

Wydział EiT	Dzien/godzina Wtorek 8.15-11.00		Nr. zespołu 2
	Data: 08.11.2011		
Nazwisko i Imię	Ocena z przygotowania	Ocena ze sprawozdania	Ocena
1. Król Jakub 2. Obszański Grzegorz 3. Zawiśła Mateusz			
Prowadzący  Jarosław Suszek:		Podpis prowadzącego	

## 1 Wstęp teoretyczny

### 1.1 Hallotron

Hallotron, to cienka warstwa półprzewodnika naparowana na nieprzewodzące podłoże. Jej wymiary:

- $d$  - grubość naparowanej warstwy
- $c$  - długość naparowanej warstwy
- $l$  - szerokość naparowanej warstwy

### 1.2 Efekt Halla

Jeżeli hallotron włączymy w obwód prądu stałego o natężeniu  $I_s$  (prąd sterujący) i umieścimy w polu magnetycznym, o indukcji  $B$ , to między punktami na bocznych powierzchniach płytki wytworzy się różnica potencjałów  $U_H$ , zwana napięciem Halla.

### 1.3 Wyjaśnienie efektu

Na ładunek elektryczny  $q$  poruszający się z prędkością  $v$  w tym polu magnetycznym działa siła Lorentza  $F_L$ :

$$F_L = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (1)$$

ze wzoru 1 wynika, że siła  $F_L$  jest prostopadła do obu wektorów. Siła Lorentza działająca na elektrony zakłóca ich ruch wzdłuż linii pola elektrycznego. Nośniki te odchylają się w kierunku działania siły Lorentza. Gromadzą się do momentu, kiedy działanie ich pola elektrycznego równoważy siłę Lorentza. Wspomniane pole elektryczne działa na ładunki nośników prądu  $I_s$  siłą

$$F_E = \frac{qU_h}{c} \quad (2)$$

Zatem w/w moment, następuje gdy  $F_E = F_L$

$$\frac{qU_H}{c} = qvB \quad (3)$$

Stąd

$$U_H = vcd \quad (4)$$

Niech  $n$  będzie liczbą nośników prądu a  $e$  ładunkiem elementarnym nośnika prądu. Z definicji natężenia prądu:

$$I_s = \frac{Q}{t} \quad (5)$$

$$Q = nVe = ncdle$$

$$I_s = \frac{ncdle}{t} = ncdev \quad (6)$$

$$v = \frac{I_s}{ncde} \quad (7)$$

Wstawiając wyliczone  $v$  do wzoru 4 otrzymujemy

$$U_H = \frac{BI_s}{ned} \quad (8)$$

Z prawa Ohma:

$$v = \mu \frac{U}{l} \quad (9)$$

Gdzie  $\mu$  - ruchliwość nośników prądu,  $U$  - spadek napięcia wzdłuż hallotronu

Po wstawieniu do wzoru 6 dostajemy

$$I_s = ne \left( \mu \frac{U}{l} \right) dc \quad (10)$$

Dzięki pomiarowi napięcia Halla jesteśmy w stanie wyznaczyć koncentrację nośników oraz ich ruchliwość. Ze wzorów 8 i 10 wyprowadzamy ich zależności od łatwo mierzalnych wielkości.

