

Transportna svojstva supravodiča MgB_2 dopiranog magnetskim nanočesticama

Nikolina Novosel^{1,*}, Damir Pajić¹, Mislav Mustapić¹, Andrey Shcherbakov², Željko Skoko¹, Emil Babić¹, Joseph Horvat², Krešo Zadro¹

FPMF
1Fizički odsjek, PMF, Sveučilište u Zagrebu
nnovosel@phy.hr

ISEM, University of Wollongong, Wollongong, Australija



Projekt "Enhancement of electromagnetic properties of MgB_2 superconductor by magnetic nanoparticle doping" (1B 01/07) financira Unity Through Knowledge Fund Republike Hrvatske.

1. Uvod

Supravodič **magnezij diborid MgB_2** ima temperaturu prijelaza $T_c \approx 39$ K [1] što omogućava veliku tehnološku primjenu (npr. za magnete za MRI). Pored poželjnih svojstava (kao što su relativno visok T_c , dobra povezanost zrna, mala anizotropija itd.), MgB_2 ima relativno malo gornje kritično polje $B_{c2} \sim 18$ T, a gustoća kritične struje J_c brzo se smanjuje s porastom magnetskog polja [2]. Dopiranjem MgB_2 [3] nastoji se povećati zapinjanje magnetskih vrtloga, a time i ireverzibilno polje B_{irr} i gustoća kritične struje u magnetskom polju $J_c(B)$ što je nužno za tehnološku primjenu [4]. Nedavno je predloženo **dopiranje magnetskim nanočesticama** čime se nastoji ostvariti dodatno zapinjanje vrtloga pomoću magnetskog međudjelovanja između magnetskih nanočestica i vrtloga [5].

U ovom radu proučavali smo elektromagnetska svojstva MgB_2 dopiranog magnetskim Fe_2B i Fe_2B oklopljenim SiO_2 nanočesticama.

2. Uzorci

MgB₂/Fe žice pripremljene su *in-situ powder-in-tube* metodom.

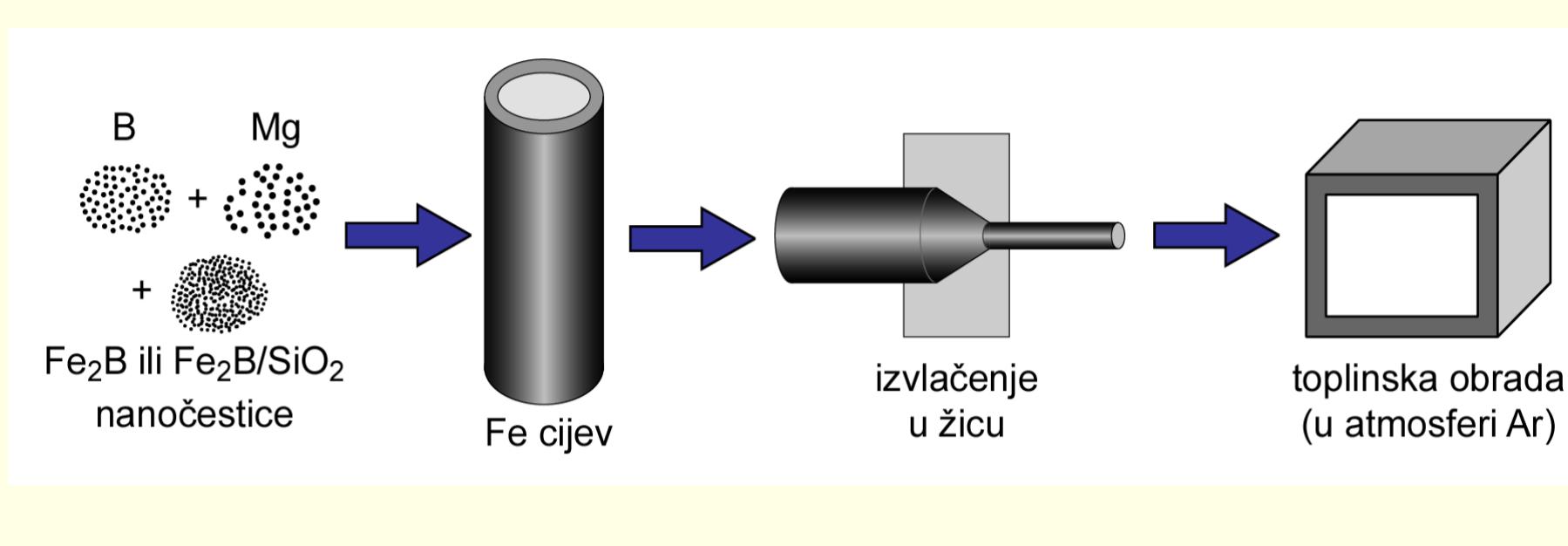
Dopiranje magnetskim česticama:

→ Fe_2B ($d = 80$ nm)

