

اثر پرتوگاما بر روی خواص لایه نازک CdS تهیه شده در سه ضخامت مختلف با روش CBD

توکل توحیدی^{*}، رضا باقری و مهدی تقوی

مجتمع پژوهشی شمال غرب کشور (بناب)، پژوهشکده کاربرد پرتوها، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، تهران، ایران.
^{*}تهران، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، گروه پرتوفاوری و دزیمتری، کد پستی: ۱۴۳۹۹۵۵۹۳۳.

پست الکترونیکی: ttohidi@aeoi.org.ir

چکیده

در این پژوهش، لایه‌های نازک نانوساختاری CdS با سه ضخامت مختلف (حدود ۸۸، ۱۴۰ و ۲۱۱ نانومتر) به روش حمام شیمیایی تهیه و اثر تابش گاما بر خواص ساختاری و اپتیکی آن‌ها بررسی شد. تصاویر SEM نشان دادند که لایه‌ها سطحی یکنواخت با نانوذرات کروی و توزیع همگن دارند و تابش گاما موجب تغییر شکل ذرات نمی‌شود. الگوهای XRD پیک اصلی را در زاویه حدود ۲۶/۷ درجه نشان دادند که مربوط به ساختارهای مکعبی و شش ضلعی CdS است و با افزایش دُز تابش شدت پیک‌ها، بدون تغییر در فاز بلوری، افزایش یافت. نتایج اپتیکی نشان داد که با افزایش ضخامت و تابش گاما، شدت جذب افزایش و گاف انرژی کاهش می‌یابد. قبل و بعد از تابش، گاف انرژی برای نمونه CdS با ضخامت ۸۸/۰۹ نانومتر در محدوده ۲/۰۶-۲/۴۹، برای نمونه CdS با ضخامت ۱۴۰/۹ نانومتر در محدوده ۲/۲۶-۲/۴۵ و برای نمونه CdS با ضخامت ۲۱۱ نانومتر در محدوده ۲/۲۲-۲/۴۱ تخمین زده شد. کاهش در گاف انرژی نمونه‌ها می‌تواند مربوط به افزایش اندازه دانه‌ها و در نتیجه افزایش نقص‌ها و ترازهای جایگزیده در ماده باشد. همچنین تغییرات گاف انرژی با دُز تابشی مورد بررسی قرار گرفت.

کلیدواژگان: لایه نازک، نانوساختار، سولفید کادمیم، خواص اپتیکی، تابش گاما.

۱. مقدمه

گسترده‌ای از کاربردها از جمله در قطعات اپتوالکترونیک، سلول‌های فتوولتائیک و آشکارسازهای نوری استفاده شود [۳-۱].

برای لایه‌نشانی لایه‌های نازک CdS نانوساختار، از هر دو روش فیزیکی و شیمیایی استفاده شده است [۴-۶]. در میان آن‌ها، روش رسوب حمام شیمیایی (CBD) یک روش شیمیایی بسیار جالب است؛ زیرا می‌توان آن را به راحتی در دماهای پایین

لایه‌های نازک نیمه‌رسانای نانوساختار به دلیل خواص جالب الکترونیکی، نوری، مغناطیسی و شیمیایی و پتانسیل کاربردهای تکنولوژیک در حال افزایش، به طور گسترده‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با تغییر اندازه و ترکیب نانوذرات و وارد کردن ناخالصی‌ها می‌توان خواص لایه‌های نازک را تغییر داد. سولفید کادمیوم (CdS) به عنوان یک نیمه‌رسانای گروه II-VI با گاف انرژی مستقیم دمای اتاق برابر با ۲/۴۲ eV، می‌تواند در طیف

با فرآیندهای ارزان برای لایه‌نشانی در مساحت‌های بزرگ مورد استفاده قرار داد. با استفاده از روش CBD می‌توان چگالی سطح و ابعاد نانوذرات را تنظیم کرد؛ بنابراین می‌توان از آن برای تهیه فیلم‌های نیمه‌رسانا نانوساختار با کارایی بالا استفاده کرد. در این روش برای تهیه لایه‌های نازک با کاربردهای خاص، باید پارامترهای رسوب‌گذاری مانند غلظت مواد، pH و دمای حمام، زمان واکنش، مدت هم‌زدن و مقادیر ناخالص کننده‌ها و کمپلکس‌کننده‌های وارد شده را کنترل کرد [۹-۷].

نشان داده شده است که پرتوهای یونیزان مانند اشعه گاما ویژگی‌های ریزساختاری مواد لایه‌نازک را تغییر می‌دهد و سپس خواص الکتریکی، نوری و ساختاری آن‌ها را تغییر می‌دهد. تغییرات به‌شدت به ساختار داخلی فیلم‌های در معرض تابش و همچنین انرژی و دُز تابش یونیزان بستگی دارد. تحریک یا یونیزاسیون الکترون، تغییر ساختار و جابه‌جایی اتم‌ها در داخل شبکه از جمله تغییرات است. به‌همین دلیل، برخی از حالت‌های الکترونیکی جدید ممکن است تشکیل شوند و به‌طور چشم‌گیری خواص فیزیکی مواد تحت تابش را تغییر دهند. پرتوهای یونیزان در بسیاری از زمینه‌ها مانند نیروگاه‌های هسته‌ای، صنعت، نظامی، پزشکی، شتاب‌دهنده‌های ذرات و تحقیقات علمی کاربردهای متعددی دارند. خواص مواد تحت تابش هم به دُز و هم به پارامترهای لایه‌ها از جمله ضخامت آن‌ها بستگی دارد: تخریب برای دُز بالاتر و لایه‌هایی با ضخامت کم شدیدتر است. آگاهی از تغییرات فیزیکی نمونه تحت تابش در طراحی دزیمترهای گاما بر اساس ساختارهای لایه‌نازک مهم است [۱۰، ۱۱]. لایه‌های نازک به‌عنوان نسل جدیدی از حس‌گرهای تابشی در سال‌های اخیر مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته‌اند. مطالعات زیادی برای بهبود عملکرد حس‌گرهای تابشی مبتنی بر لایه‌نازک با بهبود خواص مواد و فناوری ساخت

انجام شده است. خواص لایه‌های نازک CdS تهیه شده به روش‌های مختلف توسط محققان زیادی بررسی شده است [۹-۱]. ولی مطالعات کمی در راستای بررسی اثر تابش گاما روی خواص مختلف لایه‌های نازک CdS به ویژه خواص نوری آن‌ها انجام شده است.

