

مطالعه‌ی ویژگی‌های گرمایی اکسید منیزیم آلاینده با لانتانیدها و لیتیوم تحت تابش گاما برای کاربردهای دزیمتری

خدیجه رضایی ابراهیم سرایی^{۲*}، مهدی علیخانپور^۱، کوروش بازاری جامخانه^۲

۱. پژوهشکده راکتور و ایمنی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۸۱۴۶۵۱۱۵۸۹، اصفهان، ایران.

۲. گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده‌ی فیزیک، دانشگاه اصفهان، صندوق پستی: ۸۱۷۴۶۷۳۴۴۱، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی خواص دزیمتری اکسید منیزیم آلاینده با ناخالصی‌های لانتانید و ایندیم و همچنین آلاینده با لیتیوم به عنوان یک ماده گرمایی با حساسیت بالا و امکان دارا بودن پتانسیل لازم برای دزیمتری در دزهای بالا بود. تمام نمونه‌ها به روش احتراق محلول سنتز شدند و طبیعت بلوری آن‌ها به وسیله‌ی آنالیز پراش پرتو ایکس تأیید شد. ریخت شناسی نمونه‌ها به وسیله‌ی میکروسکوپ الکترونی روبشی مشخص شد و توزیع کروی ذرات با اندازه میانگین ۱۵۸ نانومتر نشان داده شد. پاسخ گرمایی اکسید منیزیم‌های آلاینده با لانتانید، ایندیم و لیتیوم و پرتودهی شده با تابش گاما در دزهای ۱ تا ۱۲ کیلوگری اندازه‌گیری و مقایسه شد. منحنی گرمایی نمونه‌ها ساختار پیچیده‌ای از خود نشان داد. در اغلب موارد، پاسخ گرمایی مواد به پرتودهی تابش زیرخطی بود. محوشدگی گرمایی نمونه‌ها بررسی شد و نتایج قابل توجهی از خود نشان داد.

واژه‌های کلیدی: دزیمتری، گرمایی، اکسید منیزیم، فعال‌ساز، لانتانید

۱. مقدمه

به دقت اندازه‌گیری کنند. مواد گرمایی در طول چهار دهه دارای موقعیت ویژه‌ای در دزیمتری تابش بوده‌اند. ارتقاء محدوده‌ی کاربرد این نوع از انواع دزیمترها به دزهای بالا همواره یکی از اهداف پژوهشگران در این زمینه بوده است. ابعاد کوچک و عدم نیاز به کابل و سیستم الکترونیکی در دزیمترهای گرمایی^{۲۱} موجب تمایز این نوع از دزیمترها نسبت به دزیمترهای دیگر شده است. به عنوان مثال این دزیمترها معمولاً در تجهیزات شتابدهنده‌های ذرات استفاده می‌شود. در این کاربرد هدف تعیین دز دریافتی توسط دستگاه‌های آسیب‌پذیر از قبیل آشکارسازهای سیلیکون است. این رویکرد بسیار موفق بوده است زیرا برای عملیات

کشف این مساله که ممکن است تابش بر روی مواد تأثیرگذار باشد و آن‌ها را غیر قابل استفاده کند، کاربرد این زمینه را به مطالعه‌ی اثرات تابش بر مواد در محیط‌های صنعتی و پژوهشی گسترش داده است. تابش‌های یوننده با دزهای بالا دارای کاربردهای گسترده‌ای در پرتودهی مواد غذایی، استریلیزاسیون محصولات پزشکی، محصولات مصرفی حاوی پاتوژن، اصلاح پلیمرها، کنترل حشرات هستند. با افزایش تقاضا برای توسعه‌ی فناوری‌های مرتبط با تابش، نیاز به دزیمترهای گرمایی نیز افزایش می‌یابد. متخصصان برای دستیابی به نتایج مورد نظر نیازمند هستند تا میزان دز در میدان‌های تابشی را

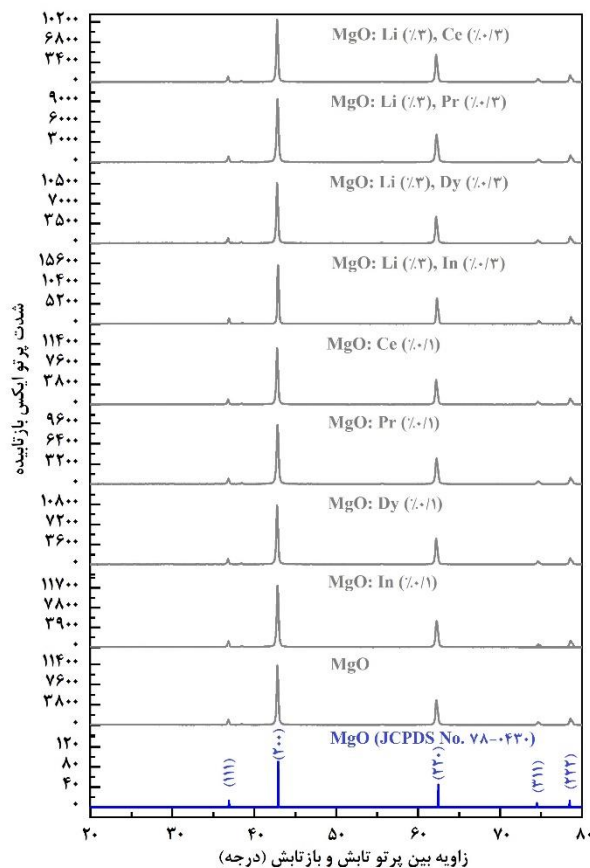
دزیمتری در این نوع از دزیمترها که در گروه دزیمترهای غیرفعال قرار می گیرند، از یک سیستم ثانویه استفاده می شود و همانند دزیمترهای فعال دارای سیستم الکترونیکی نیستند و همچنین با توجه به ابعاد بسیار کوچک خود، می توانند به راحتی در فضاهای بسیار کوچک که در آن نصب و بازیابی آشکارسازهای الکترونیکی دشوار است استفاده شوند [۱]. در حالت کلی ترکیبات یک ماده ی لومینسانس شامل شبکه ی میزبان به همراه یک مرکز فعال ساز هست که این مرکز فعال ساز ویژگی های نوری متفاوتی با تغییرات ساختار بلور پیدا می کند. لانتانیدها که همواره مورد توجه پژوهشگران بوده اند، به علت گذارهای الکترون اوربیتال های $4f$ از خود نور مرئی گسیل می کنند. الکترون های اوربیتال f به علت قرارگیری در زیر پیکربندی لایه های بیرونی به خوبی محافظت می شوند و به همین دلیل نور گسیلی آن ها تحت تأثیر بلور میزبان قرار ندارد [۲]. پژوهش های زیادی در مورد جنبه های مختلف پدیده گرماییان در اکسید منیزیم^۳ انجام شده است که بیشتر این پژوهش ها به مطالعه ی اثر ناخالصی هایی که عموماً از میان انواع مختلفی از فلزات و لانتانیدها انتخاب می شود پرداخته است [۳، ۴]. اکسید منیزیم یک سرامیک نارسانا با عدد اتمی مؤثر پایین ($Z_{eff} = 10/8$) و ساختار بلوری مکعبی ساده هست که به دلیل داشتن پهنای نواری زیاد ($eV \approx 7/8$) امکان شکل گیری دام های الکترونی در نوار ممنوعه را فراهم می کند [۵]. در طول دهه های گذشته پژوهش های زیادی در ارتباط با ویژگی های گرماییان اکسید منیزیم به عنوان بلور میزبان برای انواع مختلفی از ناخالصی ها انجام شده است، اما تا به امروز این پژوهش ها موفق نشده است تا این بلور را به عنوان یک دزیمتر در کاربردهای عملی معرفی کند. بررسی جامعی از پژوهش های انجام شده بر روی خواص گرماییان بلورهای اکسید منیزیم با ناخالصی های مختلف انجام شد، اما به دلیل تنوع وسیعی که در منحنی های گرماییان گزارش شده است، هیچ رابطه ی معناداری میان خواص گرماییان و ناخالصی اضافه شده به بلور میزبان مشاهده نشده است [۶]. در اکثر پژوهش های انجام شده، قله های گرماییان در دماهای پایین تر از $100^\circ C$ مشاهده شده است که این قله ها به دلیل اثر دمای محیطی بر آن برای کاربردهای دزیمتری نامناسب هستند. با این وجود

