

**Kacper Kulczycki**

Zadanie 106

**Wyznaczanie stałej Halla oraz wartości  
przewodnictwa dla półprzewodników**

Warszawa 2002

## Wstęp

Celem tego doświadczenia było wyznaczenie znaku nośników w próbce półprzewodnika (AsIn) oraz ich koncentracji i ruchliwości, przy wykorzystaniu efektu Halla

## Teoria

$$\delta = \frac{Ia}{dbU} \quad \text{wz.1}$$

$$n = \frac{1}{eR} \quad \text{wz.2}$$

$$\mu = \frac{\delta}{en} = \delta R \quad \text{wz.3}$$

$$U_H = \frac{RIB}{d} \quad \text{wz.4}$$

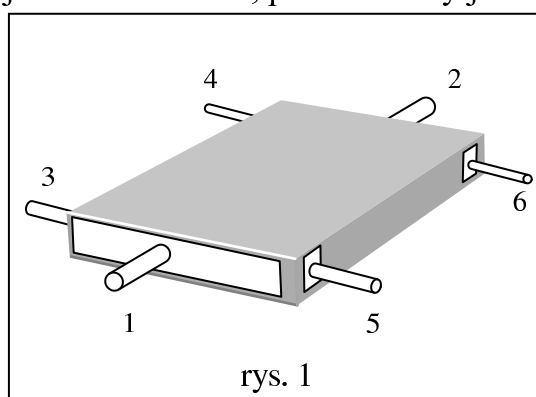
gdzie:

$\delta$  - przewodnictwo właściwe,  
I – natężenie przyłożonego prądu,  
a – długość próbki,  
d – wysokość ( grubość ) próbki,  
b – szerokość próbki,  
U – napięcie przyłożonego prądu,  
n – koncentracja ładunków,  
e – ładunek elementarny,  
R – stała Halla,  
 $\mu$  - ruchliwość nośników,  
 $U_H$  – napięcie Halla,  
B – indukcja pola magnetycznego,

## Przebieg doświadczenia

Schemat elektrod przymocowanych do płytki użytej w doświadczeniu, przedstawiony jest na rysunku 1. Płytką miała  $( 2,2 \pm 0,1 )$  mm szerokości i  $( 1,2 \pm 0,05 )$  mm grubości. Przez elektrody 1 i 2 z „ przodu ” i z „ tyłu ” płytki płynął prąd o natężeniu I. Na elektrodach 3 - 5 i 4 - 6 mierzone były napięcia Halla. Odległość c między elektrodami 3 i 4 oraz 5 i 6 wynosiła  $( 2,0 \pm 0,1 )$  mm.

Pierwszy pomiar polegał na wyznaczeniu charakterystyki prądowo napięciowej próbki. Umożliwiło to wyznaczenie dopuszczalnego natężenia prądu przepuszczanego przez próbkę.



( Przy wzroście temperatury opór półprzewodnika maleje, w wyniku przechodzenia coraz większej ilości elektronów do pasma przewodnictwa. – Zależność napięcia  $U$  na próbce od natężenia  $I$  przestaje być liniowa, od pewnego miejsca zaczyna zakrzywiać się do dołu. Prąd przepływający przez próbkę ogrzewa ją. ) Ze względu na brak, możliwości wyznaczenia temperatury próbki, należy za wszelką cenę unikać sytuacji, w której by się ogrzewała. Na próbce ( w temperaturze jak najbliższej pokojowej ) została przeprowadzona seria pomiarów napięć, pomiędzy elektrodami 1 i 2, dla natężeń z przedziału od 0 do około 10mA. A następnie przetestowana pod względem liniowości zależność  $U$  od  $I$ .

Po ustaleniu największej dopuszczalnej wartości  $I$  możliwe jest wyznaczenie wartości stałej przewodnictwa właściwego  $\delta$ . Napięcie  $U$  mierzone było pomiędzy elektrodami 3 i 4 ( a nie 1 i 2 ). Wynikało to z faktu, że na styku elektrod i półprzewodnika występują spadki napięć, których obecność zakłóca pomiar napięcia. Spadki te są tym większe im większe jest natężenie prądu płynącego przez elektrodę. Prąd płynący przez elektrody 1 i 2 jest rzędu kilku mA. Jeżeli do elektrod 3 i 4 lub 5 i 6 podłączony zostanie woltomierz to, ze względu na jego duży opór wewnętrzny, prąd który przez niego popłynie będzie o wiele mniejszy.