انتر [۱۲] اثرات تابش گاما بر ویژگی‌های ساختاری و نوری لایه‌نازک CdS تهیه شده با روش تبخیر حرارتی را مورد مطالعه قرار داد. اثر تابش گاما بر ویژگی‌های نوری، پارامترهای مدل تک نوسان‌گر و گاف انرژی فیلم‌های CdS نانوبلوری آلائیده شده با آهن که با استفاده از روش تبخیر الکترونی لایه‌نشانی شده‌اند، توسط الزهرانی و همکاران بررسی شده است [۱۱]. تأثیر تابش گاما بر ویژگی‌های ساختاری، نوری و جریان-ولتاژ ساختار CdS/p-Si تهیه شده با روش جذب و واکنش لایه‌ای یونی متوالی^۱ (SILAR) توسط علی و همکاران بررسی شده است. [۱۳]. نتیجه‌گیری شده است که پس از تابش گاما، اندازه دانه لایه‌های نازک CdS افزایش می‌یابد در حالی که گاف انرژی و شدت PL کاهش می‌یابد. آن‌ها همچنین اثرات تابش گاما را بر روی خواص ساختار CdS/Si تهیه شده با روش تبخیر حرارتی گزارش کردند [۱۴]. با افزایش دُز گاما، ضریب ایده‌آل و جریان اشباع کاهش می‌یابد و ارتفاع سد پتانسیل افزایش می‌یابد.

خاتر و همکاران [۱۵] اصلاحات ناشی از تأثیر اشعه گاما روی نانومیله CdS تهیه شده با روش CBD را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که هیچ تغییر ساختاری در نانومیله CdS پس از تابش گاما وجود نداشت، اما تغییر در شدت نسبی الگوی XRD مشاهده شد. جذب نوری و گاف انرژی نانومیله CdS با افزایش دُز گاما به ترتیب افزایش و کاهش یافت. همچنین، هدایت الکتریکی نانومیله CdS با

^۱ Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR)

۲. مواد و روش کار

برای تهیه لایه‌های نازک با روش حمام شیمیایی ابتدا هیتروشن شده و در دمای ثابت و یکنواخت 75°C تنظیم می‌شود. در ادامه ظرف حاوی روغن (حمام روغن) جهت ثابت نگه داشتن دمای لایه‌نشانی روی آن قرار داده می‌شود. محلول‌های لازم که از قبل آماده شده‌اند به ترتیب و قطره-قطره داخل بشر خالی و تمیز داخل حمام روغن ریخته شده و سپس و با هم زن مغناطیسی به هم زده می‌شود. در نهایت زیرلایه‌های تمیز شده به‌طور عمودی در داخل ظرف واکنش قرار داده می‌شود تا لایه‌نشانی روی آن‌ها انجام گیرد. زمان‌های لایه‌نشانی برای تهیه نمونه با ضخامت‌های مختلف برابر با ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه و pH محلول‌ها برابر مقدار ثابت ۱۱ بود. مواد مورد استفاده در لایه‌نشانی عبارت بودند از: کادمیوم کلرید (CdCl_2) با غلظت ۰/۱۲ M، تیواوره (H_2NCSNH_2) با غلظت ۰/۲ M، کلرید آمونیم (NH_4Cl) با غلظت ۰/۲ M و آمونیاک (NH_3) ۲۵٪ با غلظت ۲ M که درجه خلوص آن‌ها تجزیه‌ای و از شرکت مرک بودند. با این روش لایه‌نشانی، نمونه‌هایی با سطح یکنواخت و چسبندگی خوب به دست آمد.

برای آنالیز SEM از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل EVD۱۸-Ziess ساخت کشور آلمان استفاده گردید. برای مطالعات جذبی از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Aurora UV-VIS-NIR ساخت شرکت بلور آزما استفاده شد. الگوی پراش اشعه ایکس (XRD) توسط پراش سنج اشعه ایکس مدل STADI-MP-STOE با منبع تابش $\text{CuK}\alpha (\lambda=1/5406 \text{ \AA})$ ثبت گردید. نمونه‌ها با استفاده از گاما سل با مدل (Nordion, Canada) ۲۲۰ Gammacell با

افزایش دُز گاما افزایش یافت. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که گاف انرژی و خواص الکتریکی را می‌توان با تابش گاما تنظیم کرد. اخیراً فاتح‌ملا و همکاران [۱۶] اثر تابش گاما را بر کادمیم سولفید آلاییده با Cl تهیه شده به روش لایه‌نشانی تبخیر حرارتی را گزارش کردند. آن‌ها دریافتند که پس از تابش گاما، نمونه‌ها در چگالی نابجایی^۱، اندازه دانه، ضریب بافت^۲ و میکرو کرنش^۳ تفاوت دارند. آن‌ها با افزایش دُز گاما افزایش در اندازه دانه، کاهش در گاف انرژی و افزایش انرژی اوربج^۴ را مشاهده کردند. عبدالقانی و همکاران [۱۷] مطالعه مروری در مورد خواص الکتریکی و اپتیکی کالکوزن‌ها شامل بررسی اثرات تابش انجام داده‌اند. محمد و همکاران [۱۸] نانوذرات CdS و CdS/M (M=Fe, Mg, Mn) را سنتز کردند و در یک فیلم پلیمری ترکیبی از پلی‌وینیل الکل و پلی‌اتیلن گلیکول (PVA/PEG) گنجانده که هدف از آن توسعه یک نانوکامپوزیت پیشرفته برای کاربردهای متنوع در ذخیره‌سازی انرژی و محافظت در برابر اشعه بود. آیمان و همکارش [۱۹]، تأثیر تابش‌های یونیزان (آلفا، بتا، گاما) بر سلول‌های خورشیدی ناهمگون CdS/p-Si را مورد بحث قرار دادند.

