اثر جانشانی La و Ga بر ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی ترکیب بین فلزی $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$

پروانه ایرانمنش*[۱]، سمیرا سعیدنیا [۲]

[۱] گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

[۲] گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۸ ویرایش نهائی: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

چکیده

در این پژوهش ساختار بلوری و ویژگی‌های مغناطیسی ترکیب‌های $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ (۱ و ۰ = y و ۲ و ۱ = x) با به‌کارگیری پراش پرتو X، مغناطیس‌سنج نمونهٔ ارتعاشی و سیستم تداخل کوانتومی ابررسانای مغناطیس‌سنج بررسی شده است. ترکیب‌های سه‌تایی بین فلزی $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ سنتز شدند و نتایج الگوهای پراش پرتو X نشان داد که نمونه‌های تک فاز با ساختار لوزی‌رخ شکل می‌گیرد. با جانشانی اتم‌های La و Ga در ترکیب، پارامتر شبکه افزایش می‌یابد و به‌سبب تغییر در اثرات تبادلی و ناهمسانگردی، دمای کوری، رفتار مغناطیسی و مغناطش اشباع نیز تغییر می‌کند. دمای کوری نمونه‌ها با جانشانی لانتانیم که همراه با افزایش حجم یاخته یکه است کاهش می‌یابد و از طرفی نشاندن اتم گالیم به‌جای آهن افزایش دمای کوری به‌سمت دماهای بالاتر را موجب شده است. مغناطش اشباع با جانشانی La و Ga ناشی از اثرات کاهش هیبریداسیون Fe-Fe و رقیق شدگی گشتاور مغناطیسی با جانشانی یک اتم غیرمغناطیسی کاهش می‌یابد.

کلیدواژگان: بین‌فلزی، ویژگی مغناطیسی، دمای کوری، مغناطش اشباع

مقدمه

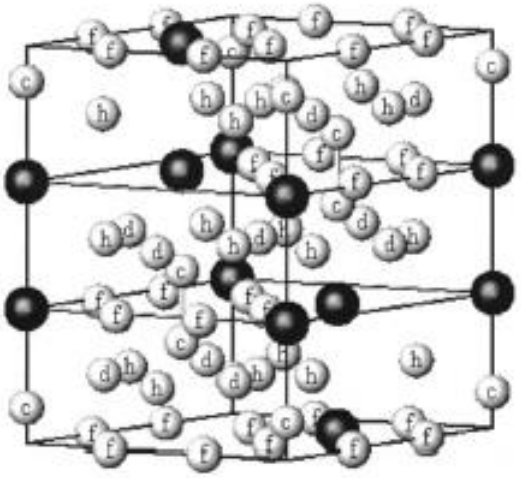
ترکیب‌های بین فلزی متشکل از عناصر خاکی نادر (R) و عناصر فلزهای واسط ۳d (T) به‌سبب ویژگی‌های مغناطیسی جالب توجه و کاربردهای بسیارشان در دهه‌های اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است. این رفتار و ویژگی‌های منحصربه‌فرد ناشی از هم‌زیستی عناصر خاکی نادر و عناصر فلزهای واسط ۳d با ویژگی‌های مغناطیسی متفاوت در کنار یکدیگر است [۱-۵]. از جمله ترکیب‌های بین فلزی با ویژگی‌های مغناطیسی ویژه می‌توان به خانوادهٔ ترکیب‌های R_2T_{17} اشاره کرد که با وجود گشتاور مغناطیسی بزرگ Fe، دمای کوری پایین و ناهمسانگردی صفحه‌ای در صنعت آهنرباهای دائمی و یخچال‌های مغناطیسی کاربرد وسیعی دارند [۶-۹]. دلیل دمای کوری پایین را می‌توان به فواصل Fe-Fe کوچک‌تر از مقدار بحرانی ۲٫۴۵ Å که برای برهم‌کنش تبادلی فرومغناطیس لازم است، دانست [۱۰].

وارد کردن عناصر سبک (H، C و N) در شبکهٔ بلوری R_2T_{17} نه تنها با افزایش فواصل Fe-Fe منجر به افزایش دمای کوری می‌شود بلکه ناهمسانگردی صفحه‌ای آنها به محوری نیز تغییر می‌کند. از طرفی این ترکیب‌ها از نظر ترمودینامیکی ناپایدار و در دماهای بالا (>۷۰۰°C) به کاربید و نیترید خاکی نادر تجزیه می‌شوند. ازاین‌رو جانشانی اتم‌های غیرمغناطیسی Si،

*نویسنده مسئول: p.iranmanesh@vru.ac.ir

Ga و یا Al به‌جای Fe در بسیاری از ترکیب‌های R_2T_{17} به‌عنوان جانشین عناصر سبک منجر به افزایش دمای کوری و تغییر ناهمسانگردی مغناطیسی این ترکیب‌ها شده است [۱۱-۱۵].

