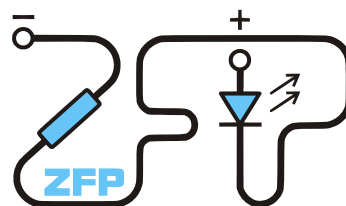


Kabinet výuky obecné fyziky, UK MFF

Fyzikální praktikum III



Optika



Úloha č. 5

Název úlohy: Charakteristiky optoelektronických součástek

Jméno: Josef Iosephus Kučera

Datum měření: 23. 02. 2022

Připomínky opravujícího:

v textu

	Možný počet bodů	Udělený počet bodů
Teoretická část	0–2	2
Výsledky a zpracování měření	0–9	7,5
Diskuse výsledků	0–4	1
Závěr	0–1	0,5
Použitá literatura	0–1	1
Celkem	max. 17	12

Posuzoval: **Procházka**

dne: **8.3.2022**

Pracovní úkol

1. Na internetu najdete katalogové listy všech optoelektronických součástek, které budete v úloze používat, konkrétní měřené součástky vybere vyučující. Parametry důležité ke splnění pracovních úkolů vypíšete a přiložíte do zápisu z měření.
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^* . Určete, z jakého materiálu jsou jednotlivé diody zhotoveny. Nezapomeňte na graf $\ln(I_F)$ vs. U_F .
3. Změřte charakteristiky fototranzistoru při třech různých hladinách osvětlení. Měření proveďte pomocí pikoampérmetru s vestavěným zdrojem Keithley s funkcí ukládání dat do paměti přístroje.
4. Změřte zisk fototranzistoru při třech různých hladinách osvětlení a jednom napětí U_{CE} .

Základní vztahy a klíčová slova:

polovodič, energetické pásové schéma polovodiče, valenční, vodivostní a zakázaný pás, PN přechod v polovodiči, Fermiho hladina, luminiscenční dioda, elektroluminiscenční jev, VA charakteristika, světelná charakteristika, fotoelektrický jev, fototranzistor PNP, NPN

Theorie

Úvod

V rámci našeho měření jsme se rozsmahně vrhli na měření záhadných součástek ve starobylých schránkách. Nakouknutím jsme zjistili, že ve schráně neskrývají se historické artefakty ani náboženské relikvie.

Skrývaly se v nich však též zajímavé krámy! 2 LED (alias luminiscenční diody) a 1 fototranzistor. Více se o nich dozvíte, pokud s námi vydržíte i po reklamě, v sekci: *Výsledky měření*.

Abychom ochránili diodu před zrůdným zničením, přidali jsme do obvodu s diodou odporovou dekádu, na kteréžto byli jsme schopni nastavit hodnotu ochranného odporu.

LED V-A charakteristika

Luminiscenční dioda je polovodičová součástka skládající se z $P-N$ přechodu, který vyzařuje světlo, pokud jím prochází proud (ve propustném směru).¹ Proud I_F tekoucí přechodem $P-N$ lze vyjádřit jako [1]:

$$I_F = I_0 \left(\exp \left(\frac{e \cdot (U_F - I_F R_S)}{nk T} \right) - 1 \right) \quad (1)$$

kde: I_0 je zbytkový proud, k Boltzmanova konstanta, e náboj elektronu, T absolutní teplota, U_F napětí na diodě a n bezrozměrná konstanta závislá na vlastnostech použité diody. R_S je sériový odpor diody.

¹Předpokládáme, že čtenář má alespoň základní znalosti o fyzikálním principu fungování diody, protože jsme zde poněkud lakoničtí při jeho popisu.

Rovnici na předchozí straně můžeme pro: $U_F \geq 100 \text{ mV}$ (za pokojové teploty) a $U_F \gg I_F R_S$ zjednodušiti do tvaru [1]:

$$I_F = I_0 \exp\left(\frac{e \cdot U_F}{nkT}\right) \quad (2)$$

Máme uvést dále i vztah pro $\ln(I_F)$ a U_V . V takovém šíleném případě dostáváme z rovnice (2) zlogaritmováním:

$$\ln(I_F) = K_1 + \frac{e}{nkT} U_F \quad (3)$$

kde K_1 jest konstanta

Sériový statický odpor je definován (v pracovním bodě U_{F_0}, I_{F_0}) jako [1]

$$R_d = \frac{U_{F_0}}{I_{F_0}} \quad (4)$$

a sériový ~~vrah~~ dynamický odpor je definován jako [2]

$$R_{di} = \left. \frac{dU_F}{dI_F} \right|_{I_{F_0}} \quad (5)$$

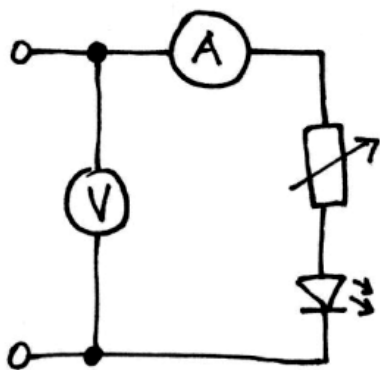
Vztah mezi statickým a dynamickým odporem:

$$R_{di} = R_d \frac{nkT}{eU} \quad (6)$$

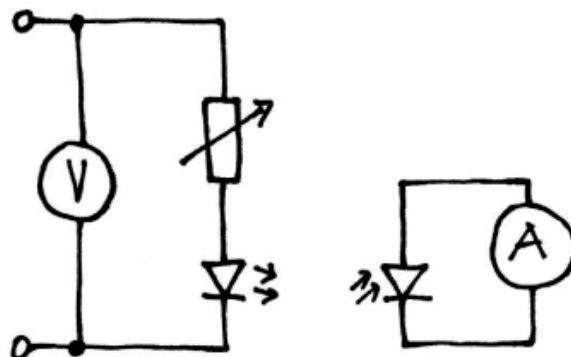
Logaritmováním (2) a vhodnými úpravami získáme dále předpis pro n [1]

$$n = \frac{e}{kT} \frac{U_{F_1} - U_{F_2}}{\ln\left(\frac{I_{F_1}}{I_{F_2}}\right)} \quad (7)$$

