

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktikum 3

Zpracoval: Jan Beran

Naměřeno: 25. března 2019

Obor: UF

Skupina: F4210/04

Testováno:

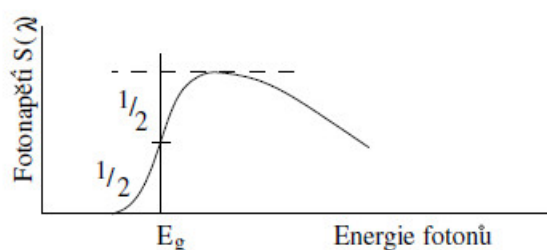
Úloha . 5: Šířka pásu zakázaných energií

1. Úkoly

1. Pomocí fotoelektrického jevu určete šířku zakázaného pásu energií v kremíku a germaniu.

2. Teorie

Jednou z možností popisu vnitřní struktury látek je znázornění pásové struktury vynesem energií na svislou osu myšleného grafu. Každý z pásů má velmi jemnou strukturu – skládá se z mnoha blízkých energiových hladin. Mezery mezi pásy představují pásy zakázaných energií, tedy oblastmi, v nichž se nemůže žádný elektron vyskytovat. Tímto znázorněním můžeme od sebe odlišit pevné látky podle vodivosti – vodiče, polovodiče a izolátory. V našem měření budeme zkoumat šířku zakázaného pásu právě polovodičů, které mají šířku zakázaného pásu E_g takovou, aby při pokojové teplotě docházelo k přeskokům elektronů do vodivostního pásu. Vždy budeme osvětlovat diodu monochromatickým světlem, jeho vlnovou délku budeme postupně měnit. Díky tomuto se objeví na PN přechodu napětí U . Závislost fotonapětí připadajícího na jeden foton $S(\lambda)$ na energii popisuje graf na obrázku 1. V tomto grafu je také vyznačeno, že pro náš experiment platí, že šířku zakázaného pásu E_g určíme jako energii fotonu, pro který je fotonapětí rovno polovině maxima.



Obrázek 1: Závislost fotonapětí na energii fotonů.

Vztah 1 nám vyjadřuje, že podíl fotonapětí $U(\lambda)$ a počtu dopadajících fotonů $N(\lambda)$ je roven spektrální závislosti fotonapětí připadajících na jeden foton $S(\lambda)$, z níž můžeme určit šířku zakázaného pásu.

$$S(\lambda) = \frac{U(\lambda)}{N(\lambda)} \quad (1)$$

Přestože v experimentu neměříme přímo počet fotonů, můžeme určit počet fotonů podle tabulky v návodu, která dává do závislosti vlnovou délku λ a $D(\lambda)$, což je relativní intenzita signálu fotodetektoru, pro kterou platí $D(\lambda) \propto N(\lambda)$. Proložení této závislosti polynomem vhodného stupně dopočítáme $N(\lambda)$ pro vlnové délky, které jsme naměřili.

Pro energii fotonu o vlnové délce λ resp. frekvenci f platí

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}. \quad (2)$$

3. Měření

Nejprve určím převodní rovnici mezi vlnovou délkou dopadajícího záření λ a polohou mikrometrického šroubu d , a to tak, že hodnoty z tabulky v návodu proložím polynomem pátého stupně. Tím získám koeficienty (tabulka 1) pro rovnici

$$\lambda = a_5 d^5 + a_4 d^4 + a_3 d^3 + a_2 d^2 + a_1 d + a_0. \quad (3)$$

Tabulka 1: Koeficienty pro rovnici 3.

a_0	742322,81951901
a_1	-279840,82479104
a_2	42517,913388567
a_3	-3248,2877007248
a_4	124,6679652823
a_5	-1,9216818298572

Totéž provedu se vztahem relativní intenzity fotodetektoru D k vlnové délce dopadajícího záření λ .

$$D = a_5 \lambda^5 + a_4 \lambda^4 + a_3 \lambda^3 + a_2 \lambda^2 + a_1 \lambda + a_0 \quad (4)$$

Tabulka 2: Koeficienty pro rovnici 4.

