

Električni transport u slitinama visoke entropije

Matej Vilić

Mentor: doc.dr.sc. Emil Tafra

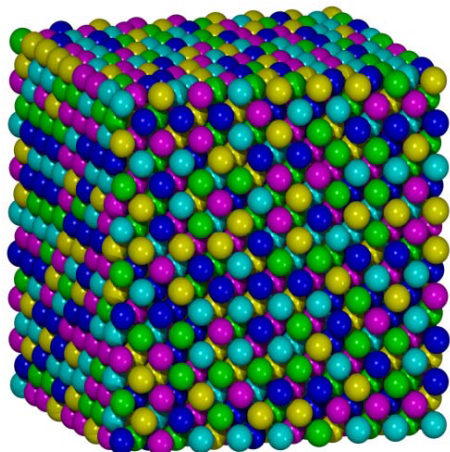
Fizički odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Bijenička 32, Zagreb

(Dated: 20. siječnja 2019.)

U ovom seminaru proučavana su svojstva električnog transporta slitine visoke entropije $(\text{TiZrNbCu})_{(1-x)}\text{Ni}_x$. Opisan je eksperimentalni postav, metode mjerenja i konačno rezultati za otpornost i Hallov koeficijent za dvije takve slitine, $x=0.20$ i $x=0.35$, i proučena je ovisnost Hallovog koeficijenta o udjelu nikla uzevši u obzir od ranije dostupne podatke za $x=0.125$ i $x=0.50$.

I. UVOD

Većina današnje tehnologije je izvedena na bazi metalnih slitina koje su ostale praktično nepromjenjene kroz tisuće godina. I pošto su te slitine uglavnom baza jednog elementa sa drugim primjesama, svojstva koja možemo dobiti su relativno ograničena. Jedan put prema inovaciji je došao u prvi plan početkom tisućljeća u obliku slitina visoke entropije, kada su Yeh i Cantor sintetizirali Fe-CrMnNiCo, gdje je stabilnost čvrstog stanja objašnjena visokom entropijom smjese po čemu je kategorija materijala dobila i ime. Slika 1.



Slika 1. Prikaz atomske strukture CoCrFeMnNi

I dok je već stotine različitih slitina sintetizirano, većina radova se bavi proučavanjem njihovih faza, strukture i mehaničkih svojstava. A električna svojstva su ostala zanemarena unatoč neiscrpnom potencijalu različitih funkcija. Slitina $(\text{TiZrNbCu})_{(1-x)}\text{Ni}_x$ koju proučavamo je pripremljena taljenjem iznimno čistih sastavnih elemenata u atmosferi argona. Nakon nekoliko stadija taljenja slitina je špricana na rotirajući titanski cilindar gdje se formirala traka koju ćemo koristiti za mjerenja. Uzorci su nakon sinteze proučavani skenirajućim elektronskim mikroskopom, diferencijalnom skenirajućom kalorimetrijom i difrakcijom alfa čestica. Potvrđeno je da su potpuno amorfni i homogeni.

Kada na vodič kojim teče struja djeluje magnetsko polje nosioci naboja osjećaju Lorentzovu silu. Mag-

netska komponenta te sile je okomita na tok struje i inducira električno polje. To je Hallov efekt, a konstantu proporcionalnosti između jakosti električnog polja, te struje i magnetskog polja nazivamo Hallova konstanta (R_H), formula (3). Mjerenjem Hallovog koeficijenta možemo izravno izmjeriti predznak većinskih nosioca naboja. Općenito materijali mogu imati puno različitih vrsta nosioca naboja, pa se gustoća nosioca naboja može izračunati samo uz pretpostavku da je jedna vrsta nosioca puno zastupljenija od ostalih.

