

21. A félvezetők elektromos tulajdonságainak vizsgálata (Hall-effektus)

PÁPICS PÉTER ISTVÁN

csillagász, 3. évfolyam

Mérőpár: Balázs Miklós

2006.05.03.

Beadva: 2006.05.18.

Értékelés: ____

A MÉRÉS LEÍRÁSA

A mérés során egy Ge mintán vizsgáltunk. A félvezetők többnyire kristályos szerkezetű anyagok, amibe a (Ge) beépült atommagot a szorosan kötött belső elektronhéjakon kívül 4 vegyérték-elektron veszi körül, amit megoszt 4 szomszédjával. Ezért minden szomszéd egy vegyérték-elektronját megosztja a központi atommal. Tehát minden Ge atomot 8 vegyérték-elektron vesz körül: (4 saját+ 4 a szomszédától). A szabad atomok elektronjai csak diszkrét energia-értékeket vehet fel. Az elektroncsere kölcsönhatást eredményez, ami miatt a protonoknak egy közös elektrosztatikus tere alakul ki. Ezért a diszkrét energia-értékek sok egymáshoz közeli nívóra hasadnak fel, mivel a Pauli-elv szerint egy rendszeren belül egy energiaszinten csak két elektron lehet.

0 K közelében az elektronok az alsóbb energiasávokat töltik be, a stabilitás feltétele miatt (energia-minimum). A félvezetőkre jellemző, hogy csak teljesen betöltött vagy csak teljesen üres energiasávjai vannak ezen a hőmérsékleten.

Növekvő hőmérséklettel több elektron gerjesztődik, és a felsőbb sávba kerül, mivel ez nem telített, így a gerjesztett elektronok szabadon elmozdulhatnak. De a gerjesztett elektronok helyén elektron-hiány (lyuk) a sávon belül elmozdulhat. Így a külső tér hatására létrejöhet a vezetés, amikor a lyukak az elektronokkal ellenkező irányba vándorolnak. Tehát a hőmérséklet növekedésével a tiszta félvezetők vezetőképessége rohamosan nő. Tiszta félvezetők elektromos tulajdonságai különböző szennyező atomokkal erősen befolyásolhatók. Az elektronok számával fordítottan arányos a lyukak száma, tehát az elektron és lyukkonzentráció szorzata egy adott félvezető kristályra a szennyezéstől független állandó, ami csak a hőmérséklettől függ. Mozgékonyaság: az átlagos haladási sebesség, amelyre a töltött részecskék egységnyi térerő hatására, a tér irányában szert tesznek.

A mérés elméleti része a kiadott jegyzetben szerepel, további részletezését itt indokolatlannak tartom.

A MÉRÉSI EREDMÉNYEK

A MINTA HALL ÁLLANDÓJÁNAK MEGMÉRÉSE ÉS A SZENNYEZŐ ATOMOK KONCENTRÁCIÓJÁNAK VALAMINT ÁTLAGSEBESSÉGÉNEK MEGÁLLAPÍTÁSA, STB.

