

افت وخیزهای ابررسانایی در تک بلور $Ba_{0.72}K_{0.28}Fe_2As_2$ در ناحیه بحرانی

نایی پور، مهناز؛ قربانی، شعبان رضا

گروه فیزیک، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار

چکیده

ابررسانای تک بلور $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ با آلیش $x=0.28$ توسط روش سلف-فلوکس رشد داده شد. مقاومت الکتریکی نمونه در حضور میدان های مغناطیسی موازی با محور c تا ۱۳ تسلا توسط روش چهار میله استاندارد اندازه گیری شد و سپس رسانندگی اضافی تعیین گردید. رسانندگی اضافی ناشی از افت وخیزهای ابررسانایی در حضور میدان مغناطیسی با استفاده از نظریه مقیاس بندی اوله و دورسی در ناحیه بحرانی، تحلیل گردید. نتایج نشان داد که با وجود اینکه نمونه ساختار لایه ای دارد ولی رسانندگی در سه بعد انجام می گیرد.

Fluctuation Conductivity of Single-Crystalline $Ba_{0.72}K_{0.28}Fe_2As_2$ in the Critical Region

Nayebi poor, M; Ghorbani, S. R

Department of physics, Sabzevar Tarbiat Moallem University, Sabzevar

Abstract

The $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ single crystal superconductor with $x=0.28$ was grown by self-flux method. The resistance of sample was measured in magnetic fields up to 13 T for $H||c$ by standard four-probe configuration and then the excess conductivity was obtained. The excess conductivity due to magneto-fluctuation conductivity was analyzed by using the scaling theory proposed by Ullah and Dorsey in the critical region. Results showd that the excess conductivity have three-dimensional scaling behavior rather than two-dimensional scaling even though the sample has a layered structure.

PACS No. 74

مقدمه

۲۲ سال بعد از کشف ابررساناهای اکسید مس (کوپراتها) دومین گروه ابررساناهای دمای بالا یعنی ابررساناهایی با پایه آهن کشف شدند [۱-۲]. ساختار کریستالی ترکیبات پایه آهن همانند کوپراتها به صورت لایه ای می باشد. در این مواد لایه های دو بعدی $FePn$ وجود دارد که Pn نشان دهنده یک اتم نایکتوزن، اتمی از گروه ۵ جدول تناوبی یعنی (N, As, P, \dots) است. اما عنصری که به طور معمول استفاده می شود As است. در ابتدا ابررسانایی در ترکیب $LaFeAsO$ با آلیش F با دمای بحرانی $26K$ کشف شد [۳]. سپس با جایگزینی La با یونهای خاکی نادر، که شعاع یونی کوچکتری دارند، دمای گذار تا دمای $55 K$

در ترکیب $SmO_{1-x}F_xFeAs$ افزایش یافت [۴]. این ترکیبات معمولاً به صورت "۱۱۱۱" با فرمول عمومی $ReFeAsO$ ($Re=Fe$) عناصر خاکی نادر) نوشته می شوند. در این مواد لایه های رسانای $FeAs$ در بین لایه های عایق ReO قرار گرفته اند و ابررسانایی در ترکیبات پایه آهن همچون کوپراتها هنگامی اتفاق می افتد که ترکیبات مادر آلییده شوند. در ترکیبات "۱۱۱۱" آلیش الکترونی به صورت جانشینی فلئور با اکسیژن [۳] یا کمبود اکسیژن [۵] انجام می گیرد. در حالی که آلیش حفره ها به صورت جانشینی Sr به جای La ، $La_{1-x}Sr_xOFeAs$ ، انجام می گیرد [۶]. با توجه به اینکه در ترکیب $ReFeAsO$ لایه های $(Fe_2As_2)^{2-}$ و $(Re_2O_2)^{+2}$ به طور تناوبی قرار گرفته اند می توان با عوض کردن $(Re_2O_2)^{+2}$

براساس نظریه دورسی و اوله رسانندگی اضافی ناشی از افت و خیزها در دو و سه بعد به صورت زیر مقیاس بندی می گردد: در مقیاس بندی دوبعدی داریم

$$\Delta\sigma(H)_{2D} = \left(\frac{T}{H}\right)^{1/2} F_{2D} \left(A \frac{T-T_c(H)}{(TH)^{1/2}} \right) \quad (2)$$

