

سازوکارهای میخکوبش در ابررسانای MgB_2 آلاینده به مالیک اسید

قربانی، شعبان‌رضا؛ باشی، مریم

دانشکده فیزیک، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار

چکیده

سازوکارهای میخکوبش شار در ابررسانای MgB_2 آلاینده به ۱۰ درصد وزنی مالیک اسید، کلوخه سازی شده در دماهای $600^\circ C$ و $800^\circ C$ با استفاده از اندازه‌گیری مغناطیسی تعیین شده‌اند. چگالی جریان بحرانی در بازه‌ی دمایی ۳۱-۲۰ کلوین نشان از افزایش یک مرتبه‌ی این نمونه‌ی آلاینده نسبت به نمونه‌ی خالص دارد. بررسی وابستگی مغناطیسی نیروی میخکوبش بهنجار شده در بازه‌ی میدانی ۰-۸۷ تسلا نشان از وجود هر دو سازوکار میخکوبش سطحی و نقطه‌ای در میدان‌های پایین و غلبه سازوکار سطحی در میدان‌های بالا دارد.

Pinning mechanisms in malic acid-doped MgB_2

Ghorbani, S R ; Bashi, M

Department of physics, Tarbiat Moallem University of Sabzevar, P.O. Box 397, Sabzevar, Iran

Abstract

Flux -pinning mechanism of MgB_2 doped with 10 wt % malic- acid has been investigated by magnetic measurements. The field dependence of the critical current density, $j_c(B)$, in a temperature range of 20-31 K were shown the values j_c for doped sample are more than 1 order of magnitude higher than that for pure sample. The magnetic dependence of normalized pinning force in magnetic field up to 8/7 T was shown that point pinning and surface pinning is dominated in lower field while in higher fields surface pinning is dominate.

PACS: 74

مقدمه

از زمان کشف ابررسانایی در MgB_2 یک سری تحقیقات گسترده‌ای به منظور درک سازوکار بنیادی ابررسانایی و سازوکار میخکوبش گردشاره‌ها انجام گرفته‌است [۱]. اگر چه چگالی جریان بحرانی نسبت به مقدار اولیه بهبودی زیادی یافته‌است اما سازوکار میخکوبش در این ماده به منظور افزایش بیشتر چگالی جریان در میدان‌های بزرگتر هنوز مورد مطالعه است. افزودن ناخالصی‌هایی شیمیایی به ماده سبب افزایش میخکوبش شار مغناطیسی و بنابراین افزایش چگالی جریان بحرانی می‌شود [۲،۳]. وقتی که اندازه ناخالصی‌ها قابل مقایسه با طول هم‌دوسی باشند می‌توانند به عنوان مراکز میخکوبش عمل کنند و مانع از حرکت گردشاره‌ها شوند. از مهم‌ترین برهم‌کنش‌ها میان گردشاره‌ها و مراکز میخکوبش در ابررساناهای نوع II، برهم‌کنش مغزی و برهم‌کنش مغناطیسی هستند. اولین

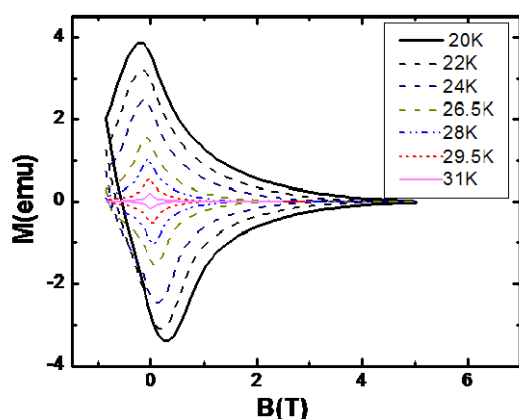
برهم‌کنش، حاصل از جفت‌شدگی خواص ابررسانایی واپیچیده موضعی با تغییرات دوره‌ای پارامتر نظم ابررسانایی است. در حالی‌که دومین برهم‌کنش، ناشی از برخورد سطوح ابررسانایی و غیر ابررسانایی ماده‌ی موازی با میدان اعمال‌شده، که معمولاً در این نوع ابررساناها با ثابت گینزبرگ-لانداو بزرگ κ ، قابل اغماض بوده است. از سازوکارهای مغزی غالب در ابررسانای نوع II می‌توان به دو میخکوبش δT_c ، ناشی از افت و خیزهایی در دمای گذار T_c ، و میخکوبش $\delta \kappa$ ، ناشی از تغییرات فضایی پارامتر گینزبرگ κ اشاره نمود [۴]. تفاوت در میزان شدت برهم‌کنش میان خطوط شار با مراکز میخکوبش از دلایل اصلی تفاوت میان خواص دانه‌های ابررسانایی است. خواص میخکوبش در ابررساناها معمولاً از طریق تعیین نیروهای میخکوبش حجمی F_p و اندازه‌ی این مراکز میخکوبش شناخته می-

