

Fyzikální praktikum 3

Úloha č. 5: Šířka pásu zakázaných energií v polovodičích

Ondřej Mikulaščík, měřeno 26. února 2009

1. Zadání

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

2. Teorie

Poměrně obsáhlý teoretický úvod k této úloze je uveden v zadání, proto jej zde neuvádím. Při výpočtu jsem použil vztah pro výpočet energie fotonů:

$$(1) \quad E = \frac{hc}{\lambda}$$

a dále vztah pro tzv. spektrální závislost fotonapětí:

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

Měření spočívalo v nastavení aparatury umožňující měřit spektrální závislost fotonapětí diody a následném odečítání dílků na mikrošroubu a napětí na voltmetru. Pro výpočty bylo pak nutné podle převodních tabulek v zadání úlohy přiřadit k odečteným dílkům příslušné vlnové délky dopadajícího záření. Pro tyto vlnové délky pak bylo ještě potřeba určit počet dopadajících fotonů. To jsem provedl z tabulky 2 v zadání pomocí lineární interpolace.

Pro výpočty jsem použil konstanty:

$$c = 299792458 \text{ ms}^{-1}$$

$$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

$$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

3. Zpracování

V následujících dvou tabulkách jsou shrnuta měření napřed pro germaniovou a pak pro křemíkovou diodu. Dále jsem vytvořil grafy závislosti počtu dopadajících fotonů na vlnové délce a grafy závislosti fotonapětí na energii fotonů. Určil jsem, kde nastalo maximum pro fotonapětí a našel jsem tak pro polovinu této hodnoty příslušnou energii fotonů, která mi udává šířku zakázaného pásu energií.

Určená hodnota pro germaniovou diodu je:

$$E_G = 0,72 \text{ eV},$$

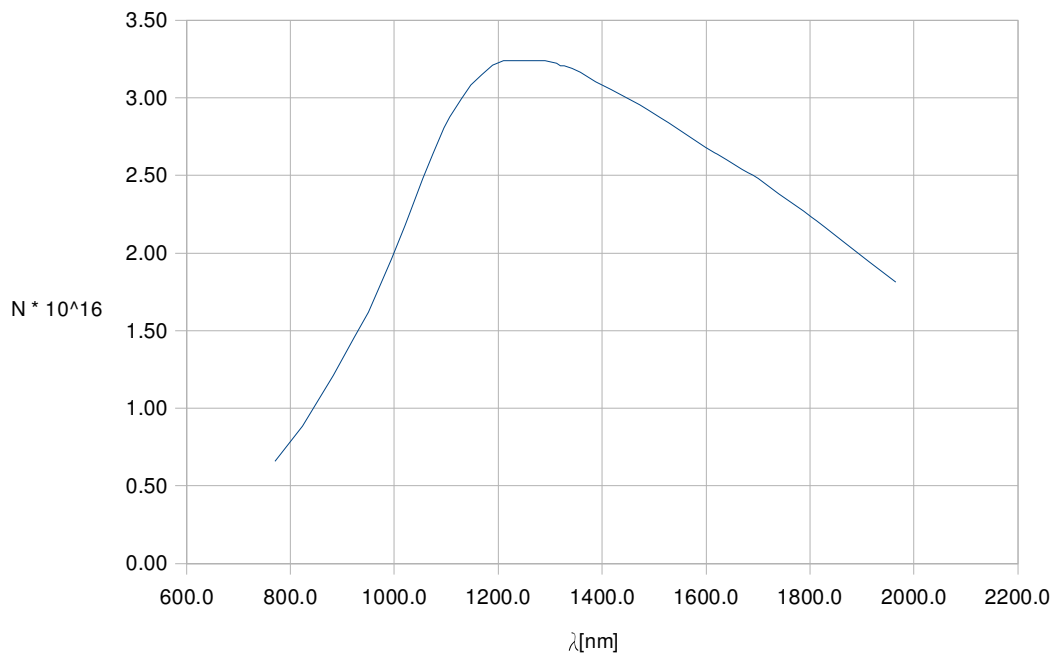
hodnota určená pro křemíkovou diodu:

$$E_G = 1,08 \text{ eV}.$$

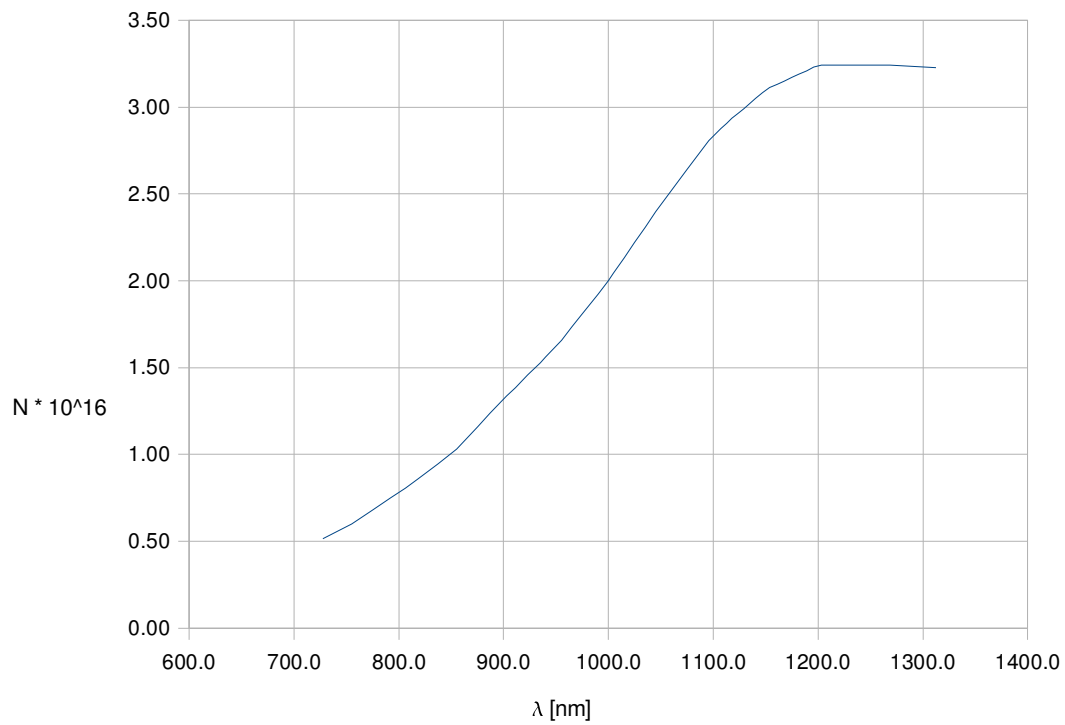
U [mV]	d [mm]	λ [nm]	$N \cdot 10^{16}$ [$m^{-2}s^{-1}$]	$S \cdot 10^{15}$ [Vm^2s]	E [eV]
0.02	10.03	1964.5	1.81	1.10	0.63
0.03	10.09	1913.5	1.94	1.54	0.65
0.04	10.15	1862.5	2.08	1.93	0.67
0.05	10.19	1828.5	2.17	2.31	0.68
0.06	10.21	1812.0	2.21	2.72	0.68
0.07	10.22	1804.0	2.23	3.14	0.69
0.08	10.24	1788.0	2.27	3.53	0.69
0.09	10.26	1772.0	2.31	3.90	0.70
0.10	10.28	1756.0	2.35	4.26	0.71
0.11	10.30	1740.0	2.38	4.61	0.71
0.12	10.31	1730.0	2.41	4.98	0.72
0.13	10.32	1720.0	2.43	5.35	0.72
0.14	10.33	1710.0	2.46	5.70	0.73
0.15	10.34	1700.0	2.48	6.05	0.73
0.16	10.35	1690.0	2.50	6.40	0.73
0.17	10.36	1680.0	2.52	6.75	0.74
0.18	10.37	1670.0	2.54	7.09	0.74
0.19	10.37	1670.0	2.54	7.48	0.74
0.20	10.38	1660.0	2.56	7.81	0.75
0.21	10.40	1640.0	2.60	8.08	0.76
0.22	10.41	1634.0	2.61	8.42	0.76
0.23	10.42	1628.0	2.62	8.77	0.76
0.24	10.43	1622.0	2.64	9.10	0.76
0.25	10.43	1622.0	2.64	9.48	0.76
0.26	10.44	1616.0	2.65	9.82	0.77
0.27	10.45	1610.0	2.66	10.15	0.77
0.28	10.47	1598.0	2.68	10.43	0.78
0.29	10.50	1580.0	2.72	10.65	0.78
0.28	10.53	1557.5	2.77	10.10	0.80
0.27	10.54	1550.0	2.79	9.68	0.80
0.26	10.57	1527.5	2.84	9.16	0.81
0.27	10.59	1512.5	2.87	9.40	0.82
0.28	10.62	1489.0	2.92	9.58	0.83
0.29	10.64	1473.0	2.95	9.82	0.84
0.28	10.71	1417.5	3.05	9.17	0.87
0.27	10.75	1387.5	3.11	8.70	0.89
0.26	10.79	1357.5	3.17	8.21	0.91
0.25	10.81	1342.5	3.19	7.84	0.92
0.24	10.83	1327.5	3.21	7.48	0.93
0.23	10.84	1320.0	3.21	7.17	0.94
0.22	10.85	1312.5	3.23	6.82	0.94
0.21	10.88	1290.0	3.24	6.48	0.96
0.21	10.92	1262.0	3.24	6.48	0.98
0.20	10.97	1229.5	3.24	6.17	1.01
0.19	11.00	1210.0	3.24	5.86	1.02
0.18	11.03	1189.0	3.21	5.61	1.04
0.17	11.06	1168.0	3.15	5.40	1.06
0.16	11.09	1147.0	3.08	5.19	1.08
0.15	11.12	1129.0	2.99	5.02	1.10
0.14	11.16	1107.0	2.88	4.87	1.12
0.13	11.18	1096.0	2.81	4.63	1.13
0.12	11.22	1075.0	2.64	4.55	1.15
0.11	11.26	1055.0	2.48	4.44	1.18
0.10	11.29	1030.0	2.26	4.42	1.20
0.09	11.33	1020.0	2.18	4.14	1.22
0.08	11.38	995.0	1.96	4.08	1.25
0.07	11.42	975.0	1.81	3.87	1.27
0.06	11.47	950.0	1.62	3.70	1.31
0.05	11.53	923.0	1.46	3.43	1.34

