



# سنتز و مطالعه خواص نانو ذرات اکسید روی آلاییده به عنصر گالیم با قابلیت کاربردهای فوتونیکی

ساناز علمداری<sup>۱</sup> | مجید جعفر تفرشی\*<sup>۱</sup> | مرتضی ساسانی قمصری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده فیزیک، پردیس علوم، دانشگاه سمنان، سمنان

<sup>۲</sup> پژوهشکده فوتونیک و فناوریهای کوانتومی، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران

**چکیده:** در این تحقیق ابتدا نانو ذرات کلونیدی اکسید روی آلاییده به عنصر گالیم با استفاده از روش ساده سل ژل تهیه و پس از تبدیل به پودر خواص نوری آن مورد مطالعه قرار گرفت. خواص اپتیکی سل به کمک طیف سنجی جذبی- عبوری و تابناکی و طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز بررسی شد. نمونه کلونیدی تهیه شده دارای قابلیت تابناکی آبی در دمای اتاق بوده که تاکنون گزارش نشده است. همچنین، بررسی‌ها نشان دادند، نانوذرات اکسید روی آلاییده به عنصر گالیم نیز دارای خاصیت نورتابی مناسب در ناحیه طول موج های مرئی بوده که میتواند گزینه مناسبی برای کاربردهای فوتونیکی باشد. ساختار بلوری و ریخت‌شناسی نانوذرات سنتز شده توسط مشخصه‌یابی‌های مختلفی از جمله شامل پراش پرتوی ایکس، طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بررسی شد. الگوهای پراش پرتوی ایکس نشان دادند که نمونه تهیه شده دارای ساختار ورتزایت منطبق با تمام صفحات بلوری اکسیدروی بدون هیچ قله اضافی می‌باشند. اندازه ذرات با استفاده از نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی عبوری و روبشی بترتیب حدود ۳۵ الی ۵۵ نانومتر تخمین زده شد. همچنین حضور گالیم در ساختار توسط مشخصه یابی طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس تایید شد.

**واژگان کلیدی:** سل-ژل، نانوبلور، آلیش، اکسید روی، یون گالیم، خواص تابناکی.

mtafreshi@semnan.ac.ir

قابل توجه و جدیدی در شبکه اکسید روی می‌گردد. در میان ناخالصی‌های استفاده شده، عناصر گروه سوم جدول تناوبی گزینه مناسبی برای افزایش ویژگی‌های الکتریکی و اپتیکی اکسید روی هستند [۵]. برای مثال ایندیم، عنصر سه ظرفیتی میباشد که با وارد شدن به شبکه اکسید روی می‌تواند غلظت حامل‌ها و در نتیجه خواص اپتیکی و الکتریکی آن را تغییر دهد. در این مورد ایندیم یک ناخالصی جذاب برای اکسید روی نوع n است. زیرا دارای واکنش‌پذیری کمتر و مقاومت ویژه بزرگتری برای اکسید شدن نسبت به عناصر هم‌گروه خود می‌باشد، در نتیجه منجر به شکل‌گیری فازهای جدید در داخل شبکه بلوری اکسید

## ۱- مقدمه

اکسید روی (ZnO) یکی از معروف‌ترین نانومواد اکسیدی نیمه‌رسانا با گاف نواری پهن (۳/۲۷ الکترون ولت) و مستقیم، انرژی اکسیتونی بالا، چگالی خوب، بهره بالای خروجی نوری، زمان تاخیری زیر نانو ثانیه با خاصیت تابناکی قوی در دمای اتاق می‌باشد که برای کاربردهای اپتیکی، اپتوالکتریکی و به خصوص آشکارسازی در صنایع مختلف بسیار مناسب است [۴-۱]. از طرف دیگر حضور ناخالصی در این نیمه‌رسانا موجب پیدایش خواص

درصد اتمی گزارش شده در مطالعات قبل [۱۲]، با روشی ساده سنتز شده‌اند و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

## ۲- بخش تجربی

### ۲-۱- مواد و تجهیزات

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل استات روی دو آبه مرک آلمان با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد به عنوان پیش‌ماده نمک فلزی، گالیم نیترات از شرکت سیگما، پروپانول مطلق از شرکت مرک و تری اتیل آمین مرک (به عنوان سورفکتانت) می‌باشند. خواص اپتیکی، ساختاری و ریخت‌شناسی نانوذرات سنتز شده توسط مشخصه‌یابی‌های مختلف از جمله طیف سنجی جذبی-عبوری (Perkin-Elmer) و فوتولومینسانس (PL-Perkin-Elmer LS-5 Fluorescence Spectrometer)، پراش پرتوی ایکس (XRD-Panalytical PW3050/60)، طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR- Perkin Elmer RX-I)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM-Philips CM120) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (MIRA3TESCAN- FESEM) بررسی شد.