آزمایش و نتایج

برای تهیه قرص‌های MgB_2 آلاینده به ۱۰٪ وزنی مالیک اسید به روش *in-situ*، بورن، تولوئن (برای همگن‌سازی نمونه) و مالیک اسید با هم مخلوط و در دمای $210^\circ C$ کلوخه‌سازی شدند تا مالیک اسید تجزیه شود. پودر به دست آمده خشک و با منیزیم مخلوط و به صورت یک قرص فشرده و در دو دمای $600^\circ C$ به مدت ۴ ساعت و $800^\circ C$ در مدت ۳۰ دقیقه کلوخه‌سازی شد. برای توصیف دقیق‌تر ساخت نمونه‌ها به مرجع [۹] رجوع شود.

اندازه‌گیری‌های مغناطیسی و تراپردی با استفاده از سیستم اندازه‌گیری خواص فیزیکی، PPMS، انجام گرفت. حلقه‌های پسماند مغناطیسی در محدوده‌ی دمایی $21-32/5$ کلوین و در یک بازه‌ی میدانی $0-8/7$ تسلا برای این نمونه‌ها انجام شد.

شکل ۱. حلقه‌های مغناطش MgB_2 آلاینده به ۱۰ درصد وزنی مالیک اسید برای نمونه کلوخه‌سازی شده در دمای $600^\circ C$ را در محدوده‌ی دمایی $20-31$ کلوین نمایش می‌دهد. تقارن حلقه‌های پسماند بر حسب میدان مغناطیسی نشان می‌دهند که میخکوبش حجمی در دماهای نزدیک T_c از سدهای سطحی بیشتر است [۷].



شکل ۱. حلقه‌های پسماند برای MgB_2 آلاینده به ۱۰ درصد وزنی مالیک اسید کلوخه‌سازی شده در دمای $600^\circ C$.

شوند. از مقایسه‌ی میان ابعاد مراکز میخکوبش با فاصله متوسط بین گردش‌ها، $d = 1/07 (\varphi_0/B)^{1/2}$ که در آن φ_0 کوانتوم شار است، این مراکز به چهار دسته‌ی نقطه‌ای، خطی، سطحی، حجمی تقسیم می‌شوند [۵]. مراکز میخکوبش نقطه‌ای، نواحی‌ای هستند که در تمامی جهات ابعادی کمتر از d داشته باشند. مراکز میخکوبش خطی، یک بعدی بوده و که از نظر طولی قابل مقایسه با d هستند. مراکز میخکوبش سطحی، دو بعدی و ابعاد آنها بزرگتر از d بوده و مراکز میخکوبش حجمی، همه ابعادش بزرگتر از d است.

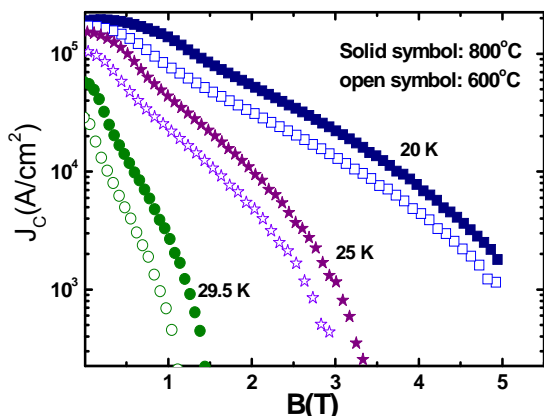
بررسی سازوکار میخکوبش در اغلب نمونه‌های ترکیب MgB_2 نشان از وجود دوسازوکار عمده میخکوبش درون مرزخانه‌ای [۶] و نقص نقطه‌ای [۷] دارد. برای به دست آوردن درک عمیق‌تری از سازوکار میخکوبش معمولاً نیروی میخکوبش بهنجار شده را به صورت تابعی از $h = H/H_{max}$ که در آن H_{max} مقدار میدان مغناطیسی در F_{max} است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای سازوکارهای متفاوت میخکوبش روابط زیر به دست آمده‌اند [۸]:

$$f(h) = 9/4h(1-h/3)^2, \delta T_c \text{ میخکوبش} \quad (1)$$

$$f(h) = 3h^2(1-2h/3), \delta \kappa \text{ میخکوبش} \quad (2)$$

$$f(h) = 25/16\sqrt{h}(1-h/5)^2, \text{ میخکوبش سطحی} \quad (3)$$

در این مقاله سازوکار میخکوبش سطحی و نقطه‌ای برای یک نمونه‌ی MgB_2 آلاینده به ۱۰ درصد وزنی مالیک اسید $(C_4H_6O_5)$ کلوخه‌سازی شده در دو دمای $600^\circ C$ و $800^\circ C$ مورد بحث قرار گرفته است.