U [mV]	d [mm]	λ [nm]	$N \cdot 10^{16}$ [m ⁻² s ⁻¹]	$S \cdot 10^{15}$ [Vm ² s]	E [eV]
0.02	10.91	1268.5	3.24	0.62	0.98
0.03	10.93	1255.5	3.24	0.93	0.99
0.04	10.96	1236.0	3.24	1.23	1.00
0.05	10.97	1229.5	3.24	1.54	1.01
0.06	10.99	1216.5	3.24	1.85	1.02
0.07	11.00	1210.0	3.24	2.16	1.02
0.08	11.01	1203.0	3.24	2.47	1.03
0.09	11.02	1196.0	3.23	2.79	1.04
0.10	11.03	1189.0	3.21	3.12	1.04
0.11	11.04	1182.0	3.19	3.45	1.05
0.12	11.05	1175.0	3.17	3.79	1.06
0.13	11.06	1168.0	3.15	4.13	1.06
0.14	11.06	1168.0	3.15	4.44	1.06
0.15	11.07	1161.0	3.13	4.79	1.07
0.16	11.08	1154.0	3.11	5.14	1.07
0.17	11.09	1147.0	3.08	5.51	1.08
0.18	11.09	1147.0	3.08	5.84	1.08
0.19	11.10	1140.0	3.05	6.23	1.09
0.20	11.11	1134.5	3.02	6.62	1.09
0.21	11.12	1129.0	2.99	7.02	1.10
0.22	11.12	1129.0	2.99	7.36	1.10
0.23	11.13	1123.5	2.96	7.76	1.10
0.24	11.14	1118.0	2.93	8.18	1.11
0.25	11.15	1112.5	2.91	8.61	1.11
0.26	11.16	1107.0	2.88	9.04	1.12
0.27	11.18	1096.0	2.81	9.62	1.13
0.28	11.22	1075.0	2.64	10.61	1.15
0.27	11.28	1045.0	2.40	11.27	1.19
0.26	11.30	1035.0	2.31	11.27	1.20
0.25	11.32	1025.0	2.22	11.26	1.21
0.24	11.34	1015.0	2.13	11.26	1.22
0.23	11.36	1005.0	2.04	11.25	1.23
0.22	11.37	1000.0	2.00	11.00	1.24
0.21	11.39	990.0	1.92	10.91	1.25
0.20	11.42	975.0	1.81	11.05	1.27
0.19	11.44	965.0	1.73	10.96	1.28
0.18	11.46	955.0	1.66	10.86	1.30
0.17	11.49	940.0	1.56	10.90	1.32
0.16	11.50	935.0	1.53	10.46	1.33
0.15	11.53	923.0	1.46	10.29	1.34
0.14	11.56	911.0	1.39	10.10	1.36
0.13	11.58	903.0	1.34	9.72	1.37
0.12	11.62	887.0	1.24	9.70	1.40
0.11	11.65	875.0	1.16	9.48	1.42
0.10	11.70	855.0	1.03	9.69	1.45
0.09	11.75	837.5	0.95	9.52	1.48
0.08	11.81	818.0	0.86	9.31	1.52
0.07	11.87	806.0	0.81	8.68	1.54
0.06	11.93	792.5	0.75	8.00	1.56
0.05	12.00	775.0	0.68	7.35	1.60
0.04	12.08	755.0	0.60	6.67	1.64
0.03	12.19	727.5	0.52	5.80	1.70

