



اثر جانشانی آنتیموان بر ویژگی ساختاری و مغناطیسی گارنت ایتریوم آهن تهیه شده به روش سل ژل

اسماء پرمهر^{۱*}، محمد نیایی فر^۲، احمد حسن پور^۲

۱- گروه فیزیک، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه فیزیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۲۱، نسخه نهایی: ۹۷/۲/۲۶)

چکیده: در این پژوهش نانو بلورکهای گارنت ایتریوم آهن جانشانی شده با آنتیموان با فرمول ساختاری $(Sb-YIG)_{x} Y_{3-x} Fe_5 O_{12}$ با $x=0, 0.1, 0.2$ به روش سل ژل تهیه شدند و اثر جانشانی آنتیموان بر ساختار بلوری توسط پراش سنج پرتوایکس (XRD) و بیناب-سنجدی تبدیل فوریه فروسرخ دور (Far FT-IR) بررسی شد. نتایج نشان داد که نمونه‌ها علاوه بر فاز گارنت دارای فازهای جانبی $YFeO_3$ ، $\alpha-Fe_2O_3$ و Sb_2O_4 بودند و با افزایش مقدار جانشانی، فاز گارنت کاهش یافته است. مقدار فاز گارنت و فازهای ناخالصی محاسبه شد و پس از آن درصد فاز آنتیموان جانشانی شده در جایگاه دوازده‌وجهی بدست آمد. در پایان، ویژگی‌های مغناطیسی نانوذرات با استفاده از مغناطیس سنج نمونه‌ی ارتعاشی (VSM) بررسی شد که مشخص شد مغناطیش اشباع Sb-YIG با افزایش جانشانی کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: سل ژل؛ گارنت ایتریوم آهن؛ آنتیموان؛ بیناب سنجی تبدیل فوریه فروسرخ دور؛ مغناطیس سنج نمونه‌ی ارتعاشی.

یون ایتریوم، جایگاه‌های چاروچهی (d) و هشت‌وجهی (a) توسط یون‌های آهن اشغال شده‌اند، به‌طوری‌که گشتاورهای مغناطیسی جایگاه‌های a و d به طور پادموازی نسبت به هم جهت‌گیری می‌کنند [۹]. جانشانی در ساختار YIG به‌ویژه در جایگاه دوازده‌وجهی، باعث ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی جدیدی می‌شود که وابسته به شعاع یونی و ویژگی‌های مغناطیسی یون آلاینده است. طی دهه‌های گذشته، YIG:Bi نه تنها برای کاربرد آن در دستگاه‌های ریزموچ و مغناطیوپاتیکی بلکه به دلیل رفتار مغناطیسی غیرعادی آن بطور گستردۀ بررسی شده است [۱۰-۱۶]. با گزارش اثرفواردی بزرگ در Bi:YIG به‌وسیله چتکین کشف نقش یون مغناطیسی Bi^{3+} در ویژگی‌های مغناطیسی Bi:YIG

مقدمه

گارنت ایتریوم آهن با فرمول ساختاری $YIG:Y_3Fe_5O_{12}$ یک ماده‌ی فری‌مغناطیس است که به علت داشتن پتانسیل‌های کاربردی بالا و ویژگی مغناطیوپاتیکی به طور گستردۀ در وسایل الکترونیکی برای گستره ریزموچ [۳-۱] و همچنین در ابزارهای موج‌بری ناوارون، قطعات مجتمع اپتیکی، حافظه‌های مغناطیونوری با کارایی‌های بسیار بالا، چرخنده‌ها و جداکننده‌ها به کار می‌رود [۴-۷]. ساختار بلوری YIG مکعبی با گروه فضایی $O_{12}^{10} - Ia\bar{3}d$ است که هر یاخته یکه آن شامل هشت واحد فرمولی $[Y_3^{3+}]_a[Fe_2^{3+}]_d[Fe_3^{3+}]_cO_{12}^{2-}$ است که a، c و d به ترتیب جایگاه‌های دوازده‌وجهی، هشت‌وجهی و چاروچهی را نمایش می‌دهند [۸]. جایگاه‌های دوازده‌وجهی توسط

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۶۱ ۳۴۴۳۵۲۸۸، نامبر: ۰۶۱ ۳۴۴۵۷۱۷۴، پست الکترونیکی: md.niyaifar@gmail.com

روش سل ژل تهیه شدند. مواد به کار رفته در ساخت نانوذرات شامل نیترات آهن ۹ آبه $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ و نیترات ایتریوم ۶ آبه $\text{Y}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ از شرکت مرک و استات آنتیموان $\text{Sb}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$ از شرکت آلدریج با خلوص حداقل ۹۹ درصد بودند. در این کار، نسبت سیترات به یون‌های نیترات ۳ در نظر گرفته شد. مواد اولیه و اسید سیتریک با مقادیر محاسبه شده برپایه موازنی عنصری در آب مقطار حل و به منظور تنظیم $\text{pH} = ۲$ آمونیاک قطره قطره به محلول اضافه شد. سل آمده شده توسط یک همزن مغناطیسی در دمای 85°C به مدت یک ساعت به ژل غلیظی تبدیل شد، ژل بدست آمده به مدت ۴۸ ساعت در دمای 115°C گرمایی $115^\circ\text{C}/\text{min}$ به مدت ۵ در 1000°C شد. الگوهای Rigaku پراش پرتوایکس (XRD) با استفاده از دستگاه 2013 پرتوایکس (VSM) ساخت شرکت Lake shore مدل 7400 ارتعاشی (VSM) برسی قرار گرفتند.