با توجه به اطلاعات موجود، هیچ گزارش دقیقی در مورد تأثیر تابش گاما بر خواص نوری فیلم‌های CdS تهیه شده با روش CBD در ضخامت‌های مختلف وجود ندارد. در مطالعه حاضر، لایه‌های نازک CdS نانوساختاری با استفاده از روش ساده CBD کم‌هزینه در ضخامت‌های مختلف بر روی زیرلایه‌های شیشه‌ای لایه‌نشانی شدند. سپس اثرات تابش گاما با دُزهای مختلف (۰-۱۵۰ کیلوگری) بر ویژگی‌های نوری، ریخت‌شناسی و ساختاری فیلم‌های CdS مورد بررسی قرار گرفت.

⁴ Urbach energy

¹ Dislocation density

² Texture coefficient

³ Micro strain

چشمه کبالت -۶۰ که دارای نرخ دوز ۱/۵ گری بر ثانیه بود، در دمای اتاق پرتودهی شدند.

۳. بحث و نتایج

۱.۳. نتایج SEM

جهت بررسی ریخت‌شناسی لایه‌های نازک تهیه شده از میکروسکوپ الکترون روبشی استفاده گردید. شکل ۱ تصاویر SEM مربوط به نمونه‌های CdS در سه ضخامت مختلف قبل از تابش گاما را نشان می‌دهد. تصاویر گرفته شده از سطح مقطع نشان می‌دهد که ضخامت نمونه‌های CdS لایه نشانی شده در زمان‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه به ترتیب برابر با ۸۸/۰۹، ۱۴۰/۷ و ۲۱۱ نانومتر است. در شکل ۲، توزیع اندازه ذرات که با استفاده از نرم افزار ImageJ به دست آمده، نشان داده شده است که به ترتیب میانگین اندازه ذرات برابر با ۵۸، ۱۰۱ و ۱۲۱ نانومتر است. با افزایش ضخامت اندازه ذرات هم افزایش یافته است.

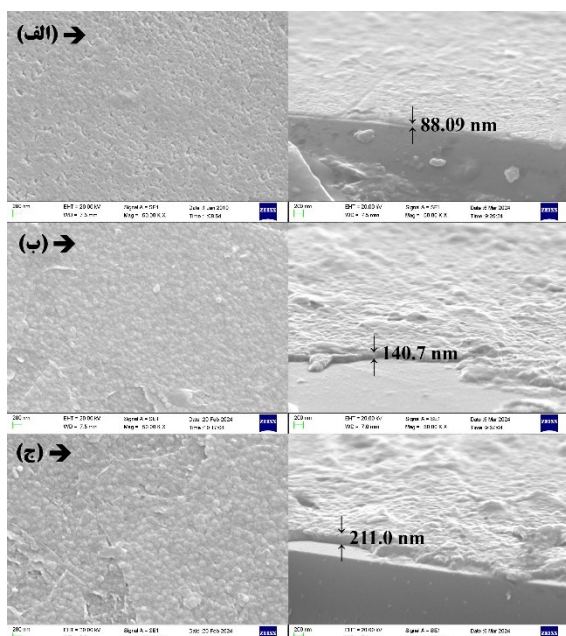
تصاویر SEM نمونه CdS با ضخامت ۲۱۱ نانومتر قبل و بعد از تابش در دُزهای ۱۰، ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگری در شکل ۳ ارائه شده است. میانگین اندازه ذرات برای نمونه با ضخامت ۲۱۱ نانومتر بعد از تابش گاما که با استفاده از نرم افزار ImageJ تخمین زده شده، در جدول ۱ آورده شده است. مشاهده می‌شود که اندازه ذرات بعد از تابش افزایش یافته است. نتایج نشان‌دهنده تشکیل نانوذرات کروی شکل با توزیع نسبتاً همگن است و در همه نمونه‌ها بعد از تابش گاما شکل هندسی ذرات تغییر نکرده؛ ولی اندازه آن‌ها بزرگ (جدول ۱) شده است. در نمونه‌هایی با ضخامت کم که تعداد حفره‌های روی سطح زیاد است، بعد از تابش تعداد حفره‌ها کاهش پیدا کرده و سطح نمونه چگال‌تر شده است. پس از قرار گرفتن در معرض تابش گاما با دُز ۱۵۰ کیلوگری، سطح نمونه‌های تابش داده شده سفید به نظر می‌رسد که می‌توان آن را به اندرکنش

پرتوهای گاما با سطح فیلم نسبت داد. به‌خوبی شناخته شده است که گرمایش موضعی و جابجایی اتمی می‌تواند به دلیل قرار گرفتن در معرض پرتوهای گاما رخ دهد و متعاقباً منجر به تشکیل تنش‌های ماکرو یا میکرو شود. نوع تنش (دافعه یا فشاری) تعیین می‌کند که تخریب شدگی، کلوخه‌ای شدن یا ترک‌ها کاهش یا افزایش یابد. در مطالعه حاضر، هیچ تخریب قابل توجه یا ترک در فیلم‌های تهیه شده بعد از تابش گاما روی سطح مشاهده نشد. این نشان می‌دهد که تنش‌ها و کشش‌های سطحی ناشی از تشعشع به اندازه کافی بالا نبودند تا مورفولوژی سطح فیلم را تخریب کنند [۲۰].

