بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ 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

# ساخت سلول نوری بر پایه لایه نازک نانوساختار اکسید مس (CuO) و مطالعه خواص فیزیکی آن

منیره جعفری ،حسین عشقی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

**چکیده – در این تحقیق به بررسی خواص فیزیکی سلول نوری، تهیه شده ازلایه نازک اکسید مس که بر روی زیرلایه *ITO* با استفاده از روش اکسایش حرارتی (*$450^{\circ}C$* به مدت ۵ ساعت) سنتز شده است پرداخته ایم. نمونه با استفاده از تصاویر *FESEM* و طیف‌سنجی های *XRD* و *UV-Vis* مورد مشخصه یابی قرار گرفت. دریافتیم سطح نمونه پوشیده از ستون‌هایی متخلخل متشکل از دانه‌هایی کوچکتر از *nm* ۳۰ است. طیف *XRD* حاکی از آن است که لایه دارای ساختار بسبلوری در فاز مونوکلینیک با جهتگیری ترجیحی (۱۱۱) می باشد. پاسخ نوری این قطعه به لامپ *LED* قرمز (*nm* ۶۲۰) در حدود ۳ درصد می باشد.**

کلید واژه ها: اکسید مس، سلول نوری، لایه نازک، نانو-ستون‌ها.

# Photocell fabrication based on nanostructured CuO thin film and study on its physical properties

Monireh Jafari; Hosein Eshghi

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

Abstract- In this research we have studied the physical properties of a photocell prepared by Cupric oxide (CuO) thin film, which is synthesized on ITO substrate using thermal oxidation route (450 ºC in 5 h). The sample characterized by FESEM *images*, XRD and UV-Vis. spectra. We found surface of the sample is covered with porous columns containing small grains, less than 30 nm wide. The XRD spectrum indicate that the layer has a polycrystalline structure in monoclinic phase with the main orientation of (111). The optical sensitivity of this device to red (620 nm) LED is about 3 percent.

Keywords: Photocell, CuO, Thin film, Nano-columns.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]



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

## ۱- مقدمه

اکسید مس (CuO) با ساختار مونوکلینیک از نیمرساناهای ذاتی نوع p با گاف نواری ۱/۲-۲/۱ eV، بشمار می آید [۱]. به دلیل پوسته شدن لایه مس در طول عملیات حرارتی بر روی زیرلایه های دیگر می توان از یک لایه چسبنده مثل اکسید روی، اکسید قلع و یا اکسید مس استفاده کرد [۲]. از این ماده (CuO) می‌توان در قطعاتی همچون آشکارسازهای نوری، حسگر های گازی وغیره استفاده کرد [۳]. آشکارسازها دستگاه های مهمی هستند که می توانند در سیستم های تصویربرداری حرارتی، ارتباطات و همچنین نظارت بر تحولات لایه اوزون مورد استفاده قرار گیرند [۴]. اکسید مس از جمله اکسیدهای فلزی جالب توجه است که به دلیل گاف نواری کوچک می تواند برای آشکار سازی نورهای با طول موج‌های بلند مورد استفاده قرار گیرد [۵].

در این مقاله به بررسی خواص فیزیکی و اثر فوتورسانایی در یک لایه نازک اکسید مس که به روش اکسایش حرارتی بر روی زیرلایه ITO تجاری تهیه شده است می پردازیم.

## ۲- روش تهیه نمونه‌ها

برای تهیه لایه نازک اکسید مس ابتدا زیرلایه ITO (تجاری) را در استون و اتانول، هر کدام به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده و با آب دو بار تقطیر شستشو و در پایان با پمپ هوا خشک شده اند. سپس بر روی این زیرلایه فیلمی نازک از جنس اکسید مس (به ضخامت ۱۰۰ nm) به عنوان لایه میانی توسط دستگاه اسپاترینگ لایه نشانی کرده و برروی آن لایه مس با ضخامت ۳۰۰ nm را توسط دستگاه تبخیر حرارتی لایه نشانی کرده ایم. در انتها نمونه در کوره ای با دمای ۴۵۰ °C به مدت ۵ ساعت تحت عملیات اکسایش حرارتی قرار گرفته است [۲].

