فصلنامه سرامیک ایران

بررسی رفتارهای مغناطیسی نانوذرات $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ سنتز شده از روش محلول احتراقی در دماهای مختلف

مریم احمدی خوئی[۱]، ابراهیم شریفی[۲]، لیلا قائدی وانانی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد، شناسایی و انتخاب مواد، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد

[۲] استادیار مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد

[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مواد–سرامیک، گروه مهندسی مواد، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شهرکرد

نویسنده مسئول و نویسنده اول:
مهندس مریم احمدی
دانشگاه شهرکرد
* Maryam12ahmadi1998@gmail.com

نوع مقاله: پژوهشی
صفحه‌های: ۶۰ تا ۶۷
شاپا چاپی: ۳۳۵۱-۱۷۳۵
شاپا الکترونیکی: ۳۰۹۷-۲۷۸۳
زبان نشریه: فارسی
دسترس‌پذیر در نشانی: www.JICERS.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۶
DOR: 20.1001.1.17353351.1401.18.0.13.9

چکیده: *نانو ذرات اکسید منگنز استرانسیم لانتانیم (LSMO) که خواص مغناطیسی مطلوبی از خود نشان داده‌اند، اخیراً به عنوان یک نوع جدید از نانو ذرات مغناطیسی در کاربرد هایپرترمی معرفی شده‌اند. هدف از این مطالعه بررسی رفتار نانوبلور $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ (LSMO) سنتز شده با روش محلول احتراق در دماهای مختلف است. در این پژوهش از گلایسین، که به عنوان سوخت و کمپلکس کننده عمل می کند، استفاده شده است. نانوبلورهای LSMO در دماهای مختلف ۶۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد کلسینه شدند. نانوبلورهای LSMO تولید شده از نظر ویژگی‌های ساختاری و مغناطیسی مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس مطالعه پراش اشعه ایکس (XRD)، اندازه کریستال نانو بلورهای LSMO در دماهای ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰ و ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۱۶٫۶، ۹٫۲، ۱۸٫۴، ۱۳٫۲ و ۳۳ خواهد بود. منحنی (M-H) ویژگی‌های مغناطیسی نانو بلورهای LSMO را در دماهای مختلف نشان داد که مقدار مغناطش اشباع در دماهای ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد کم‌تر از دمای ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است که احتمالاً با کاهش اندازه نانو بلورها قابل توضیح است. پیوند مؤثر نانوبلورهای LSMO با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR) مورد بررسی قرار گرفت. میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM) برای بررسی شکل و اندازه توزیع نانو بلورها استفاده شد. تصاویر نشان داد که محدوده اندازه ذرات ۲۰-۶۰ نانومتر است.*

کلمات کلیدی: *محلول احتراقی، LSMO، نانوذرات.*

۱- مقدمه

نانو ساختارهای ترکیبی چند جزئی با ترکیبات قابل تنظیم و معماری‌های فضایی منحصر به فرد، به طور جامع در زمینه‌های کاتالیز، اپتیک، مغناطیسی و زیست پزشکی مورد بررسی قرارگرفته‌اند [۱]. در میان نانو مواد شناخته شده، نانوذرات مغناطیسی به دلیل خواص مغناطیسی منحصر به فرد خود و توانایی پاسخ به میدان مغناطیسی خارجی، کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف را خواهند داشت [۲]. دردستهٔ جدید از نانو ذرات مغناطیسی، نانوذرات LSMO هستند که در زمینه‌ی پزشکی مانند درمان و تشخیص سرطان مورد بررسی قرارگرفته‌اند [۳]. اکسیدهای پروسکایت به دلیل خواص متنوعی که دارند مانند: پیزوالکتریک، فروالکتریک، ابررسانایی و اثرمقاومت مغناطیسی توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند [۴]. مقاومت مغناطیسی عظیم ذاتی در مجاورت حالت فلزی فرومغناطیسی به حالت عایق پارامغناطیس با افزایش دما، تحت چندین مقدار میدان مغناطیسی رخ می‌دهد. پروسکایت‌های منگنیت مواد اکسید پیچیده‌ای بر پایهٔ منگنزاند که دارای ترکیبی از $R_{1-x}A_xMnO_3$ هستند، که در آن R = لانتانیم (La) و A = استرانسیم (Sr)، می‌باشند [۵]. زوایای پیوند Mn-O-Mn و طول پیوند Mn-O هر دو بر پهنای پیوند تأثیر می‌گذارند. شعاع متوسط کاتیون A نیز بر خواص اکسیدهای

