



پنجمین شعبه علوم و فناوری های طبیعی ایران



Luminescence study of calcium aluminate synthesized by sol-gel method with dopant cations of copper and sodium

Hoda Pasdar*, Tania Bigdeli, Saeed Mortazavi nik, Zahra Sadat Bayat

Department of Chemistry, Islamic Azad University Tehran North Branch, Tehran, Iran

Abstract:

Calcium aluminate with Na^+ and Cu^{2+} as dopant were synthesized by sol-gel method at 950°C in a neutralized atmosphere using activated carbon. X-ray Diffraction (XRD) pattern was used to investigate the structures which showed the formation of CaAl_2O_9 and $\text{CaAl}_9\text{O}_{23}$ phases. The results of the SEMs revealed that the morphology of the sample grown in the form of parallel layers. The photoluminescence method also shows the sensitized luminescence of Na^+ ions by the Cu^{2+} ions hosted with calcium aluminate. In three areas 270, 300 and 380 nm the excitation and emission of the compound were proven. Continuity of calcium aluminate luminescence nanoparticles, synthesized layered pages were remarkably growth by increasing the heating time can expect further growth of the parallel layers. According to the obtained results this sample can be a new luminescence material. The synthesized sample can be considered as a new material of luminescence semiconductor and multipurpose compound.

Keywords: Doped Calcium Aluminate, Sol-Gel, activated ion, activator ion.



بررسی نورتابی کلسیم آلومینات سنتز شده به روش سل-ژل با دوپانت کاتیون های مس و سدیم

هدی پاسدار، تانیا بیگدلی، سعید مرتضوی نیک، زهرا سادات بیات

دانشکده شیمی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

کلسیم آلومینات به همراه دوپانت های Na^+ و Cu^{2+} در دمای ۹۵۰ درجه سانتی گراد در اتمسفر بی اثر شده با کربن اکتیو به روش سل-ژل سنتز گردید. به منظور شناسایی فازهای کلسیم آلومینات از پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده شد که تشکیل فازهای $CaAl_{12}O_{19}$ و $CaAl_{19}O_{23}$ را نشان داد. بررسی نتایج حاصل از تصویربرداری SEM مورفولوژی نمونه را به صورت لایه های موازی رشد یافته نمایش داد. با تابش نور و تحریک الکترون های یون Cu^{2+} ، نشر این یون منجر به حساس شدن و نشر نور به وسیله یون های Na^+ به میزبانی کلسیم آلومینات گردید. همچنین روش نورتابی نشان دهنده ی نورتابی حساس شده یون Na^+ بوسیله یون Cu^{2+} به میزبانی کلسیم آلومینات می باشد. در سه ناحیه ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۸۰ نانومتر برانگیختگی و نشر ترکیب ثابت گردید. پیوستگی نانوذرات کلسیم آلومینات نورتاب سنتز شده بطور قابل ملاحظه باعث رشد صفحاتی به صورت لایه لایه شدند که با افزایش زمان حرارت دهی می توان رشد بیشتر این صفحات را انتظار داشت. این نمونه می تواند یک ماده نورتاب جدید باشد. باتوجه به نتایج و ویژگی های مشاهده شده می توان نمونه ی سنتز شده را یک ترکیب نیمه هادی نورتاب با کاربرد چندگانه دانست.

واژه های کلیدی: کلسیم آلومینات دوپه شده، سل-ژل، نورتابی، دوپانت کاتیونی، یون فعال کننده، یون فعال شده