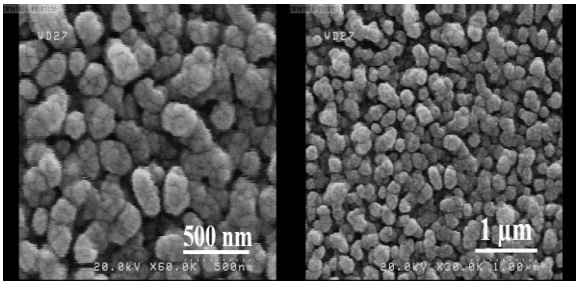
تحلیل ساختاری نمونه مورد نظر توسط دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD; Bruker AXS) با گسیل خط طیفی $CuK_\alpha$ (۵۴۰۵/۱ Å)، و مورفولوژی سطح نمونه توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (FESEM Hitachi S.4160) انجام پذیرفت. خواص اپتیکی لایه به کمک طیف بازتابی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (Shimadzu UV-Vis.1800) در بازه طول موج ۴۰۰-۱۱۰۰nm اندازه گیری شد.

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 لامپ LED با توان ۱۰W به رنگ قرمز با طول موج nm ۶۲۰ و پهنای طیفی nm ۲۰ استفاده شده است.

## ۳- نتایج وبحث

### ۳-۱ مورفولوژی سطح

شکل ۱ تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی اثر میدانی (FESEM) نمونه را در مقیاس های nm ۵۰۰ و ۱ میکرون نشان می دهد. این تصاویر نشان دهنده‌ی شکل گیری ساختاری دانه دار به صورت ستون هایی برجسته و متخلخل به قطر حدود nm ۱۵۰ است به طوری که هر کدام از این ستون ها خود از دانه های کوچکتری در ابعاد کمتر از nm ۳۰ تشکیل شده اند.




شکل ۱: تصاویر FESEM نانو ساختار های اکسید مس تهیه شده بر روی زیرلایه ITO.

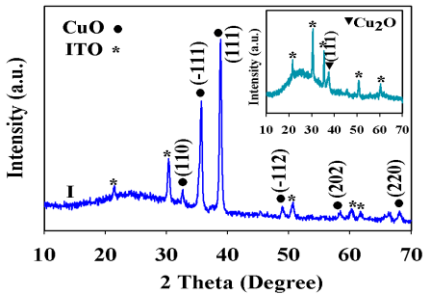
### ۳-۲ خواص ساختاری

الگوی پراش پرتو ایکس نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است. اگرچه تصویر ضمیمه در این شکل که مربوط به طیف XRD لایه اکسید میانی است و نشانگر تشکیل فاز $Cu_2O$ در راستای (۱۱۱) در این لایه است، اما الگوی پراش در نمونه نهایی حاکی از حضور ساختار مونوکلینیک بس بلوری CuO به تنهایی با صفحه ترجیحی (۱۱۱) واقع در زاویه ی ۳۸/۷۵° می باشد. این امر نشانگر آن است که لایه اکسید میانی نیز در ضمن عملیات حرارتی به فاز CuO تبدیل شده است.



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

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]

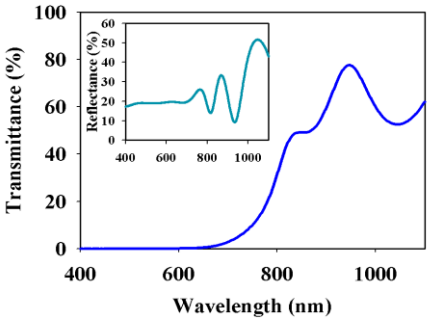



شکل ۲: طیف XRD لایه نازک اکسید مس رشد یافته بر روی زیرلایه ITO.

برای بررسی دقیق تر خواص ساختاری نمونه با توجه به قله اصلی پراش که مربوط به صفحات (۱۱۱) است، مقدار وابسته به اندازه بلورک ها (D)، با استفاده از رابطه شرر $(D=(0.94\lambda)/(\beta\cos\theta))$ که در آن: β تمام پهنا در نیمه شدت بیشینه، D اندازه بلورک ها، θ زاویه براگ و λ طول موج پرتو ایکس مورد استفاده است. مقدار اندازه بلورک ها برابر ۲۲/۲۸ nm حاصل می آید.