منگنز پروسکایت تأثیر می‌گذارد [۶]. مطالعات زیادی در جهت تنظیم عناصر برای درک رفتارهای مغناطیسی، الکتریکی و ساختاری خانواده منگنیت‌ها انجام شده است، که LSMO به دلیل دمای کوری بالا از نظر خواص مغناطیسی و الکتریکی یکی از جذاب‌ترین ترکیبات شناخته شده است [۷]. تولید انبوه نانوساختارها و هم‌چنین کنترل شکل و اندازه در مقیاس نانو، چالش برانگیزترین مسائل در سنتز نانوذرات است [۸]. از جمله روش‌های سنتز برای تهیه پودرهای LSMO، می‌توان به واکنش حالت جامد، روش محلول احتراقی، سل-ژل، روش رسوب همزمان، هیدروترمال، سل-ژل و فرآیند سیترات اشاره کرد [۹]. در واکنش حالت جامد، پیش‌سازهای اکسید یا کربنات در دمای بسیار بالا مخلوط و کلسینه می‌شوند تا نانوذرات اکسیدی تشکیل شوند. در این روش نانوذرات تشکیل شده دارای اندازه ذرات بزرگ، توزیع اندازه ناهمگن و هم‌چنین باعث ایجاد ناخالصی فاز می‌شود [۱۰]. این نانوذرات کوچک‌تر را با کنترل بهتر بر روی اندازه و مورفولوژی با تعداد نقص کم‌تری فراهم می‌کند اما زمان واکنش بالایی دارد [۱۱، ۱۲]. فرآیند سنتز احتراقی محلول یک روش ساده با مدت زمان واکنش کوتاه که باعث تشکیل مقادیر زیادی از گازها مانند CO_2، N_2 و H_2O شده است که برای تولید پودرهای سرامیکی مورد استفاده قرارگرفته است [۱۳، ۱۴]. نانوذرات LSMO در کاربردهای مختلف زیست‌پزشکی مانند: هایپرترمیا، تصویربرداری مغناطیسی، دارورسانی و هم‌چنین پیل‌های سوختی و فتوکاتالیست‌ها به دلیل خواص حرارتی و مغناطیسی قابل توجه آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵]. هدف از این پژوهش بررسی تغییر رفتار نانوبلورین LSMO سنتز شده به روش احتراقی در دماهای مختلف می‌باشد. نمونه‌های تهیه شده با آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه (FTIR)، خواص مغناطیسی نمونه‌ها توسط یک مغناطیس‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) و میکروسکوب الکترونی گسیل میدانی (FESEM) بررسی شد.

۲- مواد و روش

۲-۱- مواد

نیترات منگنز ($Mn(NO_3)_2.4H_2O$) با درصد خلوص (۹۷درصد)، نیترات لانتانیم ($La(NO_3)_3.6H_2O$) با درصد خلوص (۹۸درصد)، و نیترات استرانسیوم ($Sr(NO_3)_2$) با درصد خلوص (۹۸درصد)، گلایسین ($C_2H_5NO_2$). پودر نیترات لانتانیم، از برند سامچون، نیترات استرانسیم، نیترات منگنز و گلایسین، از برند مرک استفاده شده است.

۲-۲-روش

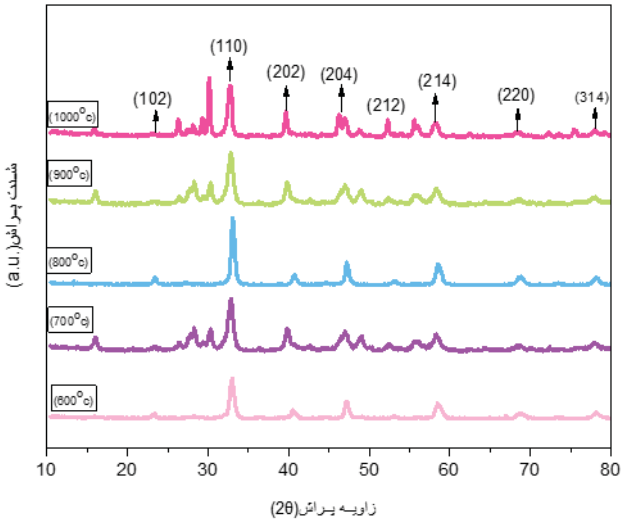
نانوبلورین LSMO به روش محلول احتراقی تهیه شدند [۱۶]. برای این کار مقادیر استوکیومتری پیش‌سازهای نیترات ($Mn(NO_3)_2.4H_2O$)، ($La(NO_3)_3.6H_2O$)، ($Sr(NO_3)_2$) در آب مقطر دوبل شده حل کرده تا محلول ۰/۱ مولار تشکیل شود. محلول گلایسین با غلظت ۰/۱ مولار در آب مقطر تهیه شد. مخلوط اکسیدان (پیش‌سازهای نیترات) و سوخت گلایسین به مدت ۵/۰ساعت تحت حرارت ۱۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بر روی یک همزن مغناطیسی قرارگرفت تا محلول همگن حاصل شود. سپس محلول به ژل مایل به زرد تبدیل شد و سپس در معرض صفحه داغ که از قبل تا دمای ۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد گرم شده بود قرارگرفت. سپس احتراق انجام شد. در نهایت پودر حاصل در دماهای ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت آنیل شدند.