بحث و بررسی

بررسی ویژگی‌های ساختاری

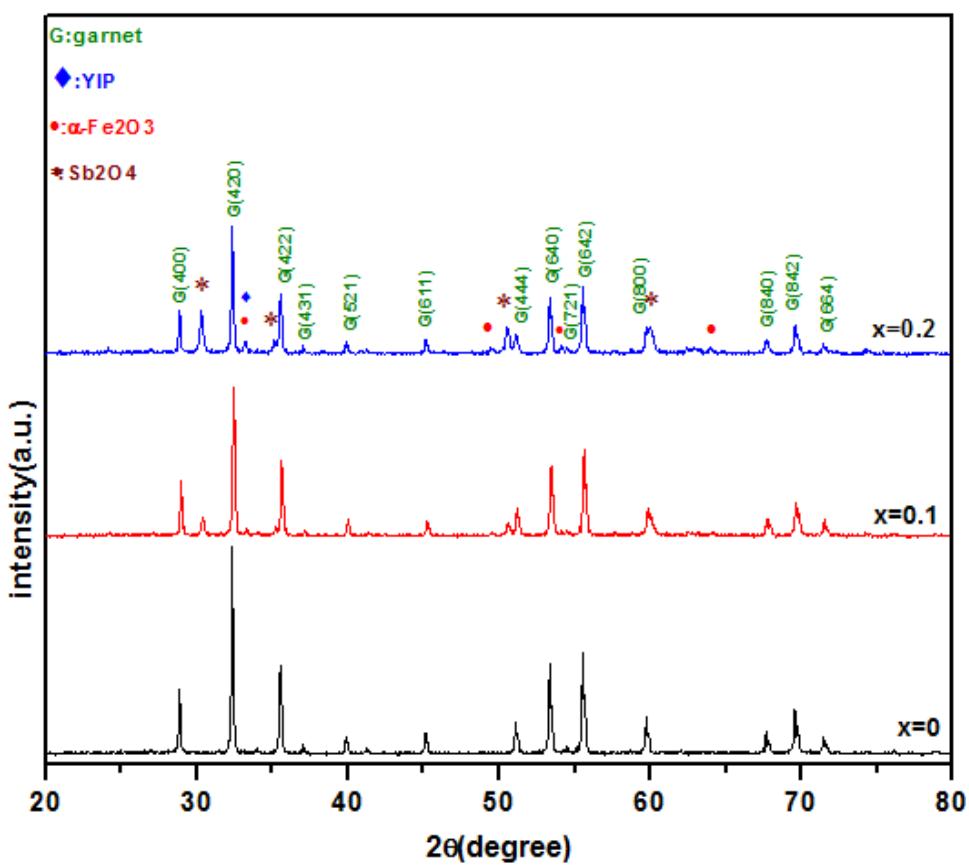
شكل ۱ الگوهای پراش پرتوایکس نانوذرات گارنت $\text{Sb}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ را برای $x = 0, 0.1, 0.2$ نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در الگوی $x = 0$ تنها فاز YIG می‌شود، اما با افزایش جانشانی فازهای ناخالصی نیز ظاهر می‌شوند. در نمونه‌های $x = 0.1$ و 0.2 در کنار فاز اصلی YFeO_3 (YIG)، فازهای جانبی YIP ، YFe_2O_3 و Sb_2O_4 و $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ نیز ظاهر شدند. فاز YIG تشکیل شده با کارت استاندارد $33-0693$ ، فاز YIP با کارت استاندارد $2609-089-01$ ، فاز $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ با کارت استاندارد $064-033-000$ و فاز Sb_2O_4 با کارت استاندارد $1566-075-101$ همخوانی دارند. مقدار نسبی فاز گارنت و سایر فازهای جانبی توسط فرمول کلگ، (رابطه ۱) محاسبه شد، که مقادیر آنها در جدول ۱ آمده است [۲۹]:

$$f_G = \frac{(I_G^{\text{mix}}/I_G^{\text{pure}})K_A}{K_G - (I_G^{\text{mix}}/I_G^{\text{pure}})[K_G - K_A]} \quad (1)$$

بسیار مورد توجه قرار گرفت [۱۷]. از این‌رو، پژوهش‌های بسیاری پیرامون رفتار مغناطیسی $\text{Bi}: \text{YIG}$ انجام شده و دلیل افزایش مغناطیس به تغییر شکل ساختاری و افزایش تبادل الکترونی [۱۸، ۱۹] ناشی از تغییر فاصله‌های $\text{Fe}-\text{O}$ و زاویه‌ی $\text{Fe}_{(d)}^{3+}-\text{O}-\text{Fe}_{(d)}^{3+}$ [۲۰] نسبت داده شده است. در این پژوهش‌ها، مشاهده کاهش اشباع مغناطیسی به یکی از دو عامل جایگاه‌های a و d در زیرشبكه‌های باجهت‌های گشتاور مغناطیسی کج شده متفاوت [۲۱] و اثر وزن اتمی بر چگالی آن نسبت داده شد [۲۲، ۲۳]. برپایه نتایج پژوهشی اخیر [۲۴]، همپوشی اوربیتال‌های اتمی، و هیبریدشدن اوربیتال‌های $6p$ بیسموت در اوربیتال d آهن باعث نرخ رشد رفتار مغناطیسی بیسموت در نانوذرات گارنت می‌شود. در این برسی، برخلاف انتظار، یون دیامغناطیس بیسموت در تغییر مغناطیس تاثیرگذار بود. پیش‌بینی می‌شود که به دلیل هم‌گروه بودن دو عنصر آنتیموان و بیسموت در جدول تناوبی و تشابه ویژگی‌های ساختار الکترونی و مغناطیسی آنها، در جانشانی آنتیموان در ساختار گارنت ایتریوم آهن رفتاری مشابه گارنت ایتریوم آهن جانشانی شده با بیسموت از خود دیده می‌شود. از این‌رو، برسی نقش مغناطیسی یون دیامغناطیس Sb در ساختار YIG بسیار جالب به نظر می‌رسد. گزارش معتبری از ساخت و برسی ویژگی‌های مغناطیسی گارنت ایتریوم آهن جانشانی شده با آنتیموان سه ظرفیتی مشاهده نشده است. اوراژیو و همکاران تنها به برسی ویژگی مغناطیسی گارنت ایتریوم آهن جانشانی شده با آنتیموان پنج ظرفیتی پرداخته‌اند [۲۵-۲۸]. در این پژوهش نانوذرات گارنت به روش سل ژل تهیه و یون دیامغناطیس آنتیموان به جای یون‌های دیامغناطیس ایتریوم جانشانی شدند. انتظار می‌رود که با این جانشانی ویژگی مغناطیسی YIG آلاییده با Sb^{3+} بدون تغییر بماند. هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی نانوذرات Sb-YIG و تطبیق رفتار این نانوذرات با نانوذرات Bi-YIG است.

