

## افزایش میخکوبی شار در ابررسانای $MgB_2$ آلاینده به سوکسنیک اسید ( $C_4H_6O_4$ )

قربانی، شعبان‌رضا؛ دارینی، مرتضی

گروه فیزیک، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، سبزوار

### چکیده

دو نمونه ابررسانای آلاینده به ۱۰٪ وزنی سوکسنیک‌اسید بدون اضافه نمودن تولوئن و با افزودن آن به روش *in-situ* ساخته شدند. اثر آلیش سوکسنیک‌اسید ( $C_4H_6O_4$ ) بر روی وابستگی میدان مغناطیسی چگالی جریان بحرانی و نیروی میخکوبی  $MgB_2$  بررسی شد. نتایج نشان داد که افزودن سوکسنیک‌اسید باعث افزایش نیروی میخکوبی در میدان‌های بالا و بهبود  $J_c(H)$  می‌شود.

## Improvement of flux pinning in succenic acid-doped $MgB_2$ Superconductor

Ghorbani, S R ; Dareini, M

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

### Abstract

Two samples of  $C_4H_6O_4$ -doped  $MgB_2$  superconductor were fabricated by *in-situ* method. The samples were prepared by adding Toluene and without it. The effect of succenic acid doping on the magnetic field dependence of critical current density and flux pinning force in  $MgB_2$  were studied. Results showed that succenic acid doping increased flux pinning force in high magnetic fields and improved the behavior of  $J_c(H)$ .

PACS: 74

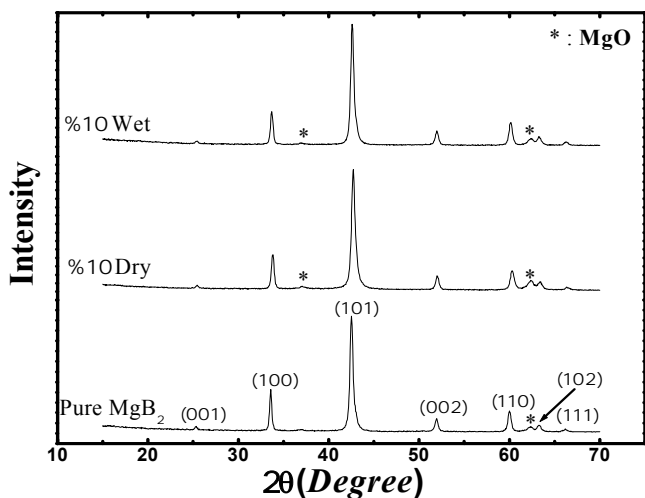
عملکرد ابررسانای  $MgB_2$  از نانو عناصر، نانو اکسیدها، کربوهیدرات‌ها و دیگر ترکیبات آلی استفاده شده است [۴،۳]. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که کربن و ترکیبات کربن‌دار مناسب‌ترین مواد برای آلیش  $MgB_2$  می‌باشد. با وارد شدن کربن به شبکه  $MgB_2$  و قرار گرفتن آن در جایگاه بور میخکوبی و چگالی جریان بحرانی افزایش پیدا می‌کند. تحقیقات صورت گرفته روی منابع مختلف کربن مانند  $[6,5]SiC$ ،  $[7]C60$ ، روغن سیکلون [۸] و نانو لوله‌های کربن [۹] افزایش  $J_c$  را نشان می‌دهد.

در این مقاله اثر آلیش سوکسنیک‌اسید ( $C_4H_6O_4$ ) به عنوان یک منبع کربن روی چگالی جریان بحرانی ( $J_c$ ) و نیروی میخکوبی حجمی ( $F_p$ ) بررسی می‌شود. جانشینی کربن به جای بور باعث ایجاد بی‌نظمی در نوار سیگما می‌شود که میدان بحرانی بالایی و  $J_c(H)$  را از طریق میخکوبی افزایش می‌دهد. علاوه بر این کربن