الگوهای پراش اشعه ایکس (XRD) برای مطالعه آنالیز ساختاری و فازی توسط پراش سنج PW1730 ساخت کشور فیلیپس با استفاده از تابش Cu-Kα در محدوده ۲θ از ۲۰ تا ۸۰ درجه ثبت شد. برای مطالعه پیوند شیمیایی در مواد، طیف تبدیل فوریه مادون قرمز (FT-IR) مدل Thermo-Avatar در محدوده $400\ cm^{-1}$ تا $4000\ cm^{-1}$ ثبت شد. مورفولوژی سطح واندازه دانه توسط میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی تابشی میدانی (FE-SEM) مدل MIRA3TESCANXM مشاهده شده است. خواص مغناطیسی نانوبلورین توسط آنالیز خواص مغناطیسی (VSM) مدل LBKFB شرکت مغناطیس کویر کاشان تعیین شد.

۳- نتایج

۳-۱-خواص ساختاری

آنالیز ساختاری نانوبلورین $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ کلسیناسیون شده در دماهای مختلف ۱۰۰۰-۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد با استفاده از پراش سنج پرتو ایکس در محدوده از °۱۰ تا °۸۰ تشکیل شد. شکل ۱ الگوی پراش پرتو ایکس برای نانوبلورین LSMO نشان می‌دهد. قله‌های به دست آمده به خوبی با ساختار هگزاگونال و گروه فضایی R3m (160) با کارت JCPDS (۳۷۲۷-۱۵۳-۹۶) مطابقت دارند. پارامترهای شبکه برای نمونه‌ها برابر c= ۶/۶۷ A، a= ۵/۴۸ A هستند. نمونه‌ها سنتزشده با دماهای ۷۰۰،۹۰۰،۱۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد دارای فاز ثانویه $Sr_2Mn_2O_5$ با کارت JCPDS (۲۴۸۷-۱۵۱-۹۶) خواهند بود. قله‌های مشاهده شده در زوایای ۲۲/۹۱، ۳۲/۵۷، ۴۰/۱۱، ۴۶/۸۱، ۵۲/۸۳، ۵۸/۲۵، ۶۸/۵۹، ۷۷/۶۶ به ترتیب مربوط به صفحات (۱۰۲)، (۱۱۰)، (۲۰۲)، (۲۰۴)، (۲۱۲)، (۲۱۴)، (۲۲۰)، (۳۱۴) می‌باشند.



شکل ۱: الف) الگوهای XRD نانوذرات LSMO کلسینه شده در دماهای ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۰۰۰درجه‌ی سانتی‌گراد.

اندازه کریستالیت نانو بلورین LSMO با اندازه‌گیری نیمه حداکثر عرض کامل (FWHM) بالاترین شدت پیک با استفاده از فرمول دبای شرر محاسبه شد، داده‌ها در جدول ۱ نمایش‌داده شده است [۱۷]. ماهش و همکاران[1] گزارش دادند که با کاهش دما LSMO به طور قابل توجه‌ای اندازه ذرات کاهش می‌یابد [۱۸]. همان طور که در جدول ۱ نشان داده شده است با کاهش دما اندازه نانو بلورین‌ها افزایش یافته است، که می‌تواند به دلیل وجود ناخالصی در نمونه‌های LSMO باشد.