پژوهش های دیگری نیز انجام شده است که در آن ها قله های در دماهای بالاتر گزارش شد که محل قرارگیری این قله ها با توجه به روش ساخت مواد متفاوت بوده است. مطالعات نشان داد در صورتی که نانوبلور اکسید منیزیم با درصد معینی از لیتیوم و لانتانید آلاینده شود، در یک دز معین می تواند شدتی بالاتر از TLD-100 داشته باشد [۷]. هدف از این پژوهش بررسی خواص دزیمتری اکسید منیزیم آلاینده با لانتانیدها، ایندیوم و لیتیوم ساخته شده به روش احتراق محلول هست. مطابق با پژوهش های انجام شده میزان ناخالصی بهینه برای لیتیوم برابر با ۳٪ انتخاب شد و همچنین برای جلوگیری از افزایش عدد اتمی مؤثر، میزان ناخالصی مربوط به لانتانیدها و ایندیوم به اندازه ی $1/0\%$ و $3/0\%$ انتخاب شد. ویژگی های ساختاری و سطحی نانوبلور به ترتیب توسط دستگاه پراش پرتو ایکس^۴ و میکروسکوپ الکترونی روبشی^۵ تعیین شد و در ادامه، خواص دزیمتری نانوبلورها تحت تابش گاما مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به توسعه ی روز افزون فناوری های مرتبط با تابش و کاربردهای گسترده و منحصر به فرد دزیمترهای گرماییان در اندازه گیری های تابش این پژوهش امیدوار است تا بتواند با بررسی خواص دزیمتری نانوبلورهای اکسید منیزیم محدوده ی کاربری این نوع دزیمترها را به دزهای بالاتر افزایش دهد.

۲. مواد و روش آزمایش

۲.۱ ساخت مواد

برای تهیه اکسید منیزیم خالص از مواد اولیه در نوع و خلوص آزمایشگاهی استفاده شد. برای این منظور ترکیب منیزیم نیترات شش آبه^۶ به همراه اوره^۷ در 100 ml آب دیونیزه به مدت ۳۰ دقیقه درون ظرف واکنش در دمای $50^\circ C$ توسط همزن مغناطیسی حل شد. در ادامه و برای کاهش حجم آب به ۲۵٪ از حجم اولیه، دمای اجاق بشقابی تا $200^\circ C$ افزایش یافت. برای خالی کردن ترکیب از رطوبت، دما تا $500^\circ C$ افزایش یافت. پس از پودر شدن ترکیب بدست آمده، برای انجام فرآیند بازپخت^۸، نمونه درون ظرف سرامیکی ریخته و به درون کوره با جو هوای آزاد منتقل شد. دمای کوره با آهنگ $5^\circ C/\text{min}$ تا دمای $1000^\circ C$ افزایش یافت و به نمونه اجازه داده شد تا به مدت ۱ ساعت در این دما قرار گیرد



شکل ۱. الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به نانوبلورهای اکسید منیزیم خالص و آلاینده با لانتانیدها، ایندیوم و لیتیوم که در تطابق با الگوی مرجع هست.

برای محاسبه ی میانگین اندازه ی بلورکها از معادله ی دبای شرر^{۱۵} استفاده شد و مقدار آن بر حسب نانومتر در جدول ۱ ارائه شد [۹]. با توجه به الگوی پراش، میانگین اندازه ذرات و همچنین غلظت بسیار پایین ناخالصی نسبت به ماده ی میزبان، می توان گفت که افزودن ناخالصی به بلور میزبان تأثیری در ساختار و اندازه بلورکها نداشته است.

و سپس در دمای اتاق خنک شد. برای تهیه ی اکسید منیزیم های آلاینده، از فرآیندی مشابه و با این تفاوت که در ابتدا مقدار ۰/۱٪ از ترکیبات نیترات دار و آبدار دیسپرسیوم^۹، پرازئودیوم^{۱۰}، سریوم^{۱۱} و ایندیوم^{۱۲} و همچنین ۰/۳٪ از ترکیبات یاد شده همراه با ۳٪ لیتیوم کلرید^{۱۳} به صورت جداگانه به عنوان ناخالصی به اکسید منیزیم اضافه شد [۸].

۲.۲ مشخصه یابی

برای بررسی ساختار و اندازه ی بلورکهای ماده ساخته شده، از دستگاه پراش پرتو ایکس (Bruker, model D8 Advance) با هدف مس و طول موج $1.54\text{\AA}$ و همچنین گام $2\theta = 0.05^\circ$ در بازه ی 5° الی 80° استفاده شد. برای بررسی شکل ظاهری و اندازه ذرات ماده ساخته شده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (TESCAN, MIRA3) و برای آنالیز عنصری آنها از دستگاه طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس^{۱۴} (VEGA3) متصل به میکروسکوپ الکترونی استفاده شد.

