



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



بررسی ویژگی‌های نوری اکسیدمس تهیه شده به روش اسپاترینگ مگنترونی با استفاده از طیف بازتابی و عبوری

سید سعید به‌آیین^۱، مریم محمودی قالوندی^۲، علی‌رضا رازقی‌زاده^۲ و اسماعیل پاکیزه^۱

^۱دانشگاه شیراز، گروه فیزیک

^۲دانشگاه پیام نور، گروه فیزیک

چکیده - در این پژوهش، لایه‌های نازک اکسیدمس به روش کندوپاش واکنشی مغناطیسی RF روی زیرلایه‌های شیشه‌ای در توان‌های مختلف نهشته شده‌اند. پراش اشعه‌ی ایکس (XRD)، و اسپکتروفوتومتر به ترتیب برای توصیف خواص ساختاری و خواص نوری لایه‌ها به کار رفته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش توان، فاز اکسیدمس از CuO به Cu_2O تغییر پیدا می‌کند همچنین اندازه‌ی ریزبلورک‌ها افزایش یافته است. ضریب شکست، ضریب جذب، ضریب خاموشی و گاف انرژی نیز با استفاده از طیف سنجی محاسبه شده است. کلید واژه - اسپکتروفوتومتر، کندوپاش واکنشی مغناطیسی، گاف انرژی، لایه نازک.

Optical properties of Copper Oxide prepared by magnetron sputtering using reflection and transmission spectra

saeed behaein¹, Maryam Mahmoudi ghalvandi², alireza razeghizadeh², Esmail Pakizeh¹

¹Department of physics, University of Shiraz, Shiraz

²Department of physics, University of payame noor, Ahvaz.

Abstract- In the present experimental work, Copper Oxide thin films were deposited by reactive radio frequency magnetron sputtering on glass substrates at various power and under the same conditions. Effect of changing the power on structural and electrical properties of the layers were studied. The structural properties, and optical properties of the copper Oxide films are investigated by X-ray Diffraction (XRD), and UV-IR Spectroscopy techniques respectively. It was observed with increasing power, Copper Oxide phase changes from CuO to Cu_2O . Optical properties also are obtained.

Keywords: Band gap, Reactive Magnetron Sputtering, Thin film, UV-IR Spectroscopy.

۱- مقدمه

اکسیدمس (Cu_2O) نیم‌رسانا نوع p با شکاف باند ۲/۰ eV توجه زیادی را بخاطر کاربردهای آن در مواد نوری و مغناطیسی، تبدیل انرژی خورشیدی، سنجش گاز، باتری-های لیتیوم یون، و تجزیه به خود جلب می‌کند [۲]. در حال حاضر انواع متعددی از سنسورهای گاز به طور گسترده برای تشخیص گازها و بخارات آلی استفاده می‌شود. به دلیل سادگی و هزینه کم، سنسورهای گاز اکسید فلزی نیم‌رسانا در میان بسیاری از انواع دیگر سنسور گاز برجسته هستند. Cu_2O به عنوان اولین نیم‌رسانا اکسید فلزی، به طور گسترده‌ای در برنامه‌های کاربردی عکس ولتائیک به دلیل گاف نواری مستقیم ۲ ولت، مورد استفاده قرار گرفت [۱]. نانوسیم اکسید مس (Cu_2O) و اکسید مس (CuO) برای بسیاری از خواص فیزیکی جالب و برنامه‌های کاربردی گسترده شناخته شده است. در مقایسه با مواد نیم‌رساناهای سنتی، مانند Si و GaAs، اکسید مس فراوان‌تر و کم هزینه‌تر با سمیت کم و قابل قبول زیست محیطی است. بنابراین، سنتز و کاربردهای نانوسیم Cu_2O و CuO علاقه خاصی برای محققان هستند [۴].