شکل ۲. وابستگی دمایی و مغناطیسی چگالی جریان بحرانی برای MgB_2 آلاینده به ۱۰ درصد وزنی مالیک اسید کلوخه سازی شده در دو دمای ۶۰۰°C و ۸۰۰°C.

جهت بررسی سازوکار میخکوبش گردشاره ها نیروی میخکوبش $F_p = B \times J_c$ محاسبه و به مقدار بیشینه اش بهنجار شد، $f_p = F_p / F_{p,max}$ نتایج به دست آمده در شکل ۳ نشان داده شده است. وابستگی مغناطیسی نیروی میخکوبش بهنجارشده f_p در محدوده‌ی دمایی ۲۴-۳۲/۵ کلوین مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج مربوط به نمونه‌های آلاینده به ۱۰ درصد وزنی مالیک اسید حاکی از آن است که داده‌های تجربی نیروهای میخکوبش بهنجار شده در بین منحنی‌های نظری میخکوبش سطحی و میخکوبش نقطه‌ای واقع شده‌اند که نشان‌دهنده‌ی وجود هر دو سازوکار میخکوبش است. اما با افزایش میدان، سازوکار میخکوبش سطحی غالب می‌گردد. لذا در این نمونه‌ها، هر دو میخکوبش سطحی قوی و نقطه‌ای ضعیف مؤثر هستند.

در میدان‌های مغناطیسی بالا هر چند تعداد مرزخانه‌ها کافی نیست اما کربن‌های حاصل از تجزیه مالیک اسید که در مکان‌های بورن جای گرفته‌اند به میخکوبش بیشتر گردشاره‌ها کمک می‌کنند.

داده‌های تجربی نمونه کلوخه سازی شده در ۸۰۰°C نسبت به نمونه کلوخه سازی شده در ۶۰۰°C در میدان‌های

سرعت خزش شار در میدان‌های بالاتر افزایش می‌یابد که منجر به وابستگی شدید مغناطیدگی در MgB_2 به دما و میدان مغناطیسی می‌شود. وقتی دما نزدیک دمای بحرانی و یا میدان اعمال شده نزدیک به میدان برگشت‌ناپذیری باشد خزش شار شتاب می‌گیرد. می‌توان واهلش مغناطیسی را با استفاده از ایجاد مراکز میخکوبش قوی با انرژی میخکوبش بزرگتر فرونشاند.

چگالی جریان بحرانی با استفاده از تقریب بین، بر اساس رابطه زیر تعیین شد:

$$J_c = 20 \Delta M / V [a(1-a/3b)] \quad (4)$$

که در آن a و b پهنا و درازای نمونه در داخل میدان خارجی، V حجم نمونه، ΔM ارتفاع حلقه پسماند است. در شکل ۲. چگالی جریان بحرانی به صورت تابعی از میدان و دما، $J_c(B, T)$ برای دو نمونه‌ی کلوخه سازی شده در دو دمای ۶۰۰°C و ۸۰۰°C در یک نمودار لگاریتمی ترسیم شده است. همان طور که از روی شکل مشاهده می‌شود برای تمامی میدان‌ها و دماهای پایین‌تر از ۲۹/۵ کلوین چگالی جریان بحرانی در نمونه کلوخه سازی شده در ۸۰۰°C بزرگتر از چگالی جریان بحرانی نمونه ۶۰۰ است زیرا با افزایش دمای کلوخه سازی از مقدار فازهای ناخالصی (MgO) که مانند یک لایه‌ی عایق بین دانه‌های MgB_2 نشسته و باعث اندکی کاهش در J_c می‌شود) کاسته شده [۹] و اتصال بین دانه‌ای بهبود می‌یابد.

مقادیر J_c در ۲۰ K و ۴ T برای هر دو نمونه حدود 10^4 A/cm^2 است که تقریباً یک مرتبه بزرگی بیشتر از چگالی جریان بحرانی برای MgB_2 ی خالص است. دلیل این افزایش می‌تواند میخکوبش شار ناشی از جاننشانی کربن در مکان بورن باشد.

به اندازه تقریباً یک مرتبه بزرگی نسبت به نمونه خالص می‌گردد، به این ترتیب اضافه نمودن مالیک اسید باعث افزایش بیشتر میخکوبش شار گردیده است. تحلیل وابستگی مغناطیسی نیروهای میخکوبش بهنجار شده در بازه‌ی میدانی $0-8/7$ تسلا نشان داد که در میدان‌های پایین هر دو سازوکار سطحی و نقطه‌ای در میخکوبش شار مغناطیسی نقش دارند درحالی که در میدان‌های بالا سازوکار میخکوبش سطحی غالب است. از مقایسه نزدیکی داده‌های تجربی هر دو نمونه به منحنی‌های نظری این‌طور به نظر می‌رسد که میخکوبش δT_c (نقطه‌ای) به دمای کلوخه‌سازی وابسته بوده و با افزایش دمای کلوخه‌سازی این سازوکار میخکوبش افزایش می‌یابد.

