ساخت آشکارساز نوری فرابنفش مبتنی بر نانوساختارهای اکسید روی و ناخالصی کلسیم با استفاده از روش سل- ژل

دکتر زهیر کردرستمی[1] **سیده صحیفه سجادی[2]**

۱- استادیار- دانشکده مهندسی برق- الکترونیک- دانشگاه صنعتی شیراز- شیراز- ایران
kordrostami@sutech.ac.ir

دانشجوی کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق- الکترونیک- دانشگاه صنعتی شیراز- شیراز- ایران
s.sajjadi62@yahoo.com

چکیده: در این مقاله یک آشکارساز نوری فرابنفش با استفاده از نانوساختارهای اکسید روی ساخته شده است. مراحل ساخت ارزان، کیفیت بالای نانوساختارها و نتایج مطلوب آشکارساز نوری از ویژگی های مهم روش پیشنهادی می باشد. نانوساختارهای اکسیدروی با استفاده از روش سل-ژل رشد یافته اند. جهت افزایش حساسیت حسگر، ناخالصی کلسیم به آنها افزوده شده است. نتایج حاصل از XRD نشان می دهد که نانوساختارهای بدست آمده عاری از هرگونه ناخالصی و فاز اضافی هستند. تصاویر SEM نیز بیانگر آن است که افزودن آلاینده کلسیم سبب کاهش اندازه نانوساختارهای اکسید روی می گردد. طیف EDS نشان می دهد عنصرکلسیم در نمونه آلاییده شده موجود است. به منظور بررسی ویژگی های نوری نانوساختارها از طیف نگاری فوتولمینسانس (PL) استفاده گردید. نتایج حاصل از آزمایش PL دلالت بر کاهش انرژی شکاف باند نانوساختارهای اکسید روی در طی فرآیند آلایش با کلسیم دارد. همچنین نتایج حاصل از رامان و XRD حاکی از کاهش کریستالینگی نانوساختارها با افزایش میزان غلظت آلاینده کلسیم می باشند. نتایج اندازه گیری جریان نوری حسگر ماورابنفش در حالت گذرا بیانگر آنست که جریان در معرض روشنایی بسیار بیشتر از جریان در حالت تاریکی است، آشکارساز حساسیت خوبی دارد و همچنین با افزودن ناخالصی کلسیم حساسیت آن افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: آشکارساز نوری، فرابنفش، نانوساختار، اکسید روی، سل-ژل، جریان نوری.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۹/۱

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۶/۱۰

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر زهیر کردرستمی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران – شیراز – بلوار مدرس –دانشگاه صنعتی شیراز – دانشکده مهندسی برق- الکترونیک

۱- مقدمه

در طول دهه پیش، محققان دریافته اند که نانو ساختارهای نیمه رسانا نقش مهمی در توسعه فناوری نانو ایفا می کنند. در حقیقت این مواد، جذابترین بخش از نانو مواد هستند که کاربرد آنها در ساخت انواع سنسورهای گازی، زیست حسگرها، ترانزیستورهای اثر میدانی، دیودهای گسیل نور (LED)، سلولهای خورشیدی و نانو ژنراتورها می باشد [۱-۴]. نانوساختارهای نیمه رسانا به جهت خواص منحصر به فرد نوری که از خود نشان می دهند، امروزه موضوع تحقیقات بسیاری می باشند و از این رو با توسعه و تحقیق در این زمینه، قطعات اپتوالکترونیکی متعددی ساخته شده است. این کاربردها و خواص جدید نانو ساختارهای نیمه رسانا توجه جوامع علمی و صنعتی را به خود جلب کرده است. ویژگی مهم این دسته از مواد این است که رسانایی آنها با برانگیختگی نوری، تغییر دما و میزان افزایش ناخالصی به نحو قابل ملاحظه ای تغییر می کند. از ویژگی های بسیار مهم مواد نیمه رسانا، کاربرد های اپتو الکترونیکی است. یکی از مهمترین مشخصات این مواد که آنها را از فلزات و عایق ها متمایز کرده است، اندازه گاف انرژی (Eg) آنهاست. این ویژگی طول موج هایی از نور را مشخص می کند که توسط نیمه رساناها جذب یا گسیل می شوند. به دلیل اینکه گاف های انرژی مواد نیمه رسانا نسبتا متنوع می باشند، می توان توسط آنها دیودهای انتشار دهنده نور و لیزرهایی با طول موج هایی در محدوده مادون قرمز (IR) تا ماورای بنفش (UV) به وجود آورد. ویژگی های الکترونیکی و نوری مواد نیمه رسانا توسط ناخالصی هایی که به آنها افزوده می شود به طور قابل ملاحظه ای تحت تأثیر قرار می گیرد. نانوساختارهای یک بعدی و دو بعدی به جهت نسبت سطح به حجم بالا می توانند گزینه های مناسبی برای به کارگیری در افزاره های نوری باشند. در نانو ساختارهای نیمه رسانا، نسبت مساحت سطح به حجم (حدود $۱۰^{۸}\ m^{-۱}$ برای نانوسیم ها) بسیار بیشتر از این نسبت در مواد توده (حدود $۱۰^{۲}\ m^{-۱}$) می باشد [۵]. ابعاد نانو و نسبت سطح به حجم بالا به دلیل ایجاد نقص های سطحی و همچنین تحریک ترازهای سطحی منجر به حساسیتی شدید در ادوات ساخته شده با نانوساختارها می گردد.

