

نقش حضور Si و Co بر خواص مغناطو الاستیکی آلیاژهای $Er_2Fe_{14-x}Co_xSi_2$ داود ثنائی خشنود^۱، ناصر تجبر^۱، محمدرضا علی نژاد^۱، فانز پورآرین^۲

۱- مشهد، پردیس، دانشگاه فردوسی، دانشکده علوم، گروه فیزیک

۲- آمریکا، پنسیلوانیا، پیتسبورگ، دانشگاه کارنگی ملون

پست الکترونیکی: da_sa10@stu-mail.um.ac.ir

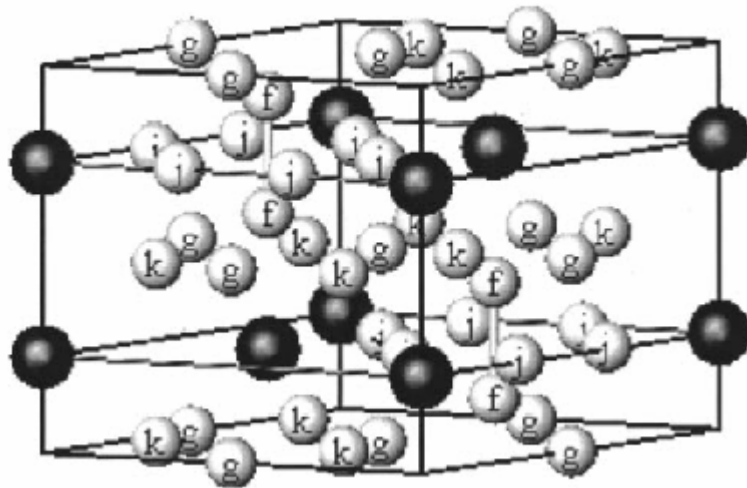
چکیده

در این تحقیق خواص مغناطو الاستیکی آلیاژهای بین فلزی $Er_2Fe_{14-x}Co_xSi_2$ ($x = 0, 4$) به روش پیمانه‌ی کرنش-سنج در بازه دمایی ۷۷ K تا ۳۰۰ K در گستره میدانهای مغناطیسی تا ۱/۵ T اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌های مغناطوتنگش موازی (λ_p) این دو ترکیب، روند افزایشی را تا قبل از دمای بازجهت‌گیری اسپینی (T_{SR}) از خود نشان می‌دهند. جاننشانی Co باعث می‌شود، مغناطو تنگش ناهمسانگرد ($\Delta\lambda$) رفتار اشباعی در حوالی دمای بازجهت‌گیری اسپینی از خود نشان دهد، ولی چنین رفتاری در ترکیب بدون Co در بازه دمایی ۷۷ K تا ۳۰۰ K مشاهده نمی‌شود. همچنین در اثر جاننشانی Co منحنی‌های مغناطوتنگش حجمی ($\Delta V/V$) بعد از دمای باز جهت‌گیری اسپینی تغییر علامت می‌دهند. نتایج مشاهده شده در رفتار مغناطوتنگشی این ترکیبات بر حسب تاثیر Co بر میدان ناهمسانگردی این دو ترکیب بحث و بررسی شد. واژه‌های کلیدی: آلیاژهای بین فلزی، میدان مغناطو بلوری، باز جهت‌گیری اسپینی، مغناطو تنگش

