

WFilS	Imię i nazwisko: 1. 2.		ROK	GRUPA	ZESPÓŁ
	PRACOWNIA FIZYCZNA I i II				NR ĆWICZENIA
PRACOWNIA FIZYCZNA I i II	TEMAT:				
Data wykonania:	Data oddania:	Zwrot do poprawy:	Data oddania:	Data zliczenia:	OCENA

Cel ćwiczenia:

Wyznaczenie stosunku e/k z pomiarów prądów kolektora w funkcji napięcia baza-emiter, w różnych temperaturach.

Wstęp teoretyczny:

Półprzewodniki ogólnie mówiąc, są to substancje, które ze względu rezystywność można umiejscowić między izolatorami, a przewodnikami. Podając mały przykład:

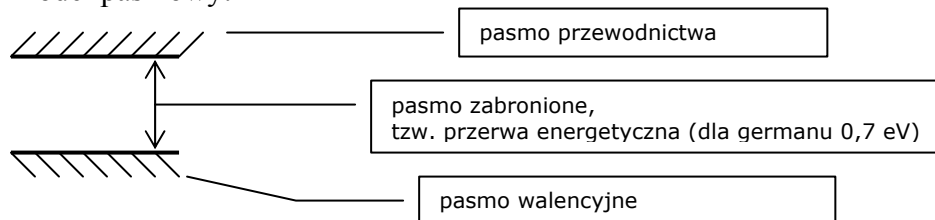
-miedź: $10^{-8} \Omega/m$ (przewodnik);

-mika: $10^{14} \Omega/m$ (izolator);

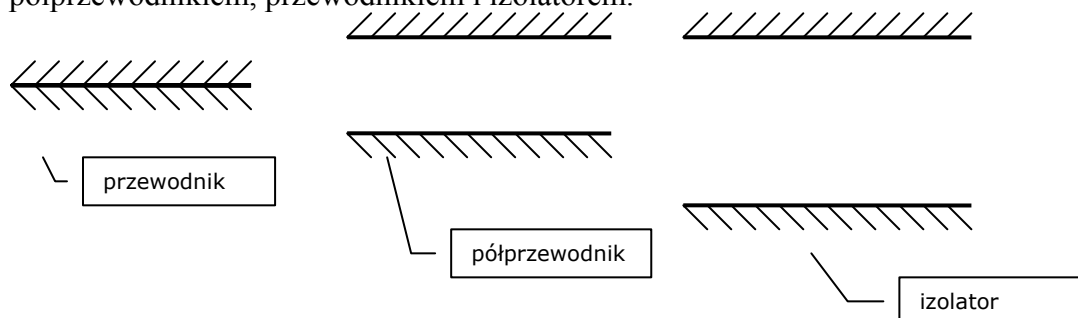
-krzem: $2 \cdot 10^3 \Omega/m$ (półprzewodnik);

można łatwo dostrzec różnicę. Ponad to właściwości półprzewodników silnie zależą od padającego na nie promieniowania oraz temperatury, w której pracują. Wraz z jej wzrostem, wzrasta także liczba swobodnych nośników w półprzewodniku. Za to w przewodniku następuje wzrost rozpraszania nośników na fononach, czyli w efekcie wzrasta rezystywność.

Model pasmowy:



Na poniższym rysunku można zobaczyć różnicę pokazaną na modelu pasmowym między półprzewodnikiem, przewodnikiem i izolatorem.



Półprzewodniki samoistne to półprzewodniki bez dodanych domieszek (krzem, german czy też GaAs), a nośnikami w nich są elektrony i dziury. Wzrost ilości nośników jest spowodowany m.in. temperaturą oraz promieniowaniem (kwanty światła wybijają elektrony). Półprzewodnik samoistny charakteryzuje się tym, że ilość dziur jest równa ilości elektronów. Najczęściej jednak używamy (np.: tranzystory) półprzewodników domieszkowych. Rozróżniamy dwa rodzaje: typu N (donorowe) i typu P (akceptorowe).

Jeżeli półprzewodnik będziemy domieszkować pierwiastkami z grupy V (np.: fosfor, arsen, antymon) otrzymamy półprzewodnik donorowy, w którym nośnikami większościowymi będą elektrony. Model pasmowy takiego półprzewodnika dodatkowo składa się z dodatkowo zjonizowanych poziomów umieszczonych w przerwie energetycznej blisko pasma przewodnictwa.

