

۲۹ و ۳۰ بهمن ۱۳۹۲ - مرکز اصفهان

خواص تراپردی و مغناطیسی ابررسانای پایه آهن $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$

غلام پور، سمانه*؛ قربانی، شعبان رضا^۱

^۱ گروه فیزیک - دانشگاه حکیم سبزواری

^۲ گروه فیزیک - دانشگاه فردوسی مشهد

E-mail: samane.gholampur@yahoo.com

E-mail: sh.ghorbani@um.ac.ir

چکیده

ترکیب $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ به روش استاندارد حالت جامد تحت فشار بالا ساخته شد. خواص تراپردی و مغناطیسی ابررسانای فوق با اندازه گیری مقاومت الکتریکی و مغناطش نمونه محدودده ی میدان های مغناطیسی صفر ۱۳ تسلا در دماهای مختلف اندازه گیری شد. ضریب ناهمسانگردی ($\gamma_H = B_H^{ab} / B_C^c$) $2/89$ برای نمونه فوق تعیین شد که با مقدار بدسلفهده برای تک بلورها تقریباً یکسان است. تقارن حلقه های پسماند برحسب میدان مغناطیسی نشان می دهند که در دماهای نزدیک T_c میخکوبی حجمی سازوکار غالب جهت میخکوبی شار مغناطیسی است. چگالی جریان بحرانی برحسب میدان مغناطیس برای دماهای مختلف استفاده از مدل بین محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که چگالی جریان بحرانی وابستگی ضعیفی به میدان مغناطیسی در بازه مورد مطالعه دارد.

واژه های کلیدی: ابررسانای پایه آهن، خواص تراپردی و مغناطیسی، حلقه های پسماند، چگالی جریان بحرانی، میخکوبی حجمی

۱ مقدمه

گروه جدیدی از ابررساناهای دمای بالا در ژانویه ۲۰۰۸ با دمای بحرانی ابررسانایی $T_c=26\text{ K}$ در ترکیبات لایه ای آرسنیک - آهن کشف شد. مشابه آنچه که در حدود ۲۲ سال پیش برای ابررساناهای دمای بالا کوپرات پیدا شده بود ترکیب مادر گروه جدید، LaOFeAs ، ابررسانا نیست. اما با جانشینی فلئور به جای اکسیژن این ترکیب ابررسانا می شود. در این ابررساناها صفحات FeAs که توسط لایه های LaO از یکدیگر جدا می باشند نقش صفحات CuO_2 را در ابررسانا های کوپرات ایفا می کنند. همانند کوپرات ها، ترکیب مادر این نوع ابررساناها در چگالی آرایش پایین پاد فرومغناطیس بوده و با افزایش چگالی آرایش حالت پاد فرومغناطیسی ماده فوق از بین رفته و ترکیب ابررسانا می شود. از طرف دیگر با جانشینی سایر عناصر خاکی نادر به جای La دمای ابررسانایی به بیش از 50 K رسید. بنابراین ترکیبات ابررسانای جدید دارای فرمول عمومی $\text{REO}_{1-x}\text{F}_x\text{FeAs}$ (RE-1111) است که در آن RE عناصر خاکی نادر (مانند Nd ، Pr ، Ce ، Sm و...) می باشد. در این راستا جانشینی عناصر خاکی نادر در مکان La باعث افزایش دمای بحرانی تا دمای $T_c=57\text{ K}$ گردید [۱-۱۳].

این ترکیبات بر خلاف کوپرات ها، که بعد از فرونشانی کامل همبستگی آنتی فرومغناطیسی ابررسانا می شوند، در حضور حالت آنتی فرومغناطیسی نیز ابررسانا می شوند. به عبارت دیگر حالت های ابررسانایی و آنتی فرومغناطیسی به طور همزمان در این ترکیبات وجود دارند [۵].