### مقدمه :

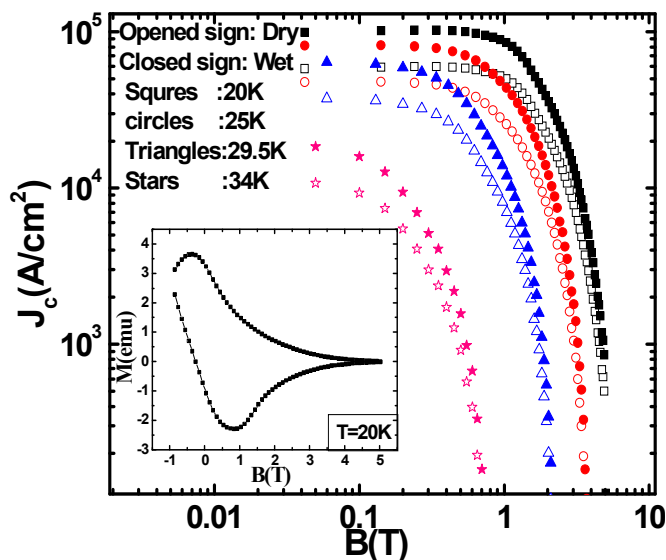
ابررسانای  $MgB_2$  پتانسیل بالایی برای استفاده در کاربردهای توان الکتریکی و قطعات الکترونیکی دارد [۱]. دمای بحرانی بالا (۳۹ K)، طول هم‌دوسی بزرگ (۵ nm)، مواد اولیه ارزان قیمت، ساختار شیمیایی ساده و پایدار از برتری‌های  $MgB_2$  نسبت به سایر ابررساناهای دمای بالا است. دمای بحرانی بالا استفاده از  $MgB_2$  را در هیدروژن مایع (۲۰ K) ممکن می‌سازد و طول هم‌دوسی بزرگ امکان رسیدن به چگالی جریان بحرانی از مرتبه  $10^5 A/cm^2$  صرف نظر از میزان هم‌ترازی دانه‌ها میسر می‌کند [۲]. کمبود مراکز میخکوبی و ضعیف بودن اتصالات دانه ای در  $MgB_2$  سبب می‌شود مقدار  $J_c$  در میدان‌های مغناطیسی بالا به شدت افت کند. این مشکل با وارد کردن نانو ذرات و افزایش نیروی میخکوبی رفع می‌شود [۳،۴]. در سال‌های اخیر برای بهبود

جزیی قله (۱۰۰) به سمت زوایای بالاتر به دلیل کوچکتر شدن پارامتر  $a$  و جانشینی کربن در جایگاه بور می باشد.



شکل ۱: الگوهای پراش اشعه X برای  $MgB_2$  خالص و نمونه های خشک و تر آلوده به ۱۰٪ وزنی سوکسینیک اسید.

حلقه های پسماند مغناطیسی در محدوده دمایی ۲۰-۳۴ کلوین برای هر دو نمونه اندازه گیری و چگالی جریان بحرانی با استفاده از مدل بحرانی بین محاسبه شد. بر اساس این مدل پسماند  $M-H$ ،  $V$  حجم نمونه،  $l$  و  $w$  طول و عرض نمونه اند که بر میدان اعمالی عمودند. نتایج  $J_c(B, T)$  برای هر دو نمونه خشک و تر در نمودار دابل لگاریتمی شکل ۲ ارائه شده است. حلقه پسماند در دمای ۲۰ K برای نمونه ۱۰٪ خشک در ضمیمه شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲:  $J_c(B)$  بدست آمده از حلقه های مغناطش برای نمونه های خشک و تر. ضمیمه حلقه مغناطش در دمای ۲۰ K برای نمونه خشک می باشد.

اضافی که وارد شبکه نمی شود به عنوان ناخالصی در شبکه  $MgB_2$  با عث میخکوبی خطوط شار می شود.

