

تأثیر دمای حمام شیمیایی بر تغییرات نانو ساختار لایه نازک CdS تهیه شده به روش نشست

شیمیایی در حمام

محمدحسن صرافانی^{۱*}، امیرعلی یوزباشی^۲، محمدجواد اشراقی^۳، محمدعلی بهره‌ور^۳، بیتا جمالی نیک^۴^۱مربی، پژوهشگاه نیمه هادیها، پژوهشگاه مواد و انرژی^۲استادیار، پژوهشگاه نیمه هادیها، پژوهشگاه مواد و انرژی^۳دانشیار، پژوهشگاه نیمه هادیها، پژوهشگاه مواد و انرژی^۴کارشناس ارشد، پژوهشگاه نیمه هادیها، پژوهشگاه مواد و انرژی

تاریخ ثبت اولیه: ۹۲/۹/۲۴، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۹۳/۳/۲۱، تاریخ پذیرش قطعی: ۹۳/۳/۲۸

چکیده در این کار تحقیقاتی به منظور ایجاد شرایط بهینه در تهیه لایه‌های نازک CdS به روش نشست شیمیایی در حمام (CBD)، تأثیر دمای حمام شیمیایی بر ساختار لایه‌های تهیه شده مورد مطالعه قرار گرفت. فرآیند لایه نشانی با استفاده از ترکیباتی چون CdCl_2 ، NH_4NO_3 و تیو اوره $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$ تحت pH و زمان نشست ثابت، استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد، تحت شرایط آزمایشی مورد استفاده، ضمن تهیه لایه هائی تقریباً یکنواخت از نظر اندازه و شکل ذرات، نتایج حاکی از وابستگی ساختار لایه‌های تهیه شده به دمای محیط واکنش از 60°C به 75°C می‌باشد، بطوری که با افزایش دما از حالت آمورف به سمت نانو کریستالین سوق پیدا می‌کند. نتایج نشان داد که لایه نازک تهیه شده در دمای 75°C از خواص نوری مناسب به لحاظ درصد عبور نور مرئی و مقدار گاف انرژی برخوردار است.

کلمات کلیدی: لایه نازک، نشست شیمیایی در حمام (CBD)، دمای واکنش، خواص ساختاری و نوری

The effect of bath temperature on structural properties of CdS thin layer produced by chemical bath deposition

M.H. Sarrafi^{1*}, A.A. Youzbashi¹, M.J. Eshraghi¹, M.A. Bahrevar¹ and B. Jamalini¹¹Semiconductors Department, Materials and Energy Research Center

Abstract In the present research work, in order to optimize the fabrication of CdS optical films, the effect of bath temperature on structural properties of CdS thin layers produced by chemical bath deposition method in the range of $60-75^\circ\text{C}$ was investigated. CdCl_2 , NH_4OH , and thiourea were used as the reactants at constant pH and deposition time. The results showed that by increasing of temperature from 60°C to 75°C , the structures of the films change from amorphous to nano crystalline. The thin layer produced at 75°C temperature showed superior optical properties as regards to the optical characteristics like transmittance and energy band gap values.

Keywords: CdS thin layer, chemical bath deposition, bath temperature, structural changes.

*عهده دار مکاتبات

نشانی: کرج، مشکین دشت، پژوهشگاه مواد و انرژی

تلفن: ۰۲۶۲۰۴۱۳۱، دورنگار: - پیام نگار: m-sarrafi@merc.ac.ir

۱- مقدمه

عمل لایه نشانی اساساً بواسطه دو مکانیزم اصلی صورت می‌گیرد که عبارتند از: الف) یون به یون (Ion by ion) یا واکنش نا همگن (heterogeneous reaction) که طی آن رشد لایه در مکان‌های هسته‌زا و در مقیاس اتمی رخ می‌دهد؛ ب) خوشه به خوشه (cluster by cluster) یا واکنش همگن (homogeneous reaction) که در آن هسته‌زایی با جذب ذرات کلوئیدی بهم و رشد خوشه مانند آن‌ها انجام می‌شود. از میان دو مکانیزم فوق، لایه‌نشانی همگن بعلت ایجاد لایه‌های پودری شکل و فاقد چسبندگی لازم بر روی زیر لایه، غیر مطلوب است. لذا برای افزایش کیفیت بهتر لایه‌نشانی، سعی می‌شود با کنترل پارامترهای مهم مانند غلظت مواد واکنش‌گر، دما، PH محیط واکنش و زمان ماندگاری زیرلایه در محلول واکنش، لایه‌نشانی از طریق واکنشهای منتهی به نشست "یون به یون" بر سطح زیر لایه صورت گیرد. [۱، ۵، ۶].

