**Wstęp teoretyczny**

**Półprzewodniki** − najczęściej substancje krystaliczne, których konduktywność (przewodnictwo właściwe) może być zmieniana w szerokim zakresie (np. 10-8 do 103 S/cm) poprzez domieszkowanie, ogrzewanie, oświetlenie bądź inne czynniki. Przewodnictwo typowego półprzewodnika plasuje się między przewodnictwem metali i dielektryków.

Wartość rezystancji półprzewodnika maleje na ogół ze wzrostem temperatury. Półprzewodniki posiadają pasmo wzbronione między pasmem walencyjnym a pasmem przewodzenia w zakresie 0 - 6 eV (np. Ge 0,7 eV, Si 1,1 eV , GaAs 1,4 eV, GaN 3,4 eV, AlN 6,2 eV). Koncentracje nośników ładunku w półprzewodnikach można zmieniać w bardzo szerokich granicach, zmieniając temperaturę półprzewodnika lub natężenie padającego na niego światła lub nawet przez ściskanie czy rozciąganie.

**Teoria pasmowa:** Rozwiązania odpowiednich równań teorii pasmowej prowadzą do wniosku, że dopuszczalne poziomy energetyczne elektronów zlewają się w tzw. pasma energetyczne (stąd nazwa teorii).

Szczególnymi pasmami dozwolonymi są: pasmo walencyjne (najwyżej położone z całkowicie zapełnionych pasm dozwolonych) i pasmo przewodnictwa (niezapełnione, tj. puste, lub tylko częściowo zapełnione pasmo dozwolone znajdujące się ponad pasmem walencyjnym). Szerokość pasma wzbronionego rozdzielającego te dwa pasma odpowiada za własności elektryczne materiału.

**Przerwa energetyczna** – zakres energii elektronów w ciele stałym, w którym elektrony są silnie rozpraszane na atomach. W efekcie nie ma w układzie elektronów o energii z tego zakresu.

**Opis metody pomiarowej i cel ćwiczenia**

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie szerokości przerwy energetycznej materiału półprzewodnikowego. W układzie pomiarowym materiał ten jest obecny w elemencie elektronicznym zwanym termistorem. Stanowisko pomiarowe składa się z dwóch termistorów umieszczonych w aluminiowym bloczku, wyznacza się szerokość przerwy dla każdego z termistorów z osobna. Bloczek aluminiowy jest podgrzewany przy pomocy tranzystora bipolarnego. Natężenie prądu płynącego przez tranzystor regulowane jest przy pomocy potencjometru. Do pomiaru temperatury wykorzystano czujnik temperatury połączony z miernikiem cyfrowym. Oporności termistorów są mierzone za pomocą mierników cyfrowych. Odwrotność oporu termistora jest miarą koncentracji nośników ładunku.

Najpierw ustaliliśmy z prowadzącym temperaturę graniczną ogrzewania termistorów oraz krok

temperaturowy z jakim będą wykonywane pomiary. W naszym wypadku mieliśmy mierzyć oporności od 35 ͦC do 75 ͦC, co dwa stopnie, a następnie analogicznie przy ochładzaniu.