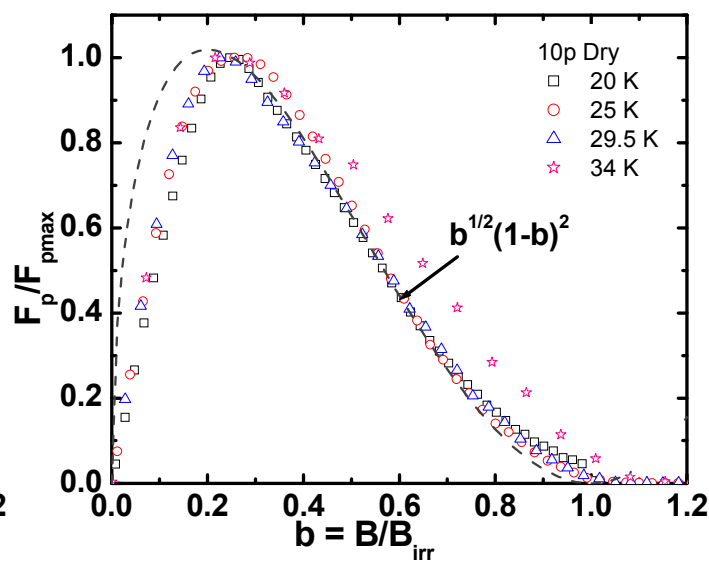
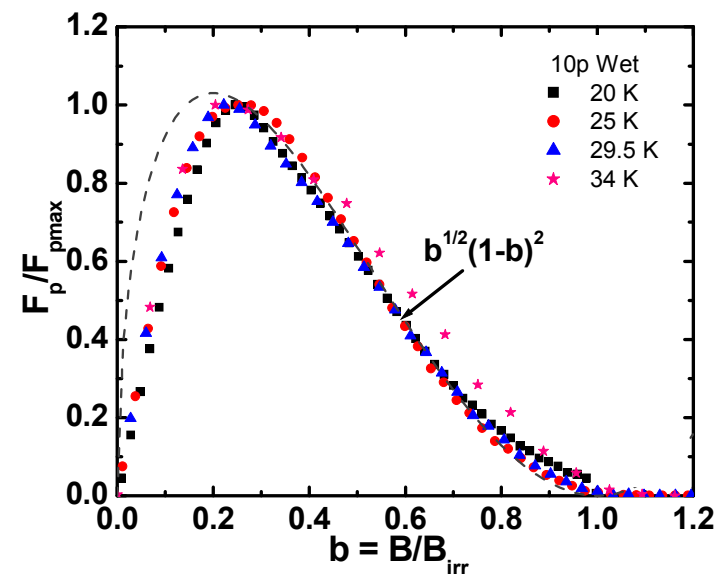
### آزمایش :

در این مقاله دو نمونه آلوده شده به ۱۰٪ سوکسینیک اسید با روش *in-situ* ساخته شد. در نمونه اول ابتدا بور و سوکسینیک اسید با هم مخلوط و در دمای  $210^\circ C$  کلوخه سازی شدند تا سوکسینیک اسید تجزیه شود. پودر بدست آمده خشک و با منیزیم مخلوط و به صورت یک قرص فشرده در دمای  $900^\circ C$  به مدت ۳۰ دقیقه کلوخه سازی شد (نمونه خشک). در نمونه دوم علاوه بر بور و سوکسینیک اسید تولوئن نیز برای همگن کردن نمونه در مرحله اول استفاده شد (نمونه تر). برای توصیف دقیق تر ساخت نمونه به مرجع [۱۰] رجوع شود. اندازه گیری و تراپردی های مغناطیسی با استفاده از سیستم اندازه گیری خواص مغناطیسی (PPMS) در دانشگاه ولانگوگ استرلیا توسط یکی از همکاران انجام گرفت.

### نتایج و تحلیل داده ها :

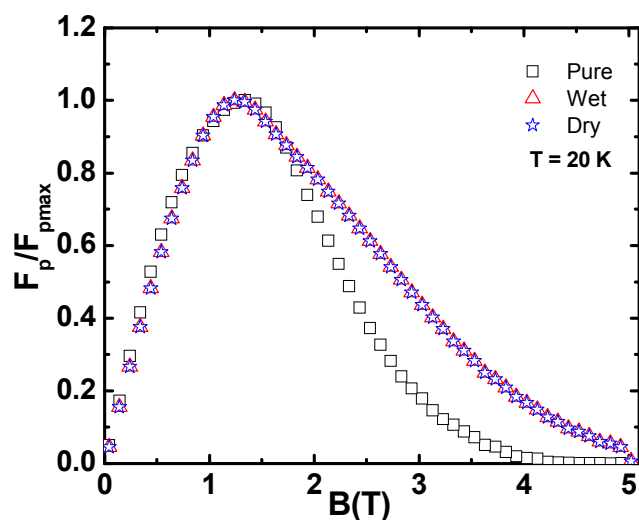
شکل ۱ الگوهای پراش X را برای  $MgB_2$  خالص و نمونه های خشک و تر آلوده به ۱۰٪ وزنی سوکسینیک اسید نشان می دهد. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود نمونه ها دارای ساختار  $MgB_2$  هستند اما در تمام نمونه ها تعداد اندکی قله مربوط به  $MgO$  نیز مشاهده می شود.  $MgO$  فاز غیرابرساناست و می تواند به عنوان مرکز میخکوبی عمل کند ولی با کاهش حجم ابرسانی باعث کاهش دمای بحرانی می شود. دمای بحرانی تعیین شده از روی داده های مقاومت الکتریکی برای  $MgB_2$  خالص و نمونه های خشک و تر آلوده به سوکسینیک اسید [۱۱]، به ترتیب ۳۷/۶۲، ۳۶/۷۶ و ۳۷/۱۵ کلوین می باشد. کاهش بیشتر در  $T_c$  نمونه خشک می تواند به علت مقدار بیشتر  $MgO$  در آن باشد.