در حالیکه در مقیاس بندی سه بعدی

$$\Delta\sigma(H)_{3D} = \left(\frac{T^2}{H}\right)^{1/3} F_{3D} \left(B \frac{T-T_c(H)}{(TH)^{2/3}} \right) \quad (3)$$

که F_{2D} و F_{3D} توابع مقیاس بندی، A و B ثابتهایی مستقل از دما و میدان می باشند و $T_c(H)$ دمای گذار میدان میانگین برای میدان مغناطیسی H می باشد. برای تعیین $T_c(H)$ یک روش منطقی و مناسب، روش نقطه عبور است [۹]. در این روش برای دو بعدی معادله (۲) را می توان به صورت زیر نوشت.

$$\frac{\Delta\sigma_{2D}}{(T/H)^{1/2}} = F_{2D}(y) \quad (4)$$

با استفاده از رابطه (۲) و (۴) می توان نتیجه گرفت که در دمای $T=T_c(H)$ مقدار $T=T_c(H)/(TH)^{1/2}$ مقدار $y=A(T-T_c(H))/(TH)^{1/2}$ صفر می شود. لذا مقدار $\Delta\sigma_{2D}/(T/H)^{1/2}$ مستقل از میدان است. با در نظر داشتن این نکته می توان $T_c(H)$ را برای هر میدانی مشخص کرد. ابتدا برای یک میدان دلخواه H_0 ، $T_c(H)$ حدس زده می شود با داشتن $T_c(H_0)$ و با توجه به اینکه برای $T=T_c(H)$ مقدار $\Delta\sigma_{2D}/(T/H)^{1/2}$ مستقل از میدان است می توان $T_c(H)$ را برای میدان های دیگر بدست آورد. در سه بعد نیز $T_c(H)$ همانند حالت دو بعدی تعیین می گردد.

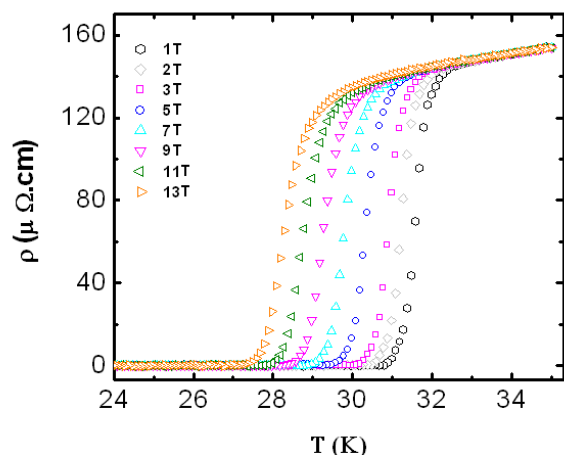
آزمایش

ترکیب تک بلور $Ba_{1-x}K_xFe_2As_2$ با مقدار آلیش $x=0/28$ به روش سلف-فلوکس در آزمایشگاه ماکس پلانک (آلمان) رشد داده شده است. ابتدا $FeAs$ از طریق برهم کنش پودرهای Fe و As در $500^\circ C$ به مدت ۱۵ ساعت و سپس $700^\circ C$ به مدت ۲۰ ساعت در یک لوله سیلیس که به طور محکم بسته شده ترکیب می گردد. مواد ابتدایی Ba و $FeAs$ (با خلوص بالا) به نسبت