* ۱ هدی پاسدار، مسئول مکاتبات پست الکترونیکی: h_pasdar@iau-tnb.ac.ir



۱. مقدمه

سنتر و بررسی نانوذرات با ویژگی‌های نوری از جمله خاصیت نورتابناکی توجه بسیاری از محققان را در سال‌های اخیر به خود جلب نموده است. پدیده فتولومینسانس یا نورتابی، بدین معنی است که این سیستم‌ها می‌توانند تابش الکترومغناطیسی را جذب کرده و به وسیله‌ی آن دچار برانگیختگی الکترون شوند، سپس بازگشت این الکترون‌ها به سطح انرژی پایین‌تر با نشر فوتون همراه است [۱-۱۰]. بسیاری از مطالعات نشان می‌دهد که ویژگی‌های مواد نوری با ساختار نانو، متفاوت از ساختار معمولی این مواد می‌باشد. از جمله این مواد، مواد معدنی دوپه شده به همراه یون‌های عناصر واسطه با ساختار نانو می‌باشند. این مواد بدلیل تابش فوتون‌های فرابنفش، مرئی یا فرورسوخ ناشی از نشر الکترون‌های برانگیخته کاربردهای گسترده‌ای در پنل‌های مختلف نوری، رنگ‌های فلورسنت، سامانه‌های اسکن و تصویر برداری X-Ray و ... دارند [۱۱-۱۴]. از جمله این مواد آلومینات‌ها می‌باشند که برحسب شرایط زمانی و دمایی، فازهای مختلفی را تشکیل می‌دهند که در حضور یونهای دوپه شده دارای قابلیت‌های گوناگونی از قبیل پایداری حرارتی بالا، بازده نوری مناسب می‌باشند [۱۵-۱۸]. در همین راستا آلومینات‌های قلیایی خاکی مختلف دوپه شده از قبیل $\text{CaAl}_2\text{O}_4:(\text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+})$ و $\text{SrAl}_2\text{O}_4:(\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+})$ و $\text{BaAl}_2\text{O}_4:(\text{Eu}^{2+}, \text{Dy}^{3+})$ سنتر و کاربرد گسترده آنها بررسی شده است [۱۹-۲۱]. استفاده از روش سل-ژل برای ساخت این مواد یکی از متداول‌ترین روش‌های تولید نانوذرات در فاز مایع با رویکرد پایین به بالا است، چراکه برای تولید نانوذرات با این روش نیاز به تجهیزات ویژه‌ای نیست و محصولات آن متنوع هستند. روش سل-ژل همچنین می‌تواند امکان ساخت کامپوزیت‌های بسیار همگن و با خلوص بسیار بالا را فراهم کند. همچنین این روش قادر است نسبت به روش‌های رایج که محدوده دمایی بسیار بالایی دارند، نانو مواد سرامیکی و فلزی را در دماهای بسیار پایین‌تری تولید کند. روش سل ژل، روشی ارزان و قابل دسترس برای تولید در حجم صنعتی می‌باشد. در این روش با ساخت یک محلول سل خوب (شفاف و پایدار) و تبدیل آن به ژل طی فرآیند هیدرولیز و در پی آن تراکم به محصول ژل خیس رسیده و با یکی از روش‌هایی که برای خشک کردن ژل خیس وجود دارد، ژل را خشک کرده و به محصول نهایی که یک ساختار جامد متخلخل است می‌توان دست یافت. نحوه خشک کردن بستگی مستقیم به نوع محصول و ویژگی‌های آن دارد [۲۲، ۲۳]. در این تحقیق سنتر کلسیم آلومینات به روش سل-ژل در اتمسفر بی‌اثر شده بوسیله کربن فعال با کاتالیزوری بوریک اسید و نیز خاصیت نورتابناکی با استفاده از کلسیم آلومینات در فاز $\text{CaAl}_{12}\text{O}_{19}$ بعنوان ماده‌ی میزبان، یون مس بعنوان انتقال‌دهنده خوب و یون سدیم بعنوان یون حساس شونده مورد بررسی قرار گرفت. برای شناسایی فازهای تشکیل شده از، پراش اشعه ایکس (XRD)، برای بررسی خواص برانگیختگی و تابش نمونه‌ها از طیف نورتابی (PL) و برای ریخت‌شناسی نمونه از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد.



۲. تجربی

۲-۱. مواد مصرفی

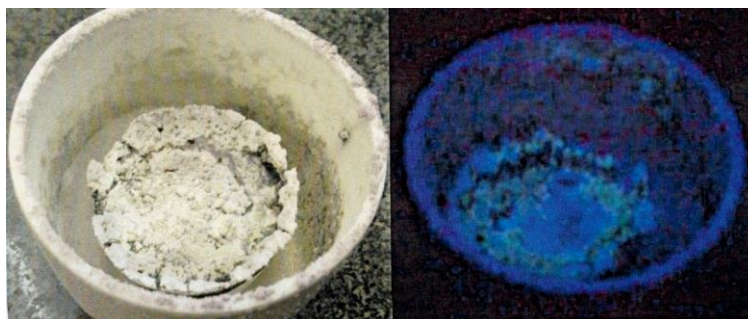
برای ساخت نمونه‌ها، از آلومینیوم نیترات ۹ آب، کلسیم نیترات ۴ آب و مس نیترات ۳ آب با خلوص ۹۹٪ و آمونیوم کربنات و سدیم نیترات با خلوص ۹۸٪ و کربن فعال با گرید تجزیه‌ای، متعلق به کارخانه مرک آلمان استفاده شد. بوریک اسید با خلوص ۵۴٪ نیز از کیمیا پارس تهیه گردید.

۲-۲. دستگاه‌ها و ابزارها

هیتر همزن IKA، کوره الکتریکی Carbolite RHF-1400، دستگاه XRD مدل SCIFERT-3003 PTS ساخت کشور آلمان مورد استفاده قرار گرفتند. طیف PL، به وسیله دستگاه طیف سنجی Avaspec 2048 TEC تولید شرکت Avantes از کشور هلند انجام شد. روش تصویر برداری SEM و تجزیه و تحلیل EDXS به وسیله دستگاه Zeiss ساخت کشور آلمان انجام شد.