جفت‌شدگی ممان‌های مغناطیسی اتم‌های آهن و خاکی نادر در ترکیب‌های R_2Fe_{17} برای خاکی نادر سبک (R =Pr, Nd,...) فرومغناطیس و چنانچه خاکی نادر سنگین (R = Gd, Ho,...) باشد، فری‌مغناطیس است [۱۴-۱۶]. ترکیب‌های R_2Fe_{17} با خاکی نادر سبک و سنگین به‌ترتیب در ساختار بلوری لوزی‌رخ نوع Th_2Zn_{17} (گروه فضایی R-3m) و شش‌گوشی نوع Th_2Ni_{17} (گروه فضایی $P6_3/mmc$) شکل می‌گیرند. در این ساختار اتم‌های Fe همانند شکل ۱ واقع بر چهار جایگاه متفاوت 18h، 18f، 9d و 6c می‌باشند و تنها یک جایگاه 6c توسط اتم R اشغال می‌شود [۱۷ و ۱۸].



شکل ۱. یاخته یکه ساختار بلوری ترکیب‌های خانوادهٔ R_2Fe_{17}. نمادهای سیاه بزرگ اتم‌های خاکی نادر (R) و نمادهای سفید کوچک اتم‌های آهن (T) هستند. در شکل جایگاه‌های 6c با *c*، 9*d* با *d*، 18*f* با *f* و 18*h* با *h* مشخص شده‌اند [۱۶].

نظم مغناطیسی ترکیب Pr_2Fe_{17} به‌صورت فرومغناطیس با دمای کوری نزدیک دمای اتاق حدود 295 K است و جهت‌گیری آسان گشتاورهای مغناطیسی در امتداد صفحهٔ اصلی ساختار لوزی‌رخ است [۱۹].

با نشاندن اتم‌های La و Ga در ساختار $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ انتظار می‌رود با تغییر ماهیت عنصر خاکی نادر و تعداد اتم‌های آهن، اثر مشترک برهم‌کنش‌های میدان بلوری، برهم‌کنش‌های تبادلی و ناهمسانگردی مغناطوبلوری تغییر کند و پدیده‌های جالبی به‌وجود آید.

شرح آزمایش

نمونه‌های مورد نیاز $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ (y=۰و۱ ،x=۱و۲) با استفاده از عناصر سازندهٔ ترکیب (Pr، La، Fe و Ga) با درجهٔ خلوص ۹۹٫۹ درصد و حفظ موازنهٔ عنصری به‌منظور حفظ و تشکیل شدن فاز اصلی Pr_2Fe_{17}، به‌عنصر خاکی نادر Pr و یا La به‌مقدار ۲٪ وزنی اضافه شد. مرحلهٔ ذوب مخلوط عناصر با استفاده از کورهٔ قوس آرگون و در قالب‌های مسی که با جریان آب خنک می‌شوند، انجام شد. قالب به‌کار برده شده در کورهٔ قوس آرگون به‌شکل نیم‌کره است و عناصر به‌گونه‌ای در کورهٔ قوس قرار داده شدند که ابتدا عنصری با بالاترین دمای ذوب در معرض قوس الکتریکی ذوب شود و هر نمونه چندین بار پشت و رو و دوباره ذوب شد تا فاز همگنی تشکیل شود. سپس نمونه‌ها در ورقهٔ تانتالوم پیچیده و در لوله‌های کوارتز تخلیه شده در دمای $800\ ^oC$ به‌مدت ۲۵ روز بازپخت و به‌طور ناگهانی سرد شدند. همگنی فاز و ساختار بلوری نمونه‌های پودری با استفاده از پراش‌سنج پرتو X و با تابش تک فام Cu-Kα (λ = ۱٫۵۴۰۵۶ Å) با گام زاویه‌ای 0.017° بررسی و پردازش شدند.