در کار تحقیقاتی حاضر ضمن ایجاد شرایط بهینه جهت لایه نشانی مناسب و تکرارپذیر توسط روش نشست شیمیایی در حمام (CBD)، نقش دمای حمام واکنش بعنوان عاملی تاثیرگذار در کیفیت لایه های CdS، از نظر ساختاری مورد تحقیق قرار گرفت.

۲- روش تحقیق

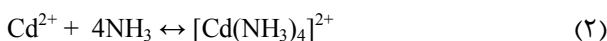
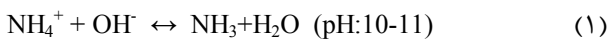
به منظور ایجاد محیط واکنش لازم به روش CBD، از یک سازوکار ساده گرمادهی غیر مستقیم به محلول واکنش استفاده شد. در این طرح، یک ظرف (بشر) محتوی محلول واکنش به همراه اجزای دیگر آن متشکل از یک پایه نگه دارنده زیرلایه های شیشه‌ای، pH متر دیجیتالی، ترموکوبل و یک هم زن مغناطیسی در یک ظرف بزرگتر قرار گرفته است. در این حالت گرما دهی از طریق یک گرمکن (هیتر) مجهز به کنترل کننده دما به ظرف محتوی محلول واکنش بطور غیر مستقیم اعمال شد. بعنوان مواد اولیه از نمک کلوروکادمیم آبدار ($\text{CdCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) به عنوان تأمین کننده یون Cd^{2+} ، نیترات آمونیم NH_4NO_3 به عنوان ماده کمپلکس‌ساز، تیواوره ($\text{Tiuorea CS}(\text{NH}_2)$) به عنوان ماده تأمین کننده یون سولفور و KOH برای تنظیم pH محیط واکنش استفاده شد. امتزاج محلول‌های واکنش‌گر بدین ترتیب انجام شد که محلول‌های

لایه‌های نازک نیمه‌هادی دارای کاربردهای وسیعی در زمینه‌هایی چون سلول‌های خورشیدی لایه نازک، فتوکاتدکاتورها و سنسورها هستند. در میان ترکیبات مطرح برای ساخت قطعاتی با خواص اپتوالکترونیکی ویژه، ازسولفید کادمیم (CdS) میتوان نام برد که در کنار سایر ترکیبات کالکوئیدی نظیر ZnSe, CdSe, CdTe, ZnS به مواد نیمه‌هادی از گروه II-VI جدول تناوبی تعلق دارد. سولفید کادمیم معمولاً بصورت مخلوطی از ساختارهای بلورشناسی کوبیک و هگزاگونال از نوع Wurzite و Zinblend وجود دارد. انرژی باند-کپ آن از ۲.۱۷ تا ۲.۲۴ eV متغیر بوده و دارای مقاومت الکتریکی $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ با هدایت الکتریکی از نوع n است که بیشترین کاربرد آن در سیستم‌های اپتوالکترونیکی می‌باشد؛ بویژه در حالتی که بصورت اتصال ناهمگن (heterojunction) با شالکوئیریت (CuFeS_2) در سلول‌های خورشیدی بکار رود، نقش لایه بافر (buffer layer) را ایفا می‌کند. برای افزایش بازدهی سلول‌های خورشیدی با پیکره بندی اتصال چندگانه، نوع n-CdS با ترکیبات مختلفی از انواع نیمه‌هادی‌های $p\text{-Cu}_2\text{S}$ ، $p\text{-CdTe}$ و $p\text{-CuInSe}_2$ ساختار لایه‌های جذبی را تشکیل می‌دهد [۱].

از میان روش‌های متعدد و متداول برای ساخت لایه‌های نازک سولفید کادمیم و سایر ترکیبات کالکوئیدی، روش نشست درحمام شیمیایی (Chemical Bath Deposition) بخاطر برخی از مزایای آن مانند سادگی و سهولت در انجام کار، عدم نیاز به تجهیزات پیچیده، کم هزینه بودن، قابلیت انجام آن در شرایط دمایی محیط، قابل اجرا بودن برای سطوح وسیعی از زیرلایه‌های متشکل از مواد مختلف در اشکال و ابعاد گوناگون بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲، ۴، ۳]. مکانیزم اصلی در این روش بر اساس رها شدن کنترل شده یون‌های فلزی و کالکوئید در یک حمام حاوی محلول نمک-های فلزی، ماده تأمین کننده یون سولفور و عوامل کمپلکس ساز بوده که در آن زیرلایه ای از جنس شیشه، پلیمر، فلز قرار گرفته است [۴، ۵]. لایه‌های تهیه شده به روش CBD معمولاً از ضخامت‌های نانومتری تا بعضاً میکرونی برخوردارند و کنترل آن براساس موارد کاربرد لایه نازک صورت می‌پذیرد.

