

بررسی خواص مغناطوالاتی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$

احمد قلی زاده^۱، محمدرضا علی نژاد^۱، ناصر تجبر^۱، فانز پورآرین^۲

۱- آزمایشگاه تحقیقاتی حالت جامد، گروه فیزیک، دانشکده علوم، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد

۲- انیستیتو کارنگی ملون، دانشگاه کارنگی ملون، پیتسبورگ، آمریکا

پست الکترونیکی: ah_gh55@stu-mail.um.ac.ir

چکیده

ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ از ذوب مخلوط عناصر اولیه در یک کوره ذوب القایی با فرکانس بالا تهیه شد. در طرح پراشی پرتو X، علاوه بر فاز اصلی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ اندکی فاز فرعی Fe نیز مشاهده شده است. انبساط گرمایی، مغناطوتنگش طولی و عرضی نمونه در گستره دمایی 77 K تا دمای اتاق، و میدانهای خارجی تا ۱/۵T و با دقتی از مرتبه 10^{-1} با بکار بردن پیمانانه کرنشی بررسی شد. انبساط گرمایی ترکیب با دما متناسب و مقدار ضریب انبساط گرمایی متوسط، $10^{-1} \times 2/94$ است. مغناطوتنگش ناهمسانگرد بر حسب تابعی از میدان خارجی افزایش می‌یابد و در دماهای نزدیک دمای اتاق و میدانهای بالای ۰/۸T، به حالت اشباع نزدیک می‌شود. مغناطوتنگش حجمی با عبور از یک کمینه منفی در میدانهای کمتر از ۰/۴T، در ناحیه میدانهای ۰/۴ تا ۱/۵T روند صعودی دارد که در دماهای نزدیک دمای اتاق و میدانهای بالاتر مقادیر مثبت دارد.

واژه‌های کلیدی: ترکیب فرومغناطیسی ۳:۲۹، میدان ناهمسانگردی، مغناطوتنگش

مقدمه

برای دستیابی به آهنرباهای سخت با مشخصه‌های مغناطیسی مطلوب (از جمله دمای کوری، میدان ناهمسانگردی و راستای آسان) مواد مختلفی به طور تجربی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بهترین آهن رباهایی که تاکنون به دست آمده‌اند، موادی هستند که در آنها یک یا دو عنصر خاکی نادر با یک یا دو عنصر فلز واسط ترکیب می‌شوند. البته معمولاً برای پایداری و یا بهبود پارامترهایی همچون سختی مکانیکی، از یک عنصر سوم نیز استفاده می‌شود. با کشف ترکیب $Nd_3(Fe,Ti)_{29}$ مطالعات گسترده‌ای در زمینه ترکیب‌های بین فلزی (R_3TM_{29} (R = Rare Earth & TM = Transition Metal) صورت گرفته است. ساختار $Nd_3(Fe,Ti)_{29}$ یک حالت میانی بین دو ساختار شناخته شده رخلوزی Th_2Zn_{17} و چارگوشی $ThMn_{12}$ می‌باشد ($R_3Fe_{29-x}M_x = R_2Fe_{17} + RFe_{12-x}M_x$).

خواص ساختاری و مغناطیسی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ مورد بررسی قرار گرفته‌است [۱، ۲، ۳، ۴]. پارامترهای شبکه‌ای، حجم یاخته یکه، دمای کوری، مغناطش اشباع و میدان ناهمسانگردی این ترکیب مطابق با گزارشات قبلی در جدول ۱ آمده است. ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ به دلیل چهار ظرفیتی بودن یون Ce، دارای مغناطش اشباع، دمای کوری و یاخته یکه کوچکتری در مقایسه با دسته ترکیبات بین فلزی آهن - خاکی کمیاب مطالعه شده تا کنون می‌باشد [۱].

جدول ۱- پارامترهای شبکه‌ای، حجم یاخته یکه، دمای کوری، مغناطش اشباع و میدان ناهمسانگردی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$.

$a(\text{Å})$	$b(\text{Å})$	$c(\text{Å})$	β	$V(\text{Å}^3)$ (=abc sin β)	$T_c(K)$	$M_s(4.2K)$ ($\mu_B/f.u.$)	$M_s(R.T.)$ ($\mu_B/f.u.$)	$\mu_0H_A(4.2K)$ (T)	$\mu_0H_A(RT)$ (T)
۱۰/۵۲۷	۸/۴۸۴	۹/۶۵۳	۹۶/۹۸	۸۶۸/۲	۳۱۷	۳۹/۵	۱۹/۷	۲/۵	۰/۶

همچنین نسبت مغناطو مقاومت ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ در میدانهای مغناطیسی موازی و عمود بر جهت جریان DC در دمای ۴/۲ K برابر ۳۸٪ گزارش شده است [۴].

