
Meissner-effektus vizsgálata

Korszerű vizsgálati módszerek

jegyzőkönyvet készítette:

Asztalos Bogdán

mérés időpontja: 2019. 05. 02.

mérőtársak: Boldizsár Bálint, Molnár Janka

mérésvezető: Dankházi Zoltán

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	2
2. Mérés leírása	2
3. Szupravezető minta vizsgálata	3
3.1. Kritikus hőmérséklet	3
3.2. Szupravezető tartalom	5

1. Bevezetés

A laborgyakorlat során a Meissner-effektust tanulmányoztuk. Ez a szupravezetőknél fellépő jelenség, melynek a lényege, hogy a kritikus pont alá hűlve, nemcsak az anyag ellenállása válik 0-vá, hanem teljesen kiszorul belőle a mágneses tér. A méréshez egy YBCO mintát használtunk, aminek a szupravezetővé való fázisátalakulását vizsgáltuk, ebből meghatározva a kritikus hőmérséklet helyét, és azt, hogy a minta anyagának mekkora hányada a tényleges szupravezető.

2. Mérés leírása

A méréshez szükséges elméletek részletes leírása megtalálható a mérésleírásban [1], az alábbiakban röviden bemutatjuk a mérés módszerét és a számoláshoz szükséges összefüggéseket.

Vegyünk egy tekercset, amin váltóáramot folytatunk át, és az ezáltal létrehozott mágneses tér egy másik, V térfogatú tekercsben, U_0 feszültséget indukál! Ha ebbe a tekercsbe belehelyezünk egy V_m térfogatú, χ szuszceptibilitású mintát, akkor az indukált feszültség megváltozik, jelöljük a feszültség megváltozását ΔU -val! Belátható, hogy ekkor fennáll az alábbi összefüggés:

$$\frac{\Delta U}{U_0} = -\chi \frac{V_m}{V} \quad (1)$$

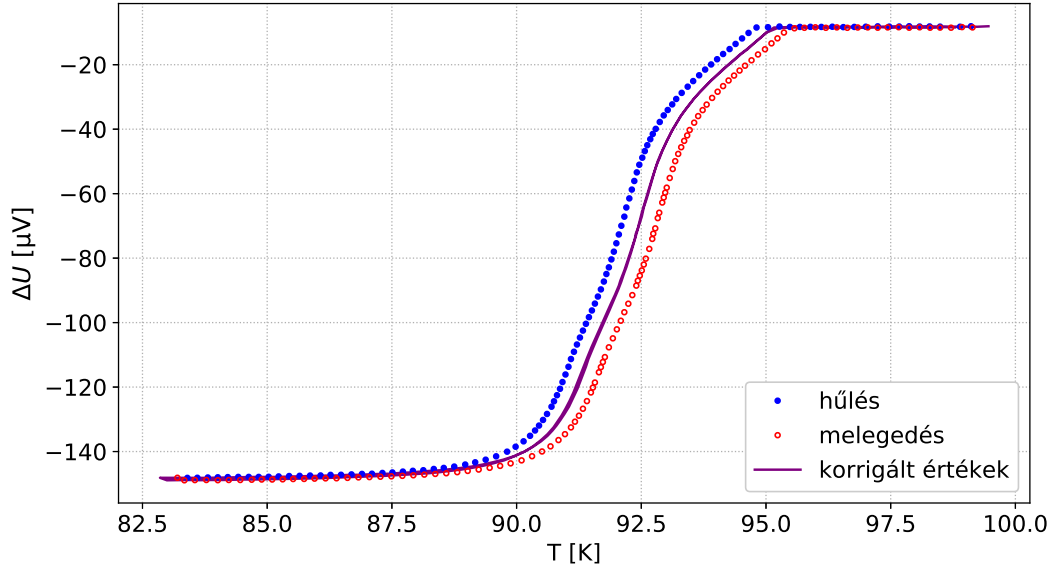
Megmérve ΔU értékét a hőmérséklet függvényében, kiszámolható a szuszceptibilitás T -függése, amiből lehet következtetni a Meissner-effektus paramétereire.

