

سنتر و مشخصه‌یابی نانوپودر سوسوزن کادمیم تنگستات بر پایه استات و نیترات و مقایسه ویژگی آنها به عنوان شمارشگر ذرات آلفا

حسین زیلویی^{۱*}، مجید مجتهدزاده^۱، روح‌اله عظیمی راد^۲ و فرهود ضیایی^۱

^۱ پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی، تهران، ایران.

^۲ دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران.

* تهران، خیابان کارگر شمالی، سازمان انرژی اتمی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، صندوق پستی: ۸۳۶-۱۴۳۹۵

پست الکترونیکی: h.ziloei@gmail.com

چکیده

نانوپودر کادمیم تنگستات ($CdWO_4$) به روش هم رسوبی با استفاده از دو پیش ماده‌ی مختلف (بر پایه‌ی استات و نیترات) سنتز شد. به منظور مشخصه‌یابی دو نمونه‌ی سنتز شده، از روش‌های آنالیز پراش پرتوی ایکس (XRD)، فوتولومینسانس (PL)، طیف مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بهره‌گیری شد. براساس آنالیز فوتولومینسانس هر دو نمونه دارای قله گسیلی در نزدیکی ۶۶۰ نانومتر دارند که مطابق با طیف گسیل بلور کادمیم تنگستات می باشد. بر اساس الگوی پراش پرتوی ایکس نمونه‌ی پایه استات و پایه نیترات به ترتیب دارای میانگین ابعاد بلورک ۳۱/۰ و ۳۰/۰ نانومتر می باشند. همچنین پاسخ سوسوزنی نمونه‌ها تحت تابش ذرات آلفا با استفاده از چشمه‌ی ^{241}Am با فعالیت ۳۳۳۰ بکرل اندازه‌گیری شد. هر دو نمونه حساسیت خوبی به ذرات آلفا نشان دادند. کانال مرکزی برای هر دو نمونه در یک محل تشکیل شده است. البته میزان شمارش نمونه‌ی پایه استات ۱۷/۷٪ بیشتر از نمونه‌ی پایه نیترات می باشد. با توجه حساسیت مناسب هر دو نمونه به تابش ذرات آلفا، این دو ماده سنتز شده می‌توانند برای شمارش ذرات آلفا مورد استفاده قرار گیرند.

واژگان کلیدی: کادمیم تنگستات، سوسوزن، سنتر، نانو پودر، هم رسوبی.

۱. مقدمه

نانو از اهمیت بالایی برخوردار است. در واقع، کوچکتر شدن ابعاد ذرات موجب افزایش نسبت سطح به حجم می‌گردد که در نتیجه‌ی آن چگالی حامل و قابلیت تحرک افزایش می‌یابد که موجب افزایش رسانایی الکتریکی می‌گردد.

کادمیم تنگستات به روش‌های مختلفی مانند سل-ژل [۴]، هم‌رسوبی [۵]، سلوترمال [۶]، واکنش متاستیک (metathetic) حالت جامد [۷] اسپری پیرولیز (Spray pyrolysis) [۸]، نمک مذاب [۹] و هیدروترمال [۱۰] سنتز شده است.

در این مطالعه پودر کادمیم تنگستات به روش هم رسوبی با استفاده از دو پیش ماده‌ی مختلف (استات و نیترات) سنتز

کادمیم تنگستات به دلیل ویژگی‌های منحصر به فردش مانند ضریب شکست بالا، چگالی بالا ($7/9g/cm^3$) و ضریب جذب بالای پرتوی ایکس، پایداری بالای شیمیایی، توان توقف بالا و پس‌تاب پایین [۱] تبدیل به یکی از سوسوزن‌های محبوب و پرکاربرد در حوزه‌ی آشکارسازی پرتوی ایکس و توموگرافی رایانه‌ای شده است [۲]. بنابراین با توجه به کاربرد وسیع این ماده در حوزه‌های مختلف و همچنین وابستگی مشخصه‌های اپتیکی و الکتریکی نانو ذرات کادمیم تنگستات در ابعاد نانو به مورفولوژی [۳]، سنتر این پودر با میانگین ذراتی از مرتبه‌ی