## ۳-۳ خواص اپتیکی

شکل ۳ طیف عبور اپتیکی لایه مورد مطالعه بر روی زیرلایه ITO را نشان می دهد. با توجه به این طیف ها ملاحظه می شود که در ناحیه مرئی (۴۰۰- ۷۰۰ nm) نمونه از عبور نسبتا کمی برخوردار می باشد. تصویر ضمیمه میزان بازتاب نور از نمونه را نشان می‌دهد، به طوری که در ناحیه مرئی در حدود ۲۰٪ می باشد.

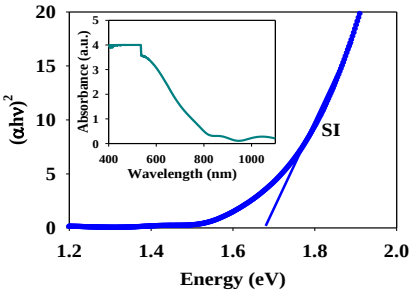



شکل ۳: طیف عبور اپتیکی نانو ساختارهای اکسید مس رشد یافته بر روی زیرلایه ITO. تصویر ضمیمه، طیف بازتاب نمونه است.

تصویر ضمیمه در شکل ۴ داده های اندازه گیری شده جذب اپتیکی در این نمونه را بر حسب تابعی از طول موج نور فرودی نشان می دهد. با توجه با این که اکسید مس نیمرسانایی با گذارهای مستقیم بین نواری است به کمک این داده ها و با استفاده از رابطه تاک:

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \qquad (۱)$$

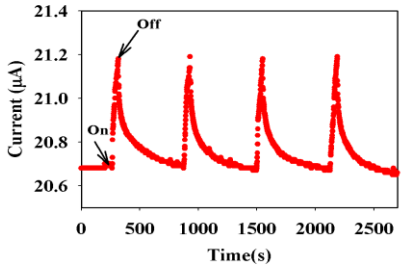
می توان بزرگی گاف نواری اپتیکی مستقیم نمونه را با رسم نمودار تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب hν و برونیابی داده ها در گستره خطی در ناحیه انرژی بالا با محور افقی به ازای α=0 تعیین کرد. شکل ۴ جزئیات وابسته به این عملیات (معادله ۱) را نشان می دهد. این تحلیل حاکی از آن است که نمونه مورد بررسی دارای گاف نواری اپتیکی مستقیم برابر eV ۱/۶۶ است.




شکل ۴: تحلیل داده های اپتیکی بر حسب تابعی از انرژی فوتون ها.

## ۳-۴ بررسی اثر فوتورسانایی

به منظور بررسی اثر فوتورسانایی، در حالی که به دو سر الکترود های طلا ولتاژی برابر ۱/۵ V اعمال شده بود نمونه ساخته شده تحت تابش نور قرمز با توان الکتریکی ثابت mW ۳۲ قرار گرفت. شکل ۵ تغییرات جریان الکتریکی اندازه گیری شده بر حسب زمان در طی مراحل نور دهی و تاریکی را نشان می دهد.




شکل ۵: پاسخ نوری دینامیکی نمونه مورد نظر در شرایط نوردهی چشمه نور با طول موج ۶۲۰ nm و خاموشی.

به منظور تعیین حساسیت نوری نمونه می توان از رابطه زیر استفاده کرد [۷]:



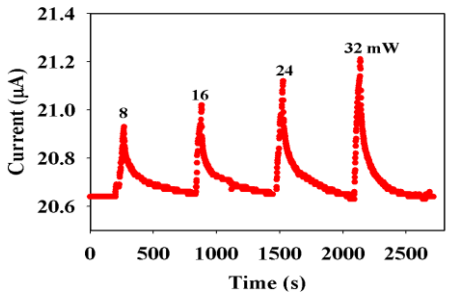
این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[ Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-02 ]

$$S(\%)=(\frac{I_L-I_D}{I_D})\times 100=(\frac{\Delta I_{ph}}{I_D})\times 100 \qquad (۲)$$

