بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

# بررسی اثر فوتورسانایی در نانوسیم های اکسید مس (CuO) تهیه شده به روش اکسایش حرارتی

منیره جعفری، حسین عشقی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

**چکیده – نانوسیم‌های اکسید مس به روش اکسایش حرارتی در حضور هوا بر روی ورقه مس به دو شیوه پیوسته و پلکانی (نمونه های *C*۴۵۶ و *S*۴۵۶) در بازه دمایی *C* °۴۰۰-۶۰۰ تهیه شده‌اند. دریافتیم نانوسیم‌ها به صورت عمودی بر روی ورقه مسی تشکیل شده اند. در بین این نمونه ها نمونه *C*۴۵۶ از شرایط بهینه اپتیکی (بازتاب کمتر و گاف نواری کوچکتر) برخوردار است. در این نمونه نانوسیم‌ها دارای قطر تقریبا *nm*۱۰۰ و طولی در گستره ۲- *μm* ۶/۵ هستند. اثر فوتورسانایی با استفاده از نور *LED* قرمز در این نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که نمونه *C*۴۵۶ از حساسیت نوری بیشتری در مقایسه با *S*۴۵۶ برخوردار است.**

کلید واژه ها: اثر فوتورسانش، اکسایش حرارتی، اکسیدمس، نانوسیم‌ها.

# A study on photoconductivity effect in CuO nanowires prepared by thermal oxidation route

Monireh Jafari; Hosein Eshghi

Department of Physics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Abstract- Cupric oxide nanowires were prepared by thermal oxidation method on Cu-foil substrate two annealing manners, continuous and steps (C456 and S456), in the temperature range of 400-600 °C in the air atmosphere. We found that nanowires are vertically grown on Cu-foil. Among these samples C456 has the optimum optical conditions (lower reflectance and smaller band gap). In this sample the diameter of nanowires is about 100 nm and their length distribution between 2-6.5 μm. The photoconductivity effect was investigated in these samples using a red LED. It was found that C456 has a higher sensitivity compared to S456.

Keywords: CuO, Nanowires, Thermal oxidation, Photoconductivity effect.



این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]

## ۱- مقدمه

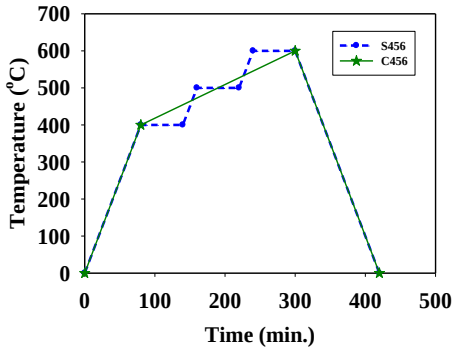
CuO یک نیمرسانای نوع p با گاف نواری مستقیم ۲/۱eV- ۱/۲ است [۱]. آشکارسازهای نوری دستگاه های مهمی هستند که می توانند در سیستم های تصویربرداری حرارتی، ارتباطات، نظارت بر لایه اوزون و غیره مورد استفاده قرار گیرند [۲]. امروزه آشکارسازهای پرتوهای فرابنفش بر پایه نانوسیم های ZnO، $SnO_2$، $Fe_2O_3$، $In_2O_3$، $Ge_2O_3$ به دلیل خاصیت نسبت بزرگ سطح به حجم در این ساختارها تحت بررسی محققین قرار گرفته اند [۳]. در این بین نیمرسانای CuO نیز یکی از اکسیدهای فلزی جالب توجه است که به دلیل گاف نواری کوچک می تواند برای آشکارسازی نورهای با طول موجهای بلند [۴]، لایه جاذب در سلول های خورشیدی و حسگرهای گازی [۱] مورد استفاده قرار گیرد.

در این مقاله ما به بررسی خواص فیزیکی و نیز مطالعه خاصیت فوتورسانایی در نانو سیم های اکسید مس که به روش اکسایش حرارتی بر روی ورقه مس سنتز شده اند، پرداخته ایم.

