

بررسی پارامترهای رشد لایه‌های اکسید مس ساخته شده به روش انباشت بخار مرطوب فراصوت و ایجاد لایه‌های فوق آبدوست

بهنوش آب‌ورز^{*}، حسن اله‌داغی، محمد زیرک

دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

چکیده

در این پژوهش لایه‌نشانی اکسید مس به روش جدید و آسان انباشت بخار مرطوب فراصوت (UMVD¹) انجام شد. این روش که نسبت به روش اسپری پایرولیز² از مزایای منحصر بفردی بهره‌مند است، به راحتی و بصورت تکرارپذیر می‌تواند لایه‌های مختلف اکسید مس را روی سطح شیشه لایه‌نشانی کند. پارامترهای مختلفی از قبیل دمای زیر لایه، فاصله نازل و زاویه نازل با زیر لایه مورد بررسی قرار گرفت. لایه‌های ساخته شده به منظور تغییر خواص ترشوندگی درون اسید استئاریک قرار گرفتند که بصورت محسوس زاویه تماس آب را کاهش دادند. ویژگی‌های نوری، ریخت‌شناسی، زبری سطح و آبدوستی این لایه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. طیف عبور نشان داد که با افزایش دمای زیر لایه، میزان ماده کمتری روی سطح نشانده شده است. از طرفی با بررسی ریخت‌شناسی مشخص شد که با افزایش دما و افزایش فاصله نازل با زیر لایه و کاهش زاویه مقدار زبری سطح نیز متعاقباً کاهش پیدا می‌کند. در انتها به منظور داشتن لایه‌ای فوق آب دوست، لایه‌ها درون اسید استئاریک قرار گرفتند که بعد از بیرون آوردن لایه‌ی ساخته شده در دمای زیر لایه 330°C ، فاصله‌ی نازل تا زیر لایه 7 cm و زاویه زیر لایه 25° دارای زاویه تماس زیر 1° بود که این نتیجه در کاربردهای پوشش‌های ضد بخار یا حسگرهای لایه‌نازک بسیار مفید است.

واژه‌های کلیدی: اکسید مس، اسید استئاریک، لایه‌نشانی به روش اسپری بخار مرطوب فراصوت UMVD، مورفولوژی سطح.

Abstract

In this research, copper oxide thin film was deposited on the glass substrate using a new and easy ultrasonic mist vapor deposition (UMVD) technique. Various parameters such as substrate temperature (T), nozzle distance (S) and nozzle angle with the substrate (A) were investigated systematically. The deposited layers were immersed in stearic acid solution to change the wettability properties, which significantly reduced the water contact angle (CA). The optical characteristics, morphology, surface roughness and wettability of these layers were explored by UV-Vis transmission spectroscopy, scanning electron microscope, confocal microscope and CA measurement, respectively. The transmission spectrum showed that less copper oxide material was deposited when the substrate temperature (T) increased. On the other hand, by examining the morphology, it was found that the surface roughness value decreased for higher temperature and nozzle distance and smaller nozzle angle with the substrate. Finally, the layers were immersed in stearic acid in order to have a super hydrophilic layer. The $CA = 0^{\circ}$ was obtained for the layer deposited with $T = 330^{\circ}\text{C}$, $S = 7\text{ cm}$ and an $A = 25^{\circ}$. Such super hydrophilic surface obtained via a facile deposition method is an excellent layer to be used in sensor devices and anti-fog coatings.

Key words: copper oxide, stearic acid, ultrasonic mist vapor deposition (UMVD), surface morphology.

E-mail of Corresponding author: behnooshabvarz@gmail.com

¹ Ultrasonic mist vapor deposition

² Spray pyrolysis

مقدمه

دلیل خواص الکترونی ضعیف و خواص ساختاری، راندمان تبدیل توان بسیار زیاد است.

سان^۳ و همکاران [۱۶]. نانوذرات اکسید مس با روش کلونید حرارتی را سنتز و خواص نوری و الکتریکی آن را بررسی کردند. به منظور مطالعه خواص الکتریکی نانوذرات اکسید مس اندازه‌گیری طیف‌سنجی فوتوالکترون پراش اشعه ایکس (XPS) انجام گرفت. جهت بررسی خواص نوری اندازه‌گیری جذب و فتولومینسانس (PL) انجام گرفت که نتایج، نشان‌دهنده اختلاف انرژی نانوذرات اکسید مس در ۳۰۰ K در طیف جذبی ev ۳.۶۳ است. به دلیل کاهش ابعاد اکسید مس دامنه تغییرات طیفی تا مشاهده رنگ آبی رسیده است. در طیف PL نانوذرات CuO اوج انتشار در منطقه آبی رنگ مشاهده و FWHM از طیف PL بسیار کوچک است که نشان دهنده کیفیت بلوری در نانوذرات اکسید مس است.

ژان^۴ و همکاران [۱۷]. لایه پلی ایمیدی^۵ بر روی سطوح بالایی و زیرین اکسید مس قرار دادند. واکنش تبادل یونی بین K^+ و Cu^{2+} از طریق هیدرولیز بازی KOH انجام گرفت. پایداری حرارتی و خصلت چسبندگی تهیه شده کامپوزیت CuO-polyimide نسبت به پلی‌امید بدون پوشش بهتر بوده است. نانو ذرات اکسید مس بوسیله روش سل-ژل سنتز، و از اتیلن‌دی‌آمین تترا استیک اسید^۶ در نقش پوشش دهنده بر روی سطح آن و جهت کنترل اندازه و مورفولوژی نانوذرات CuO استفاده شد. براساس نتایج حاصل از طیف سنجی نانو ذرات CuO پوشش داده با اتیلن‌دی‌آمین تترا استیک اسید، خواص نوری بهتری نسبت به CuO از خود نشان داده است [۱۸]. علاوه بر کاربردهای ذکر شده گاه‌ها خواص ترشوندگی لایه‌های اکسید مس نیز مورد بررسی قرار می‌گیرید. وو^۷ و همکارانش با استفاده از

به پوشش‌هایی که قطرات آب روی سطح آن‌ها زاویه تماس کم‌تر از 5° در مدت زمان زیر ۰.۵ ثانیه را دارد پوشش فوق‌آبدوست می‌گویند. خاصیت فوق‌آبدوستی در یک سری از مواد بدلیل تابش نور و در یک سری دیگر به صورت ذاتی است [۱]. فوق‌آبدوستی کاربردهای ویژه‌ای دارد از جمله: خاصیت ضد مه گرفتگی و خاصیت خودتمیزشوندگی [۲ و ۳].