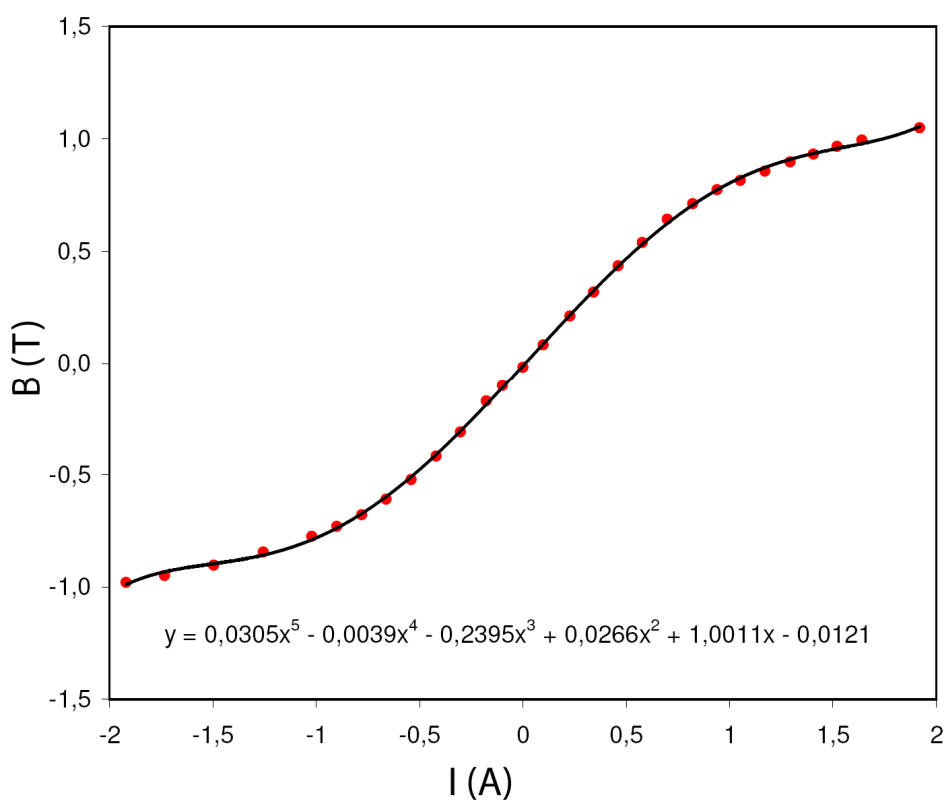
A minta adatai:

$$\begin{aligned}l &= 4\text{mm} = 4 \times 10^{-3}\text{m} \\d &= 0,62\text{mm} = 6,2 \times 10^{-4}\text{m} \\h &= 2,12\text{mm} = 2,12 \times 10^{-3}\text{m}\end{aligned}$$

A mágneses teret a mágnesező áramtól való függésén keresztül mérjük, ezekhez a mért mágnesező áramokhoz a mellékelt kalibrációs táblázatból leolvashatjuk a hozzá tartozó mágneses indukció értékeket: $B(I)$ függvény (1. ábra) egyenlete:

$$B = 0,0305 \cdot I^5 - 0,0039 \cdot I^4 - 0,2395 \cdot I^3 + 0,0266 \cdot I^2 + 1,0011 \cdot I - 0,0121 \quad (1)$$

Ennek felhasználásával minden lemért értékhez megkaptuk a mágneses indukció értékét.



1. ábra: I - B kalibrációs görbe

Most lássuk a mérési adatokat, majd mindkét hőmérsékletre az előzőhöz hasonló ábrát:

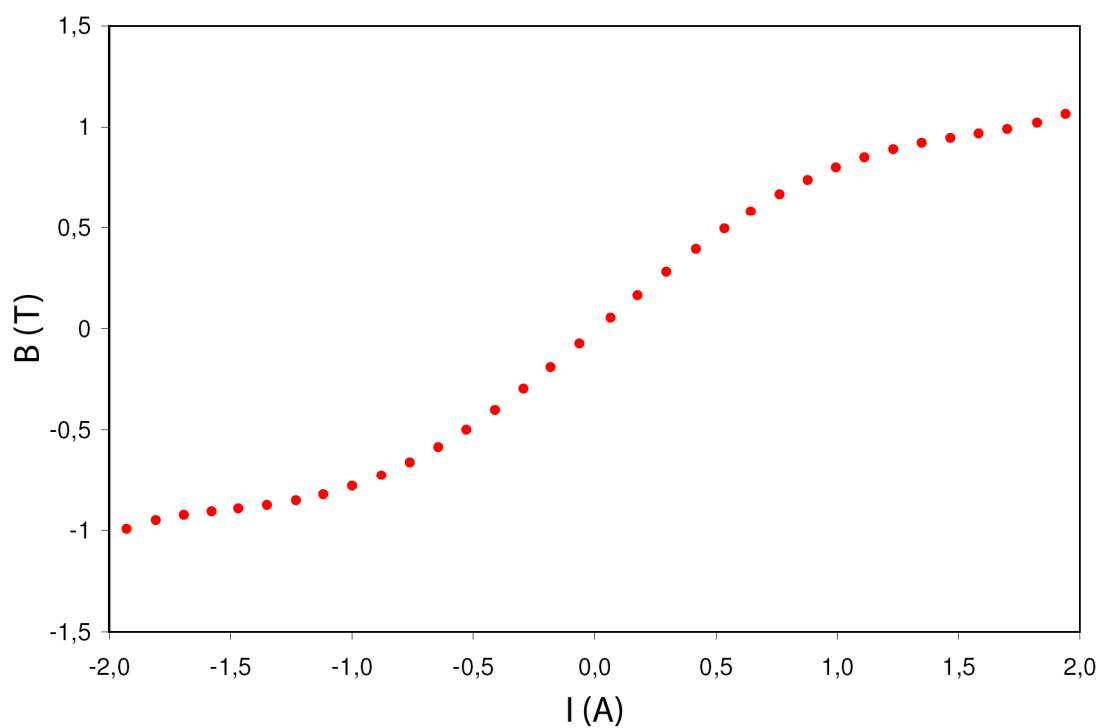
Szobahőmérsékleten:

Áram	R-el arányos U	Hall U (V)	B (T)
1,941	1,7027	0,3173	1,064794
1,824	1,7036	0,3136	1,021631
1,701	1,7032	0,3092	0,990676
1,583	1,7029	0,3048	0,967937
1,466	1,7026	0,2999	0,946606
1,348	1,7027	0,2945	0,921949
1,231	1,7020	0,2884	0,891058
1,112	1,7014	0,2815	0,85059
0,995	1,7008	0,2740	0,800326
0,878	1,6996	0,2654	0,738865
0,763	1,6970	0,2551	0,667406
0,644	1,6952	0,2414	0,58238
0,535	1,6924	0,2247	0,495445
0,418	1,6899	0,2061	0,393786
0,296	1,6872	0,1847	0,280384
0,177	1,6850	0,1638	0,164601
0,066	1,6840	0,1440	0,05402
-0,062	1,6850	0,1202	-0,07401
-0,181	1,6854	0,0988	-0,19102
-0,293	1,6874	0,0794	-0,29721

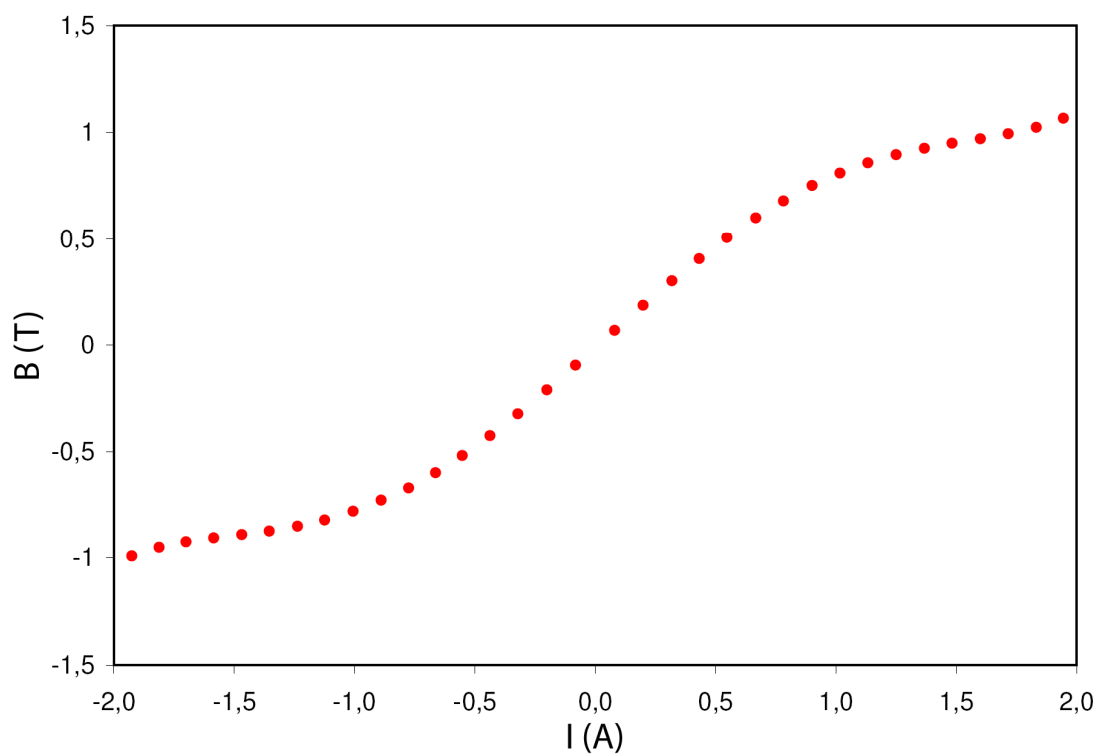
-0,410	1,6893	0,0596	-0,40204
-0,528	1,6924	0,0404	-0,49957
-0,644	1,6953	0,0232	-0,58586
-0,761	1,6980	0,0087	-0,66207
-0,878	1,7006	-0,0023	-0,72669
-0,999	1,7035	-0,0114	-0,7811
-1,118	1,7055	-0,0187	-0,82277
-1,230	1,7074	-0,0252	-0,85233
-1,350	1,7094	-0,0314	-0,87556
-1,468	1,7112	-0,0368	-0,89276
-1,578	1,7130	-0,0413	-0,90713
-1,692	1,7145	-0,0456	-0,92461
-1,808	1,7163	-0,0496	-0,95058
-1,928	1,7179	-0,0534	-0,99332