روش ساخت

نانوذرات گارنت ایتریوم آهن جانشانی شده با آنتیموان با ترکیب $\text{Sb}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ و مقادیر جانشانی $x = 0, 0.1, 0.2$ به



شکل ۱ الگوهای پرتو ایکس نمونه‌های $\text{Sb}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ با مقادیر جانشانی $x=0, 1/2, 1, 2$

جدول ۱ مقادیر فاصله‌ای $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ و Sb_2O_4 ، YIP ، YIG با مقدار جانشانی $0, 1/2, 1, 2, 3$ در نمونه‌های $\text{Sb}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ با $\text{Sb}_{3-y}\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$

Sb_2O_4 فاز	$\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$ فاز	YIP فاز	YIG فاز	نام نمونه
+	+	+	100%	$x = +$
3%	14%	8%	75%	$x = +/1$
8%	14%	7%	71%	$x = +/2$

نshedde در سیستم $Sb-YIG$ وارد نمی شود عبارت است از $0.070 = 0.114 + 0.40\% \times 0.7\% + 0.20\% \times 0.33\% \times 0.8\%$ و مقدار آنتیموان جانشانی

که با کم کردن آن از مقدار جانشانی، درصد فازی آنتیموان
جانشانی شده در جایگاه دوازده و چهارمی
$$= \frac{0.264}{0.00264} = 173.6$$

مقدایر محاسبه شده برای درصد فازی آنتیموان جانشانی شده در جایگاه دوازده‌وجهی برای نمونه‌ها در جدول ۲ آمده است. دیده می‌شود که در جانشانی‌های کمتر، مقدار بیشتری آنتیموان، د. ساختار، گا، بت قا، م. گی. د. آنتیموان، د. جایگاه

در این رابطه، f_G ، K_G و I_G^{pure} به ترتیب کسر وزنی، ضریب وزن جرمی، شدت فاز در حالت ترکیبی و حالت خالص فاز گارنت است، K_A برای فازهای YIP و $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ، $K_{Sb_2\text{O}_4}$ به ترتیب بصورت $Sb_2\text{O}_4$ و $K_{\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3}$ است. برای محاسبه‌ی درصد آنتیموان جاشنای شده، از آنجاکه یک پنجم ساختار $YFeO_3$ و دو پنجم ساختار $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ آهن و سه پنجم ساختار $Sb_2\text{O}_4$ آنتیموان است، بنابراین می‌توان مقدار آهن و آنتیموان مربوط به هر فاز را در نمونه‌ها محاسبه کرد. برای مثال، در نمونه $x = 0.2$ ، که 7% فاز YIP و 14% فاز $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ و 8% فاز $Sb_2\text{O}_4$ وجود دارد، مقدار آهن که در

$t = \frac{0.9\lambda}{(B \cos \theta)}$ ، که در آن θ زاویه‌ی پراش، B پهن‌شدگی قله در نیم شدت بیشینه و λ طول موج پرتو x است) در گستره ۴۰-۵۵ نانومتر برآورد شد.

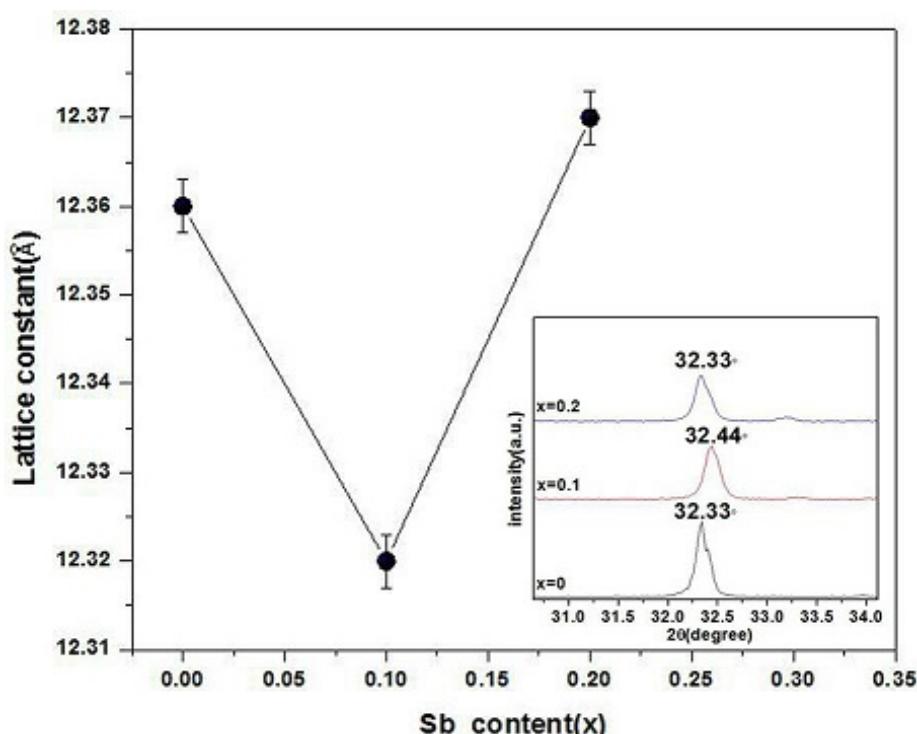
چنانکه در شکل ۲ دیده می‌شود مقادیر ثابت شبکه با جانشانی آنتیموان در ساختار گارنت ابتدا کاهش و سپس افزایش می‌یابد، کاهش ثابت شبکه را می‌توان به کوچکتر بودن شعاع یونی آنتیموان 0.9\AA در مقایسه با شعاع یونی ایتریوم 0.1016\AA نسبت داد [۳۲، ۳۱]، این تغییرات متضاد کاهش و سپس افزایش ثابت شبکه را می‌توان به تشکیل فازهای جانبی نسبت داد [۳۳]، که در شکل ۲ جابجایی قله اصلی به سمت راست و سپس چپ به ترتیب کاهش و افزایش ثابت شبکه را تایید می‌کند.