اکسیدروی به سبب گاف انرژی زیاد (حدود۳/۲۳ eV در دمای اتاق) و انرژی اکسایتونی بالا (حدود ۶۰ meV در دمای اتاق) یک ماده عالی برای ساخت افزاره های اپتیکی که با نور فرا بنفش و آبی کار می کنند می باشد. اکسید روی این قابلیت را نشان داده که می تواند به شکل نانوساختارهایی متنوعی در بیاید.

نانو ساختارهای اکسید روی دارای ویژگی‌های الکتریکی و نوری منحصر به فردی از جمله تنوع در رسانایی الکتریکی، شفافیت بالا، پیزوالکتریسیته، انرژی شکاف باند بزرگ، خاصیت فرومغناطیسی در دمای اتاق و حساسیت شیمیایی بالا می‌باشند [۶، ۷]. این خواص باعث شده تا در سالیان اخیر مطالعات گسترده‌ای بر روی اکسید روی انجام شود که منجر به تولید نانو ساختارها، افزاره‌های نوری و الکترونیکی گوناگون از نانوساختارهای اکسید روی گردیده است [۹، ۱۰].

یکی از روش‌های تغییر خواص نوری و الکتریکی یک نیمه‌رسانا، آلایش آن با ناخالصی‌های مختلف است [۸]. دلایل متعددی برای آلایش نانو ساختارهای اکسید روی وجود دارد. اولاً اکسید روی داری گاف انرژی بزرگی در میان نیمه هادی‌ها می‌باشد، از این‌رو ناخالصی‌ها می‌توانند چندین باند انرژی میانی بین باند ظرفیت و باند هدایت تشکیل دهند که هر کدام از این ترازهای میانی می‌توانند منبعی برای گسیل فوتون با انرژی‌های مختلف باشند. ثانیاً اکسید روی ذاتاً نیمه هادی نوع n می‌باشد که این ویژگی سبب می‌شود که کارآیی نانو ساختارهای حاصل از آن محدود باشد. از این‌رو آلایش اکسید روی و تغییر انرژی شکاف باند آن از اهمیت خاصی برخوردار می‌شود [۱۱].

در مقاله حاضر تغییرات حاصله در مورفولوژی و خواص ساختاری اکسید روی ناشی از افزودن ناخالصی کلسیم بررسی گردیده است. این مقاله به ساخت یک حسگر نوری ماورابنفش با استفاده از نانو ساختارهای اکسید روی می پردازد و تاثیر تغییر غلظت آلاینده کلسیم بر خواص نوری آن را مورد مطالعه قرار می دهد.

۲- روش ساخت و آلایش نانوساختارها

در این مقاله نانوساختارهای اکسید روی خالص و آلاییده با کلسیم ۲٪، ۴٪ و ۶٪ با استفاده از روش سل-ژل رشد داده شده اند. برای این منظور از پودر نیترات روی ($Zn(NO_3)_2$)، پودر نیترات کلسیم ($Ca(NO_3)_2$)، ژلاتین و آب دو بار یونیزه شده استفاده گردیده است.

جهت تهیه نانوساختارهای اکسید روی آلاییده با کلسیم، ابتدا ژلاتین در دمای ۶۰°C به صورت تدریجی به بشر حاوی آب مقطر مستقر در کریستالیزور حاوی روغن سیلیکون اضافه گردید و این محلول حدود ۱ ساعت به هم زده شد. زمانی که دما نزدیک به ۸۰°C رسید، نیترات روی و نیترات کلسیم به این ظرف اضافه گردید و دما در ۸۰°C ثابت نگه داشته شد.