۲-۳. روش کار

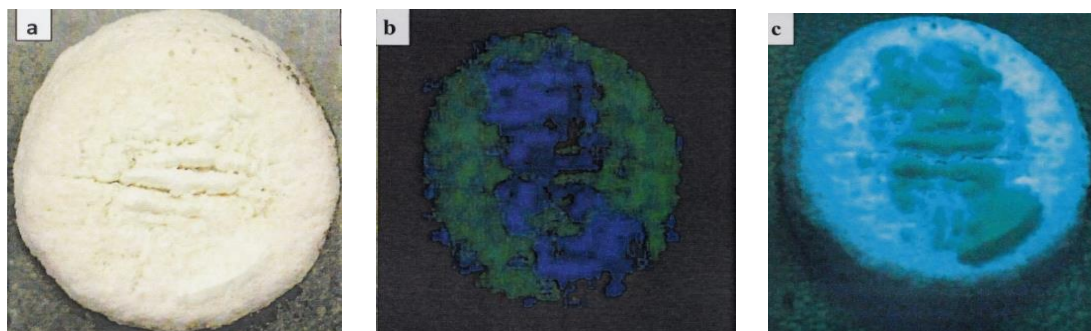
۷۰ ml محلول ۱ مولار آلومینیوم نیترات، ۳۴/۸۰ ml محلول ۰/۱ مولار کلسیم نیترات، ۸ ml سدیم نیترات و به همین مقدار مس نیترات در یک بشر ۱۰۰۰ ml به کمک یک همزن مغناطیسی (بدون حرارت دهی) به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت بالا به منظور تهیه محلولی همگن همزده شدند. ۱۰۰ ml محلول ۱ مولار آمونیوم کربنات بعنوان تسریع کننده در مدت زمان ذکر شده قطره قطره به مخلوط اضافه گردید. سپس ۷۰ ml دیگر محلول ۱ مولار آلومینیوم نیترات اضافه و در نهایت ۰/۵ گرم بوریک اسید به محلول تا حل شدن کامل در حین عمل همزدن نیز افزوده شد. محلول به مدت ۱۷ ساعت در دمای محیط در محفظه شیشه با سامانه خلا استراحت داده شد تا به فرم ژل تبدیل شود [۲۴]. سپس به منظور همگن سازی و جداسازی آب باقی مانده از نمونه ژل اولیه، نمونه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد با همزن مغناطیسی با سرعت بالا همزده شد. پس از آن به نمونه اجازه داده شد تا در دمای محیط خشک و به حالت جامد تبدیل گردد. نمونه به منظور انجام عمل کلسینه شدن به بوته چینی منتقل گردید و در کوره‌ی خلا در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت حرارت داده شد. پس از گذراندن این مرحله، نمونه‌ای با شکل کنگره‌ای منظم با کمی جمع‌شدگی بدست آمد. این نمونه تحت تابش نور UV در ناحیه ۲۷۰ نانومتر نشر سبز رنگی از خود نشان داد (شکل ۱).



شکل ۱: نمونه سنتز شده کلسیم آلومینات به روش سل-ژل با دوپانت کاتیون‌های مس و سدیم پس از عمل کلسینه به همراه تابناکی در زیر نور UV

نمونه در هاون عقیق پودر گردید و در کوره تحت حرارت ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد، تا بطور کامل فشرده گردد. سپس به منظور ایجاد تخلخل نهایی در ساختار، نمونه مجدد در مدت زمان ۴۰ دقیقه تحت دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد

در اتم سفر بی اثر شده بو سیله کربن فعال در کوره قرار گرفت. نمونه در دونا حیه ۲۷۰ و ۴۰۰ نانومتر به ترتیب دارای نورتابناکی سبز و درخشندگی سفید می باشد (شکل ۲).



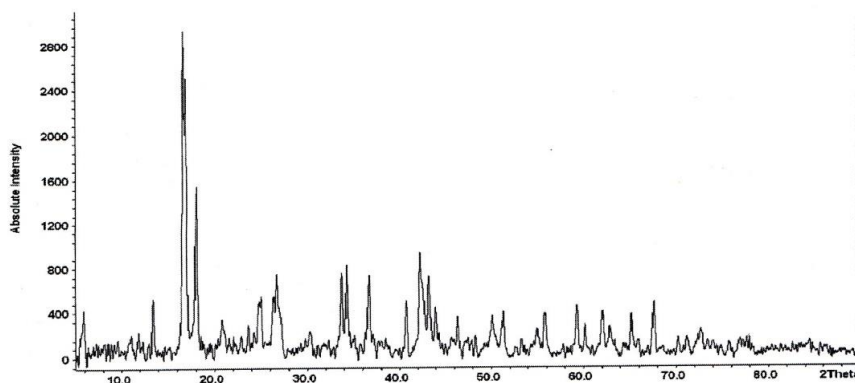
شکل ۲: (a) نمونه سنتز شده کلسیم آلومینات به روش سل-ژل با دوپانت کاتیون های مس و سدیم ، (b) نثر نمونه کلسیم آلومینات با دوپانت کاتیون های مس و سدیم تحت نور UV در ۴۰۰ نانومتر (c) نثر نمونه کلسیم آلومینات با دوپانت کاتیون های مس و سدیم تحت نور UV در ۲۷۰ نانومتر.