### ۲-۲- روش آزمایش

۴ گرم استات روی در ۳۰ میلی لیتر پروپانول مطلق مرک به عنوان حلال و تری اتیل آمین مرک (به عنوان سورفکتانت)، به روش سل ژل و به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن مغناطیسی قرار گرفتند تا سل شفاف و پایدار ۱ مولار اکسید روی حاصل شود. سپس گالیم نیترات به عنوان آلاینده با درصد اتمی ۰/۵ (غلظت بهینه) به محلول اضافه شد و به مدت ۲۰ دقیقه تحت همزدن قرار گرفت تا محلول کاملاً شفاف گالیم اکسید روی به دست آید. برای تهیه پودر نیز محلول‌های سنتز شده طی مدت ۲۴ ساعت در آون الکتریکی و دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نهایتاً پودرهای خشک شده در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد کلسینه شدند.

روی نمی‌گردد. در تحقیقات اخیر خواص تابناکی نانوذرات اکسید روی آلاینده به ایندیم در دمای اتاق و لایه‌های نازک آن به منظور محافظت در برابر پرتوهای خطرناک فرابنفش نتایج خوبی را نیز از خود نشان داده است [۴-۱]. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که یونهای آلومینیوم نیز قادرند مقاومت الکتریکی لایه‌های نازک اکسید روی را بسیار کاهش دهند. اما به دلایل زیر، عنصر گالیم دارای مزایای بیشتری به نسبت به یونهای آلومینیوم برای ورود به ساختار اکسید روی می‌باشد [۸-۶]. این دلایل را اینگونه می‌توان بیان داشت که در مقایسه با جرم اتمی عناصر آلومینیوم و ایندیم، گالیم دارای جرم اتمی بسیار نزدیک به جرم اتمی روی (۶۵/۳۸ گرم بر مول) می‌باشد. همچنین پیوند گالیم-اکسیژن از نوع کووالانسی و دارای طول ۰/۱۹۲ نانومتر بوده که بسیار نزدیک به طول پیوند کووالانسی روی-اکسیژن (۰/۱۹۷ نانومتر) می‌باشد. از طرف دیگر شعاع اتم گالیم (۰/۰۶۲ نانومتر) به شعاع اتمی روی (۰/۰۷۴ نانومتر) بسیار نزدیک بوده و واکنش پذیری کمتری با اکسیژن دارد. در نتیجه، حتی در حضور غلظت‌های بالایی از یون‌های این عنصر، اکسید روی نیز از ساختار بلوری مناسب، خواص الکتریکی و اپتیکی ویژه‌ای برخوردار خواهد بود. زیرا یونهای اتم گالیم با ایجاد کمترین نقص بلوری در شبکه اکسید روی، تنها قادر به جایگزینی یونهای روی هستند. درحالی‌که یون‌های آلاینده دیگر، هم می‌توانند جایگزین یون‌های روی شده و هم در فضای خالی بین شبکه قرار گیرند و به عنوان یک نقص شبکه‌ای عملکرد اکسید روی را با مشکل روبرو کنند. تحقیقات دهه اخیر بر روی اکسیدروی آلاینده به گالیم، بیانگر خواص آشکارسازی و نوری مناسبی می‌باشد [۹-۱۱]. سرامیک‌های اکسید روی حاوی عناصر گالیم، با خواص تابناکی مناسب برای آشکارسازی سوسوزنی در مقابل پرتوهای یونساز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و مشاهده شده که اکسید روی آلاینده با گالیم حساسیت بالا و بهترین پاسخ زمانی را از خود نشان می‌دهد [۹]. برای کاربردهای فتونیک در مرحله اول باید نانوذرات تهیه شده دارای خاصیت تابناکی مناسب و پایداری طولانی مدت در دمای اتاق باشند. کنترل عیوب شبکه، میزان تنش وارده بر ساختار، غلظت ناخالصی و ترزاهای نقص ایجاد شده در گاف با خواص نوری ارتباط بسیار مستقیمی دارد و خواص نوری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با این هدف در این مقاله نانو ذرات اکسید روی آلاینده به گالیم با انتخاب غلظت بهینه ۰/۵

## ۳- نتایج و بحث

$$E_g^{nano} = E_g^{bulk} + \frac{\hbar^2 \pi^2}{2\mu R^2} + A \frac{e^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \quad (1)$$

گاف انرژی برای نانو ذرات را می توان از طریق رابطه (۲) تعیین کرد:

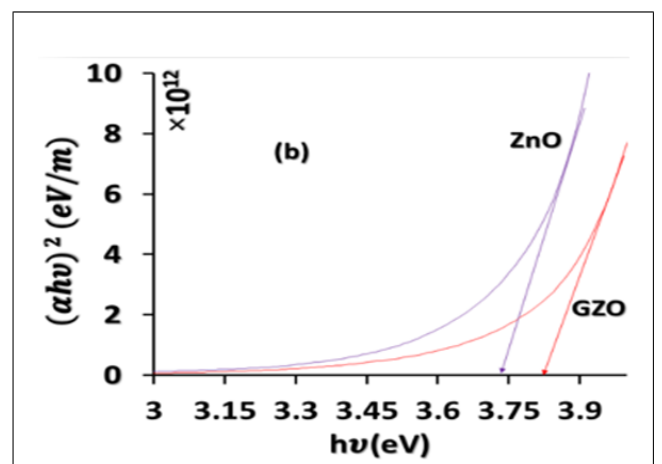
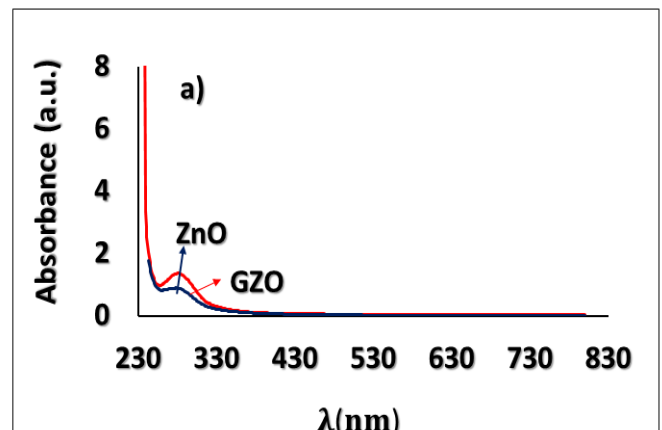
$$\alpha h\nu = A(E_g - h\nu)^n \quad (2)$$

در این رابطه  $\alpha$  ضریب جذب،  $h\nu$  انرژی فوتون فرودی،  $E_g$  انرژی گاف،  $A$  ثابت ریچاردسون که برابر:

$$A = \frac{q^2 (2m_h^* m_e^*) / (m_h + m_e)^{1.5}}{m_e^* n c h^2} \quad (3)$$

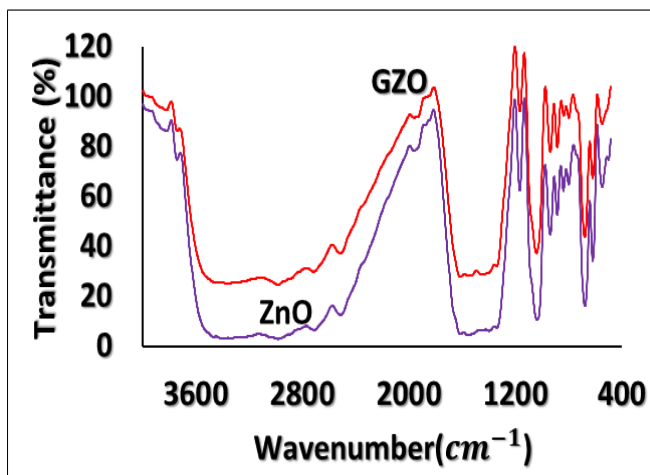
و  $n=0.5$  برای گاف مستقیم، و  $n=2$  برای گاف غیر مستقیم می باشد. ضریب جذب نیز از تقسیم مقدار جذب اندازه گیری شده بر غلظت اکسیدروی (۱ مولار) به دست آمد. گاف انرژی برای نانو ذرات را می توان از طریق نمودار نیز تعیین کرد. برای اینکار می توان با توجه به مستقیم بودن گاف انرژی اکسیدروی، از طریق رسم تغییرات کمیت  $(\alpha h\nu)^2$  بر حسب انرژی فوتون فرودی، و رسم شیب مماس بر نمودار و امتداد آن تا نقطه قطع محور انرژی، گاف انرژی را مشخص نمود. مقدار گاف انرژی در شکل (b-1) برای نمونه خالص و آلاییده به ترتیب حدود  $3.69$  و  $3.81$  الکترون ولت به دست آمد. هر چه گاف انرژی بزرگ تر باشد، انرژی پرتوهای نور مرئی که از جسم ساطع می شود، بیش تر است و پرتوهای نور مرئی به سمت رنگ آبی تمایل می یابند. علت افزایش و تغییر در گاف انرژی را میتوان به اثر موس براستین و غلظت بالای اکسیدروی در روش سنتز نسبت داد. اکسید روی دارای نقص های ذاتی شامل جای خالی روی، جای خالی اکسیژن، اکسیژن درون شبکه ای، اکسیژن پاد جابه جایی، روی درون شبکه ای، روی پاد جابه جایی، و نقص های ترکیبی روی و اکسیژن می باشد. طیف های نشری اصلی بیشتر در نواحی آبی، سبز و قرمز می باشند [۱۵]. در شکل (۲) طیف فوتولومینسانس نمونه کلوئیدی نانو ذرات اکسید روی آلاییده به گالیم و همچنین اکسید روی خالص نشان داده شده است.