Prahové napětí U^* určíme extrapolací z lineární části V-A charakteristiky (průnik směrnice lineární části s vodo rovnou osou).² Prahové napětí diod z GaAs je $\sim 1,4 \text{ V}$, diod z GaP asi $\sim 2,4 \text{ V}$. Očekáváme tedy, že se vejde do tohoto napěťového rozmezí v rámci naší extrapolace.



Schaema 1:
Měření VA charakteristiky LED
přejato z [3]



Schaema 2:
Měření fotocharakteristiky LED
přejato z [3]

²Poznámka pro šprty: Toto napětí je přibližně rovno šířce zakázaného pásu polovodiče.

U proměrování voltampérové charakteristiky jsme si museli dávat majzla na to, že napětí, které jsme pouštěli do obvodu, se dělilo mezi odpornou dekádu a diodu (viz Schaema 1). Proud byl ale v sériovém zapojení stejný. Tedy napětí na diodě³ U_F jsme dopočetli následovně [2]:

$$U_F = U_V - I_F R_D \quad (8)$$

kde U_V je napětí naměřené na voltmetru, I_F je proud naměřený na ampérmetru (a na diodě) a R_D je hodnota ochranného odporu na dekádě.⁴

V protokolu jsme dále uváděli pro přehlednost pouze dopočtenou hodnotou U_F (a nikoliv naměřenou hodnotu U_V). I proto zde explicitně uvádíme tento vztah (8), aby nedošlo k mejlce.

LED fotocharakteristika

Krom toho jali jsme se měřiti též fotocharakteristiku diody (viz. výše Schaema 2). V ní jsme využili hodnot proudu I_F naměřeného u VA charakteristiky a I_D alias proud naměřený na fotodetektoru.

A tyto dva proudy dali jsme do regraee relace.

Fototransistor

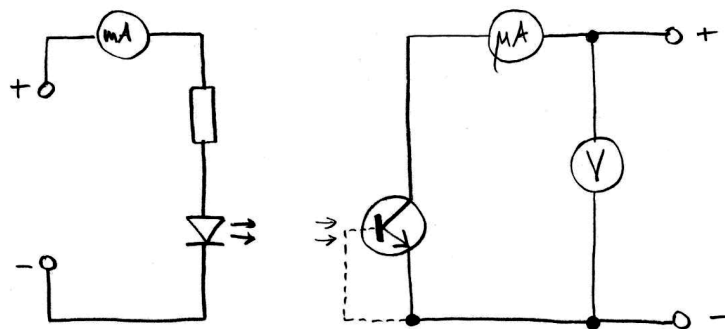
Poslední proměřovanou součástkou byl fototransistor. Princip jeho fungování jest zhruba následující: pokud na něj posvítíme, dochází k uvolnění nosičů náboje, ty odcházejí do věčných lovišť do kolektoru a vytvářejí primární fotoproud I_ϕ . Majoritní nosiče jsou srabi a zdržují se v bázi B a snižují potenciálovou bariéru.

Pokud zkratujeme bázi s emitorem, ponížíme tranzistor na obyčejnou fotodiodu a naměřený proud bude I_ϕ . Pokud zrušíme zkratovací propojení, naměříme za odměnu zesílený kolektorový proud I_{CO} . Vyjádřeno v jazyce matematiky:

$$I_{CO} = G I_\phi \quad (9)$$

kde G je zisk tranzistoru

Určit zisk transvestity transistoru G bude náš finální oukol. Ten závisí na míře osvětlení báze, takže naměříme jej pro 3 různé proudy napájecí proudy I_F .



Schaema 3: Měření charakteristik fototranzistoru - schéma zapojení
přejato z [3]

³ U_{FFFF} to jsme si oddechli

⁴Má oblíbená dekáda jsou 90. léta, co Vaše?

Výsledky měření

Děkujeme, že stále sledujete naši relaci! Nyní se dozvíme, s jakými vynálezy jsme měli co do činění:

(1) *Měřené optoelektronické součástky*

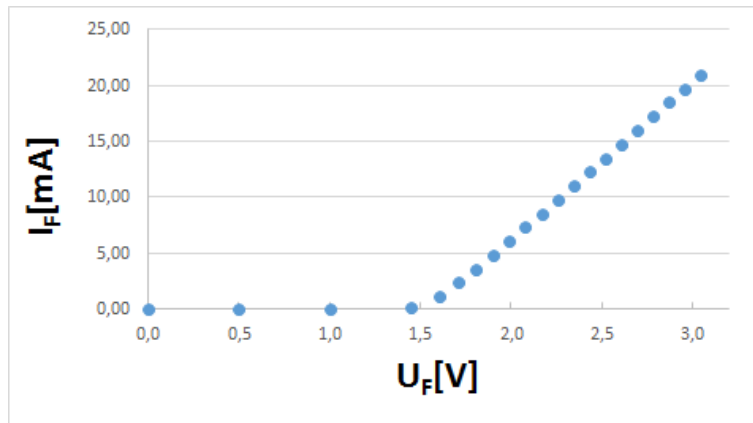
- LED LQ1131 (červená) Zde chybí důležité parametry (viz úkol 1)
- LED 560LB7D (modrá)
- fototranzistor