پارامترهای شبکه از روی داده های اشعه X محاسبه شدند. مقادیر به دست آمده برای پارامتر  $a$  در نمونه خالص برابر  $3.08 \text{ \AA}$  می باشد حال آنکه در نمونه های آلوده خشک و تر مقدار آن به ترتیب به  $3.057 \text{ \AA}$  و  $3.071 \text{ \AA}$  می یابد. کاهش در پارامتر  $a$  شاهدی بر جانشینی کربن به جای بور است. همچنین جابجایی



شکل ۳: منحنی های  $f(b)$  بدست آمده برای نمونه خشک (سمت راست) و نمونه تر (سمت چپ). خط چین منطبق بر تابع  $b^{1/2}(1-b)^2$  است.

همانطور که در شکل ۳ دیده می شود به جز دمای ۳۴ K نتایج به دست آمده برای هر دو نمونه در  $b \geq 0.2$  به خوبی بر تابع  $b^{1/2}(1-b)^2$  منطبق می شوند. کاهش درجه دوم نیروی میخکوبی  $f \propto (1-b)^2$  در میدان های بالا و  $b_{peak} \sim 0.2$  از خصوصیات سازوکار میخکوبی برشی خطوط شار مغناطیسی است [۱۳]. در این حالت وقتی نیروی لورنتس گونه بیشتر از تنش شبکه خطوط شار شود گردشاره ها شروع به حرکت می کنند. از طرفی بر طبق مدل کرامرز  $p = 1/2$  و  $q = 2$  از خصوصیات سازوکار میخکوبی مغزی با مراکز میخکوبی عادی، سطحی است [۱۵].



شکل ۴: تغییرات نیروی میخکوبی کاهش یافته با میدان مغناطیسی برای نمونه های خالص خشک و تر در دمای ۲۰ K.

در دمای ۲۰ K و میدان ۴ T مقادیر بدست آمده  $J_c$  برای نمونه های تر و خشک به ترتیب هشت و چهار برابر مقداری است که در نمونه خالص مشاهده شده است [۱۲]. بزرگی جریان تحت میدان های بالا به علت افزایش مراکز میخکوبی است.  $J_c$  در میدان ۳ T و دمای ۲۵ K برای نمونه تر تقریباً  $2 \times 10^3 \text{ A/cm}^2$  است که دو برابر مقدار آن برای نمونه خشک است. همانطور که در شکل ۲ دیده می شود مقادیر  $J_c$  اندازه گیری شده در نمونه تر برای تمام میدان ها و دماها بزرگتر از نمونه خشک است. این نتایج نشان می دهند که افزودن تولون باعث جانمایی بهتر کربن و همگنی نمونه می شود که سبب بهبود اتصالات دانه ای و افزایش  $J_c$  می گردد.

نیروی میخکوبی گردشاره ها  $F_p$  محاسبه شد. رابطه بین نیروی میخکوبی گردشاره ها و چگالی جریان به صورت  $F_p = J_c \times B$  می باشد. برای مقایسه رفتار نمونه ها نیروی میخکوبی کاهش یافته  $(f = F_p / F_{pmax})$  به صورت تابعی از میدان کاهش یافته  $(b = B / B_{irr})$  برای هر دو نمونه در محدوده دمایی ۲۰-۳۴ کلوین در شکل ۳ رسم شده است. برای تعیین میدان برگشتناپذیری  $(B_{irr})$ ، از معیار  $J_c = 1000 \text{ A/cm}^2$  استفاده شد. همانطور که در شکل ۳ دیده می شود قله منحنی های  $f$  برای دو نمونه در حدود  $0.2$  است.  $b_{peak} \sim 0.2$  در کارهای دیگران نیز مشاهده شده است و به نظر می رسد از خصوصیات ذاتی  $MgB_2$  باشد [۱۳، ۱۴]. از رابطه  $b^p(1-b)^q$  جهت تحلیل داده ها استفاده شد.