همانطور که در مقدمه بدان اشاره شد، در روش CBD، رشد سولفید کادمیم بر سطح یک زیرلایه عمدتاً به دو صورت انجام می‌شود که شامل فرآیندهای رشد "یون به یون" و "خوشه به خوشه" می‌باشد. بطور خلاصه، در حالیکه در طی فرآیند یون به یون، شکل‌گیری لایه نازک با تغلیظ یون‌ها در سطح واکنش همراه است، در فرآیند خوشه به خوشه، قبل از عمل جذب در سطح زیر لایه و تشکیل لایه نازک، ابتدا ذرات کلوئیدی تشکیل شده و سپس در صورت مساعد بودن شرایط عمل، آگلومراسیون شکل می‌گیرد. در عمل، هر دو فرآیند ممکن است بطور توأم انجام شود و منجر به لایه نازکی حاوی مواد کلوئیدی نیز بشود. با توجه به ترکیبات شیمیایی استفاده شده در این آزمون‌ها، واکنش‌های احتمالی را می‌توان به قرار زیر خلاصه نمود. [۸]:

با انحلال نمک‌های CdCl_2 ، NH_4NO_3 ، $(\text{NH}_2)\text{CS}$ و KOH در آب مقطر، یون‌های مورد نیاز مانند Cd^{2+} ، NH_4^+ ، OH^- در اختیار قرار گرفته که با برقراری محیط قلیایی در محلول، واکنش‌هایی به شرح زیر بین آنها به وقوع می‌پیوندد.



واکنش (۳) در صورتی امکان‌پذیر می‌شود که مقدار یون OH^- افزایش و در مقابل آن غلظت NH_3 کاهش پیدا کند، و بدین ترتیب احتمال تشکیل رسوب سفید رنگ $\text{Cd}(\text{OH})_2$ در محلول افزایش یافته که مانع از تشکیل کمپلکس $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ خواهد شد. بنابراین غلظت محصول یونی (ionic product) Cd^{2+} و OH^- در محلول واکنش طبعاً باید کمتر از فاکتور انحلال‌پذیری هیدروکسید کادمیم ($K=1.2 \times 10^{-14}$) باشد که مانع از تشکیل آن در محلول شود. در اینجا باید یادآور شد، در بسیاری از موارد برای حضور غالب NH_3 در محلول از نمک آمونیاک بعنوان بافر استفاده می‌شود. برای تشکیل سولفید کادمیم بصورت کلوئیدی، علاوه بر واکنش‌های ۱ و ۲، انجام واکنش‌های زیر که در نتیجه تجزیه تیواوره صورت می‌پذیرند، ضروری می‌باشد.

آماده شده از نمک کادمیم (با غلظت ۰/۰۲ مولار)، عامل کمپلکس‌ساز (با غلظت ۱/۵ مولار) و تیواوره (با غلظت ۰/۲ مولار) به ترتیب و با رعایت شرایط بهینه لایه نشانی با هم مخلوط و محلول نهایی برای بررسی در دماهای ۶۰، ۷۰، ۷۵ درجه سانتی‌گراد و تنظیم pH در محدوده قلیایی (pH=10-11)، برای فرآیند لایه نشانی آماده شدند. لام‌های شیشه‌ای (Corning Glass) که قبلاً به نحو مناسب تمیز شده بودند به صورت عمودی درون حمام شیمیایی قرارداده شده و فرآیند لایه نشانی در مدت زمان ۲ ساعت با تنظیم و کنترل دما و همچنین تنظیم اولیه PH و همگنی محیط واکنش توسط هم زن مغناطیسی انجام گرفت. تلاطم محیط واکنش توسط هم زن مغناطیسی علاوه بر همگنی بهتر محلول واکنش از نظر شیمیایی و دمای محیط، موجب افزایش سطح تماس اصطحاکک بین مایع و زیرلایه می‌شود [۷].