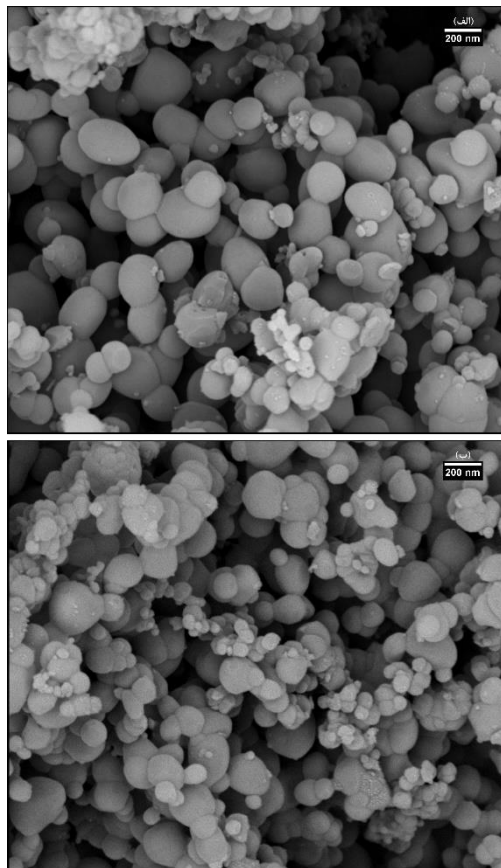
۳.۲ پرتودهی و خوانش

برای پرتودهی نانوبلورهای سنتز شده، از چشمه کبالت با انرژی متوسط 1.25MeV و آهنگ پرتودهی $1/3\text{Gy/s}$ موجود در سازمان انرژی اتمی ایران استفاده شد. فرآیند خوانش در دمای اتاق با استفاده از 914313 (PMT) IAP TLD-reader در بازه ی دمایی 50°C الی 390°C با آهنگ گرمادهی 2°C/s انجام شد. همچنین زمان ماندگاری ۲۰ ثانیه برای تشکیل کامل منحنی گرماییان به فرآیند خوانش اضافه شد.

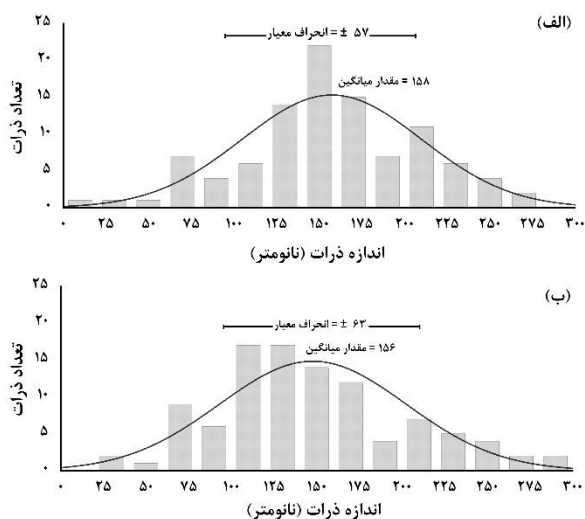
۳. بحث و نتایج

۱.۳ ساختار بلوری

الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به بلورهای اکسید منیزیم خالص و آلاینده با لانتانیدها، ایندیوم و لیتیوم در شکل ۱ نشان داده شده است. با مقایسه ی بین صفحات (۱۱۱)، (۲۰۰)، (۲۲۰)، (۳۱۱) و (۲۲۲) مشاهده می شود که الگوی بدست آمده با الگوی مرجع (JCPDS 78-0430) و ساختار مکعبی با گروه فضایی $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$ مطابقت دارد که نشان دهنده ی عدم تأثیر ناخالصی بر ساختار بلوری ماده ی میزبان است.



شکل ۲. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به نانوبلورهای الف) اکسید منیزیم خالص و ب) آلاینده با لیتیوم و سریوم.



شکل ۳. توزیع و مقدار میانگین اندازه ی ذرات نانوبلورهای الف) اکسید منیزیم خالص و ب) آلاینده با لیتیوم و سریوم.

به منظور تأیید حضور عناصر مورد نظر، از آنالیز کیفی با کمک دستگاه طیفسنجی پراش انرژی پرتو ایکس

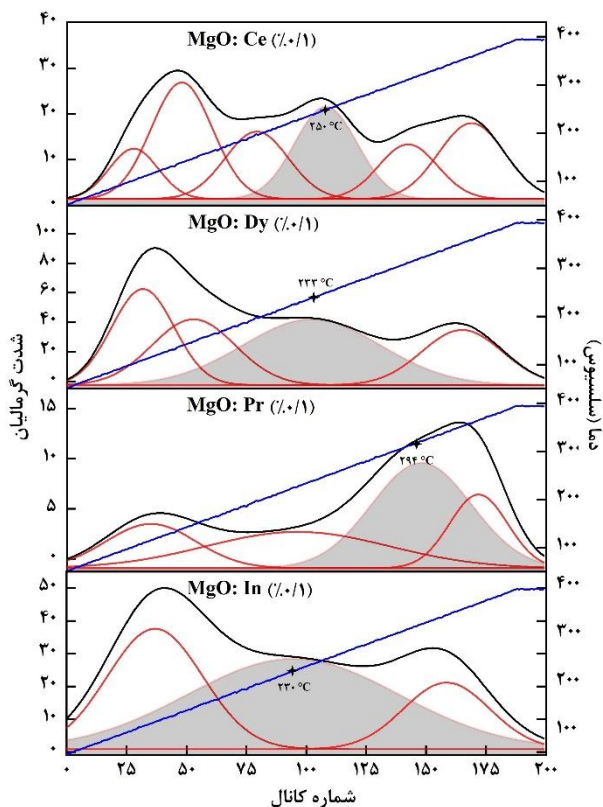
جدول ۱. میانگین اندازه ی بلورکهای محاسبه شده بر حسب نانومتر به کمک معادله ی دبای شرر.