Półprzewodniki typu P powstają poprzez domieszkowanie pierwiastkami z grupy III (np.: bor, aluminium, gal). W tym przypadku nośnikami większościowymi są dziury, a tzw. Poziomy dozwolone znajdują się bliżej pasma walencyjnego.

Przypadek najbardziej rzeczywisty to taki, w którym mamy domieszki obu rodzajów. W takim przypadku rodzaj półprzewodnika określamy na podstawie ilości domieszek. Jeżeli jest więcej domieszek donorowych to półprzewodnik jest typu N, jeżeli akceptorowych to typu P. Kolejnym przypadkiem, na który należy zwrócić uwagę jest taka sama ilość domieszek donorowych i akceptorowych. Półprzewodnik, w którym zachodzi takie zjawisko nazywamy półprzewodnikiem skompensowanym.

Na styku półprzewodników o różnym typie domieszkowania powstaje zawsze warstwa zubożona. Rozróżniamy dwa złącza p-n: liniowe i skokowe. Złącze liniowe charakteryzuje się równomiernym domieszkowaniem półprzewodników. W złączy skokowym jeden z nich ma większe domieszkowanie.

W skutek przyłożenia napięcia w kierunku zaporowym możemy zaobserwować, że warstwa zubożona posiada pewną pojemność zależną od wartości przyłożonego napięcia:

$$C = \sqrt{\frac{\epsilon_{Si} q N_D}{2(V_R - V_{bi})}} \quad (\text{dla skokowego P+N})$$

$$C = \sqrt[3]{\frac{q a \epsilon_{Si}^2}{12(V_{bi} - V_R)}} \quad (\text{dla liniowego P+N})$$

gdzie V_{bi} to potencjał wbudowany, V_R potencjał przyłożony, $\epsilon_{Si} = \epsilon_r \epsilon_0$, q ładunek elementarny, a N_D domieszki donorowe.

Za pomocą przyłożonego napięcia możemy także ustawić szerokość warstwy zubożonej.

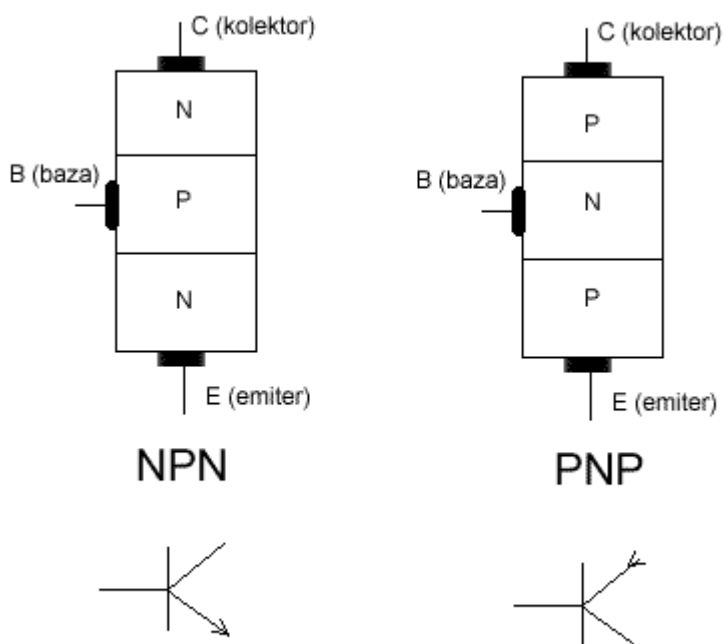
$$W = \sqrt{\frac{2\epsilon_{Si}(V_{bi} - V_R)}{q N_D}} \quad (\text{dla skokowego P+N})$$

$$W = \sqrt[3]{\frac{12\epsilon_{Si}(V_{bi} - V_R)}{q a}} \quad (\text{dla liniowego P+N})$$

