

تأثیر ناخالصی فلزی Cu بر ساختار بلوری و خواص اپتیکی و الکتریکی لایه‌های نازک سولفید کادمیوم

عبدالجواد نوین‌روز^۱ و محمدرضا محمدی^۲

۱- پژوهشکده مواد، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران

۲- گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان

چکیده

لایه‌های نازک سولفید کادمیوم به روش تبخیر حرارتی در خلأ در فشار $p = 3 \times 10^{-6}$ Torr بر روی شیشه، لایه‌گذاری شدند. آهنگ تبخیر $3/5$ nm/s و ضخامت تقریبی آن 550 nm تعیین شدند و تعدادی از این لایه‌ها برای کاشت عنصر مس، با چگالی مختلف انتخاب شدند. برای مطالعه ساختار بلوری لایه‌ها از روش XRD استفاده شد. الگوی پراش اشعه ایکس نشان داد که لایه‌های پوشش داده شده بر روی شیشه در دمای 165°C زیرلایه، دارای ساختار هگزاگونال در جهت رشد ترجیحی [002] است. همچنین بررسی الگوی پراش نمونه‌های آلائیده با مس، $\text{CdS}:\text{Cu}$ نیز همان ساختار بلوری هگزاگونال از صفحه بازتاب [002] را نشان داد. تغییرات ضریب شکست، انرژی گاف هر دو ترکیب یعنی CdS و $\text{CdS}:\text{Cu}$ با دمای زیرلایه و چگالی مس بررسی شدند. میزان انرژی گاف بین 2.43 تا 2.48 eV و ضریب شکست CdS و $\text{CdS}:\text{Cu}$ به ترتیب بین 1.75 تا $2/51$ متغیر بودند. خواص الکتریکی لایه‌های نازک با سنجش مقاومت الکتریکی به وسیله پراب چهار نقطه‌ای کاوه مورد مطالعه قرار گرفت که طی آن مقاومت CdS از مقدار 5.2×10^3 اهم سانتی متر به مقدار 9×10^{-3} پس از اعمال ناخالصی مس کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: سولفید کادمیوم، لایه‌های نازک، ناخالصی فلزی، ساختار بلوری و خواص اپتیکی و الکتریکی

Effect of Cu metallic impurities on structural, optical and electrical properties of cadmium sulfide thin films

A.J.Novinrooz¹ and M.Mohammadi²

1. Materials research School, Nuclear Science and Technology

2. Physics Group, Faculty of Science, Sistan and Baluchestan University

Abstract: Thin films of Cadmium Sulfide have been deposited on glass substrates by thermal evaporation technique under the pressure of $p = 3 \times 10^{-6}$ Torr. The rate of deposition and thickness of the films were taken fixed at 3.5 nm/s and 550 nm respectively. Some of the CdS specimens were selected for indirect implantation of Copper with different densities. The crystalline structure of the samples was investigated by X-ray diffractometry (XRD). It was revealed that hexagonal structure with [002] plane of reflection at 165°C is remained the same in CdS films before and after Cu implantation. In other word, doping of Cu atoms do not change the crystal phase, but only enhance the peak intensity at [002] plane. In this paper variation of refractive index and band gap of composites (i.e CdS and CdS:Cu) with substrate temperature and copper densities were studied. It was found that, band gap of samples varies between 2.43 eV to 2.48 eV. Also, that of refractive index variation was between 1.75 to 2.51 eV. The electrical properties of CdS planes un doped and doped with Cu, examined by four point probe in which, the resistivity of CdS from $5.2 \times 10^3 \Omega\text{cm}$ was reduced to $9 \times 10^{-3} \Omega\text{cm}$ by Cu implantation.

Key words: Cadmium Sulfide, Metallic Impurities, Optical, Electrical, Structural, Thin Films

E-mail of corresponding author (s): a.novin@aeoi.org.ir

مقدمه

حال آن که با ضخامت میکرونی ($0.5-2 \mu\text{m}$) از آن آشکارسازهای مختلف درست کرده‌اند [13]. در ساخت این قبیل قطعات اپتیکی خصوصیات لایه CdS به عنوان یک زیرساختار بدون شک مهم تلقی می‌شود. زیرا، در صورت داشتن نقص شبکه، حامل‌های بار دستخوش تغییرات نامطلوب می‌شوند. یکی از راه‌های بهبود کیفیت لایه‌ها، عملیات حرارتی پس از لایه‌گذاری می‌باشد که سبب رشد و افزایش اندازه دانه‌ها می‌گردد. اما برای لایه‌های نازک (کمتر از میکرون) احتمال ایجاد نقص در اثر عملیات حرارتی نیز بسیار زیاد است [14]. از این رو، به نظر می‌رسد بهبود کیفیت لایه‌ها در زمان لایه نشانی که با کنترل پارامترهای مربوطه صورت بگیرد، سودمندتر و اثرپذیری بیشتری داشته باشد. در حقیقت، یکی از چالش‌های این مقاله رسیدن به این هدف مهم است. بدین منظور، اثر دمای زیرلایه و اعمال ناخالصی فلزی (مس) و تأثیر این دو بر رفتار اپتیکی و الکتریکی لایه‌های نازک CdS مورد پژوهش قرار گرفته و نتایج حاصل از آن تفسیر و توضیح داده شده‌اند.

