



# بررسی خواص فیزیکی و اثر فوتورسانایی نانوساختارهای CuO تهیه شده به روش اکسایش حرارتی

منیره جعفری | حسین عشقی\*

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شهر شاهرود، استان سمنان

**چکیده:** لایه‌های نازک اکسید مس بر روی زیرلایه ITO با استفاده از روش اکسایش حرارتی توسط لایه‌ای از مس که به روش رونشانی بخار فیزیکی (PVD) لایه نشانی شده بود در دو حالت تهیه شدند: در غیاب و حضور لایه چسبنده بر روی زیرلایه. نمونه‌ها با استفاده از تصاویر FESEM، طیف‌سنجی‌های XRD و UV-Vis مورد مشخصه‌یابی قرار گرفتند. دریافتیم نمونه‌ی بدون لایه چسبنده به صورت دانه‌هایی نانومتری با سطحی نسبتاً صاف و نمونه با لایه چسبنده از دانه‌هایی متخلخل که خود متشکل از ریزدانه‌هایی در حدود 30nm و یا کوچکتر تشکیل شده است. طیف‌های XRD نمونه‌ها حاکی از ساختار بسلوری در فاز مونوکلینیک با جهتگیری‌های ترجیحی (111) و (111) می‌باشد. در بین این نمونه‌ها، نمونه‌ی با لایه چسبنده از شرایط فیزیکی مناسب‌تری (ابعاد بلورکی بزرگتر، گاف نواری کوچکتر و جذب نوری بیشتر) برخوردار است. سرانجام، اثر فوتورسانایی در ساختار فلز-نیمرسانا-فلز (MSM) با استفاده از لامپ LED قرمز (620 nm) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که میزان حساسیت نوری نمونه‌ی با لایه چسبنده در حدود 3 برابر بیشتر از نمونه‌ی بدون لایه چسبنده بوده، و تغییرات آن بر حسب توان الکتریکی لامپ به صورت خطی می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** اکسید مس، اکسایش حرارتی، نانوساختار، اثر فوتورسانایی.

[h\\_eshghi@shahroodut.ac.ir](mailto:h_eshghi@shahroodut.ac.ir)

های نازک و نانوساختارهای اکسید مس با استفاده از روش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی نظیر کندوپاش [7]، رسوب بخار شیمیایی (CVD) [8]، اکسایش حرارتی [9]، سل-ژل [10]، افشانه تجزیه حرارتی [11]، رسوب‌گذاری حمام شیمیایی [12] و غیره لایه‌نشانی می‌شود. به دلیل پوسته شدن لایه مس در طول عملیات حرارتی بر روی زیرلایه‌های دیگر می‌توان از یک لایه چسبنده مثل تیتانیوم، تانتالیم نیتراید و یا اکسید مس استفاده کرد [13 و 14]. از این ماده می‌توان در قطعاتی همچون آشکارسازهای نوری [15]، سلول‌های خورشیدی بر پایه CuO [16]، حسگرهای گازی استفاده کرد [17]. آشکارسازها دستگاه‌های مهمی هستند

## ۱- مقدمه

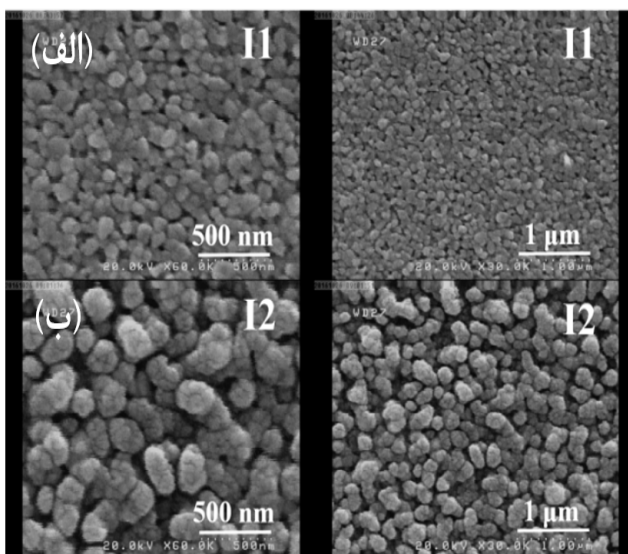
اکسید مس دارای دو فاز کوپریک اکساید (CuO) و کوپروس اکساید (Cu<sub>2</sub>O) می‌باشد [1]، این ترکیب به خاطر فراوانی مس (Cu)، راحتی تولید، غیرسمی بودن آن و بهینه‌سازی خواص آن با استفاده از روش‌های مختلف اهمیت فراوانی دارد [2]. این ترکیب دارای ساختار مونوکلینیک و از نیمرساناهای ذاتی نوع P با گاف نواری "مستقیم" 2/1 eV - 1/2، بشمار می‌آید [3-5]. جذب بالای نور مرئی و مورد توجه قرار گرفتن این ماده در قطعات نوری به دلیل گذارهای مستقیم بین نواری آن می‌باشد [6]. لایه-

