

Hallov efekt u slitinama visoke entropije

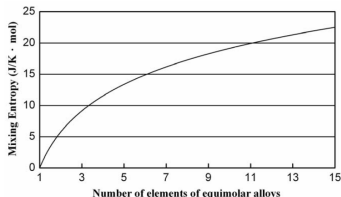
Filip Filipović, F-4148

PMF, Fizički odsjek, Bijenička c. 32, 10000 Zagreb

Datum: 25.01.2018.

Uvod

- ▶ slitine visoke entropije (High Entropy Alloy-HEA) \Rightarrow 5 – 13 elemenata, koncentracija 5 – 35%
- ▶ pri konstantnom tlaku i temperaturi sustav minimizira Gibbsovu slobodnu energiju: $G(p, T) = H - TS$
- ▶ za mješavine: $\Delta G_{mix} = \Delta H_{mix} - T\Delta S_{mix}$
- ▶ konfiguracijska entropija: $\Delta S_{mix} = -R \sum_{i=1}^n c_i \ln(c_i)$
- ▶ za ekvatomsku slitinu: $\Delta S_{mix} = R \ln(n)$
- ▶ HEAs: $\Delta S_{mix} > 1.5R$ (ili $1.61R$)



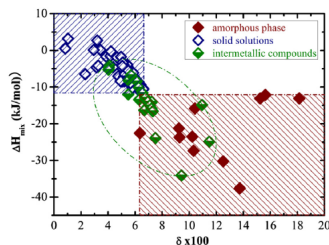
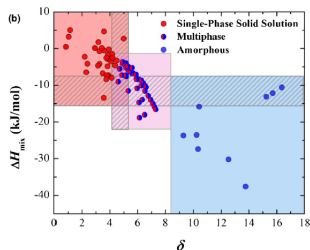
Uvod

- ▶ mogućnost formiranja čvrstih otopina, intermetalnih spojeva i amorfne faze

- ▶ entalpija miješanja:
$$\Delta H_{mix} = \sum_{i=1, j>i}^n 4 \Delta H_{AB}^{mix} c_i c_j$$

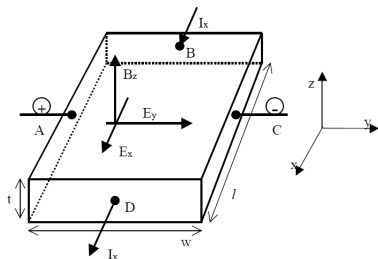
- ▶ relativna razlika veličina atoma u slitini:

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i \left(1 - r_i / \sum_{j=1}^n c_j r_j\right)^2}$$



Uvod

- ▶ za predviđanje svojstava - *RoM* (rule of mixtures)
- ▶ neka dobra svojstva u *HE* slitinama: visoka tvrdoća (na višim temperaturama), otpornost na koroziju i lomljenje, supravodljivost
- ▶ Hallov efekt: stvaranje razlike potencijala pod utjecajem magnetskog polja okomitog na tok struje
- ▶ sila na naboj: $\vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = q \left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B} \right) - \frac{m}{\tau} \vec{v}$



Uvod

- ▶ Hallovo polje: $\vec{E}_H = R_H \vec{j} \times \vec{B}$
- ▶ R_H -Hallova konstanta, u stacionarnom slučaju: $\frac{d\vec{v}}{dt} = 0$

$$j_x = \sigma_0 E_x$$

$$j_y = \frac{\sigma_0}{1+(\omega_c\tau)^2} (-\omega_c\tau E_x + E_y) = 0$$

$$j_z = 0$$

- ▶ $\omega_c = \frac{qB}{m}$, $\sigma_0 = \frac{q^2 n \tau}{m}$
- ▶ $R_H = \frac{E_H}{j_x B} = \frac{1}{qn}$
- ▶ u slučaju dvije vrste nosioca naboja: $n_{e,h}$, $m_{e,h}$, $\tau_{e,h}$

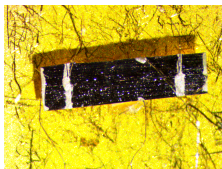
Uvod

- ▶ ukupna struja u y i z smjeru iščezava
- ▶ u granici malih magnetskih polja i/ili relaksacijskih vremena: $R_H = \frac{n_h \mu_h^2 - n_e \mu_e^2}{e(n_e \mu_e + n_h \mu_h)^2}$
- ▶ mobilnost: $\mu_{e,h} = \frac{e\tau_{e,h}}{m_{e,h}}$
- ▶ Hallov otpor: $R_{xy} = \frac{V_H}{I_x} = \frac{R_H}{t} B$
- ▶ magneto otpor je simetričan, a Hallov otpor antisimetričan s obzirom na magnetsko polje B