روش آزمایش

مقداری پودر سولفید کادمیم با درجه خلوص ۹۹/۹٪ که از شرکت دارویی مرک آلمان تهیه شده بود در داخل بوتله‌ای از جنس تانتالیوم در دستگاه تبخیر در خلاء با مدل Edward Auto 306 ریخته می‌شود. خلاء اولیه دستگاه 10^{-6} torr و خلاء در ناحیه کار 10^{-4} torr تنظیم می‌گردد. زیرلایه‌هایی از جنس شیشه معمولی قبل از تعبیه در داخل سیستم خلاء، با روش‌های متداول در آزمایشگاه‌های لایه نازک، از قبیل استفاده از آلتراسونیک، شستشو با آب گرم و صابون، اسید و استن بخوبی تمیز کرده و سپس با استفاده از جریان هوای گرم خشک می‌شوند. از آنجا که دستگاه مذکور مجهز به سیستم ضخامت‌سنج کوارتز می‌باشد. امکان ضخامت‌سنجی لایه‌ها در حال لایه نشانی به خوبی فراهم می‌شود. آهنگ لایه نشانی

در گروه ترکیبات II-IV سولفید کادمیم جایگاه خاصی دارد که به لحاظ ویژگی‌های فیزیکی مانند توان تراگسیلی بالا، شفافیت اپتیکی بالا و طول پخش زیاد مورد مطالعه گسترده قرار گرفته است [1, 2, 3]. از لایه‌های نازک CdS در ساخت قطعات الکترونیکی، سلول‌های فتوولتایی، آشکارسازهای نوری استفاده زیاد شده است [4, 5]. برای تهیه این لایه‌ها روش‌های مختلف در منابع ذکر شده‌اند که عمدتاً عبارتند از: تبخیر حرارتی (PVD)^۱، حمام شیمیایی (CBD)^۲ رانشست مولکولی (MBE)^۳ و پالس لیزری [6]. در سالیان اخیر با روش CBD لایه‌های بسیار نازک ۴۰ تا ۵۰ نانومتر تهیه شده است [7]. ترکیب CdS اگر چه متجاوز از نیم قرن است که به طور مداوم توسط گروه‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است اما نتایج گزارش شده از نانو سیم‌های ساخته شده از CdS بسیار جالب و قابل توجه هستند (۸-۱۱). این بدان معنی است که تحقیقات بر روی CdS پایان نگرفته و زمینه کار هنوز هم فراهم است. خواص اپتیکی لایه‌های نازک CdS در نزدیکی لبه جذب اپتیکی، کاربری این ترکیب را در ساخت قطعات اپتو-الکترونیکی و الکتریکی افزایش داده است.

مقاله نتایج ساخت پنجره‌های اپتیکی توسط CdS را گزارش کرده و نحوه بهره‌برداری از آن را در فناوری سیستم‌های فتوولتایی با راندمان تبدیل بالاتر توضیح داده است. همچنین نشان داده شده است که عمده‌ترین ترکیب CdS با هم‌نهادهایی مانند SnO_2 , CuS , CdSe , CdTe و $\text{Cu}_{1-x}\text{Se}_x$ کاربرد وسیع‌تری دارند در این صورت ضخامت لایه‌های ایجاد شده با این ترکیبات حائز اهمیت می‌شود. میزان ضخامت لایه‌های CdS پوشش داده شده استفاده از آن را متنوع کرده است. برای مثال، در ضخامت کمتر از میکرون پنجره اپتیکی ساخته شده [7] و

¹. PVD : Physical Vapor Deposition

². CBD : Chemical Bath Deposition

³. MBE : Molecular Beam Epitaxy

شده‌اند. آزمایش‌های به عمل آمده بر روی تعداد زیادی از نمونه‌ها مشخص نمودند که همه لایه‌هایی که در دمای کمتر از 165°C تهیه می‌شوند بی‌شکل‌اند و ساختار بلوری معینی ندارند، اما، همان‌گونه که در شکل‌های مذکور دیده می‌شود، ساختار هگزاگونال با جهت رشد ترجیحی در صفحه (۰۰۲) در هر دو دما به خوبی آشکار است. گزارشات مشابهی را مقالات [8 و 14] ارائه نموده‌اند. شدت پراش متناسب به دمای زیرلایه 225°C بیشتر از دمای 165°C بوده و پراش از صفحات دیگر در این نمونه کاهش یافته است شکل ۱(ب). به بیان دیگر، اندازه دانه‌های رشد یافته در دمای 225°C بیشتر از دمای 165°C می‌باشد. در شکل ۲، الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های سولفید کادمیم آلاییده به مس نشان داده شده است. شکل ۲ (الف) متعلق به $\text{CdS}:\text{Cu}$ با مس انباشت شده با چگالی $2 \times 10^{21} \text{ at/cm}^3$ و شکل ۲ (ب) مربوط به انباشت با مس به چگالی $4 \times 10^{21} \text{ at/cm}^3$ می‌باشند. ملاحظه می‌شود که شدت پراش در شکل ۲ (ب) بیشتر است. از این رو انباشت با چگالی بیشتر شرایط مناسب‌تری را برای کاشت مس فراهم می‌سازد. اگر شکل‌های ۱ و ۲ با یکدیگر مقایسه شوند، می‌توان این نتیجه را گرفت که وجود مس در ماتریس لایه‌های CdS ساختار کریستالی هگزاگونال را تغییر نمی‌دهد. اما باعث افزایش شدت پراش در صفحه (۰۰۲) می‌شوند. اگر چه توجه قوی برای این افزایش نتوانستیم ارائه کنیم اما تکرار آن در نمونه‌های متعدد به عنوان یک مشاهده تجربی قابل ذکر است.