بلور	میانگین	انحراف معیار (±)
MgO	۲۷/۰۶	۳/۵۲
MgO: In (%/۱)	۲۵/۶۱	۲/۰۶
MgO: Pr (%/۱)	۲۵/۹۷	۳/۵۳
MgO: Ce (%/۱)	۲۶/۳۱	۲/۷۴
MgO: Dy (%/۱)	۲۵/۷۴	۳/۶۵
MgO: Li (%/۳), In (%/۳)	۲۷/۱۱	۴/۵۹
MgO: Li (%/۳), Pr (%/۳)	۲۴/۸۳	۳/۶۱
MgO: Li (%/۳), Ce (%/۳)	۲۶/۷۳	۳/۲۲
MgO: Li (%/۳), Dy (%/۳)	۲۵/۴۲	۳/۸۷

۲.۳ ریخت شناسی و آنالیز عنصری

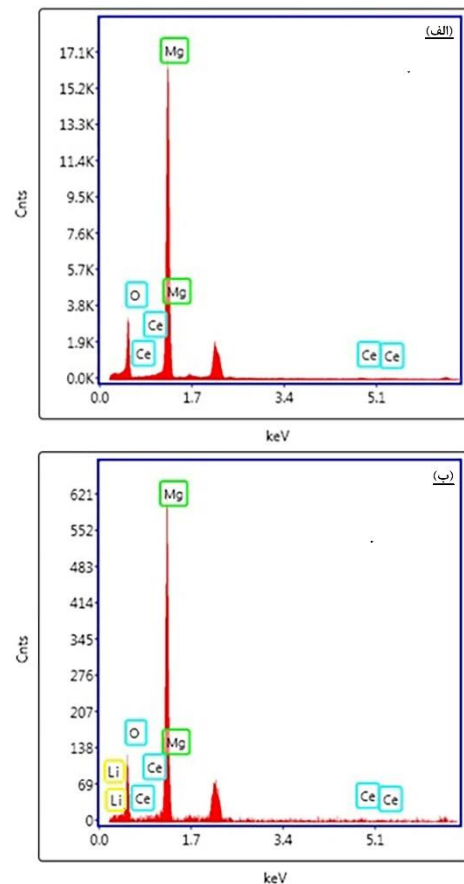
برای دستیابی به دیدگاهی راجع به سطح ظاهری نانوبلورها در ابعاد نانو، از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد. تصاویر مربوط به نانوبلورهای اکسید منیزیم خالص و آلاینده با لیتیوم و سریوم با بزرگنمایی $10000\times$ در شکل ۲ نشان داده شده است. با یک نگاه اجمالی به تصاویر شکل ظاهری کروی و کلوخه شدن ذرات را می توان مشاهده نمود و علت این پدیده را می توان به انرژی سطحی ذرات نسبت داد، با این توصیف که تمایل به کاهش سطح انرژی، شرایط را برای ایجاد پیوندهای بسیار ضعیف بین ذرات و در نتیجه کلوخه شدن آنان فراهم می کند [۱۰]. شکل ۳ نشان دهنده ی توزیع اندازه ذرات هست که با استفاده از نرم افزار ImageJ اندازه گیری شد [۱۱]. همان گونه که در این شکل مشاهده می شود افزودن ناخالصی های لیتیوم و سریوم تأثیری در اندازه ذرات نداشته است و تفاوت نسبتاً ناچیزی که مشاهده می شود مربوط به جامعه آماری محدود در تعداد ذرات موجود در تصاویر میکروسکوپی است.

منیزیم هست و این اختلاف شعاع موجب به وجود آمدن اعوجاج و کرنش^{۱۶} در اطراف این یون ها می شود که حتی در فواصل دورتر از آن نیز تأثیرگذار است، اما به دلیل کوچکتر بودن شعاع یونی لیتیوم نسبت به منیزیم، افزودن لیتیوم به بلور میزبان می تواند اثر معکوس داشته باشد [۱۲]. انتخاب قله دزیمتری برای حالتی که منحنی گرمایی دارای یک قله ی مجزا و برجسته از نظر شدت در میان سایر قله ها باشد کار بسیار ساده ای است. به دلیل اثر دمایی محیط محل تشکیل قله دزیمتری نباید در دماهای پایین باشد، زیرا موجب از دست رفتن اطلاعات دزیمتری قبل از فرآیند خوانش می شود. از طرف دیگر به دلیل اثر تابش فروسرخ زمینه ی صفحه گرمادهی، این قله نباید در دماهای بالا باشد، زیرا موجب به وجود آمدن یک منبع خطا در فرآیند خوانش می شود. با تکیه بر این استدلال، یک دزیمتر ایده آل باید دارای قله ای با شدت مناسب و قابل تفکیک در میان منحنی گرمایی و در بازه ی دمایی 150°C الی 250°C باشد [۱۳].



شکل ۵. منحنی گرمایی اکسید منیزیم آلاینده با لانتانید و ایندیم در دز ۱۰ کیلوگری و قله های تشکیل دهنده ی آن ها (قله-ی دزیمتری با رنگ خاکستری مشخص شده است).

استفاده شد. با توجه به این که تمام نمونه ها با فرآیندی مشابه و در شرایط آزمایشگاهی یکسانی ساخته شد، این آنالیز برای نمونه های اکسید منیزیم آلاینده با سریوم و آلاینده با لیتیوم و سریوم انجام شد. همان گونه که در شکل ۴ مشاهده می شود، نتایج حضور عناصر مورد نظر را در ترکیب تأیید می کند.



شکل ۴. طیف پراش انرژی پرتو ایکس مربوط به نانوبلورهای اکسید منیزیم (الف) آلاینده با سریوم و (ب) آلاینده با سریوم و لیتیوم.

۳.۳ منحنی گرمایی

شکل ۵ و ۶ منحنی گرمایی مربوط به پرتودهی ۱۰ کیلوگری از تابش گاما چشمه ی کبالت از دمای 50°C الی 390°C را نشان می دهد. در تمام نمونه ها منحنی گرمایی پیچیده ای مشاهده شد که با توجه به تعریف یک دزیمتر ایده آل، یک ضعف محسوب می شود. با مقایسه ی شکل های ۵ و ۶ می توان دریافت که افزودن لیتیوم موجب افزایش شدت گرمایی شد که دلیل این افزایش را می توان به تفاوت بین شعاع یونی لانتانیدها و منیزیم نسبت داد. شعاع یونی لانتانیدها بسیار بیشتر از