Podczas przeprowadzaniu pomiarów stałej Halla próbka umieszczona była w polu magnetycznym o indukcji  $B$ , wytwarzanym przez elektromagnes.

Dla używanego w doświadczeniu elektromagnesu, podane zostały wartości indukcji wytwarzanego pola, przy odpowiednich natężeniach płynącego przez niego prądu.

Czyli, przy wyznaczaniu stałej Halla należało znać natężenia prądów płynących przez próbkę i elektromagnes oraz napięcia Halla.

Z pomiarem  $U_H$  związany był pewien problem. Woltomierz wskazywał niezerowe napięcie pomiędzy sondami, gdy natężenie pola magnetycznego było zerowe. Wynikać to mogło z niedokładności umieszczenia, na przeciwko siebie elektrod, oraz możliwości wystąpienia różnicy temperatur pomiędzy elektrodami ( woltomierz mierzy wtedy dodatkowe napięcie termoelektryczne ). To wszystko powodowało, że mierzone napięcie różniło się od  $U_H$  o stałą wartość. By wyeliminować wpływ tych czynników pomiary przeprowadzone zostały dla wszystkich możliwych kombinacji kierunków prądów  $I$  i  $I_M$  ( gdzie:  $I_M$  – natężenie prądu elektromagnesu  $\sim B$  ):  $U_1(I, I_M)$ ,  $U_2(-I, I_M)$ ,  $U_3(-I, -I_M)$ ,  $U_4(I, -I_M)$ . Wyznaczone z tych pomiarów napięcie Halla jest równe:

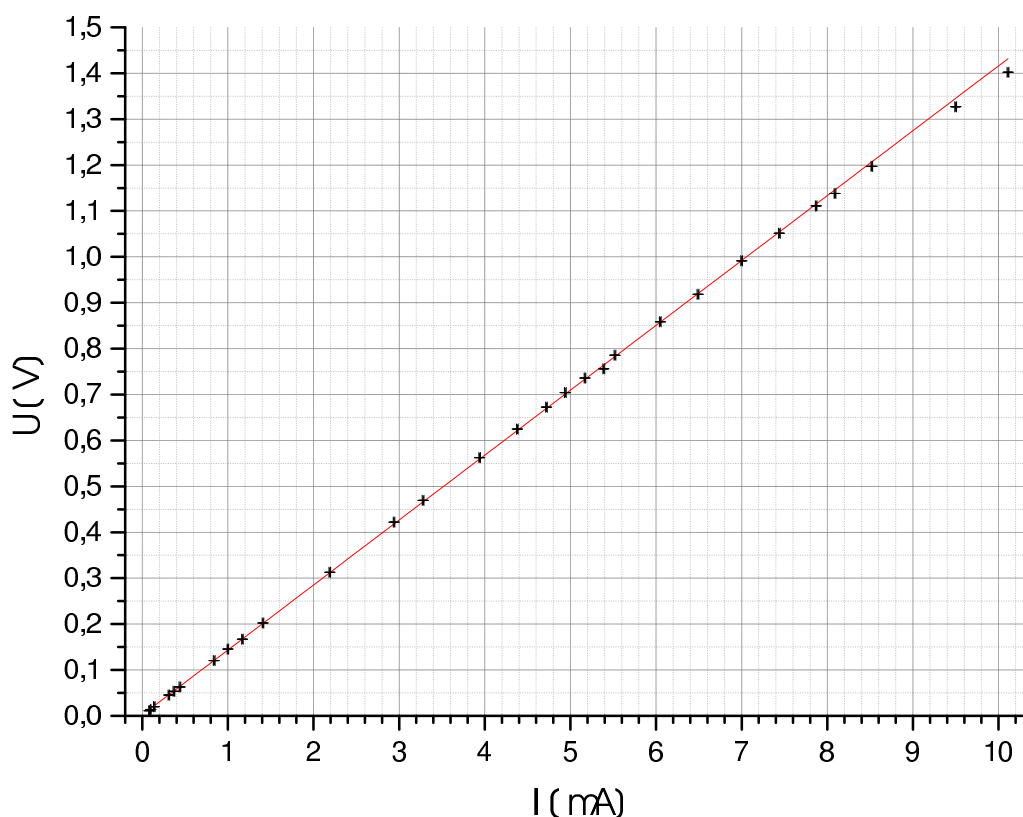
$$U_H = \frac{-U_1 + U_2 - U_3 + U_4}{4} \quad \text{wz.5}$$

gdzie:

$U_1, U_2, U_3, U_4$  – napięcia Halla dla kolejnych kombinacji  $I$  i  $B$ ,

## Wyniki i wnioski

Charakterystykę prądowo napięciową próbki przedstawia wykres 1.:



wyk. 1 Zależność napięcia, na próbce, od natężenia prądu, przez nią płynącego.