برای تهیه لایه‌های نازک اکسید مس، زیرلایه‌های ITO را در استون و اتانول، هر کدام به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شده و با آب دوبار تقطیر شستشو داده شده و با پمپ هوا خشک شده‌اند. در نمونه I1، لایه‌ای از مس به ضخامت ۱۰۰nm را توسط دستگاه تبخیر حرارتی (PVD) روی ITO لایه‌نشانی شده و در نمونه I2 ابتدا فیلمی نازک (به ضخامت ۱۰۰ nm) از جنس اکسید مس به عنوان لایه چسبنده بر روی ITO توسط دستگاه کندوپاش لایه‌نشانی شده و سپس بر روی آن همان لایه مس (همزمان با نمونه I1) نشانده شد. در پایان هر دو نمونه را در کوره با دمای  $450^{\circ}\text{C}$  به مدت ۵h قرار گرفته و عملیات اکسایش حرارتی بر روی آنها انجام شد. در این تحقیق برای بررسی اثر فوتورسانایی، از چشمه نوری یک LED به رنگ قرمز با طول موج ۶۲۰ nm استفاده شده است. طیف تابشی این LED با استفاده از دستگاه طیف‌نگار نوری مدل (HR4000CG-UV-NIR) اندازه‌گیری شده است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ریخت شناسی سطح

شکل ۱ تصاویر مربوط به میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) نمونه‌ها در مقیاس‌های  $1\ \mu\text{m}$  و  $500\ \text{nm}$  را نشان می‌دهد.



شکل ۱: تصاویر FESEM نانو ساختارهای اکسید مس برای نمونه‌های لایه-نشانی شده، (الف) بدون لایه ی چسبنده، (ب) با لایه ی چسبنده.

که می‌توانند در سیستم‌های تصویربرداری حرارتی، ارتباطات، مطالعه لایه اوزون مورد استفاده قرار گیرند [۱۸]. در بین نیمرساناها CuO یکی از اکسیدهای فلزی جالب توجه است که به دلیل گاف نواری کوچک می‌تواند برای آشکار سازی نورهای با طول موج‌های بلند نیز مورد استفاده قرار گیرد [۱۸]. در این زمینه (استفاده از لایه چسبنده CuO) مقالات محدودی منتشر شده است که از آن جمله می‌توان به مقاله حسویه و همکاران [۱۹] اشاره کرد. آنها به روش کندوپاش لایه‌ای از CuO به ضخامت ۱۰۰ nm را بر روی زیرلایه شیشه لایه‌نشانی کرده و سپس لایه‌هایی از مس با ضخامت‌های مختلف (۱، ۰/۵ و  $2\ \mu\text{m}$ ) را بر روی آن قرار دادند. این نمونه‌ها سرانجام به روش اکسایش حرارتی تحت عملیات گرمایی در حضور هوا قرار گرفتند که منجر به شکل‌گیری نانو سیم‌های اکسید مس شدند.

ما در این پژوهش به مطالعه برخی خواص فیزیکی و نیز اثر فوتورسانایی لایه‌های نازک اکسید مس که با استفاده از روش کم هزینه و مقرون به صرفه‌ی اکسایش حرارتی در شرایط حضور و عدم حضور لایه چسبنده (اکسید مس) بر روی زیرلایه ITO، برای نخستین بار، لایه‌نشانی شده‌اند، پرداخته‌ایم.

#### ۲- بخش تجربی

##### ۲-۱- مواد و تجهیزات

زیرلایه ITO مورد استفاده در این پژوهش بر روی شیشه دارای ضخامت ۸۰ nm و مقاومت سطحی  $2\ \Omega/\text{cm}^2$  می‌باشد. تحلیل ساختاری نمونه مورد نظر توسط دستگاه پراش پرتو ایکس (XRD; Bruker AXS) با گسیل خط طیفی  $\text{CuK}\alpha$  ( $\text{\AA}$ ) (۱/۵۴۰۵)، مورفولوژی سطح نمونه توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM Hitachi S.4160) انجام پذیرفت. خواص نوری لایه به کمک طیف بازتابی با استفاده از دستگاه طیف‌سنج نوری (Shimadzu UV-Vis.1800) در بازه طول موجی ۴۰۰-۱۰۰۰ nm اندازه‌گیری شده‌اند.

##### ۲-۲- روش آزمایش

برای بررسی دقیق‌تر خواص ساختاری نمونه‌ها، با توجه به قله-های اصلی پراش که مربوط به صفحات (۱۱۱) و (۱۱۱) هستند، مقدار وابسته به اندازه بلورک‌ها (D)، چگالی دررفتگی‌ها (δ) و کرنش‌های بلوری (ε) را با توجه به روابط زیر تعیین کرده‌ایم [۲۰]:

$$D = 0.9\lambda / \beta \cos\theta \quad (1)$$

$$\delta = 1/D^2 \quad (2)$$

$$\varepsilon = (\lambda / D \sin\theta) - \beta / \tan\theta \quad (3)$$

که در این روابط β تمام پهنا در نیمه شدت بیشینه، D اندازه بلورک‌ها، θ زاویه براگ و λ طول موج پرتو ایکس مورد استفاده است. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

جدول ۱: مشخصات ساختاری محاسبه شده در نمونه‌های مورد مطالعه.