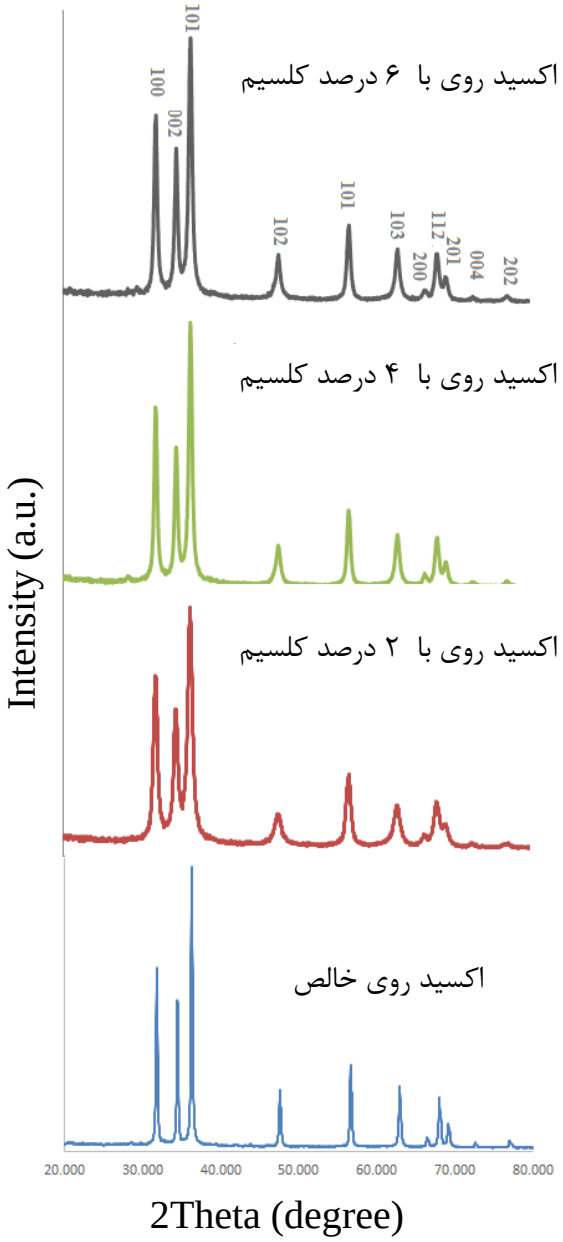
بعد از گذشت حدود ۴ ساعت یک ژل کاراملی رنگ ایجاد گردید. سپس این ژل در کوره به مدت ۵/۵ ساعت در دمای ۵۵۰°C حرارت داده شد. در انتهای این فرآیند پودر بسیار نرم ZnO تشکیل گردید.

۳- مشخصه‌یابی نانوساختارهای آلایش یافته

پس از انجام مراحل ساخت، پودرهای بدست آمده توسط دستگاه‌های شناسایی مختلفی مانند میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، الگوی پراش اشعه ایکس (XRD)، فوتولمینسانس (PL)، رامان و EDS مورد مطالعه قرار گرفتند. همچنین جریان نوری (photocurrent) آشکارساز ساخته شده اندازه گیری گردیده است.

۳-۱- جنس و اندازه نانوساختارها

ساختار کریستالی نانوساختارهای اکسید روی بـه دسـت آمـده توسـط آنالیز پراش پرتو ایکـس (XRD, Phillips PW3040/60) دارای آنـد مسی و طول موج تحریک Å ۱/۵۴۰۶، مـورد مطالعـه و بررسـی قـرار گرفت. طیف XRD نانو ساختارهای اکسید روی خالص و آلاییده شده با کلسیم در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱): طیف (XRD) اکسید روی خالص و با درصدهای مختلف ناخالصی کلسیم

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، پیک‌های پراشـی ایجـاد شده کاملاً با موقعیت پیک اکسید روی مطابقت دارند و هیچگونه پیک اضافی مربوط به هر گونه ناخالصی و یـا ترکیـب ناخواسـته دیگـری از قبیل اکسید کلسیم و غیره مشاهده نمی شود.

موقعیت پیک‌های نمونه آلایش یافته با کلسیم نسبت به نمونه خـالص دارای جابجایی به سمت زوایای کوچکتر است. این جابجـایی ناشـی از شعاع های یونی متفاوت یون های روی و کلسیم پدیـد مـی آیـد و بـه دلیل جایگزینی بعضی از یون های Zn^{2+} با Ca^{2+} در هر ترکیـب ایجـاد می شود. اتم های ناخالصی با شعاع های یونی متفاوت نسبت بـه Zn^{2+} در شبکه بلوری اکسید روی جایگزین می شوند، از این رو جابجایی در زوایای پیکها مشـاهده مـی شـود. شـعاع یـونی Ca^{2+} (۱ آنگسـتروم) بزرگتر از شعاع یونی Zn^{2+} (۰/۷۴ آنگستروم) است. بنابراین آلایش بـا Ca سبب تغییر تدریجی در زاویه پیک به سمت زوایای کـوچکتر مـی گردد [۳].