چگالی جریان بحرانی، J_c ، با استفاده از تقریب بین و حلقه های پسماند از رابطه ی زیر:

$$J_c = 20\Delta M / Va(1 - a/3b) \quad (1)$$

۲۹ و ۳۰ بهمن ۱۳۹۲ - مرکز اصفهان

تعیین می شود. که در معادله ی ۱، a و b ، طول و عرض نمونه و V حجم نمونه و ΔM ارتفاع حلقه های پسماند مغناطیسی (M-B) می باشد. ΔM به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\Delta M = M(B+) - M(B-) \quad (2)$$

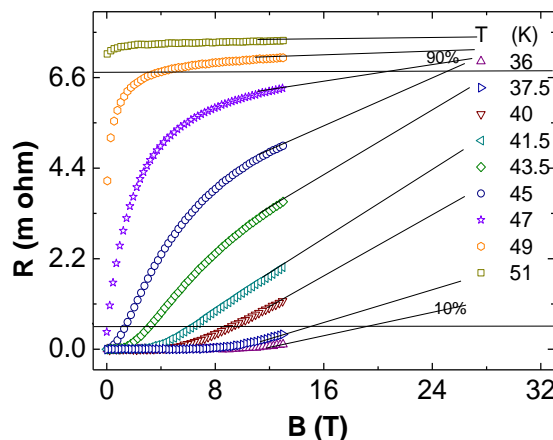
که $M(B+)$ و $M(B-)$ به ترتیب در رابطه ی ۲ مغناطش شاخه های بالایی و پایینی می باشند. در این مقاله خواص تراپردی و مغناطیسی ابررسانای $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ بررسی می شود. چگالی جریان بحرانی براساس مدل بحرانی بین به صورت تابعی از میدان مغناطیسی و دما برای نمونه ی $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ رسم شده است.

۲ نتایج و بحث

شکل ۱ مقاومت الکتریکی را به صورت تابعی از میدان مغناطیسی در دماهای مختلف نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود با افزایش میدان، مقاومت الکتریکی نیز افزایش می یابد. مقاومت ابررسانای $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ در دمای 36 K تقریباً برابر با صفر است زیرا این دما کاملاً زیر دمای بحرانی است. با افزایش دما مقاومت به طور نسبتاً خطی زیاد می شود تا اینکه در دمای 51 K مقدار آن تقریباً ثابت و برابر با $0.075\ \Omega$ می شود زیرا ماده به حالت عادی گذار می کند. در صورتی که به میدان مغناطیسی بالاتر دسترسی باشد می توان از روی این منحنی میدان مغناطیسی بحرانی بالایی را به راحتی اندازه گیری نمود.

میدان بحرانی بالایی B_{c2} و میدان برگشت ناپذیر B_{irr} از روی معیار 90% و 10% در کاهش مقاومت الکتریکی نسبت به حالت عادی تعیین می شود گاهی اوقات B_{c2} حاصل از $90\% R_n$ مربوط به میدان بحرانی بالایی در طول صفحات ab ولی مقدار B_{c2} حاصل از $10\% R_n$ مربوط به میدان بحرانی بالایی در راستای محور c ها در نظر گرفته می شود [۲]. لذا ضریب ناهمسانگردی $(\gamma_H = B_{c2}^{ab} / B_{c2}^c)$ تخمین زده شده براین اساس برای نمونه ی $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ برابر $2/89$ است که با مقدار بدست آمده برای تک بلورها تقریباً یکسان است [۱۴].

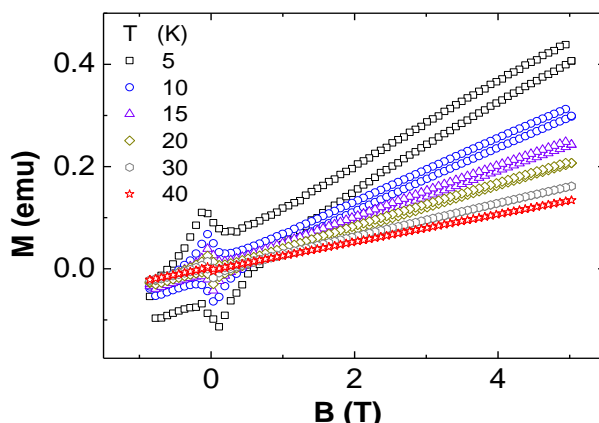
شکل ۲ حلقه های مغناطش $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ را بر حسب میدان مغناطیسی و در محدوده ی دمایی بین 5 تا 40 کلوین نشان می دهد. تقارن حلقه های پسماند بر حسب میدان مغناطیسی نشان می دهند که میخکوبی حجمی در دماهای نزدیک T_c سازوکار غالب است.