۲- روش انجام آزمایش

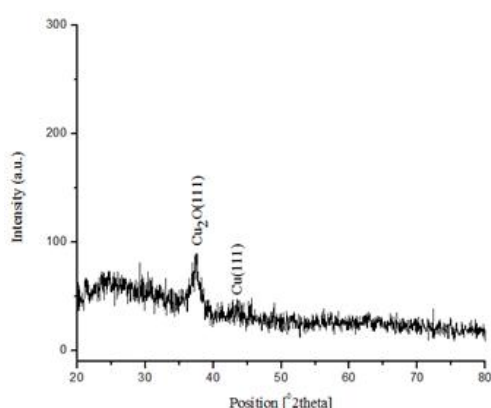
یک هدف مسی با شرایط (خلوص بالای ۹۹/۹۵٪ ضخامت ۸ میلی متر و قطر ۴ اینچ) تهیه و پس از صیقل دادن به وسیله سمباده‌های نرم، با استون و اتانول تمیز شده و بر روی مگنترون سیستم کندوپاش نصب شد. زیرلایه‌ها نیز به ابعاد $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ و ضخامت ۱ میلی‌متر در محلول‌های اتانول و استون با استفاده از یک حمام مافوق صوتی به خوبی تمیز شده و در سیستم قرار گرفتند. از آرگن تجاری (با خلوص ۹۹/۹۹٪) به عنوان گاز کاری و از گاز واکنشی (با خلوص بالای ۹۹/۹۹٪) استفاده شد. لایه‌های مورد نظر با شرایطی که در جدول ۱ نشان داده شده، به روش کندوپاش مگنترونی واکنشی RF تهیه شده‌اند [۳]. تشخیص نوع ساختار و کشف ماهیت محصولات به وسیله دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) مدل D8 Advance Bruker انجام گرفت. خواص نوری لایه‌ها به وسیله دستگاه اسپکتروسکوپی مدل Cary 500 Scan شرکت Varian انجام شد.

جدول ۱: شرایط کاری برای تهیه لایه‌ها به روش کندوپاش مگنترونی.

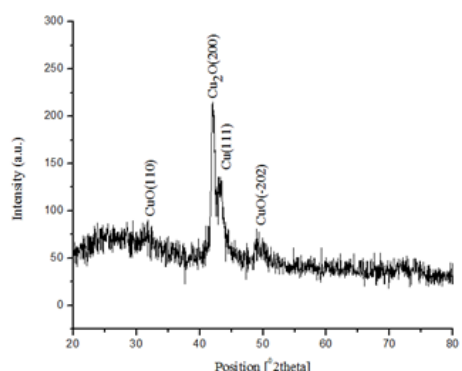
فشار Ar (mbar)	فشار O_2 (mbar)	توان (w)	زمان (s)
$2/45 \times 10^{-2}$	1×10^{-2}	۱۵۰	۱۱۰۰
$2/57 \times 10^{-2}$	$1/1 \times 10^{-2}$	۲۸۰	۱۱۰۰
$2/49 \times 10^{-2}$	1×10^{-2}	۳۱۰	۱۲۰۰
$2/49 \times 10^{-2}$	1×10^{-2}	۳۴۰	۱۱۰۰

۳- نتیجه‌گیری

۳-۱ ساختار لایه‌ها

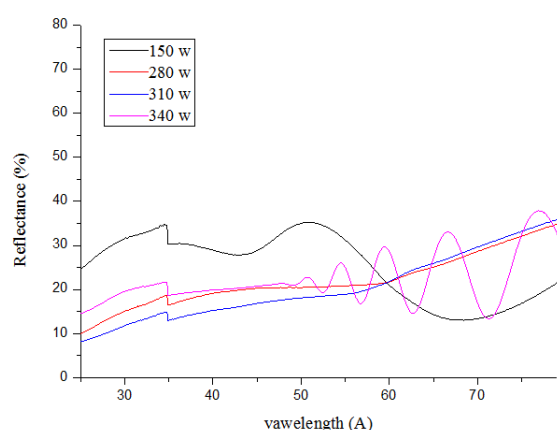


شکل ۱: طرح پراش XRD نمونه‌ی نهشت شده با توان ۱۵۰ وات.



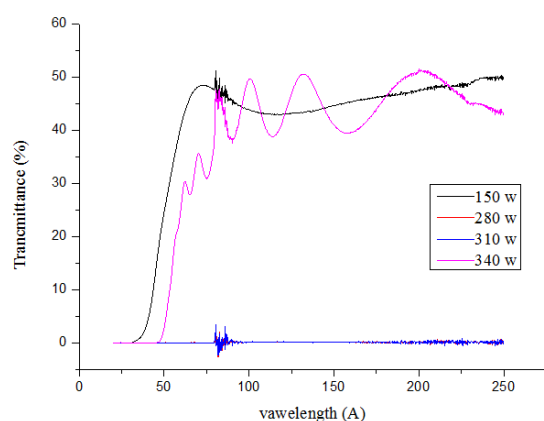
شکل ۲: طرح پراش XRD نمونه‌ی نهشت شده با توان ۲۸۰ وات.