## ۲- روش تهیه نمونه‌ها

برای تهیه نانوسیم های اکسیدمس، از ورقه ی مسی با ضخامت ۰/۱mm و ابعاد $mm^2$ ۱۰×۱۰ بعنوان زیرلایه استفاده شده است. ورقه های مسی را با اسیدکلریک، استون، متانول و آب دوبار تقطیر شستشو می‌دهیم و در پایان با پمپ هوا خشک می‌کنیم. نمونه‌های تمیز شده در یک لوله تیوپی از جنس کوارتز در حضور هوا قرار داده و مطابق نمودار وابسته به زمان که در شکل ۱ نشان داده شده است پس از رسیدن به دمای ۴۰۰C $^{o}$ به دو صورت یکی پیوسته و دیگری پلکانی (در هر دما به مدت ۱ ساعت مانده و در گذر بین این دماها با آهنگ ۵ $^{o}$C/min) به دمای ۶۰۰C$^{o}$ می-رسانیم. این نمونه ها که بترتیب بنام های C۴۵۶ و S۴۵۶ نامگذاری شده اند از چسبندگی خوبی با زیرلایه ورقه مسی خود برخوردارند.

در این تحقیق مورفولوژی سطح نمونه ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM Hitachi S.4160)، و خواص اپتیکی لایه ها به کمک طیف بازتابی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (Shimadzu UV-Vis. 1800) در بازه طول موج ۴۰۰- ۱۱۰۰ nm اندازه گیری شده اند.



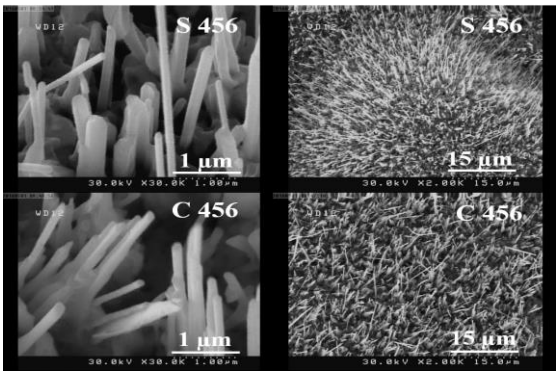

شکل ۱: نمودار دما-زمان کوره برای تهیه نانوسیم های اکسید مس.

برای بررسی اثر فوتورسانایی، یک الکترود شانه‌ای از جنس طلا توسط دستگاه کندوپاش بر روی نانوسیم های اکسید مس قرار داده شد [۵]. در این تحقیق برای نورتابی، از چشمه نوری LED با توان ۱۰W و به رنگ قرمز با طول موج ۶۲۰ nm و پهنای طیفی ۲۰ nm استفاده شده است.

## ۳- نتایج وبحث

### ۳-۱ مورفولوژی سطح

شکل ۲ تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدانی (FESEM) نمونه ها در مقیاس های ۱ و ۱۵ میکرون را نشان می‌دهد.




شکل ۲: تصاویر FESEM نانو سیم های اکسید مس در نمونه های C۴۵۶ و S۴۵۶.

این تصاویر گویای شکل گیری نانوسیم هایی فشرده و نسبتا یکنواخت بر روی زیرلایه مس هستند. تصویر نمونه S۴۵۶ نشان‌دهنده حضور نانوسیم‌هایی با طول هایی در گستره ۱- ۴/۵µm و قطر تقریبی ۱۴۰ nm بوده، در حالی که تصویر



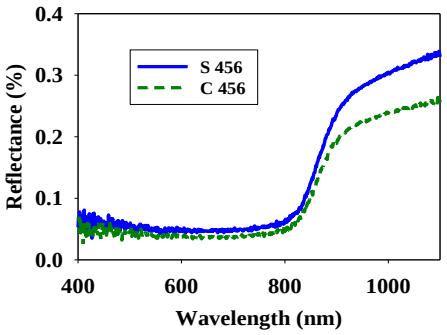
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]

نمونه C۴۵۶ نشان‌دهنده تشکیل نانوسیم‌های با طول های بلند تر (در گستره ۲- ۶/۵ µm) و قطرهای باریکتر (در حدود ۱۰۰nm) می‌باشد.

## ۳-۲ خواص اپتیکی

شکل۳ طیف بازتاب اپتیکی لایه های مورد مطالعه را در محدوده ی طول موج های ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر نشان می دهد. با توجه به این طیف ها ملاحظه می شود که در ناحیه مرئی (۴۰۰- ۷۰۰ nm) هر دو نمونه C۴۵۶ و S۴۵۶ هر دو از بازتابی در حدود کمتر از ۰/۱ درصد برخوردارند. این کاهش شدید در بازتاب می تواند ناشی از حضور نانوسیم ها در سطح و نیز فرایند جذب نور در این ساختارها باشد.




شکل ۳: طیف بازتاب اپتیکی نانو سیم های اکسید مس در نمونه های C۴۵۶ و S۴۵۶.

