

FYZIKÁLNÍ PRAKTIKUM

Fyzikální praktiku 3

Zpracoval: Radek Žemlička

Naměřeno: 2. dubna 2009

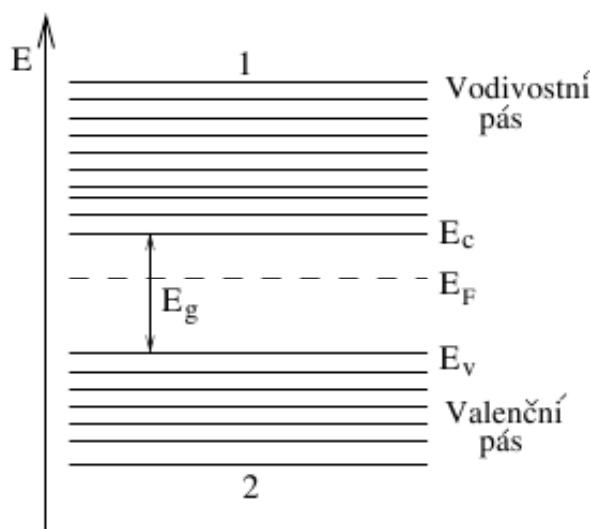
Obor: F **Ročník:** II **Semestr:** IV

Testováno:

Úloha č. 5: Šířka pásu zakázaných energií v polovodičích

1. Teorie

Šířka pásu zakázaných energií elektronu v látce E_g je jednou z charakteristik, podle které rozlišujeme látky na kovy, polovodiče a dielektrika. Elektron v libovolné pevné látce může nabývat pouze určitých hodnot. Dovolené hodnoty energie se shlukují do intervalů, kterým říkáme energiové pásy. Z hlediska rozdělení látek do výše zmíněných tří skupin nás zajímají pouze dva pásy s vysokými hodnotami energie. Je to tzv. valenční pás a vodivostní pás. Viz schéma na obrázku 1.



Obrázek 1: Pásové schéma polovodiče. E_c je energie dna vodivostního pásu, E_v energie stropu valenčního pásu, E_f energie tzv. Fermiho hladiny a E_g šířka zakázaného pásu

Aby látka mohla vést proud, musí v ní mít některé elektrony možnost pohybovat se volně v pásu energií, ve kterém se zrovna nachází. Tuto možnost má pouze v případě, není-li daný pás bezesbýtku zaplněn elektrony. (V každém pásu se totiž může vyskytovat pouze omezený počet elektronů). Dielektrika mají valenční pás zcela zaplněn. Vodivostní pás je sice neobsazen, ale „energiová“ vzdálenost mezi těmito dvěma pásy (tedy šířka zakázaného pásu E_g) je natolik velká, že ji elektrony nemohou za běžných podmínek překonat. U kovů je naopak E_g nulová a elektrony mají dost volných stavů, aby se mohli pohybovat a podílet se na elektrické vodivosti. Konečně u polovodičů, je šířka zakázaného pásu nenulová, avšak dostatečně malá na to, aby mohlo docházet k přechodu elektronů z valenčního do vodivostního pásu.

U polovodičů existuje další typ vodivosti. Tím je například děrový, kdy se postupně zaplňují volná místa ve valenčním pásu elektrony ve směru k nižšímu potenciálu. Šířku zakázaného pásu můžeme zjišťovat u polovodičů například na PN přechodu pomocí fotoelektrického jevu. V oblasti PN přechodu dochází k vytvoření prostorového náboje díky přesunům elektronů a děr. Vznikne tu tedy nenulové elektrické pole. Pokud dopadající fotony mají energii větší než šířka zakázaného pásu, elektrony mohou přecházet z valenčního do vodivostního pásu. Díky elektrickému poli se náboje rozdělují, čímž se ale mění prostorový náboj a také elektrické pole. Na PN přechodu se pak objevuje fotonapětí, které závisí na intenzitě záření. Záření o různých vlnových délkách se absorbuje v různé hloubce. Absorpce záření je popsána vztahem

$$I(x) = I_0 R e^{-\alpha x} \quad (1)$$

kde $I(x)$ je intenzita záření v hloubce x , R optická odrazivost, a α koeficient absorpce, který je závislý na vlnové délce (s jejím růstem klesá).

2. Měření

2.1. Způsob měření

Měření bylo provedeno s křemíkovou a germaniovou fotodiodou. Na diodu dopadalo světlo ze žárovky rozkládané otočným hranolem. Napětí diody bylo měřeno voltmetrem. Vzhledem k použité optické soustavě byla vlnová délka určena polohou mikrometrického šroubu, jehož otáčením byl hranol nastavován. Měřena tedy byla poloha mikrometrického šroubu a napětí na diodě.

