

تهیه و شناسایی بلورهای کادمیم اکسید ناخالص شده با عناصر لانتانیدی گادولینیوم (Gd^{3+}) و لوتیتیوم (Lu^{3+}) به روش سل - ژل

سجاد احمدپور*⁺، عبدالعلی عالمی، شاهین خادمی نیا

تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده شیمی، گروه شیمی معدنی

چکیده: در این کار پژوهشی، بلورهای کادمیم اکسید خالص و ناخالص شده با عناصر لانتانیدی گادولینیوم و لوتیتیوم به روش سل - ژل در دمای $900^\circ C$ تهیه شد. ساختار، اندازه و ریخت شناسی ذره‌های تهیه شده با روش‌های الگونیاب SEM، XRD، FT-IR مورد بررسی قرار گرفت. همچنین اندازه‌های شبکه بلوری کادمیم اکسید با استفاده از نرم افزار Celref Version 3 تعیین شد. ویژگی‌های نوری نمونه‌های تهیه شده ناخالص شده با عناصر لانتانیدی، با بهره‌گیری از الگو بنیاب جذبی UV-Vis بررسی شد. همچنین کاتیون‌های لانتانیدی (Gd^{3+}, Lu^{3+}) در ذره‌های تهیه شده کادمیم اکسید، آرایش شد و ویژگی‌های جدید آنها مورد مطالعه قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: ساختار مکعبی، روش سل - ژل، گادولینیوم اکسید، لوتیتیوم اکسید، گاف انرژی.

KEY WORDS: Cubic structure, Sol-gel process, Gadolinium oxide, Lutetium oxide, Gab band.

مقدمه

به‌عنوان نیم‌رسانای فتوولتائیک شمرد می‌شود. کادمیم اکسید با روش‌هایی مانند سل - ژل، پیرولیز افشانه‌ای، روش‌های لایه نشانی بخار شیمیایی، سولوترمال و هم‌رسوبی تهیه شده است [۶، ۵]. پنگ و همکاران نانو سیم‌های CdO را با استفاده از اکسایش مخلوط Cd/Te بر روی بستر، در محیط اکسیژن - آرگون در دمای $400^\circ C$ درجه سلسیوس تهیه نمودند [۷]. در یک روش دیگر نانو سیم‌های کادمیم اکسید با استفاده از کاتالیست طلا تهیه شده‌اند. این روش که به‌صورت مرحله‌ای می‌باشد، فراورده بعد از دو مرحله گرمادهی تهیه شده است [۸]. فیلم‌های نانوخوشه‌ای CdO به‌طور موفقیت آمیز توسط روش سل - ژل با استفاده از مواد اولیه کادمیم استات و متوکسی اتانول به‌عنوان مواد آغازگر و مونواتانول آمین نیز به‌عنوان پایدارکننده تهیه شده‌اند.

کادمیم اکسید در سلول‌های فتوولتائیک، حسگرهای گازی و همچنین نیم‌رساناها در صنایع الکترونیک کاربرد دارد. به تازگی عناصر تیتانیوم، ساماریوم، منگنز، روی، گالیوم، ایندیوم، آلومنیوم و قلع در ساختار کادمیم اکسید آرایش شده است. نمونه‌های تهیه شده دارای فاز مکعبی و با عدد کوردیناسیون $n=6$ می‌باشد [۳-۱]. در فرایند سل - ژل کادمیم اکسید در فرایند گرمایی $400^\circ C$ تا $500^\circ C$ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت تهیه شد. کادمیم اکسید در نبود عناصر ناخالصی شونده نیز، هدایت الکتریکی بالایی نشان می‌دهد [۴]. اکسیدهای رسانای شفاف (TCO) کاربردهای مهمی در تولید ابزارهای الکترونیکی دارند. کادمیم اکسید یک نیم‌رسانای نوع n و گاف انرژی برابر با $2/5$ الکترون ولت بوده و به دلیل رسانایی بالایی آن و همچنین شفافیت آن در ناحیه مرئی،

*عهدہ دار مکاتبات

+E-mail: sajjadahmadpour@yahoo.com

جدول ۱- موازنه شیمیایی واکنش مربوط به تهیه کادمیم اکسید خالص.

نمونه	$(NO_3)_2Cd, 4H_2O$	$C_6H_8O_7$
CdO خالص	۰/۰۱ مولار ۱/۲۳۳ گرم	۰/۰۱ مولار ۰/۸۳۹ گرم

با در نظر گرفتن معادله شیمیایی واکنش، کادمیم نیترات چهارآبه و ژل‌ساز سیتریک اسید در ۴۰۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر شده حل شد. محلول به دست آمده روی گرم کننده در دمای ۸۰ درجه سلسیوس برای ۲ ساعت هم زده شد تا ژل خشک تولید شود. این ژل خشک که از نظر ساختاری بی‌شکل و اسفنجی و به رنگ قهوه‌ای بود در کوره در فرایند گرمایی در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۳ ساعت قرار گرفت. طی این فرایند گرمایی مواد آلی و ژل‌ساز خارج و سپس فرآورده‌ی کادمیم اکسید خالص پس از سرد شدن تا دمای اتاق در هاون ساییده شد.