$$n = \frac{I_s B}{edU_H} \quad (11)$$

$$\mu = \frac{U_H I}{U c B} \quad (12)$$

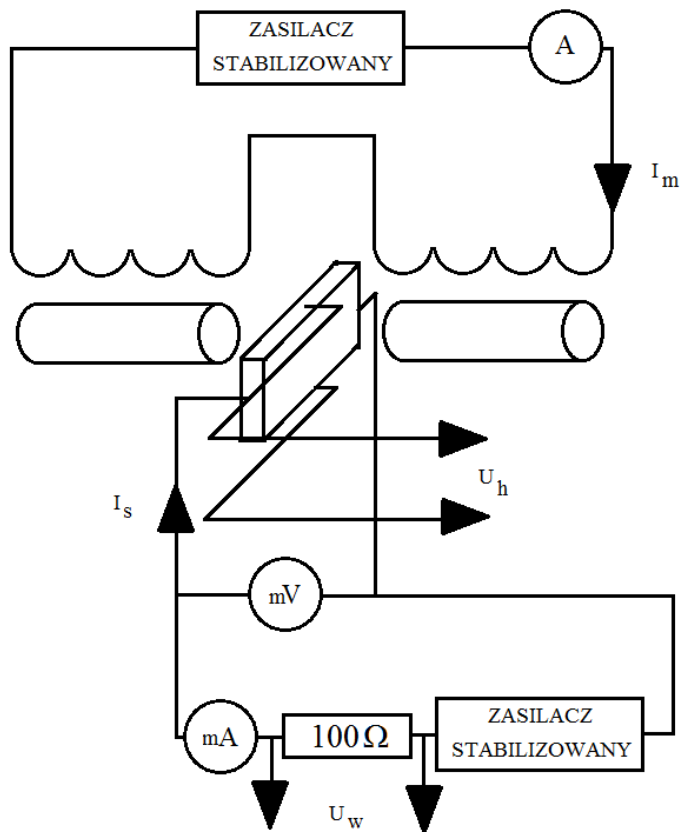
$$R_H = \frac{I}{ne\mu cd} \quad (13)$$

## 2 Wykaz przyrządów i schemat pomiarowy

### 2.1 Wykaz przyrządów

- Hallotron - wymiary
  - $d = 0,2\mu m$
  - $l = 40\mu m$
  - $c = 150\mu m$
- elektromagnes
- zasilacz elektromagnesu i zasilacz stabilizowany
- 3 woltomierze i amperomierz (multimetry cyfrowe)
- adapter hallotronu

### 2.2 Schemat pomiarowy



## 3 Prezentacja wyników pomiarów

n	$U_H[mV]$	$U$	$I_s$	$U_{100\Omega}$	n	$U_H[mV]$	$U$	$I_s$	$U_{100\Omega}$
1	0.0010	0.0158	0.04	0.313	1	0.0023	0.0160	0.040	0.314
2	0.0075	0.1229	0.32		2	0.0181	0.1230	0.315	
3	0.0141	0.231	0.61		3	0.0348	0.238	0.613	
4	0.0176	0.286	0.76		4	0.0435	0.298	0.768	
5	0.0227	0.369	0.98		5	0.0553	0.377	0.975	
6	0.0279	0.456	1.21		6	0.0680	0.466	1.208	
7	0.0325	0.530	1.41		7	0.0796	0.546	1.418	
8	0.0375	0.611	1.64		8	0.0922	0.631	1.645	
9	0.0423	0.691	1.86		9	0.1037	0.710	1.859	
10	0.0473	0.772	2.09		10	0.1156	0.793	2.09	
11	0.0520	0.849	2.31		11	0.1270	0.872	2.31	
12	0.0567	0.926	2.53		12	0.1386	0.951	2.53	
13	0.0612	1.00	2.75		13	0.1496	1.028	2.75	
14	0.0659	1.07	2.98		14	0.1610	1.108	2.98	
15	0.0703	1.14	3.20		15	0.1714	1.180	3.20	
16	0.0745	1.21	3.42		16	0.1816	1.249	3.42	
17	0.0790	1.29	3.65		17	0.1922	1.325	3.65	
18	0.0830	1.36	3.87		18	0.201	1.391	3.86	
19	0.0870	1.42	4.09		19	0.212	1.465	4.10	
20	0.0909	1.48	4.31		20	0.222	1.531	4.32	
21	0.0946	1.55	4.53		21	0.230	1.590	4.54	
22	0.0986	1.61	4.76		22	0.239	1.653	4.76	
23	0.1021	1.67	4.98		23	0.247	1.718	4.99	
24	0.1056	1.73	5.21		24	0.255	1.774	5.20	
25	0.1090	1.79	5.43		25	0.265	1.840	5.44	
26	0.1123	1.84	5.66		26	0.271	1.889	5.65	
27	0.1155	1.90	5.88		27	0.281	1.945	5.88	
28	0.1185	1.95	6.11		28	0.288	2.00	6.11	
29	0.1216	2.00	6.33		29	0.296	2.05	6.34	
30	0.1246	2.05	6.56		30	0.302	2.10	6.55	