شده و الکلی با درجه خلوص بالا، به خوبی شسته شد. رسوب حاصله به منظور خارج شدن آب موجود در رسوب، در آن با دمای ۸۰ درجه‌ی سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. در نهایت به منظور بدست آوردن فاز خالص نانو پودر کادمیم تنگستات، این پودر به مدت ۳ ساعت در دمای ۶۰۰ درجه سلسیوس تحت محیط هوا پخت گردید. براساس گزارشات ارائه شده، خالص‌ترین فاز کادمیم تنگستات به ازای دمای پخت ۶۰۰ درجه سلسیوس بدست آمده است [۵].

همچنین برای سنتز کادمیم تنگستات بر پایه‌ی استات، سدیم تنگستات و کادمیم استات با درجه خلوص آنالیز (۹۸٪) به عنوان مواد اولیه مورد استفاده قرار گرفت. ۷۳/۵۶ گرم از سدیم تنگستات در ۱۰۰۰ سی‌سی از آب دوبار یونیزه شده در دمای اتاق حل گردید. سپس بر اساس نسبت استوکیومتری، کادمیم استات نیز در ۱۰۰۰ سی‌سی آب دوبار یونیزه شده در دمای اتاق حل گردید. ادامه‌ی روند سنتز پودر کادمیم تنگستات بر اساس استات، دقیقاً مطابق روش سنتز بر پایه‌ی نترات انجام شد. در این گزارش پس از پایان شستشو محلول نهایی هر دو نمونه دارای pH، ۴/۵ بود.

برای بررسی پاسخ سوسوزنی پودرهای کادمیم تنگستات به تابش ذرات آلفا، ۴۰ میلی گرم از هر پودر به طور جداگانه در مقداری اتانول حل و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام التراسونیک قرار گرفت. به منظور دست یابی به یکنواختی بیشتر، محلول حاصل به مدت ۲ ساعت توسط یک همزن مغناطیسی هم زده شد. بستر مناسب برای این آزمایش، بستری است که به خوبی نور مرئی حاصل از سوسوزنی کادمیم تنگستات را عبور دهد. بر این اساس از پلکسی گلاس به عنوان بستر استفاده شد. پلکسی گلاس‌ها دارای قطر ۲/۵ سانتیمتر و ضخامت ۱ سانتیمتر بودند که درون آنها حفره‌ای به عمق ۲ میلی متر و قطر ۲ سانتیمتر تعبیه شد. محلول حاصل با استفاده از یک قطره چکان میکرولیتری در دفعات متوالی درون پلکسی ریخته و در مجاورت هوا خشک گردید. پس از خشک شدن، هر دو نمونه دارای مقدار چگالی سطحی یکسانی بودند. به منظور اندازه

شد. به منظور مشخصه یابی پودرهای سنتز شده، از روش‌های تجزیه و تحلیل پراش پرتوی ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف عبور مادون قرمز (FTIR)، و فوتولومینسانس (PL) استفاده شد. در نهایت با استفاده از ^{241}Am با اکتیویته‌ی ۳۳۳۰ بکرل پاسخ نانو پودر کادمیم تنگستات به ذرات آلفا مورد بررسی قرار گرفت.

یکی از عوامل تاثیرگذار در سنتز کادمیم تنگستات، میزان pH است. به طوری که به ازای pHهای کوچکتر از ۳ و بزرگتر از ۱۲ پودر کادمیم تنگستات حاوی ناخالصی خواهد شد [۴]. مقدار بهینه‌ی pH برای سنتز کادمیم تنگستات در بازه‌ی ۳-۸ قرار دارد [۶ و ۵].