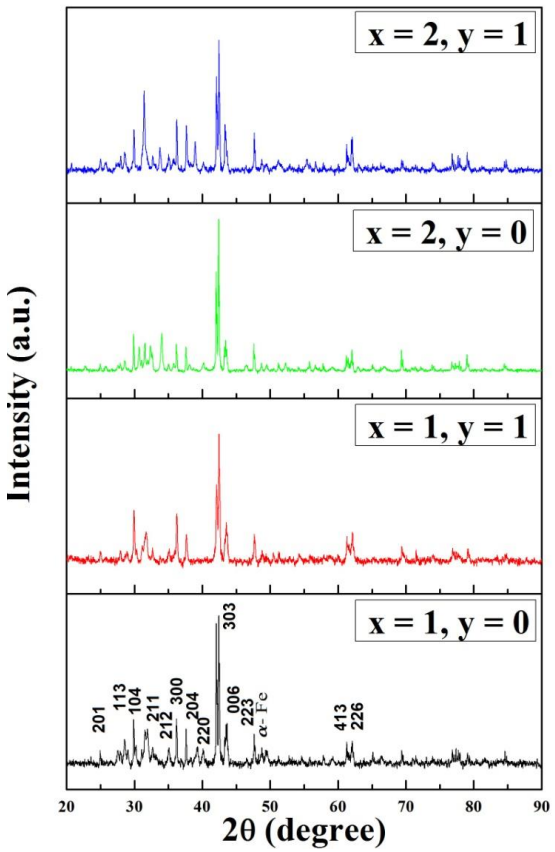
وابستگی دمایی مغناطش با استفاده از مغناطیس‌سنج نمونهٔ ارتعاشی (VSM) در میدان مغناطیسی ثابت T ۰٫۰۵ با آهنگ دمایی 10 K/min (دستگاه VSM شرکت Lake-shore واقع در آزمایشگاه MMME دانشگاه صنعتی دلفت هلند) بررسی شد. اندازه‌گیری مغناطش برحسب میدان نمونه‌های پودری در دمای 5K با استفاده از مغناطیس‌سنج دارای سیستم تداخل

کوانتمی ابررسانا (SQUID) و میدان مغناطیسی تا ۵T، با طراحی کوانتمی MPMS-5 واقع در مرکز تحقیقاتی RID دانشگاه صنعتی دلفت هلند به‌کار برده شده است، انجام شد.

بحث

شکل۲ الگوهای پراش پرتو X نمونه‌های $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ و شاخص‌های میلر این ترکیب‌ها را نشان می‌دهد. احتمالاً در این ترکیب‌ها اتم‌های La به‌درستی جانشین اتم‌های Pr و اتم‌های Ga به‌درستی نیز جانشین اتم Fe شدند ساختار لوزی‌رخ نوع Th_2Zn_{17} با گروه فضایی R-3m (مطابق با کارت استاندارد ۱۴۵۶-۰۴۸-۰۰) را تشکیل می‌دهند.

داده‌های پراش پرتو X نمونه‌های پودری تمام پراش‌های متناظر با گروه فضایی R-3m را نشان می‌دهند. با افزودن اتم لانتانیم و گالیم پارامترهای شبکه افزایش می‌یابد و این افزایش در پارامترهای یاخته یکه به‌سبب بزرگ‌تر بودن شعاع یونی La ($r_{La^{3+}}$ = ۱۱۷٫۲) نسبت به Pr ($r_{Pr^{3+}}$=۱۱۳) و Ga ($r_{Ga^{3+}}$ = ۷۶) نسبت به Fe ($r_{Fe^{3+}}$ = ۶۹) است. پارامترهای شبکه و حجم یاخته یکه در جدول۱ آورده شده است که در مقایسه با نتایج دیگران هم‌خوانی خوبی دارند [۱۰-۱۶]. از آنجا که شعاع یونی La و Ga هردو نسبت به عناصر اصلی ساختار بزرگتر است، جانشانی آنها در یاختهٔ یکه منجر به انبساط شبکهٔ بلوری می‌شود و تقریباً هیچ‌گونه قلهٔ اضافی (درصد کم α-Fe فاز متداول مشاهده شده در جانشانی گالیم به‌جای آهن در این ترکیب‌هاست [۲۰،۲۱]) مبنی بر وجود ناخالصی در نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود.



شکل۲. الگوهای پراش پرتو X و شاخص‌های میلر ترکیب‌های $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$.

جدول ۱. پارامترهای شبکه و حجم یاخته یکه $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$.