شکل ۱. مقاومت بر حسب میدان مغناطیسی برای نمونه ی $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$.

۲۹ و ۳۰ بهمن ۱۳۹۲ - مرکز اصفهان

همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود حلقه های پسماند افقی نیستند، دلیل این انحراف آن است که ترکیب ابرسانی $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ دارای خاصیت پارامغناطیس است که به خاطر حضور یون Nd^{3+} می باشد و همچنین با افزایش دما ارتفاع حلقه ی پسماند کاهش می یابد تا اینکه در دمای ۴۰ کلوین ارتفاع حلقه صفر می شود در نتیجه خاصیت پارامغناطیسی از بین می رود.

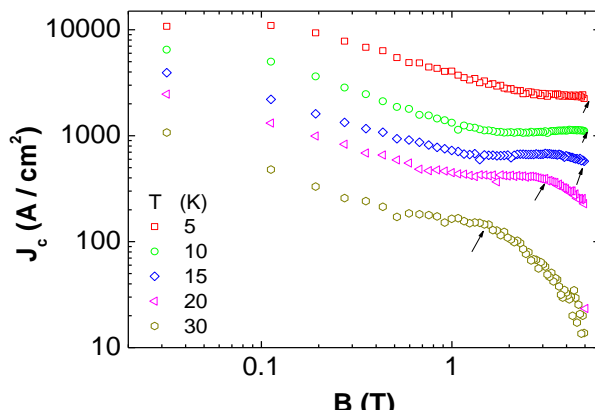


شکل ۲. حلقه های پسماند برای نمونه ی $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$

بعبارت دیگر حلقه های پسماند ابرسانی بر روی یک مغناطش زمینه ی پارامغناطیس وابسته به میدان قوی قرار گرفته است. حالت پارامغناطیس زمینه ناشی از Nd_2O_3 است که به صورت فاز مغناطیسی ثانویه در ترکیب وجود دارد. منحنی مغناطش Nd_2O_3 دقیقاً در بین شاخه های بالایی و پایینی مغناطش Nd-1111 قرار دارد [۱۵]. بنابراین پاسخ پارامغناطیس توسط یون های Nd^{3+} تعیین می گردد. به خاطر وجود لایه های متوالی Fe-As و Nd-O در ابرسانی $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ یک چنین رفتار مغناطیسی مشابه با رفتار مغناطیسی Nd_2O_3 مشاهده می گردد. بنابراین $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ را می توان به عنوان یک ابرسانی پارامغناطیس در نظر گرفت که در آن سهم مغناطش ناشی از یون های پارامغناطیس Nd^{3+} غالب است [۱۶].

چگالی جریان بحرانی، J_c ، با استفاده از تقریب بین از روی حلقه های پسماند تعیین شد. نتایج بدست آمده برای چگالی جریان بحرانی بر حسب میدان مغناطیسی در نمودار دابل لگاریتمی شکل ۳ برای نمونه ی $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ رسم شده است. همانطور که در شکل ۳ مشاهده می شود با افزایش میدان، چگالی جریان بحرانی J_c اندکی کاهش می یابد تا اینکه در میدان های بزرگتر تقریباً مستقل از میدان مغناطیسی می شود. یک پیک ثانویه در منحنی $B-J_c$ مشاهده می گردد که با افزایش دما مکان آن به میدان های کوچکتر جابجا می شود. برای میدان مغناطیسی اعمالی کمتر از ۲ تسلا ($B < 2T$) و دمای 5K، چگالی جریان بحرانی دارای وابستگی بسیار ضعیفی به میدان مغناطیسی بوده در حالی که برای $B > 2T$ تقریباً مستقل از میدان مغناطیسی است. اما برای دمای 20K، وابستگی چگالی جریان به میدان مغناطیسی اندکی بیشتر است. این نتایج نشان می دهند که نیروی میخکوبی گردشاره ها در این ابرسناها بسیار بزرگتر از سایر ابرسناهای دمای بالا است [۱۶]. با افزایش دما، J_c کاهش می یابد به طور کلی، حلقه های مغناطش با افزایش دما جمع تر می شوند و ارتفاع آن ها نیز کوچکتر می شود، به همین دلیل چگالی جریان بحرانی با افزایش دما، کاهش می یابد.