جدول ۱: میانگین اندازه کریستالیت، و خواص مغناطیسی نانوذرات LSMO

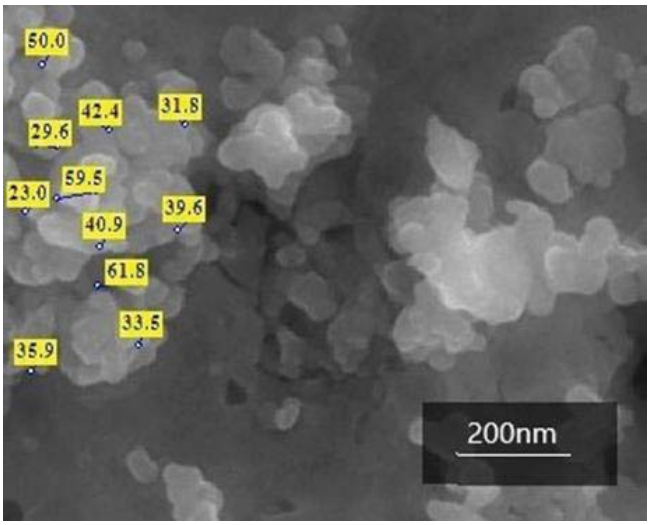
دمای کلسیناسیون (°C)	اندازه کریستالیت (nm)	مغناطش اشباع Ms (emu/g)	میدان وادارندگی (H_C) (Oe)	پسماند مغناطیسی (M_r) (emu/g)
۶۰۰	۱۶/۶	۱۳/۶۸	۳۳	۰/۵
۷۰۰	۹/۲	۴/۴۷	۷	۰/۰۳
۸۰۰	۱۸/۴	۲۳/۳۷۵	۱۸/۷۶	۱/۴
۹۰۰	۱۳/۸	۸/۱۵۹	۹/۶۶	۰/۰۶
۱۰۰۰	۳۳/۲	۱۷/۹۰	۱۸	۰/۳

میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM)

در شکل ۳ تصاویر FESEM نانو بلورین بعد از عملیات بازپخت نشان می‌دهد. از تصویر می‌توان مشاهده کرد که بیش‌تر دانه‌های کروی شکل هستند. هم‌چنین مشاهده می‌شود که اندازه دانه برای نانو بلورین تهیه شده در محدوده ۶۰-۲۰ نانومتر توزیع شده

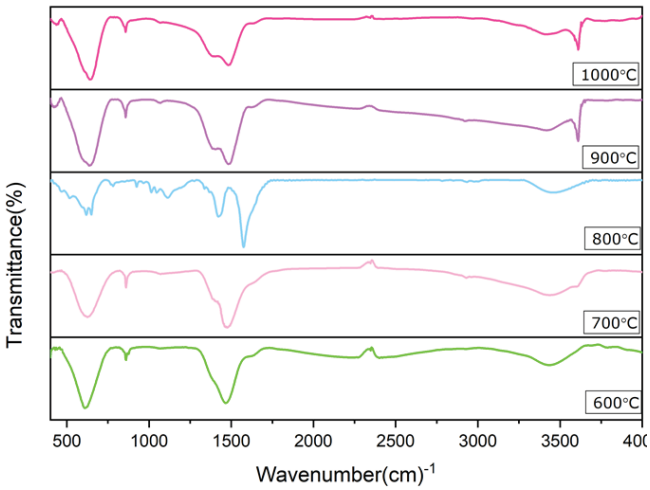
[1] Mahesh et al

است. نانو بلورین‌ها بعد از کلسینه شدن در دماهای ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد به یکدیگر متصل و در نهایت ساختار کلوخه ای تشکیل خواهد شد. کاهش سایز نانوبلورین‌ها، نسبت سطح به حجم نانوبلورین‌ها را افزایش می‌دهد. این مسئله باعث می‌شود که اتم‌های واقع در سطح اثر بسیار بیش‌تری نسبت به اتم‌های درون حجم ذرات داشته باشند. این ویژگی واکنش‌پذیری نانو بلورین‌ها را به شدت افزایش می‌دهد. به گونه‌ای که این ذرات به شدت تمایل به آگلومره یا کلوخه‌ای شدن خواهند داشت.