$Pr_{۲-y}La_yFe_{۱۷-x}Ga_x$	*a* (Å)	*b* (Å)	*c* (Å)	V (Å^3)
x = ۰ و y = ۰*	۸٫۵۸۳	۸٫۵۸۳	۱۲٫٤۷۳	۷۸۹٫٤
x = ۱ و y = ۰	۸٫٦۱۳	۸٫٦۱۳	۱۲٫٤٤۰	۷۹۹٫۱
x = ۲ و y = ۰	۸٫٦٤٦	۸٫٦٤٦	۱۲٫۵۱۷	۸۱۰٫۳
x = ۱ و y = ۱	۸٫٦۲۹	۸٫٦۲۹	۱۲٫۵۰٦	۸۰٦٫۹
x = ۲ و y = ۱	۸٫٦٦۱	۸٫٦٦۱	۱۲٫۵۸۷	۸۱۰٫٦

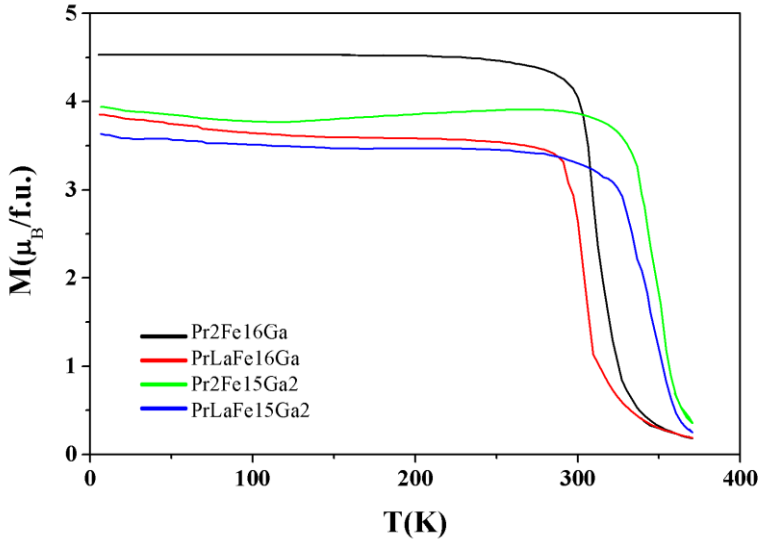
* برگرفته از مرجع [۱۹].

در شکل۳ گذار فرومغناطیس به پارامغناطیس به‌خوبی خود را به‌صورت کاهش ناگهانی مغناطش به صفرنشان می‌دهد. دمای کوری (از نوع گذار فاز مغناطیسی مرتبه دوم است، یعنی دمای گذار خود را به‌صورت نقاط کمینه در مشتق اول مغناطش برحسب دما و یا صفر شدن مشتق دوم مغناطش برحسب دما نشان می‌دهد.) ترکیب‌ها که از مشتق اول مغناطش برحسب دما (dT/dM) [۱۰] به‌دست آمده در جدول ۲ آورده شده است. شکل٤ منحنی مغناطش برحسب دما به‌همراه مشتق اول آن برای نمونهٔ $Pr_۲Fe_{۱٦}Ga$ نشان می‌دهد. مقدار دمای کوری نمونه‌ها با جانشانی La کاهش یافته است در حالی که با جانشانی Ga افزایش یافته است.

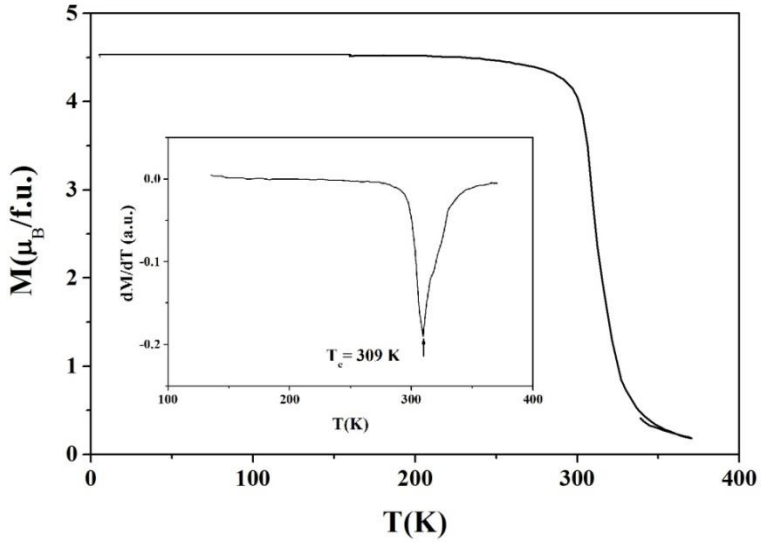
از آنجایی که دمای کوری رابطهٔ مستقیمی با برهم‌کنش‌های تبادلی دارد و برهم‌کنش‌ها وابسته به فواصل اتمی است. دمای نظم مغناطیسی در ترکیب‌های بین فلزی خاکی نادر فلز واسط به‌طور کلی با برهم‌کنش‌های تبادلی زیرشبکهٔ گشتاور مغناطیسی Fe، خاکی نادر و بین زیرشبکه‌ای (۳d–۳d، ٤f–٤f و ٤f–۳d) تعیین می‌شود [۲۲].