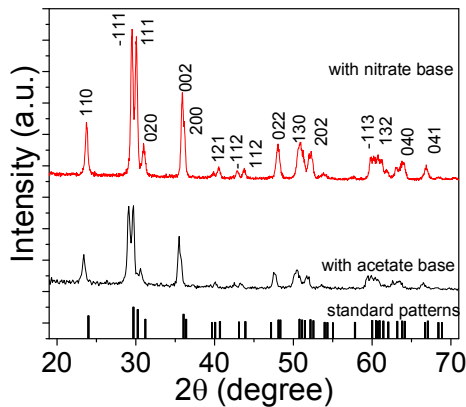
در گزارشات مربوط به سنتز کادمیم تنگستات به روش هم رسویی حداکثر تا ۵ گرم کادمیم تنگستات در هر مرحله سنتز شده است [۵]. افزایش مقدار تولید کادمیم تنگستات در هر مرحله‌ی سنتز با مشکلات مختلفی از جمله خارج کردن ناخالصی روبرو است. در این مطالعه با بهبود روش آزمایش و پارامترهای آن تا ۱۰۰ گرم کادمیم تنگستات در هر مرحله‌ی سنتز به صورت موفقیت آمیزی تولید شد.

۲. روش انجام آزمایش

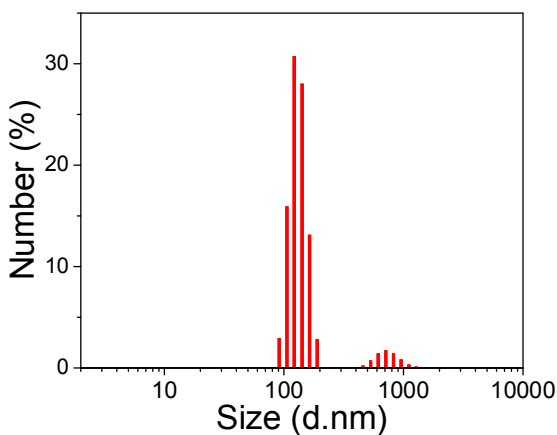
۱.۲. روش تهیه نمونه‌ها

سنتز پودر کادمیم تنگستات به روش هم رسویی با استفاده از دو پیش ماده‌ی مختلف انجام شد. در ابتدا به منظور سنتز پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی نترات، از سدیم تنگستات و کادمیم نترات با درجه خلوص آنالیز (۹۸٪) به عنوان مواد اولیه استفاده شد. به این منظور ۹۱/۵۶ گرم سدیم تنگستات در ۱۰۰۰ سی‌سی از آب دوبار یونیزه شده در دمای اتاق حل گردید. سپس بر اساس نسبت استوکیومتری، کادمیم نترات در ۱۰۰۰ سی‌سی آب دوبار یونیزه شده در دمای اتاق حل گردید. محلول تنگستن به آرامی به محلول کادمیم که توسط یک همزن مغناطیسی هم زده می‌شد، در دمای اتاق اضافه گردید. رسوب بدست آمده در این مرحله توسط آب دو بار یونیزه

با ثابت‌های شبکه‌ی $a=4/99$ ، $b=5/2$ و $c=2/76$ آنگستروم سنتز گردیده است و میانگین اندازه بلورک‌ها حدود ۳۰/۰ نانومتر برای این پودر بدست آمد بر اساس آنالیز DLS، نمونه‌ی کادمیم تنگستات بر اساس استات دارای ذراتی با قطر میانگینی در حدود ۱۰۰ نانومتر می‌باشد (شکل ۳).



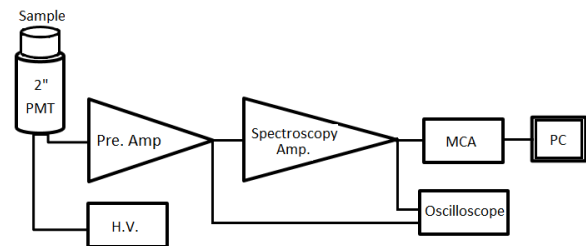
شکل (۲): الگوی XRD پودر کادمیم تنگستات (بالا) بر پایه‌ی نیترات، (وسط) بر پایه‌ی استات و (پایین) الگوی استاندارد کادمیم تنگستات (JCPDS card No. 14)



شکل (۳): تجزیه و تحلیل DLS پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی استات.