- برای تهیه کادمیم اکسید آلیش شده با (Gd^{3+}, Lu^{3+}) با در نظر گرفتن معادله شیمیایی واکنش، مطابق با جدول ۲ مقادیرهای معین از کادمیم نیترات، گادولینیوم اکسید و لوتتیم اکسید و ژل‌ساز سیتریک اسید در ۴۰۰ میلی لیتر آب دوبار تقطیر شده حل شد. محلول به دست آمده روی گرم کننده در دمای ۸۰ درجه سلسیوس برای ۲ ساعت هم‌زده شد تا ژل خشک تولید نماید. ژل به دست آمده در فرایند گرمایی در دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۳ ساعت قرار گرفت تا فرآورده‌ی کادمیم اکسید ناخالص شده با گادولینیوم و لوتتیم تهیه شود.

نتیجه‌ها و بحث

شکل ۱ الگوی XRD نمونه کادمیم اکسید خالص را نشان می‌دهد. قله‌های موجود، نشانگر تولید کادمیم اکسید هستند. قله‌های کوچک در ناحیه $2\theta = 37^\circ, 32^\circ, 30^\circ, 29^\circ, 28^\circ, 27^\circ$ مربوط به ناخالصی‌های موجود در نمونه‌های تهیه شده می‌باشد. الگوی به دست آمده مطابق با کارت ASTM با $(0640-05)$ PDFNumber می‌باشد [۱۱].

شکل ۲ و ۳ الگوی XRD نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۰/۴ و ۰/۸ درصد وزنی عنصر گادولینیوم را نشان می‌دهد. در این الگوها، ساختار بلوری کادمیم اکسید حفظ می‌شود و گادولینیوم اکسید تشکیل فاز جدید نمی‌دهد بلکه در ساختار بلوری کادمیم اکسید به میزان ۰/۸ درصد وزنی آلیش می‌شود. با توجه به شکل ۴ با افزایش درصد آلیش به میزان ۱ درصد وزنی، سه تا قله در زاویه $29^\circ, 47^\circ$ و $2\theta = 54^\circ$ دیده می‌شود که

عنصر لانتانیدی لوتتیوم پتانسیل استفاده در مواد ابررسانا را دارد. این ماده همچنین استفاده‌های ساخت سرامیک‌ها، شیشه‌های سفیدی و لیزرها را دارد. لوتتیم اکسید به‌عنوان کاتالیست در شکستن، آلکیلاسیون، هیدروژناسیون ترکیب‌های آلی کاربرد داشته و با آلیش نمودن این عنصر در ساختار اکسید کادمیم ویژگی‌های کاتالیستی و گزینش‌پذیری آن برای انواع واکنش‌ها، به عنوان کاتالیست بهبود می‌یابد [۹]. اکسید گادولینیوم با داشتن ویژگی‌های کاتالیستی و حسگر گازی و ابزارهای نوری، می‌تواند ویژگی‌های کادمیم اکسید، مانند حسگر گازی، ویژگی‌های نوری و کاتالیستی را بهبود دهد. دیده شده است که در اثر آلیش کردن عناصر با شعاع کمتر از شعاع اتمی کادمیم (II)، شبکه بلوری اکسید به دست آمده به آرامی فشرده می‌شود و باعث افزایش جذب نوری در ناحیه مرئی و IR می‌شود [۱۰].

بخش تجربی

مواد اولیه

مواد مصرفی در این کار، کادمیم نیترات چهار آبه (مرک)، {سیتریک اسید ($C_6H_8O_7$) (مرک)}، {گادولینیوم اکسید (Gd_2O_3) (مرک)}، {لوتتیم اکسید (Lu_2O_3) (مرک)} بودند.

دستگاه‌ها

- برای خشک کردن و گرم کردن نمونه‌ها از آون گرمایی تا ۳۰۰ درجه سلسیوس و از کوره گرمایی ۱۴۰۰ درجه سلسیوس استفاده شد.

- الگوی پراش پرتو X به وسیله دستگاه Philips با استفاده از دیفراکتومتر نوع PW ۲۰۰۰ و تابش تیوب آندمس با طول موج 1.54 آنگستروم انجام گرفت.

- طیف UV-Vis با استفاده از اسپکتروفوتومتر UV مدل Du-۶۰۰ در ناحیه ۱۰۰۰-۳۰۰ نانومتر موردسنجش قرار گرفت.

- طیف FT-IR در یک اسپکترومتر IR سامانه Genesis تهیه شد.
- میکروگراف الکترونی (SEM) با دستگاه Philips انجام گرفت.

روش تهیه

- برای تهیه کادمیم اکسید خالص مطابق با جدول ۱ و

جدول ۲- موازنه شیمیایی واکنش مربوط به، تهیه کادمیم اکسید آلیش شده با عناصر لانتانیدی گادولینیوم ولوتیوم.