۳. نتایج و بحث روی نتایج

۳-۱. طیف پراش پرتو ایکس^۱

طیف حاصله از الگوی پراش اشعه ایکس برای نمونه سنتز شده به همراه اطلاعات فازهای تشکیل شده و خواص بلوری در شکل ۳ و جدول ۱ گزارش شده است. هرساختار کریستالی، الگوی پراش پرتو ایکس منحصر بخود را دارا می باشد که همانند اثر انگشت برای تعیین هویت آن استفاده می گردد. با مطالعه زاویه ای که پیک های طیف پراش پرتو ایکس در آن تشکیل می شوند و شدت نسبی هر پیک، می توان نوع مواد و فاز آن ها را به صورت کیفی شناسایی کرد. مواد آمورف (بی شکل) مانند شیشه، پیک های مشخص تشکیل نمی دهند، در حالی که مواد بلوری که ساختار منظمی دارند پیک های مشخص در زوایای مشخص ایجاد می کنند. پراش پرتو ایکس یک روش غیر تخریبی با چند کاربرد است که اطلاعات جامعی درباره ی ترکیبات شیمیایی و ساختار کریستالی مواد طبیعی و صنعتی ارائه می دهد. دستگاه XRD مورد استفاده در این پژوهش از مدل SCIFERT-3003 PTS ساخت کشور آلمان و لامپ به کار رفته در این دستگاه از اشعه ایکس $K\alpha$ مربوط به کاتد مس ایجاد می شود، طیف حاصل از روش عبوری تهیه گردید. اندازه حرکت زاویه ای دتکتوری در هر مرحله برابر ۰/۱۵ درجه می باشد. همانگونه که از طیف حاصله مشاهده می شود، کلسیم آلومینات در دوفاز $CaAl_{12}O_{19}$ و $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ تشکیل شده است. ساختار $CaAl_{12}O_{19}$ هگزاگونالی با عدد گروه فضایی ۱۹۴، متعلق به گروه فضایی P63/mmc و ساختار $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ مکعبی با عدد گروه فضایی ۵۹، متعلق به گروه فضایی I-43d می باشد. با توجه به فازهای تشکیل شده در نمونه می توان گفت که فاز $CaAl_{12}O_{19}$ فاز اصلی کلسیم می باشد. سلول واحد این فاز شامل دو واحد فرمولی است که در آن یون های اکسید در کنار هم دو حفره ی دوهرمی مثلثی با تقارن D_{3h} را ایجاد می کنند که مکان مناسبی برای حضور یون فعال کننده مس و یون فعال شده سدیم می باشد [۲۵].

^۱XRD; X-ray diffraction



شکل ۳: پراش اشعه ایکس نمونه کلسیم آلومینات با دوپانت کاتیون‌های مس و سدیم

جدول ۱: اطلاعات حاصل از طیف XRD نمونه

JCPDS Card	شماره گروه فضایی	گروه فضایی	سامانه کریستالی	فرمول
48-1548	۲۲۵	Fm-3m	Cubic	CuO
34-0282	۵۹	Pmmn	Orthorhombic	CaCu ₂ O ₃
38-0470	۱۹۴	P63/mmc	Hexagonal	CaAl ₁₂ O ₁₉
85-2391	۱۲	C2/m	Monoclinic	NaCuO ₂
48-1882	۲۲۰	I-43d	Cubic	Ca ₁₂ Al ₁₄ O ₃₃

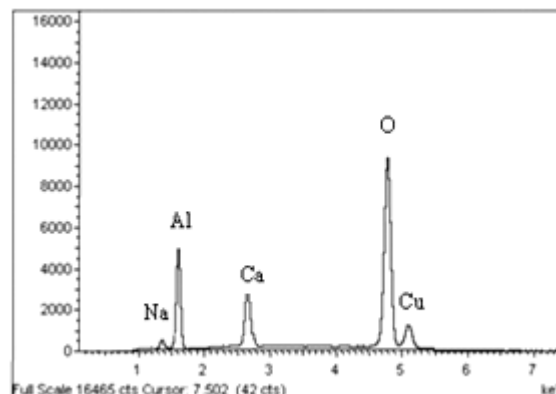
۲-۳. تجزیه و تحلیل EDXS^۱

به منظور اطمینان از حضور یون‌های مورد نظر در شبکه کلسیم آلومینات و دستیابی به مقدار عنصر نهایی وارد شده، تجزیه و تحلیل EDX برای نمونه بهینه انجام شد، شکل ۴. این تجزیه و تحلیل به وسیله دستگاه Zeiss ساخت آلمان صورت پذیرفت. خطوط طیفی عناصر حاضر در این ترکیب، از نوع K α می‌باشد که بیان کننده آن است که الکترون از لایه K رانده شده و یک الکترون از لایه L جای خالی آن را پر کرده است.

