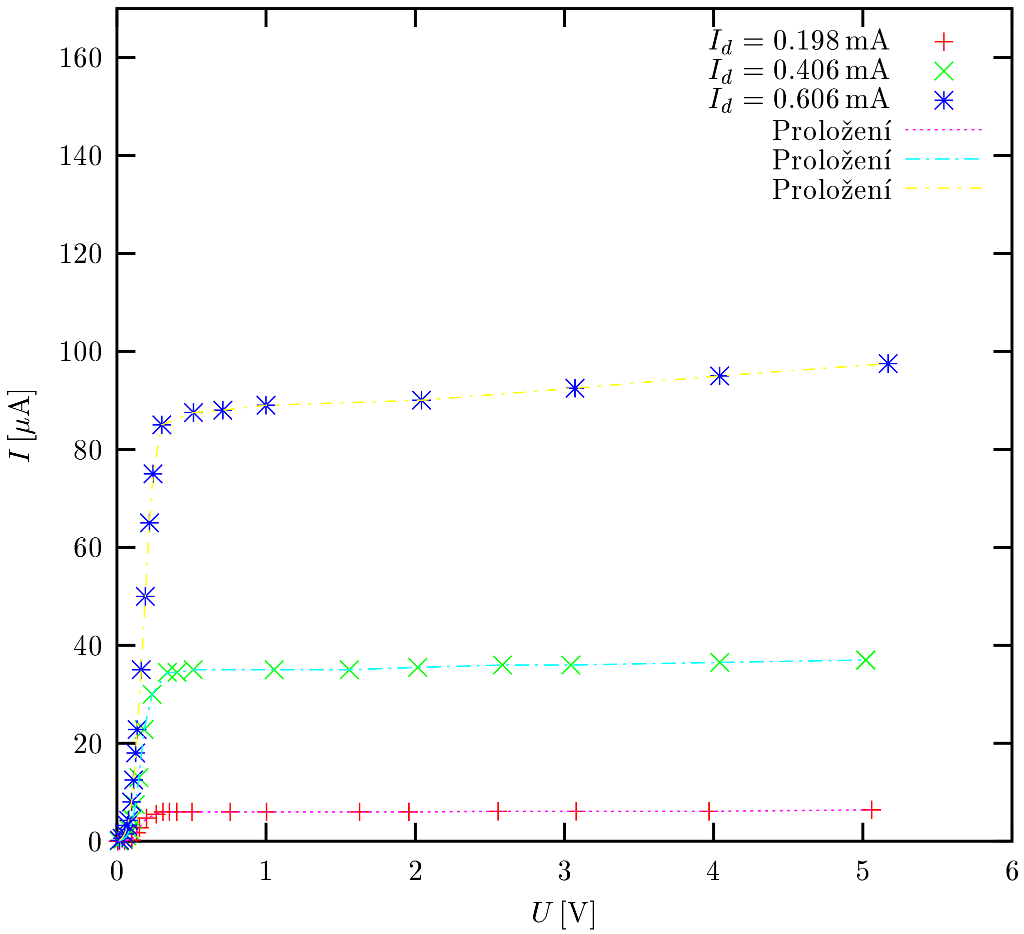
Zisk fototranzistoru je tedy

$$G = 380 \pm 33,$$

přičemž hodnotu pro nejmenší osvětlení z důvodu velké chyby zanedbávám.



Graf 3.: Voltampérová charakteristika diod



Graf 4.: Voltampérová charakteristika fototranzistoru

Všechna měření mikroampérmetrem byla provedena s přesností $0.05\,\mu A$ pro hodnoty do

$6.0\,\mu$A a $0.5\,\mu$A pro hodnoty vyšší.

Diskuse

Voltampérová charakteristika červené diody se velmi blíží exponenciálnímu průběhu. Je to dobře patrné z logaritmického grafu 3. Naproti tomu zelená dioda má exponenciální průběh pouze ve svém „koleni“, dále roste proud s napětím lineárně. Důvod tohoto chování neznám, možná jde o vliv chemického složení.

Hodnoty statického a dynamického odporu diod odpovídají řádově očekávání.

Fototranzistor vykazuje typickou voltampérovou charakteristiku, která je v souladu s charakteristikami v zadání úlohy. Výpočet zisku fototranzistoru je zatížen velmi velkou chybou, protože primární fotoproud tranzistorem byl při nejnižším osvětlení prakticky na hranici měřitelnosti.

Závěr

Měření proběhlo podle mého očekávání. Požadované závislosti jsou vyneseny v grafech 1 až 4. Statický odpor diod jsem vypočetl při pracovním bodě 20 mA:

$$R_{d\check{c}} = (82.8 \pm 0.3)\,\Omega, \quad \mathrm{R_{dz}} = (114.5 \pm 0.3)\,\Omega.$$

Dynamický odpor je pro červenou diodu

$$R_{di} = (3.38 \pm 0.03)\,\Omega, \quad \text{pro zelenou } R_{di} = (16.8 \pm 0.2)\,\Omega.$$

Červená dioda je $\mathrm{GaAs_{0.63}P_{0.37}}$, zelená $\mathrm{GaAs_{0.52}P_{0.48}}$ Zisk fototranzistoru je tedy

$$G = 380 \pm 33,$$

Literatura

[1] Englich, J.: Zpracování výsledků fyzikálních měření. Praha 2000.

[2] `physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp`: Studijní text a Pokyny k měření, úloha 5