در شکل ۴ تصویر SEM این دو پودر ارائه شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده، دو پودر دارای مورفولوژی یکنواخت با ساختار نانومیله‌ای است. بر اساس تصویر SEM، نانو میله‌های پودر پایه استات (شکل ۴.الف) دارای اندازه‌ای در حدود ۱۰۰ نانومتر و نانو میله‌های کادمیم تنگستات بر پایه‌ی نیترات (شکل ۴.ب) دارای اندازه‌ای در حدود ۲۰۰ نانومتر است. بنابراین نانو میله‌های پودر کادمیم

گیری طیف ارتفاع پالس و بازدهی شمارش، از چشمه‌ی ^{241}Am با اکتیویته‌ی ۳۳۳۰ بکرل، دو اینچ مدل xp2۰۲۰ شرکت Photonis و مجموعه طیف نگاری ساخت انستیتو فیزیک کاربردی شامل منبع تغذیه ولتاژ بالا مدل ۸۱۰۰، پیش تقویت کننده مدل ۳۰۰۱، تقویت کننده طیف نگاری مدل ۳۶۰۰ و MCA مدل ۴۱۱۰ استفاده شد (شکل ۱).



شکل (۱): چیدمان آزمایش اندازه گیری طیف ارتفاع پالس.

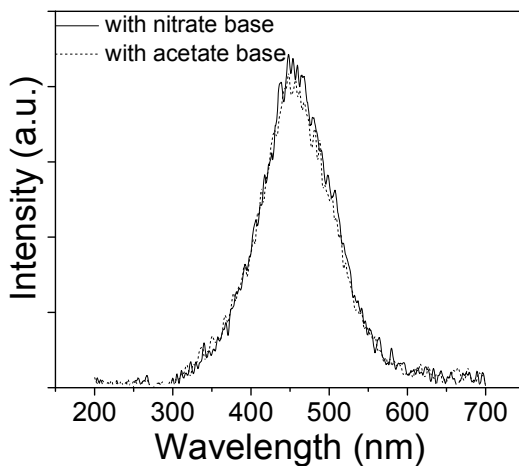
۲.۲. مشخصه‌یابی نمونه‌ها

پودرهای سنتز شده توسط دستگاه‌های XRD، SEM، PL و FTIR مشخصه‌یابی شدند. در کار حاضر دستگاه XRD مدل PANalytical با استفاده از تابش $\text{CuK}\alpha$ ، با نرخ روبش ۰/۵ درجه بر ثانیه در بازه‌ی ۱۰ تا ۷۰ درجه (2θ) مورد استفاده قرار گرفت. همچنین تصاویر SEM توسط دستگاه SU3500 Hitachi ثبت گردید. طیف PL با استفاده از دستگاه PerkinElmerLS55 در دمای اتاق تحت برانگیخته‌گی با طول موج ۲۹۰ نانومتر، و نیز طیف FTIR توسط دستگاه Nicolet560 اندازه‌گیری شد.

۳. نتایج و بحث

بر اساس الگوی پراش پرتوی ایکس (شکل ۲)، قله‌های مشاهده شده در این الگو برای هر دو پودر مطابق با الگوی استاندارد (JCPDS card No. 14-676) با ساختار ولفریمیت می‌باشند. ثابت‌های شبکه کادمیم تنگستات بر پایه‌ی نیترات، بر اساس معادله‌ی ساختار شبکه‌ی ولفریمیت بدست آمدند که عبارت اند از $a=4/94$ ، $b=5/74$ ، $c=5/03$ آنگستروم. در ضمن بر اساس معادله‌ی شرر میانگین ابعاد بلورک‌ها ۳۱/۰ نانومتر برآورد گردید. همچنین پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی استات،

