

Datum: 24.3.2005

Vypracoval: Tomáš Henych

Název: Šířka pásu zakázaných energií v polovodičích

Úkol:

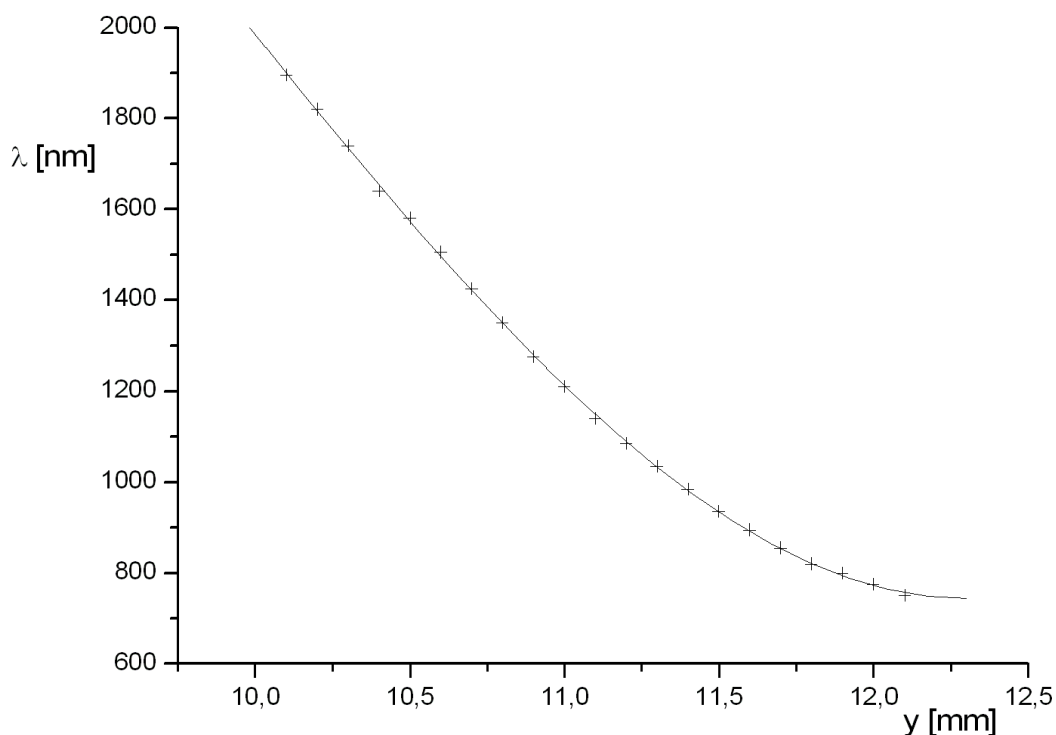
Pomocí fotoelektrického jevu určete šířku pásu zakázaných energií v křemíku a germaniu.

Teorie úlohy:

Polovodiče jsou látky, které mají za nulové teploty neobsazený vodivostní pás. Blízko pod ním se však nachází valenční pás, takže už za běžných teplot dojde k přechodu elektronů z valenčního do vodivostního pásu a polovodič vede proud. Šířku tzv. pásu zakázaných energií můžeme určit pomocí fotoelektrického jevu. Fotoelektrický jev vzniká na nehomogenitě v polovodiči (např. přechod PN). Fotony, které mají energii rovnu nebo větší než šířka pásu zakázaných energií, generují nadbytečné elektrony, v polovodiči vzniká fotonapětí. Velikost fotonapětí závisí na vlnové délce záření – nejdříve s klesající vlnovou délkou záření roste, dosahuje maxima a pak klesá. Šířka zakázaného pásu E_g se určuje ze spektrální závislosti fotonapětí připadajícího na jeden foton $S(\lambda)$, tj. závislosti podílu měřeného fotonapětí $U(\lambda)$ a počtu $N(\lambda)$ dopadajících

fotonů na vlnové délce: $S(\lambda) = \frac{U(\lambda)}{N(\lambda)}$. Měření provádíme pro dvě fotodiody: křemíkovou a