مقدمه

در دهه‌های اخیر یکی از مهمترین هدفهای پژوهشگران در علم مغناطیس، تلاش برای دستیابی به آهن‌رباهای دائمی برای کاربردهای صنعتی بوده است. در اواسط دهه ۱۹۷۰ میلادی، ترکیبات R_2Fe_{17} (R یک عنصر خاکی نادر) به عنوان گروهی از آهن‌رباهای دائمی کشف شدند. بر خلاف مغناطش بالا، دمای کوری نسبتاً پایین و ناهمسانگردی مغناطو بلوری صفحه‌ای این ترکیبات، کاربرد آنها را به عنوان آهن‌رباهای دائمی محدود می‌کرد [۱]. در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی، جاننشانی Si و Al و وارد کردن ناخالصی‌های C و N به طور چشمگیری خواص مغناطیسی این ترکیبات را بهبود بخشید به طوری که جزء دسته آهن‌رباهای دائمی برای کاربرد صنعتی قرار گرفتند [۲-۳]. ترکیبات با عدم موازنه عنصری $Er_2Fe_{14-x}Co_xSi_2$ ، به گروه ترکیب R_2Fe_{17} تعلق دارند. نشاندن Si و Co به جای Fe باعث کاهش حجم یاخته یک‌ه این ترکیبات می‌شود. در اثر این کاهش حجم، برهمکنش تبدیلی 3d-3d افزایش می‌یابد و پیامد آن، افزایش دمای کوری این ترکیبات است. این ترکیبات دارای ساختار بلوری ششگوشی (Th_2Ni_{17}) با گروه فضایی $P6_3/mmc$ هستند. در این ساختار دو جایگاه برای عنصر خاکی نادر R ($R_1, 2b; R_2, 2d$) چهار جایگاه برای عناصر واسط ($4f; 4f_1, 4f_2, 4f_3, 4f_4, 4f_5, 4f_6, 4f_7, 4f_8, 4f_9, 4f_{10}, 4f_{11}, 4f_{12}$) وجود دارد. شکل ۱، یاخته یک‌ه ششگوشی را در ساختار Th_2Ni_{17} نشان می‌دهد. در شکل ۱، جایگاه‌های 12k با k جایگاه‌های 12j با j، جایگاه‌های 6g با g و جایگاه‌های 4f با f، نشان داده شده‌اند. در اثر جاننشانی Si و Co، در این ترکیبات، گذار بازجهت‌گیری اسپینی پدید می‌آید، گذار بازجهت‌گیری اسپینی به ازای $x = 0$ در دمای ۱۰۰ K و به ازای $x = 4$ ، ۲۳۰ K، می‌باشند. این ترکیبات در زیر دمای بازجهت‌گیری اسپینی دارای ناهمسانگردی محوری و در بالای آن دارای ناهمسانگردی صفحه‌ای-اند [۴-۵].

با توجه به آنکه جاننشانی Co بر خواص مغناطیسی این ترکیبات، تاثیر عمده‌ای دارد، مطالعه رفتار مغناطو-الاستیکی آنها و نقش Co بر آن، از اهمیت بسزایی برخوردار است.



شکل ۱، یاخته یکه ششگوشی ساختار ۱۷:۲. نقاط سیاه رنگ اتم‌های خاکی نادر و نقاط سفید رنگ اتم‌های عناصر واسطه را نشان می‌دهند.