شکل (a-1) طیف جذبی سل های اکسید روی خالص و آلاییده به عنصر گالیم را نشان می دهد. همان طور که در شکل مشخص است نمونه ها دارای جذب قوی در محدوده  $280$  نانومتری طول موج های فرابنفش می باشند و با حضور گالیم در ساختار اکسیدروی شدت این جذب افزایش می یابد که میتواند گزینه مناسبی به عنوان جاذب پرتوهای فرابنفش ناحیه UVA باشد. قله جذبی در حوالی طول موج  $280$  نانومتر را می توان به گاف نواری اکسید روی و اثر محدودیت کوانتومی نسبت داد [۱۳]. همچنین براساس مدل براس در رابطه ۱ که در آن شعاع نانوذره،  $E_g^{nano}$  گاف انرژی نانوذرات،  $E_g^{bulk}$  گاف انرژی اکسیدروی،  $\hbar$  ثابت پلانک،  $\mu$  جرم کاهش یافته،  $\epsilon$  ثابت دی الکتریک،  $\epsilon_0$  ثابت دی الکتریک خلا و  $A$  ثابت عددی مربوط به انتقالات الکترونی درون گاف میباشد، ابعاد حدود  $5$  نانومتر را میتوان برای نانوذرات اکسید روی آلاییده به گالیم در فاز محلول در نظر گرفت [۱۴].



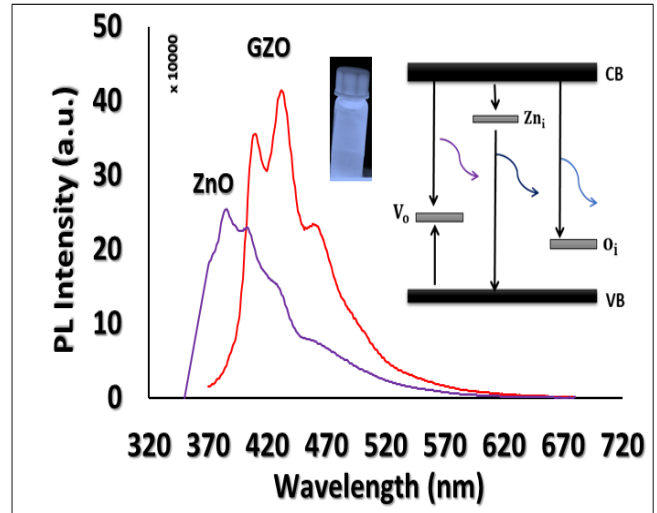
شکل ۱: (a) طیف جذبی و (b) گاف انرژی نمونه های کلوئیدی اکسیدروی خالص آلاییده.

محدوده  $600-740 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند بین Zn-O به خوبی دیده می شود که با نتیجه نظری (حدود  $800 \text{ cm}^{-1}$ ) تقریباً برابری می کند. قله  $1089 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C-N به دلیل حضور تری اتیل آمین، محدوده  $1000-1320 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C-O و  $1350-1370 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند C=H است که به علت حضور پیش ماده است. قله  $1510 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به گروه کربونیل C=O و  $2453 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند O=C=O که نشان دهنده آب و دی اکسید کربن جذب شده از طریق اتمسفر هوا است. قله  $2906 \text{ cm}^{-1}$  نیز مربوط به ارتعاشات کششی پیوند C-H و گروه آلکیل ها است [۱۲]. قله های  $3200-3600 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به ارتعاش کششی O-H و گروه هیدروکسیل که در اثر استفاده از حلال پروپانول در هنگام تهیه سل است و همچنین به علت حضور استات روی دوآبه، وجود آب را در ترکیب نشان می دهد. سایر پیوندها نیز به مربوط به ترکیبات موجود در پایدارکننده و حلال می باشند. با حضور گالیم در ساختار مکان و شدت قله ها تغییر خاصی نکرد فقط مقدار کمی شدت پیوند Zn-O کاهش یافت که احتمالاً به دلیل جانشانی یون گالیم با یون روی در شبکه می باشد.



شکل ۳: طیف تبدیل فوریه مادون قرمز نمونه محلول اکسیدروی خالص و آلاییده.