بررسی‌های ساختاری و مورفولوژیکی لایه نازک CdS توسط سیستم‌های دستگاهی پراش پرتو ایکس (XRD) در محدوده زوایای $2\theta = 20-70^\circ$ با تابش معمولی توسط آند Cu ($\lambda=1.54\text{\AA}$) تحت شرایط ۴۰kv/۳۰mA، میکروسکپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکپ نیروی اتمی AFM و بررسی‌های نوری توسط دستگاه طیف سنج نوری UV-Visible در محدوده طول موج‌های ۳۰۰ تا ۱۱۰۰ نانومتر انجام شد. ضخامت لایه‌های ایجاد شده با استفاده از دستگاه پروفیلومتر talystep با بزرگنمایی ۱۰۰۰۰۰ اندازه‌گیری شد.

۳- نتایج و بحث

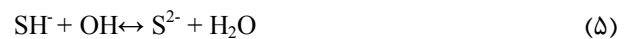
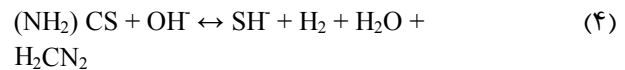
۳-۱- واکنش‌های منتهی به تشکیل لایه نازک سولفید کادمیم

در طی آزمون‌های اولیه که به منظور دستیابی به شرایط بهینه لایه‌نشانی انجام شدند، مشاهدات نشان دادند که پس از برقراری شرایط مناسب واکنش از نظر دما و pH محیط پس از گذشت مدت زمان کوتاهی، محلول واکنش به رنگ زرد مایل به نارنجی شفاف تبدیل شده که موجب تشکیل لایه‌ای شفاف و نازک برنگ نارنجی بر روی لام‌های شیشه‌ای می‌گردد. لایه‌های تشکیل شده بعد از خروج و شستشو در حمام التراسونیک، از چسبندگی و استحکام مناسبی برخوردار بودند.

۳ - تأثیر دمای محیط واکنش

چنانکه بررسی الگوهای پراش از ساختار لایه‌های نازک تهیه شده در دمای‌های ۶۰، ۷۰ و ۷۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند (شکل ۱)، بطور کلی از زمینه‌ای پهن برخوردارند. با افزایش دمای محیط واکنش، شدت انعکاس در محدوده قابل ثبت بطور نسبی افزایش یافته که نشانه بهبود ساختاری پدیدار شده در لایه نازک بوده و دلالت بر تغییر ساختار از حالت تقریباً آمورف به حالت کریستالین دارد. در این خصوص عقیده بر این است که ایجاد زمینه پهن در الگوی پراش میتواند دلالت بر حضور نانو بلورک‌ها در بافتی آمورف داشته باشد [۹]. حضور تنها یک انعکاس قابل رویت در محدوده زاویه ۲۶ تا ۲۷ درجه 2θ که بر اساس کارت‌های PDF (۱-۶۴۷ تا ۲-۵۶۳) متعلق به هر دو ساختار کیوبیک و یا هگزاگونال در ترکیب CdS است، می‌تواند دلالت بر تشکیل هم‌زمان دو فاز با جهات ترجیحی در امتداد صفحات (۱۱۱) کیوبیک و یا (۰۰۲) هگزاگونال داشته باشد، از طرف دیگر در موارد زیادی تعیین دقیق موقعیت زاویه انعکاس در بررسی الگوهای پراشی که به روش پرتودهی متعارف تهیه شده‌اند، بخاطر ایجاد زمینه‌ای پهن، نزدیکی انعکاس‌های اصلی مربوط به دو فاز و جابجایی احتمالی انعکاس‌ها به دنبال تنش‌های ساختاری درون لایه‌ای به سختی امکان پذیر است [۹، ۱۰، ۱۱]. علاوه بر آن، بررسی‌ها نشان داده‌اند که ایجاد چنین ساختاری می‌تواند ناشی از رشد متناوب صفحات کریستالیت‌های نانومتری متشکل از اتم‌های کادمیم و یا گوگرد به موازات سطح زیر لایه باشد [۱۲].