اکسید مس یک ترکیب شیمیایی معدنی با بلورهای سبز تیره است و بشکل (CuO و Cu_2O) می‌باشد. از نظر محیطی آسیبی به اطراف خود وارد نمی‌کند، غیر سمی، پایدار، در دسترس و ارزان قیمت است. اکسید مس دو ظرفیتی یک نیمه هادی نوع p با شکاف انرژی ev ۱/۲ تا ev ۱/۹ است [۵ و ۴]. همچنین دارای کاربردهای مختلفی در سلول‌های خورشیدی PV، تجهیزات الکتریکی، نوری، کاتالیزورها، محیط‌های مغناطیس قوی، حسگرهای گازی، الکترودهای لیتیم-یون، مواد آنتی باکتریال دارد [۶-۱۱]. روش‌های متنوعی برای ساخت نانو ساختارهای اکسید مس وجود دارد که تاثیر بسیاری بر روی مورفولوژی نمونه می‌گذارد [۱۲ و ۱۳].

ژو^۱ و همکاران [۱۴]. با استفاده از یک پیش ماده (CuO و Cu_2O) موفق شدند که در غیاب هرگونه الگو و مواد فعال سطحی بتوانند استون، بنزن، متانول، آمونیاک و اتانول را با حساسیت بالا پیدا کند.

کوساگی^۲ و همکاران [۱۵]. یک کار کم هزینه را انجام دادند که لایه‌نازک Cu_2O را با روش اسپری پایرولیز تهیه کردند. در پی این تحقیق ضخامت لایه 500 nm و Cu_2O به‌عنوان جاذب در سلول‌های خورشیدی استفاده شد. اما به

⁵ Polyimide

⁶ EDTA

^۱Wo

¹ Zhou

² Kosugi

³ Sun

⁴ Zhan

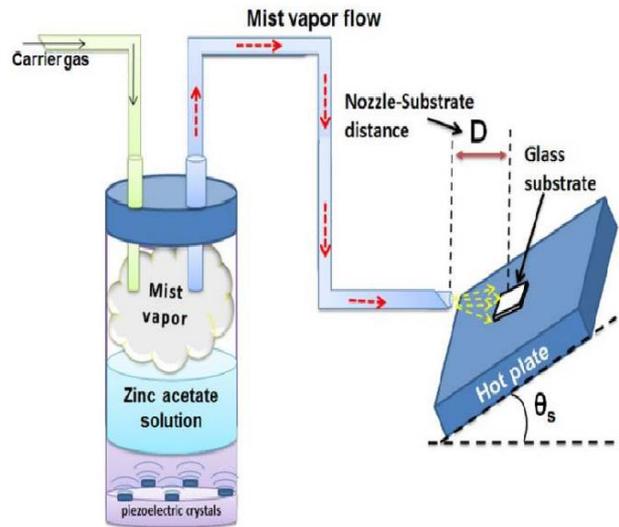
دستگاه‌های مشابه دارد و به دلیل این نیمه شفاف بودن، مقاومت بالا در مقابل اسید و قیمت مناسب و تولید لایه‌های فوق آبدوست از اکسید مس استفاده شد.

روش اسپری UMVD که در شکل ۱ آمده مانند روش اسپری پیرولیز یا همان لایه‌نشانی از طریق تجزیه در اثر حرارت می‌باشد. با این تفاوت که در این روش گاز حامل با فشار بالا استفاده نمی‌شود و به کمک یک پمپ ذرات به سمت زیر لایه هدایت می‌شود. و لایه‌های نازک اکسید مس به روش UMVD لایه‌نشانی شده‌اند و میزان آبدوستی آن بررسی شد.

نانومخروطهای مس و حرارت دهی، لایه‌های اکسید مسی را ساختند و خواص ترشوندگی آنها را نیز مورد مطالعه قرار دادند [۱۹].

هدف از لایه‌نشانی اکسید مس به روش UMVD به شرح زیر است:

لایه‌های اکسید مس به روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی لایه‌نشانی می‌شود که در این پژوهش از روش UMVD استفاده شده که روشی جدید برای لایه‌های اکسید مس می‌باشد و حجم محلول استفاده شده در این روش لایه‌نشانی بسیار کم است. لایه‌ها کاملاً یکنواخت، هزینه کم و تکرارپذیری فوق العاده بالایی نسبت به



شکل ۱- شماتیک و تصویر دستگاه UMVD [۲۰].

و همچنین از میکروسکوپ نوری کانفوکال نانوفوکوس برای بررسی ساختار سطح در اندازه میکروسکوپی استفاده می‌شود. از دستگاه طیف‌سنج عبوری UV-Vis، (DLAB (SP-UV1100)) برای بررسی خواص نوری لایه‌ها؛ از آنالیز زاویه تماس (دوربین دست ساز) برای میزان آبدوستی سطح لایه‌ها و از دستگاه SEM برای مورفولوژی سطح نمونه استفاده شد.

مواد و روش تحقیق

مواد اولیه و تجهیزات مورد استفاده

در این تحقیق از مواد $(\text{CH}_3\text{Coo})_2\text{Cu} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (شرکت مرک آلمانی)، (شرکت مرک) Stearic acid، اتیل الکل (96.5%)، اسید کلرید، متانول، آب مقطر بعنوان حلال و بستر شیشه‌ای به عنوان زیر لایه استفاده می‌شود.

روش تحقیق

طیف عبور بدست‌آمده در **Error! Reference**

source not found. قسمت (الف) مربوط به نمونه‌های رشد یافته اکسید مس روی بستر شیشه با دماهای مختلف است. همانطور که دیده می‌شود با افزایش دما میزان عبور لایه‌ها بیش‌تر می‌شود و در نتیجه نمونه شفاف‌تر می‌باشد، بدین معنی که هرچه دما کم‌تر می‌باشد اکسید مس بیشتری روی سطح می‌نشیند در نتیجه میزان عبور کم‌تر و شفافیت نمونه کمتر می‌شود. قسمت (الف) نشان می‌دهد که در نمونه اکسید مس در دمای 450°C لایه بسیار کمی روی سطح نشسته است طوری که در طیف UV نشان داده نشده و شکاف انرژی اندازه‌گیری شده E_g شیشه است. و با توجه به جذب در محدوده شکاف انرژی در دماهای پایین شروع افت نزدیک‌تر است پس انتظار می‌رود شکاف انرژی کوچک‌تر باشد و با افزایش دما شکاف انرژی نیز بیشتر می‌شود. در قسمت (ب) منحنی‌های تاک^۱ شکاف انرژی نشان داده شد و میزان E_g مشخص است در دمای 450°C لایه کمی روی سطح نشسته است.