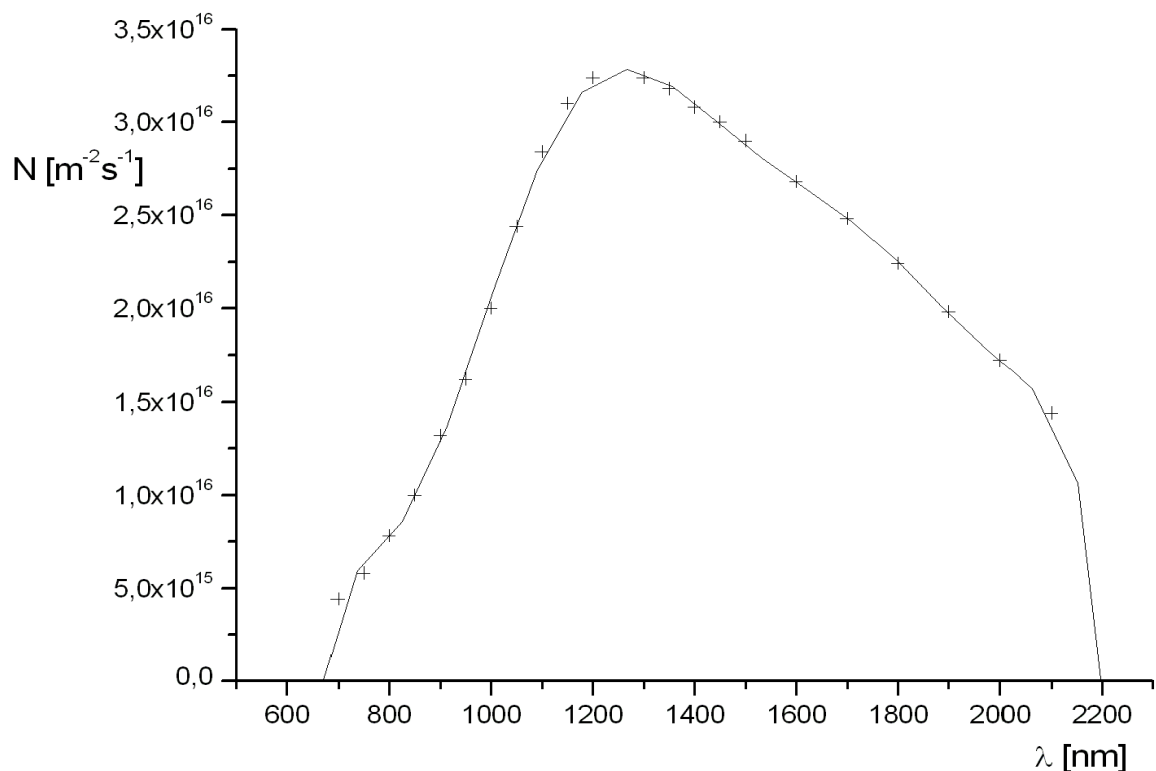
germaniovou. Proměříme závislost napětí $U(\lambda)$ na vlnové délce. Měřicí aparatura sestává ze zdroje monochromatického světla a dále citlivého voltmetru. Paprsek světla je přerušován rotujícím kotoučem, protože je výhodnější měřit střídavé napětí. Na monochromátoru odečítáme dílky (y udávané v mm) a pomocí *grafu 1* převedeme na hodnoty vlnové délky. Z *grafu 2* $N(\lambda) = f(\lambda)$ odečteme hodnoty $N(\lambda)$ pro vlnové délky, pro které jsme měřili $U(\lambda)$. Do grafu vyneseme $S(\lambda)$ a pro poloviční výšku odečteme šířku zakázaného pásu energií E_g (jako na *obr. 1*).