پس از تبدیل سل به ژل و خشک کردن آن، نانو پودر این ترکیب بدست آمد. طیف XRD پودرهای اکسیدروی خالص و آلاییده در شکل (۴) نشان داده شده است. بیشترین رشد در جهت (۱۰۱) صورت گرفته و تمامی قله های اصلی نمونه ها کاملاً منطبق بر صفحات ورتزایت اکسید روی می باشد (JCDS 36-1451) [۱-۱]. بهترین ساختار بلوری در نمونه آلاییده دیده شد که می تواند به

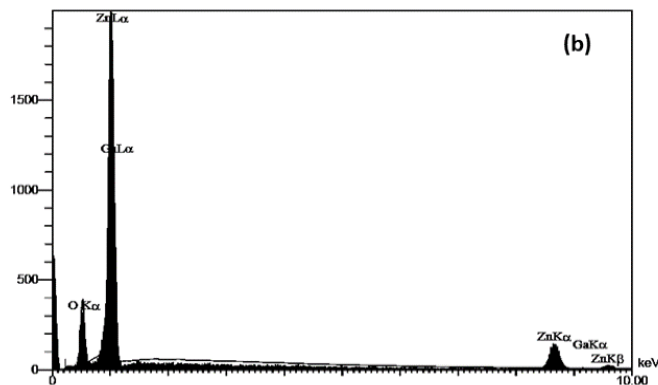
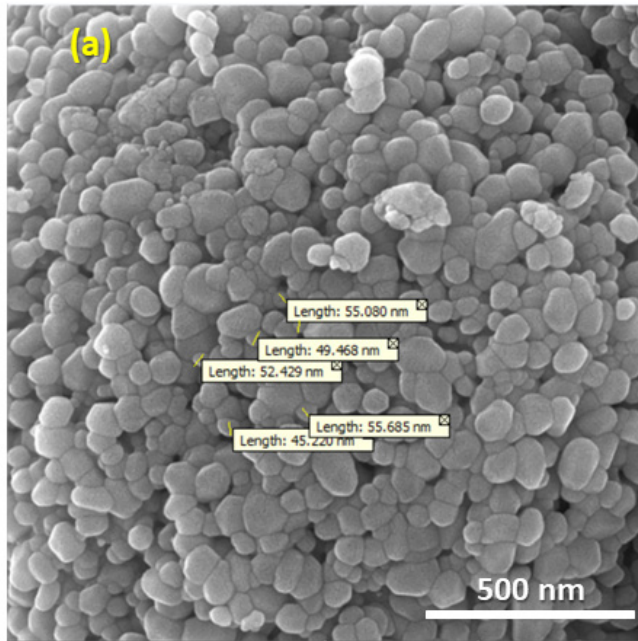


شکل ۲: طیف نورتابی نمونه های کلوئیدی اکسیدروی خالص و آلاییده تحریک شده با طول موج ۳۲۰ نانومتر.

مطابق با شکل نمونه خالص دارای یک گسیل قوی در ناحیه طول موج  $370-380$  نانومتر می باشد که میتوان آنرا به انتشار فوتون های منتشر شده از طریق انتقال الکترون های تحریک شده در تراز دهنده ی به تراز پذیرنده ی باند هدایت و انرژی گاف اکسید روی در این محدوده ی طول موج نسبت داد [۱۶ و ۱۷]. به طور معمول گسیل نور در ناحیه اول که از سایر گسیل ها قوی تر است، در ناحیه فرابنفش گسترده شده که مربوط به گاف انرژی اکسید روی بوده، اما سایر گسیل ها مربوط به نواحی آبی، نارنجی و قرمز میباشد که در اثر وجود نقص های ذاتی و سطحی، درون شبکه های و جاهای خالی روی و اکسیژن ظاهر می شوند [۱۸ و ۱۹]. همچنین گسیل های آبی محدوده طول موج  $430-490$  نانومتر را میتوان ناشی از انتقال الکترونی روی درون شبکه ای به جاهای خالی روی دانست. با حضور گالیم شدت نشری طول موج آبی افزایش میابد که برای اولین بار این شدت مشاهده شده و می تواند به علت بهبود ساختار بلوری و افزایش ترازهای نقص تابشی در ساختار باشد. نشر ناحیه بنفش-آبی نیز می تواند مربوط به حالات تله سطحی بین مزردهاها و انتقال الکترونی بین این ترازاها و تراز ظرفیت باشد، با افزایش غلظت ناخالصی گالیم، این یون محل های روی شبکه را پر میکند و احتمال تشکیل نقص زیاد میشود در نتیجه با افزایش غلظت گالیم، شدت نشر بنفش-آبی افزایش می یابد.

طیف FTIR نمونه محلول خالص و آلاییده در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که در شکل دیده می شود قله هایی در

شکل (۵) نشان داده شده است. اندازه دانه‌ها حدود ۵۵ نانومتر برای نانوذرات اکسید روی آلاییده برآورد گردید. تصویر TEM نمونه آلاییده در مقیاس ۲۰۰ نانومتر در شکل (۶) نشان داده شده اند. همانطور که دیده می‌شود ذرات کروی شکل، همگن و تقریباً شش وجهی می‌باشند. متوسط اندازه ذرات حدود  $35 \pm 1$  نانومتر در توافق نسبتاً خوبی با محاسبات اندازه ذرات میکروسکوپ الکترونی روبشی ( $55 \pm 10$  نانومتر) تخمین زده شد.