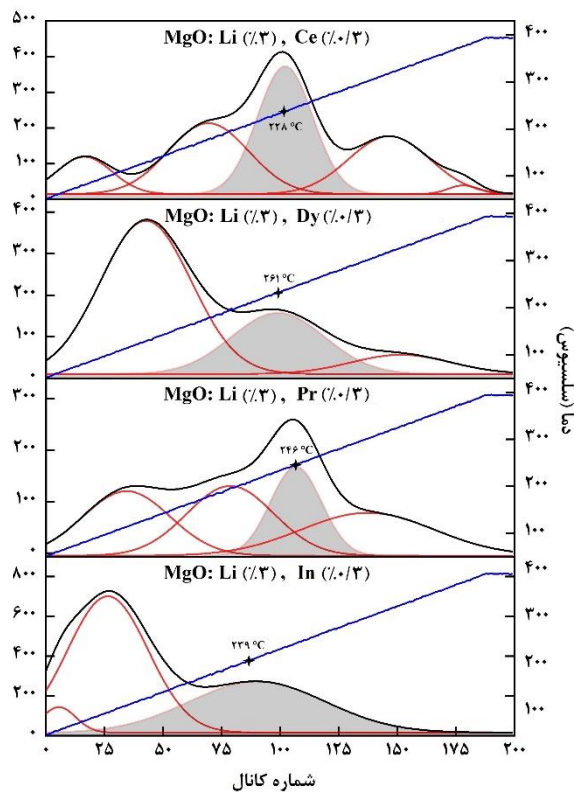
به دو طرف معادله ی ۱، عبارت زیر بدست می آید که یک معادله ی خطی با شیب خط k است.

$$\text{Log}(I) = \log(a) + k \log(D) \quad (2)$$

با برازش منحنی برای مجموعه نقاط بدست آمده از فرآیند پرتودهی و خوانش می توان رفتار دزیمتر را مورد مطالعه قرار داد. اگر زاویه ی بین خط ترسیم شده و محور مختصات برابر با 45° باشد (شیب خط برابر با یک)، آن-گاه می توان گفت که دزیمتر مورد نظر دارای رفتار خطی است و در غیر این صورت با توجه به زاویه ی خط، رفتار زیرخطی و فوق خطی به آن نسبت داده می شود. اگرچه بسیاری از موادی که اکنون به عنوان دزیمتر گرمایی مورد استفاده قرار می گیرند دارای رفتار غیرخطی هستند، اما باید به این نکته اشاره کرد که پاسخ و یا رفتار غیرخطی دزیمتر گرمایی را غیر قابل استفاده نمی کند، اما در کاربردهای عملی باید ضریب تصحیح برای ارزیابی دز دریافتی اضافه شود که این ضریب می تواند موجب بروز خطا در محاسبات شود [۱۳].

در این پژوهش پاسخ نانوبلورهای اکسید منیزیم آلاینده با لانتانیدها، ایندیوم و لیتیوم برای دزهای ۱، ۴، ۶، ۱۰ و ۱۲ کیلوگری مورد مطالعه قرار گرفت. همان طور که در شکل ۷ و ۸ مشاهده می شود، مطالعه ی رفتار نمونه ها به دزهای مختلف در دو حالت که مربوطه به کل منحنی گرمایی و قله دزیمتری هست، انجام شد. در حالت کلی به غیر از قله دزیمتری مربوط به ناخالصی ایندیوم در شکل ۷، تمام نمونه های ارائه شده در شکل-های ۷ و ۸ رفتار زیرخطی از خود نشان داده اند که این رفتار در دو حالت کل منحنی گرمایی و قله دزیمتری مشاهده شد.

می توان گفت که حد بالای دمایی یک دزیمتر ایده آل در حالتی که هدف استفاده به عنوان دزیمتر در دزهای نسبتاً بالاست قابل چشم پوشی است. بنابراین منحنی گرمایی با استفاده از نرم افزار Origin و به روش وانگاشت رایانه ای منحنی تابان^{۱۷} به قله های سازنده ی خود تفکیک و سپس یکی از آنان به عنوان قله دزیمتری انتخاب شد که در شکل های ۵ و ۶ مشخص شد.



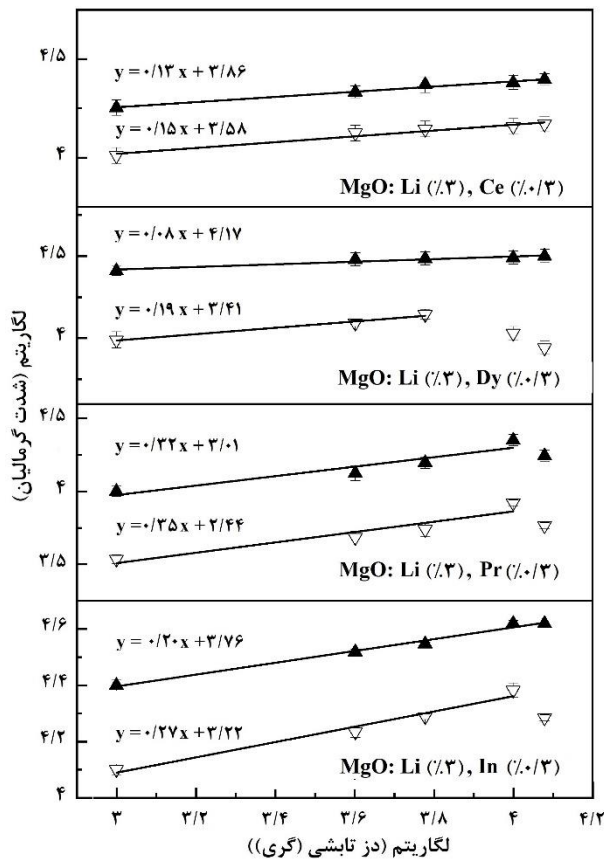
شکل ۶. منحنی گرمایی اکسید منیزیم آلاینده با لانتانید، ایندیوم و لیتیوم در دز ۱۰ کیلوگری و قله های تشکیل دهنده ی آن ها (قله ی دزیمتری با رنگ خاکستری مشخص شده است).