هشت‌وجهی و چاروچهی نیز اختلال ایجاد می‌کند و مقداری از آهن به صورت فاز $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ظاهر می‌شود. یحیی و همکاران [۳۰] با جانشانی آلومینیم در جایگاه ایتریوم نشان دادند که یون‌های آلومینیم بطور جزئی اشغال جایگاه‌های چاروچهی و هشت‌وجهی را بر جایگاه دوازده‌وجهی ترجیح می‌دهند. آن‌ها این موضوع را به کوچکتر بودن شعاع یونی آلومینیوم (0.5\AA) نسبت به شعاع یونی ایتریوم (1.016\AA) نسبت دادند. برایه محاسبات انجام شده برای مقدار آنتیموان جانشانی شده در جایگاه دوازده‌وجهی دیده می‌شود که آنتیموان نیز به علت کوچکتر بودن شعاع یونی آن (0.9\AA) نسبت به ایتریوم (1.016\AA) به طور کامل در جایگاه دوازده‌وجهی قرار نمی‌گیرد.

اندازه متوسط بلورک‌ها با استفاده از رابطه شر

جدول ۲ مقدار واقعی آنتیموان جانشانی شده در جایگاه دوازده‌وجهی برای نمونه‌های $\text{Sb}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ با مقادیر جانشانی $x = 0.1, 0.2$

نام نمونه	مقدار ایتریوم اضافه آمده در سیستم	مقدار آهن اضافه آمده در سیستم	مقدار آنتیموان اضافه آمده در جانشانی شده در جایگاه C	مقدار واقعی آنتیموان جانشانی شده در جایگاه دوازده‌وجهی
$x = 0.1$	۰.۰۰۹۹	۰.۰۷۲	۰.۱۹۰۱	۰.۱۷۳۶
$x = 0.2$	۰.۰۱۶	۰.۰۱۴	۰.۰۲۶۴	۰.۰۷۰

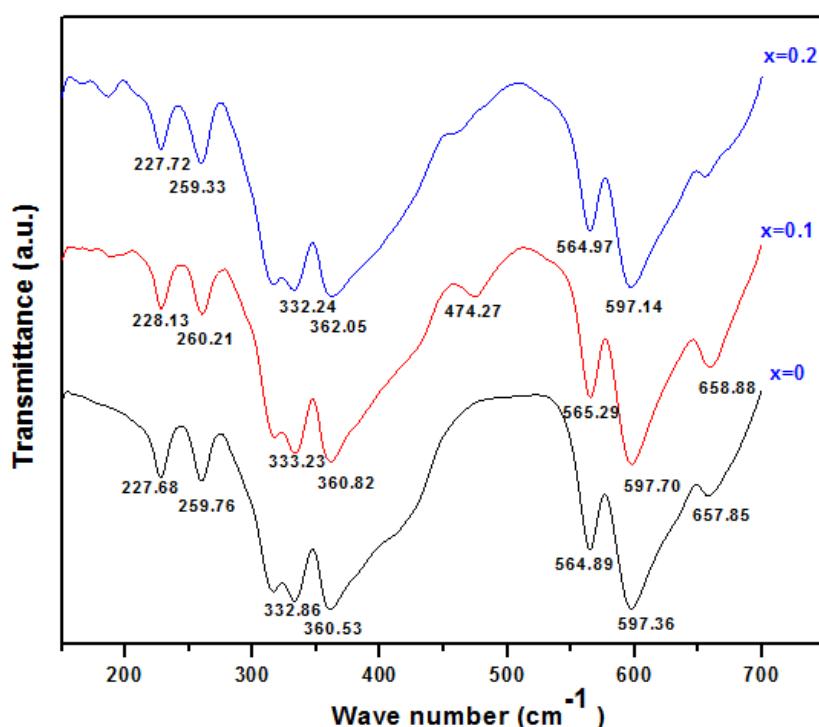


شکل ۲ تغییرات ثابت شبکه نمونه‌های $\text{Sb}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ با مقادیر جانشانی $x = 0.1, 0.2$

نوار موجود در cm^{-1} ۴۷۴/۲۷ مربوط به مد v_4 است. نوارهای موجود در cm^{-1} ۳۱۶/۱۲، ۳۱۶/۳۳ را نمی‌توان با توجه به گزارشات پیشین به مد R نسبت داد [۳۶، ۳۵]. با توجه به نخستین قانون انتخاب، انتقال بین اوربیتال‌های d برای جایگاه با تقارن مرکزی غیرممکن است. به همین علت، کمبود تقارن مرکزی، انتقال بین اوربیتال‌های d را ممکن می‌کند. با توجه به اینکه جایگاه چاروجهی دارای تقارن مرکزی کمتری در مقایسه با جایگاه هشت‌وجهی است، بنابراین مشاهده شدت جذب قوی‌تر برای نوارهای جایگاه چاروجهی قابل انتظار است [۳۷]. بینابهای IR برای همه نمونه‌ها یک جابجایی کوچک در نوارهای جذب را نشان می‌دهد. جانشانی کاتیون موجب ایجاد نوار جدید، جابجایی نوارها و جداشده‌گی در جایگاه جانشانی می‌شود و در دیگر جایگاه‌ها ممکن است تنها پهن‌شدگی و جابجایی رخ دهد [۳۸]. نوارهای ظاهر شده مربوط به نمونه $x = 0/2$ برای نمونه $x = 0/2$ در cm^{-1} ۵۶۴/۹۷ و ۵۶۴/۱۴ وارد شدن یون Sb^{3+} در جایگاه دوازده‌وجهی ساختار گارنت ایتریوم آهن باشد. بنابراین با توجه به مطالب گفته شده می‌توان جابجایی و پهن‌شدگی در بیناب فروسرخ دور نمونه‌ها را به جانشانی Sb^{3+} در جایگاه دوازده‌وجهی نسبت داد.