Graf 1

rovnice závislosti proložené body převodu dílků monochromátoru na vlnovou délku:

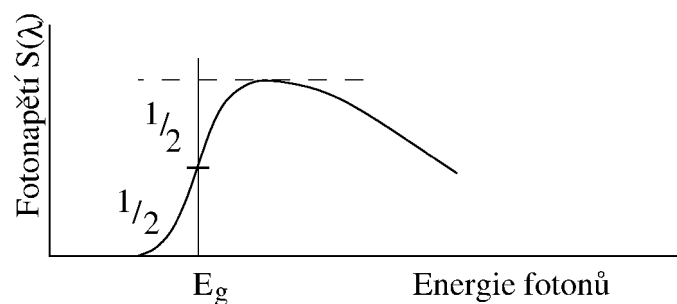
$$y = -29337,67312 + 11460,14694x - 1267,14514x^2 + 43,43588x^3$$



Graf 2

rovnice závislosti proložené body převodu vlnové délky na počet fotonů:

$$y = -1,28385 \cdot 10^{19} + 8,46027 \cdot 10^{16} x - 2,37017 \cdot 10^{14} x^2 + 3,68627 \cdot 10^{11} x^3 - 3,48372 \cdot 10^8 x^4 + 205282,35693 x^5 - 73,83543 x^6 + 0,01486 x^7 - 1,28264 \cdot 10^{-6} x^8$$



Obrázek 1

Výpočet chyby naměřených hodnot:

Chybu zjištěné hodnoty určíme standardní metodou ze zákona šíření chyb. Napětí měříme s chybou s_U a relativní chybou δ_U , délky na monochromátoru odečítáme s chybou s_y . Předpokládáme, že relativní chyba měření se při převodu hodnot na vlnovou délku a počet fotonů zachovává. Proto relativní chyba fotonapětí připadajícího na jeden foton $S(\lambda)$ je $\delta_S = \sqrt{\delta_U^2 + \delta_N^2}$. V grafech 3 a 4 jsou vyneseny hodnoty fotonapětí připadajícího na jeden foton v závislosti na energii fotonů včetně spočtených chyb (energii fotonů spočteme ze vztahu $E = \frac{hc}{\lambda}$, kde h je Planckova konstanta a c je rychlost světla ve vakuu).

Použité hodnoty:

$$s_y = 0,005 \text{ mm}, \quad h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}, \quad c = 299\,792,458 \text{ km.s}^{-1}$$

Výsledky:

1. Hodnoty naměřené pro křemíkovou fotodiodu

Hodnoty fotonapětí připadajícího na jeden foton v závislosti na energii fotonů pro křemíkovou fotodiodu jsou vyneseny v *grafu 3*.