جدول (۱): میانگین اندازه ذرات برای نمونه با ضخامت ۲۱۱ نانومتر

قبل و بعد از تابش.

نمونه	میانگین اندازه ذرات (nm)
قبل از تابش	۱۲۱
۱۰ kGy	۱۲۷
۴۰ kGy	۱۳۰
۷۰ kGy	۱۳۴
۱۰۰ kGy	۱۳۶
۱۵۰ kGy	۱۳۹

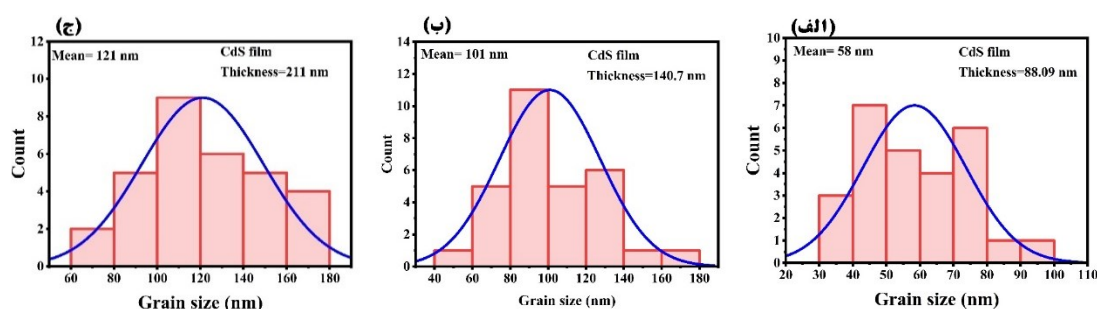


شکل (۱): تصویر میکروسکوپ الکترون روبشی و برش عرضی مربوط به نمونه‌های CdS با ضخامت‌های (الف) ۸۸/۰۹ نانومتر (ب) ۱۴۰/۷ نانومتر (ج) ۲۱۱ نانومتر قبل از تابش.

۲.۳. نتایج XRD

فازهای اول و دوم به عنوان ساختار فیلم های نازک سولفید کادمیوم تهیه شده به روش CBD گزارش شده است. فاز هگزاگونال (ورتزیت) ترمودینامیکی کمی باثبات تر و پایدارتر از حالت مکعبی (زینک بلاند) است و می توان حالت هگزاگونال را با حرارت دادن از حالت مکعبی در دماهای بالا تا $300-400^{\circ}\text{C}$ فراهم کرد [۲۱]. معمولاً درجه حرارت پایین در روش CBD منجر به تشکیل فاز مکعبی فیلم های نازک سولفید کادمیوم می شود [۲۲].

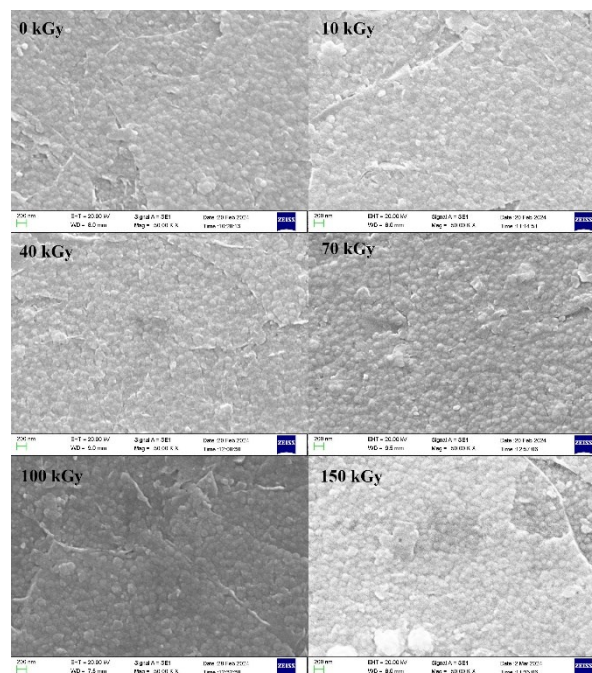
یکی از متداول ترین روش ها برای مطالعه ساختار نمونه ها روش پراش اشعه X است. قله های شدید و تیز نشان دهنده بلورینگی بالای ساختارها است. روش های مختلف تهیه نشان داده اند که سولفید کادمیوم در سه ساختار بلوری می تواند وجود داشته باشد. این سه ساختار بلوری عبارت اند از: ۱. هگزاگونال (ورتزیت)، ۲. مکعبی (زینک بلاند) و ۳. دو ساختار چهارضلعی هماهنگ و مکعبی (راک سالت). به جز فاز سوم،



شکل (۲): توزیع اندازه ذرات مربوط به نمونه های CdS با ضخامتهای (الف) ۸۸/۰۹ نانومتر (ب) ۱۴۰/۷ نانومتر (ج) ۲۱۱ نانومتر قبل از تابش.

به عبارتی مشخص شده که لایه های نازک سولفید کادمیوم می توانند در دوفاز یعنی فاز کم ثبات مکعبی و فاز شش وجهی با پایداری بالا رسوب کنند. لایه های نازک سولفید کادمیوم بسته به شرایط لایه نشانی می توانند به صورت حالت های مکعبی یا هگزاگونال یا ترکیبی از هر دو رشد نمایند.