(2) *LED charakteristiky*

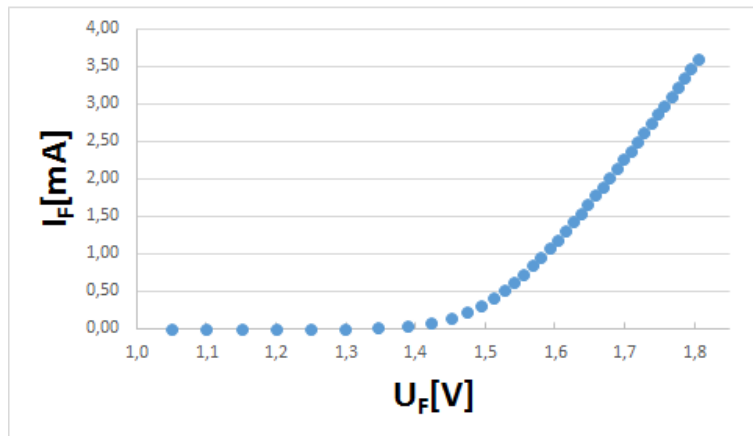
1. LED Popisy tabulek by měly být nad nimi a v textu odkazy na tabulky.

U_F [V]	$\pm e\{U_F$ [V]}}	I_F [mA]	$\pm e\{I_F$ [mA]}}
0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,0	0,0	0,0
1,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,0	0,1	0,0
1,6	0,0	1,2	0,0
1,7	0,0	2,4	0,0
1,8	0,0	3,6	0,0
1,9	0,0	4,8	0,0
2,0	0,0	6,1	0,1
2,1	0,0	7,3	0,1
2,2	0,0	8,5	0,1
2,3	0,0	9,8	0,1
2,3	0,0	11,0	0,1
2,4	0,0	12,2	0,1
2,5	0,0	13,5	0,1
2,6	0,0	14,7	0,1
2,7	0,0	16,0	0,2
2,8	0,0	17,2	0,2
2,9	0,0	18,5	0,2
3,0	0,0	19,7	0,2
3,0	0,0	21,0	0,2

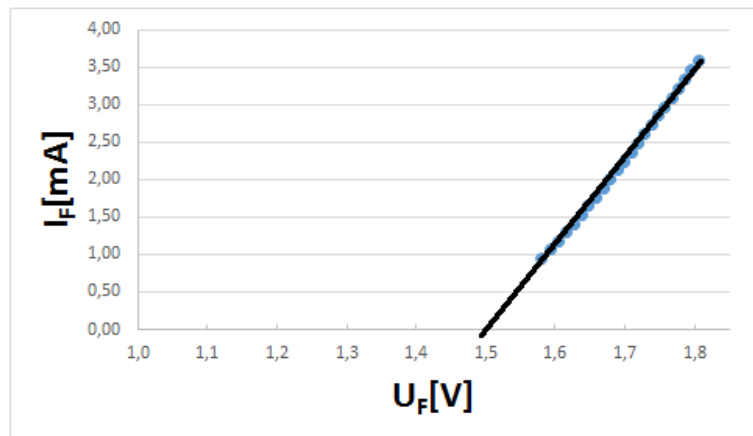
Tab. 1: VA charakteristika 1. diody



Graph. 1: Hrubá VA charakteristika 1. diody



Graph. 2: Jemnější VA charakteristika 1. diody



Graph. 3: Lineární extrapolace 1. diody

Rovnice lineárních extrapolací je třeba uvést.

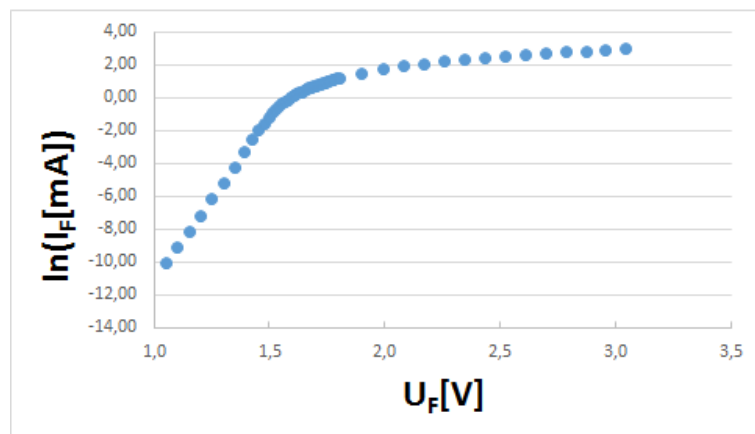
Vidíme, že prahové napětí pro 1. diodu nám vyšlo:

$$U^* = (1,50 \pm 0,03)V$$

kde hlavní chyba vychází z nepřesnosti extrapolace.