برای بررسی ساختار بلوری لایه‌ها از دستگاه پراش اشعه‌ی ایکس (XRD) در گستره‌ی زاویه‌ی 10° – 100° توسط تابش $\text{CuK}\alpha$ با طول موج $\lambda = 1/54.056$ استفاده شد. در شکل-های ۱–۴ مشاهده می‌شود که با افزایش توان فاز



شکل ۵: طیف بازتابی نمونه‌های نهشت شده.

عبور صفر هستند که احتمالاً به این دلیل است که اتم-های مس واکنش ندادی زیادی در لایه وجود دارد. در صورتی که نمونه‌های نهشت شده در توان‌های ۱۵۰ و ۳۴۰ وات دارای ظاهری قهوه‌ای رنگ و شفاف می‌باشند و طیف عبوری و بازتابی آنها خاصیت نیم‌رسانا و شفافیت از

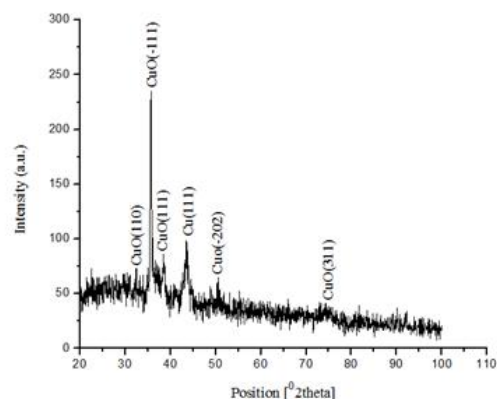


شکل ۶: طیف عبوری نمونه‌های نهشت شده.

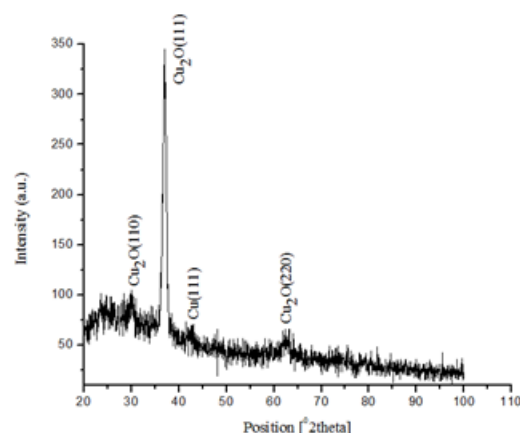
خود نشان می‌دهد. به منظور ارزیابی درصد جذب نمونه-ها، طیف‌های انعکاسی اندازه‌گیری شده با استفاده رابطه‌ی زیر به طیف‌های جذبی تبدیل شدند. (شکل ۷)

$$A = \log \frac{1}{\%R \times 100} \quad (1)$$

ضریب شکست لایه با ضخامت d ، با ضریب شکست n و ضریب جذب α که بر روی زیر لایه ای با ضریب شکست n_s لایه نشانی شده است، با استفاده از دو پوش بیشینه و کمینه فریزهای تداخلی طیف عبوری $T_m(\lambda)$ و $T_M(\lambda)$ در ناحیه جذب متوسط و ضعیف با رابطه



شکل ۳: طرح پراش XRD نمونه‌ی نهشت شده با توان ۳۱۰ وات.



شکل ۴: طرح پراش XRD نمونه‌ی نهشت شده با توان ۳۴۰ وات.

اکسیدمس از CuO به Cu₂O تغییر پیدا می‌کند به‌طوری که در توان ۳۱۰ وات فقط فاز CuO و در توان ۳۴۰ وات فقط فاز Cu₂O تشکیل شده است که این مسأله با توجه به رنگ لایه‌های نهشت شده نیز قابل تشخیص می‌باشد، چون که لایه‌هایی که با توان ۱۵۰ و ۳۴۰ وات نهشت شده‌اند قرمز مایل به قهوه‌ای هستند که این رنگ نشان-دهنده‌ی فاز خالص Cu₂O می‌باشد. فاز سیاه رنگ است که رنگ سیاه لایه‌های نهشت شده در توان‌های ۳۱۰ و ۲۸۰ وات، به‌دلیل وجود فاز CuO می‌باشد. البته فاز مس نیز در تمام مراحل تشکیل شده است که طبیعتاً اجتناب ناپذیر است.