در شکل ۴ الگوی پراش اشعه ایکس قبل و بعد از تابش مربوط به نمونه های CdS با ضخامت ۲۱۱ نانومتر نشان داده شده است. در همه موارد، الگوهای پراش پیک های قوی را در حدود 26.7° نشان می دهند که به ترتیب با صفحات (۱۱۱) C و (۰۰۲) H ساختارهای مکعبی و شش ضلعی مطابقت دارد. مشاهده می شود که شدت پیک ها پس از تابش گاما در همه موارد در حال افزایش است. این نشان می دهد که فیلم ها پس از تابش تبلور بالاتری پیدا می کنند و هیچ تغییری در فاز کریستالوگرافی قابل تشخیص نیست. همین نتیجه برای سایر ساختارهای لایه نازک گزارش شده است [۲۴، ۲۳]. به خوبی

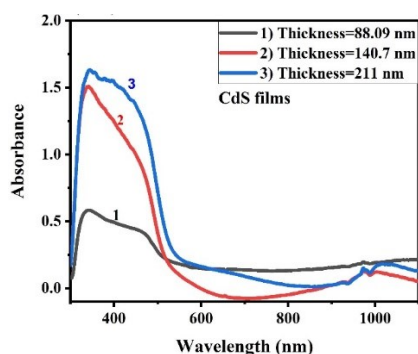


شکل (۳): تصویر میکروسکوپ الکترون رویشی مربوط به نمونه CdS با ضخامت ۲۱۱ نانومتر قبل و بعد از تابش گاما در دُزهای مختلف

وجود هم‌زمان دوفاز به دلیل تهنشینی هم‌زمان فازهای مکعبی و شش‌ضلعی در حمام شیمیایی در دمای حمام بالاتر است که قبلاً هم گزارش شده است [۲۵، ۲۶]. این پدیده ممکن است مربوط به این واقعیت باشد که اختلاف انرژی بین این دو فاز کم است. دمای حمام بالاتر منجر به تشکیل فاز شش‌ضلعی می‌شود در حالی که فاز مکعبی حذف نمی‌شود، بنابراین فاز شش‌ضلعی کمی پایدارتر است. با این حال، در دمای حمام بالاتر، محلول با غلظت‌های یونی بیش از حد اشباع می‌شود و رشد خوشه به خوشه بر رشد یون به یون در واکنش‌های شیمیایی غالب است [۲۵].

۳.۳. مطالعه خواص اپتیکی

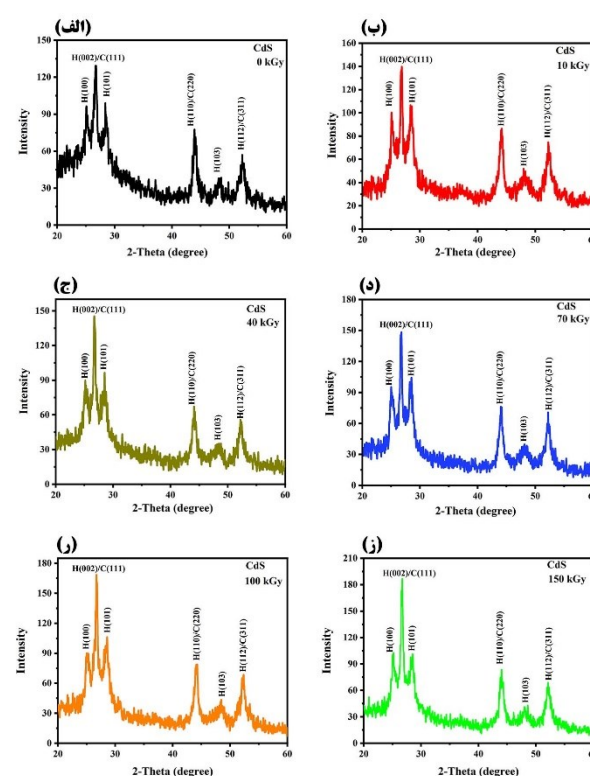
یک ابزار مهم در ارزیابی ویژگی‌های نوری یک ماده، طیف جذب نوری است. شکل ۵، جذب اپتیکی برای لایه‌های نازک CdS با ضخامت‌های مختلف را قبل از تابش در محدوده طول موج ۱۱۰۰-۳۰۰ nm را نشان می‌دهد. اندازه‌گیری جذب در دمای اتاق انجام شده است.



شکل (۵): نمودار جذب نمونه‌های CdS با ضخامت‌های مختلف.

یک جذب گسترده پیوسته در تمام طیف‌ها دیده می‌شود و با افزایش طول موج به تدریج کاهش می‌یابد. شدت جذب به‌طور پیوسته با افزایش ضخامت افزایش می‌یابد. همان‌طور که می‌دانیم، شدت جذب یک لایه نازک می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند روش تهیه، ضخامت، مورفولوژی سطح و اندازه

شناخته شده است که تغییرات شدت را می‌توان به عوامل مختلفی از جمله ساختار بلوری، ضریب پلاریزاسیون لورنتس^۱، تعدد^۲، سطح جذب و دما نسبت داد. تغییرات شدت پس از تابش گاما را می‌توان به یونیزاسیون و / یا بازآرایی ساختارهای کریستالی نسبت داد. برهمکنش بین یک لایه نازک و پرتوهای گامای فرودی ممکن است به تغییرات در شدت XRD منجر شود [۲۳].



شکل (۴): تصویر مربوط به الگوی پراش اشعه ایکس نمونه CdS با ضخامت ۲۱۱ نانومتر قبل و بعد از تابش گاما در دُزهای مختلف.

سایر قله‌ها در ۲۴/۸ درجه، ۲۸/۳ درجه، ۴۳/۸۶ درجه، ۴۷/۹ درجه و ۵۲/۱ درجه به‌ترتیب مربوط به صفحات $H(112)$ ، $H(103)$ ، $H(110)/C(220)$ ، $H(101)$ ، $H(220)$ است. بر این اساس، در شرایط شیمیایی توصیف شده حمام و دمای حمام ۸۰ درجه سانتی‌گراد، ساختار CdS مخلوطی از فازهای شش‌ضلعی/مکعبی است. علاوه بر این، بر اساس الگوهای XRD، فیلم‌ها ماهیت پلی کریستالی دارند.

