

تأثیر سیلیکون بر خواص ابررسانایی MgB_2

مؤذن، سیما^۱؛ قربانی، شعبان رضا^۲

^۱گروه فیزیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار

^۲گروه فیزیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

چکیده

خواص ابررسانایی MgB_2 آلانیده به ۵ درصد سیلیکون با اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی و چگالی جریان الکتریکی بحرانی به صورت تابعی از دما و میدان مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفت. از روی نتایج مقاومت الکتریکی، میدان بحرانی بالایی و میدان برگشت‌ناپذیری تعیین گردید. نتایج نشان داد که به علت افزودن سیلیکون به ابررسانایی MgB_2 ، میخکوبی شار مغناطیسی افزایش و بنابراین میدان بحرانی بالایی و میدان برگشت‌ناپذیری و چگالی جریان بحرانی ابررسانایی آلانیده به سیلیکون نسبت به نمونه‌ی خالص بهبود می‌یابد. نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از افزودن نانوکربن به MgB_2 مقایسه شد و در نهایت مشاهده شد که سیلیکون بهتر از نانوکربن می‌تواند میخکوبی شار را در MgB_2 بهبود بخشد.

Effect of Si on superconductivity properties of MgB_2

Moazen, S.¹; Ghorbani, S.R.²

¹Department of physics, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

²Department of physics, Ferdowsi University of Mashhad, Mshhad, Iran

Abstract

Superconducting properties of 5% wt Silicon doped MgB_2 superconductor was studied by the electrical resistivity and the critical current density measurements as a function of temperature and magnetic field. The upper critical field and irreversibility field was determined. The results showed that the upper critical field, the irreversibility field and the critical current density for Si doped MgB_2 superconductor was improved in comparison with pure MgB_2 sample. Therefore the magnetic flux pinning can be enhanced by Silicon doping MgB_2 . The results were compared with the results of NanoC doped MgB_2 . Finally it was found that Silicon is more effective than NanoC to improve the flux pinning in MgB_2 .

PACS NO.74

مقدمه

زمینه بیشتر مورد استفاده قرار گرفته، آلایش MgB_2 با عناصر یا ترکیب‌های مختلف، به‌ویژه با مواد شامل کربن، بوده‌است. افزایش $J_c(H)$ در MgB_2 به دلیل جانشینی کربن با منابع مختلف کربن تأیید شده‌است [۷و۶]. در کار حاضر ویژگی‌های ابررسانایی MgB_2 آلانیده به ۵ درصد وزنی سیلیکون مورد مطالعه قرار گرفته‌است. نتایج حاکی از افزایش قابل توجهی در چگالی جریان بحرانی MgB_2 آلانیده به سیلیکون در مقایسه با MgB_2 خالص است. به دلیل توجه زیادی که تاکنون به کربن به‌عنوان یک آلانیده شده‌است، نتایج کار حاضر با نتایج حاصل از افزودن نانوکربن به MgB_2 مقایسه گردیده‌است.

ابررسانایی MgB_2 به دلیل دمای گذار (T_c) نسبتاً بالا، نداشتن اتصالات ضعیف، قابلیت حمل چگالی جریان‌های بالا و کم‌هزینه بودن مواد اولیه، علاقه‌ی پژوهشگران زیادی را در زمینه‌ی تحقیقات کاربردی و بنیادی برانگیخته‌است [۱-۳]. استفاده از این ماده برای کاربردهایی مثل تصویرسازی با تشدید مغناطیسی^۱، آهنرباهای قوی و کابل‌های انتقال جریان می‌تواند بسیار مفید باشد. با همی این اوصاف، چگالی جریان بحرانی (J_c) در MgB_2 تحت اثر میدان مغناطیسی به سرعت کاهش می‌یابد. روش‌های متنوعی برای بهبود وابستگی چگالی جریان به میدان مغناطیسی تجربه شده‌است [۴و۵]. از بین آن‌ها، روشی که در این