نمونه	جهتگیری بلوری	D (nm)	ε (× 10 <sup>-2</sup> nm <sup>-2</sup> )	δ (× 10 <sup>-3</sup> )
I <sub>1</sub>	(۱۱۱)	۱۹/۴۲	۰/۲۶۵	۳/۲۴
	( $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ )	۱۹/۷۶	۰/۲۵۶	۳/۸۵
I <sub>2</sub>	(۱۱۱)	۲۲/۲۸	۰/۲۰۱	۲/۸۲
	( $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ )	۲۳/۱۵	۰/۱۸۷	۳/۲۸

با توجه به نتایج به دست آمده ملاحظه می‌شود که اندازه بلورک‌ها در حضور لایه چسبنده (نمونه I<sub>2</sub>) در مقایسه با نمونه بدون لایه چسبنده (نمونه I<sub>1</sub>) افزایش یافته است. چنانچه پیداست این روند در مورد ناراستی‌های بلوری (میزان کرنش و دررفتگی‌های بلوری) به طور معکوس صورت گرفته است.

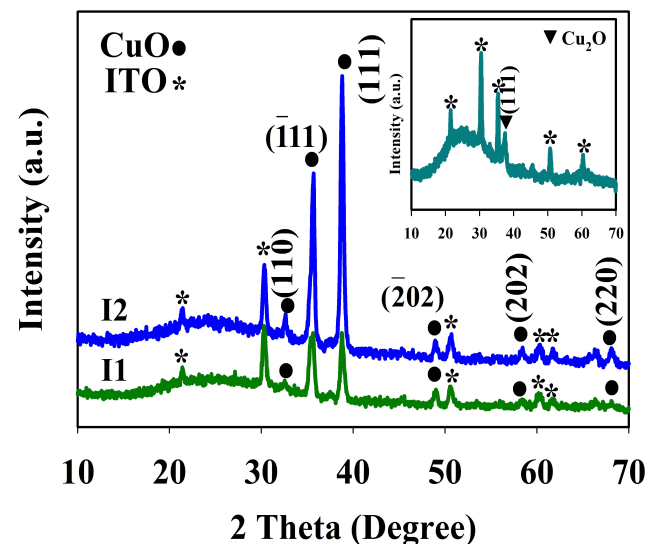
### ۳-۳- خواص نوری

شکل ۳ طیف عبور و نیز بازتاب (نمودار ضمیمه) لایه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این داده‌ها ملاحظه می‌شود که در ناحیه مرئی (۴۰۰ nm - ۷۰۰ nm) نمونه I<sub>2</sub> از عبور کمتری نسبت به نمونه I<sub>1</sub> برخوردار می‌باشد. این تغییرات می‌تواند علاوه بر ضخامت لایه با میزان تخلخل سطحی بیشتر در نمونه I<sub>2</sub>، که در میزان پراکندگی نور موثر است، وابسته باشد.

تصویر نمونه I<sub>1</sub> نشان‌دهنده سطحی نسبتاً یکنواخت با دانه‌هایی به ابعاد حدود ۵۰ nm است، در حالی که نمونه I<sub>2</sub> دارای دانه‌های برجسته و متخلخل به قطر حدود ۱۵۰ nm که هر کدام از این دانه‌ها خود از ریزدانه‌های کوچکتری در ابعاد کمتر از ۳۰ nm تشکیل شده‌اند.

### ۳-۲- خواص ساختاری

شکل ۲ الگوهای پراش پرتو ایکس نمونه‌های مورد بررسی (I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub>) و نیز طیف پراش مربوط به لایه چسبنده در نمونه I<sub>2</sub> را نشان می‌دهد. در مورد تصویر ضمیمه (وابسته به نمونه I<sub>2</sub>) لازم به ذکر است که بنا بر این داده‌ها، این لایه (لایه چسبنده) در فاز Cu<sub>2</sub>O و در راستای (۱۱۱) رشد پیدا کرده است. همچنین الگوی پراش در نمونه‌های I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> حاکی از حضور ساختار تک‌میلی (مونو کلینیک) بس بلوری CuO به تنهایی با جهتگیری ترجیحی (۱۱۱) و ( $\bar{1}\bar{1}\bar{1}$ ) واقع در زوایای ۳۸/۷۹° و ۳۵/۵۷° می‌باشد. این امر نشانگر آن است که در نمونه‌ی I<sub>2</sub> لایه چسبنده در ضمن انجام عملیات اکسایش حرارتی به فاز CuO تبدیل شده است. این داده‌ها همچنین گویای آن است که قله (۱۱۱) در نمونه I<sub>2</sub> از شدت نسبی قوی‌تری نسبت به نمونه I<sub>1</sub> برخوردار می‌باشد.