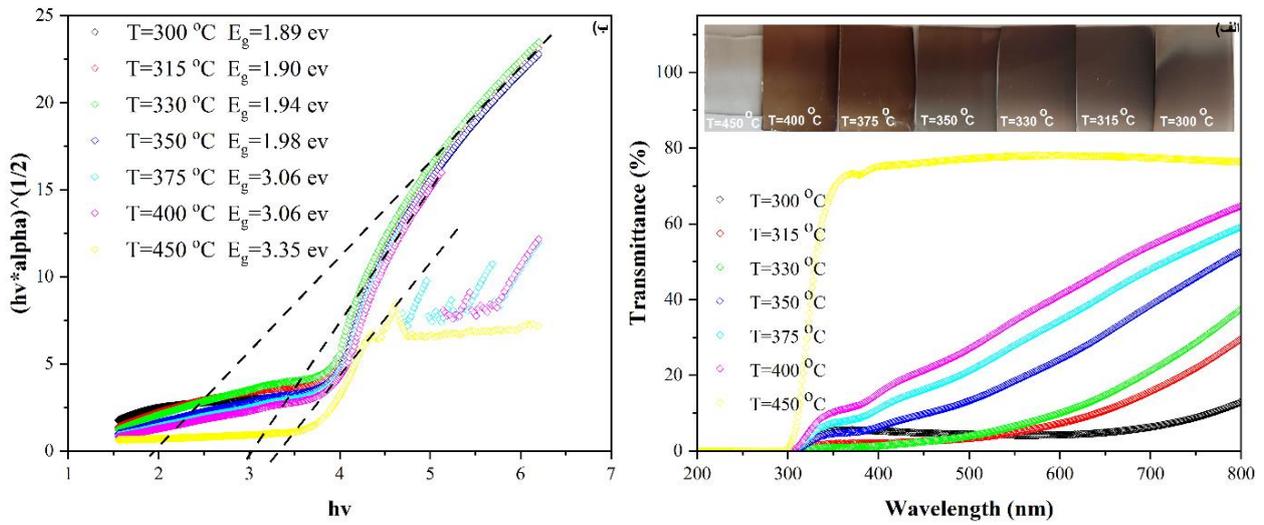
شکل ۳ تصاویر SEM نمونه تهیه شده به روش UMVD با میله مقیاس $1\ \mu\text{m}$ را نشان می‌دهد که از دمای 300°C تا 450°C چیده شده و ساختار نمونه‌ها به صورت دانه‌ای رشد یافته است. با توجه به شکل در دمای 300°C کاملاً مشهود است که لایه یکنواخت نمی‌باشد و با افزایش دما دانه‌ها به هم نزدیک‌تر شده و در دمای 400°C به هم چسبیده‌اند و در دمای 450°C دانه‌های متخلخل کروی نمایش داده می‌شود که پیش‌تر گفته شد در این دما تقریباً لایه‌ای روی سطح نمی‌نشیند و به ریخت‌شناسی سطحی شیشه نزدیک می‌شود.

تهیه محلول اکسید مس برای لایه‌نشانی و ساخت لایه‌نازک اکسید مس به روش UMVD محلولی به حجم 25mM ($3/99\text{g}$)، مس استات در $800\ \text{mL}$ آب مقطر) تهیه شد. سپس محلول ۱۵ دقیقه روی همزن مغناطیسی در دمای اتاق هم‌زده شد و $16\ \text{mL}$ اسید کلرید اضافه شده تا محلول کاملاً شفاف و سبز رنگ شود. زیر لایه‌های شیشه‌ای با آب و مایع ظرف‌شویی و سپس با آب مقطر و اتانول کاملاً شسته می‌شوند و روی سطوح لایه-نشانی می‌شود.

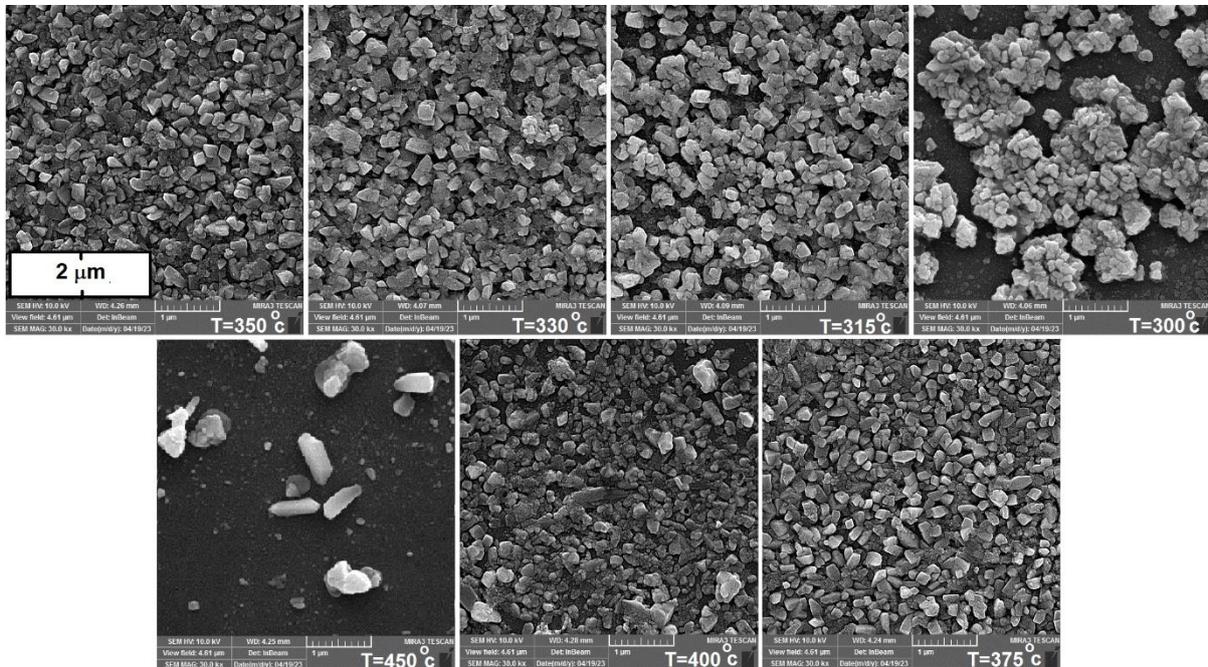
در ابتدا پارامترهای فاصله نازل با زیر لایه $7\ \text{cm}$ ، زاویه نازل به زیر لایه 25° ثابت نگه داشته شد و دماهای مختلف زیر لایه برای لایه‌نشانی 300°C ، 315°C ، 330°C ، 350°C ، 375°C ، 400°C و 450°C در نظر گرفته شد که دماهای زیر 300°C لایه غیر یکنواخت می‌شد و در دما بالای 450°C برای جلوگیری از آسیب به دستگاه و اینکه لایه‌ای روی سطح شیشه نمی‌نشست انجام نشد. سپس دما در 350°C و زاویه در 25° ثابت نگه داشته شد زیرا لایه یکنواخت‌تر است، فاصله نازل با زیر لایه مقادیر مختلف 5 ، 7 ، 9 و $11\ \text{cm}$ در نظر گرفته شد. سپس دما در 350°C و فاصله در $7\ \text{cm}$ ثابت در نظر گرفته شد به دلیل یکنواختی نمونه در این فاصله و مقادیر مختلف زاویه نازل به زیر لایه 0 ، 25 و 45° انتخاب شد که در 25° نمونه از یکنواختی بیشتری بهره‌مند است. برای عدم تغییر در زمان و بررسی آهنگ لایه‌نشانی زمان لایه‌نشانی برای تمامی نمونه‌ها ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