²Multiplicity

¹ Lorentz-polarization factor

محاسبه کرد که در آن $n = \frac{1}{p}$ برای گذارهای مستقیم، B ثابت و E_g گاف انرژی هستند [۲۴]. با رسم $(ahv)^2$ بر حسب (hv) و قرار دادن $\alpha = 0$ گاف انرژی نمونه‌ها تخمین زده شده است.

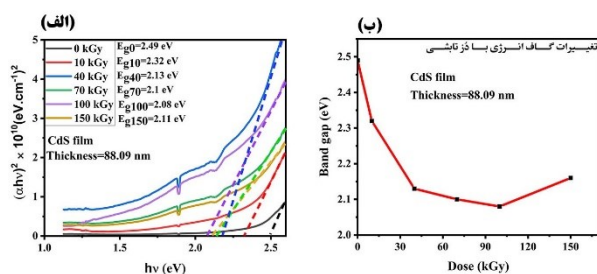
گاف انرژی لایه‌های نازک CdS با ضخامت‌های مختلف قبل و بعد از تابش که با استفاده از طیف جذبی مربوطه محاسبه شده است، در شکل‌های ۷ تا ۹ نشان داده شده است. گاف انرژی نمونه‌های CdS قبل از تابش با ضخامت‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت گاف انرژی کاهش یافته است.

جدول (۲): گاف انرژی برای نمونه‌ها با ضخامت‌های مختلف

قبل از تابش.

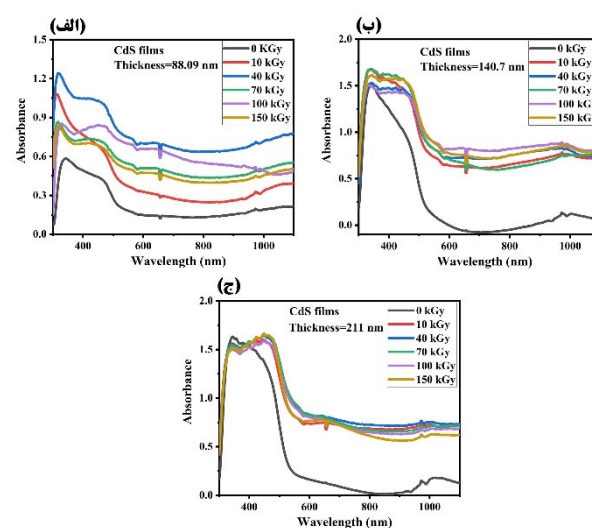
ضخامت نمونه	گاف انرژی (eV)
۸۸/۰۹	۲/۴۹
۱۴۰/۷	۲/۴۵
۲۱۱	۲/۴۱

قبل و بعد از تابش گاف انرژی برای نمونه CdS با ضخامت ۸۸/۰۹ نانومتر در محدوده ۲/۰۶ – ۲/۴۹ (شکل ۷ الف)، برای نمونه CdS با ضخامت ۱۴۰/۹ نانومتر در محدوده ۲/۲۶ – ۲/۴۵ (شکل ۸ الف) و برای نمونه CdS با ضخامت ۲۱۱ نانومتر در محدوده ۲/۲۲ – ۲/۴۱ (شکل ۹ الف) تخمین زده شد. تغییرات گاف انرژی با دُز تابشی در قسمت (ب) شکل‌ها نشان داده شده است.



شکل (۷): (الف) رفتار $(ahv)^2$ بر حسب انرژی فوتون فرودی قبل از تابش و پس از تابش در دُزهای مختلف پرتو گاما (ب) تغییرات گاف انرژی بر حسب دُز پرتو گاما برای لایه نازک CdS با ضخامت ۸۸/۰۹ نانومتر.

دانه باشد. با افزایش ضخامت اندازه دانه‌ها بزرگ شده و غلظت حامل‌ها هم افزایش می‌یابد و همچنین مورفولوژی سطح نیز تا حدودی تغییر می‌یابد و به این دلایل جذب افزایش می‌یابد. شکل ۶، جذب اپتیکی برای لایه نازک CdS با ضخامت‌های مختلف را قبل و بعد از تابش در دُزهای ۱۰، ۴۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگری در محدوده طول موج ۳۰۰–۱۱۰۰ nm را نشان می‌دهد.



شکل (۶): نمودار جذب نمونه‌های CdS با ضخامت‌های مختلف قبل و بعد از تابش در دُزهای مختلف.

مشاهده می‌شود که بعد از تابش شدت جذب افزایش می‌یابد. افزایش شدت جذب با تابش گاما را می‌توان به افزایش اندازه دانه نمونه‌های تابش داده شده با گاما نسبت داد. علاوه بر این، افزایش شدت جذب پس از تابش گاما ممکن است به دلیل ایجاد مکان‌های دهنده یا پذیرنده موضعی در گاف انرژی ممنوع و جذب لبه نواری باشد [۱۵].