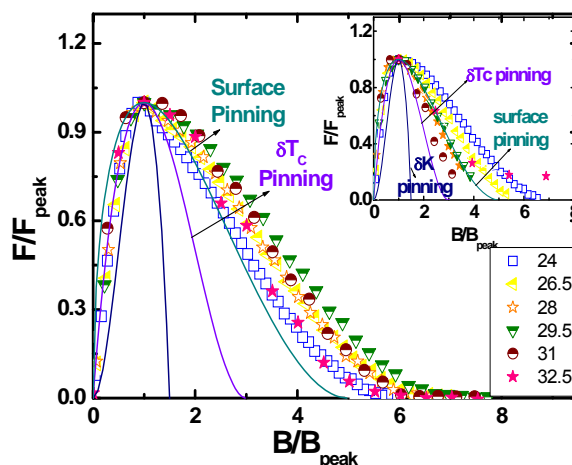
سپاسگزاری

از آقایان پرفسور شی و پرفسور ونگ برای همکاری و اجازه‌ی استفاده از تجهیزات دانشگاه ولونگونگ استرالیا صمیمانه تشکر می‌شود.

مراجع

- [1] D. Varshney, M. Nagar ; *Supercond. Sci. Technol.* **20** (2007) 930.
- [2] T. Yildirim; "The surprising superconductor"; Material Today (2002). URL: <http://www.ncnr.nist.gov/staff/taner>
- [3] Y. Aktuz, A. Bicer, M. Guru, *Materials and Design* **28** (2007) 2500.
- [4] M. H. Pu, Y. Feng, P. X. Zhang, L. Zhou, J. X. Wang, *Physica C* **386** (2003) 51.
- [5] R. Ma, Y. Ma, W. Song, X. Zhu, Sh. Liu, J. Du, Y. Sun, Ch. Li, Ping Ji, Y. Feng, Pingxiang, *Physica C* **77-82** (2004) 411.
- [6] H. Kitaguchi, A. Matsumoto, H. Kumakura, T. Doi, H. Yamamoto, K. Saitoh, H. Sosiati and S. Hata, *Appl. Phys. Lett.* **85** (2004) 2842.
- [7] M. J. Qin, X. L. Wang, H. K. Liu and S. X. Dou, *Phys. Rev B* **65** (2002) 132508.
- [8] Z. X. Shi, Y. X. Zhang, H. Lv, Mingxiang Xu, Eun-Mib Choi, Sung-Ik Lee, *Physica C* **467** (2007) 101.
- [9] M. S. A. Hossain, J. H. Kim, X. Xu, X. L. Wang, M. Rindfleisch, M. Tomic, M. D. Sumption, E. W. Collings, and S. X. Dou, *Supercond. Sci. Technol.* **20** (2007) L51-L54.

پایین‌تری به سمت منحنی میخکوبش سطحی جابه‌جا شده‌اند، این نتایج نشان‌دهنده جانشانی کربن‌های بیشتری در مکان بورن در دماهای بالاتر کلوخه‌سازی است. در دماهای واکنش بالاتر منحنی نظری میخکوبش δT_c به داده‌ها نزدیک‌تر می‌شود که نشان‌دهنده وابستگی میخکوبش δT_c به دمای کلوخه‌سازی است.



شکل ۳. بررسی وابستگی مغناطیسی نیروی میخکوبش کاهیده $f_p(h)$ برای نمونه آلانیده کلوخه‌سازی شده در دمای 600°C و نمایش منحنی‌های نظری میخکوبش نقطه‌ای و سطحی. (نمودار الحاقی: وابستگی مغناطیسی $f_p(h)$ برای نمونه آلانیده و کلوخه‌سازی شده در دمای 600°C)

به این ترتیب در میدان‌های پایین هر دو سازوکار میخکوبش سطحی و نقطه‌ای، ناشی از وجود مرزخانه‌ها و نقایص نقطه‌ای، و در میدان‌های بالا میخکوبش سطحی در این نمونه غالب است.

نتیجه‌گیری

مقایسه میان چگالی جریان‌های بحرانی برای دو نمونه کلوخه‌سازی شده MgB_2 آلانیده به 10% وزنی مالیک اسید نشان داد با افزایش دمای کلوخه‌سازی به دلیل کاهش فاز ناخالصی و بهبودی اتصالات بین دانه‌ای مقادیر J_c افزایش یافته و برای هر دو نمونه افزودن 10% درصد وزنی مالیک اسید منجر به افزایش چگالی جریان بحرانی