نتایج SEM و AFM سطح لایه‌های نازک سولفید کادمیم نشان می‌دهند که ذرات CdS بصورت تقریباً کروی تشکیل شده و با افزایش دمای محیط واکنش، ضمن آنکه ابعاد نانو ذرات CdS ایجاد شده در سطح لایه کاهش یافته‌اند، دانه‌ها از تراکم، یکنواختی و نظم بیشتری برخوردار می‌گردند (شکل ۲ و ۳). چنین بنظر می‌رسد افزایش دمای محیط باعث تغییر در شرایط نشست ذرات از حالت همگون (خوشه به خوشه) به حالت ناهم‌گون (یون به یون) شده باشد. علاوه بر آن، بررسی منحنی‌های هیستوگرام AFM نشان دادند که مقدار زبری سطح (rms-roughness) در لایه‌ها که معمولاً تابعی از شرایط دمایی، حرکتی محلول واکنش و نیز وضعیت قرارگرفتن زیر لایه

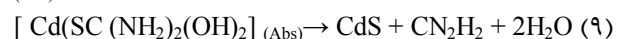
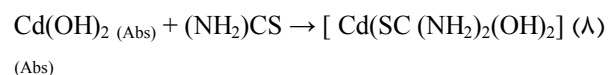


واکنش رابطه (۶) در صورتی به سمت راست تمایل پیدا می‌کند که محصول یونی ناشی از غلظت یون‌های سولفید (S^{2-}) و کادمیم (Cd^{2+}) بالاتر از فاکتور انحلال پذیری CdS ($K=7.1 \times 10^{-28}$) باشد.

نحوه رشد لایه‌های نازک CdS بر روی سطح زیر لایه بصورت یون به یون توسط Ortega-Borges و Lincot مورد بررسی قرار گرفته است [۲۷]. طی واکنش‌های منتهی به تشکیل لایه نازک به صورت یون به یون، ابتدا بر سطح زیر لایه مکان‌های جذب (هسته‌های جذب) ایجاد که باعث جذب کمپلکس $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$ و هیدروکسیل OH شده که طبق رابطه زیر تشکیل هیدروکسید کادمیم و NH_3 میدهد:



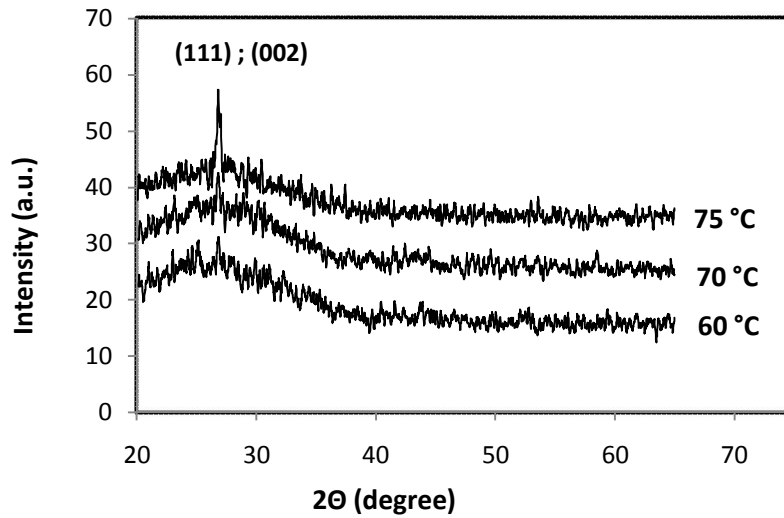
به دنبال واکنش تیواوره با هیدروکسید کادمیم جذب شده در سطح، کمپلکس تیواوره - هیدروکسیل کادمیم ایجاد شده که نهایتاً با احیای آن سولفید کادمیم طبق روابط زیر تشکیل می‌شود:



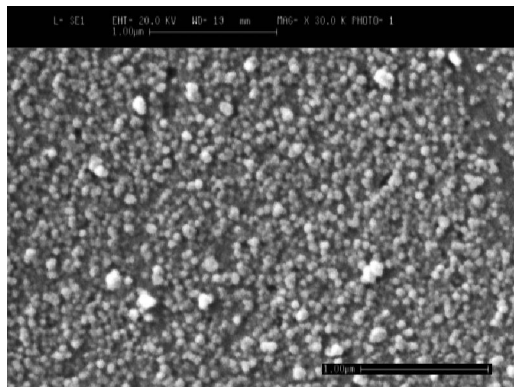
از روابط فوق مشخص است که نرخ رشد لایه سولفید کادمیم در سطح زیر لایه باید به آهستگی صورت بگیرد. برای حصول اطمینان از تحقق این امر باید آمونیاک NH_3 در مقادیر کافی در محلول وجود داشته باشد تا قادر به پیوستن با یون-های Cd^{2+} و تشکیل کمپلکس $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$ باشد. بنا بر این با توجه به روابط ۷، ۸ و ۹، کنترل غلظت OH در محلول واکنش و در نتیجه تثبیت کمپلکس $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$ به خاطر به حداقل رساندن تشکیل ذرات کلونیدی CdS امری ضروری بنظر می‌رسد.