شکل ۲: تصاویر (FESEM) نانوبلورین LSMO کلسینه شده

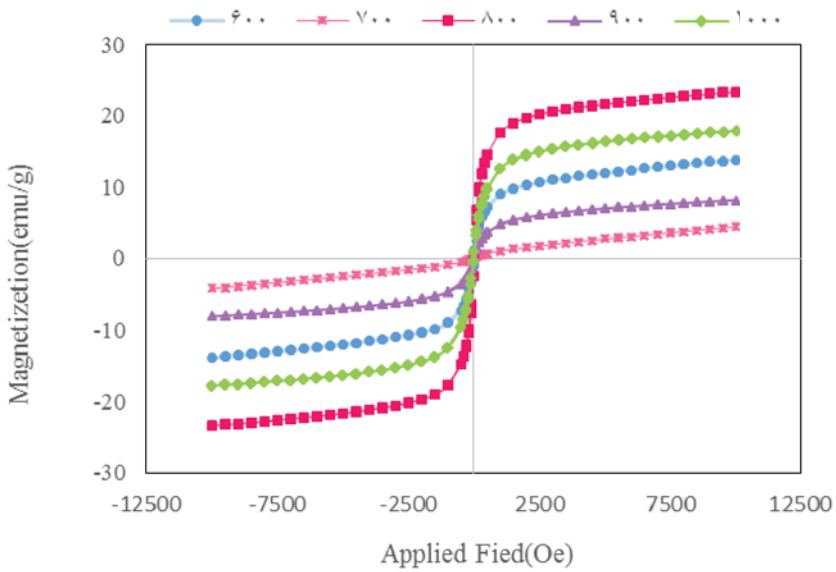
در شکل ۳ طیف FT-IR نمونه‌هایی LSMO کلسینه شده در دمای ۱۰۰۰–۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نشان داده شده است. نوار مشخصهٔ حدود cm^{-1} ۶۳۹ برای نمونه‌ها با دماهای ۱۰۰۰–۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد مربوط به کشش پیوند فلز– اکسیژن در پروسکایت است که شامل حرکت داخلی تغییر درطول پیوند Mn-O-Mn است [۱۹]. برای نمونه دردمای ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد دارای یک باند دوتایی در جذب اصلی در حدوداً cm^{-1} ۶۳۳ است که باید به کشش ν_3 و خمش ν_4 حالت‌های فونون داخلی MnO_6 هشت‌وجهی تعلق داشته باشد. درطیف حدود cm^{-1} ۱۴۷۸ در نمونه LSMO در دمای۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد نشان می‌دهد که ارتعاش کششی گروه کربونیل (COO–) در کربنات، که با افزایش دمای کلسیناسیون افزایش می‌یابد به جز در دمای ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد که کاهش را به همراه داشته است [۲۰]. قله‌های تقریباً cm^{-1} ۳۴۴۱ مشخصهٔ هیدروکسیل در آب جذب شده است [۲۱]. اوج جذب در حدود cm^{-1} ۲۹۱۸ به دلیل پیوند O-C-O است [۲۲].



شکل ۳: FTIR نانوذرات LSMO کلسینه شده در دماهای ۱۰۰۰-۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد

۳-۲- خواص مغناطیسی

خواص مغناطیسی نانو بلورین‌ها LSMO با استفاده از منحنی مغناطیسی (M-H) با میدان ۱۰کیلوگرم، که در شکل ۴ نشان داده شده است. دستگاه مغناطیسی‌سنج نمونه ارتعاشی (VSM) بیش‌ترین کاربرد را برای تحلیل مواد مغناطیسی دارد. حلقه پسماند اطلاعات در مورد نوع رفتار مغناطیسی، میدان پسماندزدا (Hc)، مغناطش پسماند (Mr) و مغناطش اشباع (MS) را فراهم می‌کند [۲۳]. مغناطش باقی‌مانده (M_r) و میدان‌های پسماند زدا (H_c)، با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد [۲۴]. جدول ۱ پارامترهای به دست آمده از حلقه M-H را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با کاهش اندازه ذرات، مقدار مغناطش باقی مانده (M_r) و میدان‌های اجباری (H_c)، کاهش یافته است. هم‌چنین مقدار مغناطش اشباع با افزایش دمای کلسینه کاهش یافته است‌که ممکن است دلیل آن به افزایش تعداد مرزدانه‌ها و آثار سطحی باشد. درشکل ۴ برای نمونه LSMO با دمای ۷۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، تقریباً مانند یک پارامغناطیس است. در میدان بسیار کم، رفتار حلقه حاشیه‌ای را نشان می‌دهد که ممکن است ناشی از تبادل اسپین باشد. این نشان می‌دهد که در دماهای ۷۰۰ و۹۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد، تبادل Mn^{4+}/Mn^{3+} با O^{2-} برجسته نیست و از این رو خاصیت منگنز غالب است که منجر به ویژگی پارامغناطیس می‌شود [۲۰]. در شکل ۳ نمودار مربوط به ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد برای نمونه نانو بلورین‌ها LSMO نشان‌دهنده ماهیت فرومغناطیسی است. فرومغناطیس مشاهده شده در LSMO ناشی ازآلایش منگنیت پروسکایت ($LaMnO_3$) با جایگزینی La[1] با Sr[2] است [۲۵].