a_0	1756,4820555617
a_1	19,734769538166
a_2	-0,86244292066518
a_3	0,013884426259715
a_4	-0,000099682477548419
a_5	0,00000025405993545854

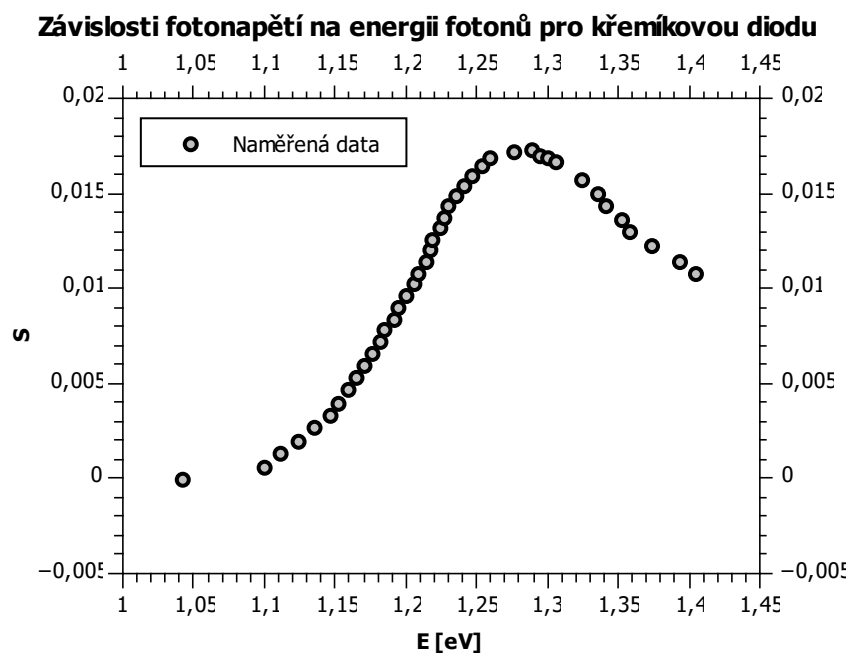
Z těchto rovnic jsem dopočítal pro všechny naměřené hodnoty d příslušné vlnové délky a pro tyto vlnové délky relativní intenzitu fotodetektoru D .

Jako první jsem provedl měření s germaniovou diodou. Z celého měření jsem vynechal prvních osm hodnot, protože jak je vidět na grafu z obrázku 3, tak prvních osm hodnot neodpovídá závislosti z grafu na obrázku 1. Naměřené a dopočítané hodnoty jsou v tabulce 4. Do grafu jsem vynesl závislost fotonapětí připadající na jeden foton S na energii fotonu E , určil jsem maximální hodnotu S_{\max}^G , poloviční hodnotu $S_{\max_2}^G$ a její příslušnou hodnotu energie E_G , kterou jsem určil jako aritmetický průměr nejbližších hodnot E_{Ge} . Hodnoty energií odpovídající nejbližším hodnotám S_{\max_2} jsou v tabulkách 4 a 3 označeny červeně.

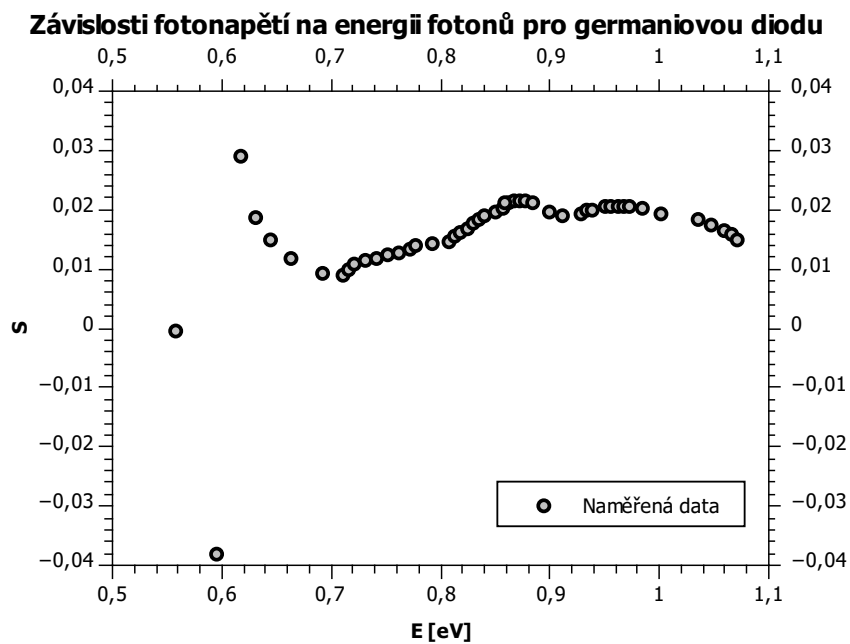
$$\begin{aligned} S_{\max}^G &= 0,02179008 \\ S_{\max_2}^G &= 0,01089504 \\ E_G &= 0,716906178 \doteq 0,72 \text{ eV} \end{aligned} \quad (5)$$