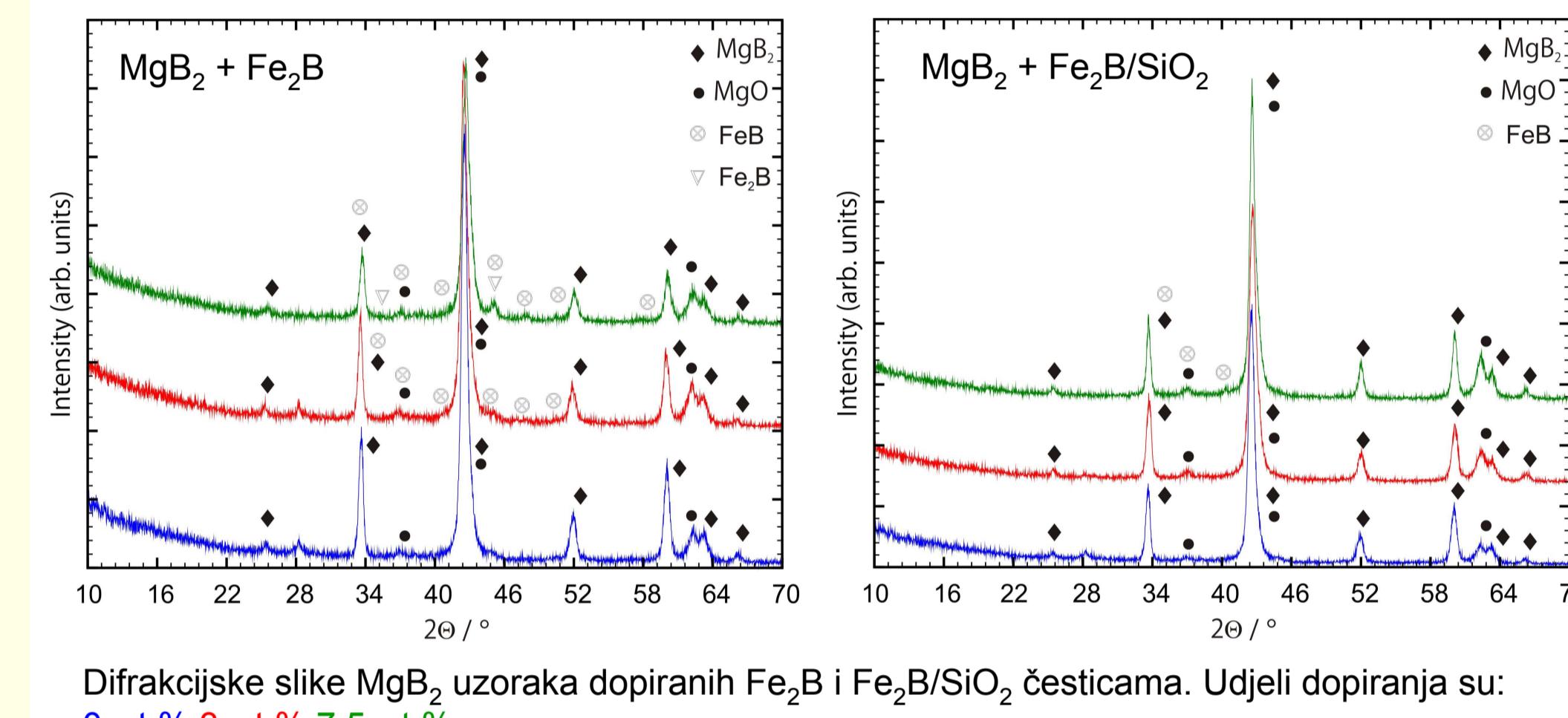
→ Fe_2B oklopljene SiO_2 ($d = 150$ nm)

Udjeli dopiranja: 0, 3, 7.5, 12 wt.%

Temperatura toplinske obrade: 750°C



4. Rentgenska difracija



Difrakcijske slike MgB_2 uzorka dopiranih Fe_2B i Fe_2B/SiO_2 česticama. Udjeli dopiranja su:

0 wt.% 3 wt.% 7.5 wt.%

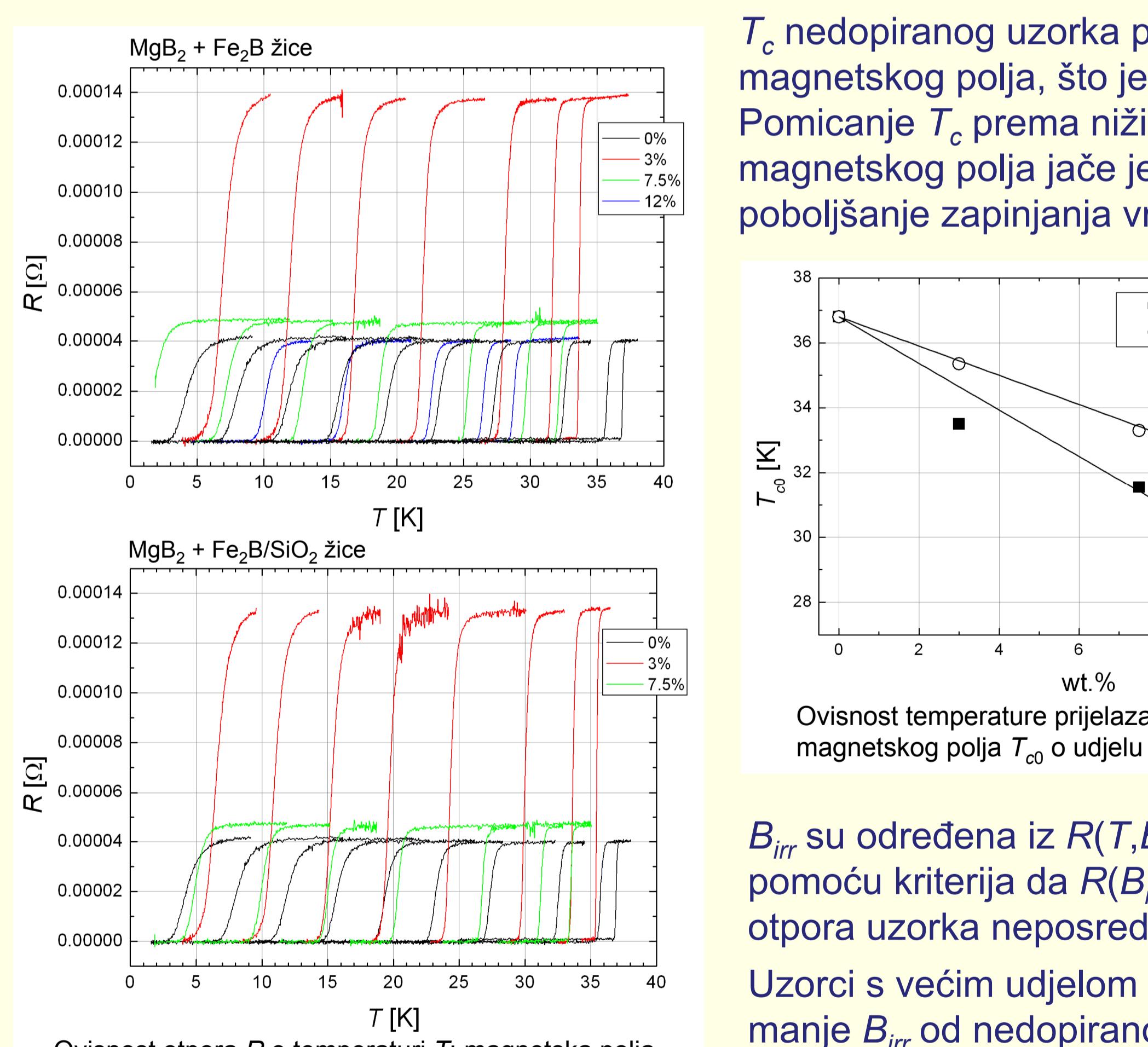
U svim uzorcima dominira MgB_2 faza sa približno jednakom veličinom kristalita ~ 20 nm. Pored MgB_2 faze u svim uzorcima prisutna je i MgO faza.

U uzorcima dopiranim Fe_2B česticama opaženo je prisustvo kristaliničnih faza FeB i Fe_2B .

U uzorcima dopiranim Fe_2B/SiO_2 česticama Fe_2B/SiO_2 čestice nisu uočene jer su amorfne. U 7.5 wt.% dopiranom uzorku pronađena je FeB faza, dok udio MgO faze raste s povećanjem dopiranja, što upućuje da je prilikom toplinske obrade uzorka u određenoj mjeri došlo do reakcije između Mg, B i nanočestica.