۲۹ و ۳۰ بهمن ۱۳۹۲ - مرکز اصفهان



شکل ۳. وابستگی میدانی و دمایی J_c ، برای نمونه ی $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$

۳. شرح آزمایش

نمونه چند بلوری $\text{NdO}_{0.82}\text{F}_{0.18}\text{FeAs}$ با روش فشار بالا ساخته شد. پودرهای Fe_2O_3 , FeF_2 , NdAs , As , Fe ترکیب و به شکل قرص در آمده و سپس در یک بوتله ی برن نیتريد قرار داده و تا دمای 1250°C درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت تحت فشار بالای حدود 6 GPa حرارت داده شدند [۲].

پذیرفتاری و مغناطش و مقاومت نمونه با استفاده از دستگاه اندازه گیری خواص مغناطیسی (PPMS) در محدوده ی میدان های مغناطیسی صفر تا 13 T در دانشگاه ولونگونگ کشور استرالیا انجام گردید که در ادامه نتایج بدست آمده بررسی می شوند.

۴. مراجع

- [1] Z. Ren, et al., Euro. Phys. Lett. 83 (2008) 17002.
- [2] X. H. Chen, T. Wu, R. H. Lin, H. Chen, D. F. Fang, Nature 453 (2008) 761.
- [3] G. F. Chen, et al., Phys. Rev. Lett. 100 (2008) 247002.
- [4] X. L. Wang, S. R. Ghorbani, G. Peleckis, S. X. Dou, Adv.Mater. 21 (2009) 236.
- [5] C. Tarantini, A. Gurevich, D. C. Larbalestier, Z. A. Ren, X. L. Dong, W. Lu, Z. X. Zhao, Phys. Rev. B 78 (2008) 184501.
- [6] Z. A. Ren, J. Yang, W. Yi, G. C. Che, X. L. Dong, L. L. Sun, Z. X. Zhao, Europhysics Letters 85 (2008) 57002.
- [7] Z. A. Ren, W. Lu, J. Yang, W. Yi, X. L. Shen, Z. C. Li, G. C. Che, X. L. Dong, L. L. Sun, F. Zhou, Z. X. Zhao, Chin. Phys. Lett. 25 (2008) 2215.
- [8] Y. Kamihara, T. Watanabe, M. Hirano, and H. Hosono, J. Am. Chem. Soc. 130 (2008) 3296.
- [9] Z. Ren, W. Yue-Qin, and Z. Li-Chun, Chinese Phys. Lett. 25 (2008) 2385.
- [10] C. Senatore, R. Flukiger, G. Wu, R. H. Liu and X. H. Chen, Cond-mat, arXiv: 0805.2389.
- [11] F. Hunte, J. Jaroszynski, A. Gurevich, D. C. Larbalestier, R. Jin, A.s. Sefat, M.A. McGuire, B.C. Sales, D.K. Christen, D. Mandrus, Nature 453 (2008) 903.
- [12] J. Yang, Z. C. Li, W. Lu, W. Yi, X. L. Shen, Z. A. Ren, G. C. Che, X. L. Dong, L. L. Sun, F. Zhou, Z. X. Zhao, Supercond. Sci. Technol. 21 (2008) 082001.
- [13] A.S. Sefat, M.A. McGuire, B.C. Sales, R. Jin, J.Y. Howe, and D. Mandrus, Phys. Rev. B 77 (2008) 174503.
- [14] Y. Jia, P. Cheg, L. Fang, H. Lua, H. Yang, C. Ren, L. Shan, C. Gu, and H. H. Wen, Appl. Phys. Lett. 93 (2008) 032503.
- [15] C. Tarantini, A. Gurevich, D. C. Larbalestier, Z. A. Ren, X. L. Dong, W. Lu, Z. X. Zhao, Phys. Rev. B 78 (2008) 184501.

[۱۶] شعبان رضا قربانی، شاولین ونگ، دومین کنفرانس ملی پیشرفت های ابررسانایی، مجله ی پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۰، شماره ی ۲، تابستان (۱۳۸۹).