همچنین در طی فرایند آلایش FWHM پیک ها نیـز نسـبت بـه نـوع خالص افزایش یافته است، که ایـن نشـان دهنـده ی کـاهش کیفیـت کریستالی نانوذرات اکسیدروی آلاییده شده نسـبت بـه نمونـه خـالص می باشند. متوسط سایز کریستالی نانوذرات نیز به وسیله ی استفاده از رابطه شرر، بصورت ذیل اندازه گیری می شود:

$$D=k\lambda/(\beta_{hkl}\cos\theta) \qquad (۱)$$

در ایـن معادلـه k ضـریب شـکل، β_{hkl} پهنـای پیـک در نصـف شـدت ماکزیمم ، λ طول موج تشعشع (در اینجا برابر با Å ۱/۵۴۰۶)، θ زاویه براگ و D متوسط سایز کریستال می باشد. مشـاهده مـی گـردد کـه پهنای پیک ها در نمونه های آلاییده شده بیشتر از نمونه خالص اسـت و از این رو و با توجه به معادله ی ۱ می توان نتیجه گرفت کـه فرآینـد آلایش منجر به کاهش اندازه کریستال ذرات نسبت به نمونه خالص می گردد.

به این ترتیب افزایش پهنای پیک نمونه های آلاییده شده بـا کلسـیم نسبت به نمونه خالص، بیانگر کاهش اندازه نانوساختارهای اکسید روی در طی آلایش با کلسیم است.

همچنین با افزایش میزان ناخالصی، اندازه ذرات کوچکتر مـی گـردد و می توان نتیجه گرفـت کـه کـاهش انـدازه ذرات رابطـه مسـتقیمی بـا افزایش غلظت آلاینده کلسـیم در سـاختار اکسـید روی آلاییـده شـده دارند. طبق نظریه گـروه فضـایی کـه ویژگـی‌هـای هندسـی و تقـارنی ساختار کریستالی مواد را تشریح می‌کند، اکسـید روی تـک کریسـتال متعلق به گروه فضایی C_{46V} با ۲ واحد فرمولی برای سلول یکه و هشت سری حالت‌های فونونی نوری در نقطه Γ از ناحیه بریلیونی است.

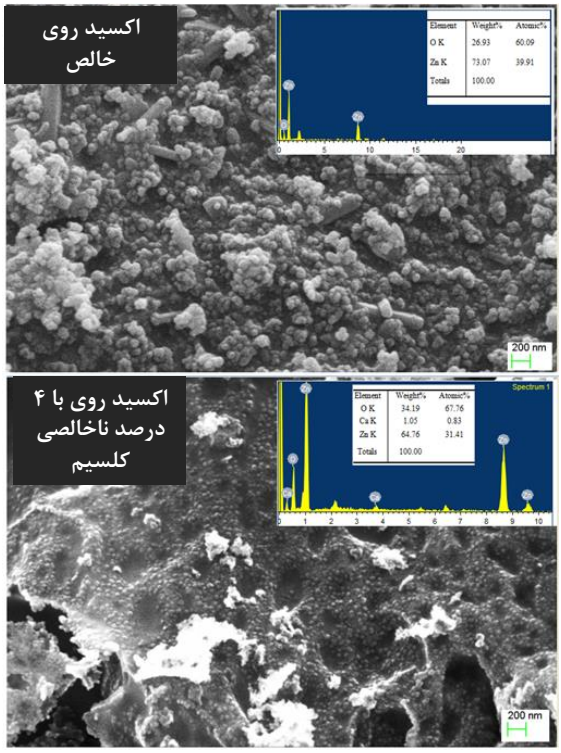
۳-۲- تصاویر SEM و اندازه نانوساختارها

نانوساختارهای اکسید روی حاصله توسط میکروسکوپ گسیل میدانی الکترونی روبشی (SEM, Hitachi S4160) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. ابتدا نانوساختارهای اکسید روی خالص و آلاییده شده با ۴٪ کلسیم مشخصه یابی شده است.

تصویر حاصل از عکسبرداری SEM این نانوساختارهای در شکل ۲ نشان داده شده است. این تصاویر نشان می دهند که اندازه نانوساختارهای آلاییده شده با کلسیم نسبت به نمونه خالص کاهش یافته است.

علاوه بر این، تصاویر EDS ضمیمه شده در بالای تصاویر SEM ، بخوبی نشان می دهد که عنصرکلسیم در نمونه آلاییده شده موجود است.

مشاهده این عنصر در طیف EDS نمونه آلاییده شده و عدم مشاهده هرگونه پیک اضافی در طیف XRD این نمونه در کنار جابجایی و تغییر شدت پیک ها بخوبی بیانگر نفوذ و جانشینی کلسیم در ساختار اکسید روی می باشد.