Tudíž z našich theoretických znalostí dokážeme odvodit, že tato dioda se skládá převážně z GaAs, neboť má hodnotu prahového napětí velice blízkou hodnotě 1,4V.

Nezapomínáme na graf $\ln(I_F)$ vs. U_F

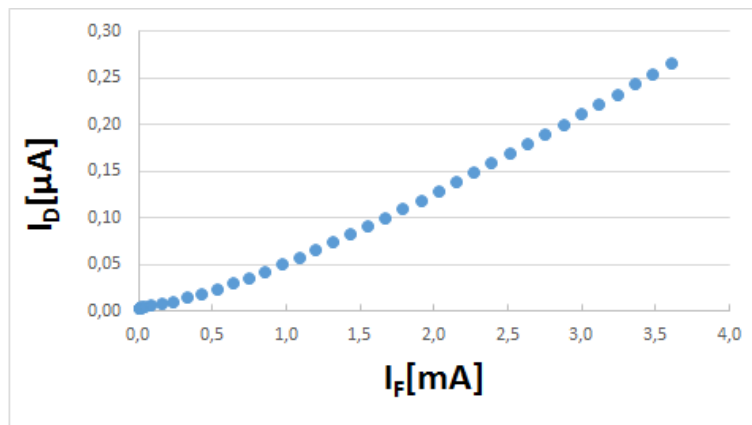


Graph. 4: 1. dioda $\ln(I_F)$ vs. U_F

Dále se budeme zabývat fotocharakteristikou 1. diody.

$I_F[\text{mA}]$	$\pm e\{I_F[\text{mA}]\}$	$I_D[\mu\text{A}]$	$\pm e\{I_D[\mu\text{A}]\}$
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,00	0,00	0,00
0,02	0,00	0,00	0,00
0,04	0,00	0,01	0,00
0,08	0,00	0,01	0,00
0,15	0,00	0,01	0,00
0,23	0,00	0,01	0,00
0,32	0,00	0,01	0,00
0,42	0,00	0,02	0,00
0,52	0,01	0,02	0,00
0,63	0,01	0,03	0,00
0,74	0,01	0,04	0,00
0,85	0,01	0,04	0,00
0,97	0,01	0,05	0,00
1,08	0,01	0,06	0,00
1,20	0,01	0,07	0,00
1,31	0,01	0,07	0,00
1,43	0,01	0,08	0,00
1,55	0,02	0,09	0,00
1,67	0,02	0,10	0,00
1,79	0,02	0,11	0,00
1,91	0,02	0,12	0,00
2,02	0,02	0,13	0,00
2,15	0,02	0,14	0,00
2,27	0,02	0,15	0,00
2,39	0,02	0,16	0,00
2,51	0,03	0,17	0,00
2,63	0,03	0,18	0,00
2,75	0,03	0,19	0,00
2,87	0,03	0,20	0,00
2,99	0,03	0,21	0,00
3,11	0,03	0,22	0,00
3,24	0,03	0,23	0,00
3,36	0,03	0,24	0,00
3,48	0,03	0,26	0,00
3,60	0,04	0,27	0,00