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

$$\vec{E}_H = \vec{v} \times \vec{B} \quad (2)$$

$$\vec{E}_H = R_H \vec{j} \times \vec{B} \quad (3)$$

$$R_H = \frac{E_H}{j_x B_z} = \frac{V_H t}{IB} = \frac{-1}{nq} = \frac{R_{yx} d}{B_z} \quad (4)$$

Upravo mjerenjem otpora R_{yx} , magnetskog polja B i debljine uzorka d ćemo pronaći Hallovu konstantu.

II. EKSPERIMENTALNA METODA

II.1. Uzorak

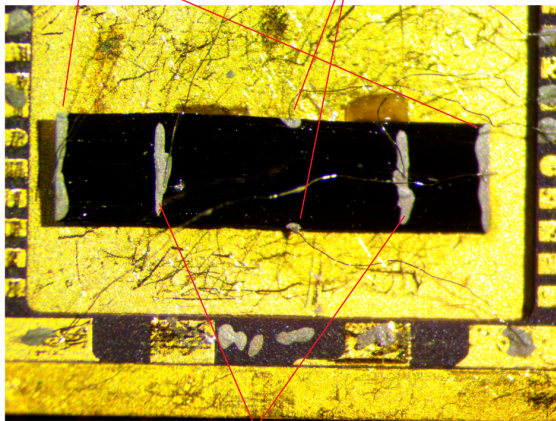
Mjerenja su vršena na dva uzorka $(\text{TiZrNbCu})_{(1-x)}\text{Ni}_x$ za $x=0.2$ i $x=0.35$. Uzorci su bili pravokutne trake materijala sa jednom dimenzijom (debljinom d , z -os) puno manjom od duljine i širine. Otpornost im je prvo mjerena na sobnoj temperaturi za traku duljine 3-4 cm, tako što je metodom četiri kontakta izmjeren otpor materijala, za daljnja mjerenja na nižim temperaturama u kriostatu odrezan je kraći komad trake od pola centimetra. Iz poznate duljine, širine, mase i gustoće uzoraka je određena debljina kriostatskih uzoraka:

$$d((\text{TiZrNbCu})_{0.8}\text{Ni}_{0.20}) = (28 \pm 4)\mu\text{m} \quad (5)$$

$$d((\text{TiZrNbCu})_{0.65}\text{Ni}_{0.35}) = (19 \pm 2)\mu\text{m} \quad (6)$$

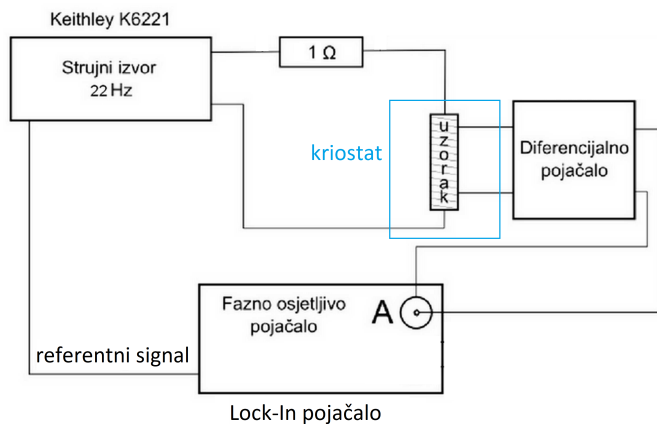
Kontakti su postavljeni na uzorak pomoću srebrne paste, a na Slici 2. se vidi raspored kontakata za struju, mjerenje omskog otpora i mjerenje Hallovog otpora. 2. Metoda četiri kontakta se koristi kako bi se izbjeglo dodavanje kontaktnog otpora na mjereni rezultat koji čini metodu dva kontakta nepreciznom. Mjerenje se vrši izmjeničnom strujom kako bi se izbjegli mogući parazitski naponi poput termoelektričnog ili nekog drugog vanjskog napona.