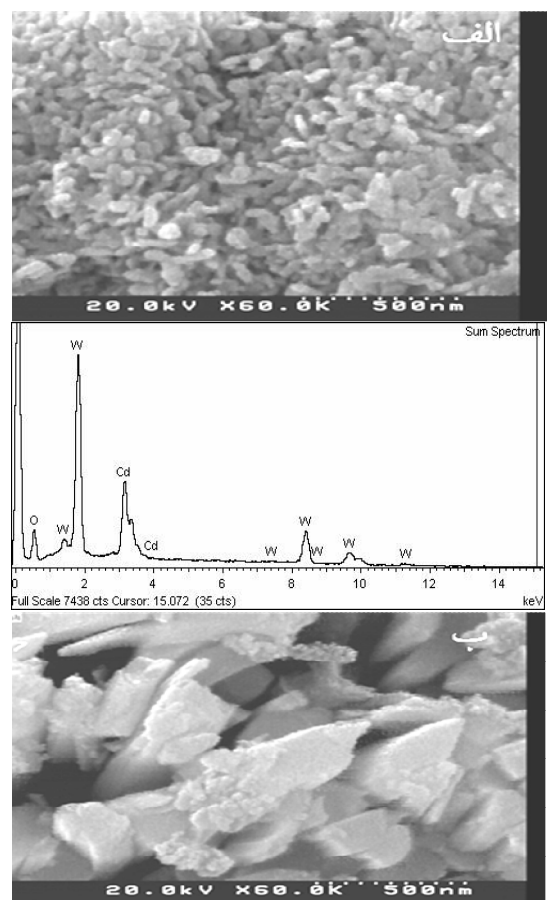
از آنجایی که بلور کادمیم تنگستات در دمای اتاق دارای قله گسیلی در ۶۰ نانومتر می باشد [۴]، این طیف به خوبی با گزارش‌های ارائه شده انطباق دارد. باتوجه به شکل شدت نمونه‌ی پایه استات کمتر از نمونه‌ی پایه نیترات می باشد که می تواند به دلیل کوچکتر بودن ذرات نمونه‌ی پایه استات باشد. برای کادمیم تنگستات مرکزهای لومینسانس، ساختار اوکتاهدرال WO_6 می باشد و انتقال بار بین اربیتال‌های $2p$ اکسیژن و اربیتال‌های خالی d یون مرکزی تنگستن، مسئول این لومینسانس می باشد [۸].



شکل (۵): طیف فوتولومینسانس پودر کادمیم تنگستات بر پایه نیترات و استات. طیف هر دو نمونه در شرایط یکسان با طول موج برانگیختگی ۲۹۰ نانومتر در دمای اتاق اندازه گیری شدند.

شکل ۶ طیف FTIR هر دو نمونه استات و نیترات را در بازه‌ی $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ نشان می دهد. مطابق شکل، قله‌های تشکیل شده برای هر دو نمونه منطبق با گزارش‌های ارائه شده برای کادمیم تنگستات است [۱۰ و ۱۱]. ارتعاشات کششی متقارن پیوند W-O-W در گروه WO_4^{2-} با نواری در cm^{-1} ۸۱۳ نشان داده شده است. نوارهای cm^{-1} ۴۵۵ و cm^{-1} ۶۰۹ مربوط به جابه‌جایی‌های درون صفحه‌ای گروه WO_4^{2-} است [۱۰]. نواری که در cm^{-1} ۱۵۱۴ قرار دارد مربوط به ارتعاشات متقارن و نامتقارن گروه کربوکسیل است. نوارهایی که در cm^{-1} ۲۹۲۳ قرار گرفته‌اند مربوط به مدهای کششی CH_2 گروه CH_3CH_2OH است. نوار جذبی که در cm^{-1} ۳۸۶۸ قرار دارد

تنگستات بر پایه‌ی استات با ابعاد کوچکتری سنتز شده‌اند. کوچکتر بودن ابعاد ذرات محاسبه شده با الگوی XRD نسبت به ابعاد ذرات در تصویر SEM به این دلیل است که در الگوی XRD ابعاد تک بلورک محاسبه می شود در حالی که در تصویر SEM تصویری از ذرات ارائه می شود که این ذرات از ترکیب چند بلورک بوجود آمده‌اند. براساس آنالیز EDS، نسبت تنگستن به کادمیم در پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی استات، ۱/۰۵ بود این طیف در شکل ۴ الف قرار داده شده است.