شکل ۴: منحنی مغناطیسی نانو بلورین‌ها LSMO کلسینه شده در دماهای ۱۰۰۰-۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد.

جدول ۲: مقایسه پارامترهای به دست آمده از نانو ذرات LSMO سنتز شده در دماهای مختلف

دما نمونه (°c)	روش سنتز	مغناطش اشباع (emu/g)	اندازه ذرات FESEM (nm)	اندازه کریستالیت XRD (nm)	منابع
۸۰۰	محلول احتراقی	۲۳/۳۷۵	۲۰-۶۰	۱۸/۴	
۱۰۰۰		۱۷/۹۰	-	۳۳/۲	
۸۰۰ ۱۰۰۰	تجزیه حرارتی	۳۵ ۵۵/۳۷	۴۷ ۱۶۳	۳۰/۲ ۶۵/۷	[۷]

۴- نتیجه‌گیری

نانو بلورین‌ها LSMO با استفاده از روش محلول احتراقی تهیه شدند و در دماهای ۱۰۰۰-۶۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد کلسینه شدند.

[1] Lanthanum
[2] Strontium

نتایج پراش پرتو ایکس نشان داد که نانو بلورین‌ها LSMO درمحدود ۸۰–۱۰ درجه تشکیل شدند. نمونه‌ها سنتزشده با دماهای ۷۰۰،۹۰۰،۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد دارای فاز ثانویه $Sr_2Mn_2O_5$ خواهند بود. پژوهشگران بیان کردند که اندازه نانو بلورین‌ها LSMO با کاهش دما، کاهش پیدا می‌کند. اما در این مقاله نشان داده شد که برای نمونه‌ها با دماهای ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اندازه نانو بلورین‌ها نسبت به دماهای۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است که این می‌تواند به دلیل وجود ناخالصی در نانو بلورین‌ها LSMO باشد. خواص مغناطیسی نانو بلورین‌ها LSMO با استفاده از منحنی M-H مورد بررسی قرار گرفت و تحقیقات نشان می‌دهد که با کاهش اندازهٔ نانو بلورین‌ها میزان مغناطش اشباع افزایش می‌یابد. اما در این پژوهش مشخص گردید که کاهش اندازه نانو بلورین‌ها باعث کاهش مقدار مغناطش اشباع شده است که این می‌تواند به دلیل افزایش تعداد مرزدانه‌ها و آثار سطحی باشد. در دماهای ۷۰۰ و۹۰۰ درجه سانتی‌گراد، تبادل Mn^{4+}/Mn^{3+} با O^{2-} برجسته نیست و از این رو خاصیت منگنز غالب است که منجر به ویژگی پارامغناطیس می‌شود. نمودار مربوط به دماهای ۶۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد برای نمونه نانو بلورین‌ها LSMO نشان‌دهنده ماهیت فرومغناطیسی است. فرومغناطیس مشاهده شده در LSMO ناشی از آلایش منگنیت پروسکایت ($LaMnO_3$) با جایگزینی La با Sr است. مورفولوژی و توزیع اندازه نانو بلورین‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی گسیل میدانی (FESEM) بررسی گردید. تصاویر محدوده اندازه ذرات ۶۰–۲۰ نانومتر تخمین زد.

مراجع

[1]. X. Liu, N. Fang, C. Li, X. Li, H. Liu, J. Wu, A free-standing magneto- fluorescent $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ @ ZnO nanoparticle: Synthesis, properties and sharp Curie transition, Journal of Alloys and Compounds. 693 (2017) 518–526. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2016.09.212.

[2]. V. Socoliuc, D. Peddis, V.I. Petrenko, M. V. Avdeev, D. Susan-Resiga, T. Szabó, R. Turcu, E. Tombácz, L. Vékás, Magnetic nanoparticle systems for nanomedicine—a materials science perspective, Magnetochemistry. 6 (2020) 1–36. https://doi.org/10.3390/magnetochemistry6010002.