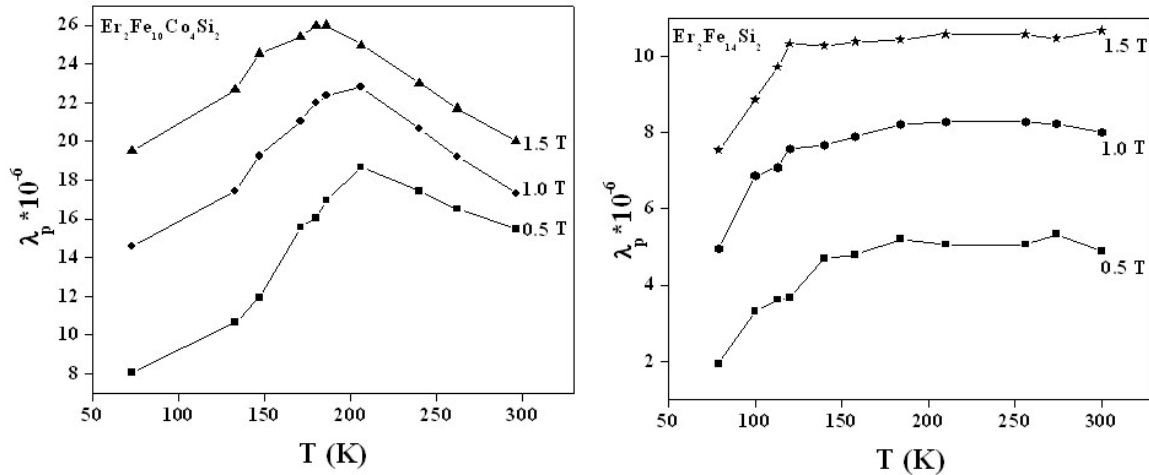
شرح آزمایش

آلیاژهای $Er_2Fe_{14-x}Co_xSi_2$ ، با استفاده از عناصر سازنده ترکیب (Er, Fe, Co, Si) با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد در بوته مسی که با آب خنک می‌شود در حضور گاز Ar در یک کوره القائی ذوب شدند. برای همگنی کامل فازهای حاصل، نمونه‌ها به مدت ۳ روز در دمای ۹۰۰ درجه سانتیگراد باز پخت شدند، سپس نمونه‌ها با سرعت در دمای اتاق سرد شدند. برای اطمینان از همگنی فاز و ساختار بلوری نمونه‌ها، از پراش پرتوی X با تابش $Cu - K\alpha$ استفاده شد و همگنی فاز آنها تأیید شد.

برای مطالعه آثار مغناطوسلاستیکی از بدنه نمونه‌ها، قرصی به قطر ۷ mm و ضخامت ۳ mm برش داده شد. پس از نصب پیمانه‌ی کرنش سنج روی نمونه‌ها، مغناطوسنج در بازه دمایی ۷۷ تا ۳۰۰ K و میدان‌های تا ۱/۵ T، اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری مغناطوسنج نمونه‌ها در راستای موازی با میدان خارجی (λ_p) و عمود بر آن (λ_n)، مغناطوسنج ناهمسانگرد $\Delta\lambda = \lambda_p - \lambda_n$ و مغناطوسنج حجمی $\Delta V/V = \lambda_p + 2\lambda_n$ محاسبه شدند. دقت اندازه‌گیری‌ها بهتر از 10^{-6} است. دمای نمونه‌ها به کمک ترموکوپل Pt-100 با دقت ۱ K، کنترل شد.

نتایج و بحث

شکل ۲، وابستگی دمایی مغناطوسنج موازی (λ_p) آلیاژهای $Er_2Fe_{14}Si_2$ و $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ را در میدان‌های متفاوت (۰/۵، ۱/۰، ۱/۵ T) نشان می‌دهد. در شکل ۲-الف، مغناطوسنج موازی آلیاژ $Er_2Fe_{14}Si_2$ ، قبل از دمای T_{SR} روند افزایشی دارد و پس از آن رفتار تقریباً ثابتی را بر حسب دما از خود نشان می‌دهد. این چنین رفتاری نیز در منحنی مغناطوسنج موازی $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ (شکل ۲-ب) پیش از دمای T_{SR} ، مشاهده می‌شود، ولی بعد از آن با افزایش دما (λ_p) کاهش می‌یابد. بیشینه مشاهده شده در منحنی مغناطوسنج موازی این ترکیب‌ها، وابسته به دمای باز جهت‌گیری اسپینی است که متناظر با کمینه ناهمسانگردی مغناطوسنج بلوری این ترکیبات است [۶].