5. Magnetootpori $R(T,B)$ i linije ireverzibilnosti $B_{irr}(T)$

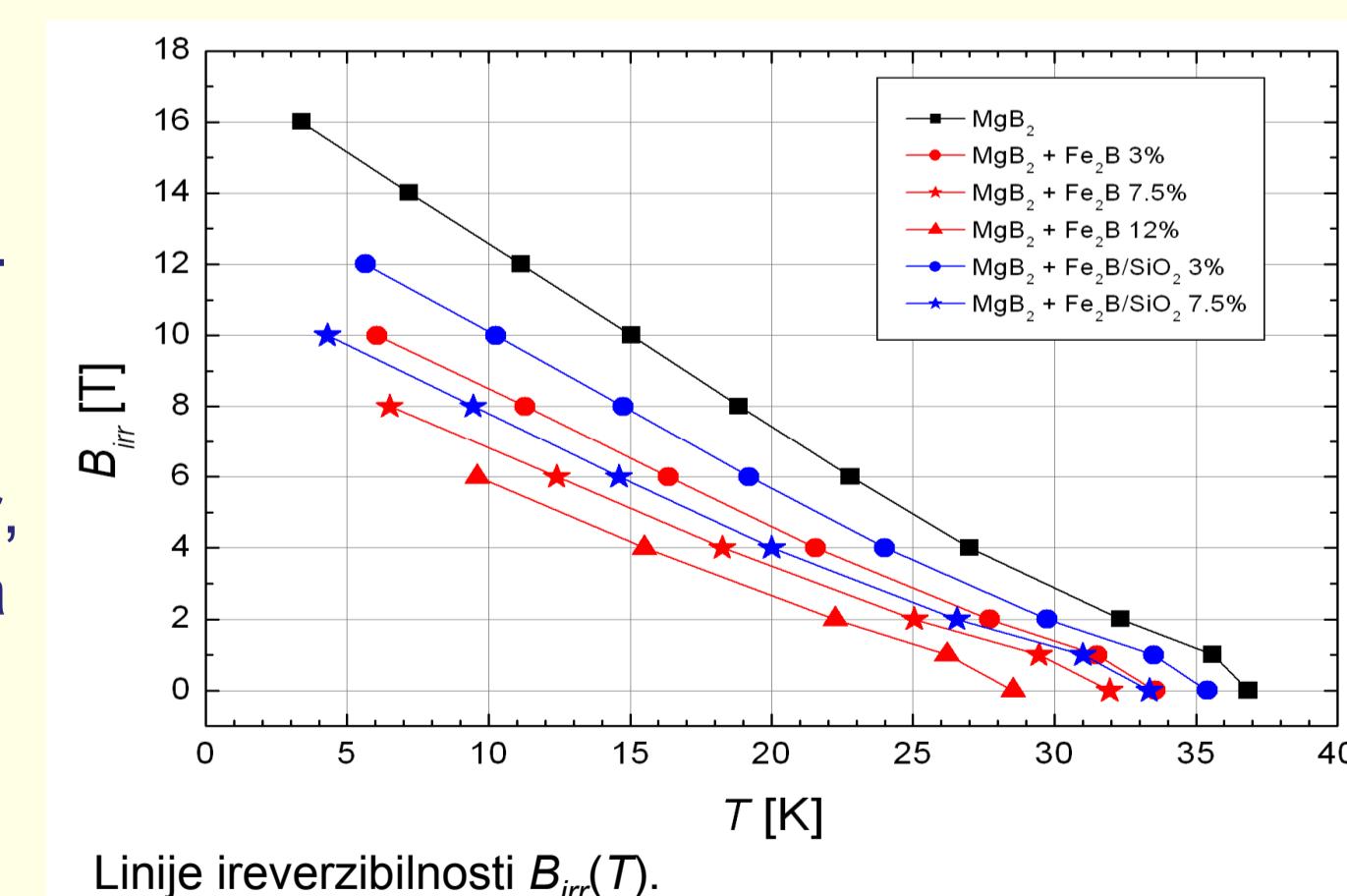
T_c nedopiranog uzorka pomicće se prema nižim temperaturama s povećanjem magnetskog polja, što je posljedica slabog zapinjanja vrtloga u čistom MgB_2 . Pomicanje T_c prema nižim temperaturama i proširenje prijelaza s povećanjem magnetskog polja jače je izraženo kod dopiranih uzorka, što ukazuje da poboljšanje zapinjanja vrtloga u dopiranim uzorcima nije ostvareno.



B_{irr} su određena iz $R(T,B)$ mjeranja pomoću kriterija da $R(B_{irr}, T_{irr})$ iznosi 10% otpora uzorka neposredno iznad prijelaza. Uzorci s većim udjelom nanočestica imaju manje B_{irr} od nedopiranog uzorka u cijelom temperaturnom području. Također, B_{irr} dopiranih uzorka sporije se povećava sa sniženjem temperature u odnosu na nedopirani uzorak iz čega možemo zaključiti da zapinjanje vrtloga nije poboljšano u dopiranim uzorcima.

Dopiranje	Smanjenje T_{c0}
Fe_2B	0.72 K/wt.%
Fe_2B/SiO_2	0.45 K/wt.%

T_{c0} se brzo smanjuje s povećanjem udjela nanočestica. Za usporedbu smanjenje T_{c0} u MgB_2 dopiranom SiC je 0.2 K/wt.% [6]. U dopiranim uzorcima magnetski moment čestica uzrokovao je magnetsko rasparivanje Cooperovih parova i smanjenje T_c .



7. Zaključak

Proučavana su transportna svojstva supravodiča MgB_2 dopiranog magnetskim Fe_2B i Fe_2B oklopljenim SiO_2 nanočesticama.