Tab. 2: Fotocharakteristika 1. diody

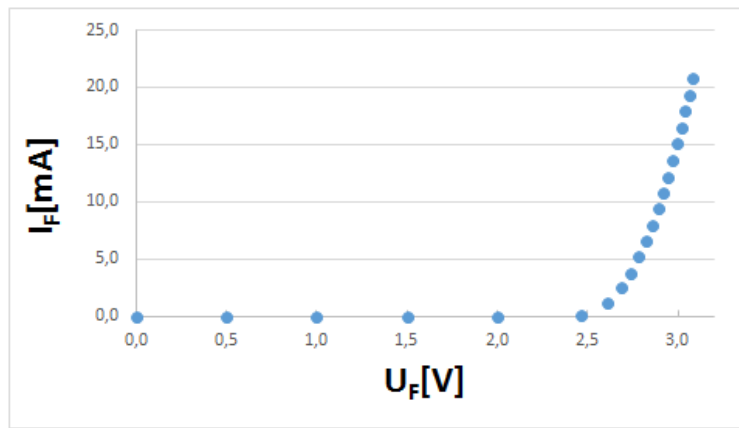


Graph. 5: Fotocharakteristika 1. diody

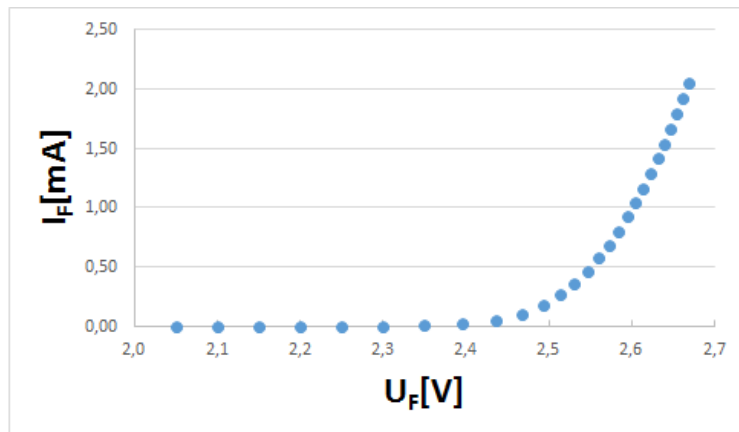
2. LED

$U_F[V]$	$\pm e\{U_F[V]\}$	$I_F[mA]$	$\pm e\{I_F[mA]\}$
0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,0	0,0	0,0
1,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,0	0,0	0,0
2,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,0	0,1	0,0
2,6	0,0	1,2	0,0
2,7	0,0	2,5	0,0
2,7	0,0	3,8	0,0
2,8	0,0	5,2	0,1
2,8	0,0	6,6	0,1
2,9	0,0	8,0	0,1
2,9	0,0	9,4	0,1
2,9	0,0	10,8	0,1
2,9	0,0	12,2	0,1
3,0	0,0	13,6	0,1
3,0	0,0	15,1	0,2
3,0	0,0	16,5	0,2
3,0	0,0	18,0	0,2
3,1	0,0	19,4	0,2
3,1	0,0	20,8	0,2

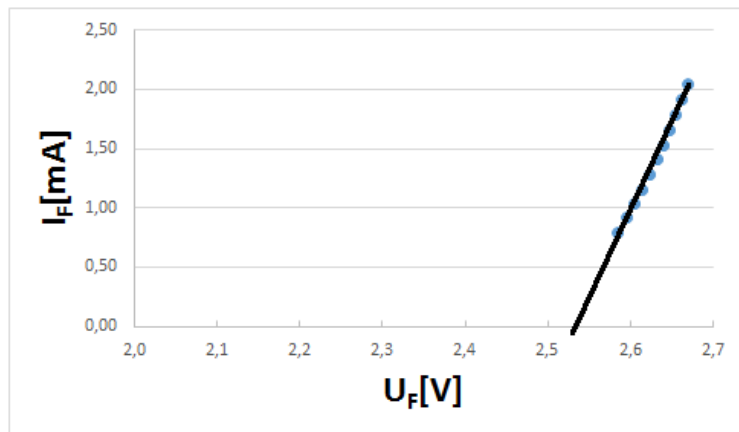
Tab. 3: VA charakteristika 2. diody



Graph. 6: Hrubá VA charakteristika 2. diody



Graph. 7: Jemnější VA charakteristika 2. diody



Graph. 8: Lineární extrapolace 2. diody

Rovnice lineárních extrapolací je třeba uvést.

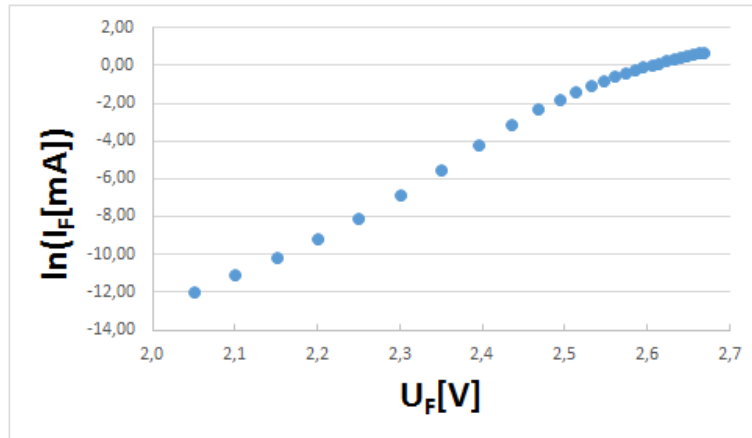
Vidíme, že prahové napětí pro 2. diodu nám vyšlo:

$$U^* = (2,55 \pm 0,03)V$$

kde hlavní chyba vychází z nepřesnosti extrapolace.

Tudíž z našich theoretických znalostí dokážeme odvodit, že tato dioda se skládá převážně z GaP, neboť má hodnotu prahového napětí velice blízkou hodnotě 2,4V, dokonce ještě vyšší (přetekli jsme, bude tam nějaká prohnílost v našem měření, více viz. *Diskuse*).

Nezapomínáme na graf $\ln(I_F)$ vs. U_F

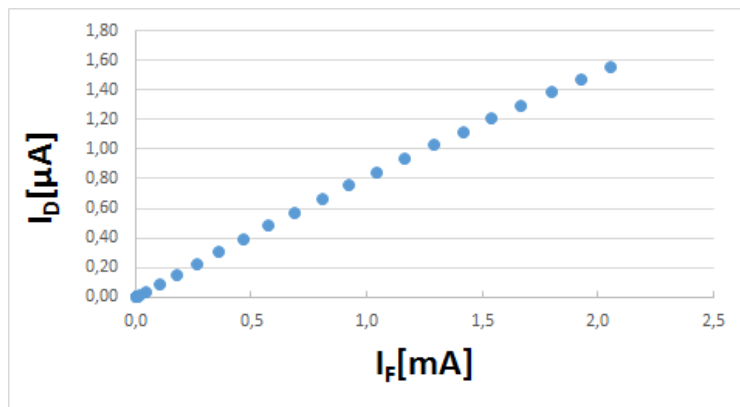


Graph. 9: 2. dioda $\ln(I_F)$ vs. U_F

Dále se budeme zabývat fotocharakteristikou 2. diody.