شکل ۲: طیف XRD لایه نازک اکسید مس رشد یافته بر روی زیرلایه ITO برای نمونه‌های بدون لایه چسبنده (I<sub>1</sub>) و با لایه چسبنده (I<sub>2</sub>)، طیف ضمیمه مربوط به الگوی پراش لایه چسبنده در نمونه I<sub>2</sub> قبل از عملیات حرارتی است.

به منظور تعیین گاف نواری نوری نمونه‌ها می‌توان از رابطه تاک [۵]

$$(\alpha h\nu)^2 = A(h\nu - E_g) \quad (4)$$

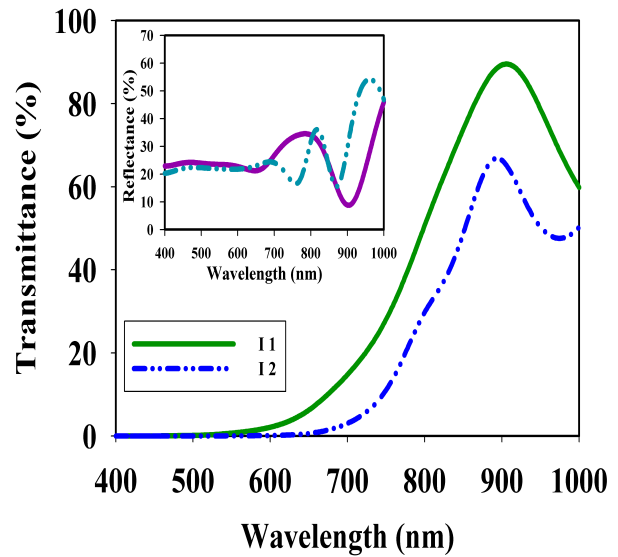
استفاده کرد. در این رابطه  $\alpha$  ضریب جذب،  $h\nu$  انرژی فوتون‌ها،  $A$  کمیتی ثابت و  $E_g$  گاف نواری لایه است. به منظور تعیین ضریب جذب به کمک طیف جذب نوری نمونه‌ها از رابطه [۲۱]:

$$\alpha = 2.304a/t \quad (5)$$

استفاده کرده ایم، به طوری که  $a$  نشانگر جذب نوری و  $t$  ضخامت لایه است. اکنون با توجه به رابطه ۴ و ترسیم نمودار  $(\alpha h\nu)^2$  بر حسب  $h\nu$  و برونیابی داده‌ها در گستره خطی در ناحیه انرژی بالا با محور افقی به ازای  $(\alpha h\nu)^2 = 0$  بزرگی گاف نواری نوری نمونه مشخص شده است. شکل ۵ نمودار حاصل از انجام این تحلیل را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از آن است که نمونه با ابعاد بلورکی کوچکتر (نمونه I۱) دارای گاف نواری بزرگتر (۱/۸۱ eV)، و نمونه با ابعاد بلورکی بزرگتر (نمونه I۲) دارای گاف نواری کوچکتر (۱/۶۶ eV) می‌باشد. این تغییرات که به همراه تغییرات ابعاد بلورک‌ها (برگرفته از جدول ۱) در نمودار ضمیمه شکل ۶ رسم شده است. این روند تغییرات می‌تواند حاکی از وقوع اثر محدودیت کوانتومی در این نمونه‌ها با توجه به مدل اکسیتون و اینر-مات و استفاده از رابطه وابستگی نقاط کوانتومی کروی به شعاع  $R$  (اثر محدودیت کوانتومی) ارائه شده در مقاله [۲۲] باشد:

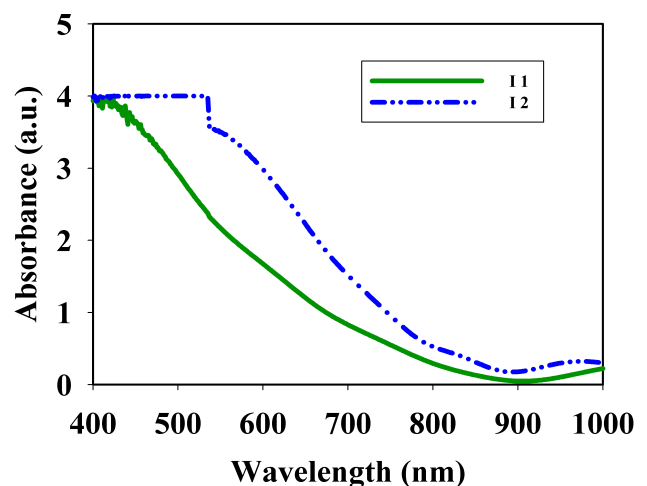
$$E_1(R) = E_g(\infty) + E_b \left(\frac{\pi a_B}{R}\right)^2 \quad (6)$$

که در آن  $E_1(R)$  انرژی کمترین گذار،  $E_g(\infty)$  انرژی گاف نواری در حالت کپه ای،  $E_b$  انرژی بستگی اکسیتونی،  $a_B$  شعاع اکسیتونی بوهر می‌باشد. این رابطه برای نانوذرات بسیار کوچک که  $R < a_B$  باشد معتبر است. در این شرایط گاف نواری ماده بیشتر از مقدار آن در شرایط کپه ای خواهد بود. بنا بر این اثر، چنانچه ابعاد بلورک‌ها در حدود شعاع بوهر اکسیتونی در ماده (این کمیت در اکسید مس در گستره ۶/۶-۲۸/۷ nm گزارش شده است [۲۳ و ۲۴]) باشد، پدیده محدودیت کوانتومی رخ می‌دهد.