شکل (۲): تصویر SEM و آنالیز EDS نانو ساختارهای اکسید روی الف) خالص و ب) آلاییده با ۴ درصد کلسیم

در مرحله بعد تصویر SEM نانوساختارهای آلاییده شده با ۲ درصد و ۶ درصد کلسیم بررسی شده است. تصویر حاصل از عکسبرداری SEM این نانوساختارها در شکل ۳ نشان داده شده است.

این تصاویر مجددا تایید می کنند که که اندازه نانوساختارهای آلاییده شده در طی فرآیند آلایش با کلسیم نسبت به اکسید روی خالص کاهش یافته است.

شکل ۳ همچنین نشان می دهد که در طی فرآیند آلایش با کلسیم، با افزایش میزان ناخالصی، اندازه نانوساختارهای آلاییده شده کاهش یافته است. این نتیجه با نتیجه حاصل از XRD نشان داده شده در شکل ۱ کاملا مطابقت دارد.

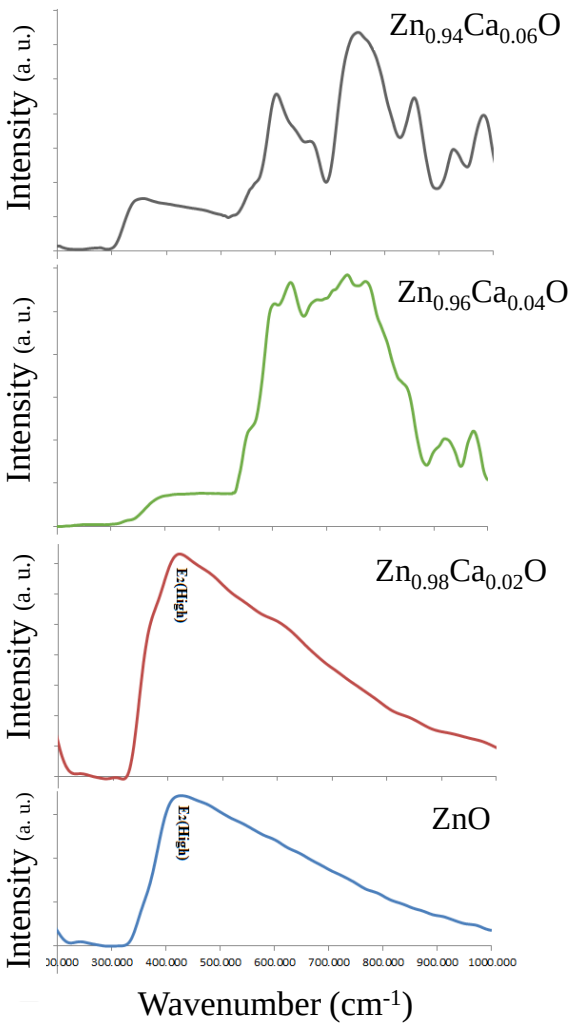
شکل (۳): تصویر SEM نانو ساختارهای اکسید روی آلاییده با الف) ۲٪ و ب) ۶٪ کلسیم

۳-۳- ساختار کریستالی- مولکولی

برای مطالعه خواص نوری و به منظور بررسی ساختار کریستالی نانوساختارهای اکسید روی و اطمینان از تشکیل مولکول های ترکیبی روی، کلسیم و اکسیژن ($Zn_{(1-x)}Ca_xO$)، آنالیز رامان در دمای اتاق با استفاده از لیزر Nd: YLF و طول موج تحریک 532 nm صورت گرفت.

طیف اندازه گیری شده رامان برای درصد های مختلف ناخالصی در شکل ۴ نشان داده شده است. همانگونه که می توان مشاهده نمود، پیک قوی E_2 در حدود $437cm^{-1}$ نمونه ها یک پیک مشخص برای شبکه شش وجهی ZnO می باشد.

نتایج اندازه گیری رامان نشان می دهد که پیک E_2(high) در نمونه خالص و با ناخالصی ۲ ٪ کلسیم بسیار قوی می باشد ولی در ناخالصی های بالا (۴٪ و ۶٪) ضعیف تر می گردد. وجود حالت E_2(high) در طیف رامان اکسید روی نشان دهنده ساختار کریستالی شش وجهی منتظم اکسید روی است. این پیک درهمه نانو ساختارها وجود دارد، ولی با افزایش میزان ناخالصی این پیک کاهش و بطور کلی زوال می یابد به طوری که می توان گفت نمونه های آلاییده شده از کریستالینگی کمتری نسبت به نمونه خالص برخوردارند.