I_F [mA]	$\pm e\{I_F$ [mA]	I_D [μ A]	$\pm e\{I_D$ [μ A]
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,01	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,01	0,00
0,00	0,00	0,01	0,00
0,00	0,00	0,01	0,00
0,01	0,00	0,01	0,00
0,04	0,00	0,04	0,00
0,10	0,00	0,09	0,00
0,17	0,00	0,15	0,00
0,26	0,00	0,23	0,00
0,36	0,00	0,31	0,00
0,46	0,00	0,40	0,00
0,57	0,01	0,49	0,00
0,69	0,01	0,58	0,01
0,80	0,01	0,67	0,01
0,92	0,01	0,76	0,01
1,04	0,01	0,85	0,01
1,16	0,01	0,94	0,01
1,29	0,01	1,03	0,01
1,41	0,01	1,12	0,01
1,54	0,02	1,21	0,01
1,67	0,02	1,30	0,01
1,79	0,02	1,39	0,01
1,92	0,02	1,48	0,01
2,05	0,02	1,56	0,02

Tab. 4: Fotocharakteristika 2. diody



Graph. 10: Fotocharakteristika 2. diody

Kdybyste grafy sobě příslušící pro každou diodu vykreslil do jednoho obrázku, bylo by lépe vidět, jak se jejich křivky liší.

Chybí určení hodnot odporů $R...$ a konstant n (pracovní úkol 2)

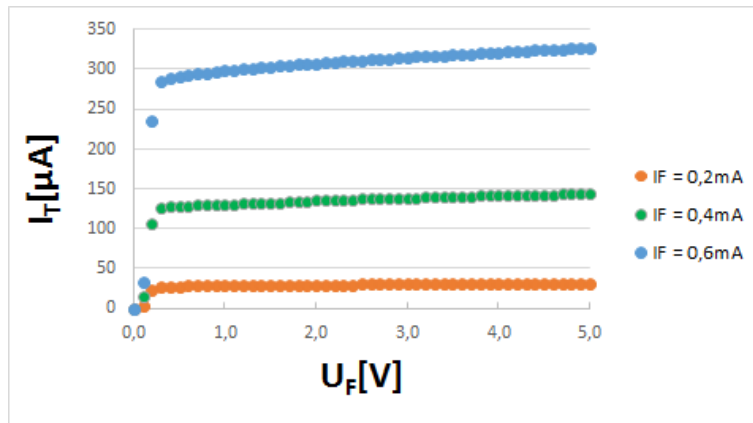
(3) Charakteristika fototransistoru

$I_F = (202 \pm 2) \mu A$			$I_F = (402 \pm 2) \mu A$			$I_F = (600 \pm 2) \mu A$		
U[V]	$I_T[\mu A]$	$\pm e\{I_T[\mu A]\}$	U[V]	$I_T[\mu A]$	$\pm e\{I_T[\mu A]\}$	U[V]	$I_T[\mu A]$	$\pm e\{I_T[\mu A]\}$
0	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0	0,1	0,0
0,1	4,0	0,4	0,1	15,6	1,6	0,1	33,4	3,3
0,2	23,7	2,4	0,2	105,9	10,6	0,2	236,2	23,6
0,3	27,5	2,8	0,3	126,2	12,6	0,3	285,0	28,5
0,4	27,9	2,8	0,4	127,6	12,8	0,4	288,3	28,8
0,5	28,1	2,8	0,5	128,3	12,8	0,5	290,0	29,0
0,6	28,2	2,8	0,6	129,1	12,9	0,6	292,0	29,2
0,7	28,3	2,8	0,7	129,7	13,0	0,7	294,0	29,4
0,8	28,6	2,9	0,8	129,9	13,0	0,8	295,2	29,5
0,9	28,9	2,9	0,9	130,4	13,0	0,9	296,9	29,7
1	28,8	2,9	1	130,6	13,1	1	298,6	29,9
1,1	29,0	2,9	1,1	130,8	13,1	1,1	299,5	29,9
1,2	29,0	2,9	1,2	131,4	13,1	1,2	300,6	30,1
1,3	29,2	2,9	1,3	132,3	13,2	1,3	301,6	30,2
1,4	29,3	2,9	1,4	132,3	13,2	1,4	302,3	30,2
1,5	29,5	2,9	1,5	132,4	13,2	1,5	303,3	30,3
1,6	29,3	2,9	1,6	132,9	13,3	1,6	304,1	30,4
1,7	29,4	2,9	1,7	134,0	13,4	1,7	305,0	30,5
1,8	29,5	3,0	1,8	134,6	13,5	1,8	306,1	30,6
1,9	29,6	3,0	1,9	135,1	13,5	1,9	306,8	30,7
2	29,7	3,0	2	135,3	13,5	2	307,6	30,8
2,1	29,8	3,0	2,1	135,6	13,6	2,1	308,3	30,8
2,2	29,9	3,0	2,2	136,2	13,6	2,2	309,0	30,9
2,3	30,0	3,0	2,3	136,8	13,7	2,3	309,8	31,0
2,4	30,1	3,0	2,4	137,1	13,7	2,4	310,6	31,1
2,5	30,2	3,0	2,5	137,3	13,7	2,5	311,3	31,1
2,6	30,2	3,0	2,6	137,3	13,7	2,6	312,2	31,2
2,7	30,3	3,0	2,7	137,5	13,7	2,7	312,9	31,3
2,8	30,5	3,0	2,8	137,5	13,7	2,8	313,6	31,4
2,9	30,4	3,0	2,9	137,8	13,8	2,9	314,2	31,4
3	30,6	3,1	3	138,3	13,8	3	315,0	31,5
3,1	30,7	3,1	3,1	138,5	13,8	3,1	315,7	31,6
3,2	30,8	3,1	3,2	139,2	13,9	3,2	316,4	31,6
3,3	30,8	3,1	3,3	139,8	14,0	3,3	317,0	31,7
3,4	30,9	3,1	3,4	140,0	14,0	3,4	317,5	31,7
3,5	30,9	3,1	3,5	140,4	14,0	3,5	318,2	31,8
3,6	31,0	3,1	3,6	140,7	14,1	3,6	319,0	31,9
3,7	31,2	3,1	3,7	141,0	14,1	3,7	319,5	31,9
3,8	31,2	3,1	3,8	141,2	14,1	3,8	319,8	32,0
3,9	31,2	3,1	3,9	141,4	14,1	3,9	320,0	32,0
4	31,3	3,1	4	141,6	14,2	4	320,5	32,0
4,1	31,3	3,1	4,1	141,9	14,2	4,1	321,6	32,2
4,2	31,4	3,1	4,2	142,1	14,2	4,2	322,7	32,3
4,3	31,4	3,1	4,3	142,2	14,2	4,3	323,2	32,3
4,4	31,5	3,2	4,4	142,5	14,3	4,4	323,7	32,4
4,5	31,6	3,2	4,5	142,8	14,3	4,5	324,4	32,4
4,6	31,7	3,2	4,6	143,1	14,3	4,6	325,0	32,5
4,7	31,8	3,2	4,7	143,1	14,3	4,7	325,5	32,5
4,8	31,9	3,2	4,8	143,4	14,3	4,8	325,7	32,6
4,9	31,9	3,2	4,9	143,6	14,4	4,9	326,3	32,6
5	31,9	3,2	5	143,9	14,4	5	327,0	32,7