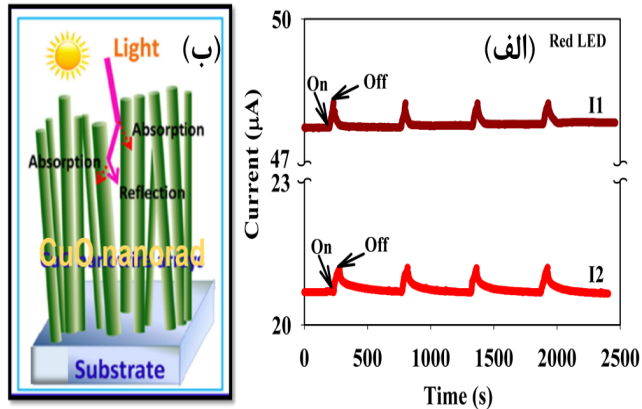
شکل ۳: طیف عبور و بازتاب نوری نانوساختارهای اکسید مس رشد یافته بر روی زیرلایه ITO، با و بدون لایه چسبنده، طیف ضمیمه مربوط به طیف بازتاب نمونه‌ها.

شکل ۴ طیف جذب نوری (a) این دو نمونه که عمدتاً ناشی از گذارهای مستقیم بین نواری است نشان می‌دهد. چنانچه پیداست نمونه‌ی تهیه شده با لایه چسبنده از میزان جذب نوری بیشتری نسبت به نمونه بدون لایه چسبنده برخوردار است. علت این امر می‌تواند به ضخامت لایه و همچنین تخلخل سطحی بیشتر در این نمونه که منجر به پراکندگی فوتون‌ها در مسیر عبور از لایه می‌شود، وابسته باشد.



شکل ۴: طیف جذب نوری نمونه‌های با و بدون لایه چسبنده بر حسب طول موج.

پاسخ نوری دینامیکی نمونه‌ها (جریان الکتریکی بر حسب زمان) در شکل ۷ (الف) ارائه شده است. در این بررسی مدت زمان نوردهی و خاموشی نمونه‌ها، به ترتیب، برابر ۳۰ ثانیه و ۸ دقیقه بوده است.

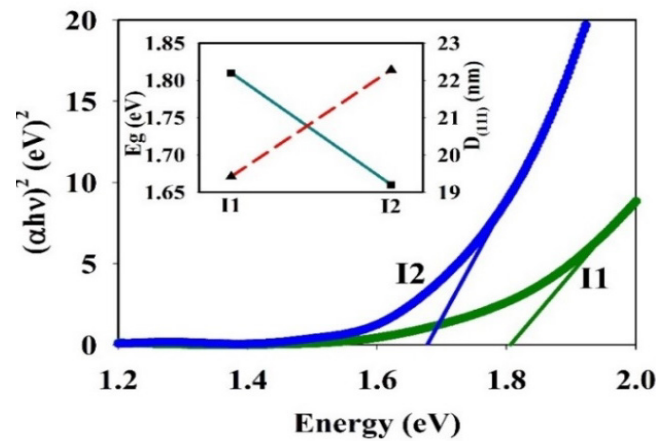


شکل ۷: (الف) پاسخ نوری دینامیکی نمونه‌های مورد نظر به تابش نور قرمز با طول موج ۶۲۰ nm، (ب) شماتیکی از به تله افتادن نور در تخلخل‌های سطحی.

برای بررسی میزان حساسیت هر یک از نمونه‌ها از رابطه زیر استفاده شده است [۲۵]:

$$S(\%) = \left( \frac{I_L - I_D}{I_D} \right) \times 100 = \left( \frac{\Delta I_{ph}}{I_D} \right) \times 100 \quad (7)$$