A mérést lock-in technikával végeztük, melynek lényege, hogy ha a mérendő U_{j0} nagyságú jelet egy ugyanolyan frekvenciájú U_{r0} nagyságú referencijellel összeszorozzuk, akkor kapott jel időátlaga két jel $\Delta\varphi$ fáziskülönbségétől függ az alábbi módon:

$$\overline{U_{ki}} = \frac{1}{2} U_{j0} U_{r0} \cos(\Delta\varphi) \quad (2)$$

Ezt mérjük, és mivel az (1) képletben a mért feszültségeknek csak az aránya szerepel, ezért elég az U_{ki} -ből hányadosokat képezve, kiesnek a konstans szorzók, így a helyes eredményt kapjuk.

A méréshez YBCO mintát használtunk, amelyet gyártástechnológiailag úgy állítanak elő, hogy $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ anyagot – ami nem szupravezető – oxigénnel dúsítják, aminek hatására egy része szupravezető $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ szerkezetűvé válik. A mérés során a szupravezető rész fázisátalakulását vizsgáljuk, amiből megállapítjuk a szupravezető anyag arányát a teljes anyagban.



1. ábra. A mérhető feszültség ΔU megváltozása a minta T hőmérsékletének a függvényében

3. Szupravezető minta vizsgálata

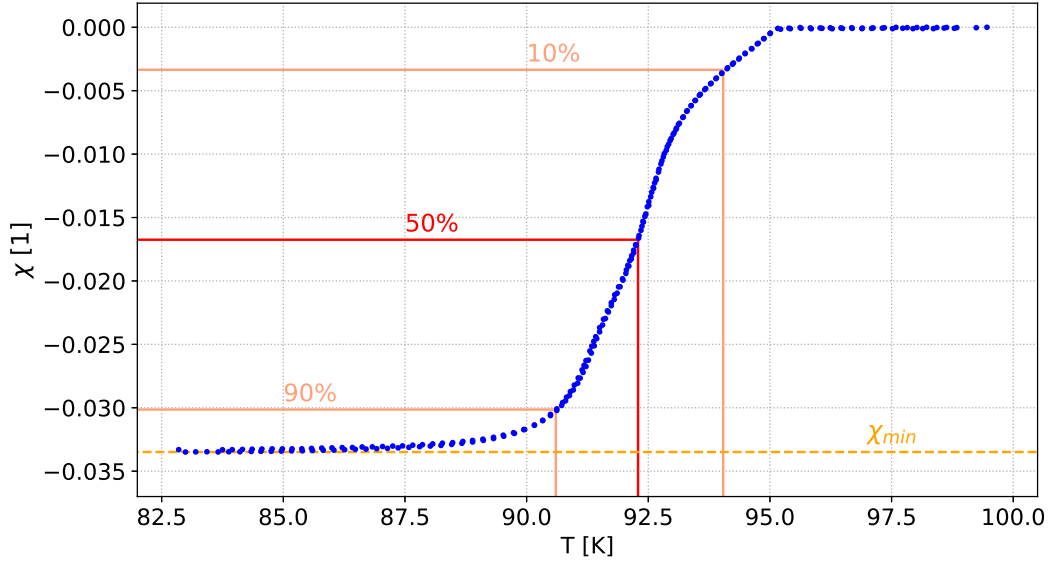
A vizsgált mintát az erre kialakított mintatartóba helyeztük (amivel a tekercs feszültségét már módosítjuk), majd az egész berendezést folyékony nitrogén környezetébe tettük, hogy hűljön. A nitrogén forráshője kb. -200°C , de a YBCO kritikus pontja -100°C felett van, így a fázisátalakulás biztos, hogy megfigyelhető. Miután a fázisátalakulás végbement, feljebb húztuk a mintatartót melegebb területre, így a fázisátalakulást ismét megfigyeltük az ellenkező irányba.

A hűlés során a tekercsen mérhető feszültséget, és a hőmérsékletét számítógéppel mértük, az adatsor a labor honlapján elérhető [2].

3.1. Kritikus hőmérséklet

A mérés során a mérhető U_{ki} feszültség eltérését mértük a minta nélküli értékéhez képest, tehát az adatfájl a ΔU értékeket tartalmazza. Mivel a méréshatár $300 \mu\text{V}$ volt, ezért az adatfájl adatait ennyivel kell szorozni. Ezt ábrázoltuk a hőmérséklet függvényében az 1. ábrán. Amint látható, hűlés és a melegedés között mérhető feszültség között különbség van, az anyag a véges hővezetése miatt hiszterézisjelenséget mutat. Ezt úgy korrigáltuk, hogy mindkét adatsort ugyanolyan nagysággal eltoltuk a vízszintes tengely mentén egymás felé. Az így kapott korrigált adatsort szintén az 1. ábrán ábrázoltuk.