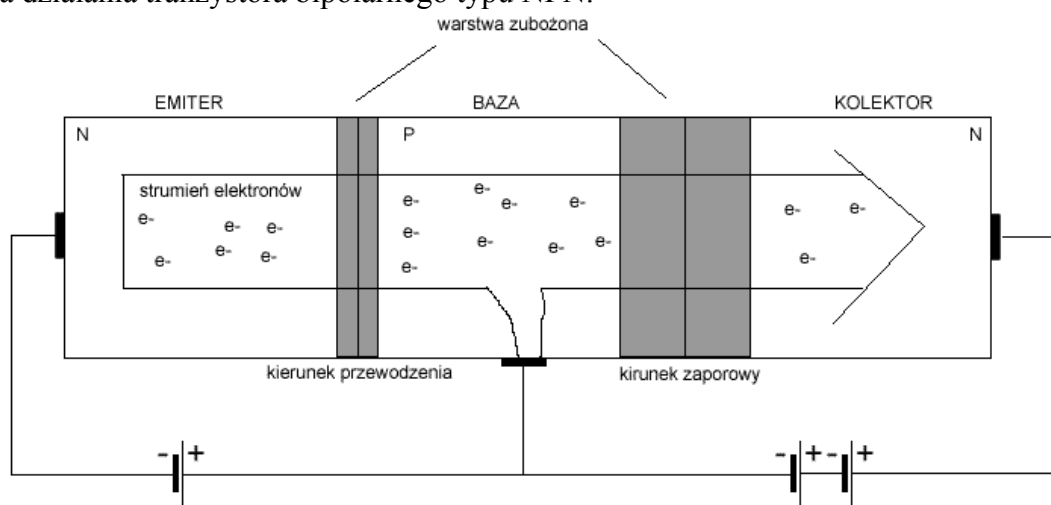
Z kolei rozważając przepływ prądu w złączy PN s[polaryzowanego w kierunku zaporowym wyraża się wzorem:

$$I_C = q \left[\frac{D_N}{L_N} n_p \Big|_{n=0} + \frac{D_P}{L_P} p_n \Big|_{n=0} \right] \left[\exp\left(\frac{U}{V_T}\right) - 1 \right]$$

Z powodu szczególnych własności złącza PN zostało ono wykorzystane w budowie diody półprzewodnikowej, a później tranzystora. Rozróżniamy 2 rodzaje tranzystorów bipolarnych:



Zasada działania tranzystora bipolarnego typu NPN:



Złącze EB spolaryzowane jest w kierunku przewodzenia, a BC w kierunku zaporowym. Nośniki większościowe z emitera (elektrony) są wstrzykiwane do bazy, gdzie stają się nośnikami mniejszościowymi. Wstrzyknięte do bazy elektrony dążąc do wyrównania koncentracji dyfundują od złącza EB do BC. Nośniki wstrzyknięte z emitera do bazy mogą rekombinować z będącymi tam nośnikami większościowymi (dziurami). Złącze BC jest spolaryzowane zaporowo więc momentalnie przesuwają elektrony do obszaru kolektora.

Tranzystory mają szerokie zastosowanie w elektronice. Praktycznie nie można sobie wyobrazić życia bez urządzeń zawierających układy scalone i tranzystory.

Wyniki pomiarów (dla temperatury 275K):

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,000090	303
0,000095	304
0,000100	305
0,000105	307
0,000110	308
0,000115	309
0,000120	310
0,000125	311
0,000130	312
0,000135	313
0,000140	313
0,000145	314
0,000150	315