¹ Tauc



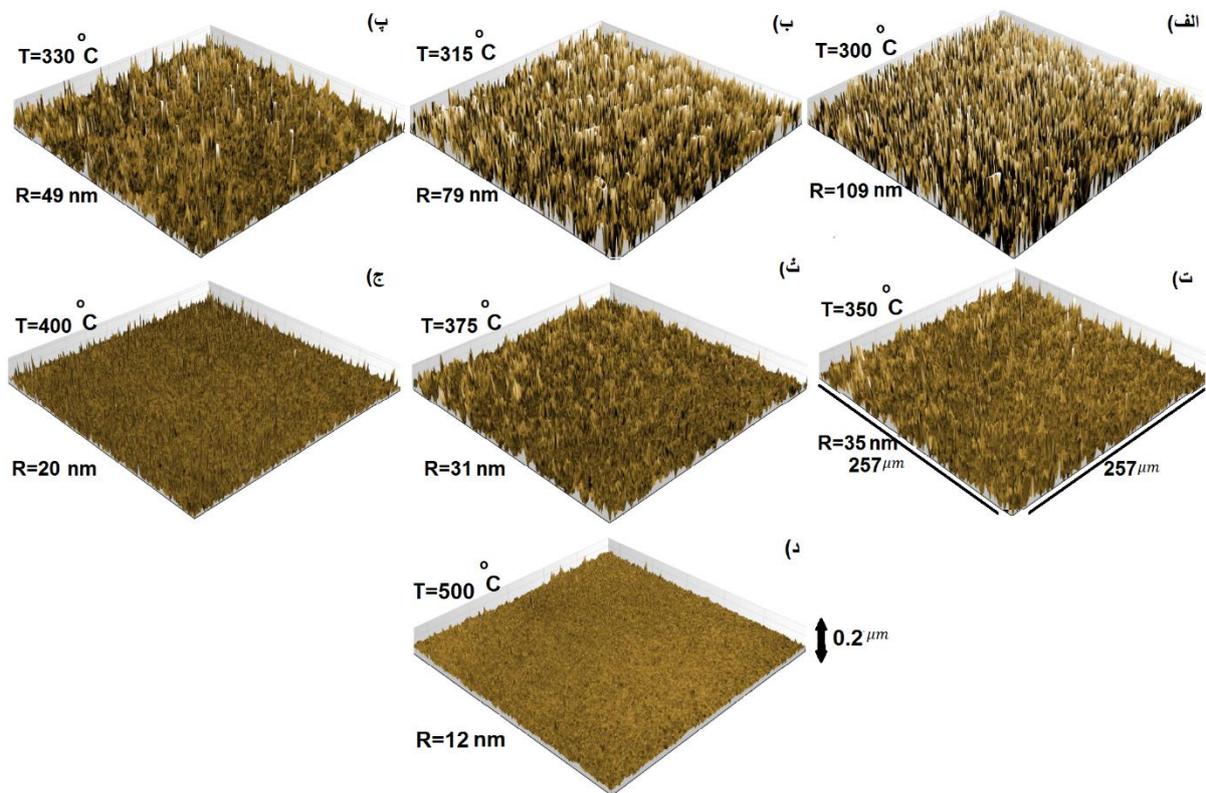
شکل ۲- (الف) طیف عبور نمونه‌های تهیه شده اکسید مس به روش UMVD در دماهای ۳۰۰ تا ۴۵۰ °C، (ب) منحنی تاک برای نمونه‌ها.



شکل ۳- تصاویر SEM نمونه‌های تهیه شده اکسید مس به روش UMVD در دماهای مختلف ۳۰۰ تا ۴۵۰ °C.

شده و باعث می‌شود در این فاصله و زاویه مقدار پیش‌ماده با فاز محلولی کمتری به زیرلایه برسد که در نتیجه ضخامت کم ماده و در نتیجه زبری کمتری را به همراه خواهد داشت. با توجه به شکل، لایه‌نازک اکسید مس در سرتاسر سطح مشاهده می‌شود و دارای ماکرومورفولوژی سوزنی با نرخ توزیع بسیار یکنواخت هستند. این نتایج با تصاویر SEM مربوط به لایه‌ها همخوانی دارد.

عکس‌های میکروسکوپی کانفوکال برای نشان دادن زبری سطح و ریخت‌شناسی سطحی نمونه در ابعاد ماکرو استفاده می‌شود. عکس کانفوکال بدست آمده برای نمونه اکسید مس در دمای ۳۰۰ تا ۴۵۰°C در شکل ۴ با ابعاد سطحی $257 \mu m$ در $257 \mu m$ نشان می‌دهد که زبری سطح با افزایش دما در نمونه (الف) تا (د) از ۱۰۹ به ۱۲ کاهش می‌یابد. افزایش دما باعث تبخیر بیشتر محلول پیش‌ماده

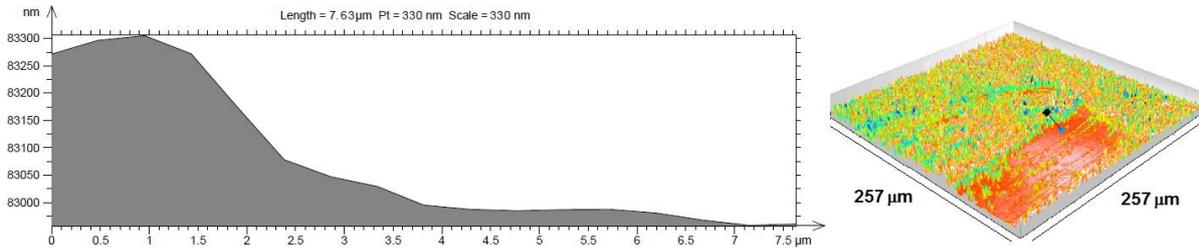


شکل ۴- عکس‌های مختلف کانفوکال نمونه‌ی اکسید مس تهیه شده به روش UMVD که دما و زبری هر نمونه روی تصاویر مشخص شده است.