[3]. A. Manuscript, R. Society, A. Manuscripts, T.A. Manuscript, A. Manuscripts, R. Society, A. Manuscript, Lanthanum Strontium Manganese Oxide (LSMO) nanoparticles for anticancer therapy and diagnostics, (n.d.).

[4]. C.Y. Lam, K.H. Wong, Fabrication and characterization of all-perovskite oxide p-n junctions based on $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ and Nb-1wt% doped $SrTiO_3$, Journal of the European Ceramic Society. 25 (2005) 2141–2145. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2005.03.200.

[5]. G. Kandasamy, Recent advancements in manganite perovskites and spinel ferrite-based magnetic nanoparticles for biomedical theranostic applications, Nanotechnology. 30 (2019). https://doi.org/10.1088/1361-6528/ab3f17.

[6]. Y. Li, H. Zhang, X. Liu, Q. Chen, Q. Chen, Electrical and magnetic properties of $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ ($0.1 \le x \le 0.25$) ceramics prepared by sol–gel technique, Ceramics International. 45 (2019) 16323–16330. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.05.159.

[7]. S. Malaysiana, T.L. Pertumbuhan, M.N. La, K.R. Terma, Synthesized via Thermal Treatment Method, 48 (2019) 369–375.

[8]. H. Aliasghari, A.M. Arabi, H. Haratizadeh, A novel approach for solution combustion synthesis of tungsten oxide nanoparticles for photocatalytic and electrochromic applications, Ceramics International. 46 (2020) 403–414. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.08.275.

[9]. L. Da Conceição, N.F.P. Ribeiro, M.M.V.M. Souza, Synthesis of $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ powders by polymerizable complex method: Evaluation of structural, morphological and electrical properties, Ceramics International. 37 (2011) 2229–2236. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2011.03.069.

[10]. H.A. Reshi, S. Pillai, V. Shelke, Comparative study on multifunctional behaviour of rare earth manganites with micro and nano grain size, Journal of Materials Science: Materials in Electronics. 25 (2014) 3795–3800.

[11]. K. Navin, R. Kurchania, A comparative study of the structural, magnetic transport and electrochemical properties of $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ synthesized by different chemical routes, Applied Physics A: Materials Science and Processing. 126 (2020) 1–13. https://doi.org/10.1007/s00339-019-3269-2.

[12]. A.V. Rane, K. Kanny, V.K. Abitha, S. Thomas, S. Thomas, Methods for Synthesis of Nanoparticles and Fabrication of Nanocomposites, Elsevier Ltd., 2018. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101975-7.00005-1.

[13]. E. Novitskaya, J.P. Kelly, S. Bhaduri, O.A. Graeve, A review of solution combustion synthesis: an analysis of parameters controlling powder characteristics, International Materials Reviews. 66 (2021) 188–214. https://doi.org/10.1080/09506608.2020.1765603.

[14]. C. Xu, K. V. Manukyan, R.A. Adams, V.G. Pol, P. Chen, A. Varma, One-step solution combustion synthesis of $CuO/Cu_2O/C$ anode for long cycle life Li-ion batteries, Carbon. 142 (2019) 51–59. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2018.10.016.

[15]. S. V. Jadhav, D.S. Nikam, V.M. Khot, S.S. Mali, C.K. Hong, S.H. Pawar, PVA and PEG functionalised LSMO

nanoparticles for magnetic fluid hyperthermia application, Materials Characterization. 102 (2015) 209–220. https://doi.org/10.1016/j.matchar.2015.03.001.

[16]. N.D. Thorat, R.M. Patil, V.M. Khot, A.B. Salunkhe, A.I. Prasad, K.C. Barick, R.S. Ningthoujam, S.H. Pawar, Highly water-dispersible surface-functionalized LSMO nanoparticles for magnetic fluid hyperthermia application, New Journal of Chemistry. 37 (2013) 2733–2742. https://doi.org/10.1039/c3nj00007a.

[17]. M.S. Anwar, S. Kumar, F. Ahmed, G.W. Kim, B.H. Koo, Microwave assisted hydrothermal synthesis and magnetocaloric properties of $La_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ manganite, Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 12 (2012) 5523–5526. https://doi.org/10.1166/jnn.2012.6327.