(a) Dla  $I = 0, 1A$ ,  $B = 0, 0125T$

(b) Dla  $I = 0, 2A$ ,  $B = 0, 025T$

n	$U_H[mV]$	$U$	$I_s$	$U_{100\Omega}$
1	0.0037	0.0179	0.044	0.313
2	0.0281	0.1345	0.332	
3	0.0517	0.246	0.610	
4	0.0650	0.305	0.756	
5	0.0828	0.393	0.977	
6	0.1017	0.484	1.205	
7	0.1193	0.568	1.420	
8	0.1370	0.652	1.642	
9	0.1548	0.740	1.864	
10	0.1734	0.828	2.10	
11	0.1898	0.905	2.30	
12	0.207	0.989	2.53	
13	0.224	1.068	2.75	
14	0.241	1.147	2.98	
15	0.256	1.223	3.19	
16	0.271	1.299	3.43	
17	0.287	1.369	3.64	
18	0.302	1.445	3.87	
19	0.317	1.513	4.08	
20	0.331	1.583	4.32	
21	0.344	1.648	4.54	
22	0.357	1.717	4.77	
23	0.370	1.775	4.97	
24	0.383	1.835	5.20	
25	0.396	1.899	5.43	
26	0.408	1.957	5.66	
27	0.418	2.01	5.89	
28	0.429	2.06	6.11	
29	0.439	2.12	6.34	
30	0.450	2.17	6.57	

(a) Dla  $I = 0, 3A$ ,  $B = 0, 04T$

n	$U_H[mV]$	$U$	$I_s$	$U_{100\Omega}$
1	0.0048	0.0178	0.042	0.314
2	0.0385	0.1435	0.336	
3	0.0697	0.260	0.610	
4	0.0863	0.321	0.756	
5	0.1109	0.413	0.975	
6	0.1358	0.506	1.198	
7	0.1632	0.598	1.419	
8	0.1857	0.693	1.651	
9	0.208	0.777	1.861	
10	0.232	0.865	2.08	
11	0.257	0.958	2.32	
12	0.278	1.038	2.53	
13	0.300	1.120	2.74	
14	0.322	1.203	2.97	
15	0.344	1.285	3.20	
16	0.364	1.362	3.42	
17	0.385	1.438	3.64	
18	0.404	1.511	3.86	
19	0.424	1.586	4.09	
20	0.446	1.657	4.31	
21	0.462	1.726	4.53	
22	0.480	1.796	4.76	
23	0.496	1.858	4.97	
24	0.513	1.924	5.21	
25	0.528	1.981	5.42	
26	0.544	2.04	5.65	
27	0.558	2.10	5.88	
28	0.574	2.15	6.10	
29	0.587	2.21	6.32	
30	0.600	2.26	6.55	

(b) Dla  $I = 0, 4A$ ,  $B = 0, 05T$

## 4 Obliczenia i wykresy

Obliczeń dokonaliśmy metodą najmniejszych kwadratów. Wykresy sporządzone za pomocą tych obliczeń znajdują się poniżej. Niepewność miernika liczyliśmy według wzoru

$$1,2\% \cdot \text{wartość} + 0,001[V] \quad (14)$$

$R_h$  liczyliśmy dwoma sposobami: z proporcji

$$R_h = \frac{U \cdot 100\Omega}{U_{w100\Omega}} \quad (15)$$

i ze wzoru 13. Wartości policzone dwoma sposobami dla każdego podpunktu są do siebie zbliżone.