**Tabele pomiarowe z obliczeniami**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Ogrzewanie termistorów** | | | | | | | | |
| C | K | R1 [kΩ] | ΔR1 | R2 [kΩ] | ΔR1 | 1/K | ln(R1) | ln(R2) |
| 35 | 308,15 | 13,35 | 0,17 | 20 | 0,2 | 0,003245 | 2,5915164 | 2,9957323 |
| 37 | 310,15 | 12,17 | 0,16 | 18,2 | 0,19 | 0,003224 | 2,4989739 | 2,9014216 |
| 39 | 312,15 | 11,18 | 0,16 | 16,8 | 0,18 | 0,003204 | 2,4141265 | 2,8213789 |
| 41 | 314,15 | 10,12 | 0,15 | 15,2 | 0,18 | 0,003183 | 2,3145137 | 2,7212954 |
| 43 | 316,15 | 9,35 | 0,15 | 14 | 0,17 | 0,003163 | 2,2353763 | 2,6390573 |
| 45 | 318,15 | 8,53 | 0,14 | 12,8 | 0,16 | 0,003143 | 2,1435894 | 2,5494452 |
| 47 | 320,15 | 7,87 | 0,14 | 11,8 | 0,16 | 0,003124 | 2,0630581 | 2,4680995 |
| 49 | 322,15 | 7,33 | 0,14 | 10,9 | 0,15 | 0,003104 | 1,9919755 | 2,3887628 |
| 51 | 324,15 | 6,63 | 0,13 | 9,9 | 0,15 | 0,003085 | 1,8916048 | 2,2925348 |
| 53 | 326,15 | 6,13 | 0,13 | 9,2 | 0,15 | 0,003066 | 1,8131947 | 2,2192035 |
| 55 | 328,15 | 5,72 | 0,13 | 8,5 | 0,14 | 0,003047 | 1,7439688 | 2,1400662 |
| 57 | 330,15 | 5,25 | 0,13 | 7,8 | 0,14 | 0,003029 | 1,6582281 | 2,0541237 |
| 59 | 332,15 | 4,88 | 0,12 | 7,3 | 0,14 | 0,003011 | 1,5851452 | 1,9878743 |
| 60,8 | 333,95 | 4,6 | 0,12 | 6,8 | 0,13 | 0,002994 | 1,5260563 | 1,9169226 |
| 63 | 336,15 | 4,2 | 0,12 | 6,3 | 0,13 | 0,002975 | 1,4350845 | 1,8405496 |
| 65 | 338,15 | 3,91 | 0,12 | 5,8 | 0,13 | 0,002957 | 1,3635374 | 1,7578579 |
| 66,5 | 339,65 | 3,67 | 0,12 | 5,4 | 0,13 | 0,002944 | 1,3001917 | 1,686399 |
| 69,7 | 342,85 | 3,1 | 0,12 | 4,5 | 0,12 | 0,002917 | 1,1314021 | 1,5040774 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Chłodzenie termistorów** | | | | | | | | |
| C | K | R1 [kΩ] | ΔR1 | R2 [kΩ] | ΔR1 | 1/K | ln(R1) | ln(R2) |
| 69,7 | 342,85 | 3,1 | 0,12 | 4,5 | 0,12 | 0,002917 | 1,131402 | 1,504077 |
| 67,1 | 340,25 | 3,64 | 0,12 | 5,4 | 0,13 | 0,002939 | 1,291984 | 1,686399 |
| 64,7 | 337,85 | 4,02 | 0,12 | 6 | 0,13 | 0,00296 | 1,391282 | 1,791759 |
| 63 | 336,15 | 4,27 | 0,12 | 6,3 | 0,13 | 0,002975 | 1,451614 | 1,84055 |
| 60,7 | 333,85 | 4,65 | 0,12 | 6,9 | 0,13 | 0,002995 | 1,536867 | 1,931521 |
| 58,6 | 331,75 | 5,07 | 0,13 | 7,5 | 0,14 | 0,003014 | 1,623341 | 2,014903 |
| 57 | 330,15 | 5,47 | 0,13 | 8 | 0,14 | 0,003029 | 1,699279 | 2,079442 |
| 55,1 | 328,25 | 5,87 | 0,13 | 8,8 | 0,14 | 0,003046 | 1,769855 | 2,174752 |
| 53 | 326,15 | 6,4 | 0,13 | 9,5 | 0,15 | 0,003066 | 1,856298 | 2,251292 |
| 50,7 | 323,85 | 6,82 | 0,13 | 10,2 | 0,15 | 0,003088 | 1,919859 | 2,322388 |
| 49 | 322,15 | 7,59 | 0,14 | 11,3 | 0,16 | 0,003104 | 2,026832 | 2,424803 |
| 47,2 | 320,35 | 8,03 | 0,14 | 12 | 0,16 | 0,003122 | 2,083185 | 2,484907 |
| 44,8 | 317,95 | 8,92 | 0,14 | 13,3 | 0,17 | 0,003145 | 2,188296 | 2,587764 |
| 43,2 | 316,35 | 9,55 | 0,15 | 14,3 | 0,17 | 0,003161 | 2,256541 | 2,66026 |
| 40,8 | 313,95 | 10,55 | 0,15 | 15,8 | 0,18 | 0,003185 | 2,356126 | 2,76001 |
| 39,1 | 312,25 | 11,37 | 0,16 | 17 | 0,19 | 0,003203 | 2,430978 | 2,833213 |
| 37,2 | 310,35 | 12,28 | 0,16 | 18,4 | 0,19 | 0,003222 | 2,507972 | 2,912351 |
| 35 | 308,15 | 13,55 | 0,17 | 20,02 | 0,2 | 0,003245 | 2,606387 | 2,996732 |

\* niepewności zostały wyliczone na podstawie niepewności miernika wynoszącej 0,5%w + 1c

**Zestawienie wyników**

Wyliczone wartości współczynnika nachylenia i jego niepewność za pomocą funkcji reglinp:

1. dla ogrzewania

a1 = 4312,80364 u(a1) = 32,137 ostatecznie: a1 = 4313 (32)

a2 = 4374,36701 u(a2) = 42,217 ostatecznie: a2 = 4374 (42)

1. dla ochładzania

a1 = 4353,31895 u(a1) = 45,383 ostatecznie: a1 = 4353 (45)

a2 = 4400,44159 u(a2) = 55,951 ostatecznie: a2 = 4400 (55)

Z podanych wyżej wartości na podstawie wzoru:

****

gdzie a to współczynnik nachylenia, a k to stała Boltzmana, która wynosi 1,38∙10-23 obliczamy szerokości przerwy energetycznej dla obu termistorów:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Ogrzewanie** | | **Ochładzanie** | |
| 1) | ΔE = 11903,88 [ J ]  ΔE = 0,74306367 [eV]  u(ΔE) = 0,0089  ΔE = 0,7431(89) | 1) | ΔE = 12014,28 [ J ]  ΔE = [eV]  u(ΔE) = 0,013  ΔE = 0,750(13) |
| 2) | ΔE = 12072,24 [ J ]  ΔE = 0,753573034 [eV]  u(ΔE) = 0,012  ΔE = 0,754(12) | 2) | ΔE = 12144 [ J ]  ΔE = 0,758052434 [eV]  u(ΔE) = 0,015  ΔE = 0,758(15) |

\*niepewności obliczone na podstawie prawa propagacji niepewności

Średnio szerokość przerwy:

- **ΔE1** = 0,748(11) [eV]

- **ΔE2** = 0,754(14) [eV]

**Wnioski**

Podczas wykonywania pomiarów zaobserwowaliśmy, że wartość rezystancji maleje ze wzrostem temperatury. Oba termistory mają bardzo zbliżoną do siebie szerokość przerwy co wskazuje na to że są wykonane z tego samego materiału. Ewentualne różnice mogą wynikać z błędów pomiarowych oraz niedokładności odczytu (czasem temperatura była niestabilna). Wartość przerwy wskazuje iż mogą być wykonane z antymonek galu (0,726 [eV]), nie da się jednak tego stwierdzić – mogą być domieszkowane.