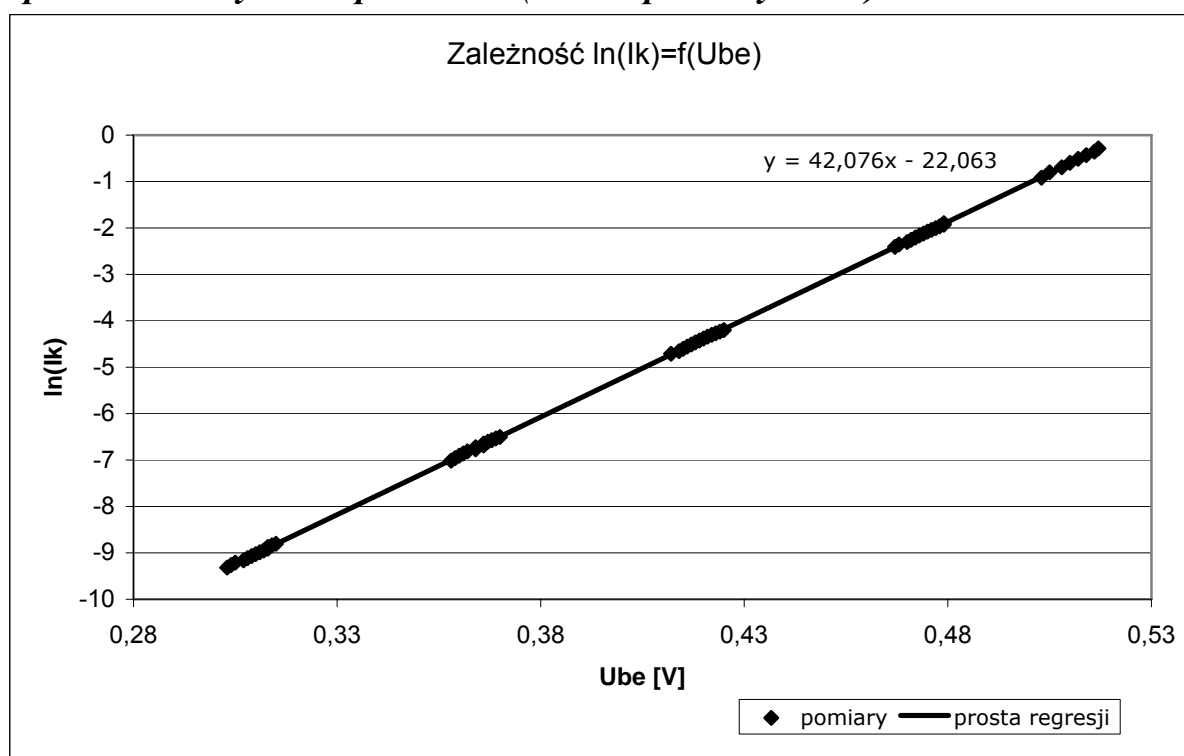
Ik [mA]	Vbe [mV]
0,0090	412
0,0095	414
0,0100	415
0,0105	416
0,0110	417
0,0115	418
0,0120	419
0,0125	420
0,0130	421
0,0135	422
0,0140	423
0,0145	424
0,0150	425

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,00090	358
0,00095	359
0,00100	360
0,00105	361
0,00110	362
0,00115	364
0,00120	364
0,00125	366
0,00130	366
0,00135	367
0,00140	368
0,00145	369
0,00150	370

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,090	467
0,095	468
0,100	470
0,105	471
0,110	472
0,115	473
0,120	474
0,125	475
0,130	476
0,135	477
0,140	478
0,145	479
0,150	479

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,40	503
0,45	505
0,50	508
0,55	510
0,60	512
0,65	514
0,70	516
0,75	517

Opracowanie wyników pomiarów (dla temperatury 275K):



Posługując się metodą najmniejszych kwadratów wyznaczono linię regresji o wzorze:

$$y = 42,076x - 22,063,$$

gdzie odpowiednie współczynniki wynoszą:

$$a = 42,076 \left[\frac{C}{J} \right]$$

$$b = -22,063$$

Z prostej zależności $a = \frac{e}{kT}$ wykorzystanej w obliczaniu prostej regresji można wyznaczyć stosunek ładunku elektronu e i stałej Boltzmanna k : $\frac{e}{k} = aT$, który dla temperatury 275K wynosi:

$$\frac{e}{k} = 1,15709 \cdot 10^4 \frac{CK}{J}$$

Niepewność pomiaru obliczono z prawa przenoszenia niepewności wyrażonego wzorem:

$$u_1\left(\frac{e}{k}\right) = \sqrt{\left[\frac{\partial\left(\frac{e}{k}\right)}{\partial a}u(a)\right]^2 + \left[\frac{\partial\left(\frac{e}{k}\right)}{\partial T}u(T)\right]^2},$$

gdzie za $u(T)$ przyjęto różnicę temperatury końcowej i początkowej $u(T) = T_k - T_p = 2K$.