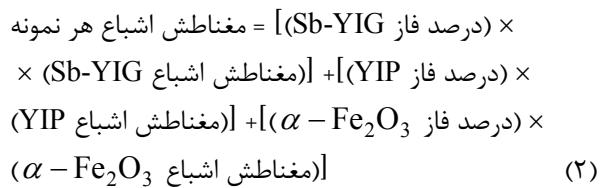
شکل ۳ بیناب‌های تبدیل فوریه فروسرخ دور نمونه‌های $\text{Y}_{3-x}\text{Sb}_x\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ با مقادیر جانشانی $0/2$ و $0/1$ را نشان می‌دهد که برای بررسی ارتعاشات یون اکسیژن با کاتیون‌های موجود در ساختار YIG تهیه شده‌اند. با توجه به نظریه گروه، ۹۸ مد ارتعاشی فعال در نخستین منطقه بریلوئن وجود دارد که عبارتند از ۳ مد کششی نامتقارن چاروجهی (v_3) ، ۳ مد خمشی نامتقارن و یک مد خمشی متقارن هشت وجهی (v_4) ، ۲ مد چرخشی R چاروجهی، ۲ مد انتقالی (T) چاروجهی، ۳ مد انتقالی مربوط به کاتیون جایگاه دوازده‌وجهی (T_d) و ۳ مد انتقالی کاتیون‌های هشت وجهی (T_0) [۳۴].

در شکل ۳ نوارهای ظاهر شده در عدددهای موج ۶۵۷/۸۵، ۵۹۷/۳۶، ۵۶۴/۸۹ cm^{-1} برای نمونه $x = 0$ مربوط به مد کششی نامتقارن جایگاه چاروجهی (v_3) است. در اینجا چون شعاع یونی آنتیموان از ایتریوم کوچکتر است و همچنین ثابت شبکه نخست کاهش و در نمونه $x = 0/2$ افزایش یافته است دیده می‌شود که جایگاه آن‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش یافته است. نوار موجود در cm^{-1} ۳۶۲/۰۵ را می‌توان ۲ در نظر گرفت و نوار موجود در cm^{-1} ۳۳۲/۲۴ مربوط به مد T_0 است.



شکل ۳ طیف‌های تبدیل فوریه فروسرخ دور نمونه‌های $\text{Sb}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ با مقادیر جانشانی ($x = 0/1$ ، $0/2$).

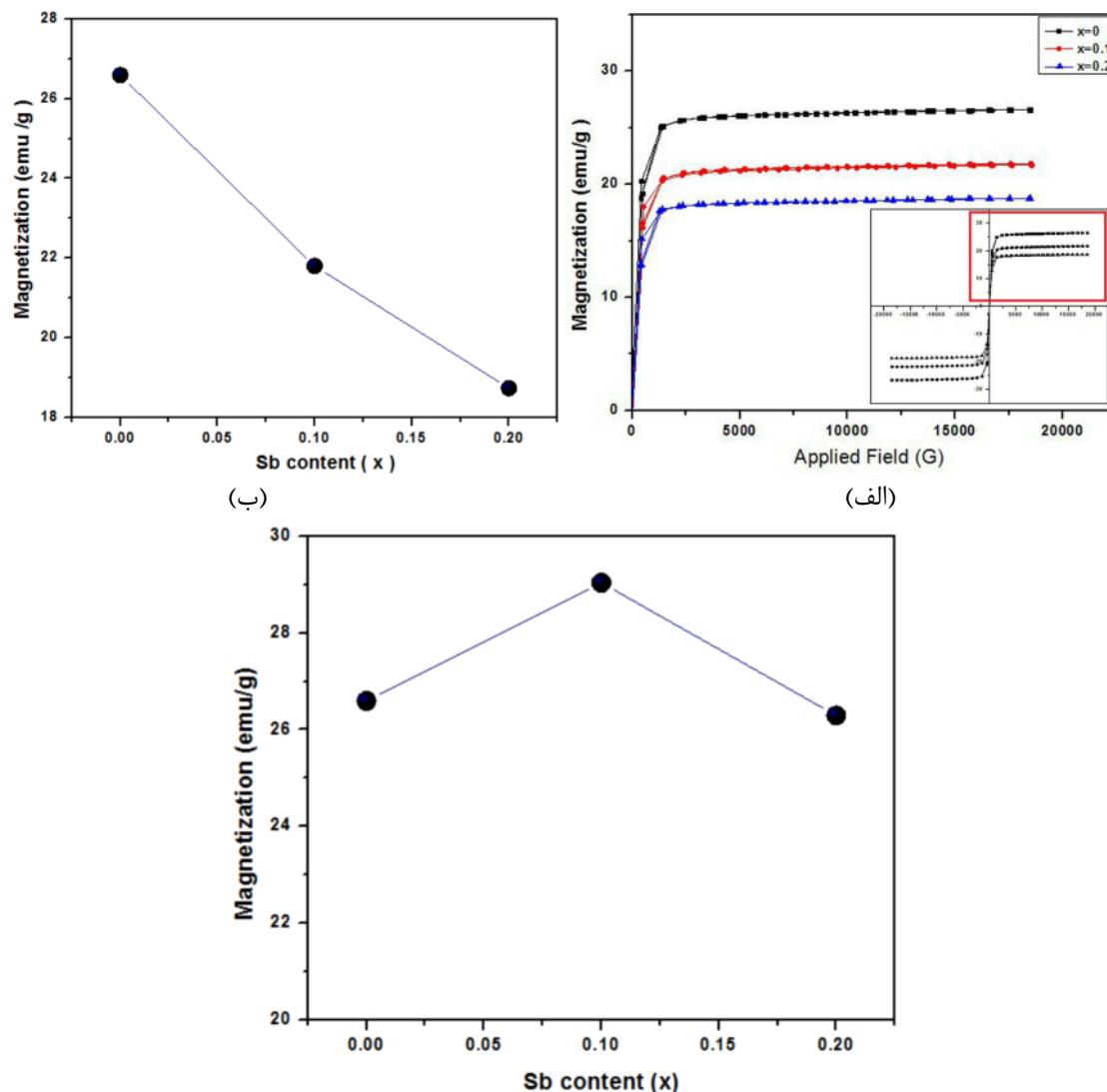
جانبی را از مغناطش کل کم کرد تا مغناطش $Sb_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ به دست آید:



مغناطش اشباع (M_S) تقریباً برابر $\frac{0.18}{x}$ و مغناطش اشباع α - Fe_2O_3 تقریباً برابر $\frac{0.3}{x}$ است [۴۱، ۴۰]. مغناطش اشباع همه نمونه‌ها با استفاده از رابطه‌ی (۲) محاسبه شده و در جدول ۳ آمده است.

بررسی ویژگی‌های مغناطیسی

شکل ۴ الف منحنی پسماند مغناطیسی نمونه‌های $Sb_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ با مقادیر جانشانی $x = 0, 0.1, 0.2$ را در دمای اتاق نشان می‌دهد. تغییرات مغناطش اشباع (M_S) نمونه‌ها نسبت به مقادیر جانشانی نیز در شکل ۴ ب نشان داده شده که به صورت کاهشی است. این موضوع که وجود فازهای YIP و α - Fe_2O_3 باعث کاهش مغناطش می‌شود با گزارش‌های پیشین همخوانی کامل دارد [۳۹]. از آنجاکه نمونه‌ها شامل چهار فاز Sb_2O_4 , YIP, α - Fe_2O_3 , YIG هستند، شکل ۴ ب نمی‌تواند شکل صحیحی برای بیان تغییرات مغناطش $Sb_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ باشد؛ به عبارتی باید سهم مغناطش فازهای



شکل ۴ (الف) منحنی‌های پسماند مغناطیسی و (ب) تغییرات مغناطش اشباع با در نظر گرفتن فازهای جانبی نمونه‌های $Sb_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ با مقادیر جانشانی $x = 0, 0.1, 0.2$ ، پ) تغییرات مغناطش اشباع بدون در نظر گرفتن فازهای جانبی نمونه‌های $Sb_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ با مقادیر جانشانی $x = 0, 0.1, 0.2$

جدول ۳ مقادیر مغناطیش اشباع نانو ذرات گارنت $\text{Sb}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ با جانشانی $x = 0, 0.1, 0.2$

Sb-YIG	مغناطیش	Sb-YIG	فاز	Fe_2O_3	مغناطیش	Fe_2O_3	فاز	YIP	مغناطیش	YIP	فاز	نام نمونه
۲۶,۵۹۴		۱۰۰٪		۰,۳		۰		۰,۱۸		۰		$x = 0$
۲۹,۰۴۰		۷۵٪		۰,۳		۱۴٪		۰,۱۸		۸٪		$x = 0,1$
۲۶,۲۹۴		۷۱٪		۰,۳		۱۴٪		۰,۱۸		۷٪		$x = 0,2$

مختلف گشتاور مغناطیسی یون‌های آهن در مکان‌های a و d که باعث کاهش در مغناطیش می‌شود، نسبت داده شود. این توضیحات با گزارشات مربوط به یون دیامغناطیس Bi^{3+} که در جدول تناوبی در همسایگی Sb^{3+} قرار گرفته است همخوانی دارد [۲۴, ۱۹, ۸].

برداشت

در این پژوهش، نانوذرات گارنت ایتریوم آهن جانشانی شده با آنتیموان به روش سل ژل ساخته شد، نمونه‌ی بدون جانشانی دارای فاز کامل گارنت بود، اما با جانشانی آنتیموان در کنار فاز گارنت، فازهای جانبی YFeO_3 (YIP)، Fe_2O_3 و α و Sb_2O_4 ظاهر شدند که با افزایش جانشانی درصد فازهای ناخالصی بیشتر شد. مقدار نسبی فاز گارنت و سایر فازهای جانبی با استفاده از رابطه‌ی کلاگ محاسبه شد. محاسبات نشان داد که همه کاتیون‌های Sb^{3+} به طور کامل در جایگاه دوازده‌وجهی جانشانی نشده و مقداری آنتیموان به صورت فاز جانبی نمایان شده است. بررسی ویژگی‌های مغناطیسی نمونه‌ها بدون در نظر گرفتن فازهای جانبی نشان داد که مغناطیش اشباع یک روند افزایشی و سپس کاهشی دارد که روند افزایشی به افزایش برهمنش‌تبادلی و گشتاور مغناطیسی یون Sb^{3+} و کاهش به جهت‌گیری گشتاور مغناطیسی یون‌های آهن در مکان‌های a و d که باعث کاهش در مغناطیش می‌شود، نسبت داده شد.