### 4.1 $I_m = 0,1$

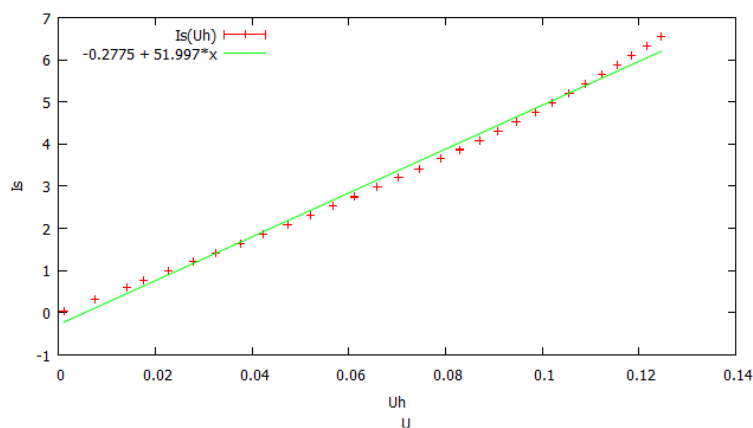
$$n = \frac{51,997 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0125T}{0,2\mu m \cdot 1,602 \cdot 10^{-19}C} = 2,029(0,032) \cdot 10^{22} \quad (16)$$

$$\mu = \frac{0,0609 \cdot 0,1A}{40 \cdot 10^{-6}m \cdot 0,0125T} = 12180(19) \frac{A}{mT} \quad (17)$$

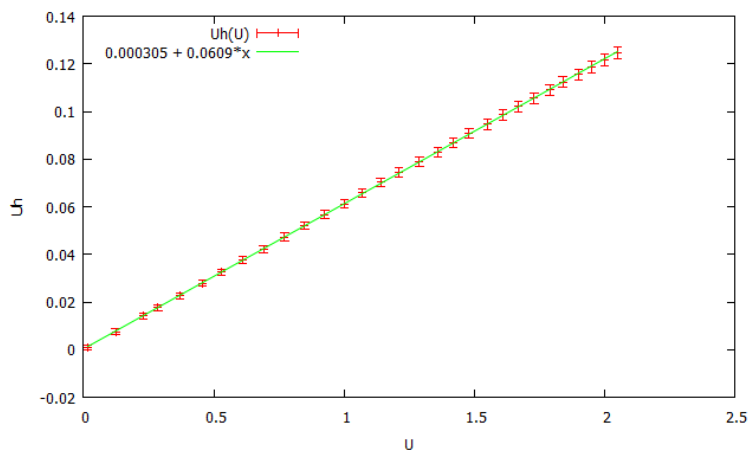
Z proporcji

$$R_h = \frac{1,14V \cdot 100\Omega}{0,313V} = 364,22(3,38)\Omega \quad (18)$$

$$R_h = \frac{0,1}{2,029 \cdot 10^{22} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 12180 \cdot 40 \cdot 0,2 \cdot 10^{-12}} = 315,73(2,96)\Omega \quad (19)$$



Rysunek 1: Wykres  $U_H(I_S)$  dla  $I_m = 0,1$



Rysunek 2: Wykres  $U_H(U)$  dla  $I_m = 0,1$

## 4.2 $I_m = 0,2$

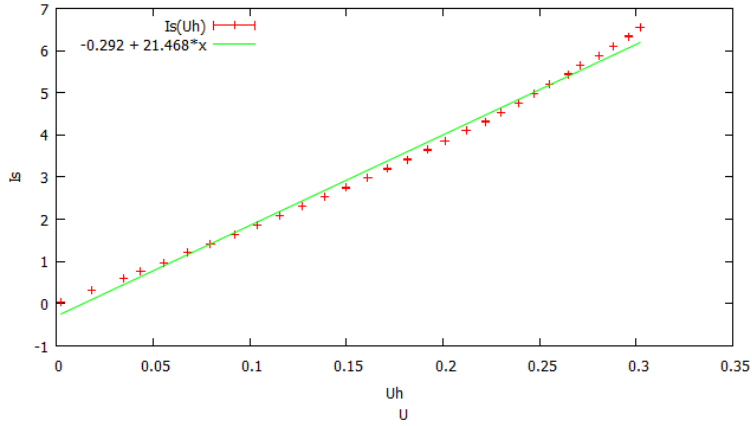
$$n = 1,675(0,027) \cdot 10^{22} \quad (20)$$