$\frac{U}{mV}$	$\frac{s_U}{mV}$	$\frac{y}{mm}$	$\frac{\lambda}{nm}$	$\frac{N}{m^{-2}s^{-1}}$	$\frac{S}{mV \cdot m^2 \cdot s}$	$\frac{s_s}{mV \cdot m^2 \cdot s}$
0,02	0,005	11,02	1199,6	5,12E+16	3,90E-19	9,77E-20
0,04	0,005	11,06	1174,2	4,80E+16	8,33E-19	1,08E-19
0,06	0,005	11,07	1167,9	4,72E+16	1,27E-18	1,02E-19
0,10	0,005	11,09	1155,4	4,57E+16	2,19E-18	1,09E-19
0,12	0,005	11,10	1152,3	4,53E+16	2,65E-18	1,06E-19
0,14	0,005	11,11	1143,1	4,41E+16	3,17E-18	1,27E-19
0,16	0,005	11,12	1137,0	4,34E+16	3,69E-18	1,11E-19
0,20	0,005	11,13	1131,0	4,26E+16	4,69E-18	1,41E-19
0,22	0,005	11,14	1124,9	4,19E+16	5,25E-18	1,05E-19
0,24	0,005	11,15	1119,0	4,11E+16	5,83E-18	1,17E-19
0,26	0,005	11,16	1113,0	4,04E+16	6,43E-18	1,29E-19
0,30	0,005	11,17	1107,1	3,97E+16	7,56E-18	1,51E-19
0,32	0,005	11,17	1107,1	3,97E+16	8,07E-18	1,61E-19
0,44	0,005	11,19	1095,4	3,82E+16	1,15E-17	1,15E-19
0,46	0,005	11,20	1089,6	3,75E+16	1,23E-17	1,23E-19
0,50	0,005	11,21	1083,8	3,68E+16	1,36E-17	1,36E-19
0,58	0,005	11,22	1078,1	3,61E+16	1,61E-17	1,61E-19
0,64	0,005	11,24	1066,8	3,47E+16	1,85E-17	1,84E-19
0,70	0,005	11,27	1050,1	3,26E+16	2,15E-17	2,15E-19
0,78	0,005	11,30	1033,7	3,06E+16	2,55E-17	2,55E-19
0,86	0,005	11,31	1028,4	2,99E+16	2,87E-17	2,88E-19
0,88	0,005	11,33	1017,8	2,86E+16	3,07E-17	3,08E-19
0,90	0,005	11,35	1007,3	2,74E+16	3,29E-17	3,28E-19
0,92	0,005	11,37	997,1	2,61E+16	3,52E-17	3,52E-19
0,92	0,005	11,40	982,0	2,44E+16	3,78E-17	3,77E-19
0,92	0,005	11,41	977,0	2,38E+16	3,87E-17	3,87E-19
0,84	0,005	11,45	957,7	2,16E+16	3,89E-17	3,89E-19
0,80	0,005	11,50	934,6	1,91E+16	4,19E-17	4,19E-19
0,72	0,005	11,55	912,6	1,69E+16	4,26E-17	4,26E-19
0,50	0,200	11,60	891,9	1,50E+16	3,33E-17	1,33E-17
0,40	0,040	11,65	872,3	1,34E+16	2,98E-17	2,99E-18
0,30	0,060	11,70	854,0	1,21E+16	2,48E-17	4,96E-18
0,28	0,020	11,75	837,0	1,11E+16	2,53E-17	1,77E-18
0,24	0,020	11,80	821,3	1,02E+16	2,35E-17	1,88E-18
0,22	0,020	11,85	807,0	9,52E+15	2,31E-17	2,08E-18
0,24	0,020	11,90	794,0	8,97E+15	2,67E-17	2,14E-18
0,20	0,020	12,00	772,4	8,18E+15	2,45E-17	2,44E-18
0,17	0,005	12,10	756,7	7,64E+15	2,23E-17	6,68E-19
0,16	0,005	12,15	751,2	7,45E+15	2,15E-17	6,44E-19
0,15	0,005	12,20	747,2	7,31E+15	2,05E-17	6,16E-19
0,13	0,005	12,25	744,8	7,22E+15	1,80E-17	7,20E-19
0,12	0,005	12,30	744,1	7,20E+15	1,67E-17	6,67E-19

$$E_g = (1,18 \pm 0,02) eV$$

2. Hodnoty naměřené pro germaniovou fotodiodu

Hodnoty fotonapětí připadajícího na jeden foton v závislosti na energii fotonů pro germaniovou fotodiodu jsou vyneseny v *grafu 4*.