Totéž jsem provedl také pro křemíkovou diodu. Hodnoty jsou v tabulce 3 a výsledná šířka pásu je

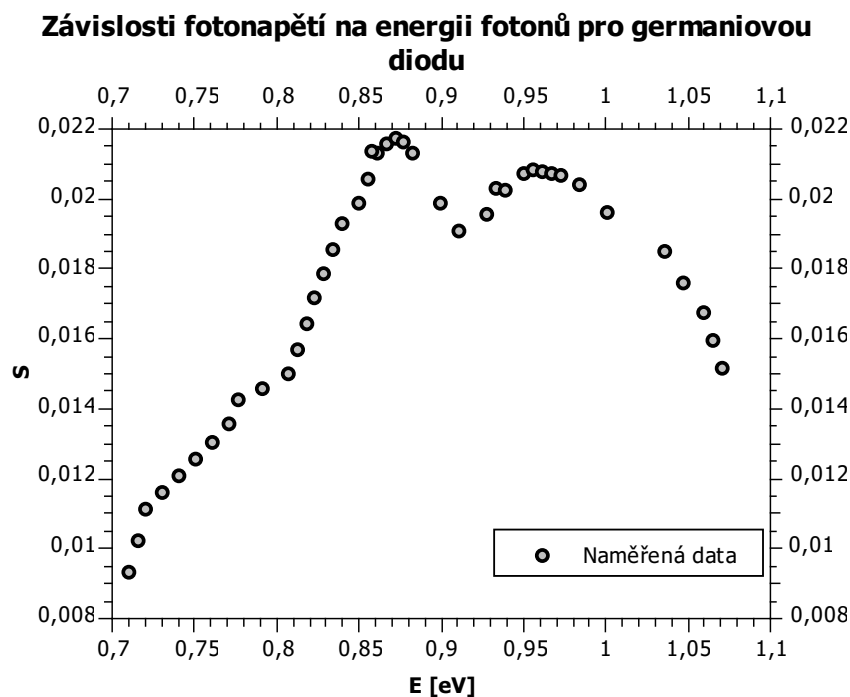
$$\begin{aligned} S_{\max}^{\text{Si}} &= 0,017339418 \\ S_{\max_2}^{\text{Si}} &= 0,008669709 \\ E_{\text{Si}} &= 1,19143042 \doteq 1,19 \text{ eV} \end{aligned}$$



Obrázek 2: Graf závislosti fotonapětí připadajícího na jeden foton, na energii fotonu pro křemíkovou diodu.



Obrázek 3: Graf závislosti fotonapětí připadajícího na jeden foton, na energii fotonu pro germaniovou diodu předtím, než jsem odebral nevhodné body.



Obrázek 4: Graf závislosti fotonapětí připadajícího na jeden foton, na energii fotonu pro germaniovou diodu.

4. Závěr

V této úloze jsem využíval vnitřního fotoefektu k získání hodnoty zakázaných energií germania a křemíku. U germania jsem musel některé naměřené hodnoty ze zpracování vynechat, pro správné určení poloviční hodnoty. Bez jejich zanedbání by totiž nebylo možné uvažovat extrapolaci hodnot nutnou k odhadu poloviny S_{\max}^G , protože není zřejmý průběh mezi prvními třemi naměřenými hodnotami. Je také pravděpodobné, že tyto zanedbané hodnoty byly zatíženy hrubou chybou.