Strujni za puštanje struje kroz uzorak Kontakti za mjerenje Hallovog napona

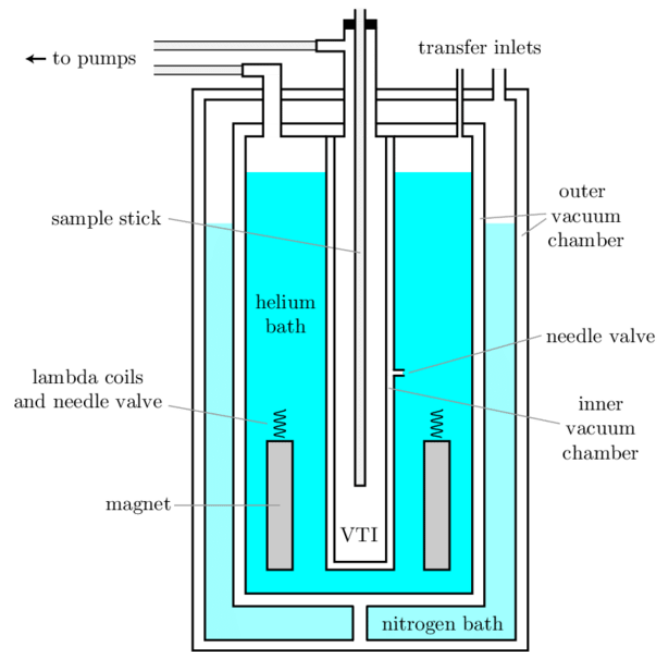


Kontakti za mjerenja pada napona na uzorku

Slika 2. Uzorak sa primjenjenom srebrnom pastom za kontakte, magnetsko polje je okomito na ravninu slike/uzorka.



Slika 3. Shematski prikaz mjernog sustava



Slika 4. Shema kriostatske komore korištene u mjerenju

II.2. Kriostat

Sa postavljenim kontaktima uzorak se stavlja na nosač za kriostatsku komoru. Nosač se sastoji od dvije dugačke cijevi koje vode žice potrebne za mjerenje, senzore i regulaciju temperature te na kraju imaju bakreni cilindar za uzorak. Bakar se koristi zbog vrlo visoke toplinske vodljivosti kako bi okolina uzorka bila što homogenije temperature tijekom hlađenja i grijanja kada materijali mogu lako razviti pukotine. Sam kriostat se sastoji od tri posude koje su međusobno i od vanjskog prostora izolirane dvostrukom stijenkom iz koje je evakuirano što više zraka. U vanjskoj posudi je tekući dušik, u srednjoj posudi je tekući helij, a u unutarnjoj posudi se nalazi nosač sa uzorkom. Vanjska kupka tekućeg dušika služi samo kako bi se smanjili gubici tekućeg helija uslijed prijenosa topline iz okoline, dušik je lako dostupan i jeftiniji od helija. Središnja posuda je evakuirana, te se uzorak može grijati propuštajući struju kroz žicu omotanu oko bakrenog cilindra nosača, ili se može hladiti ekspanzijom helija propuštenog kroz igličasti ventil između posuda. U posudi s tekućim helijem je uronjena supravodljiva magnetska zavojnica s pomoću koje se stvara magnetsko polje. Slika 4.