$$\mu = 28720(42) \frac{A}{mT} \quad (21)$$

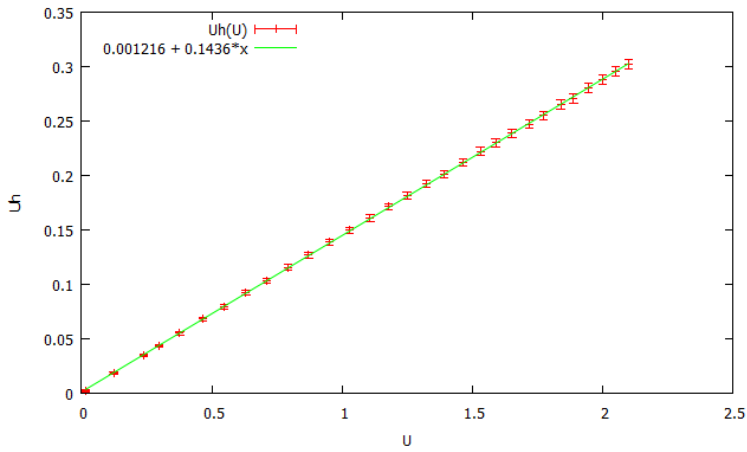
Z proporcji:

$$R_h = 375,80(3,52)\Omega \quad (22)$$

$$R_h = 324,3981(3,06)\Omega \quad (23)$$



Rysunek 3: Wykres  $U_H(I_S)$  dla  $I_m = 0,2$



Rysunek 4: Wykres  $U_H(U)$  dla  $I_m = 0,2$

## 4.3 $I_m = 0,3$

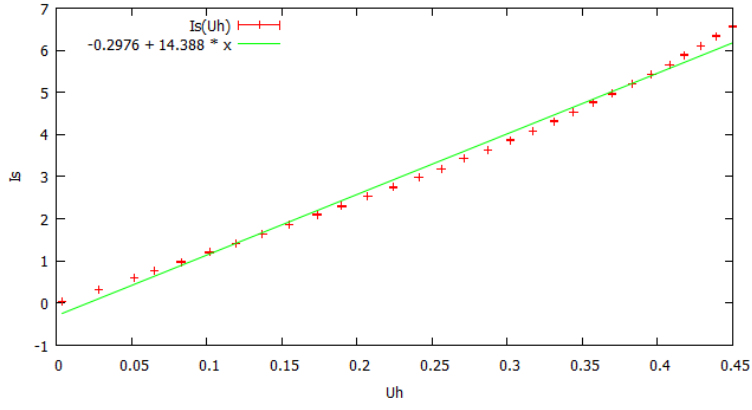
$$n = 1,796(0,023) \cdot 10^{22} \quad (24)$$

$$\mu = 38925(51) \frac{A}{mT} \quad (25)$$

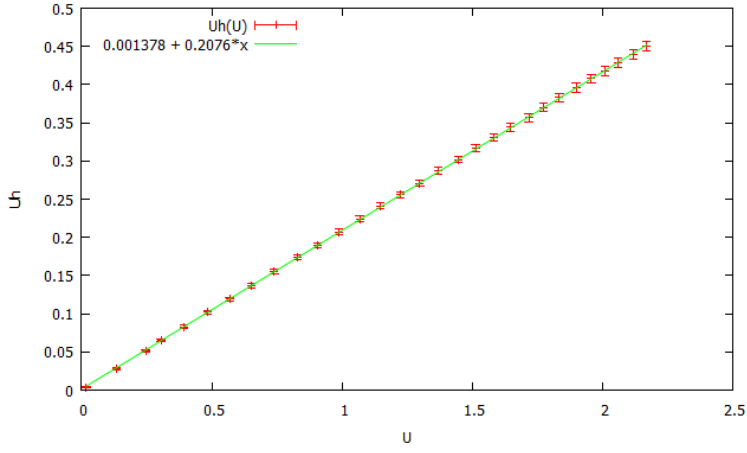
Z proporcji:

$$R_h = 390,73(3,66)\Omega \quad (26)$$

$$R_h = 334,8373(3,12)\Omega \quad (27)$$



Rysunek 5: Wykres  $U_H(I_S)$  dla  $I_m = 0,3$



Rysunek 6: Wykres  $U_H(U)$  dla  $I_m = 0,3$

#### 4.4 $I_m = 0,4$

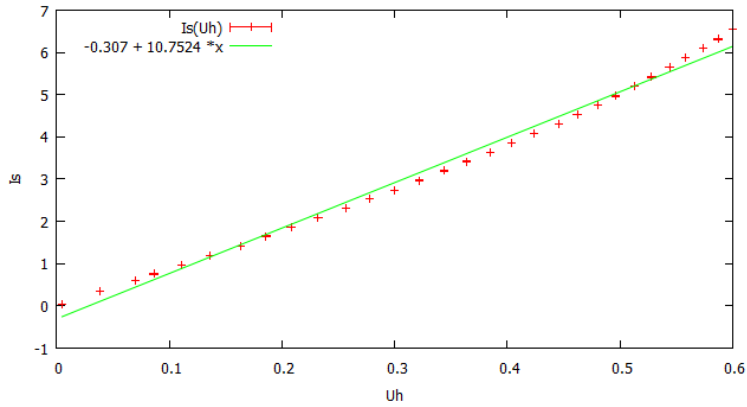
$$n = 1,678(0,024) \cdot 10^{22} \quad (28)$$

$$\mu = 53194(73) \frac{A}{mT} \quad (29)$$

Z proporcji:

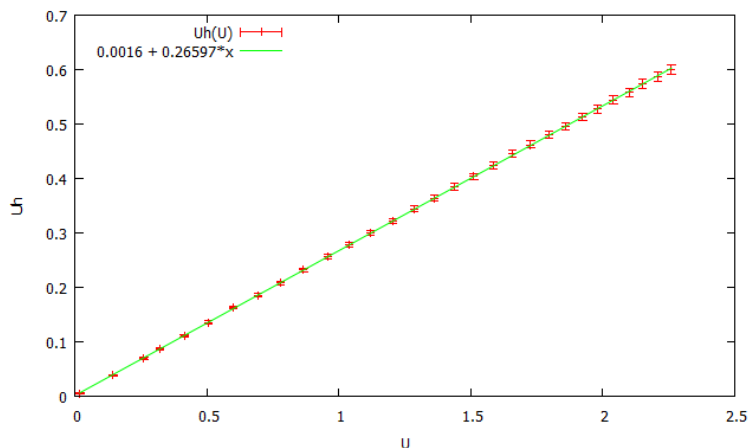
$$R_h = 409,24(4,02)\Omega \quad (30)$$

$$R_h = 349,6656(3,21)\Omega \quad (31)$$



Rysunek 7: Wykres  $U_H(I_S)$  dla  $I_m = 0,4$





Rysunek 8: Wykres  $U_H(U)$  dla  $I_m = 0,4$

## 5 Wnioski

W ćwiczeniu zapoznaliśmy się ze zjawiskiem efektu Halla. Zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi, napięcie Halla  $U_H$  w naszych pomiarach jest proporcjonalne do wielkości indukcji magnetycznej oraz natężenia prądu sterującego.

Wyznaczona przez nas koncentracja elektronów swobodnych  $n = wstawic$  daje nam możliwość ustalenia właściwości elektrycznych metalu, z którego wykonana została płytka hallotronu. Zajęcia laboratoryjne dały nam odpowiedź na pytanie o powód tak szerokiego zastosowania hallotronu w praktyce.

Przeprowadzone ćwiczenia potwierdziły liniowość zależności (wykresy niemalże liniowe), a więc zgodność z założeniami teoretycznymi.