عدم انباشت موضعی آنها در سطح زیرلایه به علت تفوق حالت تشکیل لایه نا همگون نسبت به هم گون در محدوده دمای ۷۵ درجه سانتی گراد نسبت داد.

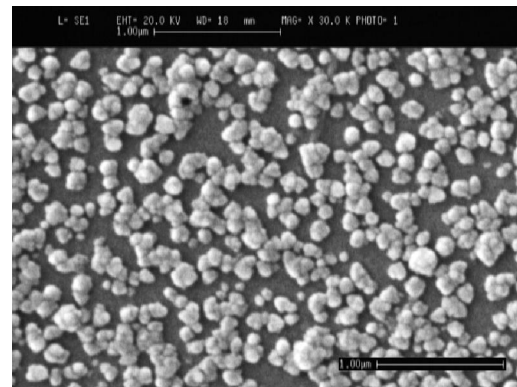
درمحلول واکنش است [۷]، با افزایش دما از حدود ۳۲ به ۱۰ (nm) تقلیل یافته است (شکل ۴). تغییر در زبری سطح را می توان احتمالاً به توزیع یکنواختی نسبتاً بیشتر اندازه ذرات و



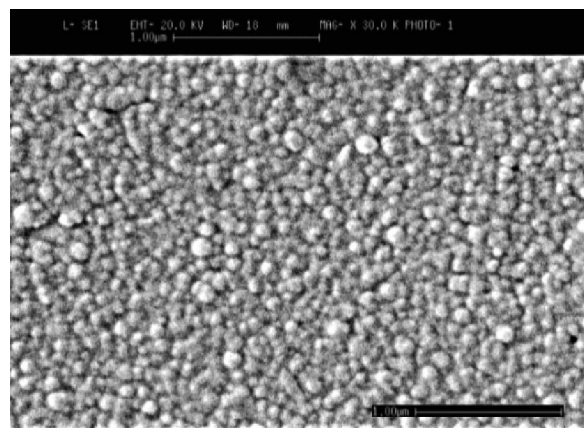
شکل ۱. مقایسه الگوهای پراش XRD لایه‌های نازک تهیه شده در سه دمای مختلف



۳×۱۰۰۰۰؛ ۷۰ °C (ب)



۳×۱۰۰۰۰؛ ۶۰ °C (الف)



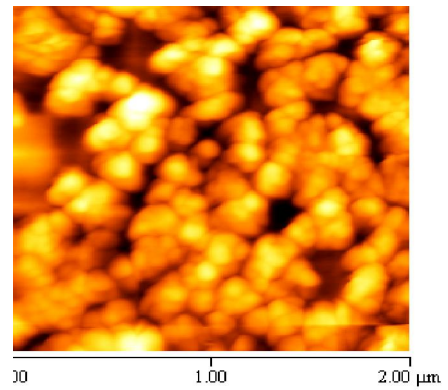
۳×۳۰۰۰۰؛ ۷۵ °C (پ)

شکل ۲. تصاویر SEM از لایه‌های نازک CdS تهیه شده در دماهای ۶۰ °C؛ ۷۰ °C؛ ۷۵ °C با بزرگنمایی ۳۰۰۰۰

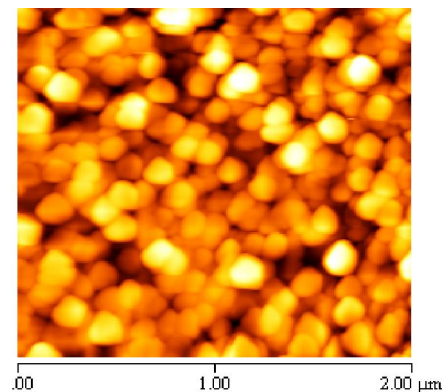
می‌دهد. لایه نازک مذکور در محدوده طول موجی 500nm به بالا بیش از ۷۰٪ عبور از خود نشان می‌دهد و در محدوده آبی و فرابنفش دارای جذب بالایی می‌باشد. با توجه به آنکه CdS دارای گاف انرژی مستقیم است، مقدار انرژی گاف لایه نازک با استفاده از رسم منحنی توان دوم ضریب جذب نور (α^2) در برابر انرژی فوتون ($h\nu$) مربوط به طول موج‌های ناحیه مرئی و محدوده خطی آن تخمین زده شد. بدین منظور ابتدا ضخامت لایه نازک ایجاد شده با استفاده از پروفیلومتر، بطور میانگین 200 نانومتر (برداشت شده از چند مقطع) اندازه‌گیری شد. با استفاده از این اندازه و همچنین با استفاده از طیف عبوری نور، منحنی تاک مربوطه (شکل ۵-ب) رسم و نهایتاً انرژی گاف لایه نازک محاسبه شد [۹]. در مورد لایه نازک تهیه شده در دمای 75°C گاف انرژی 2.37 الکترون ولت حاصل شد که در انطباق نسبتاً خوبی با مقادیر ارایه شده در مراجع برای لایه‌های نازک CdS تهیه شده به روش CBD قرار دارد [۵، ۷].