مراجع

- [1] J. S. Kum, S. J. Kim, I. B. Shim and Ch. S. Kim; "Magnetic properties of Ce, substituted yttrium iron garnt ferrit powders fabricated using

با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول ۳، نمودار تغییرات مغناطیش بر حسب افزایش مقادیر جانشانی بدون در نظر گرفتن فازهای اضافی در شکل ۴ پ، ۵ نشان داده شده است. دیده می‌شود که افزایش مغناطیش اشباع برای نمونه‌های $x = 0, 1$ تا $x = 0, 2$ افزایش و سپس در $x = 0, 2$ کاهش یابد. بر پایه نظریه نیل، گشتاورهای مغناطیسی یون‌های آهن در زیر شبکه‌های a و d نسبت به یکدیگر دارای نظم پادفو مغناطیس هستند، بنابراین مغناطیش کل ساختار YIG برابر است با [۴۲]:

$$M = |M_d - M_a| - M_c \quad (3)$$

که مقدار مغناطیش جایگاه c به دلیل وجود یون دیامغناطیس Sb^{3+} در این جایگاه صفر است. با توجه به اینکه یون Sb^{3+} دارای اریتال آخر $5s^2$ است، همانند یک یون دیامغناطیس است. پس انتظار می‌رود که با جانشانی این یون در جایگاه دوازده‌وجهی مغناطیش اشباع ثابت بماند، اما جانشانی یون Sb^{3+} که به عنوان یک یون مغناطیسی عمل می‌کند باعث تغییر مغناطیش می‌شود. در جانشانی آنتیموان، در جایگاه c دو یون دیامغناطیس ایتریوم و آنتیموان وجود دارند، پس باید مغناطیش جایگاه c صفر باشد، اما در واقع چنین نیست. با توجه به پژوهش‌های انجام شده بر روی بیسموت می‌توان گفت که آنتیموان باعث افزایش برهمنش‌تبادلی به وسیله هیبریدشدگی اریتال $5p$ آنتیموان در اریتال $3d$ آهن جایگاه چاروچهی می‌شود. این پدیده موجب می‌شود که یون آنتیموان به عنوان یک یون مغناطیسی عمل کند. بنابراین، افزایش مغناطیش اشباع تا $x = 0, 1$ می‌تواند به افزایش برهمنش‌تبادلی و گشتاور مغناطیسی یون Sb^{3+} نسبت داده شود. کاهش در نمونه‌های $x = 0, 1$ تا $x = 0, 2$ می‌تواند به راستاهای M_s

- method", J. Appl. Phys. 97 (2005)pp. 013516-0135164.*
- [11] Hansen P., Witter K., Tolksdorf W., "Magnetic and magneto-optic properties of lead-and bismuth-substituted yttrium iron garnet films", Phys. Rev. B27(1983)pp. 6608-6625.
- [12] Matsumoto K., Yamaguchi K., Fujii T., "Preparation of bismuth-substituted yttrium iron garnet powders by the citrate gel process", J. Appl. Phys. 69(1991)pp. 5918-5920.
- [13] Hasanpour A., Mozaffari M., Amighian J., Richert H., Lorenz A., Linder M., Gornert P., Heegn H., "Preparation and magneto-optical properties of $BiY_2Fe_5O_{12}$ organic nanocomposite films", J. Magn. Magn. Mater. 317(2007)pp. 41-45.
- [14] Kawai N., Komuro E., Namikawa T., Yamazaki Y., "Preparation of Bi-YIG particles for display devices", IEEE Trans. Magn. 30(1994)pp. 4446-4448.
- [15] Kuroda C. S., Taniyama T., Kitamoto Y., Yamazaki Y., "Magneto-optical properties and morphology of particulate film consisting of Bi-YIG coprecipitated particles", J. Magn. Magn. Mater. 241(2002)pp. 201-206.
- [16] Fu Y. P., Hung D. S., Cheng, C. W., Tsai F. Y., Yao Y. D., "Non-isothermal crystallization kinetics and microwave properties of $Bi_{0.75}Y_{2.25}Fe_5O_{12}$ prepared by coprecipitation", Ceram. Int. 35 (2009) pp. 559-564.
- [17] Chetkin M. V., Morozova I. G., Tyutneva G. K., "Farady effect mechanisms in ferrimagnets" Sov. Phys. Sol. State 9(1968)pp. 2852.
- [18] Geller S., Colville A. A., "Increased Curie temperature and superexchange interaction in bismuth and vanadium substituted YIG", AIP Conference Proceedings No. 24, AIP, New York, (1975) pp. 372-373.
- [19] Scott G. B., Lacklison D. E., Page J., Hewett L. J., "Absorption spectra and magneto-optic figures of merit in the $Bi_xSm_{3-x}Fe_{5-y}Ga_yO_{12}$ system", Appl. Phys. 9(1976)pp. 71-77.
- [20] Geller S., "in Physics of Magnetic Garnet, A. Paoletti(Ed), North-Holland", New York, 1978.
- a sol-gel method", Journal of Magnetism and magnetic materials 272-276, (2004)pp. 2227-2229.*
- [2] A.V. Nazarov, D. Menard, J. J. Green, C. E. Patton, G. M. Argentina, H. J. Van Hook, "Neer theoretical microwave loss in hot isostatic pressed (hipped) polycrystalline yttrium iron garnet"; Journal of Applied Physics, vol. 94, no, 11, (2003)pp. 7227-7234.
- [3] T. Aichele, A. Lorenz, R. Hergt, and P. Gornert, "Garnet layers prepared by liquid phase epitaxy for microwave and magneto-optical applications-a review", Crystal Research and Technology, vol. 38, no. 7-8, (2003), pp. 575-587.
- [4] Ristic M., Nowik I., Popovic S., Felner I., Music S., "Influence of synthesis procedure on the YIG formation", Materials Letters 57 (2003)pp. 2584-2590.
- [5] Ravi B. G., Guo X. Z., Yan Q.Y., Gambino R. J., Sampath S., Parise J. B., "Phase evolution and magnetic properties of Al substituted yttrium iron garnet nanopowders and plasma-sprayed coatings", Surface and Coatings Technology 201 (2007)pp. 7597-7605.
- [6] Wang C. C., Yu W. T., "Synthesis of yttrium iron garnet using polymer-metal chelate precursor", Journal of Colloid and Interface Science 306 (2007)pp. 241-247.
- [7] Lee J. W., Oh J. H., "Magneto-optical properties of Bi-YIG nanoparticles dispersed in the organic binder", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 272 (2004)pp. 2230-2232.
- [8] M. Niyaifar, H. Mohammadpour, "study on magnetic role of Bi^{3+} ion by random cation distribution model in Bi-YIG system", Journal of Magnetism and magnetic materials 396(2015)pp. 65-70.
- [9] Menzer G., "Die kristall structure der granate", z. kristallogr 69 (1928)pp. 300-396.
- [10] Ishibashi A., Mizusama M., Nagai S., Shimizu K., Shimizu K., Sato N., Togashi T., Mogi M., Houchido H., Sano K., Kuriyama, "Chatacterization of epitaxial $(Y, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ thin films grown by metalorganic decomposition

Borkowski, Majid Niaz Akhtar, Muhammad Kashif, Mansor Hashim, "Morphology and magnetic characterization of Aluminium substituted Yttrium-Iron Garnet nanoparticles prepared using sol gel technique", Journal of nanoscience and nanotechnology, Vol. 11, (2011) pp. 2652-2656.

