



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 - نانوسیم های اکسید مس به روش اکسایش حرارتی در حضور هوا بر روی ورقه مس به دو شیوه پیوسته و پلکانی (نمونه های C456 و S456) در بازه دمایی $400-600^{\circ}\text{C}$ تهیه شده اند. دریافتیم نانوسیم ها به صورت عمودی بر روی ورقه مسی تشکیل شده اند. در بین این نمونه ها نمونه C456 از شرایط بهینه اپتیکی (بازتاب کمتر و گاف نواری کوچکتر) برخوردار است. در این نمونه نانوسیم ها دارای قطر تقریباً 100nm و طولی در گستره $2-6.5\text{ }\mu\text{m}$ هستند. اثر فوتورسانایی با استفاده از نور LED قرمز در این نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد که نمونه C456 از حساسیت نوری بیشتری در مقایسه با S456 برخوردار است.

کلید واژه ها: اثر فوتورسانش، اکسایش حرارتی، اکسید مس، نانوسیم ها.

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

Monireh Jafari; Hosein Eshghi

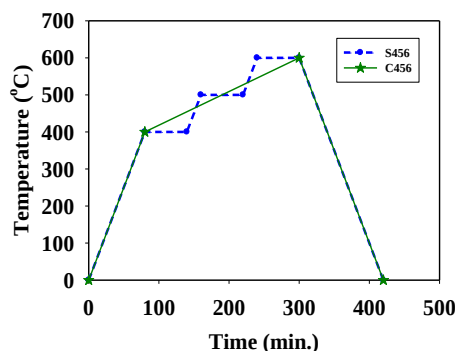
Department of Physics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

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 $400-600^{\circ}\text{C}$ 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 $2-6.5\text{ }\mu\text{m}$. 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.

۱- مقدمه

بازه طول موج ۴۰۰-۱۱۰۰ nm اندازه گیری شده اند.



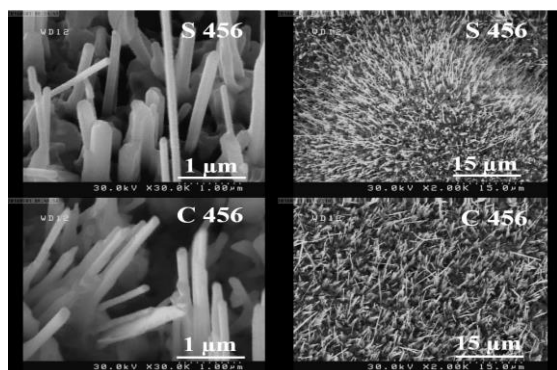
شکل ۱: نمودار دما-زمان کوره برای تهیه نانوسیم های اکسید مس.

برای بررسی اثر فوتورسانایی، یک الکتروود 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 ۱۰ W و به رنگ قرمز با طول موج ۶۲۰ nm و پهنای طیفی ۲۰ nm استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

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 S۴۵۶ و C۴۵۶

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

CuO یک نیمرسانای نوع p با گاف نواری مستقیم ۲/۱ eV 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، SnO₂، Fe₂O₃، In₂O₃، Ge₂O₃ 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.

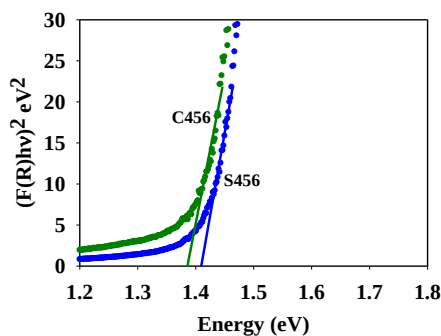
در این مقاله ما به بررسی خواص فیزیکی و نیز مطالعه خاصیت فوتورسانایی در نانو سیم های اکسید مس که به روش اکسایش حرارتی بر روی ورقه مس سنتز شده اند، پرداخته ایم.

۲- روش تهیه نمونه‌ها

برای تهیه نانوسیم های اکسیدمس، از ورقه ی مسی با ضخامت ۰/۱ mm و ابعاد ۱۰×۱۰ mm^۲ 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 تیوبی 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 ۴۰۰ °C 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 °C/min) به دمای ۶۰۰ °C می‌رسانیم. 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

نواری است برای تعیین گاف نواری اپتیکی نمونه‌ها، با ترسیم نمودار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب $h\nu$ و برونمایی داده‌ها در گستره خطی در ناحیه انرژی بالا با محور افقی به ازای $\alpha=0$ ، این کمیت بدست می‌آید.

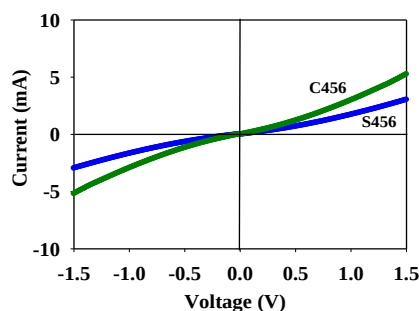


شکل ۴: تحلیل داده‌های اپتیکی در نمونه‌های تحت بررسی مبتنی بر معادله ۲.