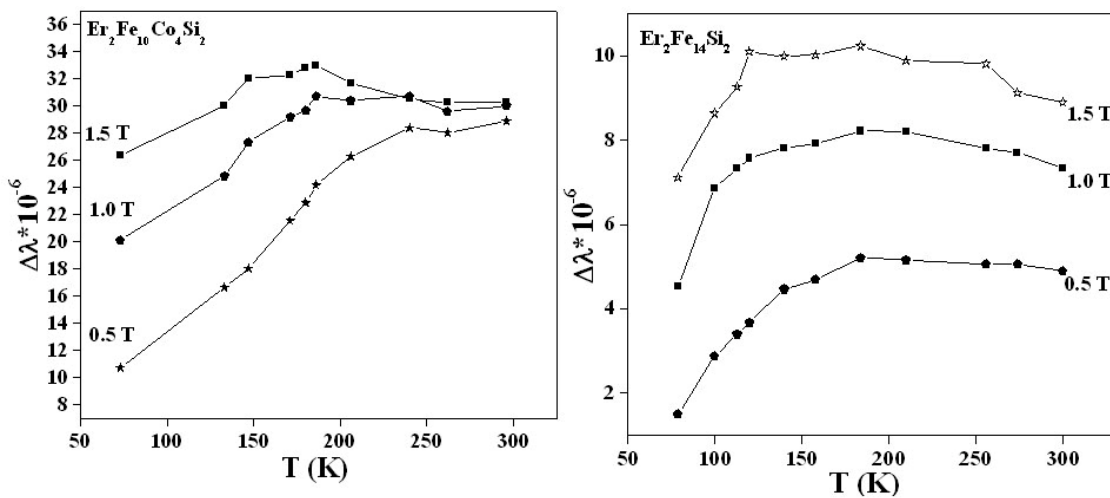
شکل ۲، وابستگی دمایی مغناطوس تنگش موازی (λ_p) آلیاژها در میدانهای متفاوت (۰٫۵، ۱٫۰، ۱٫۵ T) (الف) آلیاژ $Er_2Fe_{14}Si_2$

(ب) آلیاژ $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$

شکل ۳، وابستگی دمایی مغناطوس تنگش ناهمسانگرد $\Delta\lambda$ آلیاژها را در میدانهای متفاوت (۰٫۵، ۱٫۰، ۱٫۵ T) نشان می‌دهد. در شکل ۳- الف، مغناطوس تنگش ناهمسانگرد آلیاژ $Er_2Fe_{14}Si_2$ ، رفتاری مشابه با مغناطوس تنگش موازی این آلیاژ دارد. این به دلیل آن است که مغناطوس تنگش عمودی (λ_n) این ترکیب سهم ناچیزی از خود نشان می‌دهد. در شکل ۳- ب، مغناطوس تنگش ناهمسانگرد $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ ، تا قبل از دمای T_{SR} ، روند افزایشی بر حسب دما دارد، ولی بعد از دمای T_{SR} ، رفتار نسبتاً ثابتی از خود نشان می‌دهد. مغناطوس تنگش ناهمسانگرد هر دو ترکیب به لحاظ علامت و اندازه با مقادیر گزارش شده ترکیب Er_2Fe_{17} متفاوت است [۷]. این تفاوت ناشی از جاننشانی Si و Co و تاثیر آنها بر نوع ناهمسانگردی مغناطوس بلوری است. ناهمسانگردی زیر شبکه خاکی نادر (Er) توسط میدان بلوری (CEF) این زیر شبکه ایجاد می‌شود و در پایین-ترین مرتبه به صورت تقریبی زیر بیان می‌شود

$$K_1^{Er} = -\frac{3}{2}\alpha_J \langle r^2 \rangle \langle O_0^2 \rangle A_0^2$$

حضور Si در نزدیکی یونهای Er^{+3} در ترکیب $Er_2Fe_{14}Si_2$ ، باعث ایجاد پارامتر میدان بلوری مرتبه دوم بزرگ و مثبت A_0^2 می‌شود. بنابراین با توجه به این که ام Er ، ضریب استیونس مرتبه دوم (α_J) منفی دارد