Valamint 65°C-on:

Áram	R-el arányos U	Hall U (V)	B (T)
1,945	2,1930	0,3537	1,066598
1,833	2,1914	0,3519	1,02438
1,716	2,1916	0,3477	0,993921
1,600	2,1903	0,3431	0,971021
1,483	2,1887	0,3382	0,949807
1,368	2,1882	0,3327	0,926418
1,250	2,1860	0,3266	0,896621
1,133	2,1857	0,3198	0,858476
1,017	2,1834	0,3123	0,810618
0,901	2,1827	0,3039	0,751847
0,782	2,1796	0,2936	0,679956
0,667	2,1783	0,2804	0,599653
0,547	2,1740	0,2627	0,505407
0,432	2,1722	0,2439	0,406354
0,319	2,1702	0,2239	0,302244
0,199	2,1678	0,2025	0,186288
0,081	2,1662	0,1810	0,069036
-0,082	2,1652	0,1508	-0,09388
-0,201	2,1643	0,1292	-0,21032
-0,321	2,1651	0,1079	-0,32294
-0,437	2,1653	0,0881	-0,42514
-0,552	2,1672	0,0692	-0,51824
-0,663	2,1680	0,0525	-0,599
-0,775	2,1700	0,0380	-0,67043
-0,889	2,1719	0,0283	-0,73216
-1,006	2,1722	0,0190	-0,78387
-1,124	2,1743	0,0117	-0,82458
-1,237	2,1745	0,0051	-0,8539
-1,354	2,1760	-0,0010	-0,87622
-1,468	2,1778	-0,0063	-0,89276
-1,585	2,1780	-0,0113	-0,90808
-1,700	2,1794	-0,0155	-0,92606
-1,812	2,1805	-0,0196	-0,9517
-1,925	2,1819	-0,0234	-0,99199