ب) بررسی مقاومت الکتریکی

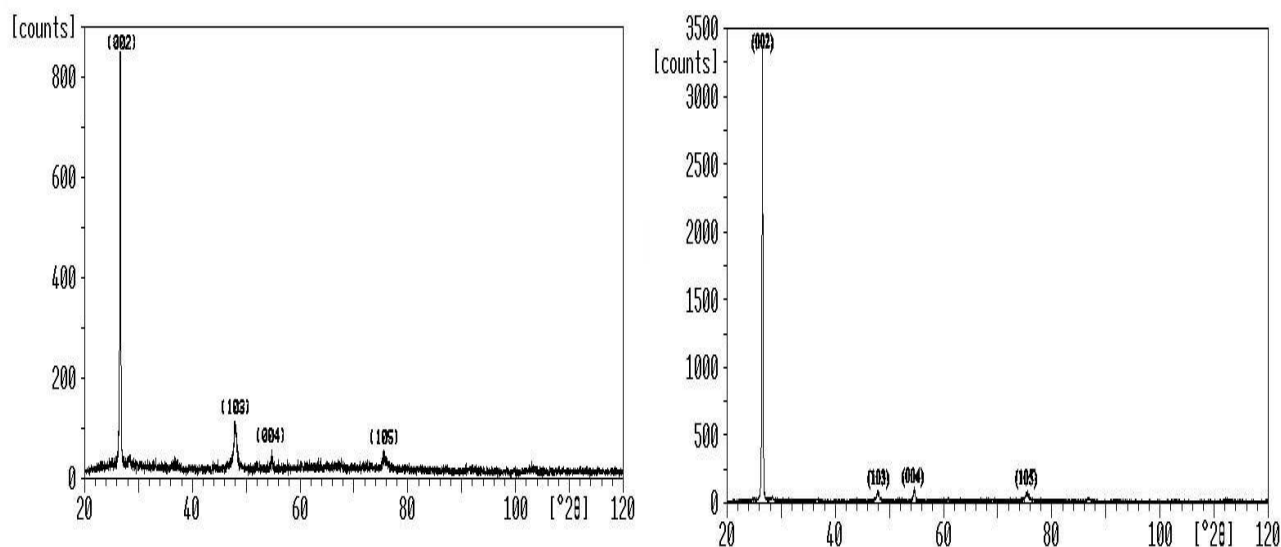
مطالعه مقاومت الکتریکی، ابزار سودمندی برای شناخت خصوصیات و رفتار لایه‌های نازک می‌باشد. از این رو، نمونه‌های زیادی در شرایط مختلف آزمایشگاهی جهت بررسی مقاومت الکتریکی سولفید کادمیم و سولفید کادمیم آلاییده با مس با روش چهار نقطه‌ای کاوه به عمل آمد. شکل ۳ نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی فیلم‌های

3.5 nm/s و میانگین ضخامت لایه‌ها 550 nm که قبلاً بررسی و تعیین شده بودند، در طول آزمایشات ثابت نگه داشته شدند [21]. به منظور مطالعه اثر حرارت بر رفتار لایه‌های CdS ، نمونه‌ها در دماهای مختلف بین 35°C تا 225°C لایه نشانی شدند. تعدادی از نمونه‌های CdS که دارای مقاومت ویژه پایین‌تری بودند انتخاب شده و با استفاده از دستگاه Ion Modification (MBM) Beam Mixing، عنصر مس با چگالی‌های $2 \times 10^{21} \text{ at/cm}^3$ و $4 \times 10^{21} \text{ at/cm}^3$ به عنوان ناخالصی فلزی به طور غیر مستقیم کاشته شدند. قابل ذکر است که دمای نمونه‌ها به هنگام کاشت حدوداً 540°C درجه سانتی‌گراد بود که طبق بررسی‌های به عمل آمده این دما در ساختار بلوری نمونه‌ها هیچ تأثیر نداشته است [21]. آنالیز الگوهای پراش اشعه X نمونه‌ها (XRD) با استفاده از دستگاه فیلیپس مدل PM 1840، با لامپ آند مسی انجام شد. برای مطالعه ساختار ریز میکروسکپ الکترونی روبشی SEM مدل فیلیپس XL-30 و بررسی مقاومت الکتریکی نمونه‌ها از روش چهار نقطه‌ای کاوه استفاده گردید. نهایتاً خواص اپتیکی و ثابت‌های آن در فیلم‌های CdS و $\text{CdS}:\text{Cu}$ به کمک دستگاه اسپکترومتر Carry-17-D دو باریکه‌ای مورد بررسی و پژوهش قرار گرفتند. آنالیز عنصری و آرایه عمقی عناصری در نمونه‌ها با به کارگیری و بهره‌برداری از سیستم طیف سنجی تحریکی - اپتیکی تخلیه نورانی GDS-ES مدل JY - 500 انجام شد.