^۱ MRI

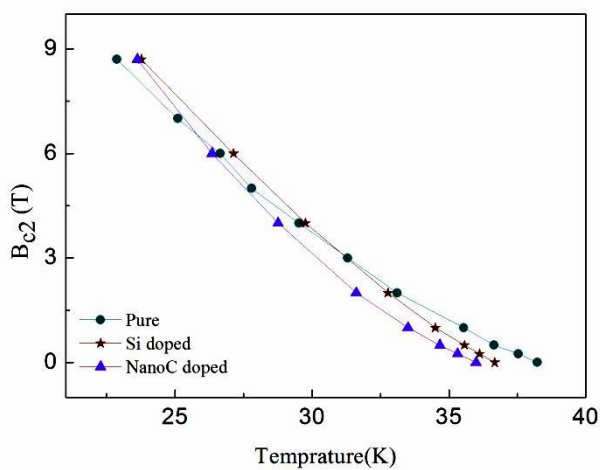
آماده‌سازی و روش‌های اندازه‌گیری

جهت ساخت نمونه‌ی MgB_2 آلاییده با ۵ درصد وزنی سیلیکون، مخلوط پودر بورن و پودر منیزیم هرکدام با خلوص ۹۹٪ استفاده شد که با پودر ذرات سیلیکون (با اندازه ۱۰-۲۰ نانومتر) به صورت آماده به روش درمحل^۱ در دمای کلوخه‌سازی $900^{\circ}C$ در دانشگاه ولانگونگ استرالیا ساخته شدند. با استفاده از سیستم اندازه‌گیری خواص فیزیکی^۲ مقاومت الکتریکی و حلقه‌های پسماند مغناطیسی به صورت تابعی از دما و میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شد.

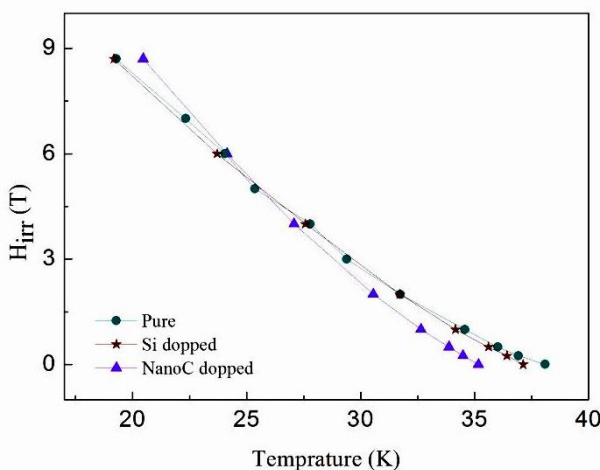
تغییرات دمایی مقاومت الکتریکی در حضور میدان مغناطیسی برای تعیین دو پارامتر میدان برگشت‌ناپذیری و میدان بحرانی بالایی معیار مناسبی است. میدان بحرانی بالایی و میدان برگشت-ناپذیری به ترتیب از روی معیار کاهش ۹۰ درصد و ۱۰ درصد مقاومت الکتریکی نسبت به حالت عادی در میدان‌های مغناطیسی مختلف تعیین گردید. نتایج به دست آمده برای میدان بحرانی بالایی و میدان برگشت‌ناپذیری به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ همراه با مقادیر مربوط به نمونه‌های MgB_2 خالص و آلاییده به نانوکربن [۸]، که برای مقایسه آورده شده، نشان داده شده‌اند.

بحث و نتایج

نتایج اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی بر حسب دما به ازای میدان‌های مغناطیسی $0-8.7 T$ در شکل ۱ نشان داده شده است. به ازای تمام میدان‌ها با افزایش دما مقاومت الکتریکی نمونه افزایش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش میدان مغناطیسی، افزایشی در پهن-شدگی ناحیه‌ی گذار مقاومت مشاهده می‌شود که دلیل ایجاد آن خزش شار مغناطیسی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش میدان مغناطیسی اعمال شده، دمای گذار کاهش می‌یابد. دمای بحرانی نمونه در غیاب میدان مغناطیسی مقدار $37.4 K$ بود که در مقایسه با دمای بحرانی MgB_2 خالص که برابر با $37.9 K$ می‌باشد، کاهش اندکی را نشان می‌دهد.

