



بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و  
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس  
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،  
دانشگاه خوارزمی،  
تهران، ایران.  
۱۶-۱۵ بهمن ۱۳۹۸



## بهینه سازی عملکرد حسگرهای اپتیکی فرابنفش با استفاده از نانوذرات اکسید سیلیسیوم

مریم نصرافهانی، دکتر شهاب نوروزیان و دکتر بیژن غفاری

دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

چکیده - در این پژوهش نانوذرات اکسید سیلیسیوم بر روی لایه نازک اکسید روی به منظور بهینه سازی آشکار سازهای نوری فرابنفش نوع MSM، رسوب داده شده اند. نانوذرات اکسید سیلیسیوم با اندازه بین ۲۰ تا ۳۰ نانومتر به روش غوطه وری بر روی لایه نازک اکسید روی رسوب داده شده است. جهت ساختارسنجی نمونه ها از آزمایش هایی مانند طیف سنجی فرابنفش-مرئی (UV-vis) و ساختارسنجی میکروسکوپ الکترونی استفاده شده است. نتایج حاکی از افزایش جذب و کارایی بهتر حسگرهای اپتیکی فرابنفش بوده که می تواند در طراحی آشکار سازهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه- آشکار ساز فرابنفش، اکسیدروی، اکسیدسیلیکون، جذب نوری، نانوذره.

### Optimization of UV photodetectors, utilising SiO<sub>2</sub> nano-particles

Maryam Nasr-Esfahany, Shahab Norouzian Alam \*and Bijan Ghafary\*\*

Physics Department, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

\*sh.norouzian@gmail.com

\*\* ghafary@iust.ac.ir

Abstract- In this work, SiO<sub>2</sub> nanoparticles have been used in to modify the surface structure, in order to optimize the functionality of the ZnO based MSM UV photodetectors. The diameter of SiO<sub>2</sub> nanoparticles were are 20-30 nanometers and deposited on ZnO thin film using scooping transfer technique. For characterization of the samples UV-Vis spectroscopy and SEM were used. the results indicated that the absorption and efficiency of optical UV sensor increases. These results can be very useful for design and utilization of industrial photodetectors.

Keywords; Nanoparticles, Optical Absorption, Silicon Oxide, UV Photodetector, Zinc Oxide,

## مقدمه

حسگر اپتیکی، قطعه الکترونیکی است که نور یا تغییر نور یا اشعه نور را به یک سیگنال الکتریکی تبدیل می‌کند [۱].

برای ساخت حسگرهای نوری فرابنفش نیاز به مواد مناسب داریم که محدوده حساسیت به نور و نوار انرژی آنها متناسب با نور فرودی فرابنفش باشد، موادی نظیر اکسید روی.

اکسید روی به عنوان یک نیمه رسانای شفاف به نور مرئی و پرکاربرد، یکی از مهم‌ترین نیمه رساناهای ترکیب II و VI است که با گاف انرژی مستقیم حدود  $3.37 \text{ eV}$  در دمای اتاق و با انرژی بستگی اکسایتون  $60 \text{ meV}$ ، برای استفاده در نسل جدید قطعات اپتوالکترونیکی مناسب است [۲]. شفافیت بالا در بازه‌ی طول موج های مرئی، اکسیدروی را به منظور استفاده در آشکارکنندگی در محدوده فرابنفش با اهمیت کرده است [۳].

برای بهبود کارایی حسگرهای اپتیکی روش‌های متعددی وجود دارد؛ بعنوان مثال افزودن ناخالصی به ماده پیش فرض [۴]. موارد دیگری نظیر افزودن آلومینیوم به اکسید روی یک تکنیک برای بهبود خواص اپتوالکتریکی لایه های نازک است. درواقع با افزایش ناخالصی عبوردهی لایه نازک و درنهایت جذب بیشتر فوتون اتفاق می‌افتد [۵]، [۴].