۳-۲ نتایج حاصل از طیف سنجی

همان‌طور که از طیف‌های بازتابی و عبوری نمونه‌ها (شکل‌های ۶ و ۵) مشخص شده است، نمونه‌های نهشت شده در توان‌های ۲۸۰ و ۳۱۰ وات دارای بازتاب بالا و

زیر تعیین می شوند:

$$n = [N + (N^2 + n_s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (2)$$

که در آن n_s ضریب شکست زیرلایه و N از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$N = 2n_s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{n_s^2 + 1}{2} \quad (3)$$

که در آن T_M پوش بیشینه و T_m پوش کمینه هستند. با محاسبه ضریب شکست لایه، مطابق با دو بیشینه مجاور (یا دو کمینه مجاور) n_1 در نقطه λ_1 و n_2 در نقطه λ_2 ضخامت لایه با رابطه زیر تعیین می شود:

$$d = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2(\lambda_2 n_1 - \lambda_1 n_2)} \quad (4)$$

با داشتن ضریب شکست و ضخامت می توان ضریب جذب لایه را از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$\alpha(\lambda) = -\frac{1}{d} \ln \frac{(n-1)(n-n_s)(\frac{T_M}{T_m}+1)^{1/2}}{(n+1)(n-n_s)(\frac{T_M}{T_m}-1)^{1/2}} \quad (5)$$

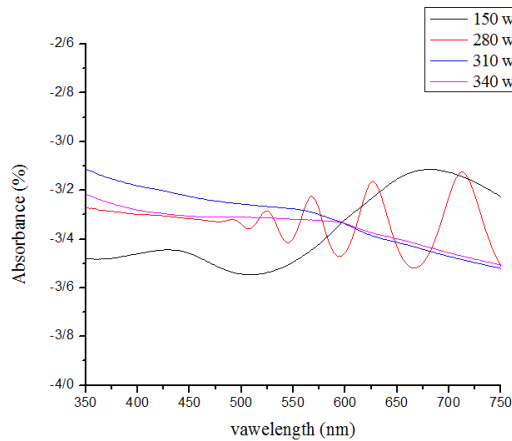
همچنین ضریب خاموشی با رابطه زیر محاسبه می شود:

$$K(\lambda) = \frac{\alpha(\lambda) \cdot \lambda}{4\pi} \quad (6)$$

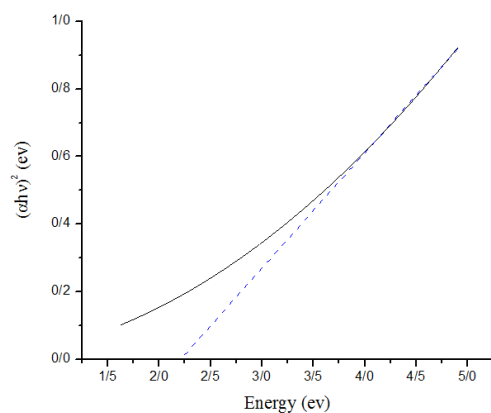
گاف انرژی نمونه ها با داشتن ضریب جذب $\alpha(\lambda)$ و با استفاده از معادله $Tauc$ محاسبه شده است:

$$\alpha(\lambda) = \frac{\beta \sqrt{(h\nu - E_g)}}{h\nu} \quad (7)$$

که در آن β مقداری ثابت و E_g گاف انرژی است. با رسم خط مماس بر منحنی $(\alpha h\nu)^2$ برحسب $(h\nu)$ و بدست آوردن محل تقاطع با محور انرژی یعنی در $\alpha=0$ مقدار گاف انرژی محاسبه می شود. گاف انرژی بدست آمده در شکل ۸ در محدوده ۴۰۰-۱۲۰۰ نانومتر انتخاب شده است.



شکل ۷: طیف جذبی نمونه های نهشت شده.



شکل ۸: منحنی گذار مستقیم نمونه نهشت شده با توان ۱۵۰ وات.

مراجع

- [1] P.A. Praveen Janantha, L.N.L. Perera, K.M.D.C. Jayathilakab, J.K.D.S. Jayanetti, D.P. Dissanayakaa and W.P. Siripalab, *Use of Cu₂O microcrystalline thin film semiconductors for gas sensing*, **Proceedings of the Technical Sessions**, 25, 70-76, Institute of Physics – Sri Lanka, 2009.
- [2] Qing Hua, et al, *Cu₂O–Au Nanocomposites with Novel Structures and Remarkable Chemisorption Capacity and Photocatalytic Activity*, **Research Article**, 1998.
- [3] S. Berg, T. Nyberg, *Fundamental understanding and modeling of reactive sputtering processes*, **Thin Solid Films** 476, 215–230, 2005.
- [4] Yumei Yue et al, *Stress-induced growth of well-aligned Cu₂O nanowire arrays and their photovoltaic effect*, **Scripta Materialia**, 2012.