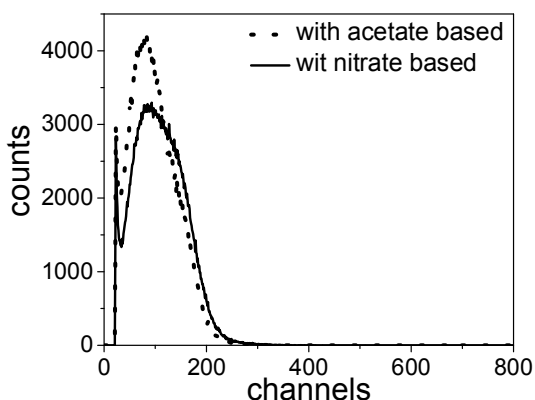
شکل (۴): (الف) بالا؛ تصویر SEM پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی

استات و پایین؛ طیف تجزیه و تحلیل EDS پودر پایه استات،

(ب) تصویر SEM پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی نیترات.

شکل ۵ طیف فوتولومینسانس هر دو پودر سنتز شده را در دمای اتاق نشان می دهد. به طور کلی شدت فوتولومینسانس کادمیم تنگستات به پارامترهایی مانند pH محلول [۵]، مورفولوژی [۶] و دمای پخت [۸] وابسته است. برای هر دو نمونه قله گسیلی در ۴۵۸ نانومتر مشاهده شد.

پودر پایه نیترات می‌باشد. بازدهی شمارش برای دو نمونه پایه استات و پایه نیترات با در نظر گرفتن زاویه فضایی 2π برای هندسه چشمه-آشکارساز، به ترتیب برابر با $61/6\%$ و $52/3\%$ محاسبه شد. با توجه به حساسیت مناسب هر دو نمونه به تابش ذرات آلفا، این دو ماده سنتز شده می‌توانند برای شمارش ذرات آلفا مورد استفاده قرار گیرند. به نظر می‌رسد کوچکتر بودن ابعاد ذرات پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی استات موجب بهبود حساسیت و افزایش میزان بازدهی شمارش این نمونه در مقایسه با نمونه‌ی پایه نیترات شده است. با کوچکتر شدن ذرات، چگالی پودر کاهش می‌یابد. بنابراین به ازای چگالی سطحی (گرم بر سانتی متر مربع) یکسان، نمونه‌ی پایه استات دارای لایه‌های بیشتری می‌باشد در نتیجه با تابش آلفا به لایه‌ی پایه استات تقریباً تمام انرژی ذرات آلفا توسط لایه جذب شده و موجب عملکرد سوسوزنی این نمونه شده است. در حالیکه در لایه‌ی پایه نیترات در مقایسه با لایه‌ی پایه استات، بخشی از انرژی ذرات آلفا از لایه عبور کرده است که موجب کاهش عملکرد سوسوزنی این نمونه شده است.

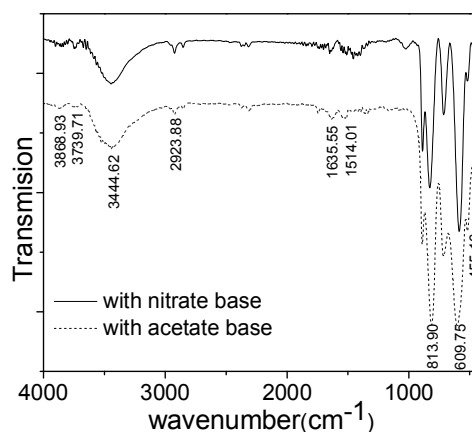


شکل (۷): طیف سوسوزنی حاصله از هر دو نمونه لایه نشانی شده در پلکسی گلاس تحت تابش ذرات آلفای چشمه ^{241}Am در مدت زمان ۴۰۰ ثانیه.