نمونه	(NO ₃) ₂ Cd, 4H ₂ O	Lu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	C ₆ H ₈ O ₇
دوپه ۰/۴ درصد لوتیوم	۰/۰۰۹۹۶ مولار ۱/۲۳۲ گرم	۰/۰۰۰۰۴ مولار ۰/۰۰۷ گرم	----- -----	۰/۰۱ مولار ۰/۸۳۹ گرم
دوپه ۰/۸ درصد لوتیوم	۰/۰۰۹۹۴ مولار ۱/۲۲۳ گرم	۰/۰۰۰۰۸ مولار ۰/۰۱۲ گرم	----- -----	۰/۰۱ مولار ۰/۸۳۹ گرم
دوپه ۱ درصد لوتیوم	۰/۰۰۹۹۹ مولار ۱/۲۲۰ گرم	۰/۰۰۰۰۱ مولار ۰/۰۱۵ گرم	----- -----	۰/۰۱ مولار ۰/۸۳۹ گرم
دوپه ۰/۴ درصد گادولینیوم	۰/۰۰۹۹۶ مولار ۱/۲۲۸ گرم	----- -----	۰/۰۰۰۰۴ مولار ۰/۰۰۵ گرم	۰/۰۱ مولار ۰/۸۳۹ گرم
دوپه ۰/۸ درصد گادولینیوم	۰/۰۰۹۹۲ مولار ۱/۲۲۳ گرم	----- -----	۰/۰۰۰۰۸ مولار ۰/۰۱۱ گرم	۰/۰۱ مولار ۰/۸۳۹ گرم
دوپه ۱ درصد گادولینیوم	۰/۰۰۹۹۹ مولار ۱/۲۲۲ گرم	----- -----	۰/۰۰۰۰۱ مولار ۰/۰۱۴ گرم	۰/۰۱ مولار ۰/۸۳۹ گرم

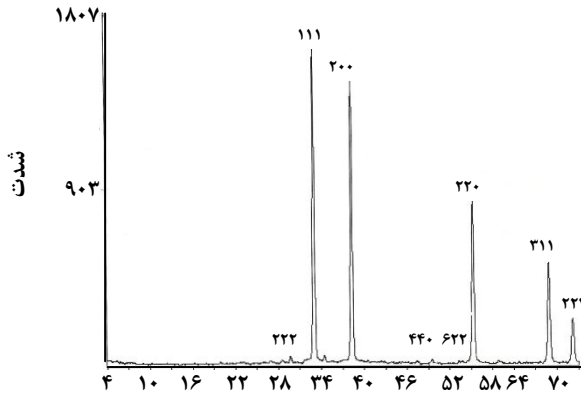
به هم چسبیده و با تخلخل بالا و همچنین اندازه ای بین ۲۰۰ نانو متر تا چند میکرومتر دارند. در شکل ۹- ب در اثر افزایش مقدار آلیش عنصر لوتیوم در ساختار کادمیم اکسید، ذره‌ها به هم نزدیک شده‌اند و بین ذره‌ها فاصله وجود دارد. ریزترین اندازه ذره‌ها را نیز می‌توان در حدود ۳۰۰ نانومتر تخمین زد.

با استفاده از طیف‌های FT-IR، تغییر رفتار نوری نمونه‌های تهیه شده در طول موج‌های گوناگون بررسی شد. شکل ۱۰- الف طیف FT-IR نمونه کادمیم اکسیدخالص تهیه شده به روش سل-ژل را نشان می‌دهد. قله کوچک و پهن ناحیه 3446cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی گروه هیدروکسیل $\text{Cd}(\text{OH})_2$ است که با توجه به حساس بودن نمونه‌های تهیه شده به آب، می‌تواند در اثر جذب رطوبت باشد. تشکیل فاز کادمیم اکسید به قله‌های ناحیه 400cm^{-1} تا 600cm^{-1} نسبت داده می‌شود. چند شاخه شدن قله‌های ناحیه 400cm^{-1} تا 600cm^{-1} در اثر ک فاز $\text{Cd}(\text{OH})_2$ می‌باشد. شکل ۱۰- ب طیف FT-IR نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۰/۸ درصد وزنی گادولینیوم را نشان می‌دهد. با توجه به مرجع قله تیز موجود در 1698cm^{-1} مربوط به مد ارتعاشی Gd_2O_3 می‌باشد [۱۳-۱۴]. قله‌های موجود در 1456cm^{-1} و 1543cm^{-1} نیز مربوط به مد ارتعاشی Gd-O می‌باشد. شکل ۱۰- پ طیف FT-IR نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۰/۸ درصد وزنی لوتیوم را نشان می‌دهد. قله‌های ناحیه 1423cm^{-1} و 1592cm^{-1} مربوط به ارتعاش‌های Lu-O می‌باشند [۱۵]. سایر قله‌ها را می‌توان به جذب‌های هارمونیک، ترکیبی و اختلافی نسبت داد.

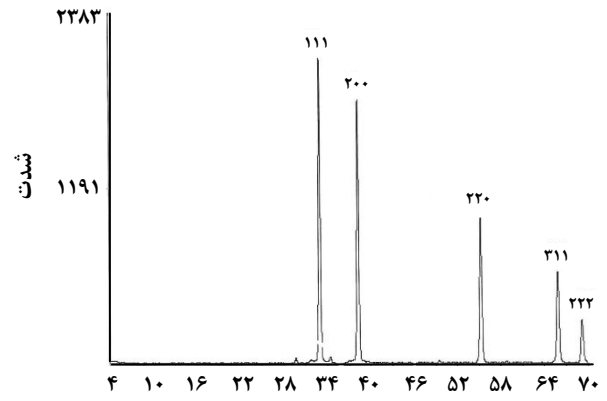
با توجه به مراجع، مربوط به گادولینیوم اکسید می‌باشد [۱۲]. بنابراین آلیش گادولینیوم در ساختار کادمیم اکسید به میزان ۰/۸ درصد وزنی می‌باشد.