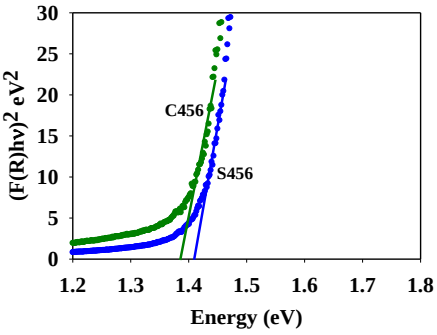
با استفاده از این داده ها و با توجه به معادله کوبلکا-مانک (معادله ۱) می توان ضریب جذب اپتیکی (α) را در این نمونه ها تعیین کرد [۶]:

$$\alpha = F(R) = (1-R)^2 / 2R \qquad (۱)$$

که در آن R داده های بازتاب به ازای هر طول موج است. حال با داشتن این کمیت می توان گاف نواری نمونه ها را از رابطه ۲ بدست آورد:

$$[(F(R)h\nu]^n = A(h\nu - E_g) \qquad (۲)$$

که در آن hν انرژی فوتون، $E_g$ گاف نواری ماده و A مقداری ثابت است. در این معادله n شاخص مربوط به نوع فرآیند جذب اپتیکی است. این پارامتر در نیمرساناهای با گاف نواری مستقیم و غیر مستقیم بترتیب برابر با ۲ و ۰/۵ است [۷]. باز آنجا که اکسیدمس نیمرسانایی با گذارهای مستقیم بین نواری است برای تعیین گاف نواری اپتیکی نمونه‌ها، با ترسیم نمودار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب hν و برونیابی داده ها در گستره خطی در ناحیه انرژی بالا با محور افقی به ازای α=۰، این کمیت بدست می‌آید.

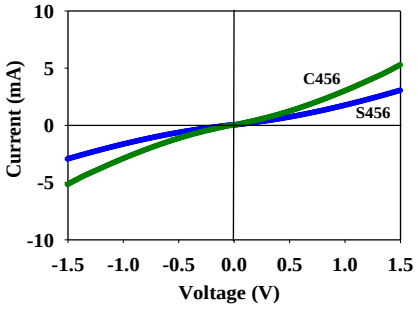



شکل ۴: تحلیل داده های اپتیکی در نمونه های تحت بررسی مبتنی بر معادله ۲.

نتایج بدست آمده از این تحلیل که در شکل ۴ نشان داده شده حاکی از آن است که گاف نواری مستقیم اپتیکی در نمونه های S۴۵۶ و C۴۵۶ به ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۳۸ eV با خطای ۰/۰۱ eV ± هستند.

## ۳-۳ خواص الکتریکی

شکل ۵ نمودار جریان - ولتاژ نمونه ها را در شرایط تاریکی نشان می دهد.




شکل ۵: مشخصه جریان- ولتاژ نمونه ها در شرایط تاریکی.

این داده ها بیانگر ایجاد اتصال شاتکی در محل اتصال طلا-نیمرسانا (اکسید مس) باشد. نظیر این رفتار در گزارش وانگ و همکاران [۴] نیز مشاهده شده است. از مقایسه این نمودار ها می توان دریافت که نمونه C۴۵۶ از رسانندگی الکتریکی بیشتری نسبت به نمونه S۴۵۶ برخوردار است.

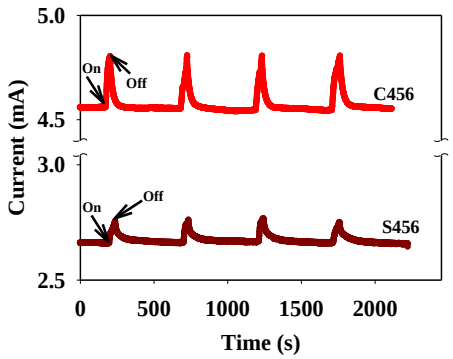


این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]

### ۳-۴ بررسی اثر فوتو رسانایی

به منظور بررسی رفتار نمونه های ساخته شده در کاربرد وابسته به خاصیت فوتورسانایی تحت تابش نور قرمز به دو سر الکترود های طلا ولتاژی برابر ۱/۵ V اعمال نموده ایم (شکل ۶). کار مشابهی در این مورد توسط وانگ و همکاران [۴] بر روی سیم مسی (بدون وجود الکترود شانه‌ای) انجام شده است و میزان جریان نوری، که در ادامه بدان پرداخته ایم، در کار آنها در حد میکرو آمپر و در تحقیق ما میزان جریان در گستره میلی آمپر می‌باشد.