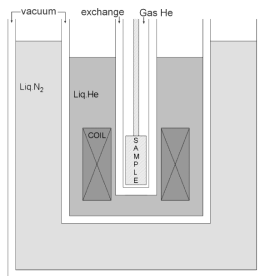
$$\Rightarrow V = \frac{V_+ + V_-}{2} \quad , \quad V_H = \frac{V_{H+} - V_{H-}}{2}$$

Eksperimentalni postav

- ▶ uzorci $(TiZrNbCu)_{0.875}Ni_{0.125}$ ($a - HEA1$) i $(TiZrNbCu)_{0.5}Ni_{0.5}$ ($a - HEA2$)
- ▶ izrada: kapanje taljevine na rotirajući kotač, brzo hlađenje za dobivanje amorfne faze
- ▶ montiranje uzorka, ljepljenje i provjera kontakata, postavljanje na nosač i spuštanje u kriostat
- ▶ uzorak oklopljen bakrenim cilindrom - mogućnost grijanja strujom
- ▶ u cilindru se nalazi i Cernox termometar - mala promjena otpora s magnetskim poljem



Eksperimentalni postav

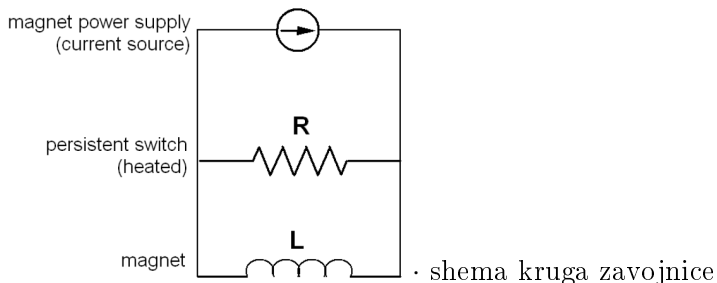


- ▶ *VTI* kontrolirano uzima tekući helij i helijev plin i ubrizgava ga u posudu s uzorkom
- ▶ ekspanzija helija - snižavanje temperature
- ▶ dodatni grijač i termometar pokraj *VTI*
- ▶ reguliranje temperature na računalu - *PID* vrijednosti

Eksperimentalni postav

- ▶ strujni krug: izvor izmjenične struje frekvencije $f = 22\text{Hz}$, serijski spojeni uzorak i otpornik $R = 1\Omega$
- ▶ signali sa uzorka odlaze u transformator - pojačanje za faktor 100
- ▶ mjerenje signala *lock – in* pojačalom
- ▶ *lock – in* - mjerenje signala točno određene frekvencije, referentni signal iz izvora
- ▶ princip rada - ortogonalnost sinusoidalnih funkcija
- ▶ mjerenje X komponente (u fazi) i Y komponente (pomak $\frac{\pi}{2}$)
- ▶ potrebno podešavanje faze na otporniku $R = 1\Omega$

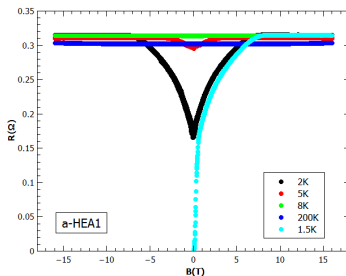
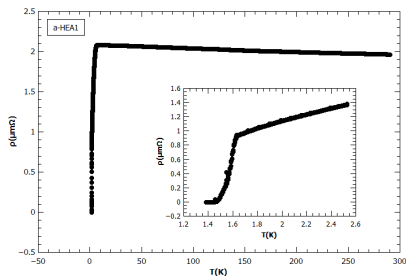
Eksperimentalni postav



- ▶ za eliminaciju magnetootpora koristi se kompenzacija
- ▶ kompenzacija - signal sa uzorka i otpornika odlazi u pojačala, namjesti se razlika signala tako da je Hallov napon pri $B = 0$ jednak 0

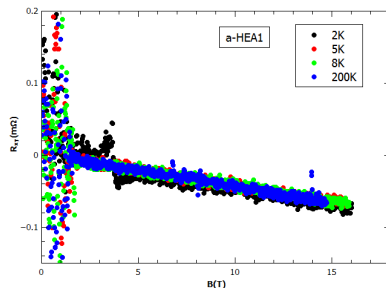
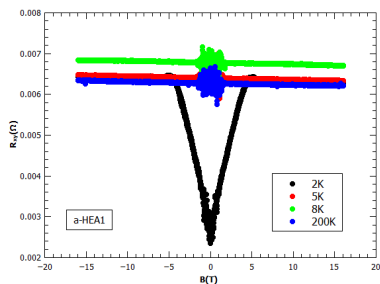
Uzorak a-HEA1