Šířka zakázaného pásu E_g se určuje z tzv. spektrální závislosti fotonapětí připadajícího na jeden foton $S(\lambda)$, s čímž rozumíme závislost podílu měřeného fotonapětí $U(\lambda)$ a počtu $N(\lambda)$ dopadajících fotonů na vlnové délce:

$$S(\lambda) = \frac{U(\lambda)}{N(\lambda)} \quad (2)$$

2.2. Naměřené hodnoty a jejich zpracování

Byla měřena závislost napětí U na poloze hranolu d . Polohu hranolu d je možné přepočítat na vlnovou délku, pomocí tabulky uvedené v návodu. Z této tabulky byl numericky (metodou interpolace spline – funkcemi) vypořítán následující interpolační polynom, který byl dále užíván, jako převodní vztah:

$$\lambda(d) = -1,20d^5 + 6,35d^4 - 1,34d^3 + 1,41d^2 - 7,34d + 1,54 \quad (3)$$

Z další tabulky uvedené v návodu byl pomocí programu SciDavis numericky vytvořeny interpolační polynomy aproximující vztah pro závislost počtu dopadajících fotonů na vlnové délce:

$$N(\lambda) = \begin{cases} -5,79 \cdot 10^{-9} \lambda^3 + 2,42 \cdot 10^{-5} \lambda^2 - 2,33 \cdot 10^{-2} \lambda + 6,84, & \lambda \in (700, 1050) \\ 3,41 \cdot 10^{-8} \lambda^3 - 1,42 \cdot 10^{-4} \lambda^2 + 0,19 \lambda - 85,3, & \lambda \in (1050, 1300) \\ 2,49 \cdot 10^{-10} \lambda^3 - 2,07 \cdot 10^{-6} \lambda^2 + 2,60 \cdot 10^{-3} \lambda + 2,83, & \lambda \in (1300, 2000) \end{cases} \quad (4)$$

