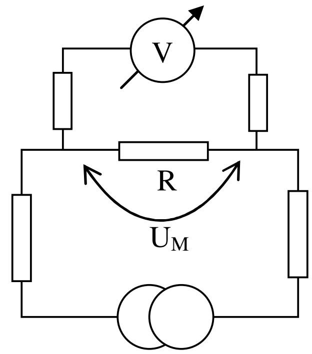
Félvezetők minősítése

Tóth Bence
fizikus, 3. évfolyam

2006.04.27. csütörtök

beadva: 2005.05.08.

A mérés során több dologra kellett odafigyelni. Az ellenállás mérésére (R kicsi volta miatt a kontaktellenállásokhoz képest) a négypontos módszert alkalmaztuk. Ennek elrendezése az ábrán látható. A módszer lényege, hogy az áramgenerátorral egy állandó áramot folyatunk át a rendszeren, és így mérjük az R-en eső feszültséget (a voltmértő ≈GΩ-os ellenállása végtelennek tekinthető). Az ismert áramerősség és a mért feszültség valamint az U=R*I képlet alapján meghatározható az ellenállás. Viszont a kályha hőmérsékletének kis inhomogenitései is termoelektromos feszültséget okozhatnak a szilícium és a két oldalán érintkező rézdrót között. Ezért minden egyes feszültséget kétszer mérünk meg, fordított áramirányokkal, ezáltal a mindig ugyanolyan előjelű termofeszültség kiejthető:

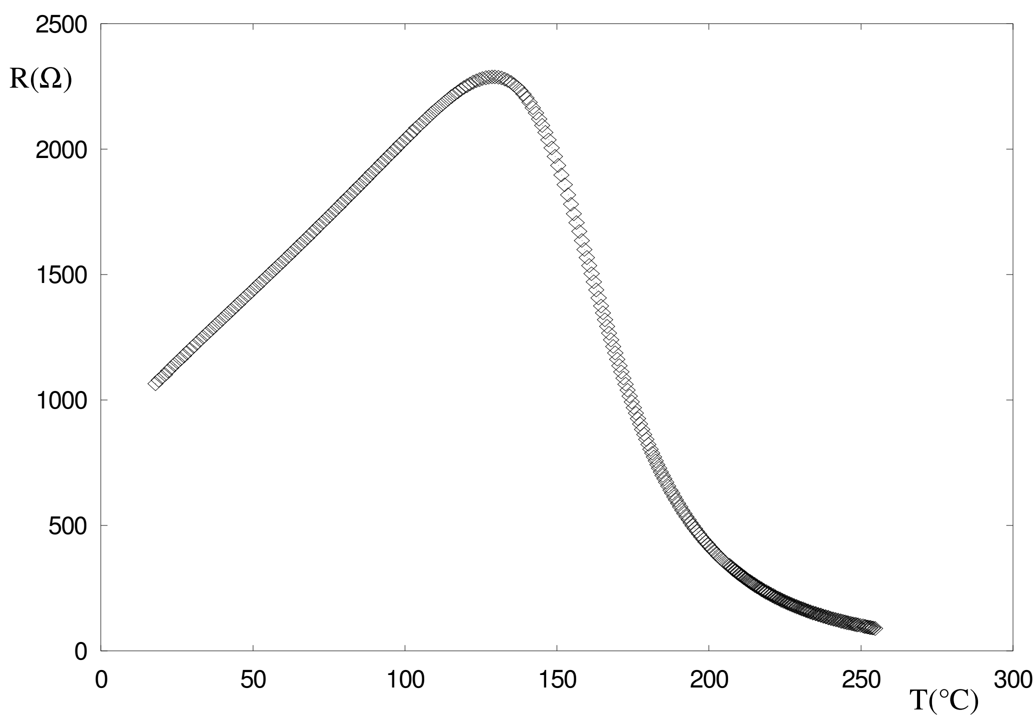


$U_M=(U_{M+}-U_{M-})/2=I*R$

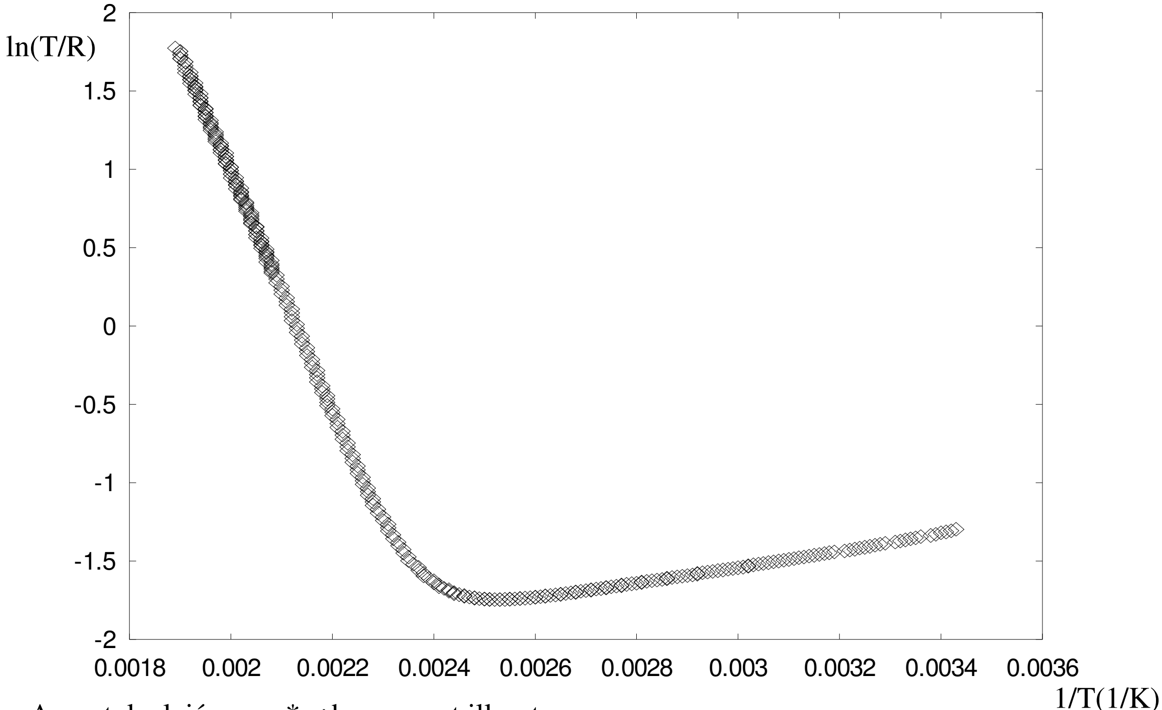
Átlagolással a parazitafeszültség is meghatározható, ami 0,071mV.

Másik nehézség a drót és a minta eltérő kémiai potenciálja, amit úgy próbál kiegyenlíteni, hogy az érintkezési felület egyik oldalán töltés halmozódik fel. Ezt nevezzük Schottky-gátnak, ami megfelelő kontaktáló fém használatával illetve hőkezeléssel elhanyagolhatóvá tehető.

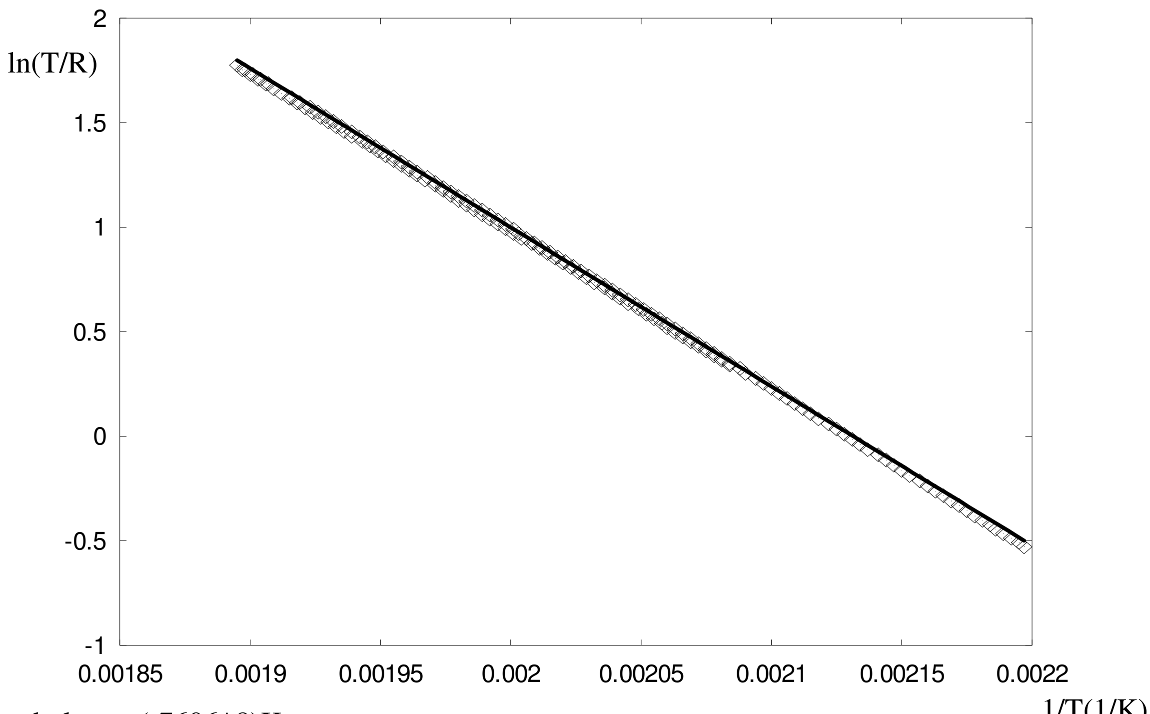
1. Elsőnek a szennyezetlen Si-minta tiltott sávjának szélességét határoztuk meg. Ehhez a már ismertetett módon mértük a minta ellenállását a hőmérséklet függvényében:



Ezt áttranszformálva úgy, hogy a hőmérséklet és az ellenállás hányadosának természetes alapú logaritmusát ábrázolom a hőmérséklet reciprokának függvényében:



A pontok elejére az a*x+b egyenest illesztve:



ahol $a=(-7606\pm8)K$
$b=16,19\pm0,02$

Az egyenes meredeksége: $a=\frac{-E_g}{2*k_B}$

Ebből a gap szélessége: $\mathbf{E_g=(2,099\pm0,002)*10^{-19}J=(1,310\pm0,001)eV}$

2.

Az előbb illesztett egyenes egyenletéből kiszámolható a T=300K-en az elméleti (szennyezetlen) ellenállás:

$$R=\frac{T}{e^{\frac{a+b*T}{T}}}=\frac{T}{e^{\frac{-7606+16,19*T}{T}}}$$

Behelyettesítve: $R(300K)=(2,9\pm0,1)*10^6\Omega$. Ennél mi jóval kevesebbet: $(891\pm1)\Omega$-ot mértünk (Az R-T görbe elejére egyenest illesztettem: $(11,79\pm0,02)*x+(852\pm1)$, majd x=300K-re kiszámoltam) A maradék töltéshordozók számát az

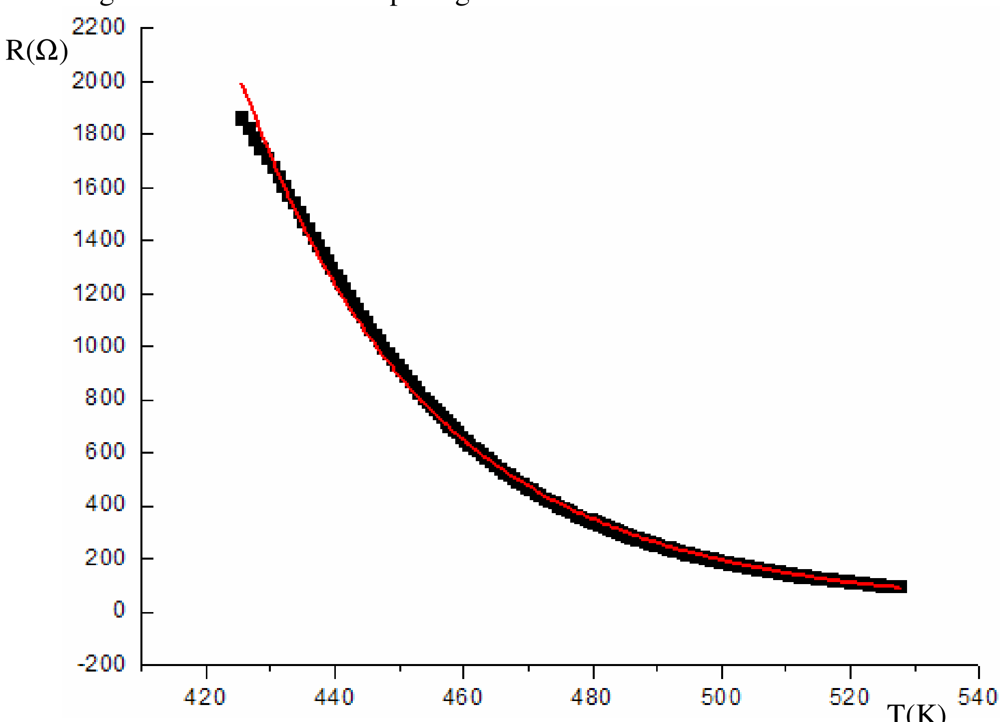
$$\frac{R_{elm}(300K)}{R_{mért}(300K)}\approx\frac{n_{mért}}{n_{elm}}$$

