



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، اکسید روی، اکسید سیلیکون، جذب نوری، نانوذره.

Optimization of UV photodetectors, utilising SiO₂ 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, SiO₂ 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 SiO₂ nanoparticles were 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 eV در دمای اتاق و با انرژی بستگی اکسایتون 60 meV ، برای استفاده در نسل جدید قطعات اپتوالکترونیکی مناسب است [۲]. شفافیت بالا در بازه‌ی طول موج های مرئی، اکسید روی 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

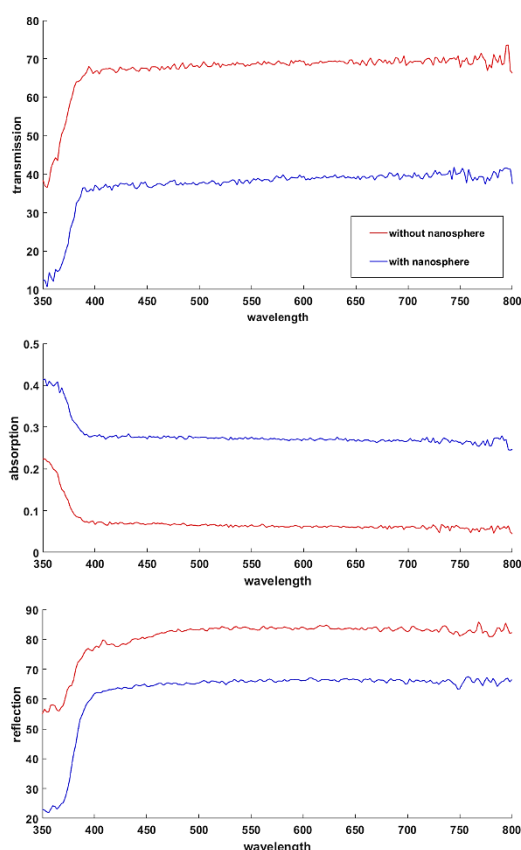
داخلی رخ می‌دهد و نهایتا جذب نور با استفاده از سطح فتودیود افزایش می‌یابد [۷].

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

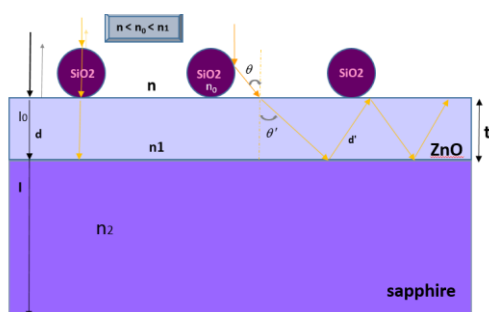
در ابتدا لایه نازک اکسید روی (ZnO) به ضخامت 300 nm نانومتر به روش کندوپاش مگنترونی بر روی زیرلایه اکسید آلومینیوم لایه نشانی شده است. لایه نشانی در دمای محیط و با توان 40 W انجام شده است. فیلم های تهیه شده در مدت زمان ثابت 60 دقیقه و در دماهای 400°C ، 450°C و 500°C درجه سانتی‌گراد به منظور بهبود سطح 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 nm نانومتر به روش غوطه وری بر روی ZnO نشانده 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، جذبی و بازتابی در قبل و بعد از نانوذرات اکسیدسیلیسیوم

اگر $n_1 n_2$ به ترتیب ضریب شکست SiO_2 با مقدار $1/48$ و ZnO با مقدار $1/73$ باشد؛ بنا بر قانون اسنل:

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



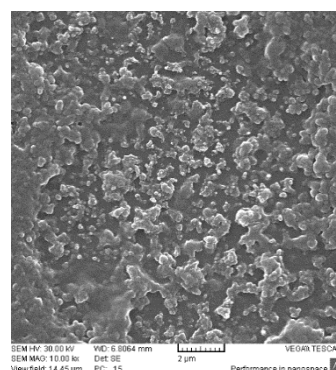
شکل ۳: شماتیکی از نانوذرات SiO_2 بر روی لایه نازک ZnO و چگونگی نور فرودی بر آن‌ها.

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

جریان تاریک در قبل و بعد از رسوب نانوذرات 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 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 SiO_2 برابر با $1/48$ است و ما بین هوا و ZnO می‌باشد. به همین دلیل نور فرودی نسبت به زمان عدم وجود نانوکره های SiO_2 بیشتر وارد ZnO شده و در نتیجه جذب نور فرودی در آن افزایش می‌یابد. دلیل دیگر استفاده از نانوذرات SiO_2 ، کروی شکل بودن آن‌هاست که باعث تغییر جهت نور شده و نور با زاویه ای کوچکتر از 90° درجه به ZnO وارد می‌شود و باعث افزایش طول مسیر نوری درون لایه شده است.

در شکل ۲؛ طیف عبوری، جذبی 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:

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

مرجع ها

که α و t به ترتیب ضخامت و ثابت جذب ماده است.

- [1] T. Zhai et al., "A comprehensive review of one-dimensional metal-oxide nanostructure photodetectors," *Sensors*, vol. 9, no. 8, pp. 6504–6529, 2009.
- [2] C. B. Ong, L. Y. Ng, and A. W. Mohammad, "A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. August 2017, pp. 536–551, 2018.
- [3] M. Pirhashemi, A. Habibi-Yangjeh, and S. Rahim Pouran, "Review on the criteria anticipated for the fabrication of highly efficient ZnO-based visible-light-driven photocatalysts," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 62, pp. 1–25, 2018.
- [4] B. Efaei, S. S. Mousavi, M. H. M. Ara, B. Ghafari, and H. R. Mazandarani, "A method for optimizing the electrical conductivity of Al:ZnO TCO films," *Mater. Lett.*, vol. 195, no. 3, pp. 52–54, 2017.
- [5] N. Boonyopakorn, R. Rangkupan, and T. Osotchan, "Preparation of aluminum doped zinc oxide targets and RF magnetron sputter thin films with various aluminum doping concentrations," *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, vol. 40, no. 4, pp. 824–830, 2018.
- [6] Y. F. Makableh, M. Al-Fandi, M. Khasawneh, and C. J. Tavares, "Comprehensive design analysis of ZnO anti-reflection nanostructures for Si solar cells," *Superlattices Microstruct.*, vol. 124, no. August, pp. 1–9, 2018.
- [7] M. Moayedfar and M. K. Assadi, "Various types of anti-reflective coatings (ARCS) Based on the layer composition and surface topography: A review," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 53, no. 2, pp. 187–205, 2018.
- [8] J.-I. Kang et al., "Enhanced UV absorption of GaN photodiodes with a ZnO quantum dot coating layer," *Opt. Express*, vol. 26, no. 7, p. 8296, 2018.

بدون حضور نانوکوره های 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