2.2..1 Tabulky a grafy shrnující měření

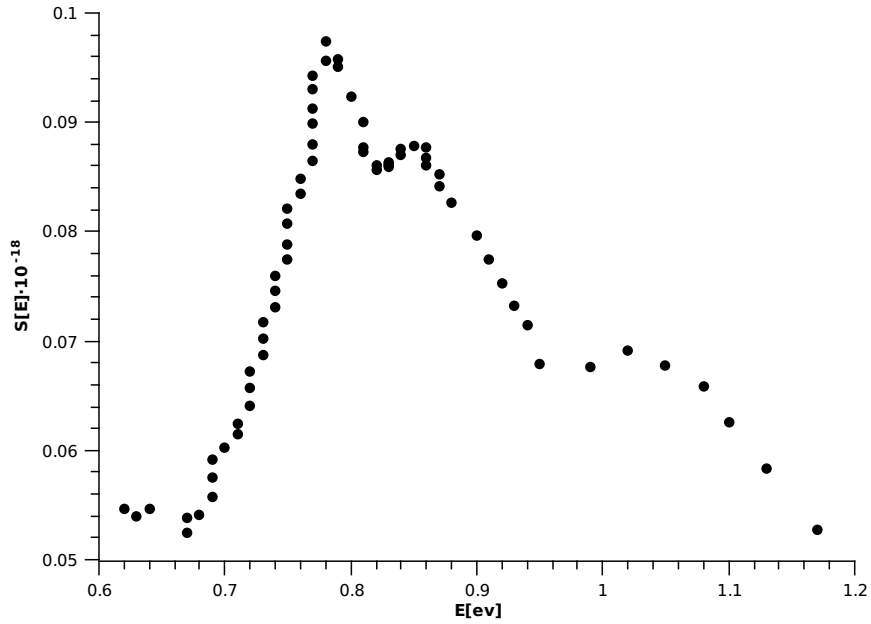
$d[mm]$	$U[mV]$	$\lambda[nm]$	$N[10^{-16}]$	$E[eV]$	$S[10^{-18}V]$
9,85	0,090	2111,70	1,43	0,59	0,0627
9,98	0,095	2000,26	1,74	0,62	0,0546
10,03	0,100	1957,67	1,85	0,63	0,0539
10,06	0,105	1932,20	1,92	0,64	0,0546
10,14	0,110	1864,71	2,10	0,67	0,0525
10,16	0,115	1847,94	2,14	0,67	0,0538
10,20	0,120	1814,54	2,22	0,68	0,0541
10,21	0,125	1806,22	2,24	0,69	0,0558
10,22	0,130	1797,91	2,26	0,69	0,0575
10,23	0,135	1789,62	2,28	0,69	0,0592
10,25	0,140	1773,07	2,32	0,70	0,0603
10,27	0,145	1756,57	2,36	0,71	0,0615
10,29	0,150	1740,13	2,40	0,71	0,0625
10,30	0,155	1731,94	2,42	0,72	0,0641
10,31	0,160	1723,76	2,44	0,72	0,0657
10,32	0,165	1715,59	2,46	0,72	0,0672
10,33	0,170	1707,44	2,47	0,73	0,0687
10,34	0,175	1699,30	2,49	0,73	0,0702
10,35	0,180	1691,18	2,51	0,73	0,0717
10,36	0,185	1683,08	2,53	0,74	0,0731
10,37	0,190	1674,99	2,55	0,74	0,0746
10,38	0,195	1666,92	2,57	0,74	0,0760
10,39	0,200	1658,87	2,58	0,75	0,0774
10,40	0,205	1650,84	2,60	0,75	0,0788
10,40	0,210	1650,84	2,60	0,75	0,0807
10,41	0,215	1642,82	2,62	0,75	0,0821
10,42	0,220	1634,82	2,64	0,76	0,0835
10,43	0,225	1626,84	2,65	0,76	0,0848
10,44	0,230	1618,87	2,67	0,77	0,0861
10,44	0,235	1618,87	2,67	0,77	0,0880
10,44	0,240	1618,87	2,67	0,77	0,0899
10,45	0,245	1610,93	2,69	0,77	0,0912
10,45	0,250	1610,93	2,69	0,77	0,0930
10,46	0,255	1603,00	2,70	0,77	0,0943
10,47	0,260	1595,10	2,72	0,78	0,0956
10,47	0,265	1595,10	2,72	0,78	0,0974
10,50	0,265	1571,50	2,77	0,79	0,0957
10,51	0,265	1563,67	2,79	0,79	0,0951
10,53	0,260	1548,08	2,82	0,80	0,0923
10,54	0,255	1540,31	2,83	0,81	0,0900
10,55	0,250	1532,57	2,85	0,81	0,0877
10,56	0,250	1524,85	2,86	0,81	0,0873
10,57	0,248	1517,15	2,88	0,82	0,0861
10,58	0,247	1513,30	2,89	0,82	0,0856
10,58	0,249	1509,47	2,89	0,82	0,0860
10,59	0,250	1501,81	2,91	0,83	0,0859
10,60	0,252	1497,99	2,92	0,83	0,0864
10,60	0,252	1494,18	2,92	0,83	0,0862
10,61	0,253	1486,57	2,94	0,83	0,0861
10,62	0,257	1478,98	2,95	0,84	0,0870
10,63	0,260	1471,42	2,97	0,84	0,0876
10,64	0,262	1463,87	2,98	0,85	0,0879

$d[mm]$	$U[mV]$	$\lambda[nm]$	$N[10^{-16}]$	$E[eV]$	$S[10^{-18}V]$
10,65	0,263	1456,36	3,00	0,85	0,0878
10,66	0,264	1448,87	3,01	0,86	0,0877
10,67	0,262	1441,40	3,02	0,86	0,0867
10,68	0,261	1433,95	3,04	0,86	0,0860
10,69	0,260	1426,54	3,05	0,87	0,0853
10,70	0,258	1419,14	3,06	0,87	0,0842
10,72	0,255	1404,43	3,09	0,88	0,0826
10,76	0,250	1375,32	3,14	0,90	0,0797
10,78	0,245	1360,93	3,16	0,91	0,0775
10,80	0,240	1346,65	3,19	0,92	0,0753
10,82	0,235	1332,48	3,21	0,93	0,0732
10,83	0,230	1325,44	3,22	0,94	0,0714
10,85	0,220	1311,44	3,24	0,95	0,0679
10,93	0,210	1256,64	3,11	0,99	0,0676
11,00	0,200	1210,33	2,89	1,02	0,0691
11,04	0,190	1184,60	2,81	1,05	0,0677
11,09	0,180	1153,20	2,74	1,08	0,0658
11,14	0,170	1122,70	2,72	1,10	0,0626
11,19	0,160	1093,12	2,74	1,13	0,0583
11,25	0,150	1058,88	2,84	1,17	0,0528
11,33	0,130	1015,47	2,21	1,22	0,0589
11,58	0,110	897,69	1,35	1,38	0,0813