Optymalne natężenie prądu zostało wyznaczone przy założeniu, że  $U$  musi być liniową funkcją  $I$ , a odchylenia od „liniowości” nie mogą być większe niż 5%. Maksymalne natężenie spełniające takie warunki zostało uznane za optymalne, jego wartość wynosiła:

$$I_0 = 8,08 \pm 0,40 \text{ mA} \text{ ( błąd oznaczenia oszacowany na ok. 5\% wartości )}$$

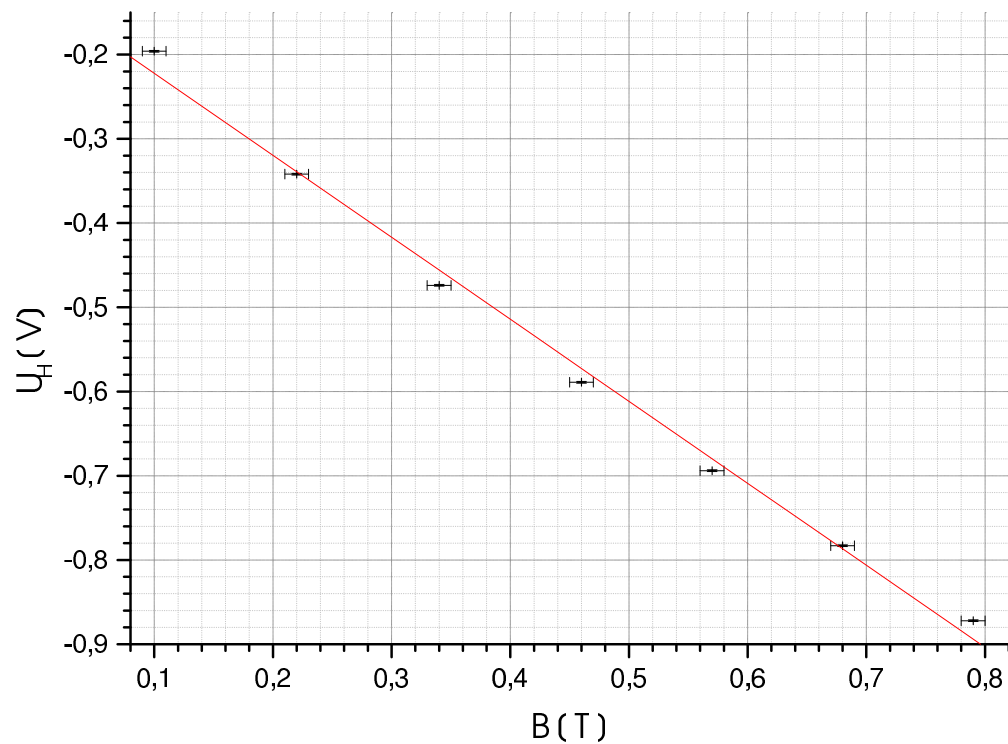
czyli biorąc punkty pomiarowe z przedziału  $I_0 \pm \Delta I_0$  uzyskuje się następujące wartości przewodnictwa:

$I$ [mA]	$\Delta I$ [mA]	$U$ [V]	$\Delta U$ [V]	$\delta$ [ $1/(\Omega \text{ m})$ ]	$\Delta \delta$ [ $1/(\Omega \text{ m})$ ]
7,44	0,01	1,0514	0,0001	5900	490
7,87	0,01	1,1111	0,0001	5900	460
8,09	0,01	1,1380	0,0001	5920	450
8,52	0,01	1,1970	0,0001	5930	430