^۱Energy-dispersive X-ray spectroscopy



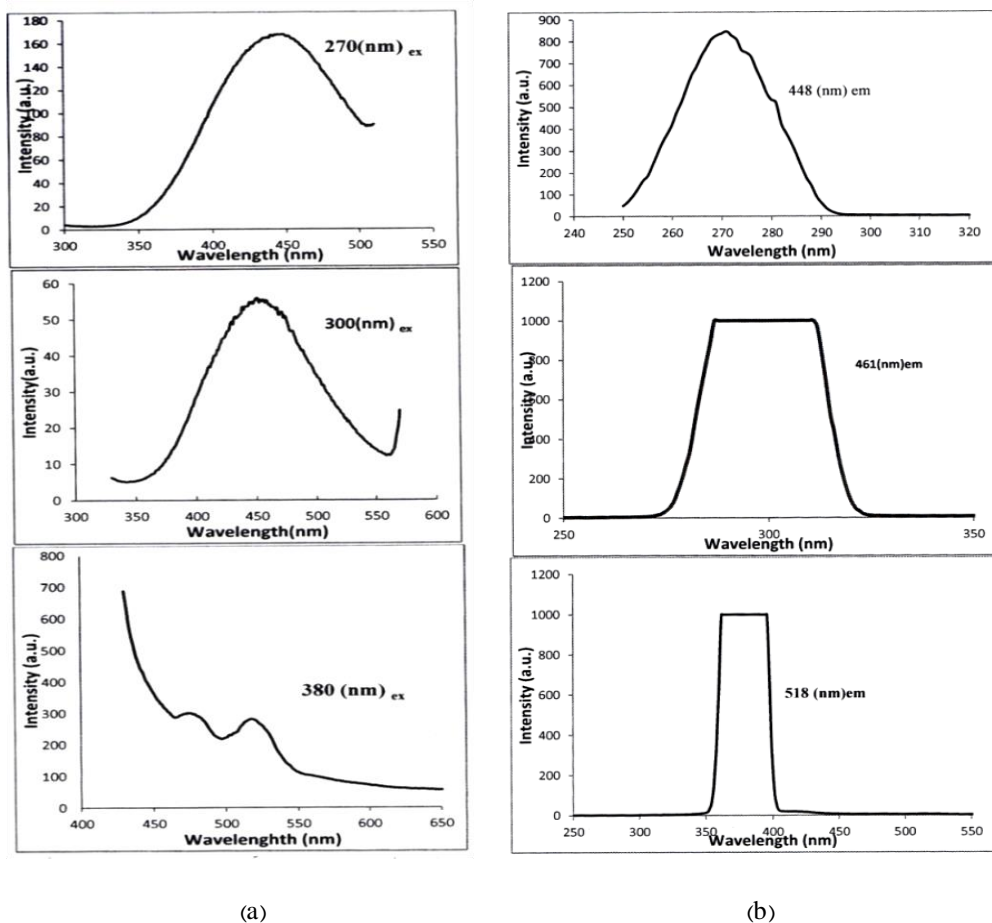
Element	Weight%	Atomic%
Al K	26.8	28.3
Ca K	17.9	18.1
OK	45.6	46.2
Na K	3.9	2.8
Cu K	5.8	4.6
Totals	100.00	