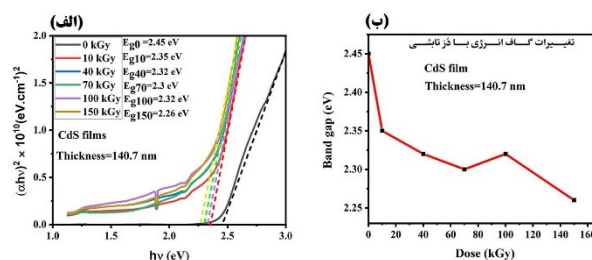
در مواد بلوری به خاطر تقارن گذار، به راحتی می‌توان ساختار نواری و چگالی حالت‌ها را پیدا کرده و گاف نواری نیز تعریف کرد. با استفاده از رابطه $\alpha = 2/3 \cdot A/d$ می‌توان ضریب جذب را از روی داده‌های تجربی میزان جذب محاسبه کرد که در آن d ضخامت فیلم و A میزان جذب هستند. ضریب جذب را می‌توان از فرمول $\alpha(hv) = B(hv - E_g)^n \text{ cm}^{-1}$ نیز

۴. نتیجه گیری

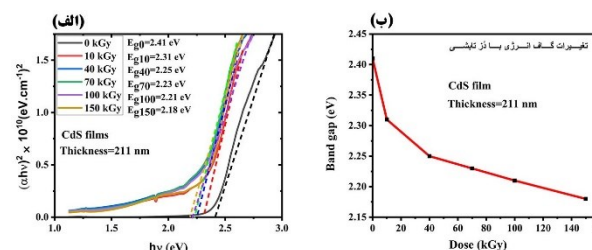
در این پژوهش، لایه نازک CdS روی زیر لایه شیشه‌ای با موفقیت با استفاده از روش لایه نشانی حمام شیمیایی پوشش داده شد و خواص آن در سه ضخامت تحت تابش گاما در دُزهای مختلف بررسی گردید. نتایج نشان‌دهنده تغییر در خواص لایه‌های نازک CdS بعد از تابش گاما است. نتایج SEM نشان داد که لایه‌ها قبل و بعد از تابش دارای سطحی یکنواخت بوده و دانه‌ها به صورت کروی هستند. باتوجه به الگوی پراش XRD مشاهده شد که ساختار لایه قبل و بعد از تابش شامل دوفاز مکعبی و هگزاگونال مربوط به CdS و شدت پیک‌ها بعد از تابش افزایش یافته است. گاف انرژی با افزایش ضخامت و بعد از تابش کاهش یافت. همچنین تغییرات گاف انرژی با دُز تابش نشان داد که رابطه خطی بین آن‌ها وجود دارد. خطی بودن منحنی گاف انرژی بر حسب دُز توانایی لایه نازک CdS تهیه شده را برای استفاده به عنوان دزیمتر تابش گاما تأیید می‌کند. پیشرفت‌ها در تهیه این مواد به‌طور قابل ملاحظه‌ای به توسعه دزیمترهای جدید و باصرفه کمک می‌کنند.

۵. تشکر و قدردانی

این کار قسمتی از پروژه درون پژوهشگاهی با کد پروژه PRI-W۴-۰۰۲-۰۰۱ در پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها است. از همه مسئولین مربوطه و همکاران عزیز که در انجام این کار ما را یاری کردند تشکر و قدردانی می‌شود.



شکل (۸): (الف) رفتار $(\alpha hv)^2$ بر حسب انرژی فوتون فرودی قبل از تابش و پس از تابش در دُزهای مختلف پرتو گاما (ب) تغییرات گاف انرژی بر حسب دُز پرتو گاما برای لایه نازک CdS با ضخامت ۱۴۰/۷ نانومتر.



شکل (۹): (الف) رفتار $(\alpha hv)^2$ بر حسب انرژی فوتون فرودی قبل از تابش و پس از تابش در دُزهای مختلف پرتو گاما (ب) تغییرات گاف انرژی بر حسب دُز پرتو گاما برای لایه نازک CdS با ضخامت ۲۱۱ نانومتر.

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت نمونه‌ها گاف انرژی کاهش می‌یابد که می‌تواند مربوط به افزایش اندازه دانه‌ها و در نتیجه افزایش نقص‌ها و ترازهای جایگزیده در ماده باشد [۲۸]. کاهش گاف انرژی با افزایش دُز گاما ممکن است با ایجاد نقص در ساختار، ناشی از تابش مرتبط باشد. علاوه بر این، برخی از پیوندهای Cd-S (۲۰۸ کیلوژول بر مول) در اثر تابش گاما شکسته می‌شوند. براین اساس، نقص‌هایی تشکیل می‌شوند که حالت‌های جایگزیده ایجاد می‌کنند. این به دلیل افزایش غلظت حامل، سطح مؤثر فرمی را تغییر می‌دهد. نتیجه نهایی عبارت از جذب بیشتر و کاهش گاف انرژی است [۲۹، ۱۱].

۶. مراجع

1. M. Kamalian, E. Hasani, L. Babazadeh Habashi, M. Gholizadeh Arashti. Impact of post-deposition annealing on the optical, electrical, and structural properties of CdS thin films for solar cell applications. *Physica B: Condens. Matter*. 674 (2024) 415524.
2. M. Shkir, T. Alshahrani, Engineering the physical properties of CdS thin films through incorporation of