összefüggésből lehet meghatározni, ahol $n_{elm}=5,05*10^9 cm^{-3}$
Vagyis a mért töltéshordozó-koncentráció (ami gyakorlatilag megegyezik a szennyezési töltéshordozó-koncentrációval, mivel kettő között három nagyságrendnyi eltérés van):

$n_{mért}(300K)=(1,64\pm0,06)*10^{13}cm^{-3}$

3.

A töltéshordozók $<\mu>$ átlagos mozgékonyságának 550K-en való kiszámolásához használhatjuk a jegyzetben megadott képlet átrendezésével kapott $<\mu>=\frac{\sigma}{n*e}$ összefüggést. Mivel 400K fölött $\ln(\frac{T}{R})\sim\ln(\sigma*T)$, ezért az $R=\frac{T}{(\sigma*T)^A}$ görbét illesztve a legelső adatsor, a hőmérséklet-ellenállás grafikon második felére, a kapott illesztési paraméterekből meghatározható a vezetőképesség:



$\sigma=(2130,0\pm0,6)*10^{-6}\frac{A}{V}$

A jegyzet alapján $n_0(T) \sim T^{3/2}$, azaz $n_0(T)=C*T^{3/2}$. T=300K-re $n_0=1{,}074*10^{19}cm^{-3}$, ebből számolható a C arányossági tényező:

$$C=2{,}067*10^{15}\frac{1}{K*cm^3}.$$

400K fölött n_e gyakorlatilag megegyezik $n_{mért}$-el, ezért használhatjuk ezt az összefüggést n(550K) meghatrozásához. $n_0(550K)=C*550^{3/2}=2{,}666*10^{19}cm^{-3}$. Beírva az ismert adatokat:

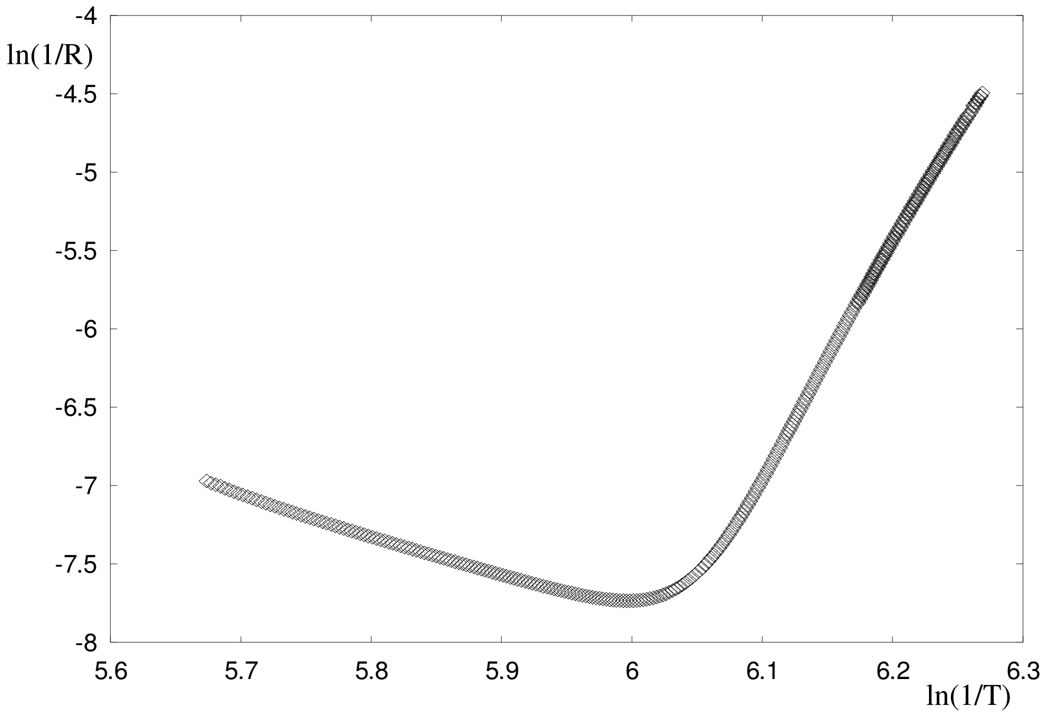
$$\mathbf{n_e(550K)}=n_0(550K)*e^{\frac{-E_g}{2*k_B*T}}=\mathbf{(2{,}63\pm0{,}03)*10^{13}cm^{-3}}.$$