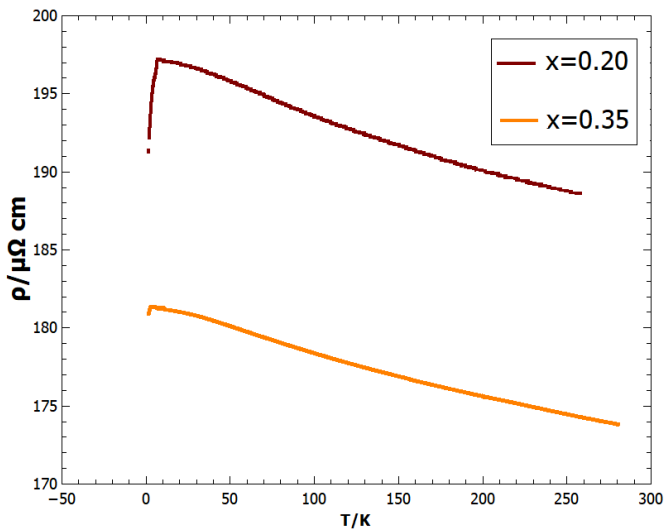
II.3. Postupak mjerenja

Pad napona sa uzorka se žicama iz kriostata dovodi na diferencijalno pretpojačalo, a potom na lock-in pojačalo. Za mjerenje se koristi izmjenična struja ($f = 22 \text{ Hz}$) jer se tako vrlo lagano eliminira šum uz pomoć fazno osjet-

lživog (lock-in) pojačala, koje pojačava samo signal čija je frekvencija jednaka frekvenciji referentnog izvora. Diferencijalno pojačalo osim za pojačavanje signala služi i za izolaciju strujnog kruga s uzorkom od smetnji koje bi mogle doći od mjernih instrumenata. Slika 3.

III. REZULTATI I DISKUSIJA

Podaci za otpornost uzoraka $(\text{TiZrNbCu})_{0.80}\text{Ni}_{0.20}$ i $(\text{TiZrNbCu})_{0.65}\text{Ni}_{0.35}$ se mogu vidjeti na Slika 5. u području od 1.3 K do sobne temperature.



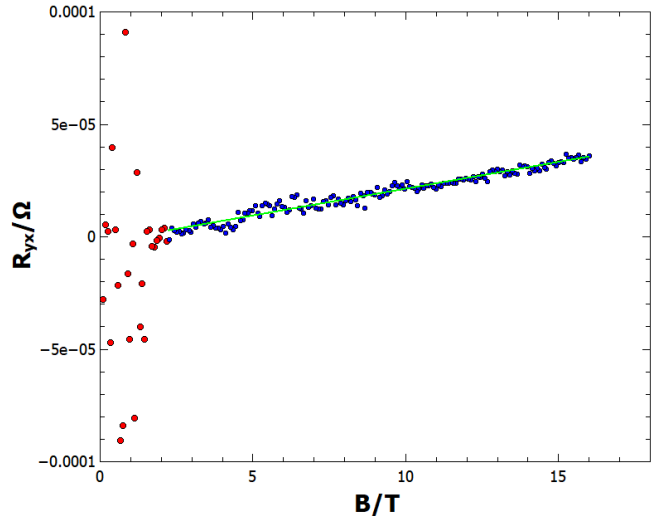
Slika 5. Izračunate otpornosti u ovisnosti o temperaturi za oba uzorka

Rezultati dobiveni mjerenjem Hallovog otpora su prikazani na Slici 6. i 7. Prvo vidimo veliko odstupanje od očekivanog pravca za Hallov efekt zbog šuma. Obradom mjerenih podataka za koje je magnetskog polja veće od 2 tesla se dobivaju sljedeće vrijednosti za Hallovu konstantu:

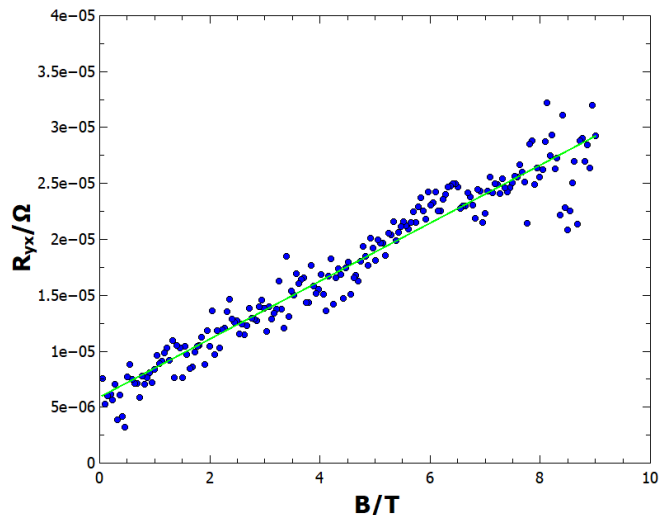
$$R_H(x = 0.20) = (6.7 \pm 0.1)10^{-5}\text{cm}^3\text{C}^{-1} \quad (7)$$