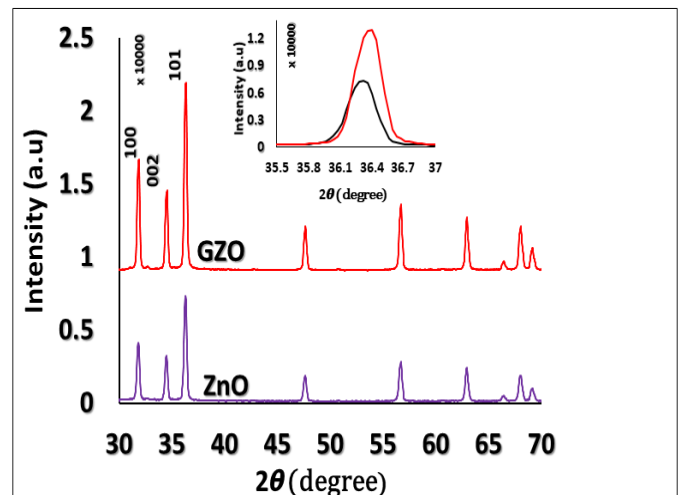
شکل ۵: (a) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه پودری اکسید روی آلاییده و (b) به همراه طیف EDX.

در شکل (۷) طیف فوتولومینسانس نانو پودر اکسید روی آلاییده به گالیم در دمای اتاق نشان داده شده است که دارای ۴ قله آبی، سبز، نارنجی و قرمز می‌باشد، چنین نشرهایی برای اولین بار مشاهده شده است. این نتایج نشان داد نانوذرات اکسید روی آلاییده به گالیم می‌تواند باعث بهبود خواص اپتیکی و ساختاری اکسید روی گردیده

قرارگیری بهتر و حد انحلال بهینه این غلظت در ساختار مربوط باشد. هیچ قله اضافی مربوط به فازهای اکسیدی گالیم یا حضور ساختار و فازهای جدید در نمونه‌ها دیده نشد. با حضور گالیم در ساختار در طیف پراش نمونه‌ها جابه‌جایی به سمت زاویه‌های بزرگتر دیده می‌شود که به دلیل قرارگیری یون گالیم در شبکه و تنش وارد شده به ساختار می‌باشد. معمولاً جابه‌جایی به سمت زاویه‌های بزرگتر پراش، نشان‌دهنده جانشانی یون گالیم و کوچکتر بودن شعاع یونی گالیم نسبت به یون روی می‌باشد که ساختار تحت تنش کششی قرار گرفته است [۱۹]. اندازه بلورک با استفاده از فرمول دبای شرر  $(D=0.9\lambda/B \cos\theta)$  که در رابطه، D اندازه بلورک-ها، B عرض پیک در نصف شدت بیشینه،  $\lambda$  طول موج پرتوی برابر  $1.154$  انگستروم و  $\theta$  زاویه براگ مربوط به پیک ناشی از پراش است. برای نمونه‌های خالص و آلاییده، به ترتیب حدود ۳۲ و ۲۸ نانومتر محاسبه شد که سایر نتایج آن در جدول ۱ گزارش شده‌اند [۲۰]. اندازه فاصله صفحات (d) و عرض قله در نصف شدت بیشینه (FWHM) برای نمونه آلاییده کاهش یافت.

جدول ۱: خلاصه مشخصات و پارامترهای به دست آمده نمونه خالص و آلاییده.

نام نمونه	(hkl)	a (Å)	c (Å)	FWHM (°)	D (nm)	d-spacing (Å)
ZnO	101	2.90	5.19	0.275	31	2.47
ZnO:Ga	101	3.09	5.18	0.314	30	2.46



شکل ۴: طیف پراش پرتو ایکس نمونه اکسید روی خالص و آلاییده به همراه بزرگنمایی قله (۱۰۱).

حضور گالیم و روی در ساختار نیز توسط آنالیز EDX تایید شد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نمونه پودری در



جاذب پرتوهای UVA در دمای اتاق از خود نشان دادند. نتایج نشان دادند نانوذرات اکسیدروی آلانید به گالیم می‌توانند به عنوان گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای آشکارسازی، لیزر و ادوات اپتیکی به کار گرفته شوند.

## قدردانی

این تحقیق از حمایت صندوق رفاه و پژوهشگران کشور (Iran National Science Foundation:INSF) بهره‌مند شده است.

## مراجع

[1] M. Sasani Ghamsari, S. Alamdari, W. Han, H. H Park, "Impact of nanostructured thin ZnO film in ultraviolet protection", *Int. J. Nanomedicine* 12, 207–216, 2017.

[2] M. Sasani Ghamsari, M. Vafae, "Sol-gel derived zinc oxide buffer layer for use in random laser media", *Mater. Letters*. 62, 1754–1756, 2007.