Mindent ismerünk a mozgékonyság számolásához:

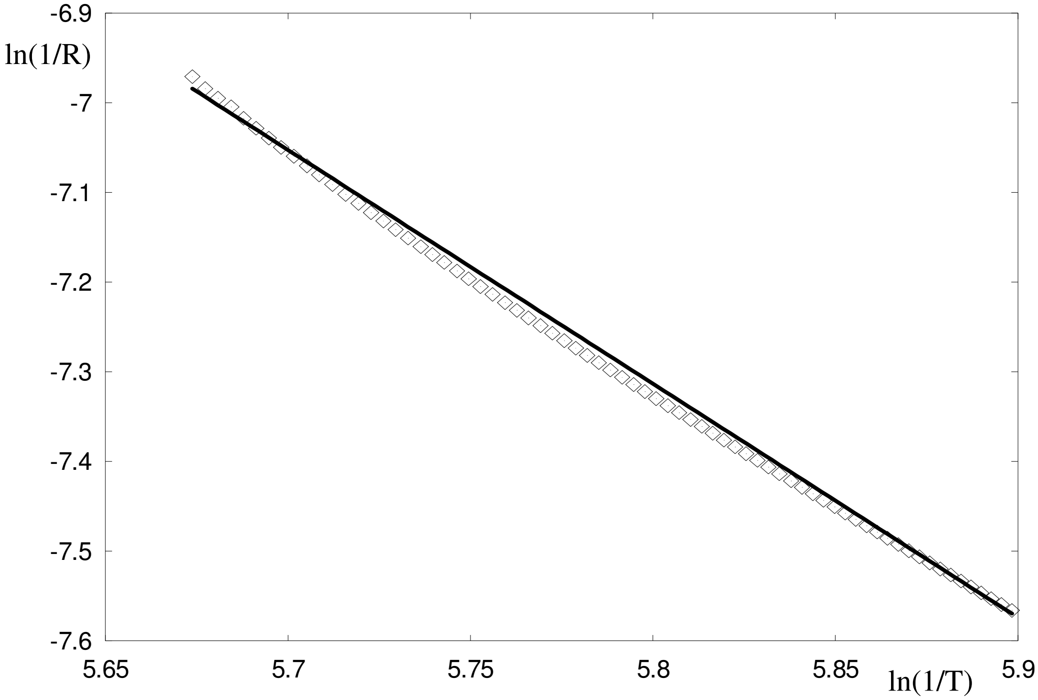
$$\mathbf{\langle\mu\rangle}=\frac{\sigma}{n*e}=\mathbf{5{,}06178*10^{-8}}\frac{cm^2}{Vs}$$

4.

Az ellenállás reciprokának természetes alapú logaritmusa a hőmérséklet reciproka természeres alapú logaritmusának függvényében ábrázolva:



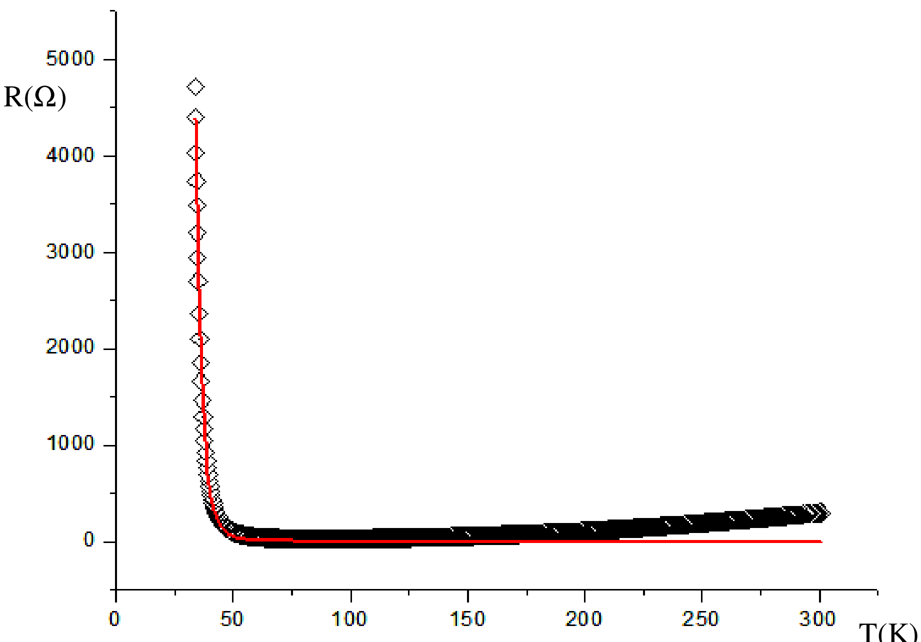
A szennyezési töltéshordozók szakaszára az a*x+b egyenest illesztve:



ahol a=-2,61±0,01
b=7,81±0,07

Ez az egyenes $\mathbf{T^{-2,61}}$-el megy, ami elég közel van a várt 5/2-es értékhez.

5. Az adalékolt félvezető szennyezési nívójának meghatározásához megkaptuk egy előre, zártkörű He-hűtőrendszerrel kimért akceptor-szennyezett szilícium adatait. A pontokra az $R(T)=T^a e^{1+\frac{b}{T}}$ egyenletű görbét illesztve:



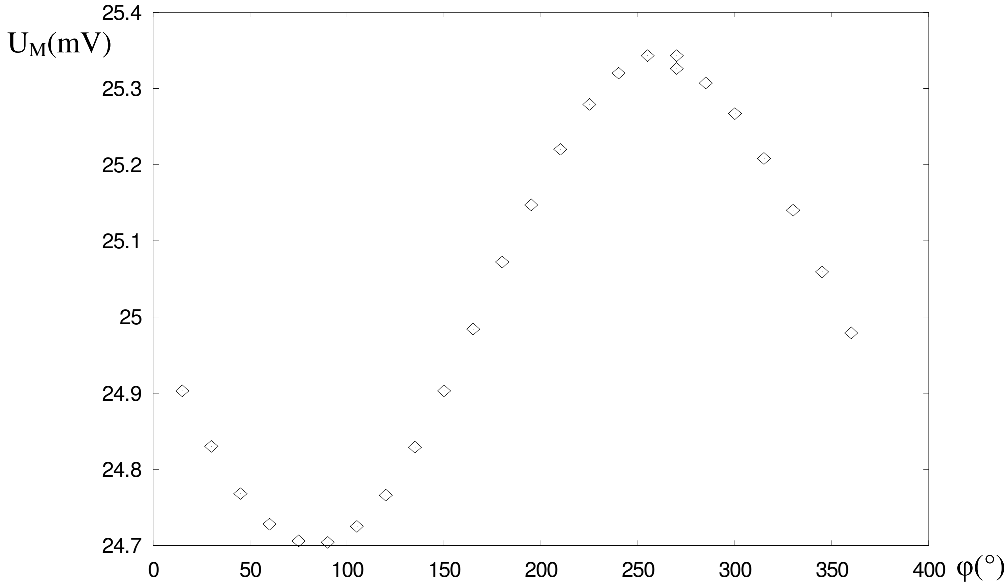
Az illesztésből pedig megkapható a b paraméter értéke:

$$b=\frac{E_a}{k_B}=(405\pm8)\mathrm{K}$$

Ebből az akceptor szennyezési nívó vegyértéksáv tetejétől mért távolsága:

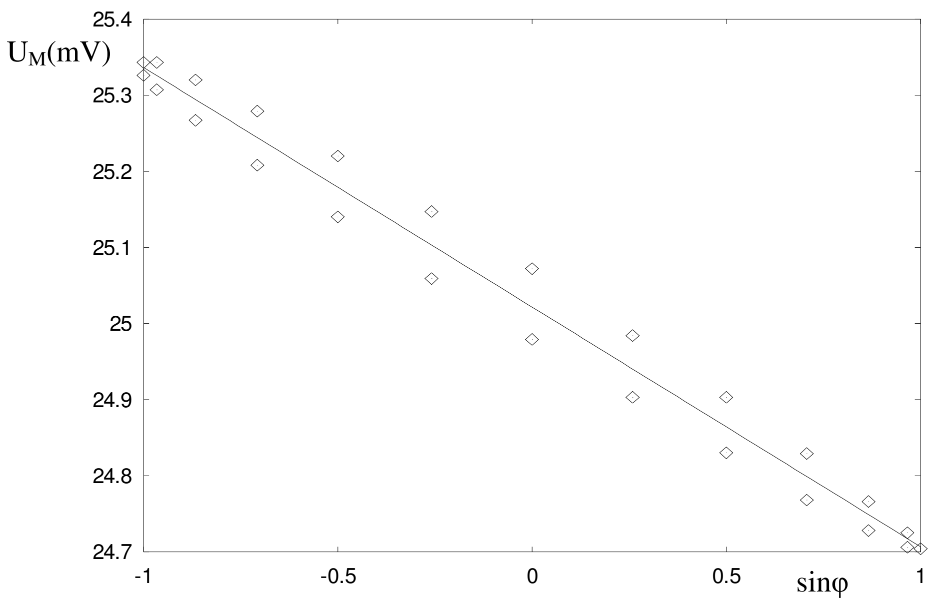
E_a=(5,6±0,1)*10^{-21}J=(0,0349±0,0007)eV

6. A Hall-állandó meghatározásához egy szennyezett félvezető lapka síkjának a <u>B</u> mágneses indukcióvektortól mért φ szögét 15°-onként változtatva megmértük a transzverzális U_M feszültség értékét. A mérési adatok ábrázolva:



Látszik, hogy a mért értékek kicsit másznak, hiszen a 270°-hoz tartozó értéket kétszer is megmértük, és egy kicsit más lett.

Az U_M-et sinφ függvényében ábrázolva és rá az a*x+b egyenest illesztve:



ahol a=(-0,315±0,009)mV
b=(25,022±0,007)mV

A pontok a mászás miatt formálnak ellipszist, ezért a közepére illesztettem az egyenest. Az

$$U_M=\frac{R_H}{d}*B*I*\sin\varphi+R*I$$

egyenletből meghatározható a Hall-állandó. Itt az I Hall-áram 10^{-3}A, a félvezető lapka vastagsága $d=(4{,}60\pm0{,}05)*10^{-4}$m. A mágneses indukciót a $B=\frac{\Delta\Phi}{n\overline{F}}$ összefüggésből lehet számolni, ahol n=194 a tekercs menetszáma, $\overline{F}=\frac{\pi}{3}(r_k^2+r_kr_b+r_b^2)$, r_k=4,8mm a tekercs belső, r_b=3,05mm a tekercs külső sugara. A megmért $\Delta\Phi=1{,}26*10^{-3}$Vs, $\overline{F}=4{,}92*10^{-5}m^2$ így az indukció $B=(0{,}1320\pm0{,}0005)$T.

Az előbb illesztett egyenes meredeksége a sinφ-s tag együtthatója:

$$a=-3{,}15*10^{-4}=\frac{R_H}{d}*B*I$$

Innen a Hall-állandó:

$$\mathbf{R_H=(-1{,}10\pm0{,}04)*10^{-3}}\frac{m^3}{C}$$

7. A töltéshordozó-koncentráció a most meghatározott Hall-állandóból számolható az $R_H=\frac{1}{n*q}$ képletből. Mivel a Hall-állandó negatív, a töltéshordozók elektronok (q=-e). Ebből a koncentráció:

$$\mathbf{n=(5{,}7\pm0{,}2)*10^{21}m^{-3}}$$

8. A vezetőképességet és a Hall-állandót ismerjük, ezekből számolható a Hall-mozgékonyság:

$$\mu=\sigma*R_H=2130{,}0*10^{-6}*1{,}10*10^{-3}=\mathbf{(2{,}343\pm0{,}09)*10^{-6}}\frac{Ams^2}{kg}$$