Niepewność współczynnika kierunkowego regresji liniowej $u(a)$ wyliczono ze wzoru:

$$u(a) = \sqrt{\frac{n}{n-2} \frac{S^2}{W}}, \text{ w którym } S^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2 \text{ i } W = n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left[\sum_{i=1}^n x_i \right]^2 \text{ ostatecznie}$$

otrzymując:

$$u(a) = 0,023 \left[\frac{C}{J} \right]$$

Niepewność pomiaru wynosi: $u_1(e/k) = 0,00844 * 10^4 \frac{CK}{J}$.

Dodatkowo wyznaczono prąd I_0 z zależności $b = \ln(I_0)$ wykorzystanej także przy obliczaniu linii regresji. Przekształcając powyższy wzór otrzymano $I_0 = \exp(b)$ i dla temperatury 275K mamy:

$$I_0 = 2,62 * 10^{-13} A$$

Wyniki pomiarów (dla temperatury 293K):

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,000060	232
0,000065	234
0,000070	236
0,000075	238
0,000080	240
0,000085	241
0,000090	243
0,000095	244
0,000100	245
0,000105	246
0,000110	248
0,000115	249
0,000120	250
0,000125	251
0,000130	252
0,000135	253
0,000140	254
0,000145	255
0,000150	256

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,00060	290
0,00065	292
0,00070	294
0,00075	296
0,00080	298
0,00085	299
0,00090	300
0,00095	301
0,00100	303
0,00105	304
0,00110	305
0,00115	306
0,00120	307
0,00125	309
0,00130	310
0,00135	311
0,00140	311
0,00145	312
0,00150	313

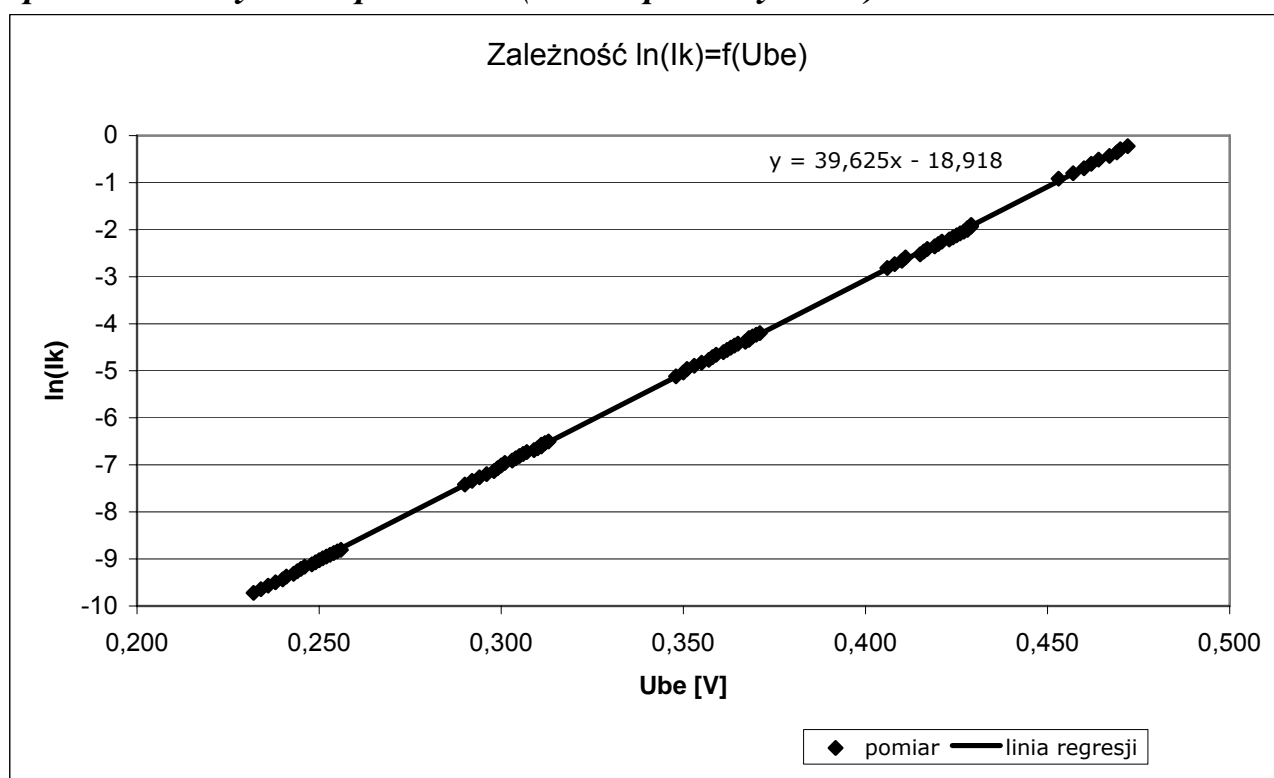
Ik [mA]	Vbe [mV]
0,0060	348
0,0065	350
0,0007	351
0,0075	353
0,0080	355