۴.۳ پاسخ - دز

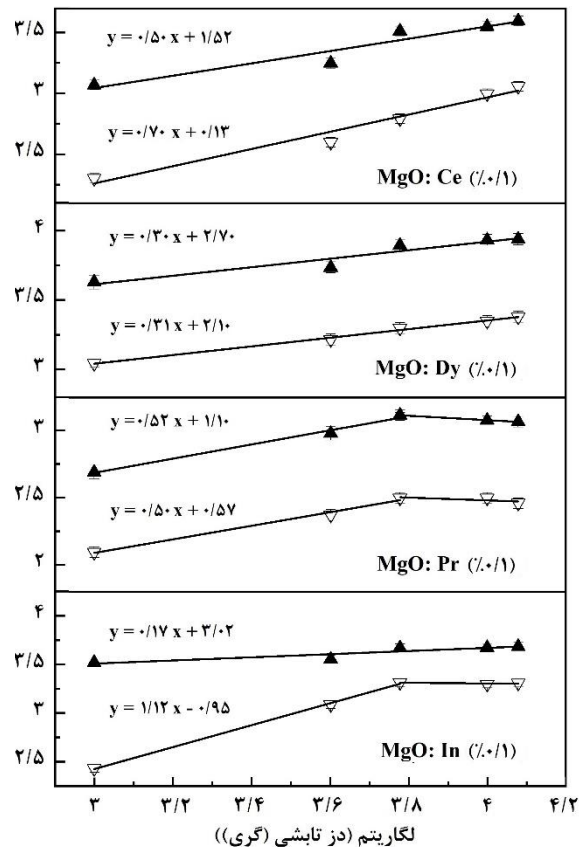
یکی از ویژگی های مهم در کاربردهای عملی گرمایی، پاسخ خطی و متناسب با دز دریافتی هست. ممکن است با ترسیم میزان دز تابش دهی نسبت به شدت گرمایی در بازه ی متفاوتی از دزهای تابشی رفتارهای گوناگونی از دزیمتر گرمایی مشاهده شود که به نوع ماده میزبان و ماهیت فعال ساز بستگی دارد. رابطه ی بین شدت گرمایی و دز تابشی به صورت زیر بیان می شود [۱۴]:

$$I = aD^k \quad (1)$$

که در این رابطه I برابر با شدت گرمایی، D دز تابشی، a عامل مقیاس و k ثابت معادله هست. با اعمال لگاریتم



شکل ۸. نمودار پاسخ-دز نانوبلورهای اکسید منیزیم آلاینده با لانتانیدها و ایندیوم همراه با لیتیوم از دز ۱ تا ۱۲ کیلوگری برای کل منحنی گرمایی (▲) و قله‌ی دزیمتری (▽).



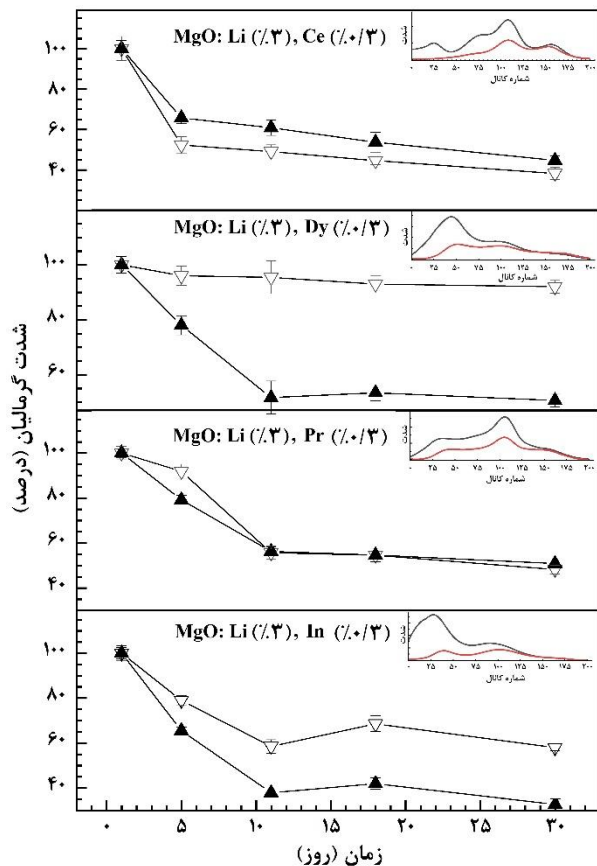
شکل ۹. نمودار پاسخ-دز نانوبلورهای اکسید منیزیم آلاینده با لانتانیدها و ایندیوم از دز ۱ تا ۱۲ کیلوگری برای کل منحنی گرمایی (▲) و قله‌ی دزیمتری (▽).

۵.۳ محوشدگی

پس از فرآیند پرتودهی، حامل‌های بار ثانویه در دام‌هایی که توسط نقائص و ناخالصی‌ها در بلور میزبان به وجود آمد به دام می‌افتند و زمانی که انرژی لازم برای خروج از این دام را کسب کنند از قید آن خارج می‌شوند. با خروج حامل‌های بار از دام، شرایط برای بازترکیب آن در مراکز فعال‌ساز و گسیل نور فراهم می‌شود. اگر این انرژی در زمانی غیر از فرآیند خوانش به دزیمتر منتقل شود، بخشی از اطلاعات از بین می‌رود که موجب خطا در فرآیند دزیمتری می‌شود. این پدیده که با نام محوشدگی شناخته می‌شود برای یک دزیمتر ایده‌آل باید بسیار ناچیز باشد [۱۳].

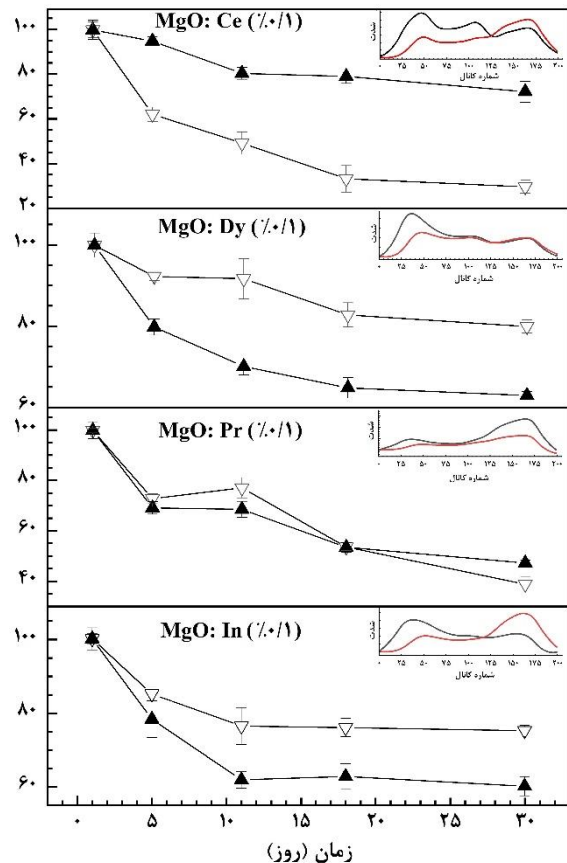
در اغلب نمونه‌ها به طور تقریبی شیب خط برای هر دو حالت با یکدیگر برابر بوده است و اختلاف ناچیزی که در بعضی از آنان مشاهده می‌شود را می‌توان به رفتار متفاوت دام‌ها نسبت به حالتی که رفتار جمعی آن‌ها می‌شود نسبت داد. علاوه بر پاسخ غیر خطی که تقریباً وجه اشتراک تمام نمونه‌ها است، می‌توان پدیده اشباع شدن دزیمتر را در شکل ۷ و در مورد ناخالصی‌های ایندیوم و پرازئودیومیوم مشاهده کرد. افت شدت گرمایی در دزهای ۱۰ و ۱۲ کیلوگری برای ناخالصی‌های دیسپرسیوم، پرازئودیومیوم و ایندیوم در شکل ۸ را می‌توان به آسیب تابشی و یا خودجذبی نور گسیل شده نسبت داد [۱۵].