[31] Kim C. S., Min B. K., Kim S. J., Yoon S. R., Uhm Y. R., "Crystallographic and magnetic properties of $Y_3Fe_{5-x}Al_xO_{12}$ ", Journal of Magnetism and Magnetic Materials 254-255 (2003)pp. 553-555.

[32] Azadimotlagh Z., Mozaffari M, Amighian J., "Preparation of nano-sized Al-substituted yttrium iron garnet by the mechanochemical method and investigation of their magnetic properties", Journal of Magnetism and Magnetic Material 321(2009)pp. 1980-1984.

[33] Beh H.G., Irmawati R., Noorhana Y., Lim K.P., "Phase Evolution and Crystallite size of La-Substituted YIG at different calcination temperatures", International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol:09 No:09 (2009) pp: 59-62.

[34] Hofmeister A. M., Campbell K. R., "Infrared Spectroscopy of Yttrium aluminum, Yttrium aluminum, Yttrium Gallium and Yttrium Iron Garnet", J. Applied Phys (1992)pp. 638-646.

[35] Fechine A. B. P., Silva E. N., Menezes A. S., Derov J., Stewart J. W., Drehman A. J., Vasconcelos A. F., Ayala A. P., Cardoso L. P., J. Phys chem solid 70(2009)pp. 202-209.

[36] Hofmeister A. M., "Infrared microspectroscopy. In H. J. Humecki, Ed., Practical Guide to Infrared Spectroscopy, 2nd ed". Marcel Dekker, New York (1995) pp. 377-416.

[37] Shaeel A, Al-Thabait, "Synthesis and characterization of a new cobalt polymeric spinels", Commun. dela Facult'e des Sci. de l'Universit'e d'Ankara 49 (2003)pp. 5-14.

[38] Hild E., Beregi E., "IR spectroscopic investigation of the garnet materials used in the microwave electronics", Chemical Engineering 30 (1986)pp. 235-246.

[21] Xu H., Yang H., Xu W., Yu L., "Magnetic properties of Bi-doped $Y_3Fe_5O_{12}$ nanoparticle", Curr. Appl. phys. 8(2008)pp. 1-5.

[22] Amighian J., Hasanpour A., Mozaffari M., "The effect of Bi mole ratio on phase formation in $Bi_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ nanoparticles", Phys. Status Solidi 1(2004)pp. 1769-1771.

[23] Niyaifar M., Ramani M., Radhakrishna C. M., Mozaffari M., Hasanpour A., Amighian J., "Magnetic studies of $Bi_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ fabricated using conventional metod Hyperfine Interact", 187(2008)pp. 137-141.

[24] Rogalev A., Goulon J., Wilhelm F., Brouder Ch., Yaresko Ch., Ben Youssef J., Indenbom M.V., "Element selective X-ray magnetic circular and linear dichroisms in ferromagnetic yttrium iron garnet films", J.Magn. Magn. Mater. 321 (2009) pp. 3945-3962.

[25] D'Orazio F., Giannmaria F., Lucari F., "Anomalies in the temperature dependence of Faraday rotation on yttrium iron garnets doped with Sn, Zr, or Sb", Journal of Applied Physics 70, (1991)pp. 6295-6297.

[26] D'Orazio F., Lucari F., Tomassetti G., Desvigenes J. M., "Near infrared magnetooptical effects in Sb doped YIG", Journal of magnetism and magnetic materials 31-34 (1983) pp. 593-594.

[27] D'Orazio F., Lucari F., Terrenzio E., Tomassetti G., "Annealing effects on YIG:Sn, YIG:Sb and YIG:Zr probed by measurements of magnetic linear dichroism", Journal of magnetism and magnetic materials 54-57 (1986) pp. 1389-1390.

[28] D'Orazio F., Giannmaria F., lucari F., Parone G., "Near ir farady rotation on YIG doped with tetravalent and pentavalent elements", Journal DE physique (1988)pp. C8-969-C8-970.

[29] Hassanpour A., Niyaifar M., Mohammadpour H., Amighian J., "A novel non-thermal process of TiO_2 -shell coating on Fe_3O_4 -core nanoparticles", Journal of Physics and Chemistry of solids 73 (2012) pp. 1066-1070.

[30] Noorhana Yahya, Ramadan Masoud Al Habashi, Krzysztof Koziol, Rafal Dunin

- and uses", Wiely vch verlag GmbH,(2003)pp. 111-137.
- [42] Thongmee S., Winotai P., Tang I. M., "Local field fluctuations in the substituted aluminum iron garnets, $Y_3Fe_{5-x}Al_xO_{12}$ ", Solid State Communications 109 (1999) pp. 471-476.
- [39] Hudson. A. S., J, Phys D Apply Phy. 3,(1970)251-261.
- [40] Lirong Luo, Wei Wei, Yueyong Yuan, Kai Shen, Mingxiang Xu, Qingyu Xu., "Multiferroic properties of Y-doped $BiFeO_3$ ", Journal of Alloys and compounds 540(2012)pp. 36-38.
- [41] Cornell R. M., Schwertman u., "The iron oxide: structure, properties, reactions, occurrences