- ▶ gustoća iz *RoM* – a: $\frac{1}{D} = \sum_i \frac{w_i}{D_i} \Rightarrow D = 7,04 \text{ g/cm}^3$
- ▶ opadanje otpornosti s temperaturom
- ▶ supravodljivi prijelaz na $T_C \approx 1,55 \text{ K}$



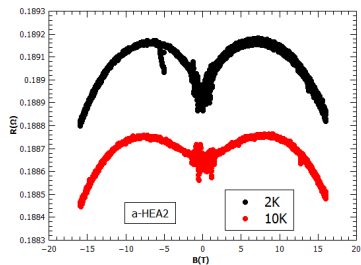
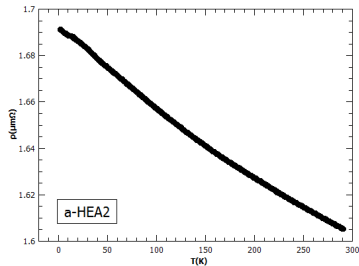
Uzorak a-HEA1

- ▶ Hallova konstanta: $R_H = (8,3 \pm 0,9) \cdot 10^{-11} \frac{\Omega m}{T}$
- ▶ ne mijenja se s temperaturom
- ▶ aprox. jedne vrste nosioca naboja: $p = 7,51 \cdot 10^{28} m^{-3}$



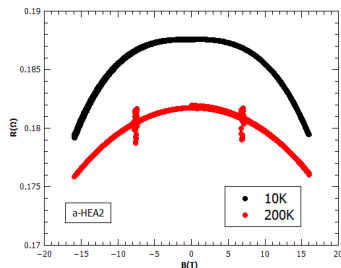
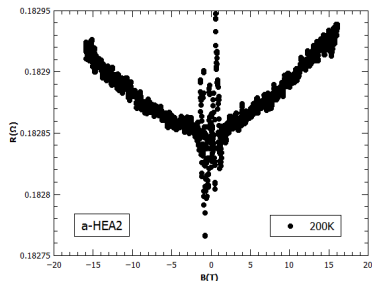
Uzorak a-HEA2

- ▶ gustoća iz *RoM* – a: $D = 7,70\text{g}/\text{cm}^3$
- ▶ ponovo pad otpornosti s temperaturom
- ▶ nema supravodljivi prijelaz na ovim temperaturama



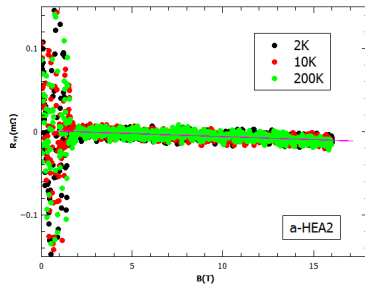
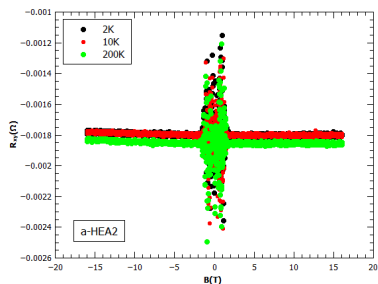
Uzorak a-HEA2

- ▶ promjena izgleda magnetootpora s temperaturom
- ▶ promjena izgleda magnetootpora s frekvencijom \Rightarrow postojanje kapaciteta ili induktiviteta u krugu



Uzorak a-HEA2

- ▶ Hallova konstanta: $R_H = (2,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-11} \frac{\Omega m}{T}$
- ▶ ne mijenja se s temperaturom
- ▶ aprox. jedne vrste nosioca naboja: $p = 2,72 \cdot 10^{29} m^{-3}$



Literatura

- [1] K. Biljaković et al.: Electronic structure and properties of $(TiZrNbCu)_{1-x}Ni_x$ high entropy amorphous alloys
- [2] Y.F. Ye, Q. Wang, J. Lu, C.T. Liu and Y. Yang:
High-entropy alloy: challenges and prospects
- [3] S. Guo, Q. Hu, C. Ng, C.T. Liu: More than entropy in high-entropy alloys: Forming solid solutions or amorphous phase
- [4] Jien-Wei Yeh: Alloy design strategies and future trends in high-entropy alloys
- [5] Amir Hamzić: Niskotemperaturna fizika i supravodljivost