$$R_H(x = 0.35) = (4.9 \pm 0.1)10^{-5}\text{cm}^3\text{C}^{-1} \quad (8)$$

Konačno možemo pogledati kako ovisi Hallov otpor o udjelu nikla u slitini, u tu svrhu koristim podatke izmjerene ranije od strane istraživačke skupine za $x=0.125$ i $x=0.5$. Na Slici 8. možemo vidjeti kako Hallova konstanta pada sa dodavanjem nikla.



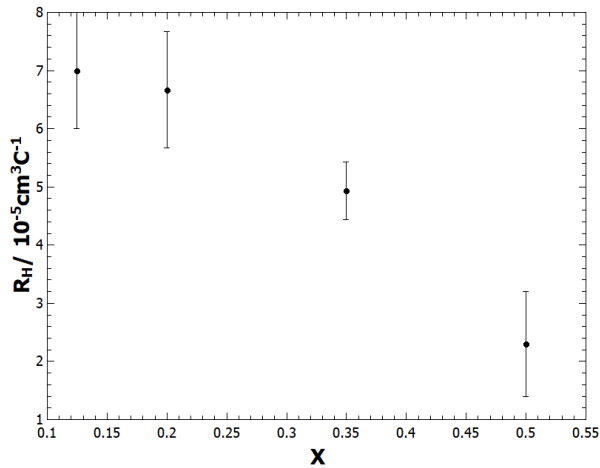
Slika 6. Ovisnost Hallovog otpora o magnetskom polju uzorka $(\text{TiZrNbCu})_{0.80}\text{Ni}_{0.20}$, samo mjerenja označena plavo su uzeta u obzir za računanje Hallove konstante



Slika 7. Ovisnost Hallovog otpora o magnetskom polju uzorka $(\text{TiZrNbCu})_{0.65}\text{Ni}_{0.35}$

IV. ZAKLJUČAK

Izmjerali smo da otpornost naglo pada ispod 7.3 K, vjerojatno uslijed činjenice da neki konstituenti smjese postaju supravodljivi, implicirajući mogućnost potpune supravodljivosti na još nižim temperaturama. Zbog različitih sastavnih elemenata pad u otpornosti nije oštar kao kod naprimjer supravodljivosti žive jer različiti konstituenti mogu imati različitu kritičnu temperaturu T_C pri kojoj se javlja supravodljivost, i tako proširiti prijelaz za supravodljivost. Mjerenjem Hallovog otpora, i



Slika 8. Antisimetrična komponenta mjerenja uzorka $(\text{TiZrNbCu})_{0.80}\text{Ni}_{0.20}$, samo mjerenja iznad 2 tesla su uzeta u obzir za računanje Hallove konstante

njegovim predznakom možemo zaključiti kako su većinski nosioci naboja šupljine. Dok uspoređujući starija mjerenja za $x=0.125$ i $x=0.50$ vidimo kako se Hallova konstanta smanjuje dodavanjem nikla u slitinu. Taj rezultat se vjerojatno javlja jer sa većim udjelom nikla se povećava broj vodljivig elektrona, koji kao negativni nosioci naboja imaju suprotan efekt od prisutnih pozitivnih nosioca naboja šupljina i poništavaju Hallov efekt.

ZAHVALE

Zahvaljujem se doc. dr. E. Tafri i asistentu M. Kuveždiću što su me strpljivo uveli u fiziku niskih temperaturi i pomogli pri sastavljanju ovog seminara.

¹ Edward Mills Purcell, Electricity and Magnetism, Berkeley Physics Course, ISBN 0070049084

² Ashcroft, Neil W.; Mermin, N. David (1976). Solid State Physics. Brooks Cole. ISBN 0030839939