نتایج بدست آمده از این تحلیل که در شکل ۴ نشان داده شده حاکی از آن است که گاف نواری مستقیم اپتیکی در نمونه‌های S456 و C456 به ترتیب ۱/۴۱ و ۱/۳۸ eV با خطای ± 0.01 eV هستند.

۳-۳ خواص الکتریکی

شکل ۵ نمودار جریان - ولتاژ نمونه‌ها را در شرایط تاریکی نشان می‌دهد.



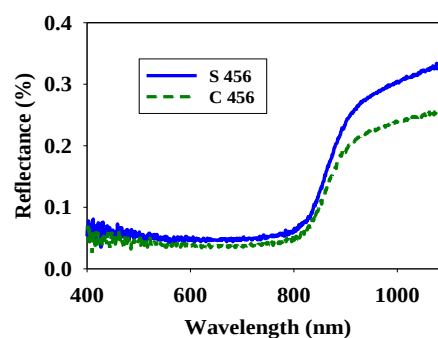
شکل ۵: مشخصه جریان - ولتاژ نمونه‌ها در شرایط تاریکی.

این داده‌ها 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 نمودارها می‌توان دریافت که نمونه C456 از رسانندگی الکتریکی بیشتری نسبت به نمونه S456 برخوردار است.

نمونه C456 نشان‌دهنده تشکیل نانوسیم‌های با طول‌های بلند تر (در گستره ۲-۶/۵ μm) و قطرهای باریکتر (در حدود ۱۰۰ nm) می‌باشد.

۳-۲ خواص اپتیکی

شکل ۳ طیف بازتاب اپتیکی لایه‌های مورد مطالعه را در محدوده‌ی طول موج‌های ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. با توجه به این طیف‌ها ملاحظه می‌شود که در ناحیه مرئی (۴۰۰-۷۰۰ nm) هر دو نمونه C456 و S456 هر دو از بازتابی در حدود کمتر از ۰/۱ درصد برخوردارند. این کاهش شدید در بازتاب می‌تواند ناشی از حضور نانوسیم‌ها در سطح و نیز فرایند جذب نور در این ساختارها باشد.



شکل ۳: طیف بازتاب اپتیکی نانو سیم‌های اکسید مس در نمونه‌های S456 و C456.

با استفاده از این داده‌ها و با توجه به معادله کوبلکا-مانک (معادله ۱) می‌توان ضریب جذب اپتیکی (α) را در این نمونه‌ها تعیین کرد [۶]:

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

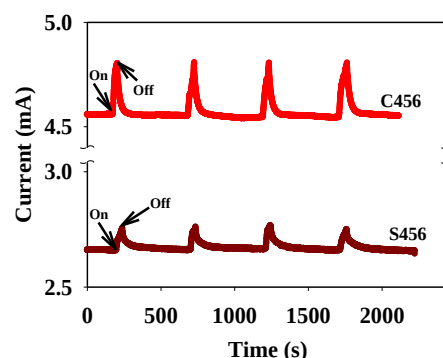
که در آن R داده‌های بازتاب به ازای هر طول موج است. حال با داشتن این کمیت می‌توان گاف نواری نمونه‌ها را از رابطه ۲ بدست آورد:

$$[(F(R)h\nu)]^n = A(h\nu - E_g) \quad (2)$$

که در آن $h\nu$ 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 به ترتیب برابر با ۲ و ۰/۵ است [۷]. باز آنجا که اکسیدمس نیمرسانایی با گذارهای مستقیم بین

۳-۴ بررسی اثر فوتورسانایی

به منظور بررسی رفتار نمونه های ساخته شده در کاربرد وابسته به خاصیت فوتورسانایی تحت تابش نور قرمز به دو سر الکترودهای طلا ولتاژی برابر $1/5$ V اعمال نموده ایم (شکل ۶). کار مشابهی در این مورد توسط وانگ و همکاران [۴] بر روی سیم مسی (بدون وجود الکترودهای) 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 می باشد.



شکل ۶: پاسخ نوری دینامیکی نمونه های $C456$ و $S456$ به تابش نور قرمز با طول موج 620 nm.

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

$$S(\%) = \left(\frac{I_L - I_D}{I_D} \right) \times 100 = \left(\frac{\Delta I_{ph}}{I_D} \right) \times 100 \quad (3)$$

که در آن S حساسیت، I_L جریان روشنایی و I_D جریان تاریکی است. با توجه به داده های بدست آمده حساسیت در نمونه های $S456$ و $C456$ به ترتیب عبارتند از: $3/8$ و $5/5$ درصد، که نشانگر حساسیت بیشتر در نمونه $C456$ 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- نتیجه گیری

نانوسیم های اکسید مس به روش اکسایش حرارتی در حضور هوا بر روی ورقه مس به صورت پیوسته و پلکانی در بازه $400-600$ °C تهیه شده اند. تصاویر FESEM نشان دهنده وابستگی مورفولوژی سطح نمونه ها به شیوه گرمادهی بوده و

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, Shouu-Jinn Chang, Wen-Ying Weng, Cheng-Liang Hsu, Sin-Hui Wang, Chiu-Jung Chiu, Ting-Jen Hsueh, and Sheng-Po Chang, "A Visible-Blind TiO_2 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 TiO_2 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 DC directly applying voltage", *Applied Surface Science* 313 (2014) 640–646.