۴. نتیجه گیری

در این مطالعه نانو پودر کادمیم تنگستات به روش هم رسوبی با استفاده از دو پیش ماده‌ی مختلف در دمای اتاق سنتز شد. بر اساس الگوی پراش پرتوی ایکس میانگین اندازه‌ی بلورک

مربوط به ارتعاشات پیوندهای H-O برای سطح هیدراته‌ی لایه هاست. نوارهای جذب شدیدی که در ناحیه‌ی 3444 cm^{-1} واقع شدند مربوط به ارتعاشات کششی H بوده، و نوارهای جذبی که در 1635 واقع شدند مربوط به ارتعاشات خمشی H-O هستند [۱۱]. با توجه به شکل هر دو نمونه دارای طیف FTIR یکسانی می‌باشند. در واقع محل تشکیل قله‌ها و شدت جذب آنها یکسان می‌باشند.



شکل (۶): طیف مادون قرمز تبدیل فوریه (طیف FTIR) پودر کادمیم تنگستات بر پایه نیترات و استات.

طیف ارتفاع پالس سوسوزن هر دو نمونه لایه‌نشانی شده در نگهدارنده‌ی پلکسی گلاس تحت تابش چشمه آلفای ^{241}Am با اکتیویته‌ی 3330 بکرل اندازه‌گیری شد (شکل ۷). هر دو نمونه حساسیت خوبی به ذرات آلفا نشان دادند. با توجه به اینکه به مدت زمان قرارگرفتن در حمام التراسونیک و استیر شدن برای هر دو محلول (حل کردن 40 میلی‌گرم هر دو نمونه در اتانول) یکسان بود. بنابراین هر دو محلول دارای یکنواختی یکسانی بودند.

همچنین لایه نشانی برای هر دو نمونه به طور همزمان و تحت شرایط یکسان انجام شد. همچنین به منظور مطمئن شدن از یکسان بودن مقدار ماده‌ی لایه نشانی شده، وزن پلکسی گلاس‌ها قبل و بعد از لایه نشانی اندازه‌گیری شد. کانال مرکزی برای هر دو نمونه در یک محل تشکیل شده است اما میزان شمارش سطح زیر قله پودر پایه استات $17/7\%$ بیشتر از

کانال مرکزی برای هر دو نمونه یکسان بود در حالی که بازدهی شمارش پودر پایه استات ۱۷٪ بیشتر بود. با توجه به اینکه هزینه‌ی نهایی سنتز پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی استات تقریباً نصف هزینه‌ی نهایی برای سنتز پودر کادمیم تنگستات بر پایه‌ی نیترات بوده و نیز پاسخ سوسوزنی پودر کادمیم تنگستات بر پایه استات به ذرات آلفا، پاسخ مناسب‌تری می باشد، بنابراین پودر سوسوزن کادمیم بر پایه‌ی استات به عنوان شمارشگر مناسب ذرات آلفا پیشنهاد می‌گردد.

ها برای هر دو نمونه یکسان و در حدود ۳۰ نانومتر محاسبه گردید. با استفاده از تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده شد که پودر سنتز شده بر پایه‌ی استات دارای یکنواختی مناسب‌تری در مقایسه با نمونه‌ی پایه نیترات می‌باشد. نمونه‌ها با برانگیختگی توسط طول موج ۲۹۰ نانومتر در دمای اتاق قله گسیل فوتولومینسانسی در ۴۵۸ نانومتر از خود نشان می‌دهند که مطابق با گزارشات سایرین می‌باشد. اندازه‌گیری پاسخ سوسوزنی هر دو نمونه تحت تابش ذرات آلفای حاصل از چشمه‌ی ^{241}Am نشان داد که محل تشکیل