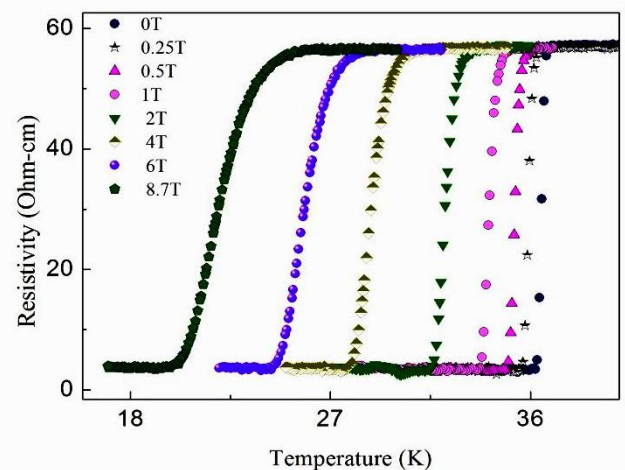


شکل ۲: تغییرات میدان بحرانی بالایی بر حسب دما.



شکل ۳: تغییرات میدان برگشت‌ناپذیری بر حسب دما.

میدان بحرانی بالایی در دماهای پایین نسبت به نمونه‌ی خالص افزایشی را نشان می‌دهد، زیرا آلایش MgB_2 به ۵ درصد وزنی

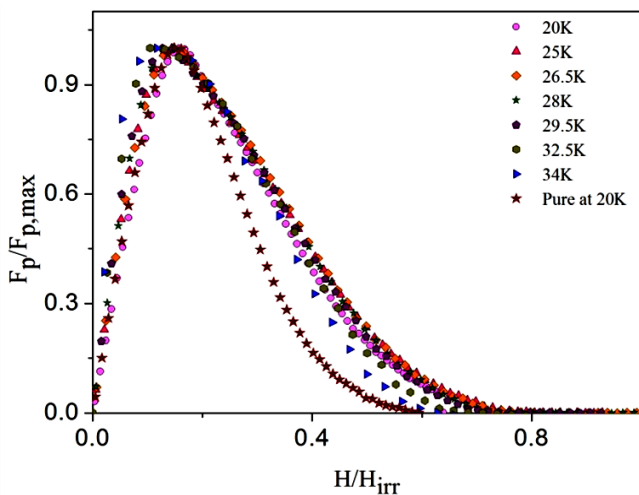


شکل ۱: تغییرات مقاومت ویژه بر حسب دما در میدان‌های مغناطیسی مختلف

^۱ In-situ
^۲ PPMS

مشاهده می‌شود که چگالی جریان بحرانی برای نمونه‌های MgB_2 خالص و آلاییده به ۵٪ وزنی سیلیکون در میدان‌های مغناطیسی پایین تقریباً ثابت بوده ولی با افزایش میدان مغناطیسی و دما کاهش می‌یابد. چگالی جریان بحرانی نمونه‌ی آلاییده شده در دمای ۲۰ K و میدان مغناطیسی ۴ T برابر $2/03 \times 10^7 A/cm^2$ می‌باشد.

در ابررسانای نوع II شارش جریان از داخل ابررسانا با اعمال نیرو به گردش‌ها باعث حرکت آن‌ها در راستای عمود بر جریان می‌شود. می‌توان با ایجاد مراکز میخکوبی از حرکت گردش‌ها جلوگیری کرد و شرایط را برای انتقال چگالی جریان‌های بزرگتری در میدان‌های مغناطیسی بزرگتر، از ابررسانا فراهم نمود. نیروی میخکوبی از روی رابطه‌ی $F_p = J_c \times B$ به دست می‌آید. شکل ۵ نتایج به دست آمده برای نیروی میخکوبی بهنجار شده به مقدار نیروی میخکوبی بیشینه، F_{pmax} ، برحسب میدان مغناطیسی بهنجار شده به میدان برگشت‌ناپذیر، H/H_{irr} ، را نشان می‌دهد. در شکل شاهد کاهش پهنای منحنی میخکوبی با افزایش دما می‌باشیم که



شکل ۵: نیروی میخکوبی بهنجار شده برای دماهای مختلف.