با یک لایه ای از یک اتم بزرگ A ترکیب AFe_2As_2 (A-122)، A فلز قلیایی (را بنا کرد. برای اینکه این ترکیب خنثی بماند باید A یک اتم دو ظرفیتی مانند ($A=Sr, Ba, Ca, Eu$) باشد. این ساختار جدید نیز دارای ساختار لایه ای می باشد با این تفاوت که در ترکیب AFe_2As_2 لایه های رسانای $FeAs$ در بین لایه های رسانای Ba قرار گرفته اند. ابررسانایی در این ترکیب می تواند از طریق جانشین سازی اتم های تک ظرفیتی B^+ ($B=Cs, K, Na$) به جای اتم دو ظرفیتی A^{+2} با فرمول شیمیایی $A_{1-x}B_xFe_2As_2$ احیاء گردد. افت و خیزهای ترمودینامیکی در ابررساناها باعث انحراف از حالت تعادل در دماهای بالاتر از T_c و ظهور حالت ابررسانایی می شود. تشکیل و شکسته شدن زوج-های کوپر به دلیل افت و خیزهای ترمودینامیکی باعث ایجاد افت و خیزهای ابررسانایی در این ناحیه و در نتیجه انحراف به سمت پایین منحنی مقاومت الکتریکی بر حسب دما از حالت خطی می شود. شکل گیری زوج کوپرها و کاهش مقاومت باعث ایجاد رسانایی الکتریکی اضافی می شود. رسانایی الکتریکی اضافی ناشی از افت و خیزهای ابررسانایی از رابطه زیر بدست می آید [۷]:

$$\Delta\sigma = \frac{1}{\rho(T)} - \frac{1}{\rho_n(T)} \quad (1)$$

که در آن ρ مقاومت ویژه الکتریکی اندازه گیری شده و ρ_n مقاومت ویژه حالت عادی در صورت عدم انحراف از حالت خطی می باشد. برای ابررساناهایی که به صورت بهینه آلائیده شده اند مقاومت الکتریکی در حالت عادی به صورت $\rho(T) = a + bT$ است. که در آن a و b ضرایب ثابت و تقریباً مستقل از میدان مغناطیسی هستند که از برازش معادله فوق به داده های تجربی در ناحیه خطی بدست می آیند. معمولاً در ابررساناهای پایه آهن اثرات افت و خیز بر روی رسانندگی در حضور میدان مغناطیسی و در ناحیه افت و خیز بحرانی (ناحیه اطراف T_c) با استفاده از نظریه دورسی و اوله بررسی می شود [۸]. این نظریه رسانندگی اضافی را در ناحیه افت و خیز بحرانی در حضور میدان مغناطیسی مقیاس بندی می کند. در واقع با توجه به این نظریه می توان نشان داد که آیا احتمال هدایت رسانندگی اضافی در این ناحیه، در دو بعد (صفحه $FeAs$) بیشتر می باشد یا در سه بعد (تمام جسم).



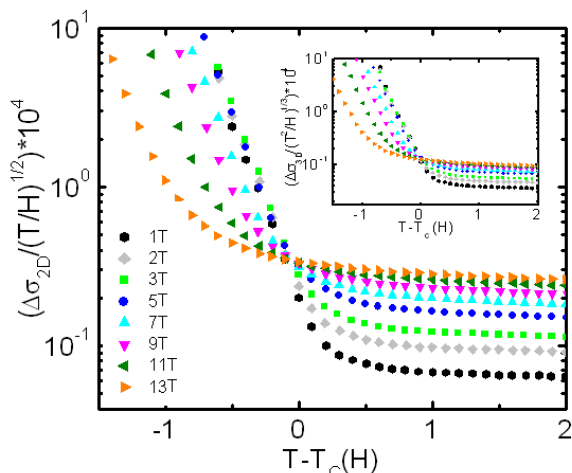
شکل ۲: نمودار مقاومت الکتریکی بر حسب دما برای ترکیب

Hlc در حالت $Ba_{0.72}K_{0.28}Fe_2As_2$

جدول ۱: مقادیر $T_c(H)$ ترکیب $Ba_{0.72}K_{0.28}Fe_2As_2$ برای Hlc در میدان های مغناطیسی متفاوت

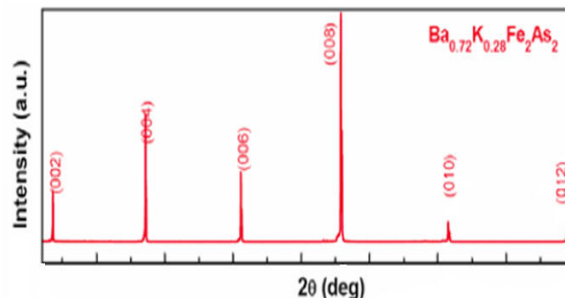
B(T)	۳	۵	۷	۹	۱۱	۱۳
$T_c(H)$	۳۱/۰	۳۰/۵	۳۰/۱	۲۹/۷	۲۹/۴	۲۹/۲

براساس روش نقطه عبور، منحنی های $\Delta\sigma_{2D}/(T/H)^{1/2}$ و $\Delta\sigma_{3D}/(T^2/H)^{1/3}$ بر حسب $T-T_c(H)$ در شکل ۳ رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود این مقادیر در $T=T_c(H)$ مستقل از میدان مغناطیسی است.