۴- نتیجه‌گیری

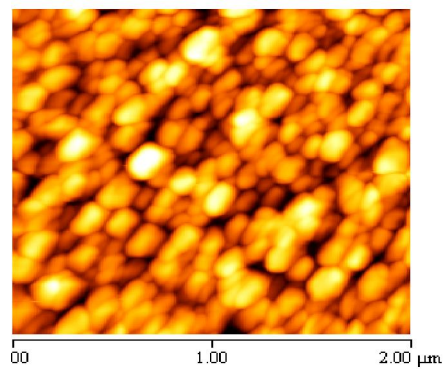
تهیه لایه نازک سولفید کادمیم به منظور ارزیابی شرایط بهینه لایه‌نشانی به روش نشست شیمیایی در حمام (CBD) در محدوده دماهای واکنش 60 تا 75 درجه سانتی‌گراد مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمون‌های XRD، SEM و AFM نشان دادند، با افزایش دمای محیط واکنش، ساختار لایه‌ها از حالت آمورف به سمت نانو کریستالین سوق یافته و در دمای 75°C نانو ذرات CdS لایه یکنواخت و شفاف را تشکیل می‌دهند. لایه تشکیل شده در دمای 75°C از ضخامت متوسط 200 نانومتر برخوردار شد و قدرت عبور بیش از ۷۰ درصد از نور مرئی در محدوده طول موج‌های 500nm به بالا را از خود نشان داد. مقدار گاف انرژی لایه نازک تهیه شده در این دما 2.37 الکترون ولت، در مقایسه با مقدار 2.4 CdS بالک، تخمین زده شد.