- [4] J.H. Kim, S.X. Dou, M.S.A. Hossain, X. Xu, J.L. Wang, D.Q. Shi, T. Nakane, H. Kumakura, *Supercond. Sci. Technol.* 20 (2007) 715.
- [5] J. H. Lim, S. H. Jang, S. M. Hwang, J. H. Choi, J. Joo, W. N. Kang, C. Kim, *physica c*, 468(2008)1829-1832
- [6] M. D. Sumption, M. Bhatia, M. Rindfleisch, M. Tomsic, S. Soltanian, S. X. Dou, and E. W. Collings, *Appl. Phys. Lett.* 86 092507(2005).
- [7] Y. Ma, X. Zhang, G. Nishijima, K. Watanabe, S. Awaji, and X. Bai, *Appl. Phys. Lett.* 88 072502(2006).
- [8] S. R. Ghorbani, X. L. Wang, S. X. Dou, Sung-IK Lee, and M. S.A. Hossain, *Phys. Rev. B* 78 (2008) 184502.
- [9] M. R. Cimberle, et al. *Supercond. Sci. Tech.* 15 (2001) 43.
- [10] J. H. Kim, S. X. Dou, M. S. A. Hossain, X. Xu, J. L. Wang, D. Q. Shi, T. Nakane and H. Kumakura, *Supercond. Sci. Technol.* 20 (2007) 715-719.

[۱۱] قربانی شعبان رضا، دارینی مرتضی، کنفرانس فیزیک ایران، همدان صفحه ۲۷۱۲، ۱۳۸۹.

- [12] X. L. Wang, Z. X. Cheng, and S. X. Dou, *Appl. Phys. Lett.* 90,042501 (2007).
- [13] E. Martínez, P. Mikheenko, M. Martínez-López, A. Millán, A. Bevan, and J. S. Abell, *Phys. Rev. B* 75 (2007) 134515.
- [14] S. Keshavarzi, M. J. Qin, S. Soltanian, H. K. Liu, and S. X. Dou, *Physica C* 408-410, 601(2004).
- [15] E. J. Kramer, *J. Appl. Phys.* 44 (1973) 1360.
- [16] C. Tarantini, H.U. Aebbersold, C. Bernini, V. Braccini, C. Ferdeghini, U. Gambardella, E. Lehmann, P. Manfrinetti, A. Palenzona, I. Pallecchi, M. Vignolo, M. Putti, *Physica C* 463 (2007) 211.

در شکل ۴ مقادیر نیروی میخکوبی در دمای ۲۰ کلوین برای نمونه های خالص، تر و خشک مقایسه شده است. همانطور که در شکل ۴ دیده می شود برای میدان های بزرگتر از  $T = 2$  نیروی میخکوبی توسط آلایش سوکسنیک اسید افزایش می یابد به طوری که نیروی میخکوبی نمونه خالص در  $T = 4$  صفر شده است در حالی که برای نمونه های آلاییده به سوکسنیک اسید نیروی میخکوبی تا میدان  $T = 5$  مخالف صفر است، به عبارتی منحنی ها برای نمونه های آلاییده به سوکسنیک اسید نسبت به نمونه خالص پهن تر شده اند که این پهن شدگی منحنی به علت افزایش نیروی میخکوبی و نهایتاً چگالی جریان بحرانی می باشد.

عمدتاً سه سازوکار میخکوبی وجود دارد: میخکوبی مرز دانه، میخکوبی ناکاملی نقطه ای و تغییر پارامتر نظم. میخکوبی ناکاملی نقطه ای باعث پهن شدگی نمودار میخکوبی می شود و تغییر پارامتر نظم با جابجایی قله نمودار نیروی میخکوبی همراه است [۱۶]. همانطور که در شکل ۴ دیده می شود در نمودار قله جابجا نمی شود و چون چگالی مرزدانه برای تمام نمونه ها تقریباً یکسان است پس میتوان نتیجه گرفت که میخکوبی ناشی از ناکاملی نقطه ای است.

## نتیجه گیری

با افزودن ۱۰٪ وزنی سوکسنیک اسید به ابررسانای  $MgB_2$  نیروی میخکوبی ( $F_p$ ) و به تبع آن چگالی جریان بحرانی ( $J_c$ ) در میدان های مغناطیسی بالا افزایش یافت که دلیل آن جانشینی بخشی از کربن به جای بور و نشستن بخش غیرواکنشی در مرزدانه ها و افزایش میخکوبی شار مغناطیسی می باشد.

## سپاسگزاری

از آقایان پروفیسور شی و پروفیسور ونگ برای همکاری و اجازه ای استفاده از تجهیزات دانشگاه ولونگونگ استرالیا صمیمانه تشکر می گردد.

## منابع

- [1] J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani and J. Akimitsu, *Nature* 410 (2001) 63.
- [2] H. L. Suo, C. Beneduce, M. Dhallo, N. Musolino, J-H. Genoud, and R. Flukiger, *Appl. Phys. Lett.* 79 (2001) 3116-3118.
- [3] W.J. Feng, T.D. Xia, T.Z. Liu, W.J. Zhao, Z.Q. Wei, *Physica C* 425 (2005) 144.