شکل ۶: پاسخ نوری دینامیکی نمونه های C۴۵۶ و S۴۵۶ به تابش نور قرمز با طول موج ۶۲۰ nm.

به منظور بررسی میزان حساسیت هریک از نمونه‌ها می توان از رابطه زیر استفاده کرد [۸]:

$$S(\%) = \left(\frac{I_L - I_D}{I_D}\right)\times 100 = \left(\frac{\Delta I_{ph}}{I_D}\right)\times 100 \qquad (۳)$$

که در آن S حساسیت، $I_L$ جریان روشنایی و $I_D$ جریان تاریکی است. با توجه به داده های بدست آمده حساسیت در نمونه‌های S۴۵۶ و C۴۵۶ به ترتیب عبارتند از: ۳/۸ و ۵/۵ درصد، که نشانگر حساسیت بیشتر در نمونه C۴۵۶ است. علت این امر می تواند وابسته به مورفولوژی سطح، گاف نواری کوچکتر و نیز رسانندگی الکتریکی بیشتر در این نمونه در مقایسه با نمونه دیگر باشد.

## ۴- نتیجه‌گیری

نانوسیم های اکسید مس به روش اکسایش حرارتی در حضور هوا بر روی ورقه مس به صورت پیوسته و پلکانی در بازه $^{o}C$ ۴۰۰-۶۰۰ تهیه شده اند. تصاویر FESEM نشان دهنده وابستگی مورفولوژی سطح نمونه ها به شیوه گرمادهی بوده و هر دو لایه در ناحیه نور مرئی بازتاب اپتیکی پایینی دارند. تحلیل این داده ها نشانگر گاف نواری مستقیم اپتیکی برابر ۱/۳۸ و ۱/۴۱ eV در این نمونه هاست. نتایج تحقیق در خاصیت فوتورسانایی نور قرمز در این نمونه ها حاکی از پاسخ بیشتر در نمونه ی اکسایش گرمایی یافته به صورت پیوسته (C۴۵۶) در مقایسه با نمونه پلکانی (S۴۵۶) می باشد.

## مراجع


[1] Hosein Eshghi and Mehdi Torabi Goodarzi, “Synthesis of CuO nanowires on Cu-foil using thermal oxidation method; a novel annealing process”, Modern Physics Letters B, February, 30 (5) (2016).

[2] S.J. Chang, T.J. Hsueh, I.C. Chen, B.R. Huang, “Highly sensitive ZnO nanowire CO sensors with the adsorption of Au nanoparticles”, Nanotechnology 19 (2008), Art. no. 175502.

[3] W.Y. Weng, T.J. Hsueh, S.J. Chang, G.J. Huang, S.P. Chang, “A solar-blind $Ga_2O_3$ nanowire photodetector, IEEE Photon”, Technol. Lett. 22 (2010) 709–711.

[4] S.B. Wang, C.H. Hsiao, S.J. Chang, K.T. Lam, K.H. Wen, S.C. Hung, S.J. Young, B.R. Huang, “A CuO nanowire infrared photodetector”, Sensors and Actuators A 171 (2011) 207– 211.

[5] Tsung-Ying Tsai, Shoou-Jinn Chang, Wen-Ying Weng, Cheng-Liang Hsu,Sin-Hui Wang, Chiu-Jung Chiu, Ting-Jen Hsueh, and Sheng-Po Chang, “A Visible-Blind TiO2 Nanowire Photodetector”, Journal of The Electrochemical Society, 159 (4) J132-J135 (2012).

[6] H. Lin, C.P. Huang, W. Li, C. Ni, S. Ismat Shah, Yao-Hsuan Tseng, “Size dependency of nanocrystalline TiO2 on its optical property and photocatalytic reactivity exemplified by 2-chlorophenol”, Applied Catalysis B: Environmental, 68 (2006) 1–11.

[7] Jeong-Hyeok Im, Jaehoon Chung, Seung-Joo Kim and Nam-Gyu Park, “Synthesis structure and photovoltaic property of a nanocrystalline 2H perovskite-type novel sensitizer ($CH_3CH_2NH_3$) $PbI_3$”, Nanoscale Research Letters, (2012) 7: 353.

[8] Arrak Klinbumrung, Titipun Thongtem, Somchai Thongtem, “Characterization and gas sensing properties of CuO synthesized by DCdirectly applying voltage”, Applied Surface Science 313 (2014) 640–646.




این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-03 ]