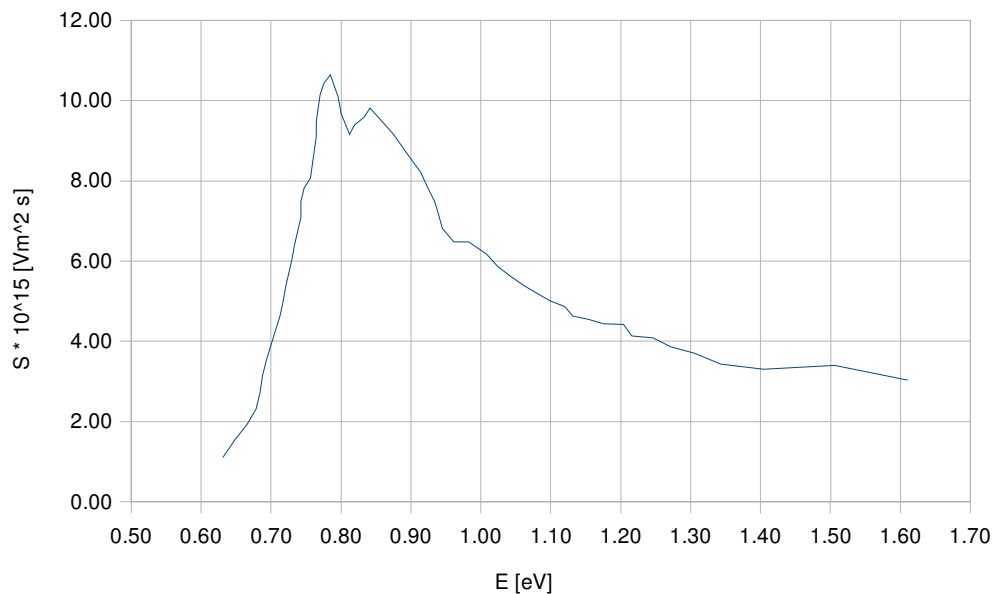
Graf 1 - Závislost počtu dopadajících fotonů na vlnové délce u Ge diody



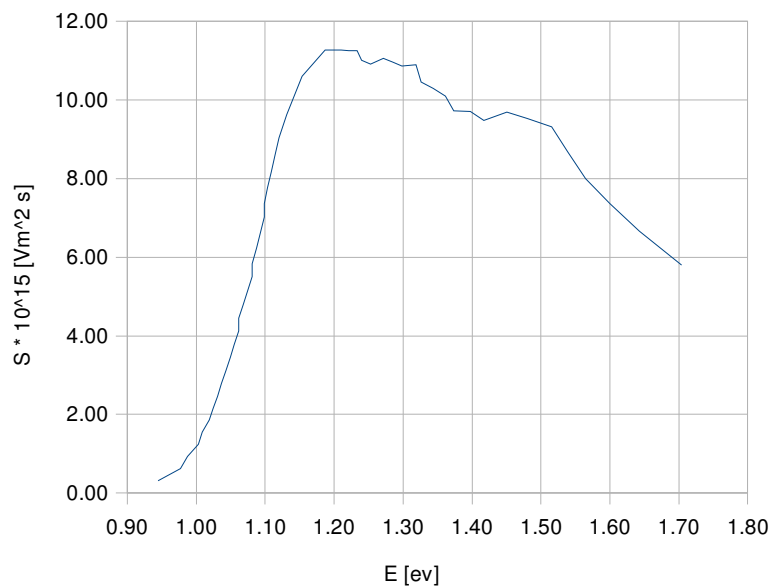
Graf 2 - Závislost počtu fopadajících fotonů na vlnové délce u Si diody



Graf 3 - Závislost fotonapětí na energii fotonů u germania



Graf 4 - Závislost fotonapětí na energii fotonů u křemíku



4. Závěr

Určená hodnota šířky zakázaného pásu energií pro germanium je mírně nadhodnocena oproti udávaným tabulkovým hodnotám, které se podle použitých zdrojů pohybují mezi 0,65 a 0,67 eV. Připisoval bych to tomu, že jsem měřil velice malá napětí a přesnost voltmetru mohla být tímto negativně ovlivněna.

Hodnota šířky zakázaného pásu energií u křemíku se dobře shoduje s tabulkovou hodnotou $E_G = 1,1$ eV.