$\frac{U}{mV}$	$\frac{s_U}{mV}$	$\frac{y}{mm}$	$\frac{\lambda}{nm}$	$\frac{N}{m^{-2} \cdot s^{-1}}$	$\frac{S}{mV \cdot m^2 \cdot s}$	$\frac{s_s}{mV \cdot m^2 \cdot s}$
0,02	0,005	10,21	1808,2	3,39E+17	5,90E-20	1,47E-20
0,03	0,005	10,24	1783,4	3,10E+17	9,66E-20	1,65E-20
0,04	0,005	10,28	1750,4	2,76E+17	1,45E-19	1,88E-20
0,05	0,005	10,32	1717,6	2,46E+17	2,03E-19	2,03E-20
0,06	0,005	10,34	1701,3	2,32E+17	2,58E-19	2,07E-20
0,07	0,005	10,37	1677,0	2,13E+17	3,28E-19	2,30E-20
0,09	0,005	10,39	1660,9	2,01E+17	4,47E-19	2,69E-20
0,11	0,005	10,40	1652,9	1,96E+17	5,37E-19	2,81E-20
0,13	0,010	10,43	1628,9	1,80E+17	7,23E-19	5,78E-20
0,14	0,010	10,44	1620,9	1,75E+17	8,01E-19	5,60E-20
0,15	0,010	10,50	1573,6	1,48E+17	1,01E-18	7,09E-20
0,18	0,010	10,51	1565,8	1,44E+17	1,25E-18	7,50E-20
0,19	0,020	10,53	1550,2	1,37E+17	1,39E-18	1,53E-19
0,23	0,030	10,58	1511,6	1,20E+17	1,91E-18	2,49E-19
0,24	0,030	10,64	1466,0	1,04E+17	2,31E-18	3,00E-19
0,35	0,020	10,70	1421,3	9,06E+16	3,86E-18	2,32E-19
0,32	0,020	10,75	1384,7	8,16E+16	3,92E-18	2,35E-19
0,31	0,020	10,80	1348,8	7,41E+16	4,18E-18	2,51E-19
0,32	0,020	10,85	1313,6	6,77E+16	4,73E-18	2,84E-19
0,30	0,020	10,90	1279,1	6,22E+16	4,82E-18	3,38E-19
0,26	0,010	11,00	1212,5	5,29E+16	4,92E-18	1,97E-19
0,23	0,010	11,05	1180,5	4,88E+16	4,71E-18	1,89E-19
0,23	0,010	11,10	1149,3	4,49E+16	5,12E-18	2,05E-19
0,20	0,010	11,15	1119,0	4,11E+16	4,86E-18	2,43E-19
0,19	0,010	11,20	1089,6	3,75E+16	5,07E-18	2,53E-19
0,16	0,010	11,25	1061,2	3,40E+16	4,71E-18	2,82E-19
0,15	0,010	11,30	1033,7	3,06E+16	4,90E-18	3,43E-19
0,13	0,010	11,35	1007,3	2,74E+16	4,75E-18	3,80E-19
0,11	0,010	11,40	982,0	2,44E+16	4,52E-18	4,06E-19
0,11	0,010	11,45	957,7	2,16E+16	4,86E-18	5,09E-19
0,09	0,010	11,50	934,6	1,91E+16	4,71E-18	5,18E-19
0,08	0,010	11,55	912,6	1,69E+16	4,44E-18	6,15E-19
0,06	0,005	11,60	891,9	1,50E+16	3,99E-18	3,20E-19
0,05	0,005	11,65	872,3	1,34E+16	3,72E-18	3,73E-19
0,04	0,005	11,70	854,0	1,21E+16	3,30E-18	4,30E-19
0,04	0,005	11,75	837,0	1,11E+16	3,62E-18	4,68E-19
0,03	0,005	11,80	821,3	1,02E+16	2,94E-18	5,00E-19
0,03	0,005	11,85	807,0	9,52E+15	3,15E-18	5,36E-19
0,03	0,005	11,90	794,0	8,97E+15	2,79E-18	6,69E-19
0,02	0,005	12,00	772,4	8,18E+15	2,45E-18	6,11E-19
0,02	0,005	12,10	756,7	7,64E+15	1,96E-18	8,64E-19
0,01	0,005	12,20	747,2	7,31E+15	1,37E-18	6,84E-19

$$E_g = (0,85 \pm 0,02) eV$$

Závěr: Tabulkové hodnoty šířky pásu zakázaných energií jsou pro křemík 1,12 eV a pro germanium 0,67 eV při 300 K (hodnoty se mírně liší podle použitého zdroje). Naměřené hodnoty jsou tedy nadhodnoceny a tabulkové hodnoty leží mimo chybové intervaly. Výraznější chyba je u germaniové diody, nicméně u křemíkové diody jsou některé hodnoty zatíženy mnohem výraznějšími chybami. To se projevovalo skoky ručky voltmetru (někdy i dost výraznými). Je to zřejmě způsobeno tím, že jsme měřili velmi malá napětí, která voltmetr měří méně přesně. Zde je tedy hlavní zdroj chyb. Dále mohou být chyby způsobeny nepřesným přepočtem hodnot dílků na monochromátoru na vlnovou délku a počet fotonů.