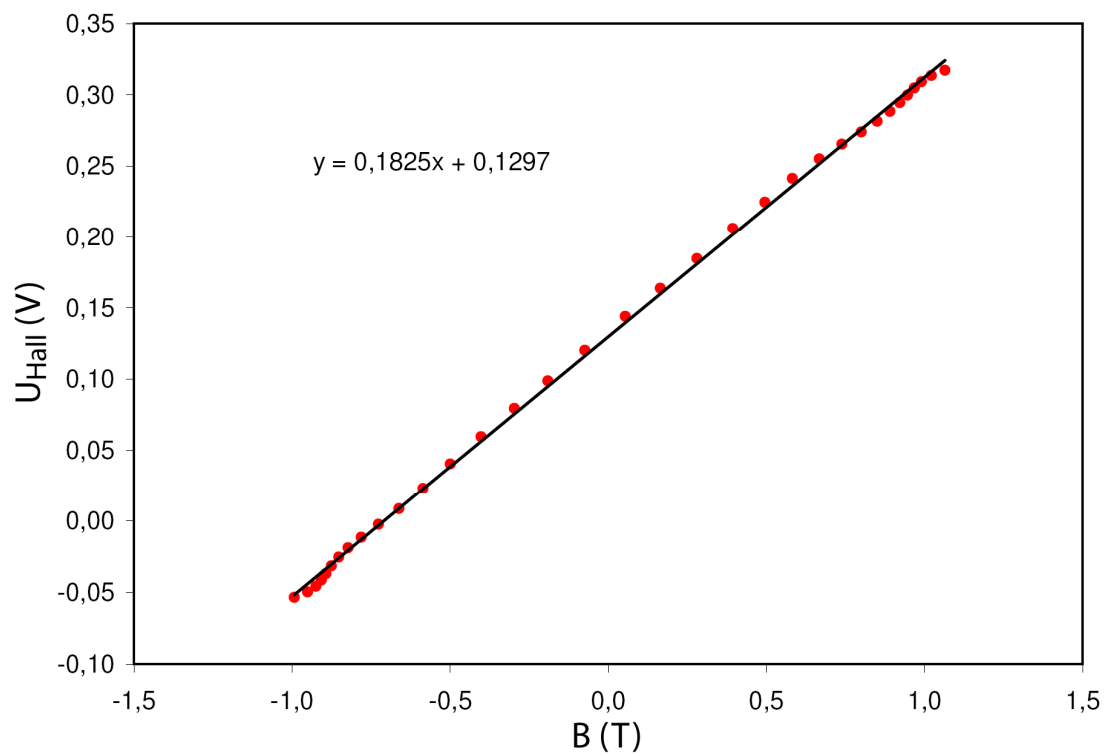


2. ábra: I - B görbe szobahőmérsékleten

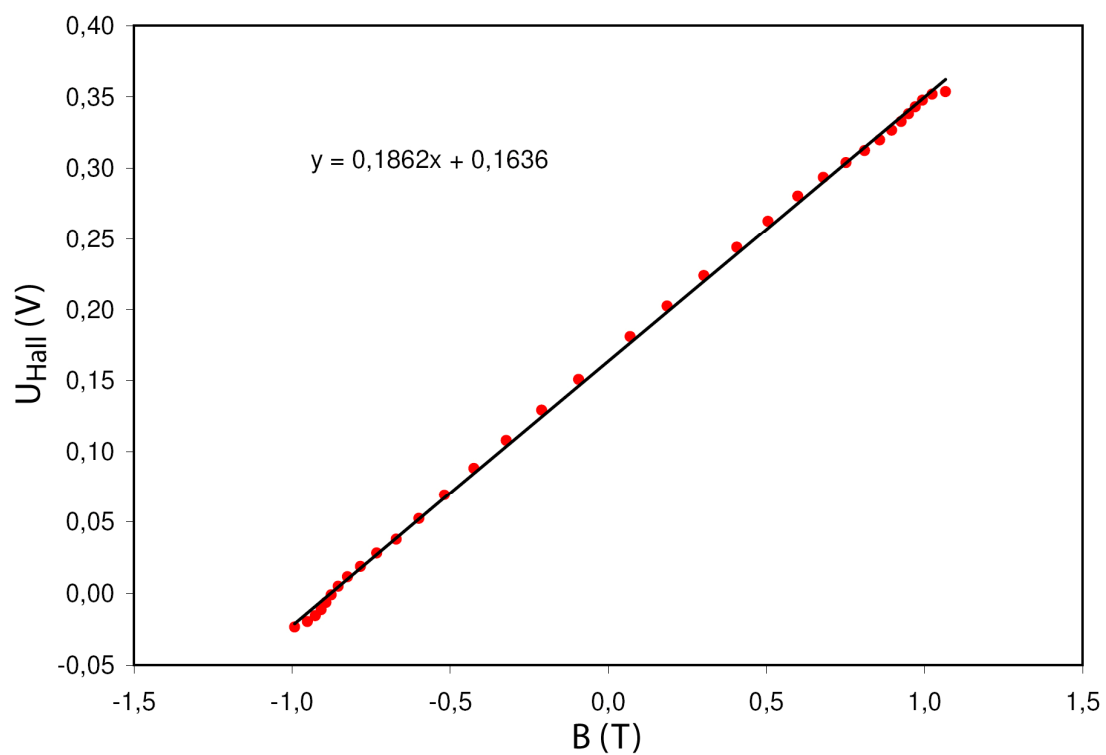


3. ábra: I - B görbe 65°C-on

Most a mért Hall-feszültséget a mágneses indukció függvényében ábrázolva és egyenest illesztve az egyenes meredeksége kell majd a koncentráció meghatározásához.



4. ábra: B - T görbe szobahőmérsékleten



5. ábra: B - T görbe 65°-on

A hibaszámításhoz gnuplottal is elvégeztem az illesztést (ezeket az ábrákat excel és Photoshop segítségével állítottam elő):

Szobahőmérsékleten a meredekségek és tengelymetszetek és hibájuk:

$$m_1 = 0,1825 \pm 0,0008 \text{ (V/T)}$$
$$b = 0,1297 \pm 0,0006 \text{ (V)}$$

65°C-on a meredekségek és tengelymetszetek és hibájuk:

$$m_2 = 0,1862 \pm 0,0009 \text{ (V/T)}$$
$$b = 0,1636 \pm 0,0007 \text{ (V)}$$

Ezekből a **KONCENTRÁCIÓ**:

$$U_{\text{Hall}} = I \cdot B \frac{1}{en} \Rightarrow m = \frac{I}{en} \Rightarrow n = \frac{I}{med} \quad (2)$$

$$I = 100 \mu\text{A} = 1 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$n_1 = (5,516 \pm 0,001) \times 10^{18} \text{ 1/m}^3$$

$$n_2 = (5,407 \pm 0,001) \times 10^{18} \text{ 1/m}^3$$

Ezek felhasználásával a **HALL ÁLLANDÓ** adódik:

$$R_H = \frac{3\pi}{8} \cdot \frac{1}{en} \quad (3)$$

$$R_{H1} = 1,333 \text{ m}^3/\text{C}$$

$$R_{H2} = 1,539 \text{ m}^3/\text{C}$$

$$R_H = \frac{R_{H1} + R_{H2}}{2} = 1,436$$

$$R_H = (1,436 \pm 0,103) \text{ m}^3/\text{C}$$

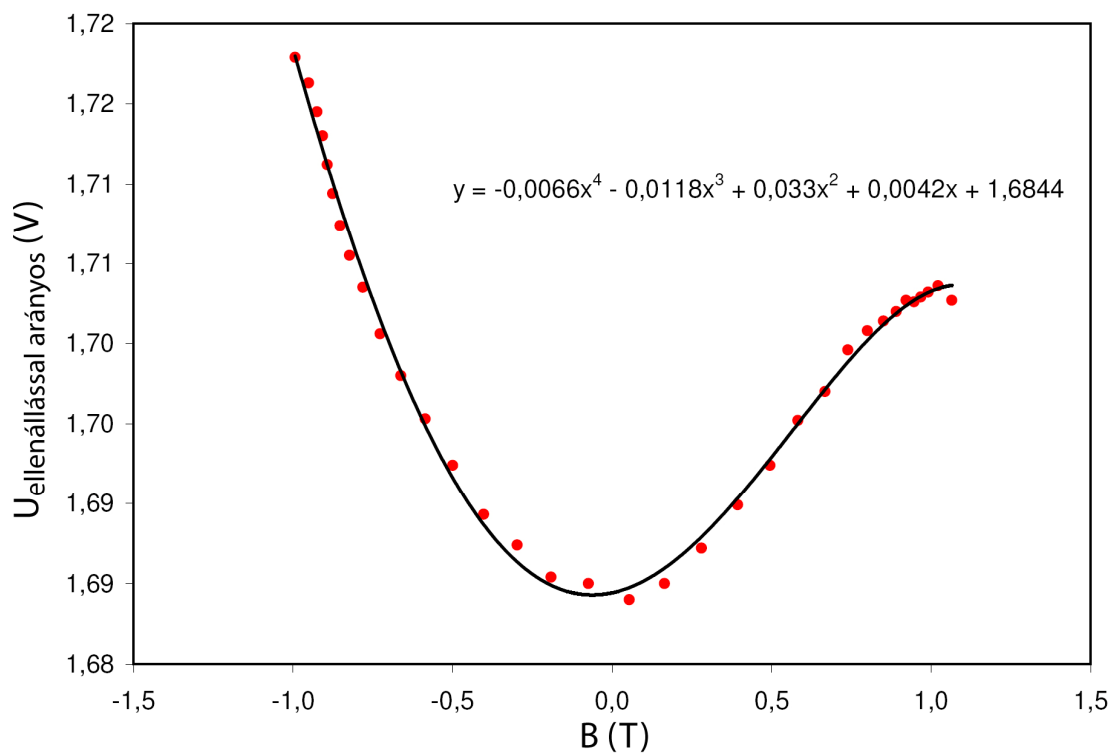
A **FAJLAGOS ELLENÁLLÁS** számolásához foglalkozunk a két láb-pár közötti ellenállással arányos feszültségeséssel, ezt ábrázolva a térerősség függvényében (6-7. ábra), megállapíthatjuk, hogy amikor a térerősség zérus, akkor mekkora a feszültségesés (az illesztett polinom utolsó tagja). Ezt használjuk a későbbiekben feszültség címén.

$$\rho = R \frac{A}{l} = \frac{U}{I} \frac{A}{l} \quad (4)$$

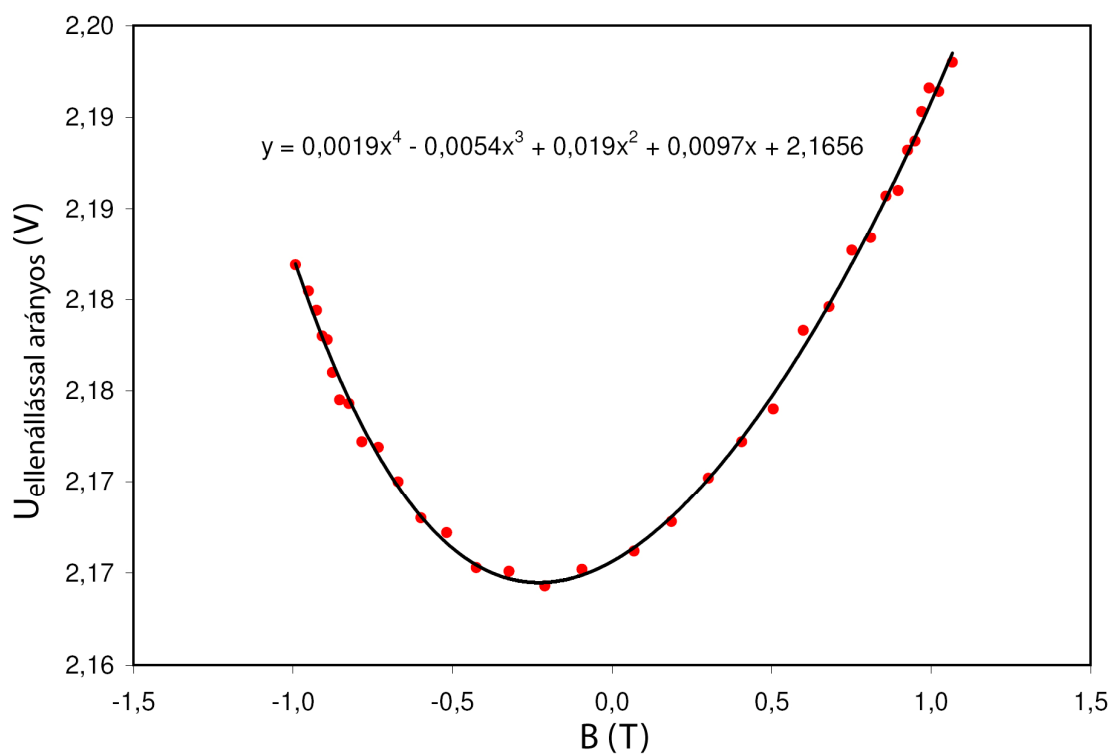
$$\rho_1 = 5,535 \text{ Vm/A}$$

$$\rho_2 = 7,116 \text{ Vm/A}$$

Ebből a mozgékonyág könnyen meghatározható, de a számolás előtt lássunk két ábrát:



6. ábra: B - U görbe szobahőmérsékleten



7. ábra: B - U görbe 65°-on

A MOZGÉKONYSÁG és a SEBESSÉG számolása:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \mu_{en} \Rightarrow \mu = \frac{1}{\rho_{en}} \quad (5)$$

$$\mu_1 = 0,204 \text{ m}^2/\text{Vs}$$

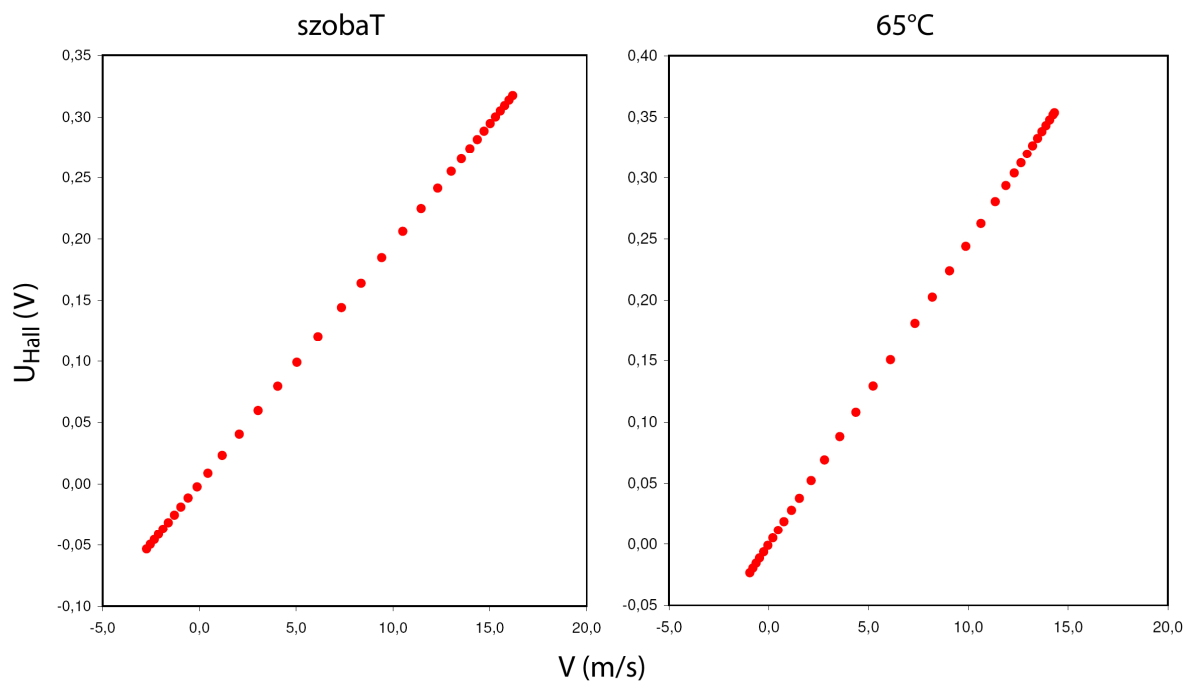
$$\mu_2 = 0,162 \text{ m}^2/\text{Vs}$$

A sebesség a térerősség függvényében változik, így ezt csak képletesen és diagram formájában adom meg:

$$E_i = \frac{U_{Hi}}{l} \quad (6)$$

$$v_i = \mu E_i \quad (7)$$

A SEBESSÉGEK A HALL FESZÜLTÉG FÜGGVÉNYÉBEN:



8. ábra: sebességek a Hall-feszültség függvényében