Poboljšanje zapinjanja magnetskih vrtloga povezano s magnetskim međudjelovanjem vrtloga i magnetskih nanočestica nije opaženo. Uočeno je smanjenje T_c , B_{irr} i $J_c(B)$ s povećanjem udjela nanočestica. Opaženo ponašanje posljedica je smanjenja udjela supravodljivog volumena u dopiranim uzorcima te postojanja magnetskih nanočestica unutar supravodljivog MgB_2 zbog čega dolazi do magnetskog rasparivanja Cooperovih parova. Smanjenje supravodljivog volumena i povezanosti MgB_2 zrna jače je izraženo za veće dopiranje. Uzorci dopirani Fe_2B/SiO_2 česticama imaju veće B_{irr} i $J_c(B)$ od onih dopiranih Fe_2B česticama vjerojatno zbog manje količine magnetskog materijala. Slično ponašanje uočeno je ranije u MgB_2 dopiranim Fe [7].

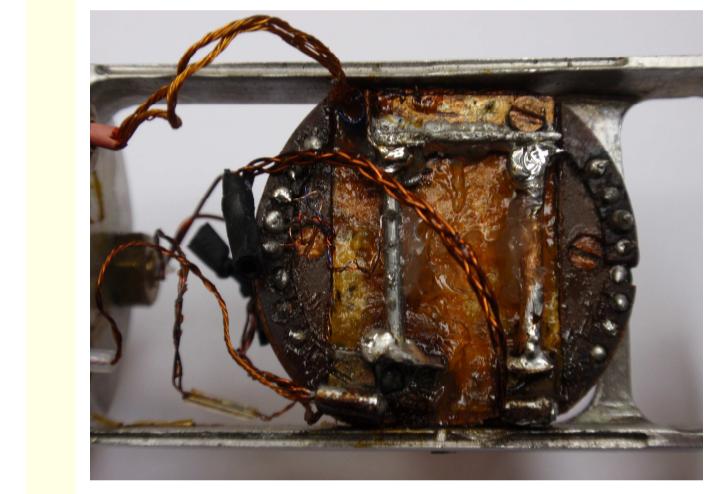
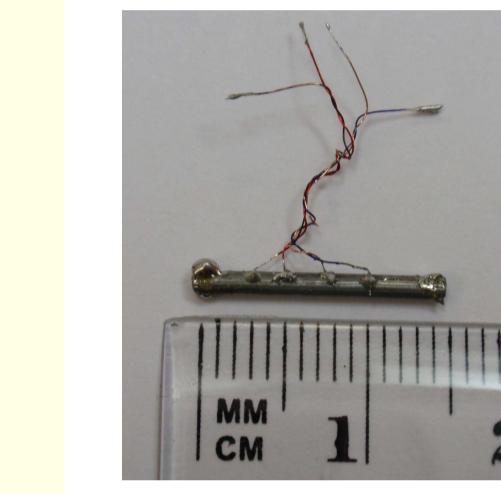
3. Eksperimentalne metode

→ Rentgenska difracija

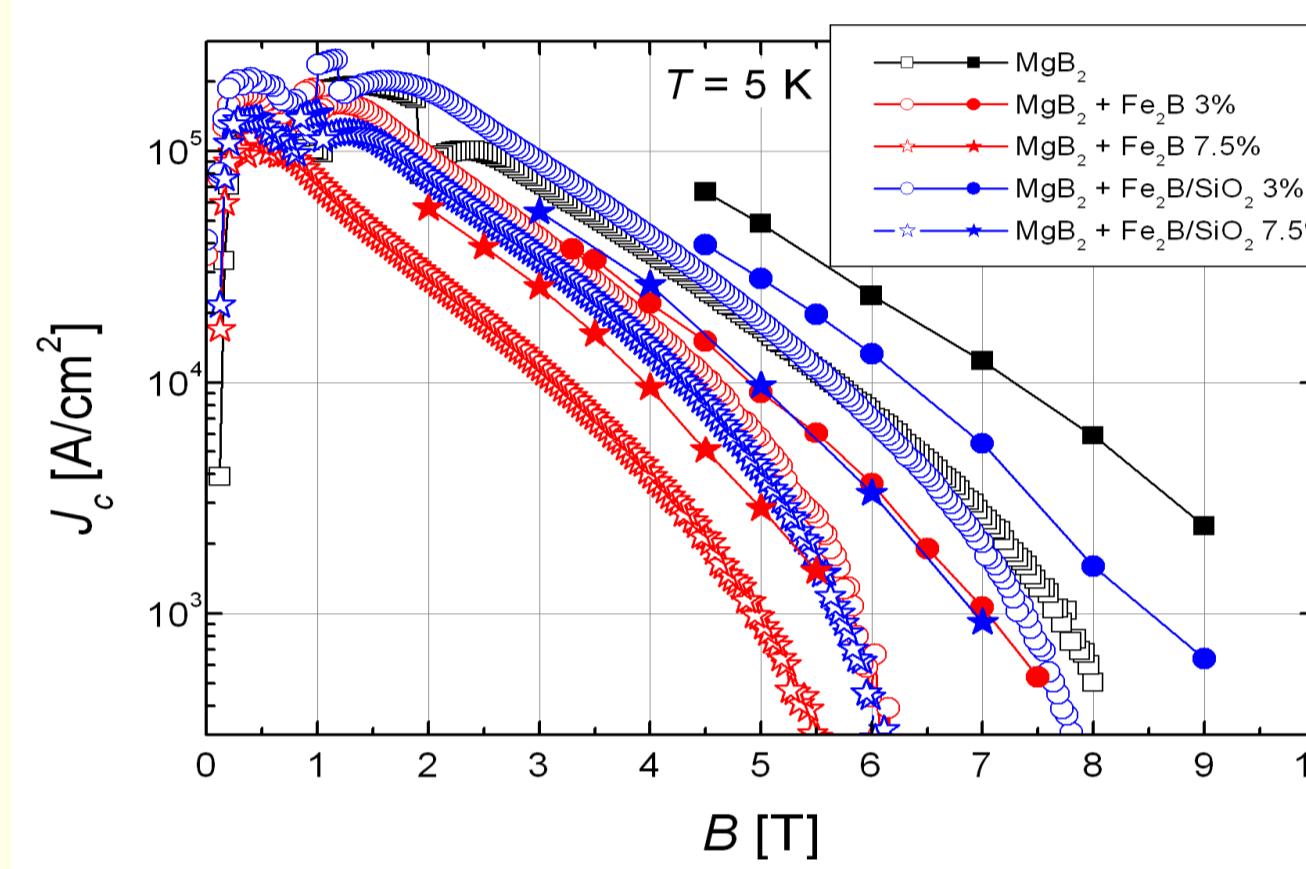
→ Mjerenje magnetizacije u ovisnosti o primjenjenom magnetskom polju $B \leq 9$ T (PPMS, Quantum Design)