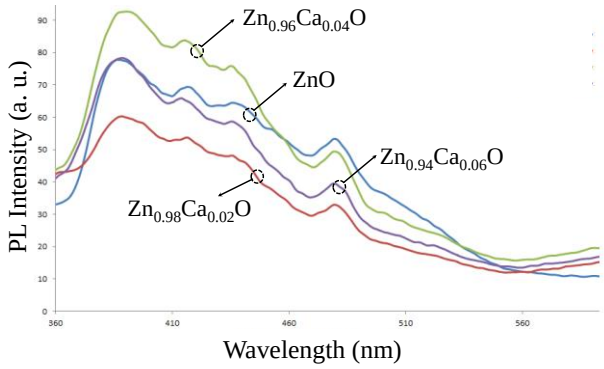


شکل (۴): تصاویر آنالیز Raman مربوط به نمونه های اکسید روی خالص و آلاییده با ۲٪، ۴٪ و ۶٪ کلسیم

۳-۴- ساختار کریستالی- مولکولی

جهت بررسی شکاف باند نمونه های ساخته شده تحت آزمایش فوتولمینسانس (PL) قرار داده شده اند. آنالیز PL در دمای اتاق با استفاده از لامپ زنون به عنوان منبع تابش و طول موج تحریک ۳۴۰ nm برای مطالعه طیف گسیلی نانو ساختارهای اکسید روی با ناخالصی کلسیم صورت گرفت (LS55 Perklin Elmer). شکل ۵ طیف PL نانو ساختارهای اکسید روی خالص و با آلایش را نشان می‌دهد.

همچنین موقعیت پیک‌ها روی شکل ۵ و انرژی شکاف باند متناظر آنها برای نمونه‌های اکسید روی خالص و با ناخالصی کلسیم در جدول ۱ آورده شده است.



شکل (۵): طیف فوتولمینسانس مربوط به نمونه‌های اکسید روی خالص و آلاییده با۲٪، ۴٪ و ۶ ٪ کلسیم

جدول (۱): مشخصات پیک‌های PL نانو ساختارهای اکسید روی خالص و آلاییده

ترکیب	انرژی شکاف باند	UV
ZnO	۳/۲۱۳ eV	۳۸۶/۵ nm
$Zn_{0/98}Ca_{0/02}O$	۳/۲۰۹ eV	۳۸۸ nm
$Zn_{0/96}Ca_{0/04}O$	۳/۱۹۶ eV	۳۸۸/۵ nm
$Zn_{0/94}Ca_{0/06}O$	۳/۱۸۴ eV	۳۹۰ nm

همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد نمونه‌های آلاییده شده در مقایسه با نمونه بدون آلایش داری گاف انرژی کوچکتری می باشند.

اکسید روی تمایل به تشکیل نواقص ذاتی Interstitial مثل Zn میان شبکه‌ای (Zn_i) و نواقص از نوع Vacancy مثل جای خالی اکسیژن (O_v) دارد. این نواقص از طریق گسیل های مختلف بر طیف PL اکسید روی تأثیرگذار است.

اصولا اکسید روی توده‌ای دارای دو طیف گسیلی است. گسیل اول، گسیل UV است که به علت بازترکیب تابشی اکسایتون‌های آزاد رخ می‌دهد. گسیل دوم، گسیل سطح عمیق (DLE) نامیده می‌شود و به گسیل نزدیک لبه نوار (NBE) نیز معروف است و به نوعی بیانگر میزان انرژی شکاف باند نیمه‌رسانا نیز می‌باشد، که با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

$$E_g=hc/\lambda \qquad (۲)$$

که در آن h ثابت پلانک، c سرعت نور، λ طول موج و E_g گاف انرژی می باشد.

۴- آشکارساز فرابنفش ساخته شده

جهت ساخت حسگر نوری از نانوپودرهای تولید شده، از ترکیب نانوپودرهای حاصله با کیتوسان استفاده شده است. کیتوسان یک پلیمر رساناست و مشتقی از گلوکان با واحدهای تکرار شونده کیتین ($C_6H_{11}NO_4$) است که از جوشاندن کیتین در محلول پتاس (KOH) با غلظت مشخص به دست می آید.