- Fe dopant for photodetector applications. *J. Phys. Chem. Solids* 177 (2023) 111282.
3. M.A.K.L. Dissanayake, K. Paramanathan, G.K.R. Senadeera, C.A. Thotawattage, K. Balashangar, P. Ravirajan, B.S. Dassanayake. Optical transmission and photoconductivity of chemical bath-deposited CdS thin films for optoelectronic applications. *Thin Solid Films* 791 (2024) 140225.
 4. K. Ravichandran, P. Philominathan. Comparative study on structural and optical properties of CdS films fabricated by three different low-cost techniques. *Appl. Surf. Sci.* 255 (2009) 5736–5741.
 5. F.M. Ahmed, A.M. Muhammed Ali, R.A. Ismail, M.A. Fakhri, E.T. Salim. Investigating the influence of deposition time on nanostructured CdS film prepared by chemical bath deposition for photodetection applications. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* 34 (2023) 1906.
 6. S.K. Gaur, A. Chaudhary, Q. Murtaza, R.S. Mishra. Comparative analysis of thermally evaporated nanoscale CdS thin film's structural, morphological, optical and nanomechanical properties. *J. Mol. Struct.* 1324 (2025) 140850.
 7. S.M. Pawar, B.S. Pawar, J.H. Kim, Oh-Shim Joo, C.D. Lokhande. Recent status of chemical bath deposited metal chalcogenide and metal oxide thin films. *Curr. Appl. Phys.* 11 (2011) 117–161.
 8. Sengupta, S., Aggarwal, R. & Raula, M. A review on chemical bath deposition of metal chalcogenide thin films for heterojunction solar cells. *J. Mater. Res.* 38 (2023) 142–153.
 9. G. Hodes, Semiconductor and ceramic nanoparticle films deposited by chemical bath deposition. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 9 (2007) 2181–2196.
 10. C. Claeys, E. Simoen. Radiation Effects in Advanced Semiconductor Materials and Devices. (Springer Series in Materials Science), first ed., Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2002.
 11. J.H. Al-Zahrani, M. Ei-Hagary, A. Ei-Taher. Gamma irradiation induced effects on optical properties and single oscillator parameters of Fe-doped CdS diluted magnetic semiconductors thin films. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 39 (2015) 74–78.
 12. F.H. Antar. Effect of gamma – ray on structural and optical properties of cadmium sulfide (CdS) thin films. *Int. J. Appl. Innovat. Eng. Manag.* 3 (9) (2014) 89–92.
 13. S.M. Ali, M.S. AlGarawi, W.A. Farooq, M. Atif, A. Hanif, M.A. Al-Mutairi, M. A. Shar. Gamma dose dependent structural, optical and current-voltage characteristics of CdS/p-Si heterojunction. *Mater. Chem. Phys.* 240 (2020) 122243.
 14. S.M. Ali, S.M. Ramay, N.U. Rehman, T.S. Alkhuraiji, M.A. Shar, A. Mahmood, A. Hassan, M. Riaz. Investigation of gamma irradiation effects on the properties of CdS/p-Si heterostructure. *Mater. Sci. Semicond. Process.* 93 (2019) 44–49.
 15. J. Khatter, R.P. Chauhan. Gamma-ray induced modifications on CdS nanorod mesh: structural, optical, and electrical properties. *Radiat. Phys. Chem.* 182 (2021) 109353.
 16. A. Fatehmulla, S.A. Almawash, A.A. Albassam, A.M. Aldhafiri, E.A. Alghamdi, S. M. Ramay, M. Asif. Influence of c-radiation on the physical characteristics of thermally evaporated nanostructured CdS: Cl film. *J. King Saud Univ. Sci.* 34 (6) (2022) 102200.
 17. W. A. Abd El-Ghany, Review on the optical and electrical properties of chalcogenide thin films: challenges and applications, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 27 (2025) 4567-4586.
 18. Mohamed Bakr Mohamed, A.M. El-naggar, Zein K. Heiba, A.M. Kamal, Effect of CdS/M doping on the dielectric and radiation shielding of PVA/PEG composite film. *Ann. Nucl. Energy* 216 (2025) 111321.
 19. A. A. El-Amin, M. H. Saad. Ionizing Radiations (Alpha, Beta, Gamma) Effects on CdS/P-Si Heterojunction Solar Cell for Electrical and Optical Properties, *J. Mater. Sci. Res.* 7 (2018) 20-27.
 20. S. Kaya, E. Yilmaz. Modifications of structural, chemical, and electrical characteristics of Er₂O₃/Si interface under Co-60 gamma irradiation. *Nucl. Inst. Methods Phys. Res. B* 418 (2018) 74–79.
 21. S.R. Gonzaler, D. Mendoza, R. Gutierrez, S.J. Castillo, R. Bon, B.E. Gnade, M.A. Lopez. Optical and Structural Properties of CdS Thin Films Grown by Chemical Bath Deposition Doped with Ag by ion Exchange. *Optik* 125 (2014) 1533-1536.
 22. M.A. Mahdi, S.J. Kasem, J.J. Hassen, A.A. Swadi, S.K.J. Al-Ani. Structural and Optical Properties of Chemical Deposition CdS Thin Films. *Int. J. Nanoelectron. Mater.* 2 (2009) 163-172.
 23. K. Arshak, O. Korostynska, J. Henry. Structural modifications in thin films caused by gamma radiation. *Mater. Sci. Forum* 480–481 (2005) 13–20.
 24. S.K. Sen, M.S. Manir, S. Dutta, M.H. Ali, M.N.I. Khan, M.A. Matin, M.A. Hakim, Influence of total absorbed dose of Co-60 γ -radiation on the properties of h-MoO₃ thin films, *Thin Solid Films* 693 (2020) 137700.
 25. I. Kaur, D.K. Pandya, K.L. Chopra. Growth kinetics and polymorphism of chemically deposited CdS films. *J. Electrochem. Soc.* 127 (1980) 943–948.

26. A. Slonopas, H. Ryan, B. Foley, Z. Sun, K. Sun, T. Globus, P. Norris. Growth mechanisms and their effects on the opto-electrical properties of CdS thin films prepared by chemical bath deposition. *Mater. Sci. Semicond Process* 52 (2016) 24–31.
27. Y. Hamakawa. *Thin Film Solar Cells*. Springer, Berlin, 2004.
28. M.A. Nuriyev, A.I. Gasimova, I.M. Nuruyev, and A.A. Shukurova. Effect of Gamma Irradiation on the Optical and Electrical Properties of PVA/CdS Nanocomposites. *Nano: Brief reports and reviews* (2024) 2450117.
29. O.I. Shpotyuk, A.O. Matkovskii, A.P. Kovalsky, M.M. Vakiv. Radiation-induced changes of amorphous As₂S₃ physical properties. *Radiat. Eff. Defect. Solid* 133 (1995) 1–4.