→ Magnetootpori $R(T,B)$ u području temperatura 2-40 K i magnetskim poljima $B \leq 16$ T (AC struja $I = 1$ mA, $f = 18.4$ Hz)

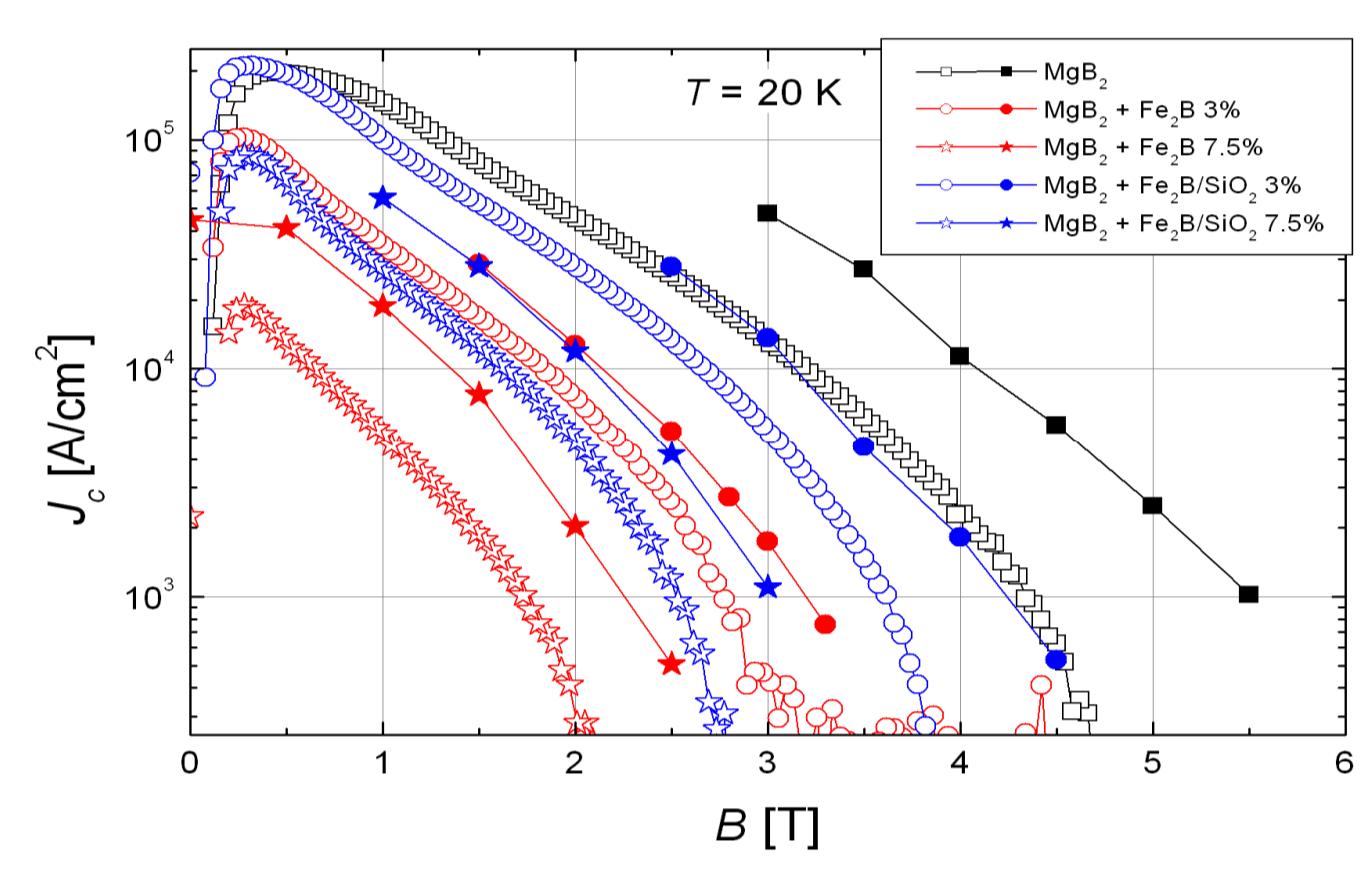
→ Kritične struje mjerene su pulsnom metodom (pulsevi pravokutnog oblika trajanja 0.5 ms, $I_{max} = 320$ A)