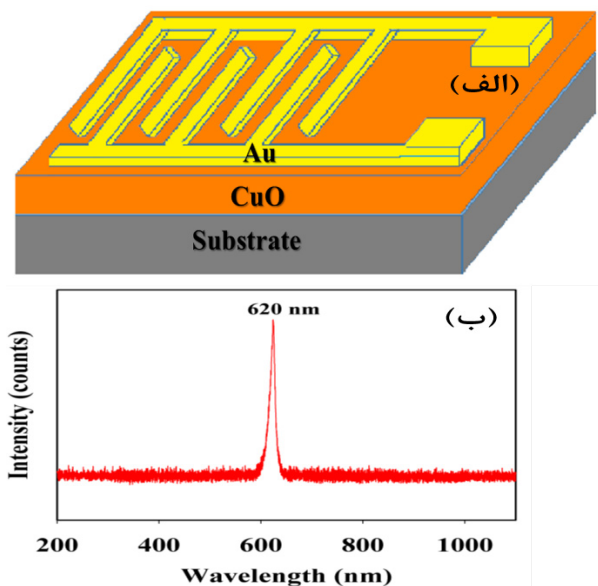
که در آن  $S$  حساسیت نوری،  $I_L$  جریان الکتریکی در شرایط روشنایی و  $I_D$  جریان الکتریکی در شرایط تاریکی و  $\Delta I_{ph}$  جریان نوری قطعه است. با توجه به داده‌های بدست آمده حساسیت نوری نمونه‌های I1 و I2 به ترتیب برابر ۱ و ۲/۸ درصد می باشد. چنانچه پیداست میزان حساسیت نوری در نمونه I2 نسبت به تابش نور قرمز در حدود ۳ برابر بیشتر از نمونه I1 است. علت این امر می‌تواند ناشی از تفاوت در ضریب جذب نوری و همچنین مورفولوژی سطح (تخلخل سطحی) این نمونه‌ها باشد. چنانچه انتظار می‌رود هرچه میزان تخلخل سطحی بیشتر باشد (شکل ۷ (ب))، به دام افتادن نور و در نتیجه احتمال جذب نور در نمونه افزایش می‌یابد. این امر به نوبه خود به تولید زوج الکترون-حفره های بیشتر در ماده منجر شده و نهایتاً به افزایش حساسیت نوری قطعه منجر می‌گردد.



شکل ۸: جزئیات تعیین گاف نوری برای نمونه‌های I1 و I2 و مقایسه آن با اندازه بلورک‌ها (نمودار ضمیمه).

## ۳-۴- بررسی اثر فوتورسانایی

به منظور بررسی رفتار این نمونه‌ها در کاربرد وابسته به خاصیت فوتورسانایی در ساختار فلز-نیمرسانا-فلز (MSM)، شکل ۶ (الف)، سطح نمونه‌ها با طرحی از الکترودهای شانه‌ای از جنس طلا پوشیده شد و بین آنها ولتاژی برابر ۵ V اعمال گردید. نمونه‌های مورد بررسی تحت تابش نور لامپ LED قرمز با توان الکتریکی ۸ mW، طول موج ۶۲۰ nm و پهنای طیفی ۲۰ nm قرار گرفتند، شکل ۶ (ب).



شکل ۶: (الف) طرح شماتیک تهیه نمونه‌ها با ساختار فلز-نیمرسانا-فلز (MSM) با استفاده از الکترودهای شانه‌ای از جنس طلا بر روی لایه اکسید مس، (ب) طیف نور لامپ LED قرمز استفاده شده در بررسی اثر فوتورسانایی نمونه‌ها.



شکل ۹ نحوه تغییرات جریان نوری و همچنین حساسیت قطعه I۲ بر حسب توان الکتریکی لامپ LED را نشان می‌دهد. این نتایج حاکی از رفتار خطی تغییرات جریان نوری بر حسب توان الکتریکی (با شیب  $12.5 \mu A/W$ ) و نیز حساسیت قطعه مورد نظر می‌باشد.

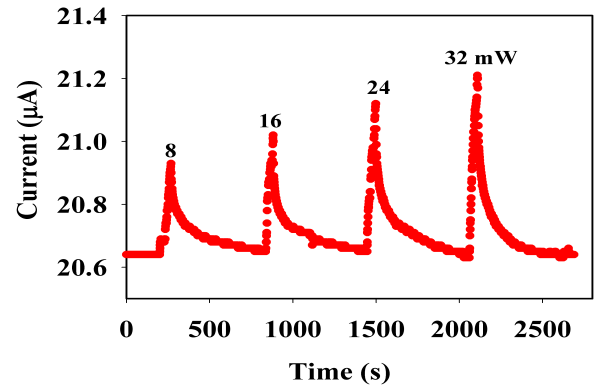
## ۴- نتیجه گیری

لایه‌های نازک اکسید مس CuO به روش تبخیر حرارتی با لایه-نشانی فیلم مسی بر روی زیرلایه ITO در دو حالت با و بدون لایه چسبنده اکسید مس و انجام اکسایش حرارتی نمونه‌ها در دمای  $450^\circ C$  به مدت ۵h تهیه شدند. تصاویر FESEM هر دو نمونه نشان‌دهنده وابستگی مورفولوژی سطح آنها به حضور و عدم حضور لایه چسبنده بوده و طیف‌های XRD لایه‌ها حاکی از رشد بس بلوری در راستاهای ترجیحی (۱۱۱) و (۱۱۰) می‌باشد. تحلیل داده‌ها بیانگر بزرگتر بودن ابعاد بلورک‌ها و نیز کمتر بودن تراکم نقایص بلوری در نمونه ی با لایه چسبنده می‌باشد. هر دو لایه در ناحیه نور مرئی عبور پایینی داشته و نمونه‌ی تهیه شده با لایه چسبنده به علت بزرگی ابعاد بلورک‌ها و وقوع پدیده محدودیت کوانتومی دارای گاف نواری کوچکتری نسبت به نمونه‌ی بدون لایه چسبنده می‌باشد. نتایج تحقیق در خاصیت فوتورسانایی در ساختار فلز-نیمرسانا-فلز (MSM)، با نور قرمز در این نمونه‌ها حاکی از آن است که میزان حساسیت نوری نمونه‌ی با لایه چسبنده در حدود ۳ برابر بیشتر از نمونه‌ی بدون لایه چسبنده بوده و تغییرات آن بر حسب توان الکتریکی لامپ به صورت خطی می‌باشد.