راه دیگر برای بهبود کارایی حسگرهای فرابنفش استفاده از فیلترهای اپتیکی است. درواقع با استفاده از لایه های ضدبازتاب (AR) می‌توان کاهش بازتاب سطحی، افزایش بازتاب داخلی و افزایش جذب فوتون در ناحیه UV داشت. لایه AR مبتنی بر لایه نازک فقط در طول موج های خاص بسته به ضخامت و طول موج لایه می‌تواند باشد [۶]. زمانی که ابعاد نانوساختار کوچکتر از طول موج برخوردی باشد نور فرودی جذب شده و فرایند انعکاس چندگانه

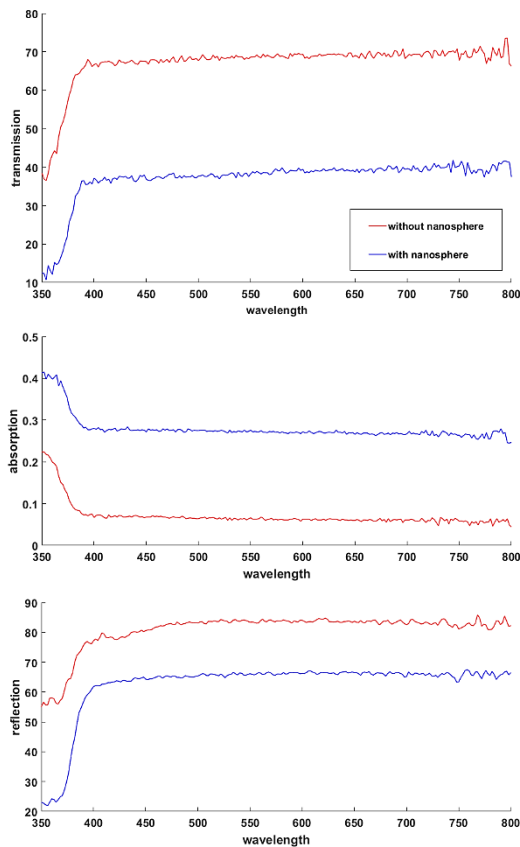
داخلی رخ می‌دهد و نهایتا جذب نور با استفاده از سطح فتودیود افزایش می‌یابد [۷].

یکی دیگر از تکنیک هایی که برای بهبود کارایی حسگرهای فرابنفش استفاده می‌شود، ایجاد تغییرات ساختاری در سطح لایه است. استفاده از سطوح مختلف مانند: کروی یا هرمی یا مکعبی در مقایسه با زمانی که از سطوح تخت استفاده شده، کارایی حسگر را بهبود می بخشد [۶].

روش دیگر استفاده از نقطه های کوانتومی می‌باشد (QD). به طور کلی نقطه های کوانتومی به نانوکریستال هایی گفته می شود که رفتار کوانتومی از خود بروز می‌دهند. زمانی که از پوشش هایی با QD استفاده میشود، شاهد افزایش بیشتر جذب نور UV هستیم [۸].

## مواد و روش

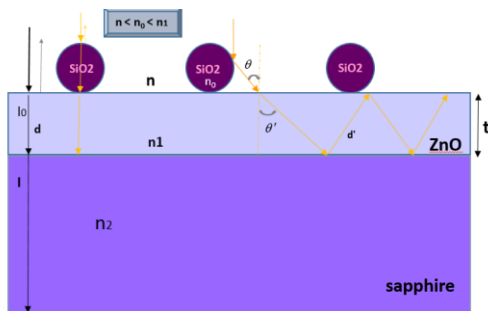
در ابتدا لایه نازک اکسید روی (ZnO) به ضخامت  $300 \text{ nm}$  نانومتر به روش کندوپاش مگنترونی بر روی زیرلایه اکسید آلومینیوم لایه نشانی شده است. لایه نشانی در دمای محیط و با توان  $40 \text{ W}$  انجام شده است. فیلم های تهیه شده در مدت زمان ثابت  $60$  دقیقه و در دماهای  $400$ ،  $450$  و  $500$  درجه سانتی‌گراد به منظور بهبود سطح و خواص نوری اکسید روی در کوره الکتریکی در محیط هوا بازپخت شده اند. پس از آن با استفاده از نانوذرات اکسید سیلیسیوم به اندازه  $20$  تا  $30$  نانومتر به روش غوطه وری بر روی ZnO نشاندن شده است. در ابتدا به منظور مشاهده تشکیل لایه نانوذرات، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شده است. بعد از آن به منظور بررسی اثر نانوذرات بر عملکرد آشکارساز در قبل و بعد از رسوب نانوذرات، طیف جذبی و عبوری و بازتابی لایه در نواحی طول موج های مرئی و فرابنفش به روش طیف سنجی اندازه گیری شده است. و آزمایش جریان ولتاژ (I-V) برای بررسی جریان نوری و