شکل ۴: EDXS نمونه سنتز شده آلومینات کلسیم دوپه شده با یون های Cu^{2+} و Na^+

۳-۳. طیف PL

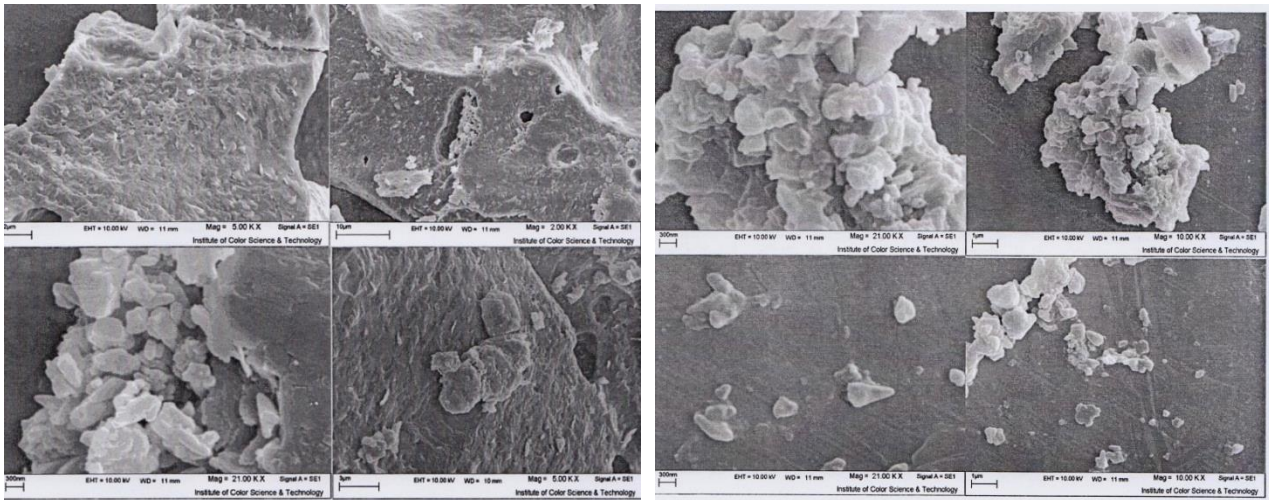
برای اندازه گیری تابناکی ماده، پرتو نور تحریک کننده در دمای مشخص بر نمونه می تابد و نمونه آنرا جذب کرده و سپس خود در طول موج بلندتری تابش می کند. انتخاب طول موج پرتو تحریک کننده و طول موج پرتو تابشی به ساختار ترازهای انرژی نمونه بستگی دارد. سیستم اندازه گیری طیف نور تابناکی یک طیف سنج مدولار است که به وسیله فیبر نوری نور تابشی از ماده را به یک طیف سنج که CCD آن به وسیله یک سردکننده ترموالکتریک خنک می شود هدایت می کند. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود طیف های برانگیختگی و نشری مربوط به تابناکی قرص آلومینات کلسیم دوپه شده با یون های مس و سدیم در 950°C درجه سانتی گراد نمایان است. این طیف به وسیله دستگاه طیف سنجی اسپکترومتر Avaspec 2048 TEC تولید شرکت Avantes هلند انجام پذیرفت. نمونه در ناحیه های 270 ، 300 و 380 نانومتر برانگیخته شده است و دارای نشرهایی با بیشینه پیک در 448 ، 461 و 518 نانومتر می باشد. نور تابناکی در نواحی برانگیختگی 270 و 300 نانومتر مربوط به یون Cu^{2+} می باشد [۲۶]. برانگیختگی مس در 380 نانومتر بصورت نشر حاصل از انتقال انرژی غیرتابشی از یون Cu^{2+} به یون Na^+ منتقل می شود، که باعث نشر نور از Na^+ در ناحیه 518 نانومتر می شود. یون Na^+ خود بطور مستقیم قادر به جذب انرژی از طریق نور نمی باشد و به یک یون انتقال دهنده مناسب نیاز دارد تا فعال گردد. یون Cu^{2+} بعنوان یک یون انتقالی خوب با انتقال انرژی غیرتابشی باعث حساس شدن یون Na^+ می گردد [۲۶].



شکل ۵: (a) طیف نشری آلومینات کلسیم دوپه شده با یون های Cu^{2+} و Na^+ (b) طیف برانگیختگی آلومینات کلسیم دوپه شده با یون های Cu^{2+} و Na^+

۳-۴. تصویر SEM

این تصویربرداری روش مناسبی به منظور ریخت شناسی و بررسی مورفولوژی ترکیبات سنتز شده می باشد. تصاویر (۶) اطلاعات با ارزشی در خصوص رشد ذرات، شکل و اندازه ذرات سنتز شده ارائه می دهد. اطلاعات کلی بدست آمده از این تصاویر نشان دهنده آن است که سایز ذرات سنتز شده در مقیاس نانو می باشد. همان گونه که در تصاویر مشخص می باشد، ترکیبات سنتز شده از سطحی نامنظم به همراه آگلومره شدن ذرات برخوردار می باشد. اضافه کردن دوپانت باعث تغییر در مورفولوژی ترکیب می گردد و سبب می شود که دانه بندی ذرات سنتز شده یکنواخت گردد. همانطور که از تصاویر مشهود است با افزایش مقدار دوپانت، اندازه ذرات کاهش یافته و یکنواختی بهتری در ساختار ذرات به وجود آمده است. مورفولوژی قرص و خورده های کلسیم آلومینات دوپه شده با یون های Cu^{2+} و Na^+ در شکل ۶ نشان داده شده است. نانوذرات نمونه به صورت صفحاتی رشد یافته و لایه لایه بر روی یکدیگر قرار گرفته اند. در سطح نمونه حفره هایی به سبب خروج گازهای اضافی (اکسیژن، هیدروژن و نیتروژن) در حین عمل کلسیناسیون به کمک جو بی اثر شده با کربن فعال، به وجود آمده است.