بحث و نتایج

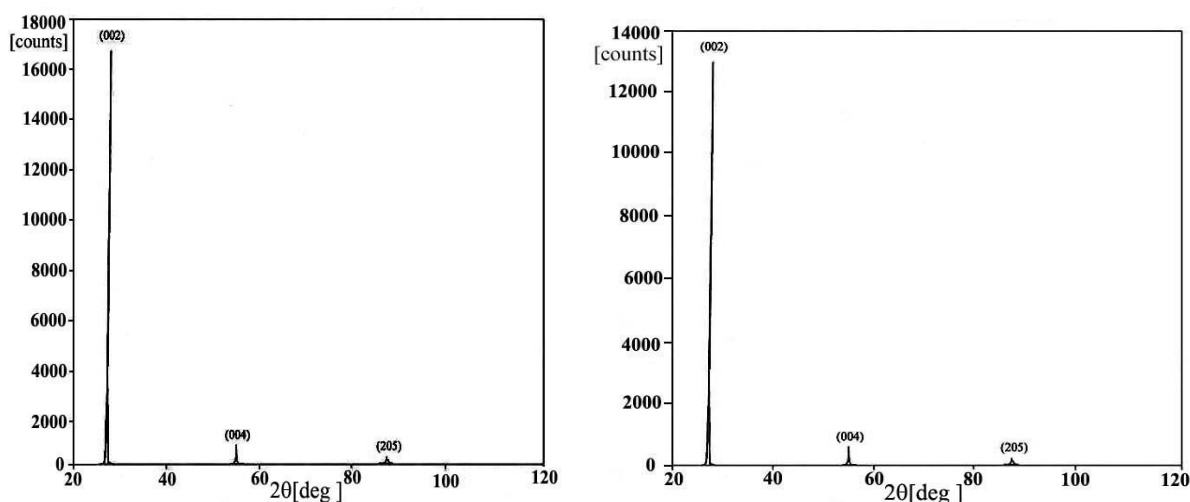
الف) بررسی ساختار بلوری

الگوی پراش اشعه X (XRD) لایه‌های نازک سولفید کادمیم و لایه‌های آلاییده با مس مورد بررسی قرار گرفتند. شکل‌های ۱ (الف و ب) مربوط به نمونه‌هایی هستند که در آن لایه‌های CdS بدون آلاییدگی به ترتیب در دمای زیرلایه 165°C و 225°C بر روی شیشه انباشت



شکل 1(a) - الگوی پراش اشعه X (XRD) لایه‌های نازک CdS انباشت شده بر روی شیشه در دمای 165 °C

شکل 1(b) - الگوی پراش اشعه X (XRD) لایه‌های نازک CdS انباشت شده بر روی شیشه در دمای 225 °C



شکل ۲- (a): الگوی پراش اشعه X (XRD) لایه‌های نازک cds آلوده با مس انباشت شده بر روی شیشه با چگالی 2.0×10^{21} at/cm³.

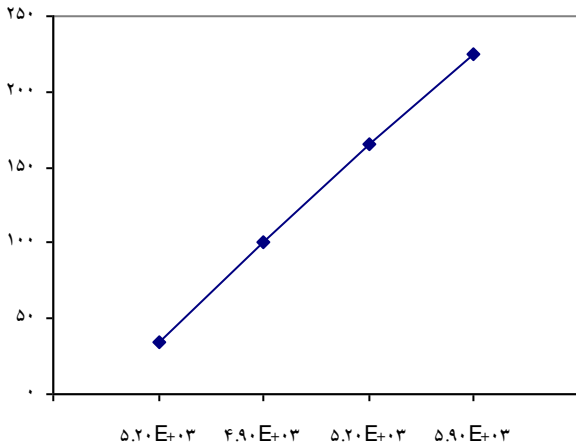
(b): الگوی پراش اشعه X (XRD) لایه‌های نازک cds آلوده با مس انباشت شده بر روی شیشه با چگالی 0.4×10^{21} at/cm³.

دست یافت [15].