شکل ۲: طیف عبوری، جذب و بازتابی در قبل و بعد از نانوذرات اکسیدسیلیسیوم

اگر  $n_1 > n_2$  به ترتیب ضریب شکست  $\text{SiO}_2$  با مقدار  $1/48$  و  $\text{ZnO}$  با مقدار  $1/73$  باشد؛ بنا بر قانون اسنل:

$$n_1 \sin \theta' = n_2 \sin \theta \quad (1)$$



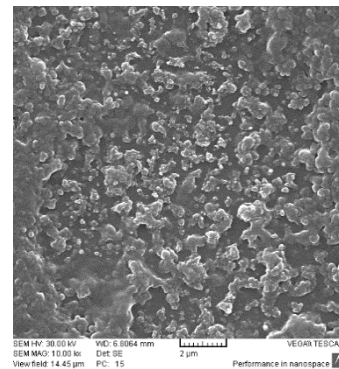
شکل ۳: شماتیکی از نانوذرات  $\text{SiO}_2$  بر روی لایه نازک  $\text{ZnO}$  و چگونگی نور فرودی بر آنها.

به دلیل بزرگتر بودن ضریب شکست  $\text{ZnO}$  به دلیل  $\sin \theta' > \sin \theta$  در نتیجه  $\theta' > \theta$  است.

جریان تاریک در قبل و بعد از رسوب نانو ذرات انجام شده است.

## نتایج و بحث

در شکل ۱، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مربوط به تشکیل نانوذرات اکسید سیلیسیوم بر روی اکسید روی نشان داده شده است. تصویر SEM نشان می‌دهد که نانوذرات  $\text{SiO}_2$  با اندازه ذرات حدوداً ۲۰ تا ۳۰ نانومتر کنارهم بر روی زیرلایه رسوب کرده اند.



شکل ۱: تصویر SEM از نانوذرات رشد یافته با استفاده از روش غوطه‌وری

ضریب شکست  $\text{SiO}_2$  برابر با  $1/48$  است و ما بین هوا و  $\text{ZnO}$  می‌باشد. به همین دلیل نور فرودی نسبت به زمان عدم وجود نانوکره های  $\text{SiO}_2$  بیشتر وارد  $\text{ZnO}$  شده و در نتیجه جذب نور فرودی در آن افزایش می‌یابد. دلیل دیگر استفاده از نانوذرات  $\text{SiO}_2$ ، کروی شکل بودن آنهاست که باعث تغییر جهت نور شده و نور با زاویه ای کوچکتر از  $90^\circ$  درجه به  $\text{ZnO}$  وارد می‌شود و باعث افزایش طول مسیر نوری درون لایه شده است.

در شکل ۲؛ طیف عبوری، جذب و بازتابی لایه قبل و بعد از انباشت نانوذرات نشان داده شده است که حاکی از افزایش جذب و کاهش انعکاس نور فرودی در بعد از رسوب نانوذرات اکسید سیلیسیوم می‌باشد.

نوری فرابنفش و در نتیجه طراحی نمونه های کاربردی و صنعتی آن ها کمک کند.

طبق رابطه (۲) شدت نور عبور یافته برابر است با:

$$I = I_0 e^{-\alpha t} \quad (2)$$

که  $\alpha$  و  $t$  به ترتیب ضخامت و ثابت جذب ماده است.

بدون حضور نانوکوره های  $\text{SiO}_2$  نور مسیری به طول  $d$  را می پیماید و با حضور نانوکوره ها مسیر طی شده ی نور  $d'$  می باشد. شدت نور عبوری که در مسیر  $d$  طی می شود برابر با:

$$I_1 = I_0 e^{-\alpha d} \quad (3)$$

و شدت نور عبوری که در مسیر  $d'$  طی می شود برابر با:

$$I_2 = I_0 e^{-\alpha d'} \quad (4)$$

طبق شکل (۳) اگر  $d'$  طول مسیر نوری بعد از تغییر زاویه نور و  $d$  طول مسیر نور با زاویه عمود باشد (حالتی که عدم حضور نانوکوره ها می باشد)،  $d' > d$  است، پس  $I_2 > I_1$  است.

بنا بر رابطه ی (۵):

$$A + R + T = 1 \Rightarrow A = 1 - (R + T) \quad (5)$$

نتیجه گرفته می شود که با کاهش انعکاس و عبور نور فرودی میزان جذب و نور منتقل شده به اکسیدروی افزایش یافته است.

## نتیجه گیری

نتایج این پژوهش به خوبی نشان می دهد که با انباشت نانوکوره های اکسید سیلیسیوم بر روی سطح اکسید روی جذب و انعکاس نور فرودی به ترتیب افزایش و کاهش یافته است. این نتایج می تواند به بهبود عملکرد در آشکارسازهای