Pro křemík mi vyšla hodnota $E_{\text{Si}} = 1,19 \text{ eV}$ a pro germanium $E_{\text{G}} = 0,72 \text{ eV}$. Tabulkové hodnoty¹ jsou pro křemík $E_{\text{Si tab}} = 1,1 \text{ eV}$ a pro germanium $E_{\text{G tab}} = 0,75 \text{ eV}$. Obě dvě hodnoty mi vyšli velmi blízko tabulkovým hodnotám.

¹<https://publi.cz/books/353/05.html>

5. Příloha

Tabulka 3: Naměřená a dopočítaná data pro křemíkovou diodu.

U [mV]	d [mm]	λ [nm]	E [eV]	D	S
0,0	10,750	1192,58	1,040345550	135,2724188	0,000000000
0,1	10,850	1129,24	1,098699745	140,9840381	0,000709300
0,2	10,870	1117,31	1,110434139	142,3317518	0,001405168
0,3	10,890	1105,61	1,122184641	143,7494287	0,002086965
0,4	10,910	1094,14	1,133949088	145,2366605	0,002754126
0,5	10,930	1082,90	1,145725331	146,7926125	0,003406166
0,6	10,940	1077,35	1,151617208	147,5959938	0,004065151
0,7	10,950	1071,87	1,157511234	148,4160744	0,004716470
0,8	10,960	1066,44	1,163407144	149,2526521	0,005360039
0,9	10,970	1061,06	1,169304677	150,1055066	0,005995783
1,0	10,980	1055,73	1,175203569	150,9744013	0,006623639
1,1	10,990	1050,46	1,181103560	151,8590841	0,007243557
1,2	10,995	1047,84	1,184053886	152,3072635	0,007878810
1,3	11,005	1042,64	1,189955039	153,2151257	0,008484802
1,4	11,010	1040,07	1,192905801	153,6747372	0,009110151
1,5	11,020	1034,95	1,198807538	154,6051375	0,009702136
1,6	11,030	1029,88	1,204709344	155,5501886	0,010286069
1,7	11,035	1027,36	1,207660194	156,0281112	0,010895473
1,8	11,045	1022,36	1,213561631	156,9945517	0,011465366
1,9	11,048	1020,87	1,215331964	157,2872007	0,012079813
2,0	11,052	1018,89	1,217692318	157,6793240	0,012683971
2,1	11,060	1014,96	1,222412658	158,4700892	0,013251712
2,2	11,065	1012,52	1,225362575	158,9686693	0,013839205
2,3	11,070	1010,09	1,228312228	159,4705460	0,014422726
2,4	11,080	1005,26	1,234210618	160,4840179	0,014954760
2,5	11,090	1000,48	1,240107585	161,5101583	0,015478903
2,6	11,100	995,74	1,246002885	162,5486163	0,015995215
2,7	11,110	991,06	1,251896278	163,5990370	0,016503765
2,8	11,120	986,41	1,257787526	164,6610623	0,017004627
2,9	11,150	972,76	1,275446048	167,9131529	0,017270833
3,0	11,170	963,87	1,287203397	170,1325894	0,017339418
2,9	11,180	959,49	1,293076889	171,2566275	0,017050435
2,9	11,190	955,16	1,298946629	172,3897274	0,016938364
2,9	11,200	950,86	1,304812397	173,5315269	0,016711661
2,8	11,230	938,23	1,322383700	177,0055273	0,015818715
2,7	11,250	930,01	1,334074114	179,3584752	0,015053652
2,6	11,260	925,96	1,339911563	180,5449826	0,014400843
2,5	11,280	917,97	1,351569930	182,9363465	0,013665956
2,4	11,290	914,03	1,357390453	184,1405279	0,013033524
2,3	11,315	904,36	1,371914944	187,1731184	0,012288089
2,2	11,350	891,19	1,392180279	191,4640267	0,011490409
2,1	11,370	883,86	1,403721696	193,9351593	0,010828361

Tabulka 4: Naměřená a dopočítaná data pro germaniovou diodu.