شکل‌های ۵ و ۶ الگوی XRD نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۰/۴ و ۰/۸ درصد وزنی عنصر لوتیوم را نشان می‌دهد. در این الگوها ساختار بلوری کادمیم اکسید حفظ می‌شود و لوتیوم اکسید فاز جدید تشکیل نمی‌دهد بلکه در ساختار بلوری کادمیم اکسید آلیش می‌شود. بنابراین حد آلیش عنصر لوتیوم در کادمیم اکسید برابر با ۰/۸ درصد وزنی می‌باشد.

با استفاده از تصویرهای SEM ریخت‌شناسی سطوح نمونه‌ها، اندازه ذره‌های به دست آمده و دانه‌بندی آنها بررسی شد. با توجه به شکل ۷ دیده می‌شود که ذره‌های تهیه شده دارای دو نوع تراکم، به صورت چند وجهی‌های منظم می‌باشند که اندازه آنها با توجه به شکل در حدود ۱ تا ۳ میکرومتر می‌باشند. در شکل ۸- الف در اثر آلیش عنصر گادولینیوم در ساختار کادمیم اکسید، ذره‌های به دست آمده به صورت ناهمگن بوده و دارای وجه‌های مشخص می‌باشند. اندازه کوچکترین ذره تهیه شده در حدود ۳۰۰ نانومتر می‌باشد. با توجه به شکل ۸- ب در اثر افزایش مقدار آلیش عنصر گادولینیوم، ذره‌های به دست آمده ناهمگن تر شده و ذره‌های ریزی به صورت زایده بر روی ذره‌های تهیه شده ایجاد شده است. اندازه ذره‌های زایده در حدود ۲۰۰ نانومتر می‌باشد. در شکل ۹- الف با عمل آلیش عنصر لوتیوم در ساختار کادمیم اکسید، اجزا سازنده این ساختار ناهمگن و دارای ذره‌هایی



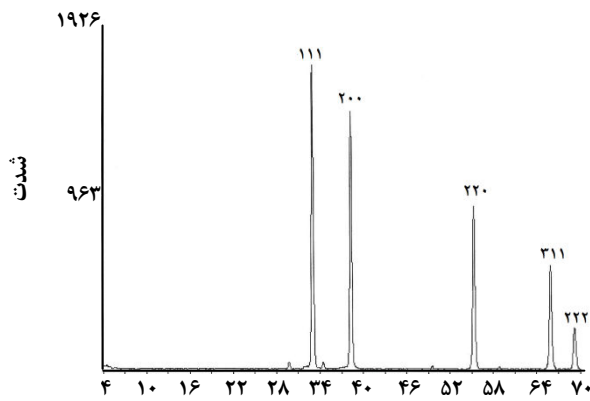
۲θ



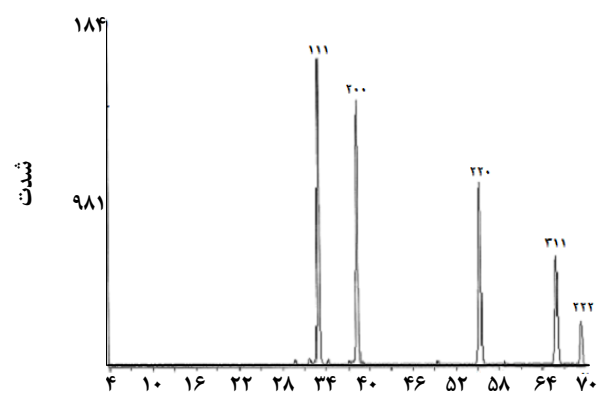
۲θ

شکل ۱- الگوی پراش اشعه X برای کادمیم اکسید خالص.

شکل ۴- الگوی پراش اشعه X برای نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۱ درصدوزنی گادولینیوم.



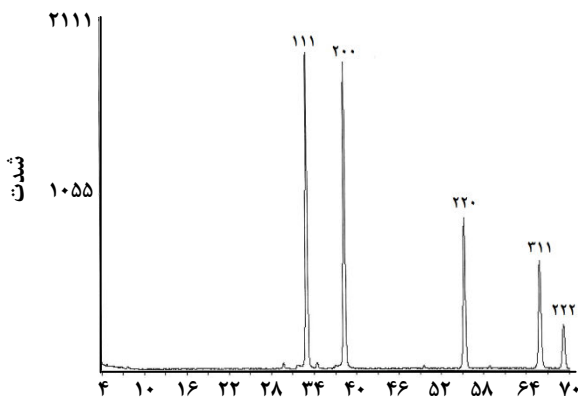
۲θ



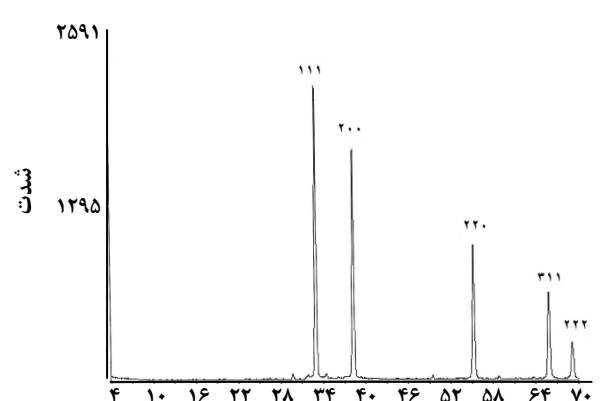
۲θ

شکل ۲- الگوی پراش اشعه X برای نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۴/۴ درصدوزنی گادولینیوم.