نشاندن اتم لانتانیم به‌جای آهن کاهش دمای کوری به‌سمت دماهای پایین‌تر را موجب شده است. انتظار می‌رود دمای کوری نمونه‌ها با جانشانی لانتانیم که همراه با افزایش حجم یاخته یکه است ناشی از کاهش برهم‌کنش تبادلی R-Fe کاهش یابد.

از طرفی نشاندن اتم گالیم به‌جای آهن افزایش دمای کوری به‌سمت دماهای بالاتر را موجب شده است. انتظار می‌رود دمای کوری نمونه‌ها با جانشانی گالیم که همراه با افزایش حجم یاخته یکه است، کاهش یابد. اما این رفتار تنها نباید با در نظر گرفتن اثرات هندسی افزایش یاختهٔ یکه بررسی کرد، بلکه اشغال ترجیحی جایگاه‌های اتم Fe توسط اتم غیرمغناطیسی Ga را نیز می‌بایست در نظر گرفت که می‌توان به کاهش برهم‌کنش تبادلی مثبت ۳d–۳d ناشی اشغال ترجیحی جایگاه‌های اتم Fe توسط اتم غیرمغناطیسی Ga نسبت داد. جانشانی ترجیحی اتم غیرمغناطیسی Ga در جایگاه‌های ۱۸h و ۱۸f [۲۱] آهن همراه با کاهش برهم‌کنش‌های تبادلی مثبت است که منجر به کاهش تعداد پیوندهای پادفرومغناطیسی Fe-Fe و افزایش دمای کوری می‌شود. فواصل بین‌اتمی Fe-Fe (کمتر از ۲٫٤۵ Å) با جانشانی گالیم افزایش یافته‌اند که منجر به قویتر شدن برهم‌کنش تبادلی منفی می‌شود و شکل‌گیری فرومغناطیسی گشتاورهای مغناطیسی را فراهم می‌آورد. افزایش دمای کوری ناشی از جانشانی Ga اثری مغناطوحجمی است.



شکل۳. وابستگی دمایی مغناطش نمونه‌های $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ در میدان مغناطیسی ثابت ۰٫۰۵ T.



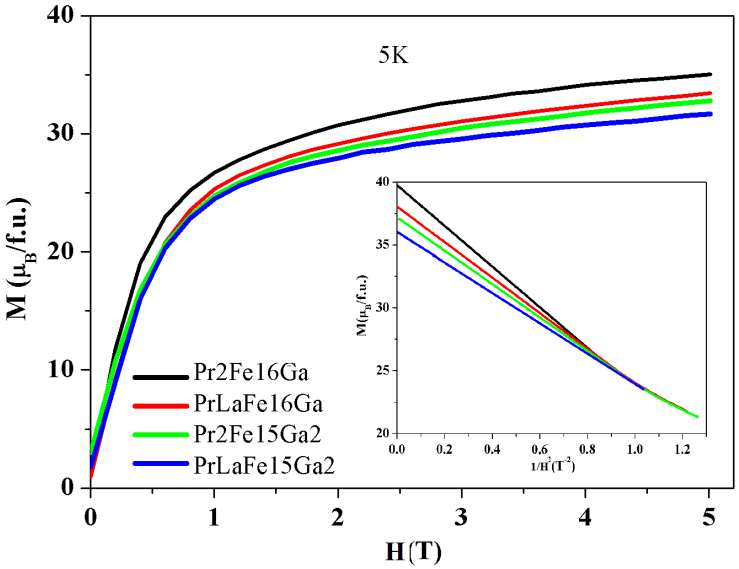
شکل٤. منحنی مغناطش برحسب دما به‌همراه مشتق اول آن برای نمونهٔ $Pr_2Fe_{16}Ga$.