(a)

(b)

شکل ۶: (a) SEM از قرص آلومینات کلسیم دوپه شده با یون های Cu^{2+} و (b) SEM از خرده های آلومینات کلسیم دوپه شده با یون های Na^+

۴. نتیجه گیری

کلسیم آلومینات دوپه شده با یون های Cu^{2+} و Na^+ به روش سل-ژل در دمای ۹۵۰ درجه سانتی گراد در اتمسفر بی اثر شده با کربن فعال سنتز شد. فاز اصلی CaAl_2O_9 و به همراه آن فاز $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ تشکیل شد که مقدار آن با افزایش زمان حرارت دهی در عمل کاهش می یابد. کلسیم آلومینات می تواند با دوپه شدن با یون های Cu^{2+} و Na^+ فعالیت نورتابناکی داشته باشد. یون Cu^{2+} در این ترکیب به عنوان فعال کننده و یک یون انتقال دهنده فوتون که باعث حساس شدن یون Na^+ می گردد، عمل می کند. در سه ناحیه ۲۷۰، ۳۰۰ و ۳۸۰ نانومتر برانگیختگی و نشر ترکیب ثابت گردید. پیوستگی نانوذرات کلسیم آلومینات تابناکی سنتز شده بطور قابل ملاحظه باعث رشد صفحاتی به صورت لایه لایه شدند که با افزایش زمان حرارت دهی می توان رشد بیشتر این صفحات را انتظار داشت. این نمونه می تواند یک ماده نورتاب جدید و از نظر خطرات احتمالی یون های واسطه، پاک و کم هزینه باشد.

مراجع

- [1] YANG, Y.H.; CHEN, X.Y.; FENG, Y.; YANG, G.W. PHYSICAL MECHANISM OF BLUE-SHIFT OF UV LUMINESCENCE OF A SINGLE PENCIL-LIKE ZNO NANOWIRE, NANO LETT. 2007,7(12), 3879-3883.
- [2] Pan, Z.; Lu, Y.Y.; Liu, F. Sunlight-activated long-persistent luminescence in the near-infrared from Cr^{3+} -doped zinc gallogermanates. *Nat. Mater.* 2012, 11,58-63.
- [3] Maldiney, T.; Sraiki, G.; Viana, B.; Gourier, D.; Richard, C.; Scherman, D.; Bessodes, M.; Van den Eeckhout, K.; Poelman, D.; Smet, P.F. In vivo optical imaging with rare earth doped $\text{Ca}_2\text{Si}_5\text{N}_8$ persistent luminescence nanoparticles. *Opt. Mater. Express* . 2012, 2, 261-268.
- [4] Liu, F.; Yan, W.; Chuang, Y.J.; Zhen, Z.; Xie, J.; Pan, Zh. Photostimulated near-infrared persistent luminescence as a new optical read-out from Cr^{3+} -doped LiGa_5O_8 . *Sci. Rep.* 2013,3,1554-1562.