پودری هست و به این معناست که انرژی لازم برای آزادسازی حامل‌های بار از دام توسط سایش بین ذرات پودر تأمین می‌شود و عموماً با تبدیل پودر به قرص و مقید ساختن ذرات اثر آن ناپدید می‌شود [۱۶].



شکل ۱۰. محوشدگی نانوبلورهای اکسید منیزیم آلاینده با لانتانیدها و ایندیوم همراه با لیتیوم در بازه زمانی یک ماهه و برای کل منحنی گرماییان (▲) و قله‌ی دزیمتری (▽) (منحنی گرماییان نیز برای خوانش روز اول و روز آخر به ترتیب با رنگ‌های سیاه و قرمز نمایش داده شده است).

عامل دوم مربوط به محوشدگی نوری هست. در توصیف این پدیده گفته می‌شود که برای جلوگیری از اثر نور محیط بر فسفر و از بین رفتن اطلاعات، فسفر پرتودیده باید دور از نور محیط و در یک مکان تاریک نگهداری شود. اما گاهی اوقات که فسفرهای این پژوهش در این شرایط قرار دارند، نمونه‌ی پرتودیده می‌تواند منبع نور مزاحم باشد. درحالتی که با منحنی گرماییان پیچیده و دارای تعداد زیادی قله مواجه هستیم، حامل‌های باری که در دام‌های سطحی قرار دارند تحت تأثیر دمای محیط قرار می‌گیرند و با فرار از دام، در مراکز بازترکیب منجر



شکل ۹. محوشدگی نانوبلورهای اکسید منیزیم آلاینده با لانتانیدها و ایندیوم در بازه زمانی یک ماهه و برای کل منحنی گرماییان (▲) و قله‌ی دزیمتری (▽) (منحنی گرماییان نیز برای خوانش روز اول و روز آخر به ترتیب با رنگ‌های سیاه و قرمز نمایش داده شده است).

در این پژوهش برای بررسی میزان محوشدگی، نمونه‌ها با دز ۱۰ کیلوگری پرتودهی شدند و میزان محوشدگی آنان در بازه‌ی زمانی یک ماه اندازه‌گیری شد که در شکل‌های ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است. میزان افت شدت گرماییان بعد از گذشت زمان‌های ۵، ۱۱، ۱۸ و ۳۰ روز برای دو حالت کل منحنی گرماییان و قله دزیمتری اندازه‌گیری شد. به علت اثر دمای محیط بر دام‌های سطحی، کاهش شدت گرماییان برای حالتی که میزان شدت کل منحنی گرماییان لحاظ شد، بدیهی است. اما برای حالتی که از قله‌ی دزیمتری برای بررسی میزان محوشدگی استفاده شد، با وجود انتخاب قله دزیمتری در دماهای نسبتاً بالاتر برای جلوگیری از اثر دمای محیطی، محوشدگی نسبتاً بالایی مشاهده شد. در توصیف این پدیده می‌توان به دو عامل تأثیرگذار اشاره کرد. عامل اول مربوط به سوده‌تابی^{۱۸} ناشی از حالت

توجه به بررسی‌های انجام شده در این پژوهش، تصمیم-گیری راجع به پتانسیل نمونه‌ها و برتری یک نمونه نسبت به نمونه‌های دیگر، نیازمند بررسی‌های بیشتر در پژوهش‌های بعدی و در جهت بررسی پاسخ نمونه‌ها به انرژی‌های مختلف و تأثیر تبدیل پودر به قرص و همچنین بازپخت پس از تابش و پیش از خوانش بر میزان محوشدگی است.

پی نوشت ها

- ¹ Thermoluminescent dosimeter (TLD)
- ² Magnesium oxide (MgO)
- ³ X-ray diffraction (XRD)
- ⁴ Scanning electron microscope (SEM)
- ⁵ Magnesium nitrate hexahydrate ($\geq 99\%$ Merck)
- ⁶ Urea ($\geq 99.5\%$ Merck)
- ⁷ Annealing
- ⁸ Dysprosium(III) nitrate hydrate ($\geq 99.9\%$ Sigma)
- ⁹ Praseodymium(III) nitrate hexahydrate ($\geq 99.9\%$ Sigma)
- ¹⁰ Cerium(III) nitrate hexahydrate ($\geq 99.99\%$ Sigma)
- ¹¹ Indium(III) nitrate hydrate ($\geq 99.9\%$ Sigma)
- ¹² Lithium chloride ($\geq 99\%$ Merck)
- ¹³ Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS)
- ¹⁴ Debye Scherrer equation
- ¹⁵ Distortion and Strain
- ¹⁶ Computerised Glow Curve Deconvolution (CGCD)
- ¹⁷ Triboluminescence
- ¹⁸ Interactive traps

مراجع

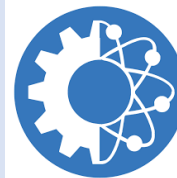
1. Ahmed, Syed Naeem. Physics and engineering of radiation detection. Academic Press, (2007).
2. Tilley, R.J., Colour and the optical properties of materials: an exploration of the relationship between light, the optical properties of materials and colour: John Wiley & Sons (2010).
3. Bos, A. J. J., M. Prokić, and J. C. Brouwer. "Optically and thermally stimulated luminescence characteristics of MgO: Tb³⁺." Radiation protection dosimetry 119.1-4: 130-133. (2006).
4. Soliman, C. "Thermoluminescence behavior of magnesium oxide exposed to gamma and ultraviolet radiations." Radiation Effects & Defects in Solids 164.4: 257-265. (2009).