از شکاف انرژی و قانون بیر-لامبرت^۱، لبه جذب در طول موج تقریباً ۶۰۰-۶۵۰ nm است که با افزایش دما، جذب کاهش می‌یابد و ضخامت کمتر می‌شود.

با توجه به شکل ۵ در تصویر کانفوکال نمونه با دمای ۳۰۰°C بخشی از نمونه لایه‌ای ننشسته است و بخشی دیگر لایه مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد ضخامت لایه تقریباً ۳۳۰ nm بدست آمد و از طیف عبور در شکل ۲ و با استفاده

² Beer-Lambert law



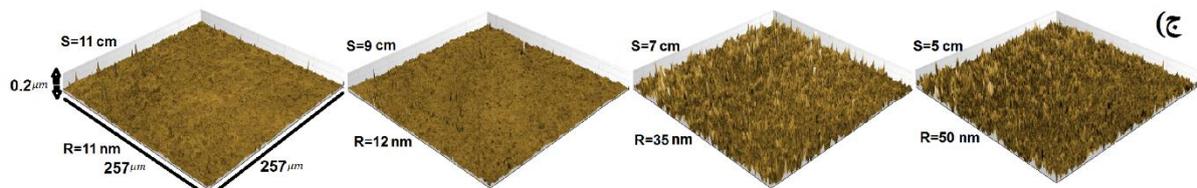
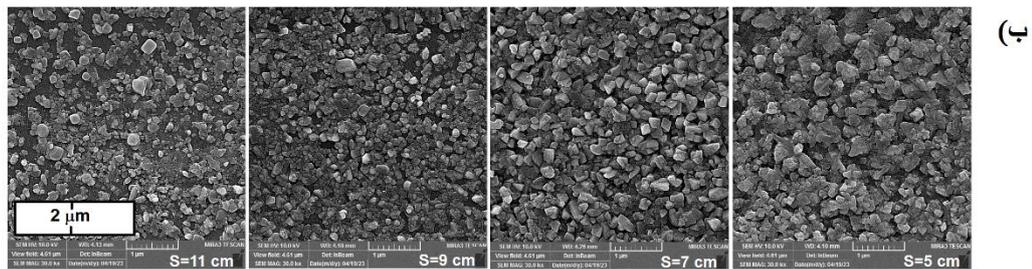
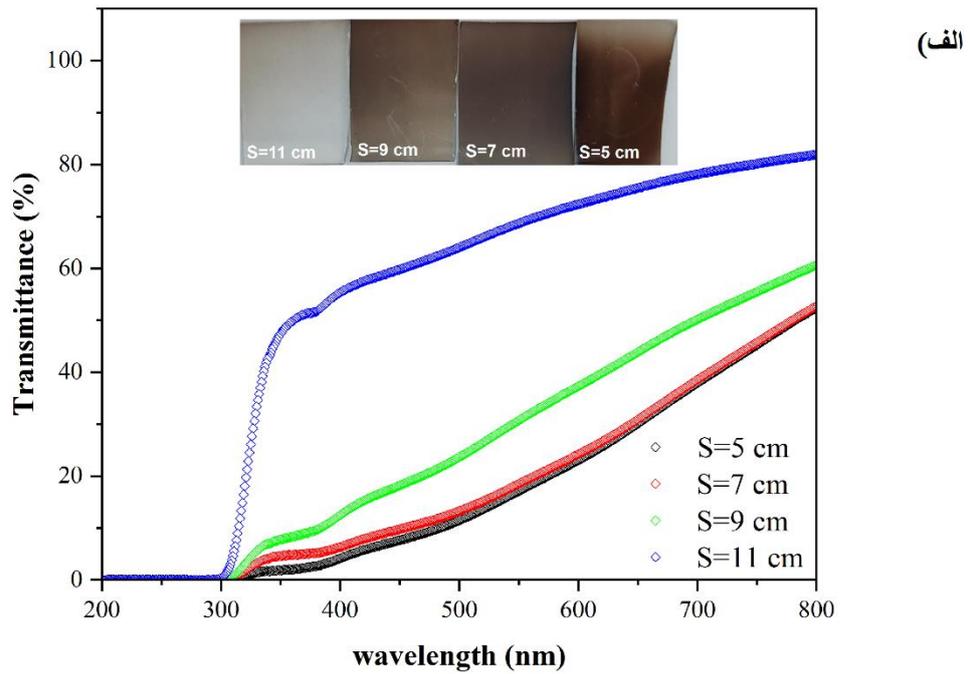
شکل ۵- عکس کانفوکال نمونه‌ی اکسید مس برای اندازه‌گیری ضخامت نمونه.

است. با توجه به تصاویر SEM ریخت‌شناسی لایه‌های رشد یافته شده در فاصله کم به علت تجمع بیشتر پیش‌ماده‌ها روی سطح، دارای ساختار منسجم‌تر و زبرتری بنظر می‌رسد. با توجه به شکل با افزایش فاصله دانه‌ها ریزتر شده و پیش‌تر گفته شد که در فاصله ۱۱ cm با توجه به میزان عبور و تصویر SEM نمونه، لایه کمی روی سطح نشسته است. در قسمت (ج) عکس‌های کانفوکال برای نشان دادن زبری سطح و مورفولوژی نمونه در ابعاد ماکرو استفاده شده است. عکس کانفوکال بدست آمده برای نمونه اکسید مس در فاصله ۵ تا ۱۱ cm نشان می‌دهد که با افزایش فاصله در نمونه زبری سطح کاهش می‌یابد. با توجه به شکل، لایه‌نازک اکسید مس در سرتاسر سطح مشاهده می‌شود و دارای ماکرومورفولوژی سوزنی با نرخ توزیع بسیار یکنواخت هستند.