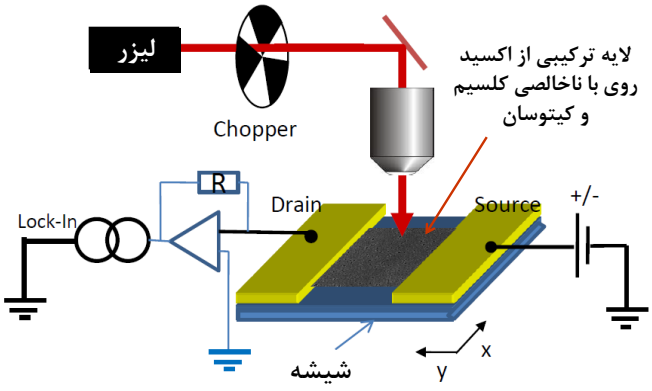
در این روش مقدار ۰/۰۱ گرم از هر نانوپودر را با مقدار ۰/۴ سی سی از محلول کیتوسان رقیق شده با سدیم هیدروکسید (NaOH) و آب دو بار یونیزه شده (۰/۵ w/v٪) ترکیب کرده سپس به مدت ۸ دقیقه درون حمام التراسونیک قرار می گیرد تا خوب ترکیب شوند، سپس بر روی بسترهای شیشه ای شفاف ریخته می شوند.

در انتها نیز بر روی آنها الکترودگذاری می گردد [۳]. آشکار ساز ساخته شده در قسمتی از شکل ۶ مربوط به اندازه گیری جریان نوری نشان داده شده است.

۵- اندازه گیری جریان دهی نوری

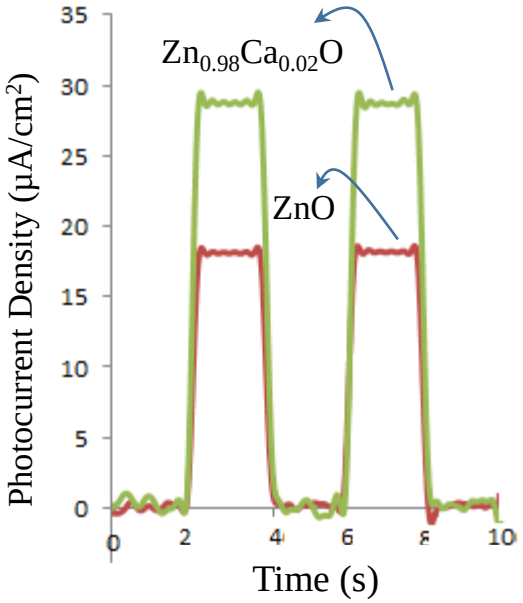
در این قسمت با استفاده از نمونه های لایه نشانی شده (نمونه خالص و نمونه با ناخالصی ۲ درصد کلسیم) آشکارساز نوری فرابنفش ساخته شده است و جریان نوری (Photocurrent) آنها اندازه گیری گردیده است.

جریاندهی نوری نمونه های لایه نشانی شده تحت یک منبع نور مرئی با شدت تابش (۱۰۰mW/cm^2) و در ولتاژ تحریک ۲ ولت اندازه گیری گردیده است. شکل ۶، طرز اندازه گیری جریان نوری و نحوه بایاس کردن آشکارساز فرابنفش نشان داده شده است.



شکل (۶): طرز اندازه‌گیری جریان نوری و نحوه بایاس کردن آشکارساز فرابنفش

شکل ۷ منحنی جریان نوری حسگر نوری فرا بنفش ساخته شده تحت شدت ثابت ۱۰۰ mW/cm^2 را نشان می دهد. محور عمودی مقدار چگالی جریان بر حسب μA/cm^2 را نشان می دهد. با توجه به جریان های اندازه گیری شده مشخص است که مقدار جریان نوری در حالت تاریک بسیار اندک می باشد در حالی که در معرض پرتو فرا بنفش جریان برای اکسید وری خالص حدود ۱۸ μA/cm^2 می باشد. این مقدار جریان برای نمونه آلاییده شده با کلسیم به حدود ۲۹ μA/cm^2 رسیده است که نشان می دهد آشکار ساز ساخته شده دارای حساسیت مناسبی می باشد. همانگونه که مشاهده می گردد حساسیت به اندازه ۳۹/۷ ٪ در نمونه‌ی آلاییده شده با کلسیم نسبت به نمونه‌ی خالص افزایش یافته است.



شکل (۷): منحنی جریاندهی نوری حسگر نوری ماورابنفش مبتنی بر نانوساختار اکسیدروی خالص و آلاییده ۲ درصد بر کلسیم تحت شدت ثابت ۱۰۰ mW/cm^2

نتایج این مقاله نشان می دهد که نانوساختارهای ساخته شده دارای ویژگی های مورد نظر بوده است. همچنین حسگر فرابنفش ساخته شده دارای خروجی های مطلوب از جمله نسبت جریان روشن به تاریک بالا می باشد.