به گسیل نور می‌شوند و این نور می‌تواند موجب آزادسازی حامل‌های بار در دام‌های عمیق‌تر شود. عموماً در کاربردهای عملی برای رفع این مشکل از فرآیند گرمادهی پس از پرتودهی برای پاک‌سازی دام‌های سطحی استفاده می‌شود. انتظار می‌رود که با گذشت زمان ماده بخشی از اطلاعات خود را از دست بدهد [۱۳]. یکی از پدیده‌های جالبی که در ناخالصی‌های مربوط به دیسپرسیوم و ایندیوم در شکل ۹ مشاهده شد، افزایش شدت در دماهای بالاتر بعد از گذشت زمان یک ماه بود. در توصیف این پدیده که تعامل دام‌ها^{۱۹} نامیده می‌شود، گفته می‌شود که الکترون‌هایی که در دام‌هایی با عمق پتانسیل نسبتاً پایین به دام می‌افتند، پس از دریافت انرژی مورد نیاز که مقدار آن برای دام‌های کم عمق در دمای اتاق تأمین می‌شود، این امکان وجود دارد تا به صورت مجدد به سمت دام‌های عمیق‌تر جذب شوند. لازم به ذکر است که در این پدیده دام‌های عمیق برای گیراندازی الکترون‌ها با مراکز بازترکیب که مسئول گسیل نور هستند رقابت می‌کنند که چگونگی این برهم-کنش به ماهیت بلور میزبان و فعال‌ساز مرتبط است [۱۳].

۴. نتیجه‌گیری

سنتر بلور اکسید منیزیم با روش احتراق محلول توسط آنالیز پراش پرتو ایکس تأیید شد. منحنی گرمایی پیچیده‌ای برای تمام نمونه‌ها مشاهده شد که نشان دهنده وجود دام‌هایی با سطح انرژی متفاوت در نوار ممنوعه است، در نتیجه منحنی گرمایی به قله‌های تشکیل دهنده خود تفکیک شد و یکی از قله‌ها به عنوان قله دزیمتری انتخاب شد. بررسی نمونه‌های پرتودهی شده با دز ۱۰ کیلوگری نشان داد که اضافه کردن لیتیوم موجب افزایش شدت گرمایی می‌شود. پاسخ نمونه‌ها به دزهای مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفت. در حالت کلی، در تمام نمونه‌ها رفتار زیرخطی مشاهده شد. برای بررسی محوشدگی گرمایی، نمونه‌ها تحت تابش ۱۰ کیلوگری اشعه‌ی گاما قرار گرفت و با وجود انتخاب قله‌های دزیمتری در دماهای بالاتر از ۲۰۰ سلسیوس، محوشدگی نسبتاً زیادی مشاهده شد که دلیل آن به سوده‌تابی و محوشدگی نوری نسبت داده شد. با

11. Journal of pharmaceutical sciences 91.10: 2103-2109 (2002).
12. Schneider, C.A., Rasband, W.S., Eliceiri, K.W. "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis". Nature Methods 9, 671-675, (2012).
13. Alarcon, J., D. Van der Voort, and G. Blasse. "Efficient Eu³⁺ luminescence in non-lanthanide host lattices." Materials research bulletin 27.4: 467-472 (1992).
14. Furetta, Claudio. Handbook of thermoluminescence. World Scientific, (2010).
15. Bedyal, A. K., et al. "Thermoluminescence response of 120 MeV Ag⁹⁺ and γ -ray exposed LiMgBO₃: Dy³⁺ nanophosphors for dosimetry." Ceramics International 42.16: 18529-18535. (2016).
16. Mische, E. F., and S. W. S. McKeever. "Mechanisms of supralinearity in lithium fluoride thermoluminescence doseimeters." Radiation protection dosimetry 29.3: 159-175 (1989).
17. Cameron, J.R., N. Suntharalingam, and G.N. Kenney, THERMOLUMINESCENT DOSIMETRY. (1968).
5. Oliveira, Luiz C., Eduardo G. Yukihara, and Oswaldo Baffa. "MgO: Li, Ce, Sm as a high-sensitivity material for Optically Stimulated Luminescence dosimetry." Scientific Reports (Nature Publisher Group) 6: 24348 (2016).
6. McKeever, Stephen WS, Marko Moscovitch, and Peter David Townsend. "Thermoluminescence dosimetry materials: properties and uses." (1995).
7. Bapat, M. N., and S. Sivaraman. "Thermoluminescence of Li doped MgO." Current Science 54.1: 35-37 (1985).
8. Orante-Barrón, V. R., et al. "Luminescence properties of MgO produced by solution combustion synthesis and doped with lanthanides and Li." Journal of luminescence 131.5: 1058-1065 (2011).
9. Hall, B. D., D. Zanchet, and D. Ugarte. "Estimating nanoparticle size from diffraction measurements." Journal of applied crystallography 33.6: 1335-1341 (2000).
10. Nichols, Gary, et al. "A review of the terms agglomerate and aggregate with a recommendation for nomenclature used in powder and particle characterization."



Thermoluminescence properties study of magnesium oxide doped with lanthanides and lithium under gamma irradiation for dosimetric applications

K. Bazari Jamkhaneh^{1*}, M. Alikhanpoor², Kh. Rezaee Ebrahim Saraee¹

1. Department of Nuclear Engineering, Faculty of Physics, University of Isfahan, Isfahan-Iran.

2. Reactor and Nuclear Safety Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Isfahan, Iran.

Received: 15 -11 - 2020

Accepted: 19 - 01 - 2021

Abstract

The goal of this study was to investigate the dosimetric properties of magnesium oxide doped with lanthanide and indium impurities and also co-doped with lithium as a high sensitivity thermoluminescence material and its possible potential for high dose dosimetry. All the samples were synthesized by the solution combustion method and their crystalline nature was confirmed by using x-ray diffraction analysis. The morphology of the samples was characterized by scanning electron microscopy and it showed spherical particle distribution with average diameters of 158nm. Thermoluminescence response of magnesium oxide doped and co-doped with lanthanide, indium, and lithium exposed to gamma radiation within the dose range of 1 to 12kGy was measured and compared. Thermoluminescence glow curve of the samples showed a complex structure. In most cases, the thermoluminescence response of the materials to the exposed radiation was sublinear. Thermal fading of the samples was investigated and showed the remarkable result.

Keywords: Dosimetry, Thermoluminescence, Magnesium oxide, Activator, lanthanide

* Corresponding Author E-mail: kh.rezaee@ast.ui.ac.ir