گرچه خواص ساختاری و مغناطیسی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ در مراجع گزارش شده است، اما خواص مغناطوالاتی این ترکیب پیش از این مطالعه نشده است که در این تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش آزمایش و نتایج

ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ به وسیله ذوب مخلوط عناصر اولیه در یک کوره ذوب القایی با فرکانس بالا در موسسه تحقیقاتی کارنگی ملون امریکا تهیه شد. فازهای بلوری موجود در نمونه به کمک پراش پرتو X با تابش Mo- $K\alpha$ در دمای اتاق بررسی شدند. تحلیل طرحهای پراش پرتو X و مقایسه آنها با ساختارهای بلوری جهت استخراج پارامترهای شبکه به کمک نرم افزار Celref انجام شد.

از بدنه نمونه بازپخت شده، قطعاتی قرصی شکل به قطر ۶mm و ضخامت حدود ۳mm برش داده شد. با نصب پیمانانه کرنشی روی سطح تخت قرص، مغناطوتنگش نمونه در گستره دمایی K 77 تا دمای اتاق، میدانهای خارجی تا ۱/۵T و با دقتی از مرتبه $10^{-1} \times 2$ اندازه گیری شد. پس از اندازه گیری مغناطوتنگش در راستای موازی با امتداد میدان خارجی (λ_{11}) و عمود بر آن (λ_{\perp}) مغناطوتنگش ناهمسانگرد $\Delta\lambda = \lambda_{11} - \lambda_{\perp}$ و مغناطوتنگش حجمی از رابطه $\Delta V/V = \lambda_{11} + 2\lambda_{\perp}$ محاسبه شد.

شکل ۱، طرح پراش پرتو X نمونه $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ را نشان می دهد. علاوه بر فاز اصلی، فاز فرعی Fe نیز مشاهده شد که شدیدترین قله پراشی مربوط به هر فاز روی شکل مشخص شده است. تحلیل طرح پراش پرتو X بر اساس شدیدترین قله های پراشی نشان داد که این قله ها متعلق به ساختار $Nd_3(FeTi)_{29}$ ، با تقارن تک میل (با گروه فضایی $A2/m$) هستند که به ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ مربوط می شوند. پارامترهای شبکه ای بدست آمده برای ترکیب با نتایج گزارش شده در جدول ۱ به خوبی توافق دارد.

شکل ۲، انبساط گرمایی و ضریب انبساط گرمایی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ را نشان می دهد. همانطوری که از نمودار دیده می شود انبساط گرمایی با دما متناسب است و بصورت خطی با معادله $\Delta L/L = 2.220 \times 10^{-4} + 2.954 \times 10^{-6} T$ تقریب زده شد. مقدار ضریب انبساط گرمایی متوسط، $10^{-6} K^{-1}$ می باشد.

منحنی های مغناطوتنگش ناهمسانگرد بر حسب میدان خارجی در دماهای مختلف در شکل ۳ رسم شده اند. منحنی های همدمای مغناطوتنگش ناهمسانگرد در ناحیه میدانهای کمتر از ۰/۴ T و ۰/۴ تا ۱/۵ T دو رفتار متفاوت را نشان می دهد. در ناحیه میدانهای کمتر از ۰/۴ T، مغناطوتنگش ناهمسانگرد به سرعت با میدان افزایش می یابد. همچنین در ناحیه میدانهای ۰/۴ تا ۱/۵ T، مغناطوتنگش ناهمسانگرد برای تمام دماها با سرعت کمتری نسبت به قبل همچنان افزایش می یابد که با افزایش دما این روند افزایشی کاهش می یابد و در دماهای نزدیک دمای اتاق به حالت اشباع نزدیک می شود.