شکل۵ رفتار وابسته به میدان منحنی‌های مغناطش را در دمای ۵ K را نشان می‌دهد. رفتار منحنی‌های مغناطش برحسب میدان به‌همراه رفتار دمایی آنها و مشاهدهٔ دمای کوری نمونه‌ها با افزایش دما (شکل۳)، نظم فرومغناطیسی این ترکیب‌ها تأیید می‌شود (در دمای ۵ K در نبود میدان مغناطیسی، مغناطش نمونه‌ها صفر نیست و همچنین با افزایش میدان رفتار اشباعی مغناطش مشاهده می‌شود.) همان‌طور که از شکل مشاهده می‌شود با افزایش میدان، ناشی از جهت‌گیری گشتاورهای مغناطیسی در راستای میدان رفتار اشباعی در منحنی مغناطش نمونه‌ها دیده می‌شود. با رسم منحنی مغناطش برحسب $1/H^2$ (منحنی ضمیمه شده در شکل٤) می‌توان مغناطش اشباع نمونه‌ها و همچنین ناهمسانگردی مغناطوبلوری از قانون روش اشباع [۲۳] (روابط ۱ و ۲) را که در جدول۲ آورده شده است، در دمای ۵ K به‌دست آورد.

$$M = M_s\left(1-\frac{a}{H^2}\right) \qquad ۱$$

$$a = \frac{8}{105}\left(\frac{k}{M_s}\right)^2 \qquad ۲$$

در این روابط M مغناطش برحسب μ_B/f.u.، M_s مغناطش اشباع و k ناهمسانگردی مغناطوبلوری است. مغناطش اشباع با جانشانی Ga نیز کاهش یافته است. مغناطش اشباع در دمای کم محاسبه می‌شود تا مغناطش اشباع نتیجه‌ای از رقابت میان اثر مغناطوحجمی ناشی از انبساط یاختهٔ یکه با جانشانی اتمی خاص (La) که کاهش میانگین هیبریداسیون Fe-Fe را منجر می‌شود و افزایش مقدار عناصر غیرمغناطیسی (Ga) است. اثرات مغناطوحجمی در مقادیر کم جانشانی مهم است در حالی که رقیق شدگی گشتاور مغناطیسی با افزایش جانشانی مهم‌تر خواهد شد. همانند این رفتار در جانشانی Ga به‌جای آهن در ترکیب $Nd_2Fe_{17-x}Ga_x$ مشاهده شده است [۲۴].



شکل۵. منحنی مغناطش برحسب میدان نمونه‌های $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ در دمای ۵ K. منحنی ضمیمه شده در شکل، منحنی مغناطش برحسب $1/H^2$ را برای محاسبهٔ مغناطش اشباع نمونه‌ها نشان می‌دهد.

جدول۲. نتایج مشخصه‌یابی‌های مغناطیسی $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$: دمای کوری، مقدار میانگین مغناطش اشباع در واحد فرمولی در دمای ۵ K و ناهمسانگردی مغناطوبلوری.

$Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$	T_C (K)	M_s (μ_B/f.u.)	k (10^4 T*f.u.*gr^{-1})
x = ۰ و y = ۰*	۲۹۵	–	-
x = ۱ و y = ۰	۳۰۹	۳۹٫۶	۱٫۷۹
x = ۲ و y = ۰	۳۴۸	۳۷٫۹	۱٫۶۱
x = ۱ و y = ۱	۳۰۳	۳۷	۱٫۵۲
x = ۲ و y = ۱	۳۴۱	۳۶	۱٫۴۳

* برگرفته از مرجع [۱۹].

مغناطش اشباع با افزایش مقدار La و Ga کاهش می‌یابد. با جانشانی La انبساط شبکهٔ بلوری و کاهش هیبریداسیون Fe-Fe به‌وجود خواهد آمد و با جانشانی Ga ناشی از اثرات رقیق شدگی گشتاور مغناطیسی کاهش مشاهده شده است. در واقع گالیم یک اتم غیرمغناطیسی با گشتاور مغناطیسی صفر است که با جانشانی آن برای آهن، گشتاور مغناطیسی کل را کاهش می‌دهد و منجر به‌کاهش مغناطش اشباع می‌شود.