## مراجع

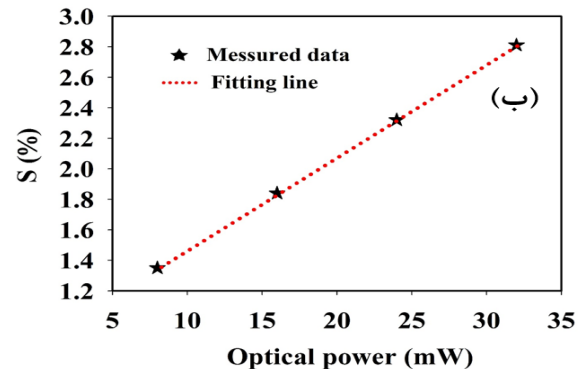
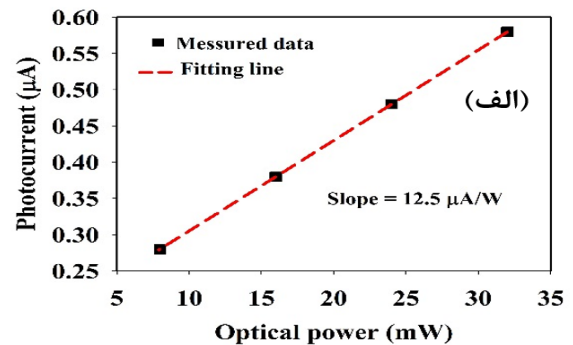
- [1] A. Rakhshani, "Preparation, characteristics and photovoltaic properties of cuprous oxide—a review," *Solid-State Electronics*, 29, 7-17, 1986.
- [2] B. Balamurugan and B. Mehta, "Optical and structural properties of nanocrystalline copper oxide thin films prepared by activated reactive evaporation," *Thin solid films*, 396, 90-96, 2001.

در ادامه نحوه پاسخ نوری قطعه I۲ (تغییرات جریان الکتریکی بر حسب زمان تابش) را بر حسب سایر توان‌های تابشی با تغییر ولتاژ اعمالی به دو سر لامپ بدست آوردیم (شکل ۸).



شکل ۸: (الف) پاسخ نوری دینامیکی نمونه I۲ در شرایط نوردهی با توان‌های الکتریکی مختلف. مدت زمان نوردهی و خاموشی به ترتیب  $30 \text{ s}$  و  $1 \text{ m}$  می‌باشد.

این داده‌ها حاکی از آن است که با افزایش توان لامپ، مقدار جریان نوری ( $\Delta I_p$ ) افزایش یافته است. این امر با توجه به افزایش تعداد فوتون‌های نوری گسیل شده از لامپ در توان‌های الکتریکی بالاتر و در نتیجه افزایش جریان نوری در لایه امری قابل انتظار می‌باشد.



شکل ۹: (الف) تغییرات جریان نوری، و (ب) حساسیت نوری بر حسب توان الکتریکی لامپ LED قرمز در نمونه I۲.