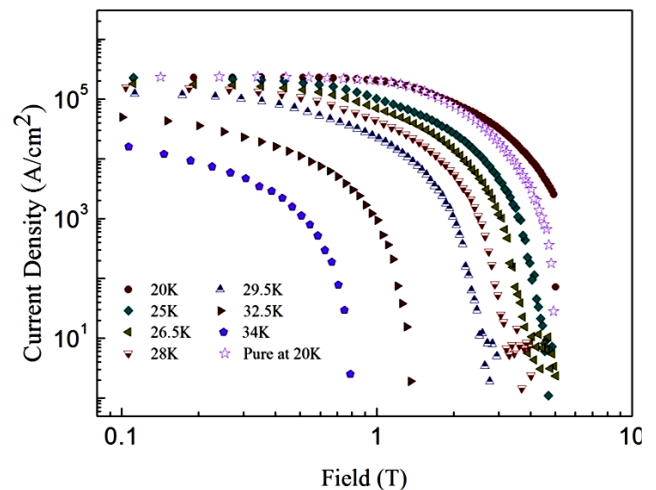
نشان دهنده کاهش نیروی میخکوبی می‌باشد. برای مقایسه، نیروی میخکوبی شار در دمای ۲۰ K برای نمونه‌ی MgB_2 خالص نیز به شکل ۵ افزوده شده‌است. با توجه به شکل، برای نمونه‌ی خالص در دمای ۲۰ K و $H/H_{irr} = 0/4$ ، نیروی میخکوبی بهنجار شده برابر $0/407$ است در حالی که مقدار آن برای نمونه‌ی خالص برابر $0/174$ می‌باشد و این نشان می‌دهد که سیلیکون افزوده شده به

سیلیکون باعث کاهش طول پویس آزاد میانگین، l و در نتیجه کاهش طول همدوسی، ξ ، و نهایتاً افزایش H_{c2} می‌شود [۹]. همان‌طور که دیده می‌شود نمونه‌ی آلاییده به نانوکربن نیز چنین رفتاری دارد اما سیلیکون در افزایش H_{c2} مؤثرتر از نانوکربن می‌باشد. البته با توجه به شکل ۳ می‌توان دید که میدان برگشت‌ناپذیری نمونه‌ی آلاییده به سیلیکون نسبت به نمونه‌ی خالص تغییر چندانی نیافته در حالی که در مورد نمونه‌ی آلاییده به نانوکربن در دماهای پایین میدان برگشت‌ناپذیری نسبت به نمونه‌ی MgB_2 خالص افزایش یافته‌است.

چگالی جریان براساس مدل بحرانی بین و با استفاده از رابطه‌ی زیر تعیین گردید:

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

در این رابطه ΔM پهنای منحنی پسماند مغناطیسی، V حجم نمونه و a و b ابعاد نمونه در راستای صفحات Mg می‌باشند. چگالی جریان بحرانی برای MgB_2 آلاییده به ۵ درصد وزنی سیلیکون به صورت تابعی از میدان مغناطیسی و دما در شکل ۴ نشان داده شده‌است. جهت مقایسه‌ی چگالی جریان بحرانی نمونه‌ی MgB_2 آلاییده شده به سیلیکون با نمونه‌ی خالص، چگالی جریان به دست آمده برای نمونه‌ی خالص در دمای ۲۰ K نیز به شکل ۴ اضافه گردیده‌است.



شکل ۴: تغییرات چگالی جریان بحرانی برحسب میدان مغناطیسی

نتیجه گیری

آلایش MgB_2 با سیلیکون موجب بهبود ویژگی های ابررسانایی آن از جمله میدان بحرانی بالایی، چگالی جریان بحرانی و نیروی میخکوبی می شود. البته این بهبودی همراه با کاهش اندکی در دمای گذار MgB_2 می باشد. در اثر آلایش، میدان بحرانی بالایی در دماهای پایین و چگالی جریان بحرانی در میدان های بالا نسبت به نمونه ی خالص افزایش می یابند. این نتایج حاکی از بهبود میخکوبی شار مغناطیسی می باشد. مقایسه ی نتایج با نتایج حاصل از افزودن نانوکربن نیز حاکی از مؤثرتر بودن سیلیکون در بهبود خواص ابررسانایی MgB_2 می باشد.