[18]. H. Baaziz, A. Tozri, E. Dhahri, E.K. Hlil, Effect of particle size reduction on the structural, magnetic properties and the spin excitations in ferromagnetic insulator $La_{0.9}Sr_{0.1}MnO_3$ nanoparticles, Ceramics International. 41 (2015) 2955–2962. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2014.10.129.

[19]. S. Daengsakul, C. Thomas, I. Thomas, C. Mongkolkachit, S. Siri, V. Amornkitbamrung, S. Maensiri, Magnetic and Cytotoxicity Properties of $La_{1-x}Sr_xMnO_3$ (0 £ x £ 0.5) Nanoparticles Prepared by a Simple Thermal Hydro-Decomposition Sujittra, Nanoscale Research Letters. 4 (2009) 839–845. https://doi.org/10.1007/s11671-009-9322-x.

[20]. S. Ravi, A. Karthikeyan, Effect of calcination temperature on $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ nanoparticles synthesized with modified sol-gel route, Physics Procedia. 54 (2014) 45–54. https://doi.org/10.1016/j.phpro.2014.10.035.

[21]. A. Arabi, M.H. Ehsani, M. Fazli, Hydrothermal synthesis of $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ and its application in visible light photocatalytic activity, Journal of Materials Science: Materials in Electronics. 30 (2019) 19001–19008. https://doi.org/10.1007/s10854-019-02257-1.

[22]. A.S. Khan, N. Mehboob, M.F. Nasir, A. Hamayun, Magnetic and heating aptitudes of PEG coated $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ and $La_{0.67}Sr_{0.33}MnO_3$ mediators towards hyperthermia methodology, Physica B: Condensed Matter. 564 (2019) 125–132. https://doi.org/10.1016/j.physb.2019.03.039.

[23]. D. Gherca, A. Pui, N. Cornei, A. Cojocariu, V. Nica, O. Caltun, Synthesis, characterization and magnetic properties of MFe_2O_4 (M= Co, Mg, Mn, Ni) nanoparticles using ricin oil as capping agent, Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 324 (2012) 3906–3911. https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2012.06.027.

[24]. K. Navin, R. Kurchania, The effect of particle size on structural, magnetic and transport properties of $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ nanoparticles, Ceramics International. 44 (2018) 4973–4980. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.12.091.

[25]. T.O.F. Contents, Structural and magnetic characterization of $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ nanoparticles obtained by the citrate-gel combustion method: Effect of fuel to oxidizer ratio, (2013) 1–11.

Investigating the Magnetic Behavior of $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ Nanoparticles Synthesized by Combustion Solution Method at Different Temperatures

Maryam Ahmadi[1]*, Ibrahim Sharifi[2], Leila Ghaedi Vanani[3]

[1] **Master student in materials engineering, Identification and selection of materials, Department of Materials Engineering, Shahrekord University**

[2] **Assistant Professor, Department of Material Engineering, Faculty of Engineering, Shahrekord University, Shahrekord.**

[3] **Master student in Materials Engineering-Ceramics, Department of Materials Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Shahrekord University**

* maryam12ahmadi1998@gmail.com

Abstract: Lanthanum strontium manganese oxide (LSMO) nanoparticles, which have shown favorable magnetic properties, have recently been introduced as a new class of magnetic nanoparticles in the hyperthermia application. The purpose of this study is to look into the behavior of nanocrystalline $La_{0.7}Sr_{0.3}MnO_3$ (LSMO) synthesized by the combustion solution method at various temperatures. Glycine, which acts as a fuel and complexing agent, has been used in this synthesis. LSMO nanocrystals were calcined at different temperatures of 600-1000°C. The produced LSMO nanocrystals were examined in terms of structural and magnetic characteristics. Based on X-ray diffraction (XRD) study, the crystallite size of LSMO nanocrystals at temperatures of 600, 700, 800, 900, and 1000 degrees Celsius will be 16.6, 9.2, 18.4, 13.8, and 33.2, respectively. The (M-H) curve investigated the magnetic characteristics of LSMO nanocrystals at various temperatures, revealing that the saturation magnetization value at 700 and 900°C temperatures is lower than at 600 and 800°C temperatures, possibly explaining the reduction in nanocrystal size. The effective bonding of LSMO nanocrystals were examined using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). A field emission electron microscope (FESEM) was used to examine the shape and size distribution of nanocrystals. The micrographs suggested that the particle size range was 20-60 nm.

Keywords: Combustion solution, LSMO, Nanoparticles.