شکل ۳: روش نقطه عبور جهت تعیین $T_c(H)$ در حالت Hlc برای دو بعدی. شکل ضمیمه مربوط به حالت سه بعدی می باشد.

۱-x:4 مخلوط و سپس مقدار مناسبی از ماده نرم پتاسیم (K)، به پودر اضافه می شود. سپس لوله سیلیس در یک کوره بافضای کاملاً بسته تا دمای $1080^\circ C$ حرارت داده می شود تا ذوب گردد و ۲ تا ۴ ساعت در این دما حفظ می شود. در نهایت تا دمای پایین تر از $890^\circ C$ با سرعت خیلی پایین $3^\circ C/h$ تا دمای اتاق سرد می گردد. جزئیات آماده سازی در مرجع ۱۰ آمده است. ساختار فاز نمونه توسط پراش اشعه X بررسی شد. شکل ۱ الگوی پراش اشعه X را نشان می دهد. همانطور که در شکل مشاهده می شود نمونه تک فاز و دارای ساختار تراگونال و با گروه فضایی $I4/mmm$ در دمای اتاق می باشد. مقاومت الکتریکی به روش چهار میله استاندارد توسط سیستم اندازه گیری خواص فیزیکی (PPMS, Quantum Design) در گستره میدان های مغناطیسی صفر تا ۱۳ تسلا در دانشگاه ولانگونگ کشور استرالیا انجام گرفت.

شکل ۱: طیف پراش اشعه X برای ترکیب $Ba_{0.72}K_{0.28}Fe_2As_2$

نتایج و تحلیل داده ها

در شکل ۲ نمودار مقاومت ویژه الکتریکی اندازه گیری شده به صورت تابعی از دما برای ترکیب تک بلور $Ba_{0.72}K_{0.28}Fe_2As_2$ در میدان های مغناطیسی مختلف برای Hlc در ناحیه افت و خیز بحرانی (دماهای نزدیک T_c) نشان داده شده است. برای بررسی بُعد رسانندگی اضافی ناشی از افت و خیز ابررسانایی در حضور میدان مغناطیسی، $T_c(H)$ (دمای گذار میدان میانگین) با استفاده از روش نقطه عبور تعیین شد. میدان مغناطیسی مرجع $H_0=13 T$ انتخاب گردید. مقدار $T_c(H)$ مربوط به میدان های مغناطیسی متفاوت در جدول ۱ آورده شده است.

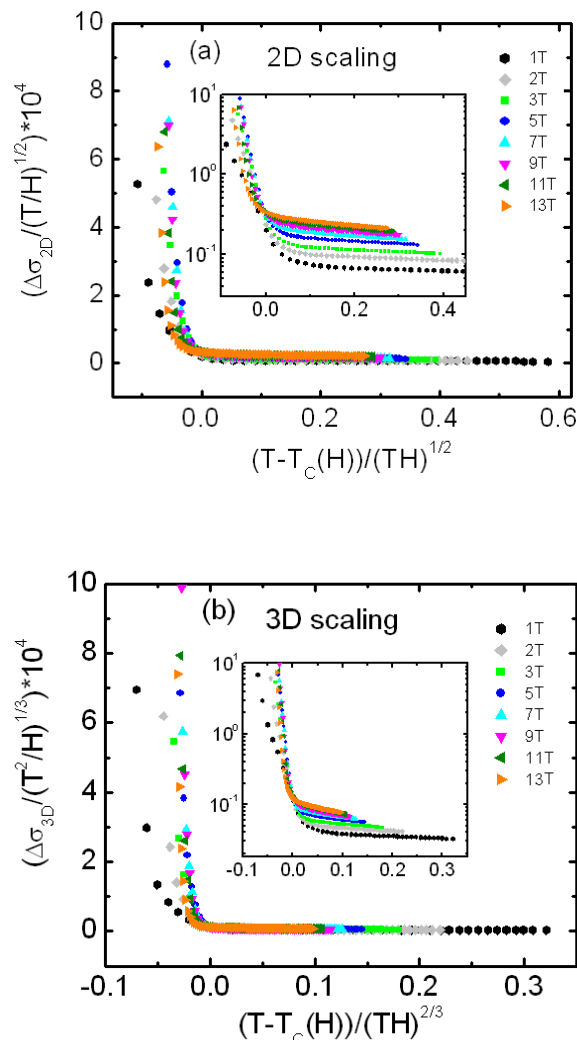
حالی که رسانندگی اضافی در صفحات FeAs (2D) مقیاس بندی نشده اند. بنابراین با وجود اینکه ماده دارای ساختار لایه ای است، رسانندگی اضافی در سه بعد صورت می گیرد لذا ابررسانایی سه بعدی محسوب می شود. طبیعت سه بعدی بودن ترکیب $Ba_{0.72}K_{0.28}Fe_2As_2$ در محدوده میدان های ۳ تا ۱۳ T ناشی از بزرگتر بودن طول همدموسی در راستای محور c از فاصله بین لایه های FeAs ($\xi_c(0) = 1/48 \text{ nm}$) ($s=0.8\text{nm}$) می باشد