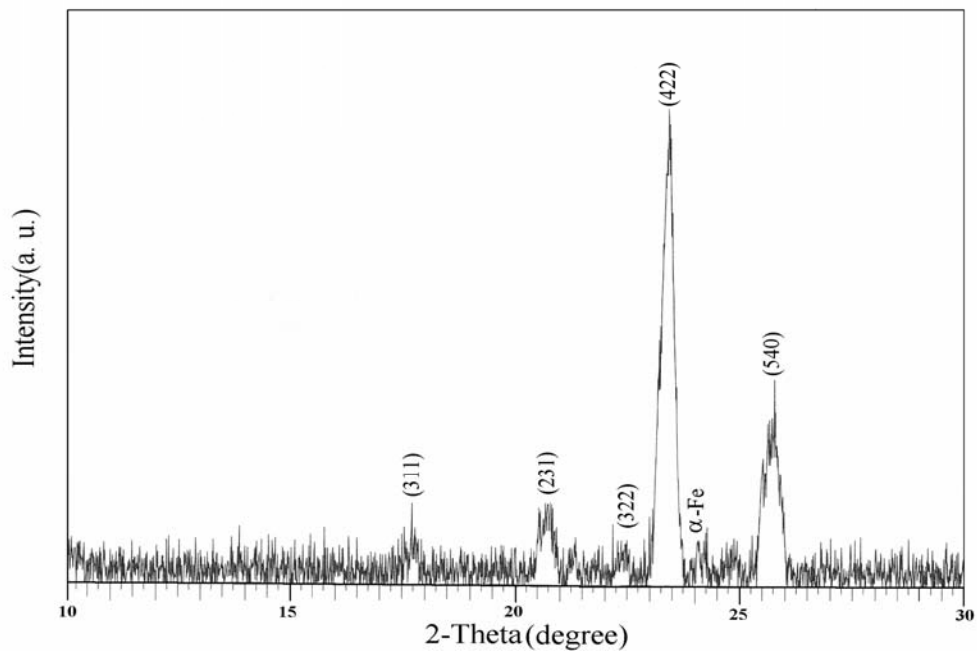
منحنی های مغناطوتنگش حجمی بر حسب میدان خارجی در دماهای مختلف در شکل ۴ رسم شده اند. تمام منحنی های مغناطوتنگش حجمی از یک کمینه می گذرد. با افزایش دما، اندازه کمینه مغناطوتنگش حجمی به تدریج کاهش می یابد، ضمن اینکه با تضعیف میدان ناهمسانگردی ناشی از افزایش دما مغناطوتنگش حجمی در میدانهای ضعیفتری به کمینه می رسند. در ناحیه میدانهای پایین (کمتر از ۰/۲ T)، دلیل انتشار دیواره حوزه ها، مغناطوتنگش حجمی مقادیر منفی دارد. با افزایش بیشتر میدان، مغناطوتنگش حجمی ناشی از چرخش گشتاورهای مغناطیسی در برابر ناهمسانگردی روند صعودی دارد به صورتی که افزایش دما کاهش ناهمسانگردی و در نتیجه افزایش مغناطوتنگش حجمی را به همراه دارد. در دماهای بالا و میدانهای بالا، چرخش مغناطش را داریم و پدیده جبران رخ می دهد که سهم منفی مغناطوتنگش حجمی را صفر می کند و مغناطوتنگش حجمی مثبت را نتیجه می دهد.

نتیجه گیری

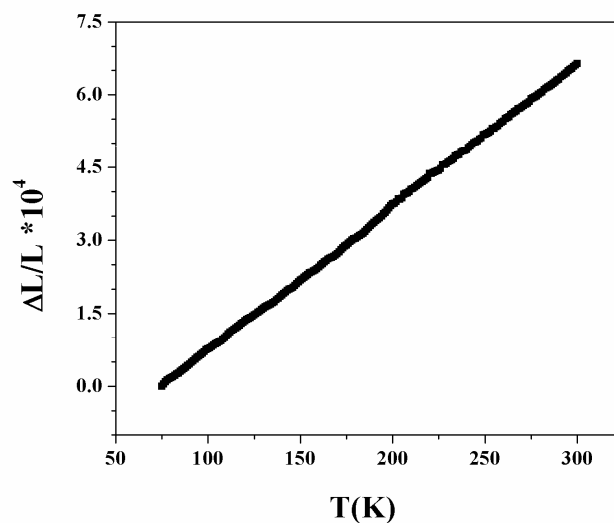
در این تحقیق خواص مغناطوالاستیکی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ مورد بررسی قرار گرفت. در طرح پراشی پرتو X، علاوه بر فاز اصلی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ فاز فرعی Fe نیز مشاهده شده است. انبساط گرمایی ترکیب با دما متناسب و مقدار ضریب انبساط گرمایی متوسط، $10^{-6} \times 2.954$ است. مغناطوتنگش ناهمسانگرد بر حسب تابعی از میدان خارجی افزایش می یابد و در دماهای نزدیک دمای اتاق و میدانهای بالای ۰/۸T، به حالت اشباع نزدیک می شود. مغناطوتنگش حجمی با عبور از یک کمینه در میدانهای کمتر از ۰/۴T، در ناحیه میدانهای ۰/۴ تا ۱/۵T روند صعودی دارد که در دماهای نزدیک دمای اتاق و میدانهای بالاتر مقادیر مثبت دارد.