مشاهده ما حاکی از آن است که افزایش مقاومت الکتریکی با دمای زیرلایه به لحاظ نزدیک‌تر شدن نسبت اتمی Cd و S به یکدیگر است. به بیان دیگر، افزایش جایگاه‌های تپی S^{2-} در شبکه کریستالی به کاهش مقاومت می‌انجامد. در دمای بالاتر اتم‌های Cd جاهای خالی سولفور را پر می‌کنند و بدین ترتیب به نسبت اتمی یکسان نزدیک‌تر می‌شوند که سبب افزایش مقاومت می‌شوند. مرجع [12]

نازک CdS که در دمای مختلف زیرلایه بر روی شیشه و با نرخ انباشت 3.5 nm/s لایه نشانی شده است را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این نمودار بر می‌آید، مقاومت لایه‌ها با افزایش دمای زیرلایه افزایش می‌یابد. اساساً، لایه‌های نازک که به روش تبخیر در خلاء تهیه می‌شوند و نسبت اتمی کاملی دارند دارای مقاومت بالایی تا $(\Omega \text{ cm})$ ۱۰^۵ هستند. البته با کنترل ضخامت لایه، آهنگ تبخیر و دمای زیرلایه می‌توان به حامل‌های بار و مقاومت دلخواه

ما؟ زیر لایه (درجه سانتیگراد)



شکل ۴: نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی لایه های نازک CdS: مقاومت (اهم سانتی متر) تهیه شده با چگالی مس در دمای ۵۰-۲۵۰

با استفاده از رابطه $\alpha = \frac{1}{d} \ln T$ در لبه جذب که در آن T در صد عبور پرتو تابش و d ضخامت لایه می باشد، می توان ضریب جذب هر نمونه را محاسبه کرد. اساساً، ضریب جذب نزدیک به گاف نوار به صورت زیر تعریف می شود [۱۷]:

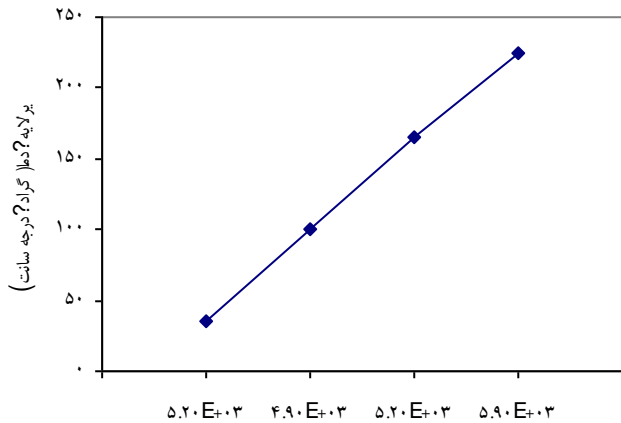
$$\alpha = A \cdot \frac{(\hbar\omega - E_g + \hbar\Omega)^2}{e^{\hbar\Omega / K_B T} - 1} \quad (1)$$

که در آن A یک مقدار ثابت و $\hbar\omega$ انرژی فوتون و E_g انرژی گاف می باشد. جهت تعیین مقدار عددی انرژی گاف، مقادیر $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی فوتون ($h\nu$) رسم می شوند سپس، با برون یابی قسمت خطی منحنی که متناسب به مقدار:

$$\left(\frac{1}{1 - e^{-\hbar\Omega / K_B T}} \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{1}{e^{\hbar\Omega / K_B T} - 1} \right)^{\frac{1}{2}}$$

می باشد اندازه انرژی گاف E_g تعیین می گردد [۱۷]. شکل های ۷ (الف) و ۷ (ب) منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی فوتون را به ترتیب در دمای 35°C و 225°C نشان داده است. همان گونه که ملاحظه می شود

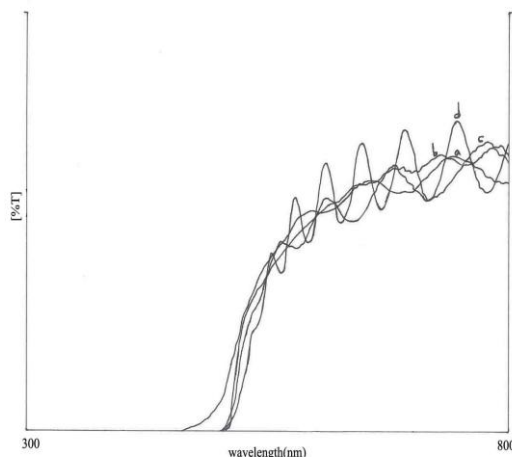
مشاهده ما حاکی از آن است که افزایش مقاومت الکتریکی با دمای زیر لایه به لحاظ نزدیک تر شدن نسبت اتمی Cd و S به یکدیگر است. به بیان دیگر، افزایش جایگاه های تهی S^{2-} در شبکه کریستالی به کاهش مقاومت می انجامد. در دمای بالاتر اتم های Cd جاهای خالی سولفور را پر می کنند و بدین ترتیب به نسبت اتمی یکسان نزدیک تر می شوند که سبب افزایش مقاومت می شوند. مرجع [12] گزارش مشابهی از افزایش مقاومت نمونه های CdS و CdTe به سبب افزایش دمای زیر لایه را ارائه کرده است. شکل ۴ نمودار تغییرات مقاومت نمونه های CdS و کاهش آنرا با چگالی های مختلف مس نشان می دهد. همان گونه که از این نمودار برمی آید، مقاومت لایه ها با اعمال ناخالصی کاهش یافته است [۱۵ و ۱۶]. در افزودن ناخالصی می بایست چگالی اتم های الاینده حساب شده باشد تا ناخالصی ها در مرز بین دانه ها تجمع نیابند، زیرا ممکن است پدیده تونل زنی از طریق مرز دانه رخ دهد [16].