شکل ۵- الگوی پراش اشعه X برای نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۴/۴ درصدوزنی لوتیتیوم.



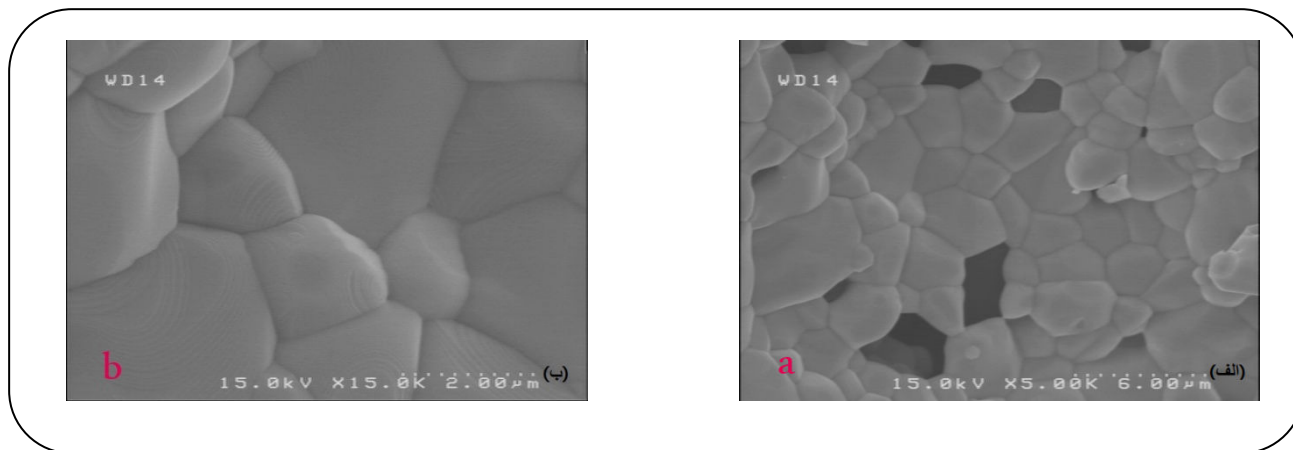
۲θ



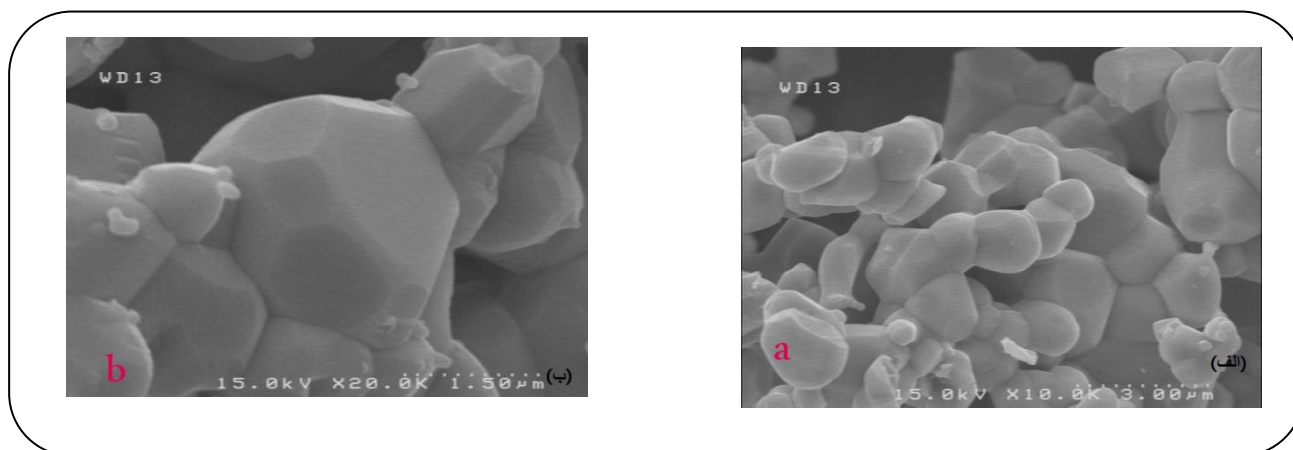
۲θ

شکل ۳- الگوی پراش اشعه X برای نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۸/۸ درصدوزنی گادولینیوم.