۵. مراجع

- [1] H. Lotemandand Z. Burshtein. Method for Complete Determination of a Refractive Index Tensor by reflectance: Application to CdWO_4 . Opt. Lett, vol. 12, (1987) 561-563.
- [2] V. A. Pustovarov, A. L. Krymov, B. V. Shulginand, E. I. Zinin. Some Peculiarities of the Luminescence of Inorganic Scintillators under Excitation by High Intensity Synchrotron Radiation. Rev. Sci. Instrum, vol. 63, (1992) 3521-3524.
- [3] R. Smalley and B. Yakobson. The Future of the Fullerenes. Solid State Commun, vol. 107, (1998) 597-606.
- [4] L. Nadaraia, N. Jalabadze, R. Chedia, M. Antadze, L. Khundadze. Preparation of tungstate nanopowders by sol-gel method. IEEE Trans. Nucl. Sci. 57 (2010) 1370-1376.
- [5] A. Mano Priya, R. KalaiSelvan, B. Senthilkumar, M. K. Satheeskumara, and C. Sanjeeviraja. Synthesis and characterization of CdWO_4 nanocrystals. Ceram Int, vol. 37, (2011) 2485-2488.
- [6] A. J. Rondinone, M. Pawel, D. Travaglini, S. Mahurin, S. Dai. Metastable tetragonal phase CdWO_4 nanoparticles synthesized with a solvothermal method. J. Colloid Interface Sci. 306 (2007) 281-284.
- [7] C. S. Lim. Microwave-assisted synthesis of CdWO_4 by solid-state metathetic reaction. Mater. Chem. Phys. 131 (2012) 714-718.
- [8] Z. Lou, J. Hao, M. Cocivera. Luminescence of ZnWO_4 and CdWO_4 thin films prepared by spray pyrolysis. J. Lumin. 99 (2002) 349-354.
- [9] Y. Wang, J. Ma, J. Tao, X. Zhu, J. Zhou, Z. Zhao, L. Xie, H. Tian. Morphology-controlled synthesis of CdWO_4 nanorods and nanoparticles via a molten salt method. Mater. Sci. Eng. B 130 (2006) 277-281.
- [10] H.-W. Liao, Y.-F. Wang, X.-M. Liu, Y.-D. Li, Y.-T. Qian. Hydrothermal preparation and characterization of luminescent CdWO_4 nanorods. Chem. Mater. 12 (2000) 2819-2821.
- [11] H. W. Liao, Y. F. Wang, X. M. Liu, Y. D. Li, and Y. Qian. Hydrothermal Preparation and Characterization of Luminescent CdWO_4 Nanorods. Chem. Mater, vol. 12, (2000) 2819-2821.
- [12] M. Hojamberdiev, R. Kanakala, O. Ruzimuradov, Y. Yan, G. Zhu, and Y. Xu. Besom-like CdWO_4 Structures Composed of Single-Crystalline Nanorods Grown under a Simple Hydrothermal Process in Ultra-Wide pH Range. Optical Materials, vol. 34, (2012) 1954-1957.
- [13] Y. Wang, J. Ma, J. Tao, X. Zhu, J. Zhou, Z. Zhao, L. Xie, and H. Tian. Morphology-Controlled Synthesis of CdWO_4 Nanorods and Nanoparticles via a Molten Salt Method. Materials Science and Engineering B, vol. 136, (2006) 277-281.
- [14] Y. Ling, L. Zhou, L. Tan, Y. Wang and C. Yu. Synthesis of Urchin-Like CdWO_4 Microspheres via a Facile Template free Hydrothermal method. Cryst Eng Comm, vol. 12, (2010) 3019-3026.
- [15] C. S. Lim. Microwave Assisted Synthesis of CdWO_4 by Solid-State Metathetic Reaction. Materials Chemistry and Physics, vol. 131, (2012) 714-718.
- [16] A. J. Rondinone, M. Pawel, D. Travaglini, S. Mahurin, S. Dai. Metastable Tetragonal Phase CdWO_4 Nanoparticles Synthesized with a Solvothermal method. J. Colloid Interface Sci. vol. 306, (2007) 281-284.
- [17] G. Huang and Y. Zhu. Synthesis and Photocatalytic Performance of ZnWO_4 catalyst. Materials Science and Engineering B, vol. 139, (2007) 201-208.