شکل ۳: نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی لایه های نازک CdS بر حسب دمای زیر لایه با نرخ انباشت ۳/۵ nm/s

ج) تعیین پارامترهای اپتیکی

منحنی گذردهی لایه های نازک CdS که در دماهای مختلف بین 35°C تا 225°C بر روی شیشه لایه گذاری شده اند در شکل ۵ رسم شده است. همچنین نمونه های آلائیده با چگالی های مختلف مس در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶ - منحنی گذردهی نمونه‌های CdS:Cu با چگالی‌های

$$\Delta E_g^{Bm} = \frac{\hbar^2}{2m^*_{vc}} \frac{\text{مختلف مس}}{(3\pi^2 N)^{2/3}} \quad (3)$$

که در آن N تراکم ناخالصی و m^*_{vc} جرم کاهش یافته می‌باشد.

ضریب شکست نمونه‌های آلاییده و غیرآلاییده را با استفاده از رابطه زیر می‌توان تعیین کرد [۲۰]

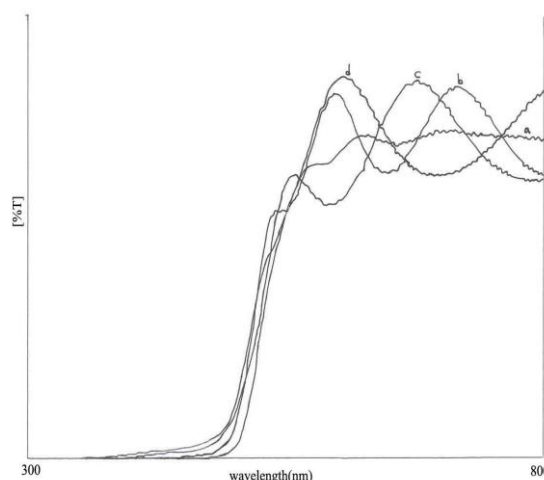
$$n = \left[N + \sqrt{N^2 + n_0^2 n_s^2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

که در آن N برابر است با:

$$N = \frac{n_0^2 + n_s^2}{2} + 2n_0 n_s \frac{T_{\max} - T_{\min}}{T_{\max} \times T_{\min}} \quad (5)$$

در این رابطه n_0 و n_s به ترتیب ضریب شکست هوا و زیرلایه و T_{\max} و T_{\min} توابع پیوسته از طول موج λ هستند. این توابع منحنی‌های پوش ماکزیمم و می‌نیمم در طیف عبور می‌باشند.

جدول شماره ۱ تغییرات ضریب شکست، گاف انرژی لایه‌های CdS را که در دماهای مختلف زیرلایه تهیه شده‌اند نشان می‌دهد. در این جدول ملاحظه می‌شود که تغییرات گاف انرژی و ضریب شکست نسبت به دمای زیرلایه یکسان است و هر دو مقدار تا دمای $225^\circ C$ افزایش می‌یابند. تغییرات مشابه را منابع [۲۲] و [۲۱] نیز



شکل ۵ - منحنی گذردهی لایه‌های نازک CdS

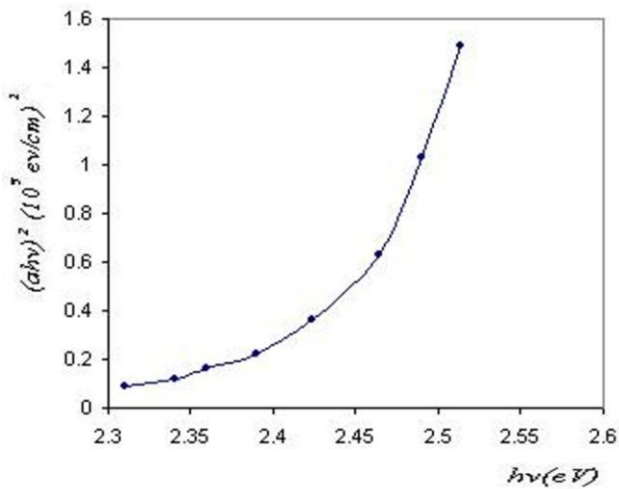
(الف ۳۵ ب) ۱۰۰ ج) ۱۶۵ د) ۲۲۵

دمای زیرلایه، اندازه E_g را از مقدار $2.41 eV$ به $2.44 eV$ تغییر داده است که البته این تغییر چندان قابل توجه نمی‌باشد بنابراین میانگین $E_g = 2.43 eV$ را می‌توان در این کار قابل قبول دانست. آشور و همکارانش [۱۸] مقدار مشابهی را در مقاله خود برای CdS گزارش نموده‌اند. عاملی که می‌تواند اندازه انرژی گاف را تغییر دهد، اعمال عنصر ناخالصی مانند مس می‌باشد.