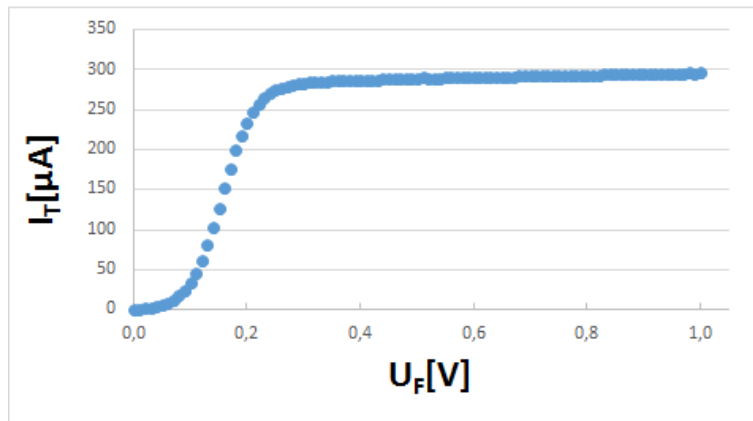
Tab. 5: Charakteristika transistoru pro 3 proudy I_F

$I_F = (600 \pm 2) \mu\text{A}$			$I_F = (600 \pm 2) \mu\text{A}$		
U[V]	$I_T[\mu\text{A}]$	$\pm e\{I_T[\mu\text{A}]\}$	U[V]	$I_T[\mu\text{A}]$	$\pm e\{I_T[\mu\text{A}]\}$
0	0,1	0,0	0,5	289,4	28,9
0,01	0,6	0,1	0,51	290,1	29,0
0,02	1,5	0,1	0,52	290,0	29,0
0,03	2,2	0,2	0,53	289,9	29,0
0,04	3,5	0,3	0,54	289,9	29,0
0,05	5,4	0,5	0,55	290,2	29,0
0,06	8,0	0,8	0,56	290,3	29,0
0,07	11,8	1,2	0,57	290,5	29,1
0,08	17,1	1,7	0,58	290,9	29,1
0,09	24,1	2,4	0,59	291,0	29,1
0,1	33,6	3,4	0,6	291,3	29,1
0,11	45,9	4,6	0,61	291,2	29,1
0,12	61,8	6,2	0,62	291,3	29,1
0,13	80,8	8,1	0,63	291,5	29,1
0,14	102,8	10,3	0,64	291,8	29,2
0,15	126,9	12,7	0,65	291,6	29,2
0,16	152,0	15,2	0,66	291,8	29,2
0,17	176,6	17,7	0,67	291,8	29,2
0,18	199,1	19,9	0,68	292,1	29,2
0,19	218,5	21,9	0,69	292,4	29,2
0,2	234,3	23,4	0,7	292,4	29,2
0,21	247,1	24,7	0,71	292,4	29,2
0,22	257,0	25,7	0,72	292,5	29,2
0,23	264,6	26,5	0,73	292,8	29,3
0,24	270,2	27,0	0,74	292,9	29,3
0,25	274,5	27,4	0,75	293,1	29,3
0,26	277,5	27,7	0,76	293,2	29,3
0,27	279,5	27,9	0,77	293,2	29,3
0,28	281,2	28,1	0,78	293,6	29,4
0,29	282,5	28,3	0,79	293,6	29,4
0,3	283,6	28,4	0,8	293,8	29,4
0,31	284,2	28,4	0,81	293,9	29,4
0,32	284,8	28,5	0,82	293,9	29,4
0,33	285,2	28,5	0,83	294,2	29,4
0,34	285,8	28,6	0,84	294,2	29,4
0,35	286,0	28,6	0,85	294,2	29,4
0,36	286,2	28,6	0,86	294,3	29,4
0,37	286,5	28,7	0,87	294,4	29,4
0,38	286,7	28,7	0,88	294,4	29,4
0,39	286,9	28,7	0,89	294,6	29,5
0,4	286,9	28,7	0,9	295,0	29,5
0,41	287,2	28,7	0,91	295,0	29,5
0,42	287,3	28,7	0,92	295,1	29,5
0,43	287,9	28,8	0,93	295,2	29,5
0,44	288,1	28,8	0,94	295,4	29,5
0,45	288,4	28,8	0,95	295,4	29,5
0,46	288,7	28,9	0,96	295,5	29,6
0,47	288,8	28,9	0,97	295,6	29,6
0,48	288,9	28,9	0,98	295,9	29,6
0,49	288,9	28,9	0,99	295,9	29,6
			1	296,1	29,6