مراجع

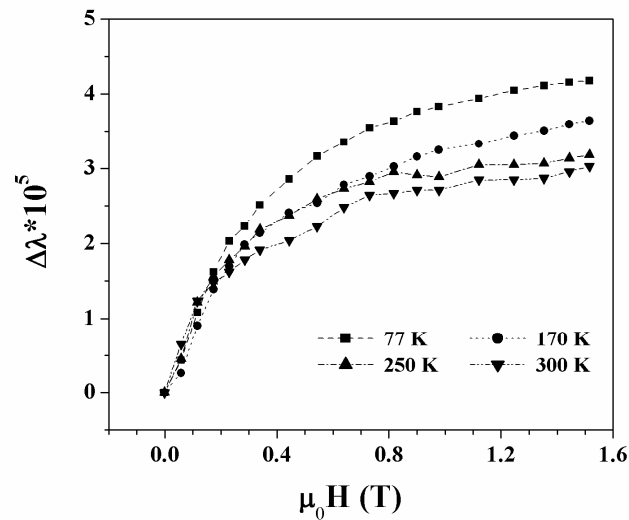
- [1] Xiu-Feng Han, F. M. Yang, H. G. Pan, Y. G. Wang, J. L. Wang, H. L. Liu, N. Tang, and R. W. Zhao, "Synthesis and magnetic properties of novel compounds $R_3(Fe, T)_{29}$ ($R=Y, Ce, Nd, Sm, Gd, Tb,$ and $Dy; T=V$ and Cr)," *J. Appl. Phys.* 81 (11), 1 June 1997.
- [2] J. M. Cadogan and Hong-Shuo Li, A. Margarian, J. B. Dunlop, D. H. Ryan, S. J. Collocott and R. L. Davis, "New rare-earth intermetallic phases $R_3(Fe, M)_{29}X_n$: ($R= Ce, Pr, Nd, Sm, Gd; M=Ti, V, Cr, Mn;$ and $X=H, N, C$) (invited)," *J. Appl. Phys.* 76(10), 15 november 1994.
- [3] C. D. Fuerst, F. E. Pinkerton, and J. F. Herbst, "Structural and magnetic properties of $R_3(Fe, T)_{29}$ compound" *J. Appl. Phys.* 76 (10), 15 November 1994.
- [4] X.F. Han, Z.G. Sun, H. Kato, M. Oogane, B.G. Shen, F.M. Yang, J.M.D. Coey, "Magnetoresistance in $Ce_3Fe_{29-x}T_x$ ($T=V$ and Cr)", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 239, 204-206, 2002.



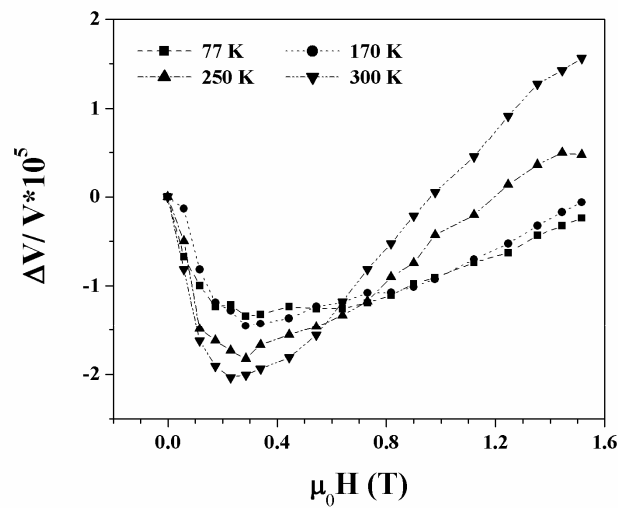
شکل ۱- الگوی پراش X-ray ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$



شکل ۲- وابستگی دمایی انبساط گرمایی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$



شکل ۳- مغناطوتنگش ناهمسانگرد ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ بر حسب تابعی از میدان خارجی در دماهای مختلف.



شکل ۴- مغناطوتنگش حجمی ترکیب $Ce_3Fe_{25}Cr_4$ بر حسب تابعی از میدان خارجی در دماهای مختلف.