شکل ۳، وابستگی دمایی مغناطوس تنگش ناهمسانگرد ($\Delta\lambda$) آلیاژها در میدانهای متفاوت (۰٫۵، ۱٫۰، ۱٫۵ T)

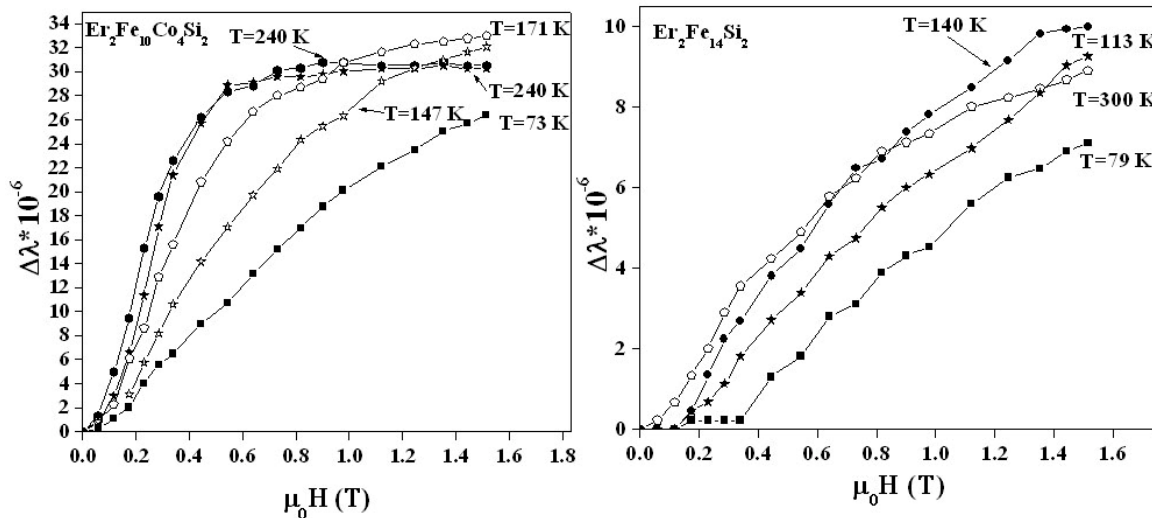
(الف) آلیاژ $Er_2Fe_{14}Si_2$ (ب) آلیاژ $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$

جانمایی Si باعث القاء ناهمسانگردی محوری ($K_1^{Er} > 0$) در این ترکیب می‌شود. ناهمسانگردی محوری تا قبل از دمای T_{SR} ، غالب است و بعد از آن ناهمسانگردی زیر شبکه Fe، غالب می‌شود. بنابراین انتظار می‌رود مغناطوتنگش ناهمسانگرد این ترکیب نسبت به ترکیب پایه Er_2Fe_{17} ، تغییر قابل ملاحظه‌ای به لحاظ علامت و اندازه داشته باشد. از طرفی جانمایی اتم‌های Co، در $Er_2Fe_{14}Si_2$ باعث افزایش مغناطوتنگش ناهمسانگرد این ترکیب می‌شود. این افزایش ناشی از افزایش ناهمسانگردی محوری این ترکیب در اثر جانمایی اتم‌های Co، است.

در ترکیبات $Er_2Co_{17-x}Si_x$ ، به ازای $x \geq 1/5$ (مقدار جانمایی اتم‌های Si، از اهمیت برخوردار است) سهم ناهمسانگردی Co در ترکیبات به صورت محوری است [۹]. بنابراین انتظار می‌رود با توجه به حضور دو اتم Si در این ترکیب، جانمایی اتم‌های Co، ناهمسانگردی محوری در این ترکیب القاء کنند. این افزایش در ناهمسانگردی محوری، باعث افزایش مغناطوتنگش ناهمسانگرد در ترکیب $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ ، نسبت به ترکیب $Er_2Fe_{14}Si_2$ می‌شود.