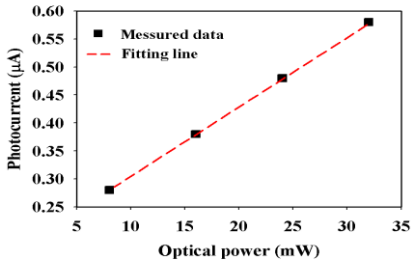
که در آن S حساسیت قطعه، $I_L$ جریان روشنایی و $I_D$ جریان تاریکی است. با توجه به داده های بدست آمده حساسیت نوری نمونه برابر ۳ درصد است.

برای بررسی نحوه پاسخ قطعه به ازای سایر توان های تابشی لامپ تغییرات جریان الکتریکی بر حسب زمان تابش را بدست آوردیم (شکل ۶).




شکل ۶: پاسخ نوری دینامیکی نمونه مورد نظر در شرایط نوردهی چشمه نور با توان های مختلف.

این داده‌ها نشانگر آن است که با افزایش توان تحریک لامپ LED مقدار جریان نوری پدید آمده افزایش می‌یابد. این امر با توجه به افزایش تعداد فوتون های نوری گسیل شده از لامپ در توان های الکتریکی بالاتر و در نتیجه افزایش جریان نوری ($I_p = I_L - I_D$) امری قابل انتظار می باشد. شکل ۷ نحوه تغییرات $I_p$ بر حسب توان الکتریکی تحریک لامپ را نشان می دهد. این نتایج حاکی از رفتار نسبتا خطی با شیب ۱۲/۵ μA/W می‌باشد.




شکل ۷: رابطه بین جریان نوری و توان الکتریکی لامپ.

## ۴- نتیجه‌گیری

به منظور ساخت سلول نوری، لایه نازک اکسید مس CuO به روش تبخیر حرارتی با لایه نشانی لایه ای از مس بر روی زیرلایه ITO و انجام اکسایش حرارتی نمونه در دمای $^{\circ}C$ ۴۵۰ به مدت ۵ ساعت تهیه شد. تصاویر FESEM در این نمونه نشان دهنده شکل گیری ستون هایی متشکل از دانه هایی به ابعاد کمتر از ۳۰ nm، و طیف XRD لایه حاکی از رشد بس بلوری در راستای ترجیحی (۱۱۱) می‌باشد. تحلیل داده ها حاکی از آن است که لایه نانوساختار تهیه شده در ناحیه نور مرئی جذب اپتیکی بالایی داشته و دارای گاف نواری اپتیکی ۱/۶۶ eV می باشد. بررسی اثر فوتورسانایی در این نمونه به ازای توان الکتریکی ۳۲ mW لامپ LED، نشانگر حساسیت نوری در حدود ۳ درصد می باشد.

## مراجع

[1] A.E. Rakhshani, Preparation, “Characteristics and photovoltaic properties of cuprous-oxide – a review”, Solid-State Electron. 29 (1986) 7–17.

[2] H.T. Hsueh, T.J. Hsueh, S.J. Chang, F.Y. Hung, T.Y. Tsai, W.Y. Weng , C.L. Hsu, B.T. Dai, “CuO nanowire-based humidity sensors prepared on glass substrate”, Sensors and Actuators B 156 (2011) 906– 911.

[3] D. Gopalakrishna, K. Vijayalakshmi, C. Ravidhas, “Effect of pyrolytic temperature on the properties of nano-structured CuO optimized for ethanol sensing applications”, Journal of Materials Science: Materials in Electronics 24 (2013) 1004-1011.

[4] 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), 175502.

[5] 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 photodetecto”, Sensors and Actuators A 171 (2011) 207– 211.

[6] D. Gopalakrishna, K. Vijayalakshmi, C. Ravidhas, “Effect of pyrolytic temperature on the properties of nano-structured CuO optimized for ethanol sensing applications”, Journal of Materials Science: Materials in Electronics 24 (2013) 1004-1011.

[7] 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 2026-11-02 ]