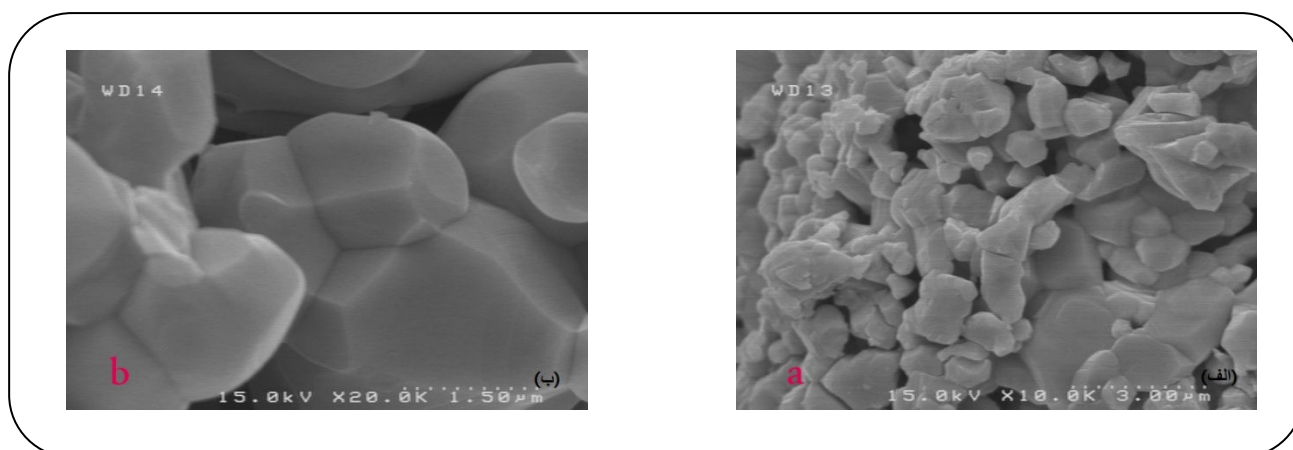
شکل ۶- الگوی پراش اشعه X برای نمونه کادمیم اکسید آلیش شده با ۸/۸ درصدوزنی لوتیتیوم.



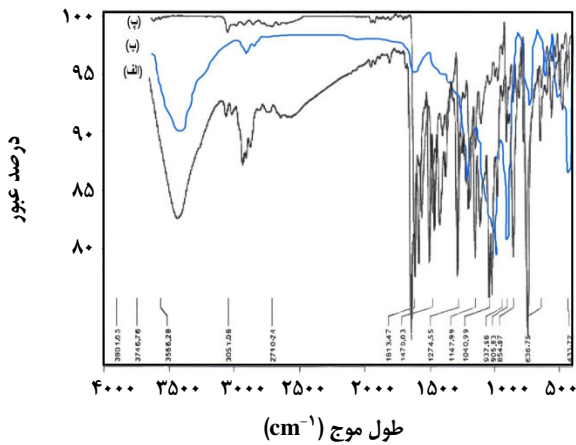
شکل ۷- تصویر SEM نمونه تهیه شده CdO خالص الف) با بزرگنمایی ۵۰۰۰× ب) با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰×.



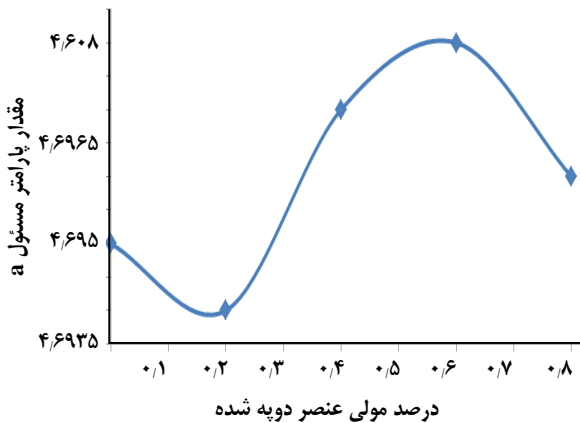
شکل ۸ - تصویر SEM نمونه CdO آرایش شده با عنصر گادولینیوم الف) آرایش ۰.۴ درصد وزنی Gd با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰× ب) آرایش ۰.۸ درصد وزنی Gd با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰×.



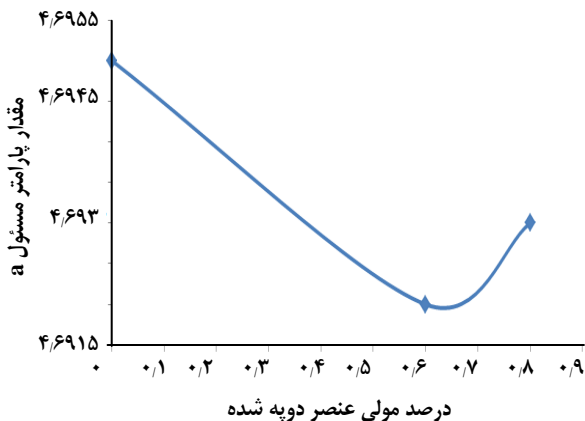
شکل ۹- تصویر SEM نمونه CdO آرایش شده با عنصر لوتیتم الف) آرایش ۰.۴ درصد وزنی Lu با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰× ب) آرایش ۰.۸ درصد وزنی Lu با بزرگنمایی ۲۰۰۰۰×.



شکل ۱۰- طیف FT-IR نمونه CdO سنتز شده به روش سل - ژل (الف نمونه خالص ب) نمونه آرایش شده با ۰/۸ درصد وزنی Lu (پ) نمونه CdO آرایش شده با ۰/۸ درصد وزنی Lu.



شکل ۱۱ - نمودار پارامتر سلولی محاسبه شده برای نمونه های آرایش شده با گادولینیوم.



شکل ۱۲- نمودار پارامتر سلولی محاسبه شده برای نمونه های آرایش شده با لوتیتیوم.