شکل ۴، مغناطوتنگش ناهمسانگرد ($\Delta\lambda$) آلیاژها را بر حسب میدانهای مغناطیسی مختلف در دماهای برگزیده نشان می‌دهد. مغناطوتنگش ناهمسانگرد آلیاژ $Er_2Fe_{14}Si_2$ رفتار اشباعی بر حسب میدان در هیچ یک از دماهای برگزیده (شکل ۴- الف) نشان نمی‌دهد. در شکل ۴- ب، رفتار اشباعی در منحنی‌های هم دمای مغناطوتنگش ناهمسانگرد آلیاژ $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ ، بعد از دمای T_{SR} ، مشاهده می‌شود. از آنجا که میدان ناهمسانگردی در دمای T_{SR} ، کمینه است، انتظار داشتیم در هر دو ترکیب، رفتار اشباعی مشاهده شود. عدم مشاهده رفتار اشباعی در ترکیب $Er_2Fe_{14}Si_2$ ، نشان می‌دهد که مد غالب مغناطوتنگشی در دو ترکیب متفاوت است که این می‌تواند ناشی از جانمایی اتم‌های Co، باشد.

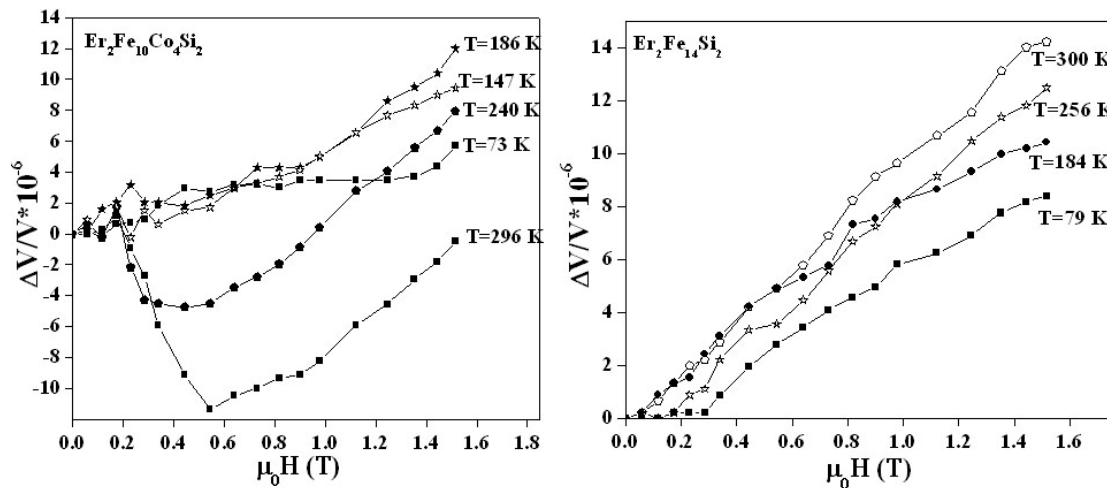
شکل ۵، منحنی‌های هم دمای مغناطوتنگش حجمی ($\Delta V/V$) نمونه‌ها را بر حسب میدانهای مغناطیسی مختلف در دماهای برگزیده نشان می‌دهد. در هر دو آلیاژ، رفتار اشباعی بر حسب میدانهای مغناطیسی مشاهده نمی‌شود. در شکل ۴- ب، منحنی‌های هم دمای مغناطوتنگش حجمی $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ ، بعد از دمای T_{SR} ، تغییر علامت می‌دهند و با افزایش میدان کاهش می‌یابند و به مقدار کمینه خود می‌رسند، سپس با افزایش



شکل ۴، منحنی‌های هم دمای مغناطوتنگش ناهمسانگرد ($\Delta\lambda$) بر حسب میدان خارجی در دماهای برگزیده