- [5] Zhang, J.; Chen, B.; Sun, J.; Li, X.; Cheng, L.; Zhong, H. White long-lasting phosphorescence generation in a $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 : \text{Eu}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Dy}^{3+}$ system through persistent energy transfer. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **2012**, 45, 1-6.
- [6] Bessière, A.; Lecointre, A.; Priolkar, K.R.; Gourier, D.J. Role of crystal defects in red long lasting phosphorescence of $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6:\text{Mn}$ diopsides. *Mater. Chem.* **2012**, 22, 19039–19046.
- [7] Lecointre, A.; Bessière, A.; Priolkar, K.R.; Gourier, D.; Wallez, G.; Viana, B. Role of manganese in red long-lasting phosphorescence of manganese-doped diopside for in vivo imaging. *Mater. Res. Bull.* **2013**, 48, 1898–1905.
- [8] Qu, X.; Cao, L.; Liu, W.; Su, G. Preparation and properties of $\text{CdSiO}_3: \text{Mn}^{2+}, \text{Tb}^{3+}$ phosphor. *Ceram. Int.* **2012**, 38, 1765–1769.
- [9] Qu, X.; Cao, L.; Liu, W.; Su, G.; Xu, C.; Wang, P.J. Preparation and Properties of $\text{CdSiO}_3: \text{Mn}^{2+}, \text{Er}^{3+}$ Phosphor. *Alloys Compd.* **2010**, 494, 196-198.
- [10] Allix, M.; Chenu, S.; Véron, E.; Poumeyrol, T.; Kouadri-Boudjelthia, E.A.; Alahraché, S.; Porcher, F.; Massiot, D.; Fayon, F. Considerable Improvement of Long-Persistent Luminescence in Germanium and Tin Substituted ZnGa_2O_4 . *Chem. Mater.* **2013**, 25, 1600–1606.
- [11] Kumar, V.; Kumar, K.; Jeon, H.C.; Kang, T.W.; Lee, D.; Kumar, S.; Effect of Cu-doping on the photoluminescence and photoconductivity of template synthesized CdS nanowires. *J. Phys. Chem. Solids.* **2019**, 124, 1-6.
- [12] Hebert, D. N.; Soares, J.A.N.T.; Rockett, A.A.; Photoluminescence and Photoluminescence Excitation Spectroscopy of $\text{Cu}(\text{In}, \text{Ga})\text{Se}_2$ Thin Films. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.* **2009**, 1165, 1-8.
- [13] Yuan, H.; Xu, M.; Luo, K.; Hu, W. Relationships between defect-related photoluminescence and photocatalytic activity of (F, Na)-codoped ZnO nanocrystals. *Ceram. Int.* **2019**, 45(13), 16694-16697.
- [14] Lv, T.; Xu, X.; Zhou, D.; Qiu, J.; Influence of Cu^+ cations on photoluminescence properties of Tb^{3+} in Cu^+-Na^+ ion-exchanged sodium-borosilicate glasses. *J. Non-Cryst. Solids.* **2015**, 409, 14-19.
- [15] Liu, B.; Shi, C.; Qi, Z. Potential white-light long-lasting phosphor: Dy^{3+} -doped aluminate. *Appl. Phys. Lett.* **2005**, 86, 191111-191114.
- [16] Xu, X.; Wang, Y.; Li, Y.; Gong, Y. Energy transfer between Eu^{2+} and Mn^{2+} in long-afterglow phosphor $\text{CaAl}_2\text{O}_4 : \text{Eu}^{2+}, \text{Nd}^{3+}$, and Mn^{2+} . *J. Appl. Phys.* **2009**, 105, 1-5.
- [17] Teng, Y.; Zhou, J.; Ma, Z.; Smedskjaer, M.M.; Qiu, J. Persistent Near Infrared Phosphorescence from Rare Earth Ions Co-doped Strontium Aluminate Phosphors. *J. Electrochem. Soc.* **2011**, 158, 17–19.
- [18] Zhong, R.; Zhang, J.; Zhang, X.; Lu, S.; Wang, X.J. Energy transfer and red phosphorescence in strontium aluminates co-doped with Cr^{3+} , Eu^{2+} and Dy^{3+} . *J. Lumin.* **2006**, 119-120, 327–331.
- [19] Chen, S.; Yang, Y.; Zhou, G.; Wu, Y.; Liu, P.; Zhang, F.; Wang, S.; Trojan-Piegza, J.; Zych, E. Characterization of afterglow-related spectroscopic effects in vacuum sintered Tb^{3+} , Sr^{2+} co-doped Lu_2O_3 ceramics. *Opt. Mater.* **2012**, 35, 240-243.
- [20] Lei, B.; Zhang, H.; Mai, W.; Yue, S.; Liu, Y.; Man, S.Q. Luminescent properties of orange-emitting long-lasting phosphorescence phosphor $\text{Ca}_2\text{SnO}_4:\text{Sm}^{3+}$. *Solid State Sci.* **2011**, 13, 525-528.
- [21] Liu, Z.; Liu, Y. Synthesis and luminescent properties of a new green afterglow phosphor $\text{CaSnO}_3:\text{Tb}$. *Mater. Chem. Phys.* **2005**, 93, 129–132.
- [22] Chu, M.H.; Jiang, D.P.; Zhao, C.J.; Li, B. Long-Lasting Phosphorescence Properties of Pyrochlore $\text{La}_2\text{Ti}_2\text{O}_7:\text{Pr}^{3+}$ Phosphor. *Chin. Phys. Lett.* **2010**, 27, 20-23.
- [23] Poelman, D.; Avci, N.; Smet, P.F. Measured luminance and visual appearance of multi-color persistent phosphors. *Opt. Express.* **2009**, 17, 358–364.
- [24] Weng, B.; Liu, S.; Zhang, N.; Tang, Z.R.; Xu, Y.J.; A simple yet efficient visible-light-driven CdS nanowires-carbon nanotube 1D–1D nanocomposite photocatalyst. *J. Catal.* **2014**, 309, 146-155.



پنجمین مجله علم و فناوری های شیمیایی ایران

مجله شیمه فلزات



سال اول،
شماره اول
تابستان ۱۳۹۸

- [25] Von, V.; Reichert, F.; Reicher, A. Aus Hamburg, Praseodymium-and Holmium Doped Crystals for laser emitting in the visible spectral region, Hamburg. **2013**.
- [26] Yang, P.; Kai Lu, M.; Xu, D. Sensitized luminescence from sol-gel-derived SrAl_2O_4 co-doped with Cu^{2+} and Dy^{3+} . *Mater. Sci. Eng.* **2002**. B96,33-36.