0,0085	357
0,0090	358
0,0095	359
0,0100	361
0,0105	362
0,0110	363
0,0115	364
0,0120	365
0,0125	367
0,0130	368
0,0135	368
0,0140	369
0,0145	370
0,0150	371

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,060	406
0,065	408
0,070	410
0,008	411
0,080	415
0,085	416
0,090	417
0,095	419
0,100	420
0,105	421
0,110	423
0,115	424
0,120	425
0,125	426
0,130	427
0,135	428
0,140	428
0,145	429
0,150	429

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,40	453
0,45	457
0,50	460
0,55	462
0,60	464
0,65	467
0,70	469
0,75	470
0,80	472

Opracowanie wyników pomiarów (dla temperatury 293K):



Korzystając z metody najmniejszych kwadratów wyznaczono linię regresji o następującym wzorze:

$$y = 39,625x - 18,918$$

Stąd otrzymano współczynniki:

$$a = 39,625 \left[\frac{C}{J} \right]$$

$$b = -18,918$$

Posługując się identycznymi wzorami i przekształceniami jak powyżej otrzymano:

$$\frac{e}{k} = 1,16101 \cdot 10^4 \frac{CK}{J}$$

Niepewność współczynnika kierunkowego wynosi: $u(a) = 0,042 \frac{C}{J}$, a niepewność pomiaru $\frac{e}{k}$:

$$u_2\left(\frac{e}{k}\right) = 0,004149 \cdot 10^4 \frac{CK}{J}$$

Tak jak powyżej wyznaczono prąd I_0 , który dla temperatury 293K wynosi:

$$I_0 = 6,08 \cdot 10^{-12} A$$

Wyniki pomiarów (dla temperatury 317K):

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,000100	156
0,000105	158
0,000110	160
0,000115	162
0,000120	163
0,000125	165
0,000130	166
0,000135	167
0,000140	168
0,000145	171
0,000150	172

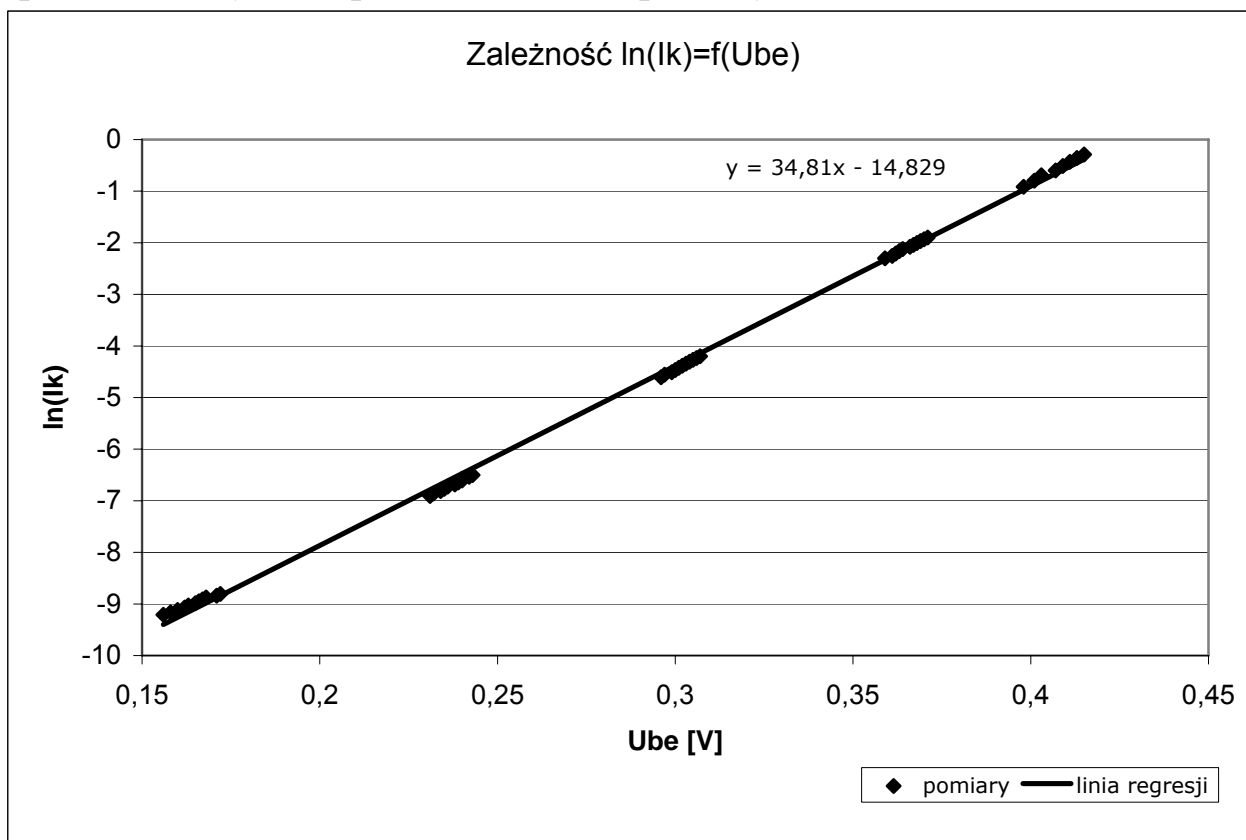
Ik [mA]	Vbe [mV]
0,0100	296
0,0105	297
0,0110	299
0,0115	300
0,0120	301
0,0125	302
0,0130	303
0,0135	304
0,0140	305
0,0145	306
0,0150	307