[3] S. Alamdari, M. Jafar Tafreshi, M. Sasani Ghamsari, "The effects of indium precursors on the structural, optical and electrical properties of nanostructured thin ZnO films", *Mater. Lett.* 197, 94–97, 2017.

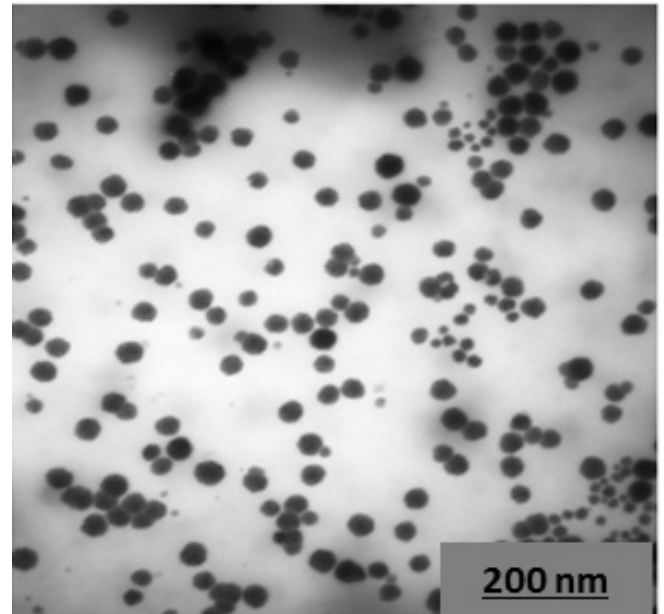
[4] S. Alamdari, M. Sasani Ghamsari, M. H. Majles Ara, B. Efafi, "Highly concentrated IZO colloidal nanocrystals with blue/orange/red three-colors emission", *Mater. Letters*. 158, 202–204, 2015.

[5] P. Barnita P, S. Budhi, G. Subhasis, R. Anushree, "A comparative study on electrical and optical properties of group III (Al, Ga, In) doped ZnO", *Thin Solid Films*, 603, 21–28, 2016.

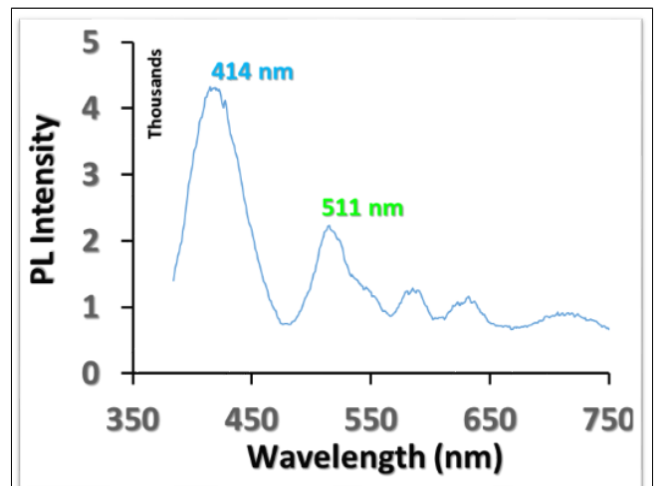
[6] S. G. Mei, J. L. Wang, K. Yong, G. L. Zhang, Y.-Q. Li, "Preparation and characterization of Gallium doped ZnO/Epoxy composite as thermal-insulating coating", *Asian Journal Chemistry* ,24, 2210-2212, 2012.

[7] H. J. Ko, Y.F. Chen, S.K. Hong, H.Wenisch, T. Yao, D.C. Look, "Ga-doped ZnO films grown on GaN templates by plasma-assisted molecular-beam

و گزینه مناسبی برای کاربردهای نوری، آشکارسازی ذرات هسته-ای، ساخت انواع ادوات اپتوالکتریکی و دیودهای گسیلنده نوری با هزینه بسیار کم و بهره مناسب باشد.



شکل ۶: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نمونه اکسید روی آلانید.



شکل ۷: طیف فوتولومینسانس نمونه اکسیدروی آلانید.

## ۴- نتیجه گیری

در این تحقیق از یک روش ساده سل-ژل برای تولید نانوذرات اکسیدروی خالص و آلانید به گالیم بهره گرفته شد. با افزودن گالیم، گاف انرژی اکسیدروی افزایش و اندازه ذرات کاهش یافت. گالیم منجر به بهبود خواص ساختاری و نوری نانوذرات اکسیدروی گردید. نانوذرات GZO تابناکی آبی، شفافیت بالا و در عین حال