نتیجه گیری:

تحلیل رسانندگی اضافی ناشی از افت و خیزهای ابررسانایی نشان داد که ابررسانایی در میدان های مغناطیسی $H \geq 3 \text{ T}$ ، با وجود اینکه ماده ساختار لایه ای دارد، طبیعت سه بعدی دارد. چون طول همدموسی در راستای محور c از فاصله بین لایه های FeAs بزرگتر می باشد.

مرجع ها

- [1] D. Johrendt and R. P. T. Angew. Chem., Int. Ed. **47** (2008) 4782.
- [2] J. G. Bednorz and K. A. Müller, Z. Phys. B **64** (1986) 189.
- [3] Y. Kamihara, T. Watanabe, M. Hirano, H. Hosono. J. Am. Chem. Soc. **130** (2008) 3296.
- [4] Q. Huang, Jun Zhao, J. W. Lynn, G. F. Chen, J. L. Luo, N. L. Wang and Pengcheng Dai. arXiv:0809.4816v2 (2008).
- [5] 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.
- [6] H. H. Wen et al., Europhys. Lett. **82** (2008) 17009.
- [7] S. A. Saleh, S. A. Ahmed, E. M. Elsheikh, J. Supercond. Nov. Magn. **21** (2008) 187.
- [8] S. Ullah, A. T. Dorsey, Phys. Rev. Lett. **65** (1990) 2066; S. Ullah, A. T. Dorsey, Phys. Rev. B **44** (1991) 262.
- [9] Katerina Moloni, Mark Friesen, Shili, Victor Souw, P. Metcalf, Lifany Hou, M. McElfresh, Phys. Rev. Lett. **78** (1997) 3173.
- [10] H. Q. Luo et al., arXiv:0807.0759 (unpublished).



شکل ۴: (a) مقیاس بندی دو بعدی و (b) سه بعدی رسانندگی اضافی برای $H \geq 3 \text{ T}$ در $Ba_{0.72}K_{0.28}Fe_2As_2$ را نشان می دهند.

با داشتن داده های $T_c(H)$ ، می توان با رسم نمودار $\Delta\sigma_{2D}/(T/H)^{1/2}$ بر حسب $(T-T_c(H))/(TH)^{1/2}$ و نمودار $\Delta\sigma_{3D}/(T^2/H)^{1/3}$ بر حسب $(T-T_c(H))/(TH)^{2/3}$ بعد رسانندگی را در این ترکیب تعیین کرد نمودارهای مربوط به روابط ۲ و ۳ برای $H \geq 3 \text{ T}$ در شکل ۴ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود. برای هدایت رسانندگی اضافی در ۳ بعد صورت می گیرد. زیرا منحنی ها در این حالت به خوبی برای میدان های $H \geq 3 \text{ T}$ مقیاس بندی شده اند. طوری که می توان گفت به یک منحنی تبدیل شده اند.