(الف) آلیاژ $Er_2Fe_{14}Si_2$ (ب) آلیاژ $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$

میدان به صورت خطی افزایش می‌یابند. این تغییر علامت در منحنی‌های مغناطوتنگش حجمی، می‌تواند ناشی از تغییر نوع ناهمسانگردی بعد از دمای T_{SR} ، باشد. منحنی‌ها نشان می‌دهند با افزایش دما از دمای T_{SR} ، کمینه مشاهده در منحنی‌های مغناطوتنگش حجمی در میدان‌های بزرگتری رخ می‌دهد، این رفتار می‌تواند ناشی از افزایش میدان ناهمسانگردی صفحه‌ای بر حسب دما در گستره دمایی اندازه‌گیری شده باشد.



شکل ۵، منحنی‌های هم دمای مغناطو تنگش حجمی ($\Delta V/V$) بر حسب میدان خارجی در دماهای برگزیده

الف) الیاژ $Er_2Fe_{14}Si_2$ (الف) الیاژ $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ (ب)

برداشت

در این تحقیق، مغناطو تنگش الیاژهای $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ و $Er_2Fe_{14}Si_2$ مورد بررسی قرار گرفت. وابستگی‌های دمایی مغناطو تنگش موازی هر دو ترکیب، مقدار بیشینه‌ای را در نزدیکی دمای بازجهت‌گیری اسپینی، نشان می‌دهند که ناشی از کمپنه ناهمسانگردی مغناطیسی در این دما است. همچنین منحنی‌های مغناطو تنگش ناهمسانگرد بر حسب دما نشان داد که جانشانی اتم‌های Co باعث افزایش مغناطو تنگش ناهمسانگرد می‌شود که این اثر وابسته به افزایش ناهمسانگردی محوری در اثر جانشانی Co است. همچنین بر خلاف ترکیب $Er_2Fe_{14}Si_2$ ، رفتار اشباعی در منحنی‌های هم دمای مغناطو تنگش ناهمسانگرد $Er_2Fe_{10}Co_4Si_2$ مشاهده می‌شود. رفتار متفاوت دو ترکیب نشان می‌دهد که مدهای مغناطو تنگشی غالب در دو ترکیب متفاوت است.

مراجع

- [1] X.C. Kou, F.R. de Boer, R. Grossinger, G. Wiesinger, H. Suzuki, H. Kitazawa, T. Takamasu, G. Kido, J. Magn. Magn. Mater. 177-181 (1998) 1002-1007
- [2] Z. Altounian, X. Chen, L.X. Liao, D.H. Ryan, J.O. Storm-Olsen, J. Appl. Phys. 73 (1993) 6017
- [3] J.L. Wang, F.F. De Boer, X.F. Han, N. Tang, C. Zhang, D. Zhang, E. Bruck, F.M. Yang, J. Alloys. Comp. 284 (1999) 289-294
- [4] F. Pourarian, R. Obermyer, Y. Zheng, S.G. Sankar, W.E. Wallace, J. Appl. Phys. 73 (1993) 6272
- [5] F. Pourarian, R. Obermyer, S.G. Sankar, J. Appl. Phys. 75 (1994) 6262
- [6] A.V. Andreev, M.I. Ilyn, J. Magn. Magn. Mater. 310 (2007) 1735-1737
- [7] S.A. Nikitin, E.A. ovtchenkov, A.A. Salamova, I.S. Tereshina, V.N. Verbetsky, J. Alloys. Comp. 284 (1999) 27-30
- [8] K. mori, K. Hathway, A. Clark, IEEE Trans. Magnetism, Mag-19 (1983) 1961
- [9] L. Zhang, D.C. Zeng, Y.N. Liang, J.C.p. Klaasse, E. Bruck, Z.Y. liu, f.R. de boer, K.H.J. Buschow, J. Magn. Magn. Mater. 214 (2000) 31-36