- [10] V. Usha, S. Kalyanaraman, R. Thangavel, and R. Vettumperumal, "Effect of catalysts on the synthesis of CuO nanoparticles: Structural and optical properties by sol-gel method," *Superlattices and Microstructures*, 86, 203-210, 2015.
- [11] T. Kosugi and S. Kaneko, "Novel Spray-Pyrolysis deposition of cuprous oxide thin films," *Journal of the American Ceramic Society*, 81, 3117-3124, 1998.
- [12] J. C. Felizco and E. Magdaluyo Jr, "Formation of Hierarchical CuO Nanostructures on Copper Foil by Chemical Bath Deposition for Applications in Superhydrophobic Surfaces," in *MATEC Web of Conferences*, 2016.
- [13] C.-M. Tsai, G.-D. Chen, T.-C. Tseng, C.-Y. Lee, C.-T. Huang, W.-Y. Tsai, "CuO nanowire synthesis catalyzed by a CoWP nanofilter," *Acta Materialia*, 57, 1570-1576, 2009.
- [14] X. Jiang, T. Herricks, and Y. Xia, "CuO nanowires can be synthesized by heating copper substrates in air," *Nano Letters*, 2, 1333-1338, 2002.
- [15] K. M. Chahrour, N. M. Ahmed, M. Hashim, and A. M. Al-Diabat, "High Responsivity IR Photodetector Based on CuO Nanorod Arrays/AAO Assembly," *Procedia Chemistry*, 19, 311-318, 2016.
- [16] H. Kidowaki, T. Oku, T. Akiyama, A. Suzuki, B. Jeyadevan, and J. Cuya, "Fabrication and characterization of CuO-based solar cells," *Journal of Materials Science Research*, 1, 138, 2012.
- [3] J. Ghijsen, L. Tjeng, J. Van Elp, H. Eskes, J. Westerink, G. Sawatzky, "Electronic structure of Cu<sub>2</sub>O and CuO," *Physical Review B*, 38, 11322, 1988.
- [4] Y. K. Jeong and G. M. Choi, "Nonstoichiometry and electrical conduction of CuO," *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 57, 81-84, 1996.
- [5] X. Zhao, P. Wang, Z. Yan, and N. Ren, "Room temperature photoluminescence properties of CuO nanowire arrays," *Optical Materials*, 42, 544-547, 2015.
- [6] M. Kaur, K. Muthe, S. Despande, S. Choudhury, J. Singh, N. Verma, "Growth and branching of CuO nanowires by thermal oxidation of copper," *Journal of Crystal Growth*, 289, 670-675, 2006.
- [7] H. Hsueh, T. Hsueh, S. Chang, T. Tsai, F. Hung, S. Chang, "CuO-nanowire field emitter prepared on glass substrate," *IEEE Transactions on Nanotechnology*, 10, 1161-1165, 2011.
- [8] D. Arana-Chavez, E. Toumayan, F. Lora, C. McCaslin, and R. A. Adomaitis, "Modeling the transport and reaction mechanisms of copper oxide CVD," *Chemical Vapor Deposition*, 16, 336-345, 2010.
- [9] Q. Yang, Z. Guo, X. Zhou, J. Zou, and S. Liang, "Ultrathin CuO nanowires grown by thermal oxidation of copper powders in air," *Materials Letters*, 153, 128-131, 2015.

particles,” Journal of materials research, 17, 1220-1223, 2002.

[25] K. M. Chahrour, N. M. Ahmed, M. Hashim, N. G. Elfadill, and M. Bououdina, “Self-assembly of aligned CuO nanorod arrays using nanoporous anodic alumina template by electrodeposition on Si substrate for IR photodetectors,” Sensors and Actuators A: Physical, 239, 209-219, 2016.

[17] C. Zou, J. Wang, F. Liang, W. Xie, L. Shao, and D. Fu, “Large-area aligned CuO nanowires arrays: Synthesis, anomalous ferromagnetic and CO gas sensing properties,” Current Applied Physics, 12, 1349-1354, 2012.

[18] C. Soci, A. Zhang, B. Xiang, S. A. Dayeh, D. Aplin, J. Park, “ZnO nanowire UV photodetectors with high internal gain,” Nano letters, 7, 1003-1009, 2007.

[19] H. Hsueh, T. Hsueh, S. Chang, F. Hung, T. Tsai, W. Weng, “CuO nanowire-based humidity sensors prepared on glass substrate,” Sensors and Actuators B: Chemical, 156, 906-911, 2011.

[20] D. Gopalakrishna, K. Vijayalakshmi, and 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, 1004-1011, 2013.

[21] M. Fox, “Optical Properties of Solids” Oxford University Press, 4, 2001.

[22] R.E. Marotti, P. Giorgi, G. Machado, E.A. Dalchiele, “Crystallite size dependence of band gap energy for electrodeposited ZnO grown at different temperatures” Solar Energy Materials & Solar Cells, 90, 2356–2361, 2006.

[23] S. Rehman, A. Mumtaz, and S. Hasanain, “Size effects on the magnetic and optical properties of CuO nanoparticles,” Journal of Nanoparticle Research, 13, 2497-2507, 2011.

[24] K. Borgohain and S. Mahamuni, “Formation of single-phase CuO quantum





# An Investigation on the Physical Properties and Photoconductivity Effect of CuO Nanostructures Prepared by Thermal Oxidation Route

M. Jafari, H. Eshghi\*

Department of Physics, Shahrood University of Technology, Shahrood

**Abstract:** Cupric oxide (CuO) thin films were synthesized on commercial ITO substrate using thermal oxidation route, a Cu-layer deposited by PVD method were prepared in two cases: in absence and in presence of an adhesive oxide layer on the substrate. Samples were characterized by FESEM images, XRD and UV-Vis. spectra. We found sample without adhesive layer is grown in the form of nano-grains with relatively slick surface, and the sample with adhesive layer is covered with porous grains containing small finegrains, about 30 nm or less. The XRD spectra of the samples indicate a polycrystalline structure in monoclinic phase with the main orientations of (111) and ( $\bar{1}11$ ). Among these samples, the sample with presence of an adhesive layer has a better physical conditions (i.e. bigger crystallite sizes, smaller band gap and higher optical absorbance). Finally, photoconductivity effect in metal-semiconductor-metal (MSM) structure was investigated using a red (620 nm) LED lamp. The results showed that sensitivity of the sample with adhesive layer is about 3 times bigger than one without adhesive layer, and also its variation vs. lamp electrical power is linear.

**Keywords:** Cupric oxide (CuO), Thermal oxidation, Nanostructure, Photoconductivity effect