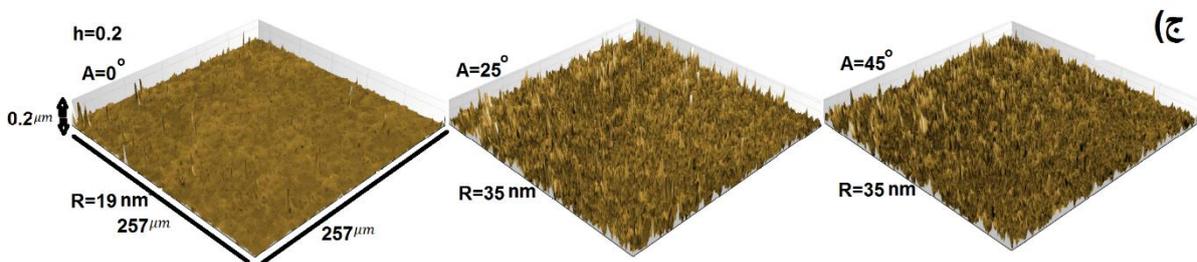
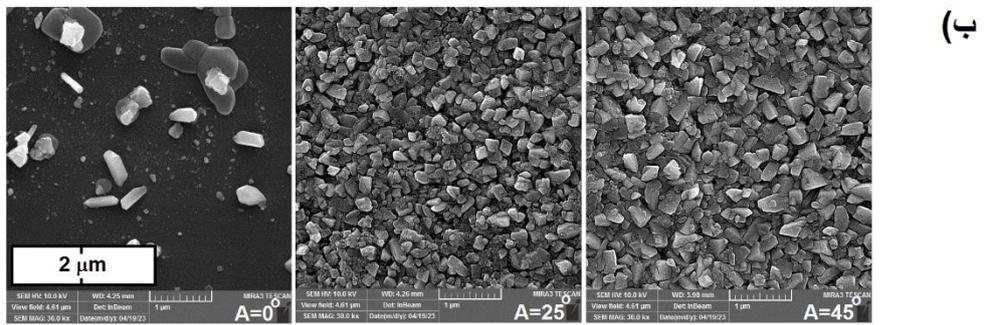
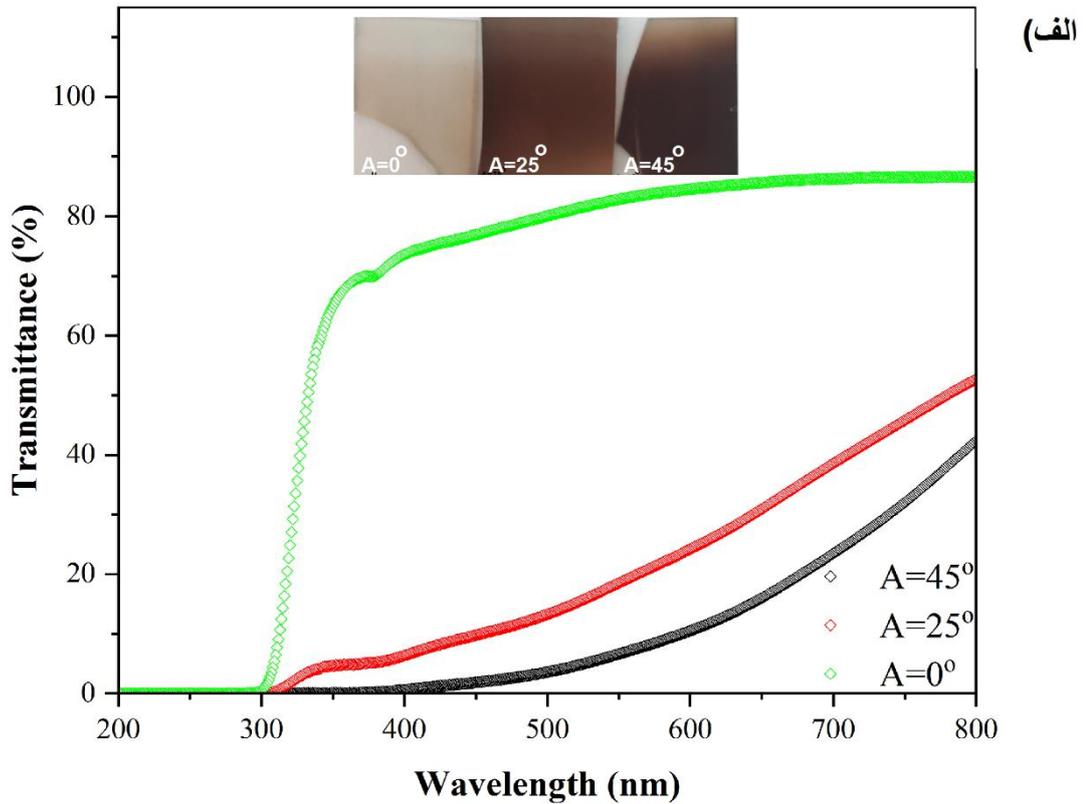
ساختار نمونه‌ها به صورت دانه‌ای رشد یافته است. اندازه دانه‌ها برای نمونه رشد یافته در زاویه 45° بیشتر است که می‌توان به ضخامت بیشتر آن ربطش داد. در ضخامت بیشتر، اتم‌های برای رشد یافتن بر روی همان داده‌های قبلی می‌نشینند و باعث بزرگ شدن سایز دانه‌ها می‌شوند. با توجه به شکل با کاهش زاویه پاشش دانه‌ها ریزتر شده و پیش‌تر گفته شد که در زاویه پاشش 0° لایه کمی روی سطح می‌نشیند. عکس‌های کانفوکال که برای نشان دادن زبری سطح و مورفولوژی نمونه در ابعاد ماکرو استفاده می‌شود در قسمت (ج) نشان می‌دهد با افزایش زاویه زبری

در قسمت بعدی نتایج مربوط به اثر تغییرات فاصله نازل با زیرلایه بررسی می‌شود. با توجه به شکل ۶ در طیف عبور با افزایش فاصله از ۵ تا ۱۱ cm عبور بیشتر می‌شود و در فاصله ۱۱ cm تقریباً هیچ لایه‌ای روی سطح قرار نگرفته و با افزایش فاصله از ۵ به ۹ cm لایه شفاف‌تر می‌باشد، هرچه فاصله کم‌تر می‌شود لایه بیش‌تری روی سطح می‌نشیند در نتیجه میزان عبور کم‌تر می‌شود. با افزایش فاصله مقدار بخار کمتری به سطح زیر لایه می‌رسد که باعث ضخامت کم و افزایش عبور نور می‌شود. با توجه به جذب در محدوده شکاف انرژی، شروع افت در فاصله ۵ cm بیشتر از ۷ cm، ۹ cm و ۱۱ cm است. در قسمت (ب) تصاویر SEM نمونه تهیه شده به روش UMVD نشان می‌دهد که از فاصله ۵ تا ۱۱ cm چیده شده و ساختار نمونه‌ها به صورت دانه‌ای رشد یافته، بزرگنمایی این تصاویر $1 \mu m$