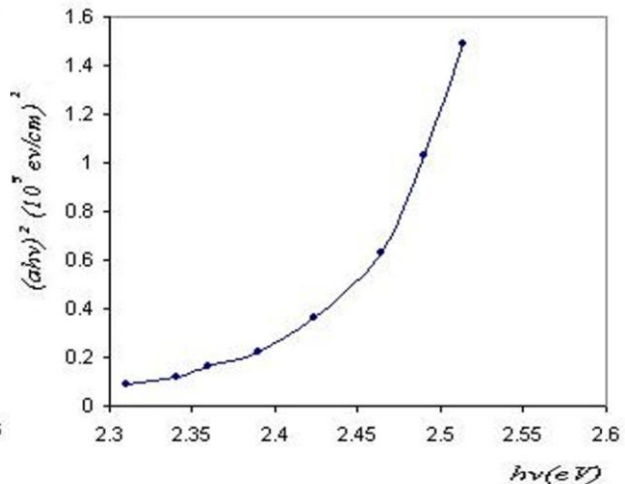
افزایش انرژی گاف اپتیکی که به اثر بورستین-موس (Borstein- Moss) معروف است عمدتاً در نیمه هادی‌هایی مشاهده می‌شود که با ناخالصی زیاد آلاییده می‌شوند [۱۹]. به لحاظ افزایش تراکم حامل‌ها فاصله تراز و نوارهای ظرفیت و هدایت زیادتر می‌شود و در نتیجه الکترون‌ها برای گذار از تراز ظرفیت به تراز هدایت به انرژی زیادتری نیاز دارند، به بیان دیگر انرژی نوار ممنوعه افزایش می‌یابد [۱۹]. اثر بورستین-موس با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$E_g = E_{go} + \Delta E_g^{Bm} \quad (2)$$

که در آن E_g و E_{go} به ترتیب انرژی گاف نیم‌رسانای آلاییده و انرژی گاف اپتیکی می‌باشند. همچنین می‌توان نوشت:



شکل ۷ [ب]: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی فوتون برای لایه‌های نازک CdS در دمای 225°C زیرلایه



شکل ۷ [الف]: منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی فوتون برای لایه‌های نازک CdS در دمای 35°C زیرلایه

شکل‌های ۷(a) و ۷(b) منحنی تغییرات $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب انرژی فوتون را به ترتیب در دمای 35°C و 225°C نشان داده است.

به این علت نسبت داد. [3, 12].

جدول شماره ۲: مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب شکست و انرژی گاف در فیلم‌های نازک CdS آلانیده با چگالی‌های مختلف مس

چگالی اتم‌های Cu at/cm ³	$E_g (eV)$	ضریب شکست
2×10^{21}	۲.۴۵	۲.۵۳
5×10^{21}	۲.۴۶	۲.۵۵
7×10^{21}	۲.۴۹	۲.۵۹

نتیجه‌گیری

با استفاده از روش تبخیر حرارتی و در شرایط خلاء Torr 10^{-6} ، لایه‌های نازک سولفید کادمیم به تنهایی و آلانیده با چگالی‌های مختلف مس بر روی شیشه تهیه شدند. از آنجا که هدف عمده این مقاله ارائه نتایج اپتیکی و الکتریکی نمونه‌های مذکور می‌باشد، لذا در تمام مراحل عملیات ضخامت لایه 550 nm و نرخ لایه نشانی nm/s 3.5 یکسان گرفته شدند. تحلیل نتایج پراش اشعه مشخص کردند که:

اولاً شدت پراش به دمای زیرلایه بستگی زیادی دارد، بگونه‌ای که در دمای پائین تر از 165°C ساختار CdS بی‌شکل است ولی در دمای بالاتر 225°C ساختار بلوری

گزارش نموده‌اند. مقادیر اعلام شده برای پارامترهای مذکور در مقالات با همدیگر متفاوت می‌باشند که دلیل آن را به کارگیری روش‌های مختلف پوشش‌دهی و مشخصه‌یابی لایه‌ها می‌توان ذکر کرد.

جدول شماره ۱: مقادیر محاسبه شده ضریب شکست، انرژی گاف و نسبت اتمی Cd به S به ازای دماهای مختلف زیرلایه در لایه‌های نازک CdS

دمای زیرلایه	S: Cd	$E_g (eV)$	ضریب شکست
۳۵	۵۰.۴۸	۲.۴۱	۱.۷۵
۱۰۰	۵۰.۴۸۵	۲.۴۱	۲.۱۲
۱۶۵	۵۰.۴۹	۲.۴۲	۲.۳۳
۲۲۵	۵۰.۴۹۵	۲.۴۴	۲.۵۱

تغییرات همانندی در پارامترهای اپتیکی نسبت به چگالی‌های مختلف در نمونه‌های CdS: Cu در جدول شماره ۲ آورده شده است. همان‌گونه که در این جدول ملاحظه می‌شود لایه‌های آلانیده شده ضریب شکست و گاف انرژی اپتیکی بالایی را نشان می‌دهند. شایان ذکر است که مقادیر انرژی گاف در هر دو جدول ۱ و ۲ نسبت به سایر مقادیر که در منابع بیان شده است کمتر به نظر می‌رسد، دلایل متعددی از جمله تغییر فاز بلوری و فاز مکعبی، وجود نقص و کرنش و اثرات اکسیتون و ... می‌توان