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,00100	231
0,00105	232
0,00110	234
0,00115	235
0,00120	236
0,00125	238
0,00130	239
0,00135	240
0,00140	240
0,00145	242
0,00150	243

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,100	359
0,105	361
0,110	362
0,115	363
0,120	364
0,125	366
0,130	367
0,135	368
0,140	369
0,145	370
0,150	371

Ik [mA]	Vbe [mV]
0,40	398
0,45	401
0,50	403
0,55	407
0,60	409
0,65	411
0,70	413
0,75	415

Opracowanie wyników pomiarów (dla temperatury 317K):



Za pomocą metody najmniejszych kwadratów wyznaczono linię regresji o następującym wzorze:

$$y = 34,81x - 14,829,$$

gdzie:

$$a = 34,81 \left[\frac{C}{J} \right]$$

$$b = -14,829$$

Stosunek ładunku elektronu do stałej Boltzmanna wynosi:

$$\frac{e}{k} = 1,10348 \cdot 10^4 \frac{CK}{J}$$

Niepewność współczynnika kierunkowego linii regresji:

$$u(a) = 0,17 \left[\frac{C}{J} \right]$$

Niepewność pomiaru $\frac{e}{k}$:

$$u_3\left(\frac{e}{k}\right) = 0,018220 \cdot 10^4 \frac{CK}{J}$$

Dodatkowo wyznaczyliśmy prąd I_0 :

$$I_0 = 36,29 \cdot 10^{-11} A$$

Wnioski:

Podsumowując, we wszystkich pomiarach otrzymaliśmy wartość

$$\frac{e}{k} = 1,14052 \cdot 10^4 \frac{CK}{J},$$

która jest średnią arytmetyczną wyników otrzymanych dla trzech temperatur. Niepewność

pomiaru wynosi: $u(\frac{e}{k}) = 0,060544 \cdot 10^4 \frac{CK}{J}$.

Różnica procentowa od wartości tablicowej wynosi: $\Delta(\frac{e}{k})_{\%} = 1,72\%$.

Udało się potwierdzić teoretyczną wartość stosunku ładunku elektronu do stałej Boltzmann.

Otrzymana wartość stosunku $\frac{e}{k}$ mieści się w przedziale o promieniu 2σ od wartości rzeczywistej.

Załączniki:

[1] – wyniki pomiarów otrzymane w laboratorium;

[2] – 3 przykładowe wykresy zależności $\ln(I_k) = f(U_{BE})$;