Tab. 6: Detail charakteristiky pro $I_F = 0,6 \text{ mA}$



Graph. 11: Charakteristika transistoru pro 3 proudy I_F



Graph. 12: Detail charakteristiky pro $I_F = 0,6 \text{ mA}$

(4) **Zisk fototransistoru** Poslední částí bylo změřit zisk fototransistoru, data uvádíme v následující tabulce:

kolektorový proud		primární fotoproud		VÝTĚŽEK
$I_F [\text{mA}]$	$I_{\text{col}} [\mu\text{A}]$	$I_F [\text{mA}]$	$I_{\Phi} [\mu\text{A}]$	$G(\text{abs})$
0,6	290	0,6	0,475	610,5
$I_F [\text{mA}]$	$I_{\text{col}} [\mu\text{A}]$	$I_F [\text{mA}]$	$I_{\Phi} [\mu\text{A}]$	$G(\text{abs})$
0,4	128	0,4	0,221	579,2
$I_F [\text{mA}]$	$I_{\text{col}} [\mu\text{A}]$	$I_F [\text{mA}]$	$I_{\Phi} [\text{nA}]$	$G(\text{abs})$
0,2	27,6	0,2	56	492,9

Pokud už ho jednou nazýváte "zisk", zůstaňte u toho.

Tab. 7: Zisk G pro 3 proudy I_F

Kde jsme rovnou i dopočítali hodnoty zisku dle rovnice (9). Neměřené hodnoty korespondují s tím, co pravil pan *RNDr. Petr Gabriel, Ph.D.*:

“Ten výtežek bude asi 600x vyšší, pokud odendáme zkratovací svorku.”

Pozn.red.: Omlouváme se čtenáři, že jsme zde neuvedli chybové sloupečky. Jsme si toho vědomi, tlačí nás čas, nestíháme, je toho moc, RIP. Nicméně můžeme viděti, že pro nižší proud má transistor nižší výtežek.

Diskuze

LEDy. U extrapolace napětí U^* u modré diody jsme přetekli. Čím to je? Patrně systematickou chybou způsobenou odporem vodičů, která nám posouvá napětí do vyšších hodnot, dle Ohmova zákona $U = RI$. S měřeními přístrojů jsme byli spokojeni, protože měly velkou citlivost, takže chyba způsobená jimi byla často zanedbatelná.

Nechybí zde něco?

viz:

Co je diskuse výsledků?

Posoudit správnost výsledků (hodnot, průběhu závislosti), porovnat získané veličiny s tabelovanými hodnotami (kde je to možné) nebo s hodnotami nalezenými v literatuře (literaturu nutno citovat).

Odhad správnosti (odhad systematické chyby; srovnání s tabelovanými aj. publikovanými hodnotami); snažit se o nalezení zdroje systematické chyby. Odkazy na použitou literaturu.

Hodnocení přesnosti (vzhledem k plánované přesnosti apod.).

Komentář ke grafům (např. vysvětlení odchylek od očekávaného chování)

Jiné okolnosti související s měřením, návrhy na úpravy měření či způsobu zpracování apod. (<https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/protokoly>)

Závěr

U LEDu modrého i červeného jsme naměřili jejich voltampérové a světelné charakteristiky. Změřili jsme hodnotu prahového napětí U^* kde se mění exponenciální závislost v závislost lineární.

Mohli jsme si všimnout, že opravdu platí fotoelektrický jev, neboť modrý LED nabývá ve fotocharakteristice vyšších hodnot proudu na fotodetektoru, než červený LED pro stejný napájecí proud I_F .

Nezapomněli jsme na graf $\ln(I_F)$ vs. U_F .

U fototransistoru jsme změřili jeho voltampérovou charakteristiku pro 3 proudy hrubě a pro 1 vybraný jemně. Dostali jsme pěkné esíčko.

Pro 3 různé proudy jsme naměřili 3 různé hodnoty výtěžku G výtěžek byl obecně vyšší pro vyšší hodnoty napájecího proudu I_F .

Těž v závěru má být:

Uvedení výsledných hodnot, bylo-li úkolem určit hodnotu nějaké veličiny.
(<https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/protokoly>)

Reference

- [1] Pokyny k měření oulohy 5, ZFP [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/mereni_305.pdf
- [2] Studijní text, ZFP [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/texty/txt_305.pdf
- [3] Charakteristika měřicí soustavy, ZFP [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: https://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/_media/zadani/pokyny/pikoampermetr.pdf