۶- نتیجه‌گیری

نانوساختارهای اکسید روی خالص به منظور ساخت آشکارساز نوری فرابنفش رشد داده شد. جهت افزایش حساسیت حسگر فرابنفش ناخالصی کلسیم به نانوساختارها اضافه گردید. کلیه مراحل رشد و افزایش ناخالصی به روش سل-ژل انجام گردیده است. نتایج مشخصه یابی ها نشان داد که نانوساختارهای اکسید روی به درستی شکل گرفته و اتم های کلسیم نیز به خوبی اضافه شده اند و ساختار مولکولی مورد نظر ایجاد گردیده است. اضافه کردن ناخالصی اندازه نانوساختارها را کاهش داده و شکاف باند را کوچکتر نموده است. برای ساخت حسگر فرابنفش، نانوساختارها به همراه کیتوسان به صورت یک لایه روی شیشه قرار گرفت و الکترودگذاری انجام گردید. نتایج اندازه گیری جریان نوری نشان داد که آشکارساز نوری پیشنهادی دارای نسبت

جریان روشن به تاریک بالایی می باشد و با افـزودن ناخالصـی کلسـیم حساسیت آشکارساز نوری افـزایش مـی یابـد. در ای مقالـه یـک روش ارزان با کیفیت بالا و نتایج مطلوب پیشنهاد گردیده است. مراحل ذکـر شده در این مقاله برای ساخت حسگرهای نوری مشـابه قابـل اسـتفاده است.

مراجع

[۱] سعید علیائی، احمد محب زاده، "طراحی حسگر زیستی کریستال فوتونی مبتنی بر نانوتشدیدگر"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۳ شماره ۴، صفحه ۸۱-۸۸، سال ۱۳۹۵.

[۲] محمد جواد کیانی، مسلم زارع، "طراحی وساخت حسگراکسید قلع با حساسیت بالا به روش سل ژل وتکنیک لایه نشانی چرخشی"، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۱، شماره ۲، صفحه ۴۳-۴۸، سال ۱۳۹۳.

[۳] لیدا احمدخانی، ربابه عباسی ، "بهبود چگالی جریان و افزایش کارایی سلول خورشیدی پلیمری $HT:PCBM_۳P$ با استفاده از نانومیله اکسید روی"، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۷، شماره ۳، صفحه :۳۳۷-۳۴۳، سال ۱۳۹۶.

[۴] محمدجواد کیانی ، علیرضا صالحی، " لایه نشانی نازک سنسور گازی مبتنی برنیمه هادی اکسید قلع با روش غوطه وری، نشریه مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۳، شماره ۴، صفحه ۶۵-۷۰، سال ۱۳۹۳.

[۵] عبدالرحمان حسینی فر، " تثبیت آنزیم گلوکز اکسیداز بر روی نانو ساختارگرافن جهت استفاده در بیوسنسور قند خون"، مجلّه دانشگاه علوم پزشکی اجا، جلد ۱۰، شماره ،۴ صفحه ۳۲۹-۳۳۸، سال ۱۳۹۱.

[۶] علی ریحانی، محمدرضا خانلری، وحید واحدی، "خواص اپتیکی و ساختاری میله‌های شش گوشی اکسید روی رشد داده شده به روش نشست بخار شیمیایی"، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۴، شماره ۲، صفحه۱۴۸-۱۵۳، سال ۱۳۹۳.

[۷] سعید صفا، میلاد اصغری، سعادت مختاری، روح اله عظیمی راد، "بهبود عملکرد حسگر گازی نانومیله های اکسیدروی کپسوله شده با یک لایه اکسیدروی آلاییده با ناخالصی کروم در برابر بخار اتانول"، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد ۱۷، شماره ۴، صفحه ۵۶۱-۵۷۱، سال ۱۳۹۶.

[۸] محمدمهدی خاتمی، مجید شالچیان، محمدرضا کلاهدوز، "تحلیل و بهبود جریان حالت خاموش نانو ماسفت کرنشی دومحوره سیلیکانی نوع p با کنترل چگالی ناخالصی زیرلایه مجازی"، مجله مهندسی برق و الکترونیک ایران، جلد ۱۳، شماره ۴، صفحه ۴۱-۵۰، سال ۱۳۹۵.

[9] Z. H. Wang, H. C. Yu, C. C. Yang, H. T. Yeh, and Y. K. Su, "Low-Frequency Noise Performance of Al-Doped ZnO Nanorod Photosensors by a Low-Temperature Hydrothermal Method", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 64, pp. 3206-3212, 2017.

[10] S. J. Young and Y. H. Liu, "High Response of Ultraviolet Photodetector Based on Al-Doped ZnO Nanosheet Structures", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 23, pp. 1-5, 2017.

Saedi. A, Yousefi. R, Jamali-Sheini. F, Khorsand Zak. A, Cheraghizade. M, Mahmoudian. M.R, Baghchesara. M.A and Shirmardi Dezaki. A, "XPS studies and photocurrent applications of alkali-metals-doped ZnO nanoparticles under visible illumination conditions", Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures, Vol. 79, pp. 113–118, 2016.