با استفاده از داده های XRD مربوط به نمونه های آرایش شده و نرم افزار ۳ Celref version پارامترهای سلول واحد برای نمونه های تهیه شده محاسبه شد. با توجه به اینکه نمونه کادمیم اکسید در سامانه مکعبی ($a=b=c$) تشکیل بلورمی دهد و پارامتر a برای این اکسید برابر 4.695 \AA می باشد تغییرهای این پارامتر، نشانگر تغییرهای شبکه بلوری این اکسید در اثر آرایش نمودن عناصر لاتانیدی لوتیتیوم و گادولینیوم می باشد. با توجه به شکل ۱۱ در اثر آرایش کردن عنصر گادولینیوم در ساختار کادمیم اکسید پارامتر a ، کاهش یافته و با افزایش مقدار آرایش، افزایش و سپس کاهش می یابد که نشان می دهد در اثر تغییر مقدار گادولینیوم روند منظمی در تغییر پارامتر a وجود ندارد. با توجه به شکل ۱۲ در اثر تغییر مقدار لوتیتیوم در ساختار اکسید پارامتر a ، ابتدا کاهش و با افزایش بیشتر مقدار لوتیتیوم، افزایش می یابد که نشان می دهد ابتدا ساختار بلوری کادمیم اکسید منقبض و سپس منبسط می شود.

شکل ۱۳ طیف UV-Vis نمونه CdO تهیه شده به روش سل - ژل را نشان می دهد. طیف کادمیم اکسید خالص دارای پیکی در ناحیه 520 nm نانومتری باشد. گاف انرژی محاسبه شده طبق معادله (۱) برابر 2.23 eV الکترون ولت می باشد [۱۶].

$$\alpha = A^* (h\nu - E_g)^{1/2} \quad (1)$$

معادله (۱) - معادله محاسبه گاف انرژی براساس طول موج جذب UV-Vis می باشد.

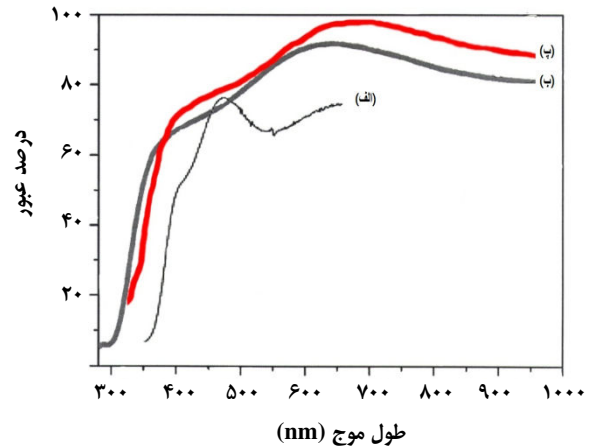
شکل ۱۳ - ب طیف UV-Vis نمونه CdO آرایش شده با ۰/۸ درصد وزنی Gd را نشان می دهد. با توجه به الگوی جذبی با آرایش نمودن گادولینیوم در ساختار کادمیم اکسید، پیک جذبی کادمیم اکسید خالص از 520 nm متره 590 nm نانومتر تغییر مکان داده است. گاف انرژی محاسبه شده برای آرایش ۰/۸ درصد وزنی گادولینیوم برابر 2.1 eV الکترون ولت است پس با آرایش گادولینیوم در ساختار کادمیم اکسید، گاف انرژی کاهش می یابد. شکل ۱۳ - پ طیف UV-Vis کادمیم اکسید آرایش شده با عنصر لوتیتیوم را نشان می دهد. همان گونه که دیده می شود یک پیک در ناحیه 610 nm نانومتر وجود دارد. با آرایش عنصر لوتیتیوم در ساختار کادمیم اکسید پیک ناحیه 520 nm نانومتر به اندازه 90 nm طول موج های بلندتر جابه جا شده است. گاف انرژی محاسبه شده برابر 2.03 eV الکترون ولت است.

گزینش پذیری کادمیم اکسید در انجام این واکنش‌ها شود. گادولینیوم اکسید با داشتن ویژگی‌های کاتالیستی و حسگر گازی و ابزارهای نوری می‌تواند ویژگی‌های کادمیم اکسید مانند حسگر گازی، ویژگی‌های نوری و کاتالیستی را بهبود دهد. الگوهای XRD نمونه‌ها، نشان‌دهنده تهیه کادمیم اکسید خالص و نمونه‌های آلاینش شده آن با اکسیدهای لوتتیوم و گادولینیوم می‌باشد. با استفاده از تصاویرهای SEM ریخت شناسی سطوح نمونه‌ها، اندازه دانه‌ها و همچنین چگونگی دانه‌بندی و در کنار هم قرار گرفتن آنها بررسی شد. طیف FT-IR شیوه‌های ارتعاشی نمونه‌های تهیه شده را نشان می‌دهد و با توجه به موقعیت ارتعاش اتم‌ها، تشکیل پیوند بین عناصر آلاینش شده و کادمیم در ساختار کادمیم اکسید اثبات می‌شود. در طیف‌های UV-Vis الگوی جذبی نمونه‌های تهیه شده به دست آمد و اثر عناصر آلاینش شونده بر الگوی جذبی کادمیم اکسید بررسی شد و همچنین از روی طول موج جذبی نمونه‌های تهیه شده گاف انرژی محاسبه شد و با گاف انرژی کادمیم اکسید خالص مقایسه شد که نشان داد با آلاینش عناصر لانتانیدی در ساختار کادمیم اکسید، گاف انرژی کاهش می‌یابد.