6. Gustoća kritične struje u ovisnosti o magnetskom polju $J_c(B)$

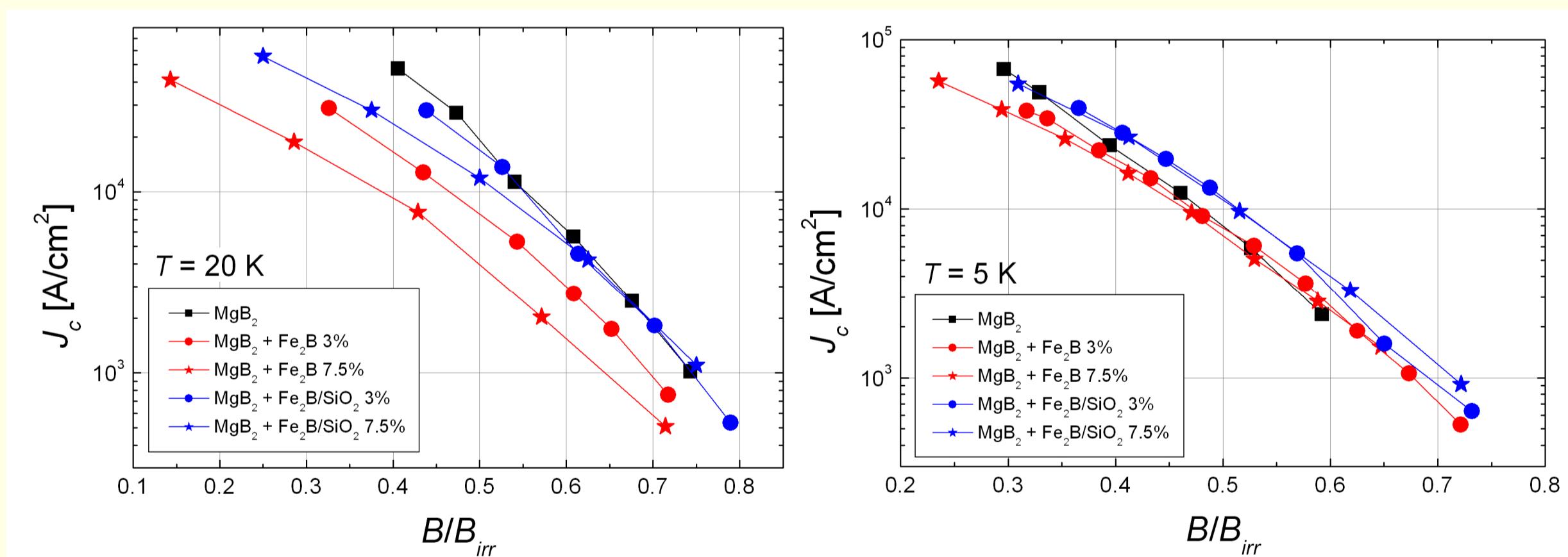


Gustoća kritične struje J_c u ovisnosti o magnetskom polju B ; prazni simboli: magnetske J_c , puni simboli: transportne J_c .