با توجه به شکل ۷ قسمت (الف) با افزایش زاویه نازل با زیرلایه 0° تا 45° زوایای برخورد ذرات محلول در پیش ماده با شدت و تکانه‌ی بیشتری به سطح زیرلایه برخورد می‌کنند که منجر به افزایش آهنگ لایه‌نشانی می‌شود. به این دلیل در مدت ۱۵ دقیقه میزان عبور لایه‌ها در نمونه رشد یافته در زاویه 45° نسبت به زوایای دیگر بیشتر است و با توجه به مقالات اخیر گروه، با افزایش زاویه، برخورد ذرات محلول به سطح شدت می‌یابد [۲۱]. در قسمت (ب) تصاویر SEM نمونه تهیه شده به روش UMVD نشان می‌دهد که با زاویه پاشش 0° ، 25° و 45° چیده شده و



شکل ۶- (الف) طیف عبور در طول موج‌های ۲۰۰ تا ۸۰۰ nm، (ب) تصاویر SEM و (ج) میکروسکوپ کانفوکال برای نمونه‌های رشد یافته شده در فواصل ۵، ۷، ۹ و ۱۱ cm.



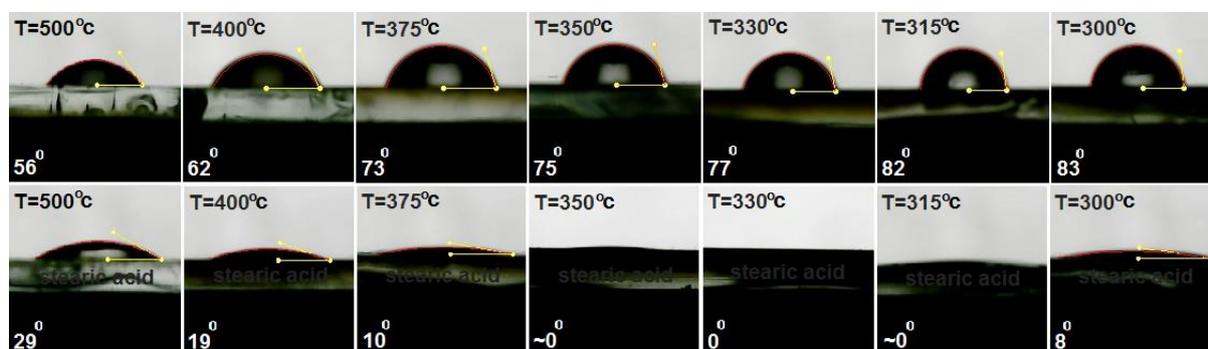
شکل ۷- (الف) طیف عبور در طول موج‌های ۲۰۰ تا ۸۰۰ nm، (ب) تصاویر SEM و (ج) میکروسکوپ کانفوکال برای نمونه‌های رشد یافته شده در زوایای 0° ، 25° و 45° که نازل با زیر لایه می‌سازد.

منظور بررسی خواص ترشوندگی و کاربردی کردن لایه‌های ساخته شده، زوایای سطح تماس لایه‌های رشد

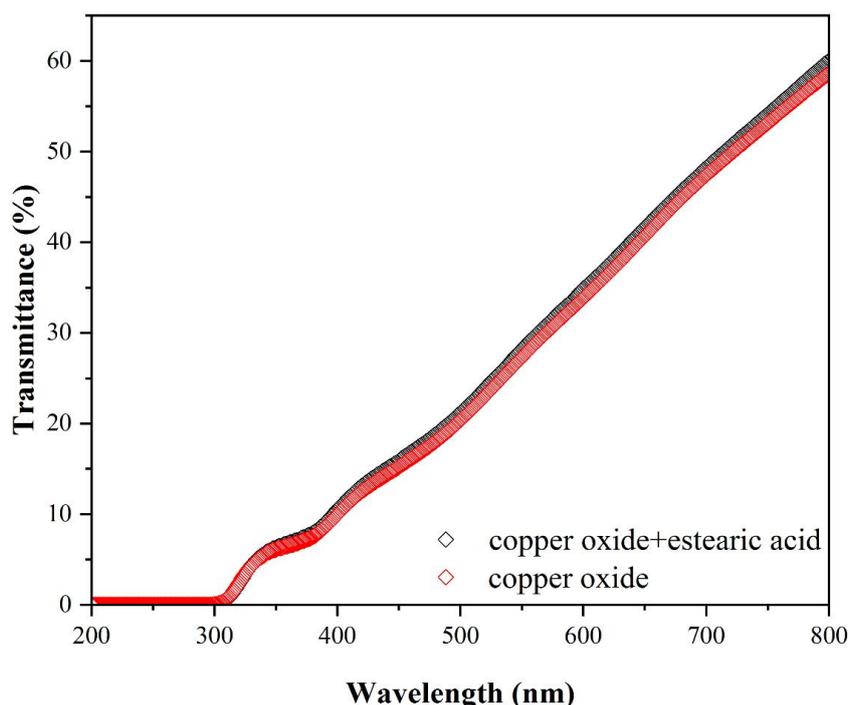
بیش‌تر می‌شود طوری‌که زبری ۳۵ nm برای زوایای 45° و 25° و زبری ۱۹ nm برای زوایای 0° بدست آمد. به

داخل اسید بین ۵۶° – ۸۳° است که با توجه به تعریف لایه‌هایی آب دوست در نظر گرفته می‌شوند اما به محض اینکه این لایه به مدت ۲ ساعت درون اسید استتاریک قرار می‌گیرند بصورت ویژه‌ای آبدوست می‌شوند، آنچنان که لایه‌های رشد یافته در دماهای ۳۱۵°C تا ۳۵۰°C دارای خواص فوق آبدوست می‌شوند. این ویژگی منحصر بفرد بشدت در کاربری‌های حسگری و احتمالاً ضد بخار محبوبیت دارد.

یافته شده در دماهای مختلف با آب قبل و بعد از فرورفتن در اسید استتاریک اندازه‌گیری شد. اسید استتاریک به دلیل دارای بودن یک سر آب دوست و سر آب‌گریز می‌تواند خواصی ویژه‌ای به سطح لایه‌ها بدهد. **Error!** **Reference source not found.** تصاویر گرفته شده قطرات آب روی سطوح ۷ لایه مختلف که شامل دماهای رشد مختلف، قبل (ردیف بالا) و بعد (ردیف پایین) از غوطه‌ور شدن در اسید استتاریک نشان می‌دهد. زوایای اندازه‌گیری شده برای نمونه‌ها قبل از فرو رفتن



شکل ۸- عکس‌های زاویه تماس نمونه‌های اکسید مس با تغییرات دما تهیه شده به روش UMVD که در ردیف اول تغییرات دما قبل از قرار گرفتن در اسید استتاریک می‌باشد و در ردیف دوم بعد از قرار گرفتن در اسید استتاریک.