- [16] N. Rajeswari Yogamalar, A. Chandra Bose, "Burstin–Moss shift and room temperature near-band-edge luminescence in lithium-doped zinc oxide", *Applied Physics*, 103, 33–42, 2011.
- [17] M. Willander, O. Nur, J. Rana Sadaf, M. Israr Qadir, S. Zaman, "Luminescence from zinc oxide nanostructures and polymers and their hybrid devices", *Materials*, 3, 2643–2667, 2010.
- [18] M. Willander, O. Nur, J. R. Sadaf, M. I. Qadir, S. Zaman, A. Zainelabdin, N. Bano, I. Hussain, "Luminescence from zinc oxide nanostructures and polymers and their hybrid devices", *Materials*, 3, 2643-2667, 2010.
- [19] B. Efafi, M. Sasani Ghamsari, M.A. Aberoumand, M.H. Majles Ara, A.H. Sasani Ghamsari, H. Hojati Rad, "Aluminum doped ZnO sol–gel derived nanocrystals: Raman spectroscopy and solid solubility characterization", *Physics Status Solidi A*, 1–5, 2014.
- [20] M. R Islam, J. Podder, "Optical properties of ZnO nano fiber thin films grown by spray pyrolysis of zinc acetate precursor" *Crystal Research Technology*, 44, 286-292, 2009.
- epitaxy", *Applied Physics Letters*. 77, 3761-3763, 2000.
- [8] M. C. Jun, S. U. Park, J. H. Koh," Comparative studies of Al-doped ZnO and Ga-doped ZnO transparent conducting oxide thin films", *Nanoscale Research Letters*, 7, 639, 2012.
- [9] H. Nanto, M. Sato, Y. Miyamoto, K. Hirasawa, Y. Takei, T. Yanagida, T. Nakamura, M. Katagiri, "Luminescence properties of impurity-doped zinc oxide phosphor for novel neutron detection", *Sensors and Materials*, 28, 905-916, 2016.
- [10] R. M. Turtos, S. Gundacker, M.T. Lucchini, L. Prochazkova, V. Cuba, H. Buresova, J. Mrazek, M. Nikl, P. Lecoq, E. Auffray, "Timing performance of ZnO: Ga nanopowder composite scintillators", *Physics Status Solidi (RRL)*, 10, 843–847, 2016.
- [11] P. Rodnyi, Boca Raton, FL, "Physical processes in inorganic scintillators", CRC Press, 1, 1–51, 1991.
- [12] M. H. yoon, S. H. Lee, H. L. Park, H. K. Kim, M. S. Jang, "Solid solubility limits of Ga and Al in ZnO", *Journal of Materials Science Letters*, 21, 1703–1704, 2002,
- [13] A. Wood, M. Giersig, M. Hilgendorff, A. Vilas Campos, L. M. Liz-Marzan and P. Malvaney, "Size effects in ZnO: The cluster to quantum dot transition", *Australian Journal Chemistry*, 56, 1051-1057, 2013.
- [14] M. R. Gaeni, M. Tohidian, M. Majles-Ara, "Green Synthesis of CdSe Colloidal Nanocrystals with Strong Green Emission by the Sol–Gel Method", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 53, 7598–7603, 2014.
- [15] A. Alkauskas, A. Pasquarello, "Band-edge problem in the theoretical determination of defect energy levels: The O vacancy in ZnO as a benchmark case", *Physics Review B*, 84, 1-11, 2011.
- [16] M. Willander, O. Nur, J. R. Sadaf, M. I. Qadir, S. Zaman, A. Zainelabdin, N. Bano, I. Hussain, "Luminescence from zinc oxide nanostructures and polymers and their hybrid devices", *Materials*, 3, 2643-2667, 2010.



# Synthesis and Characterization of Ga doped ZnO Nanocrystals with Potential Applications in Photonics

S. Almdari<sup>1,2</sup>, M. Jafar Tafreshi\*<sup>1</sup>, M. Sasani Ghamsari<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Physics, Semnan University, Semnan

<sup>2</sup> Photonics and Quantum Technologies Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Tehran

**Abstract:** In this study gallium doped zinc oxide (GZO) nanocrystals were prepared by a simple and low cost sol-gel route. As-prepared GZO sol was characterized using UV-Vis absorption and photoluminescence (PL) spectroscopy, FTIR. The GZO nanopowders were prepared by drying of the sol and characterized using X-ray diffraction analysis (XRD), transmission electron microscopy (TEM), and scanning electron microscopy (SEM). The results showed that the prepared nanocrystals have a good blue luminescence property in the visible area that has not been reported before. Also at room temperature the photoluminescence spectrum of the dried GZO nanopowders presented four emissions peak including blue, green, orange and red. In addition, X-ray diffraction analysis showed that the samples had a hexagonal structure. The synthesized colloidal sample has strong blue light emission that was not reported before. The presence of gallium, zinc and related bonds in the structure was confirmed by EDAX and FTIR characterization. The particle size was estimated to be about 35-55 nm using TEM and SEM images. Studies showed that GZO nanocrystals can be a good candidate for nuclear detection, LEDs and optoelectronic devices.

**Keywords:** Sol-gel, Nanocrystal, ZnO, Doping, Ga, Luminescence.