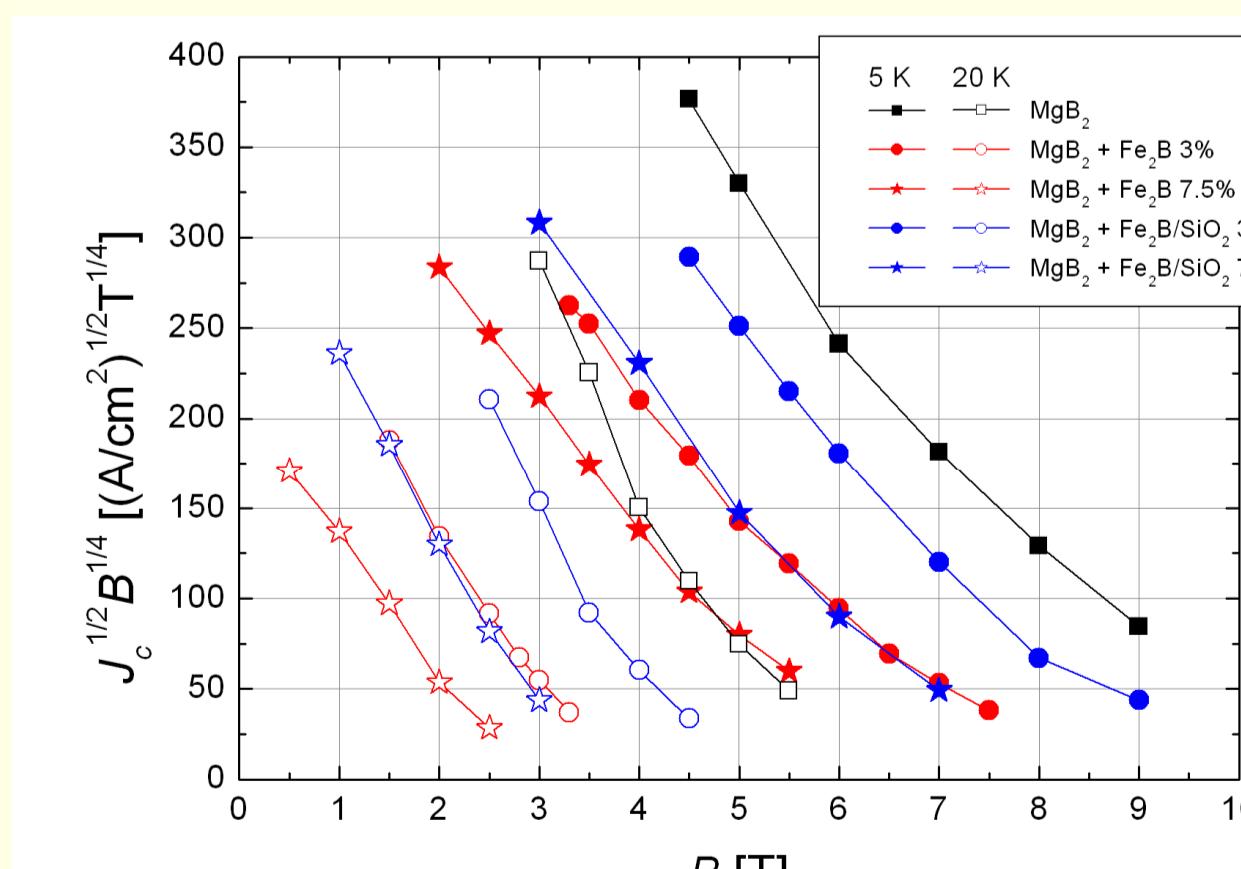


Dobro kvalitativno slaganje između magnetskih i transportnih J_c . Transportne J_c su pouzdanije jer se određuju direktno iz mjerenih V-I krivulja, dok se magnetske J_c računaju pomoću modela.

$J_c(B)$ dopiranih uzorka su manje u odnosu na nedopirani uzorak na niskim (5 K) i na visokim (20 K) temperaturama. J_c krivulje za dopirane i nedopirani uzorak u ovisnosti o normiranom magnetskom polju B/B_{irr} gotovo se preklapaju (osobito na 5 K) što upućuje da je glavni mehanizam zapinjanja magnetskih vrtloga jednak u svim uzorcima (zapinjanje na granicama zrna). Poboljšanje zapinjanja vrtloga putem magnetskog međudjelovanja vrtloga i nanočestica nije ostvareno ili je puno manjeg značaja.



Gustoća kritične struje J_c u ovisnosti o normiranom magnetskom polju B/B_{irr} .



Blago zakrivljene linije Kramerovih prikaza gustoće kritične struje J_c u ovisnosti o magnetskom polju B .

Blago zakrivljene linije Kramerovih prikaza gustoće kritične struje J_c u ovisnosti o magnetskom polju B upućuju na relativno veliku nehomogenost uzorka. Prilikom miješanja prahova Mg, B i nanočestica vjerojatno je došlo do aglomeracije nanočestica zbog njihovog magnetskog međudjelovanja, što je rezultiralo u nehomogenosti uzorka.

8. Literatura

[1] J. Nagamatsu et al., *Nature* **410**, 2001, 63-64

[2] D. K. Finnemore et al., *Phys. Rev. Lett.* **86**, 2001, 2420-2422

[3] W. K. Yeoh, J. Horvat, J. H. Kim, S. X. Dou, *Improvement of Vortex Pinning in MgB₂ by Doping*, Hauppauge NY: Nova Science Pub. Inc., 2008

[4] K. Vinod et al., *Supercond. Sci. Technol.* **20**, 2007, R1-R13

[5] A. Slezko et al., *Phys. Rev. B* **71**, 2005, 024527 1-6

[6] Häßler et al., *Supercond. Sci. Technol.* **21**, 2008, 062001 (3pp)

[7] S. X. Dou et al., *Supercond. Sci. Technol.* **18**, 2005, 710-715