Az (1) képlet alapján, ebből a korrigált adatsorból kiszámítható a $\chi(T)$ függvény, de néhány technikai dolgot itt is el kell végezni. Először is, magas hőmérsékleten a vizsgált minta szuszceptibilitása közel 0, így vizsgált adatsor úgy kell módosítani, hogy magas hőmérsékletek esetén $\Delta U \rightarrow 0$ legyen. Ezt úgy oldottam meg, hogy az adatsorhoz hozzá-



2. ábra. A minta szuszeptibilitásának hőmérsékletfüggése

adtam adott feszültségértéket ennek megfelelően.

Ezután az (1) képletben szereplő konstansokat kell meghatározni. A tekercs térfogata, és a minta térfogata meg volt adva [3], ezek $V = 300 \text{ mm}^3$ és $V_m = 22 \text{ mm}^3$ voltak. U_0 értékét úgy tudjuk meghatározni, hogy még a minta behelyezése előtt megmértük a feszültségértéket. Mivel azonban a (2) képletben szereplő koszinusz függvény offsetje nem biztos, hogy a 0-n áll, meg kell mérni a feszültségértéket $\Delta\varphi = 0$ és $\Delta\varphi = \pi$ fáziskülönbség esetén is. A két értékről tudjuk, hogy $U_{1,2} = U_{\text{offset}} \pm U_0$, így belőlük kiszámítható a valódi U_0 .

$$U_1 = (62,74 \pm 0,02) \text{ mV} \quad U_2 = (-51,96 \pm 0,02) \text{ mV} \quad \implies \quad U_0 = (-57,35 \pm 0,04) \text{ mV}$$

Így már átszámítható az adatsor a χ értékekké. Ennek a hőmérsékletfüggését ábrázolja a 2. ábra. Az adatsor alapján, 86 K alatt már jó közelítéssel nem változott a szuszeptibilitás értéke, így ennek átlagát tekintettük az állandósult értéknek: $\chi_{\min} = -0,03349$. Kiszámoltuk ennek a 10, 50 és 90 százalékát, és megkerestük az ezekhez tartozó hőmérséklet értékeket. Ezek az alábbiak:

$$\chi_{10\%} = 0,00335 \quad \chi_{50\%} = 0,01675 \quad \chi_{90\%} = 0,03014 \quad (3)$$

$$T_{10\%} = 94,09 \text{ K} \quad T_{50\%} = 92,29 \text{ K} \quad T_{90\%} = 90,60 \text{ K} \quad (4)$$

A kritikus hőmérsékletet tekintjük úgy, mint azt a helyet, ahol a szuszeptibilitás a teljes szuszeptibilitás fele, a fázisátalakulás szélességét pedig vegyük $T_{10\%}$ és $T_{90\%}$ különbségének! Ez alapján

$$T_{\text{kritikus}} = 92,29 \text{ K} \quad T_{\text{szélesség}} = 3,49 \text{ K} \quad (5)$$

3.2. Szupravezető tartalom

A 2. ábrán látható adatsoron is látszik, hogy a kritikus hőmérséklet alatt a minta szuszceptibilitása stabilizálódott. A kialakult szuszceptibilitás értéke $\chi_{\min} = -0,03349$.

Egy szupravezetőben a Meissner-effektus miatt a mágneses tér értéke mindenképpen 0. Ez azt jelenti, hogy a szupravezetők ideális diamágnesként viselkednek, vagyis bennük a szuszceptibilitás értéke $\chi = -1$. A mi általunk vizsgált minta szuszceptibilitása ennél nagyobb, tehát a tér nem szorult ki belőle teljesen, mert a mintának nem a teljes része szupravezető. Egy átlagos nem ferromágneses anyag szuszceptibilitása 10^{-4} körül van, vagyis a mérésben előforduló értékek mellett elhanyagolható. Tegyük fel, hogy e két pont között a szuszceptibilitás lineárisan változik a szupravezető anyag jelenlétével! Ez alapján a mintában a szupravezető tartalma $x = 3,35\%$.

Hivatkozások

- [1] Dankházi Zoltán. *Meissner-effektus vizsgálata* Havancsák Károly. *Fizikai mérések* 2013. pp. 159-181 [link](#)
- [2] A mért adatsor [link](#)
- [3] A mérési elrendezéshez tartozó információk [link](#)