(ت) 60°C



(ج) 70°C



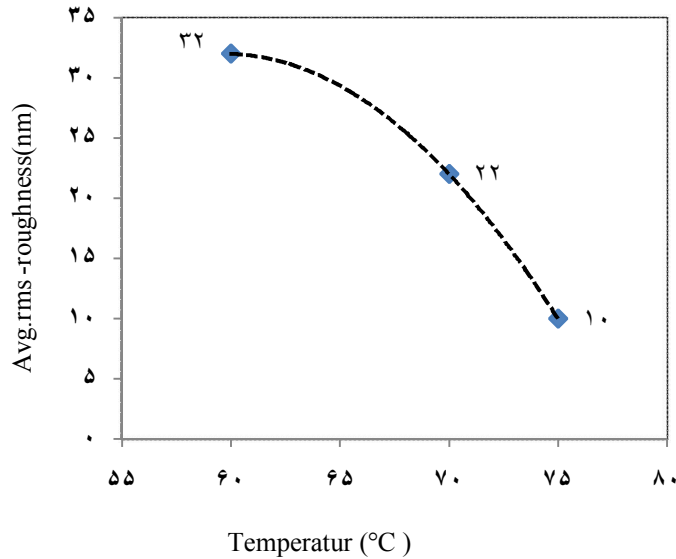
(ح) 75°C

شکل ۳. تصاویر AFM از لایه‌های نازک CdS تهیه شده در دماهای

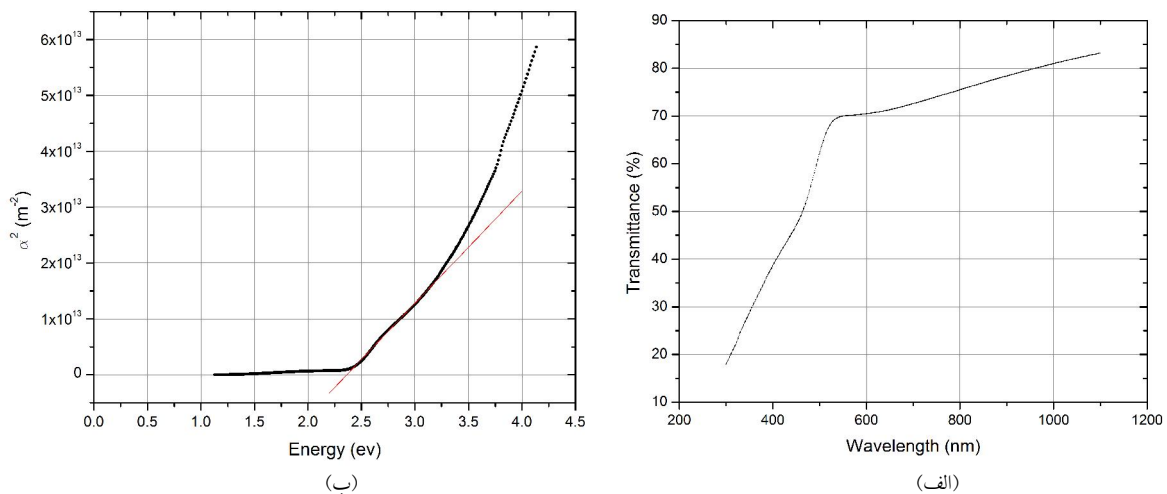
75°C ، 70°C ، 60°C

۳-۳- تأثیر دمای واکنش بر خواص نوری لایه نازک

در این آزمون با توجه به پوشش‌دهی مناسب در دمای 75°C لایه نازک تهیه شده در این دما برای بررسی خواص نوری انتخاب شد. شکل (۴-الف) منحنی عبور حاصل از طیف عبوری نور مرئی - فرابنفش پوشش سولفید کادمیم تهیه شده در دمای 75°C در محدوده طول موج $800-300\text{nm}$ را نشان



شکل ۴. نمودار منحنی تغییرات میانگین زبری سطح (rms-roughness) با افزایش دمای محیط حمام



شکل ۵. الف) طیف عبور نور مرئی - فرابنفش لایه‌های نازک سولفید کادمیم تهیه شده در دمای ۷۵ °C، ب) منحنی تاک لایه‌های نازک تهیه شده در دمای ۷۵ °C

6. F. I. Ezema, R.U. Osuji, Band gap shift and optical characterization of chemical bath deposition CdSSe thin films on annealing, Chalcogenide Letters, 4, 6, June 2007, 69 – 75.
7. S. Tec-Yama, R. Patiño a, A.I. Oliva ;Chemical bath deposition of CdS films on different substrate orientations, Current Applied Physics. 11, 2011, 914-920.
8. Isaiah O. Oladeji , Lee Chow, Optimization of Chemical Bath Deposited Cadmium Sulfide Thin Films, J.Electrochem. Soc. 144, 7, July 1977.
9. A.Y. Jaber, S.N. Alamri, M.S. Aida, CdS thin films growth by ammonia free chemical bath deposition technique, Thin Solid Films. 520, 2012, 3485–3489.
10. Mehmet Eray Erkan, Michael H.-C. Jin, Effect of flow dynamics on the growth kinetics of CdS thin films in chemical bath deposition , Materials Chemistry and Physics. 133, 2012, 779– 783.
11. C.D. Gutiérrez-Lazos et.al, Multiple dip deposition of CdS films prepared by oscillating chemical bath, Thin Solid Films. 518, 2010, 5387–5390.

مراجع

1. H.M. Pathan ,C.D. Lokhande ; Deposition of metal chalcogenide thin films by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method; Bull. Mater. Sci. 27, 2, 2004, 85-111.
2. M. A. Barote, A. A. Yadav, E. U. Masumdar, Effect of deposition parameters on growth and characterization of chemically deposited Cd1-XPbXS thin films., Chalcogenide Letters, 8, 2, February 2011, 129 – 138.
3. Anuar Kassim et.al, Effect of Deposition Period and pH on Chemical Bath Deposited Cu4SnS4 Thin Films, Philippine Journal of Science , 161-168, December 2009
4. Anuar Kassim et al., Influence of Triethanolamine on the Chemical Bath Deposited NiS Thin Films, American Journal of Applied Sciences. 8(4), 359-361, 2011.
5. C.W. Lan et .al, Shallow bath chemical deposition of CdS thin film, Thin Solid Films. 520, 2011, 217–223.

12. P.Němec , I. Němec, P.Nahálková, K.KnížeK, Malý ;
Ammonia- free chemical bath deposition CdS
films: tailoring the nanocrystal sizes , Journal of Crystal
Growth. 240, 2002, 484-488.