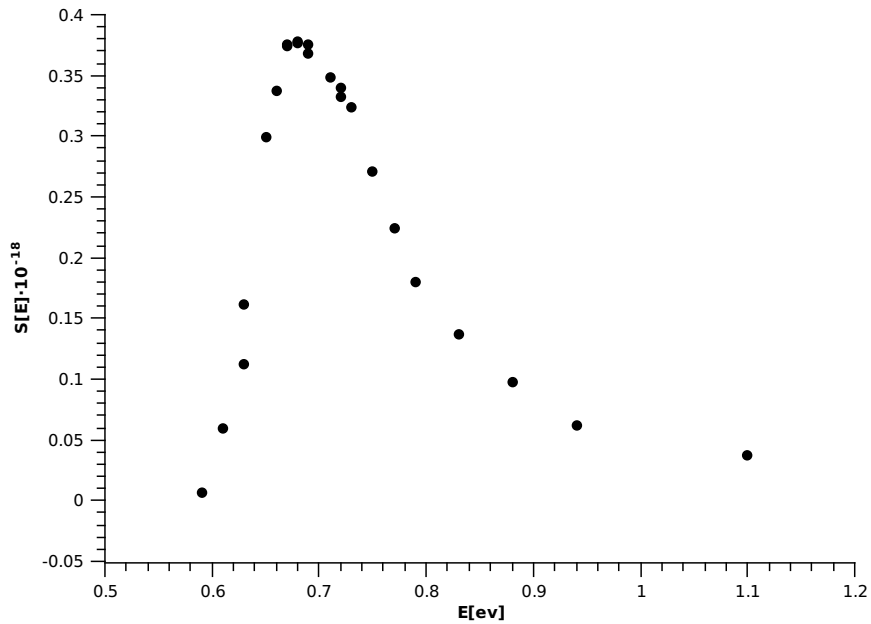
Tabulka 1: Tabulka hodnot pro křemík

$d[mm]$	$U[mV]$	$\lambda[nm]$	$N[10^{-16}]$	$E[eV]$	$S[10^{-18}V]$
9,88	0,01	2085,91	1,51	0,59	0,0664
9,95	0,10	2025,9	1,67	0,61	0,5981
10,00	0,20	1983,2	1,79	0,63	1,1192
10,03	0,30	1957,67	1,85	0,63	1,6173
10,60	0,40	1494,18	2,92	0,83	1,3680
10,80	0,50	1346,65	3,19	0,92	1,5696
10,10	0,60	1898,38	2,01	0,65	2,9860
10,13	0,70	1873,11	2,07	0,66	3,3754
10,16	0,80	1847,94	2,14	0,67	3,7433
10,17	0,81	1839,57	2,16	0,67	3,7534
10,18	0,82	1831,22	2,18	0,68	3,7636
10,19	0,83	1822,87	2,2	0,68	3,7738
10,20	0,84	1814,54	2,22	0,68	3,7615
10,21	0,84	1806,22	2,24	0,69	3,7496
10,23	0,84	1789,62	2,28	0,69	3,6833
10,28	0,83	1748,35	2,38	0,71	3,4889
10,30	0,82	1731,94	2,42	0,72	3,3920
10,31	0,81	1723,76	2,44	0,72	3,3245
10,33	0,80	1707,44	2,47	0,73	3,2336
10,39	0,70	1658,87	2,58	0,75	2,7096
10,44	0,60	1618,87	2,67	0,77	2,2467
10,50	0,50	1571,5	2,77	0,79	1,8049
10,59	0,40	1501,81	2,91	0,83	1,3749
10,71	0,30	1411,77	3,08	0,88	0,9754
10,84	0,20	1318,42	3,23	0,94	0,6191
11,14	0,10	1122,7	2,72	1,10	0,3681

Tabulka 2: Tabulka hodnot pro germanium



Obrázek 2: Graf závislosti fotonapětí na energii fotonu pro křemík



Obrázek 3: Graf závislosti fotonapětí na energii fotonu pro germanium

3. Závěr

Z grafů byly odečteny energie pro poloviční hodnoty z maximální hodnoty $S(E)$. Odtud získáváme šířku zakázaného pásu pro křemík: $E_g = 0,82\text{eV}$ a pro germanium: $E_g = 0,64\text{eV}$. Tabulkové hodnoty šířky zakázaného pásu jsou $E_g = 1,11\text{eV}$ pro křemík a $E_g = 0,67\text{eV}$ pro germanium. U germania se naše měření téměř přesně shoduje s tabulkovou hodnotou, u křemíku je odchylka způsobena pravděpodobně pouze nepřesností měření.