شکل ۹- الف) طیف عبور نمونه اکسید مس (دمای 350°C ، فاصله 7 cm ، زاویه 25°).

عبور لایه‌ها و احتمالاً ریخت‌شناسی لایه به جا نمی‌گذارد و لایه اکسید مس در برابر اسید استتاریک مقاوم و لایه‌ها فوق آبریز می‌باشد.

شکل ۹ طیف عبوری یک لایه اکسید مس قبل و بعد از فرورفتن در اسید استتاریک را نشان می‌دهد. با توجه به این طیف می‌توان نتیجه گرفت که این اسید تأثیرات مخربی در

تخریب نکرد و لایه‌ها در مقابل این اسید مقاوم بودند، باعث بوجود آمدن سطوح فوق آبدوست شد.

نتیجه گیری:

در این پژوهش لایه‌نشانی اکسید مس به روش انباشت بخار مرطوب فراصوت (UMVD) انجام شد. و برای بهینه سازی متغیرها ابتدا دمای زیر لایه از $(300 - 450^{\circ}\text{C})$ و سپس فاصله نازل با زیر لایه از $(5 - 11\text{ cm})$ و در نهایت زاویه نازل با زیر لایه از $(0 - 45^{\circ})$ تغییر داده شد. با افزایش دما و فاصله نازل با زیر لایه و کاهش زاویه نازل با زیر لایه، میزان عبور از لایه‌ها بیشتر شد و لایه کمتری روی سطح می‌نشیند و همچنین زبری سطح کاهش یافته است در نتیجه زاویه تماس نیز کمتر شد. و در دمای $315 - 350^{\circ}\text{C}$ در حضور اسید استتاریک، اسیدی که لایه‌ها را

مراجع:

- [1] Otitoju, T. A., A. L. Ahmad, and B. S. Ooi. "Superhydrophilic (superwetting) surfaces: A review on fabrication and application." *Journal of industrial and engineering chemistry* 47 (2017): 19-40.
- [2] Wang, R., et al., Light-induced amphiphilic surfaces. *Nature*, 1997. **388**(6641): p. 431-432.
- [3] Zhang, J. and S.J. Severtson, Fabrication and use of artificial superhydrophilic surfaces. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 2014. **28**(8-9): p. 751-768.

- bath. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2018. **817**: p. 36-47.
- [14] Zhou, L.-J., et al., Facile synthesis of highly stable and porous Cu₂O/CuO cubes with enhanced gas sensing properties. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2013. **188**: p. 533-539.
- [15] Kosugi, T. and S. Kaneko, Novel spray-pyrolysis deposition of cuprous oxide thin films. *Journal of the American Ceramic Society*, 1998. **81**(12): p. 3117-3124.
- [16] Son, D.I., C.H. You, and T.W. Kim, Structural, optical, and electronic properties of colloidal CuO nanoparticles formed by using a colloid-thermal synthesis process. *Applied surface science*, 2009. **255**(21): p. 8794-8797.
- [17] Zhan, J., et al., Fabrication and mechanism study of CuO layers on double surfaces of polyimide substrate using surface modification. *Composites science and technology*, 2012. **72**(9): p. 1020-1026.
- [18] Jayaprakash, J., N. Srinivasan, and P. Chandrasekaran, Surface modifications of CuO nanoparticles using Ethylene diamine tetra acetic acid as a capping agent by sol-gel routine. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2014. **123**: p. 363-368.
- [19] Wu, Yunwen, et al. "Thermal oxidation fabricated copper oxide nanotip arrays with tunable wettability and robust stability: implications for microfluidic devices and oil/water separation." *ACS Applied Nano Materials* 4.5 (2021): 4713-4720.
- [20] H. Alehdaghi, M. Zirak, Facile preparation of various ZnO nanostructures via ultrasonic mist vapor deposition: a systematic investigation about the effects of growth parameters, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30 (2019) 2706-2715.
- [21] H. Alehdaghi, M. Kazemi, M. Zirak, Facile preparation of ZnO nanostructured thin films via oblique angle ultrasonic mist vapor deposition (OA-UMVD): a systematic investigation, *Appl. Phys. A* 126
- [4] Balamurugan, B. and B. Mehta, Optical and structural properties of nanocrystalline copper oxide thin films prepared by activated reactive evaporation. *Thin solid films*, 2001. **396**(1-2): p. 90-96.
- [5] Chandra, R., P. Taneja, and P. Ayyub, Optical properties of transparent nanocrystalline Cu₂O thin films synthesized by high pressure gas sputtering. *Nanostructured Materials*, 1999. **11**(4): p. 505-512.
- [6] Chen, C., et al., Rapid synthesis of three-dimensional network structure CuO as binder-free anode for high-rate sodium ion battery. *Journal of Power Sources*, 2016. **320**: p. 20-27.
- [7] Arslan, B., et al., Formation and characterization of infrared absorbing copper oxide surfaces. *Applied Surface Science*, 2017. **402**: p. 218-224.
- [8] Wang, X., et al., Ultra-low reflection CuO nanowire array in-situ grown on copper sheet. *Materials & Design*, 2017. **113**: p. 2.۹۷-۳۰۴.
- [9] Mishra, A.K., et al., Microwave-assisted solvothermal synthesis of cupric oxide nanostructures for high-performance supercapacitor. *The Journal of Physical Chemistry C*, 2018. **122**(21): p. 11249-11261.
- [10] Zhang, Z. and P. Wang, Highly stable copper oxide composite as an effective photocathode for water splitting via a facile electrochemical synthesis strategy. *Journal of Materials Chemistry*, 2012. **22**(6): p. 2456-2464.
- [11] Akl, A.A., et al., Improving microstructural properties and minimizing crystal imperfections of nanocrystalline Cu₂O thin films of different solution molarities for solar cell applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2018. **74**: p. 183-192.
- [12] Ali, S.A.M.H.M. and S.A. Makki, The thickness effects characterization properties of copper oxide thin films prepared by thermal evaporation technique. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science Studies*, 2016. **2**: p. 532-535.
- [13] Mezine, Z., et al., Electrodeposition of copper oxides (Cu_xO_y) from acetate