U [mV]	d [mm]	λ [nm]	E [eV]	D	S
0,00	9,80	2233,54	0,555485749	21,264730150	0,000000000
0,10	9,89	2089,75	0,593706763	-2,647680793	-0,037768903
0,20	9,94	2014,94	0,615751390	6,786073315	0,029472125
0,30	9,97	1971,71	0,629252373	15,934023490	0,018827636
0,40	10,00	1929,68	0,642956641	26,378463380	0,015163886
0,50	10,04	1875,47	0,661541279	41,029813810	0,012186261
0,60	10,10	1797,92	0,690074658	62,213457670	0,009644216
0,70	10,14	1748,64	0,709524007	74,819536660	0,009355845
0,80	10,15	1736,61	0,714438580	77,729254720	0,010292135
0,90	10,16	1724,69	0,719373775	80,536684600	0,011175032
1,00	10,18	1701,21	0,729305463	85,839464490	0,011649653
1,10	10,20	1678,17	0,739317895	90,723478660	0,012124756
1,20	10,22	1655,57	0,749409844	95,192662570	0,012606014
1,30	10,24	1633,40	0,759580026	99,257598010	0,013097234
1,40	10,26	1611,66	0,769827108	102,934066900	0,013600939
1,50	10,27	1600,95	0,774979055	104,632672400	0,014335866
1,60	10,30	1569,42	0,790546375	109,203511600	0,014651543
1,70	10,33	1538,80	0,806277011	113,051592400	0,015037382
1,80	10,34	1528,79	0,811555952	114,188806800	0,015763366
1,90	10,35	1518,88	0,816852262	115,258838100	0,016484636
2,00	10,36	1509,06	0,822165739	116,265043200	0,017202075
2,10	10,37	1499,34	0,827496175	117,210774600	0,017916442
2,20	10,38	1489,72	0,832843365	118,099367800	0,018628381
2,30	10,39	1480,18	0,838207097	118,934130800	0,019338435
2,40	10,41	1461,40	0,848983329	120,455200400	0,019924420
2,50	10,42	1452,14	0,854395394	121,147900500	0,020635933
2,60	10,43	1442,97	0,859823132	121,799542600	0,021346550
2,65	10,44	1433,89	0,865266317	122,413168400	0,021647998
2,68	10,45	1424,91	0,870724723	122,991747400	0,021790080
2,68	10,46	1416,00	0,876198121	123,538172500	0,021693700
2,65	10,47	1407,19	0,881686281	124,055256600	0,021361449
2,60	10,43	1447,54	0,857107318	121,478662100	0,021402936
2,50	10,50	1381,26	0,898236977	125,457323000	0,019927095
2,42	10,52	1364,40	0,909340235	126,293036800	0,019161785
2,50	10,55	1339,71	0,926094446	127,444694500	0,019616352
2,60	10,56	1331,65	0,931704678	127,809897100	0,020342713
2,60	10,57	1323,66	0,937327239	128,169030900	0,020285712
2,68	10,59	1307,92	0,948608332	128,876315200	0,020795132
2,70	10,60	1300,16	0,954266351	129,227856000	0,020893328
2,70	10,61	1292,48	0,959935676	129,580111300	0,020836531
2,70	10,62	1284,88	0,965616045	129,934560900	0,020779691
2,70	10,63	1277,35	0,971307199	130,292601600	0,020722589
2,68	10,65	1262,52	0,982720805	131,024637900	0,020454168
2,60	10,68	1240,81	0,999915493	132,179963200	0,019670152
2,50	10,74	1199,27	1,034545762	134,789972700	0,018547374
2,40	10,76	1185,96	1,046152634	135,769946500	0,017676961
2,30	10,78	1172,92	1,057787604	136,811981200	0,016811393
2,20	10,79	1166,49	1,063614944	137,357229200	0,016016631
2,10	10,80	1160,13	1,069444849	137,919044600	0,015226324