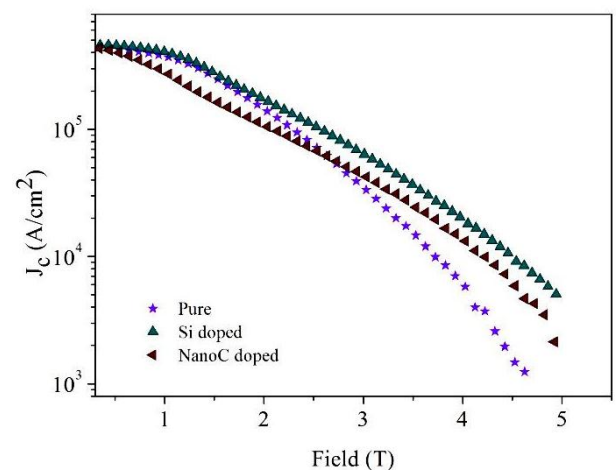
سپاسگزاری

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

مراجع

- [1] J. Nagamatsu, N. Nakagawa, T. Muranaka, Y. Zenitani, J. Akimitsu, *Nature* **410** (2001) 63.
 - [2] S.R. Ghorbani, X. L. Wang, S. X. Dou, Lee, M. S. A. Hossain. *Phys. Rev. B* **78** (2008) 184502.
 - [3] J. Wang, Y. Bugoslavsky, A. Berenov, L. Cowey, A.D. Caplin, L.F. Cohen, J.L. MacManus-Driscoll, L.D. Cooley, X. Song, D.C. Larbalestier, *Appl. Phys. Lett.* **81** (2002) 2026.
 - [4] C. Tarantini, H.U. Aebersold, V. Braccini, G. Celentano, C. Ferdeghini, V. Ferrando, U. Gambardella, F. Gatti, E. Lehmann, P. Manfrinetti, D. Marre, A. Palenzona, I. Pallecchi, I. Sheikin, I. Sheikin, A.S. Siri, M. Putti, *Phys. Rev. B* **73** (2006) 4518.
 - [5] A. Serquis, L. Civale, D.L. Hammon, X.Z. Liao, J.Y. Coulter, Y.T. Zhu, M. Jaime, D.E. Peterson, F.M. Mueller, V.F. Nesterenko, Y. Gu, *Appl. Phys. Lett.* **82** (2003) 2847.
 - [6] X.P. Zhang, Y.W. Ma, Z.S. Gao, D.L. Wang, Z.G. Yu, L. Wang, *Supercond. Sci. Technol.* **20** (2007) 1198.
 - [7] X.P. Zhang, D.L. Wang, Z.S. Gao, L. Wang, Y.P. Qi, Z.Y. Zhang, Y.W. Ma, S. Awaji, G. Nishijima, K. Watanabe, E. Mossang, X. Chaud, *Supercond. Sci. Technol.* **23** (2010) 025024.
- [۸] غ. فرشیدنیا، غزاله ؛ ش. ر. قربانی، " خواص ابررسانایی MgB_2 آلاییده به نانوکربن"، یازدهمین کنفرانس فیزیک ماده چگال ایران، شاهرود (۱۳۹۱).
- [۹] ش. ر. قربانی "مقدمه ای بر ابررسانایی"، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، نشر چاپار (۱۳۹۰).

MgB_2 باعث افزایش ۲/۳۴ برابری نیروی میخکوبی بهنجار شده می گردد. بنابراین افزودن سیلیکون به MgB_2 ، میخکوبی شار مغناطیسی را در میدان های مغناطیسی بالاتر افزایش می دهد. اما مقایسه ی نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از افزودن نانوکربن به MgB_2 حاکی از این است که در میدان های مغناطیسی بالا، چگالی جریان بحرانی و میدان بحرانی بالایی در نمونه ی آلاییده به سیلیکون نسبت به نمونه ی آلاییده به نانوکربن مقادیر بیشتری داشته و بنابراین میخکوبی شار در این نمونه بهتر انجام می شود. نتایج چگالی جریان بحرانی مربوط به نمونه ی مورد مطالعه با نتایج مربوط به نمونه ی MgB_2 آلاییده به نانوکربن [۸] و MgB_2 خالص در دمای ۲۰ K در شکل ۶ مقایسه شده اند.



شکل ۶: مقایسه ی مقادیر چگالی جریان بحرانی در دمای ۲۰K برای سه نمونه نمونه ی MgB_2 خالص و آلاییده به نانوکربن [۸] و سیلیکون

همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود، سیلیکون باعث بهبودی بهتری نسبت به نانوکربن در چگالی جریان بحرانی می شود. به عنوان مثال در میدان ۴T مقدار چگالی جریان بحرانی برای نمونه MgB_2 آلاییده به نانوکربن 1.36×10^4 A/cm² است در حالی که مقادیر چگالی جریان بحرانی برای نمونه های MgB_2 خالص و آلاییده به سیلیکون به ترتیب برابر 5.8×10^2 A/cm² و 2.03×10^2 A/cm² می باشد. این نشان می دهد که سیلیکون نسبت به کربن تأثیر بیشتری روی سازوکار میخکوبی شار مغناطیسی دارد.