قدردانی

نویسندگان از همکاری دانشکده شیمی و دانشکده فیزیک دانشگاه تبریز در این کار پژوهشی تشکر می‌نمایند.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۹



شکل ۱۳- طیف UV-Vis نمونه CdO تهیه شده به روش سل - ژل (الف) نمونه کادمیم اکسیدخالص (ب) آلاینش شده با ۰٫۸ درصد وزنی Gd (پ) آلاینش شده با ۰٫۸ درصد وزنی Lu.

نتیجه گیری

با توجه به بررسی‌های انجام یافته می‌توان نتیجه گرفت که شبکه بلوری کادمیم اکسید در اثر آلاینش تغییری نمی‌کند ولی اندازه‌های سلول واحد با نوع عنصر آلاینش شونده و مقدارهای آنها تغییر می‌کند. با توجه به این که لوتتیوم اکسید پتانسیل استفاده در مواد ابررسانا را دارد بنابراین آلاینش آن در ساختار کادمیم اکسید می‌تواند رسانایی کادمیم اکسید را بهبود دهد. همچنین لوتتیوم اکسید با داشتن ویژگی‌های کاتالیستی در شکستن، آلیکالسیون، هیدروژناسیون ترکیب‌های آلی می‌تواند باعث بهبود، آسانی و

مراجع

- [۱] نعمتی، زیارتعلی؛ ارتباط ریزساختارها و خواص الکتریکی در سرامیک‌های باریم تیتانات، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۱) ۲۶، ص. ۲۱ (۱۳۸۶).
- [2] Fahrettin Y., Mujdat C., Yasemin C., Saliha I., Electrical Characterization of Nanocluster n-CdO/p-Si Heterojunction Diode, *Journal of Alloys and Compounds*, **506** (1), p.188 (2010).
- [3] Moholkar A.V., Agawane G.L., Kyu-Ung Sim., Ye-bin Kwon., Doo Sun Choi., Rajpure K.Y., Kim J.H., Temperature Dependent Structural, Luminescent and XPS Studies of CdO:Ga Thin Films Deposited by Spray Pyrolysis, *Journal of Alloys and Compounds*, **506** (2), p. 794 (2010).
- [4] Aksoy S., Caglar Y., Ilican Saliha., Caglar M., Effect of Heat Treatment on Physical Properties of CdO Films Deposited by Sol-Gel Method, *International Journal of Hydrogen Energy*, **34**(12), p. 5191 (2008).

- [۵] توحیدی، سیدحسین؛ نوین روز، عبدالجواد؛ سنتز ترکیب‌های مس (II) اکسید، روی بستر سیلیکا با ابعاد نانومتری به روش سل - ژل و بررسی طیف سنجی آن، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۳) ۲۶، ص. ۱۰۵ (۱۳۸۶).
- [۶] آزاد منجیری، جلال؛ سید ابراهیمی، سیدعلی؛ سنتز پودر فریت نیکل با ابعاد نانومتر به روش سل - ژل خود اختراقی، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۱) ۲۴، ص. ۸۳ (۱۳۸۴).
- [7] Ristić M., Popović M., Musić S., Formation and Properties of Cd(OH)₂ and CdO Particles, *Materials Letters*, **58**(20), p. 2494 (2004).
- [8] Fan D.H., Catalyst-Free Growth and Crystal Structures of CdO Nanowires and Nanotubes, *Journal of Crystal Growth*, **311**(8), p. 2300 (2009).
- [9] Dakhel A.A., Correlated Transport and Optical Phenomena in Ga-Doped CdO Films, *Solar Energy*, **82**(6), p. 513 (2008).
- [10] Zhang L., Wang W., Yang J., Chen Z., Sonochemical Synthesis of Nanocrystallite Bi₂O₃ as a Visible-Light-Driven Photocatalyst, *Applied Catalysis*, **308**(10), p. 105 (2006).
- [11] Fruth V., Ianculescu A., Berger D., Preda S., Synthesis, Structure and Properties of Doped Bi₂O₃, *Journal of the European Ceramic Society*, **26**(14), p. 3011 (2006).
- [12] Jayasimhadri M., Ratnam B.V., Jang Kiwan., Conversion of Green Emission into White Light in Gd₂O₃ Nanophosphors, *Thin Solid Films*, **518**(22), p. 6210 (2010).
- [13] Ristić M., Popović S., Musić S., Formation and Properties of Cd(OH)₂ and CdO Particles, *Materials Letters*, **58**(20), p. 2494 (2004).
- [14] Ashoka S., Chithaiah P., Chandrappa G.T., Studies on the Synthesis of CdCO₃ Nanowires and Porous CdO Powder, *Materials Letters*, **64**(2), p. 173 (2010).
- [15] Balamurugan S., Xu M., Takayama-Muromachi E., Magnetic and Transport Properties of High-Pressure Synthesized Perovskite Cobalt Oxide (Sr_{1-x}Cax)CoO₃ (0 ≤ x ≤ 0.8), *Journal of Solid State Chemistry*, **178**(11), p. 3431 (2005).
- [۱۶] احمدپور، سجاد؛ عالمی، عبدالعلی؛ خادمی‌نیا، شاهین؛ مطالعه ساختاری و سیستماتیک نانو ذرات لیتیم متا سیلیکات (Li₂SiO₃) سنتز شده به روش گرمایی، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، (۲) ۲۱، ص. ۲۴۳ (۱۳۹۲).