7. P. k . Nair , V . m . Garcia , o . Gomez , and M . T . S Nair *Semicond . Sci . Technol* , 16 (2001) 855 – 863
8. Hui , Zhang , Ma , Xiang Yang , Junjie , Niu , Jain , Sha , Deren Yang *J . crystal growth* , 246 (2002) 108 – 112
9. D. Xu , Y. Xu , D . chen , G .Guo , L . Gui , Y . Tang , *Adv . Mater* , 12 (2002) 520 – 526
10. J . H . Zhan , X . G . Yang , S . D . Li , D . W . Wang , Y . Xie , Y.T . Qian *J . crystal Growth* , 220 (2000) 275 – 283
11. M . A . Martinez , C . Guillen , J . Herrero ; *Applied Surface Science* , 140 (1999) 182 – 189
12. 12 . S. Arshed , Ph . D . Thesis , *University of new .Costl . Engl .* (1990)
13. U . Pal , Silva – Gonzalez , G . Martinez – Montez , M . Garcia – Jimenez , M . A . Vidol , Sh . Tones ; *Thin Solid Films* , 305 (1997) 345 – 350
14. C . S . Ferekides , J . Britt , Y . Ma and L . killian , *Proc . 22nd IEEE PV Specialists conf.* (1999) 389 -393
15. R . Hill ; *Active and passive Thin Films Devices (Ed .T . Coutts) Academic Press* (1978)
16. C.Wu and R . H. Bube ; *J . Appl . phys* , 45 (1974) 648-654
17. E. Burstein and T.S. Moss , *Phy. Rev.* 105 (1957) 1123-1130
18. A . Ashour , N . El – Kardry , S . A . Mahmoud ; *Thin Solid Films* , 269 (1995) 117-122

۱۹. مقدمه‌ای بر اپتیک نیم‌رسانا، ناصر پیغمبریان،

ترجمه اکبر حریری ، انتشارات سازمان انرژی اتمی

ایران، چاپ اول (۱۳۷۵) ۱۶۲-۱۶۴

20. J . C . Manificier , J . Gasiot , J . P. Fillard ; *physic .E : Sci , Instrm* , 9 (1976) 1002
21. S. Ninomiya , S . Adachi ; *J phys* , 78 (1995) 1183-1188
22. K . Ehsan , S . G . Tomlin ; *J . Phys . D : Appl* , 8 (1975) 581-587

۲۳. ایرج ناظری، "ساخت لایه‌های نازک سولفید کادمیوم

آلاییده با مس و روی" پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

حالت جامد" ۱۳۷۸

هگزائول و بازتاب قوی‌تر از صفحه (۰۰۲) صورت می‌گیرد، مضافاً اینکه شدت پراش در دمای 225°C بیشترین مقدار را نشان می‌دهد.

ثانیاً اعمال عنصر ناخالصی فلزی (Cu) به ماتریس CdS ساختار هگزائونال و فاز بلوری را تغییر نمی‌دهد و تنها شدت پراش را در صفحه (۰۰۲) افزایش می‌دهد. مقدار انرژی گاف (E_g) در هر دو نمونه یعنی CdS و CdS:Cu در شرایط مختلف کاری، در دماهای مختلف زیرلایه و چگالی‌های مختلف Cu به دقت مطالعه شدند و مشخص گردید که تغییرات بسیار جزئی و در ناحیه 2.43 eV تا 2.48 eV می‌باشد، اما ضریب شکست نمونه‌های فوق‌الذکر تفاوت قابل توجهی از خود نشان دادند به طوری که مقادیر 2.51 و 1.75 به ترتیب متعلق به سولفید کادمیوم فاقد هر گونه آلیاژ و آلاییده با مس تعیین گردیدند. نهایتاً با استفاده از روش چهار نقطه کاوه‌ای مقاومت الکتریکی لایه‌ها اندازه‌گیری شد که طی آن مقاومت CdS از مقدار 5.2×10^3 اهم سانتی‌متر به مقدار 9×10^3 اهم سانتی‌متر پس از اعمال ناخالصی Cu کاهش نشان دادند.

مراجع

1. T. Pisarkiewicz, E. Schabowska, E. Kusior , A . Kowal ; *J.wide band gap materials* , 9 (2001) 127 – 132
2. N .Romeo , G . Sberveglieri and L. Tarricone ; *Thin Solid Films* , 55 (1978) 413-419
3. H . L . Hartrangel , A . L . Dawar , A. K . Jain ; *Semiconducting Transparant Thin Films , Institue of physics publishing Bristol and Philadelphia* (1995)
4. N . Romeo , G . Sberveglieri , L . Tarricone ; *thin Solid Films* 43 (1977) 15 - 19
5. E . Bertran , A . Lousa , m . varela ; *Solar Energy Materials* , 17 (1988) 55 – 64
6. B . Ullrich and Raoul Schroeder ; *IEEE Journal of Quantum Electronics* , 37 (2001) 10 – 15