ناهمسانگردی مغناطوبلوری با جانشانی La و Ga کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه ساختار بلوری و ویژگی‌های مغناطیسی $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ (y=۰و۱ و x=۱و۲) بررسی شد. نتایج نشان داد که با جانشانی لانتانیم و گالیم، پارامتر شبکه افزایش می‌یابد. دمای کوری نمونه‌ها با جانشانی لانتانیم که همراه با افزایش حجم یاخته یکه است، ناشی از کاهش برهم‌کنش تبادلی مثبت R-Fe کاهش می‌یابد و از طرفی نشاندن اتم گالیم به‌جای آهن افزایش دمای کوری به‌سمت دماهای بالاتر را موجب شده است که ناشی از افزایش برهم‌کنش تبادلی منفی ۳d-۳d و جفت شدگی فرومغناطیس گشتاورهای مغناطیسی است. مغناطش اشباع با جانشانی La و Ga کاهش می‌یابد که ناشی از اثرات کاهش هیبریداسیون Fe-Fe و رقیق‌شدگی گشتاور مغناطیسی با جانشانی یک اتم غیرمغناطیسی است.

مرجع‌ها

[1] X.P. Zhong, R.J. Radwanski, F.R. De Boer, T.H. Jacobs, K.H.J. Buschow, Magnetic and crystallographic characteristics of rare-earth ternary carbides derived from R_2Fe_{17} compounds, *Journal of Magnetism and magnetic materials* **86** (1990) 333-340.

[2] L. Bessais, C. Djega-Mariadassou, A. Nandra, M.D. Appay, E. Burzo, Hard magnetic $Sm(Fe,Si)_9$ carbides: Structured and magnetic properties, *Physical Review B* **69** (2004) 64402-64409.

[3] L. Bessais, E. Dorolti, C. Djega-Mariadassou, High coercivity in nanocrystalline carbides $Sm(Fe,Ga)_9C$, *Applied Physics Letter* **87** (2005) 192503-192511.

[4] S. Khazzan, N. Mliki, L. Bessais, C. Djega-Mariadassou, Rare-earth iron-based intermetallic compounds and their carbides: Structure and magnetic behaviors, *Journal of Magnetism and magnetic materials* **322** (2010) 224-229.

[5] J. Pospisil, J.P. Vejpravova, D. Niznansky, V. Sechovsky, Magnetic properties Mössbauer study and MCE in compounds $RE_2Fe_{17-x}Cr_x$ (RE=Pr, Gd), *Journal of Magnetism and magnetic materials* **310** (2007) e629-e631.

[6] X.C. Kou, F.R. de Boer, R. Grossinger, G. Wiesinger, H. Suzuki, H. Kitazawa, T. Takamasu, G. Kido, Magnetic anisotropy and magnetic phase transitions in R_2Fe_{17} with R = Y, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm and Lu, *Journal of Magnetism and magnetic materials* **177–181** (1998) 1002-1007.

[7] K. Takeda, T. Maeda, T. Katayama, Temperature dependence of the magneto-crystalline anisotropy in R_2Fe_{17} (R=Y, Gd, Tb, Dy, Er), *Journal of Alloys and Compounds* **281** (1998) 50-55.

[8] L. Bessais, K. Younsi, S. Khazzan, N. Mliki, X-ray and intrinsic magnetic properties of nanocrystalline $Sm_2(Fe,M)_{17}$ (M=Si, Ga, Co, Cr, Zr or Mo), *Intermetallics* **19** (2011) 997-1004.

[9] K. Mandal, A. Yan, P. Kershl, A. Handstein, O. Gutfleisch, K.-H. Muller, The study of magnetocaloric effect in R_2Fe_{17} (R=Y, Pr) alloys, *Journal of Physics D: Applied Physics* **37** (2004) 2628.

[10] R. Guetari, R. Bez, A. Belhadj, K. Zehani, A. Bezergheanu, N. Mliki, L. Bessais, C.B. Cizmas, Influence of Al substitution on magnetocaloric effect of $Pr_2Fe_{17-x}Al_x$, *Journal of Alloys and Compounds* **588** (2014) 64-69.

[11] J.M.D. Coey, H. Sun, Improved magnetic properties by treatment of iron-based rare earth intermetallic compounds in anmonia, *Journal of Magnetism and magnetic materials* **87** (1990) 251-254.

[12] J.M.D. Coey, H. Sun, Y. Otani, D.P.F. Hurley, Gas-phase carbonation of R2Fe17;

R = Y, Sm, *Journal of Magnetism and magnetic materials* **98** (1991) 76-78.

[13] J.L. Wang, F.R. De Boer, X.F. Han, N. Tang, C. Zhang, D. Zhang, E. Bruck, F.M. Yang, Structural and magnetic properties of $R_2(Fe,Si)_{17}$ compounds with R=Tb and Er, *Journal of Alloys and Compounds*. **284** (1999) 289-294.