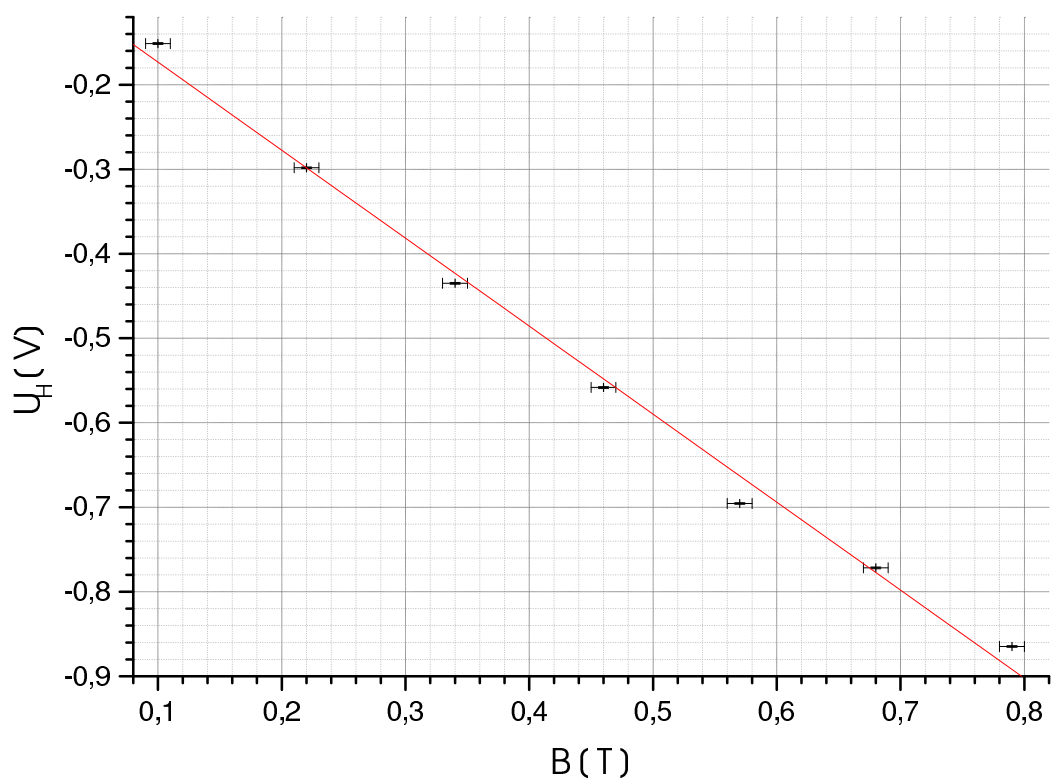
czyli biorąc średnią ważoną z tych wyników, ostatecznie:

$$\delta = 5910 \pm 230 \text{ 1}/(\Omega \text{ m})$$

Zależności  $U_H$  od  $B$  prezentują wykresy 2. (elektrody 3 – 5) i 3. (elektrody 4 – 6):



wyk. 2 Zależność napięcia Halla między elektrodami 3 – 5 od indukcji pola magnetycznego.



wyk. 3 Zależność napięcia Halla między elektrodami 4 – 6 od indukcji pola magnetycznego

W wyniku dopasowania prostych zostały obliczone współczynniki kierunkowe:

dla wyk.2:

$$A = -0,974 \pm 0,033 \text{ V/T}$$

dla wyk.3:

$$A = -1,041 \pm 0,037 \text{ V/T}$$

przekształcając odpowiednio wz.4 uzyskuje się zależność:

$$R = \frac{Ad}{I}$$

podstawiając pod I wartość  $I_0$  dostaje się:

$$\underline{R = -0,000145 \pm 0,000011 \text{ m}^3/(\text{A s})} \text{ dla wyk. 2.}$$

$$\underline{R = -0,000155 \pm 0,000011 \text{ m}^3/(\text{A s})} \text{ dla wyk. 3.}$$

czyli ostatecznie ze średniej ważonej:

$$\underline{\mathbf{R = -0,0001492 \pm 0,0000078 \text{ m}^3/(\text{A s})}}$$

W arsenku indu ( materiał, z którego wykonana była próbka ), w temperaturze pokojowej jest półprzewodnikiem typu n ( zakładamy przewodnictwo nośników jednego rodzaju – tu elektronów )

Czyli korzystając ze wzoru 2 ( wartość e bierzemy ze znakiem minus ) dostajemy koncentrację:

$$\underline{\mathbf{n = ( 41,8 \pm 2,2 ) 10^{21} \text{ m}^{-3}}}$$

i ze wzoru 3 ruchliwość:

$$\underline{\mathbf{\mu = 0,882 \pm 0,057 (\text{A m})/N}}$$

Widać, że pomimo dość prostej aparatury doświadczenie daje dość dokładne wyniki. Wszelkie odstępstwa od rzeczywistych wielkości wiązać się mogą z dość niedokładnym wyznaczeniem wymiarów próbki, oraz zakładanym modelem ( w danej temperaturze może przecież występować również przewodnictwo typu p ).