[14] E. Girt, Z. Altounian, J. Yang, Structural and magnetic properties of $Nd_2Fe_{17-\delta}Cr_\delta$ (δ=0, 0.5, 1, 1.9), *Journal of Applied Physics* **81** (1997) 5118-5122.

[15] R. Srilatha, V.S. Muty, G. Markandeyulu, Magnetic properties of $YGd_2Fe_{17-x}(Ga,Al)_x$ (x=0-8), *Journal of Applied Physics* **97** (2005) 10M503-10M509.

[16] W.B. Yelon, W.J. James, J.B. Yang, K. Kamaraju, Q. Cai, Z. Chu, S.K. Malik, Observation of novel disordered rhombohedral R_2Fe_{17} (R=rare earth) based compounds, *Journal of Applied Physics* **91** (2002) 8486-8492.

[17] F. Pourarian, R. Obermyer, Y. Zheng, S.G. Sankar,W.E.Wallace, Crystal structure and magnetic characteristics of alloys based on R-Fe-Si (R=Y, Nd, Gd, Dy, Ho, Er), *Journal of Applied Physics* **73** (1993) 6272.

[18] F. Pourarian, R. Obermye, S.G. Sankar, Effect of cobalt substitution on magnetic properties of R_2Fe_{17} silicides (R=Y, Gd, Tb, Er, and Tm), *Journal of Applied Physics* **75** (1994) 6262.

[19] W.C. Chang, S.H. Tsai, L.J. Chao, Z.B. Hu, H. Luo, W.B. Yelon, Magnetic and neutron diffraction studies of $R_2Fe_{17-x}Al_xC$ (R=Y, Pr, Tb and Ho) intermetallic compounds with Th_2Zn_{17}-type crystal structure, *Journal of Magnetism and magnetic materials* **172** (1997) 277-284.

[20] M. Venkatesan, K.V.S. Rama Rao, U.V. Varadaraju, Structural, magnetic and exchange interaction studies on $R_2Fe_{17-x}Ga_x$ (R=Tm, Er and Sm) compounds, *Physica B* **291** (2000) 159-172.

[21] J.P. Liu, F.R. de Boer, P.F. de Châtel, R. Coehoorn, K H J Buschow, On the 4f-3d exchange interaction in intermetallic compounds, *Journal of Magnetism and magnetic materials* **132** (1994) 159-179.

[22] L. Néel, La loi d'approche en a: H et une nouvelle théorie de la dureté magnétique, *Journal de Physique et Le **Radium*** 9 (1948) 184-192.

[23] I.A. Al-Omari, Y. Radzyner, Y. Yeshurun, S.S. Jaswal, D.J. Sellmyer, Annealing effects on the magnetic properties of $Nd_2Fe_{17-x}Ga_x$, *Journal of Magnetism and magnetic materials* **208** (2000) 93-96.

Effect of La and Ga substitution on the structural and magnetic properties of $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ Intermetallic Compound

Parvaneh Iranmanesh[*,1], Samira Saeednia[2]

[1] Department of Physics, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, 77139-36417 Rafsanjan, Iran.
[2] Department of Chemistry, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, 77139-36417 Rafsanjan, Iran.

Received: 28.06.2016 Final revised: 07.11.2016 Accepted: 23.11.2016

Abstract

In this study, the crystalline structure and magnetic properties of $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ polycrystalline compound are investigated by means of powder X-ray diffraction, vibrating Sample Magnetometer (VSM) and Superconducting Quantum Interference Device (SQUID) magnetometer. The ternary intermetallic compounds $Pr_{2-y}La_yFe_{17-x}Ga_x$ have been synthesized and the results show that the single phase sample with the expected rhombohedral structure is formed. Upon La and Ga substitution, the lattice parameters are increased and due to the change of the anisotropy and exchange effects, the Curie temperature, magnetisation behavior and saturation magnetization is changed. The Curie temperature is decreased due to the increasing of unit cell by La substation whereas; the Ga substation for Fe in the samples causes the increases of Curie temperature. The La and Ga substation leads to the decrease of saturation magnetisation as a result of reduction of the average Fe–Fe hybridization and the increase of the content of the non-magnetic element.

Keywords: Intermetallic, Magnetic property, Curie temperature, Saturation magnetism

[*] Corresponding author: p.iranmanesh@vru.ac.ir