

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

عبدالجواد نوین‌روز<sup>۱</sup> و محمدرضا محمدی<sup>۲</sup>

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 خلاء در فشار  $p = 3 \times 10^{-6}$  Torr بر روی شیشه، لایه گذاری 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  $165^\circ\text{C}$  زیرلایه، دارای ساختار هگزاگونال در جهت رشد ترجیحی [۰۰۲] است. همچنین بررسی الگوی پراش نمونه‌های آلاییده با مس، CdS:Cu نیز همان ساختار بلوری هگزاگونال از صفحه بازتاب [002] را نشان داد. تغییرات ضریب شکست، انرژی گاف هر دو ترکیب یعنی CdS و CdS:Cu با دمای زیرلایه و چگالی مس بررسی شدند. میزان انرژی گاف بین  $2.43$  تا  $2.48$  eV الکترون ولت و ضریب شکست CdS و Cd:Cu به ترتیب بین  $1.75$  تا  $2/51$  متغیر بودند. خواص الکتریکی لایه‌های نازک با سنجش مقاومت الکتریکی به وسیله پراب چهار نقطه ای کاوه مورد مطالعه قرار گرفت که طی آن مقاومت CdS از مقدار  $5.2 \times 10^3$  اهم سانتی متر به مقدار  $9 \times 10^{-3}$  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.Novinrooz<sup>1</sup> and M.Mohammadi<sup>2</sup>

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  $165^\circ\text{C}$  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

در گروه ترکیبات II-IV سولفید کادمیم جایگاه خاصی دارد که به لحاظ ویژگی های فیزیکی مانند توان تراگسیلی بالا، شفافیت اپتیکی بالا و طول پخش زیاد مورد مطالعه گسترده قرار گرفته است [1, 2, 3]. از لایه های نازک Cds در ساخت قطعات الکترونیکی، سلول های فتوولتایی، آشکارسازهای نوری استفاده زیاد شده است [4, 5]. برای تهیه این لایه ها روش های مختلف در منابع ذکر شده اند که عمدتاً عبارتند از: تبخیر حرارتی (PVD)<sup>۱</sup>، حمام شیمیایی (CBD)<sup>۲</sup> رانشست مولکولی (MBE)<sup>۳</sup> و پالس لیزری [6]. در سالان اخیر با روش CBD لایه های بسیار نازک ۴۰ تا ۵۰ نانومتر تهیه شده است [7]. ترکیب Cds اگر چه متجاوز از نیم قرن است که به طور مداوم توسط گروه های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است اما نتایج گزارش شده از نانو سیم های 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 لایه های نازک Cds در نزدیکی لبه جذب اپتیکی، کاربری این ترکیب را در ساخت قطعات اپتو-الکترونیکی و الکترونیکی افزایش داده است. مقاله نتایج ساخت پنجره های اپتیکی توسط Cds را گزارش کرده و نحوه بهره برداری از آن را در فناوری سیستم های فتوولتایی با راندمان تبدیل بالاتر توضیح داده است. همچنین نشان داده شده است که عمده ترین ترکیب Cds با هم نهادهائی مانند SnO<sub>2</sub>, CuS, CdSe, CdTe و Cu<sub>1-x</sub>Se<sub>x</sub> کاربرد وسیع تری دارند در این صورت ضخامت لایه های ایجاد شده با این ترکیبات حائز اهمیت می شود. میزان ضخامت لایه های Cds پوشش داده شده استفاده از آن را متنوع کرده است. برای مثال، در ضخامت کمتر از میکرون پنجره اپتیکی ساخته شده [7] و

حال آن که با ضخامت میکرونی (0/5-2 μm) از آن آشکارسازهای مختلف درست کرده اند [13]. در ساخت این قبیل قطعات اپتیکی خصوصیات لایه Cds به عنوان یک زیرساختار بدون شک مهم تلقی می شود. زیرا، در صورت داشتن نقص شبکه، حامل های بار دستخوش تغییرات نامطلوب می شوند. یکی از راه های بهبود کیفیت لایه ها، عملیات حرارتی پس از لایه گذاری می باشد که سبب رشد و افزایش اندازه دانه ها می گردد. اما برای لایه های نازک (کمتر از میکرون) احتمال ایجاد نقص در اثر عملیات حرارتی نیز بسیار زیاد است [14]. از این رو، به نظر می رسد بهبود کیفیت لایه ها در زمان لایه نشانی که با کنترل پارامترهای مربوطه صورت بگیرد، سودمندتر و اثرپذیری بیشتری داشته باشد. در حقیقت، یکی از چالش های 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 الکترونیکی لایه های نازک Cds مورد پژوهش قرار گرفته و نتایج حاصل از آن تفسیر و توضیح داده شده اند.

## روش آزمایش

مقداری پودر سولفید کادمیم با درجه خلوص ۹۹/۹٪ که از شرکت دارویی مرک آلمان تهیه شده بود در داخل بوتله ای از جنس تانتالیوم در دستگاه تبخیر در خلاء با مدل Edward Auto 306 ریخته می شود. خلاء اولیه دستگاه torr<sup>-۶</sup> ۱۰ و خلاء در ناحیه کار torr<sup>-۴</sup> ۱۰ تنظیم می گردد. زیرلایه هایی از جنس شیشه معمولی قبل از تعبیه در داخل سیستم خلاء، با روش های متداول در آزمایشگاه های 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 می شوند. از آنجا که دستگاه مذکور مجهز به سیستم ضخامت سنج کوارتز می باشد. امکان ضخامت سنجی لایه ها در حال لایه نشانی به خوبی فراهم می شود. آهنگ لایه نشانی

<sup>1</sup> PVD : Physical Vapor Deposition

<sup>2</sup> CBD : Chemical Bath Deposition

<sup>3</sup> MBE : Molecular Beam Epitaxy

شده‌اند. آزمایش‌های ب‌عمل آمده بر روی تعداد زیادی از نمونه‌ها مشخص نمودند که همه لایه‌هایی که در دمای کمتر از  $165^{\circ}\text{C}$  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  $225^{\circ}\text{C}$  بیشتر از دمای  $165^{\circ}\text{C}$  بوده و پراش از صفحات دیگر در این نمونه کاهش یافته است شکل ۱(ب). به بیان دیگر، اندازه دانه‌های رشد یافته در دمای  $225^{\circ}\text{C}$  بیشتر از دمای  $165^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. در شکل ۲، الگوی پراش اشعه ایکس نمونه‌های سولفید کادمیوم آلانیده 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  $\text{CdS}$  ساختار کریستالی هگزاگونال را تغییر نمی‌دهد. اما باعث افزایش شدت پراش در صفحه (۰۰۲) می‌شوند. اگر چه توجیه 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

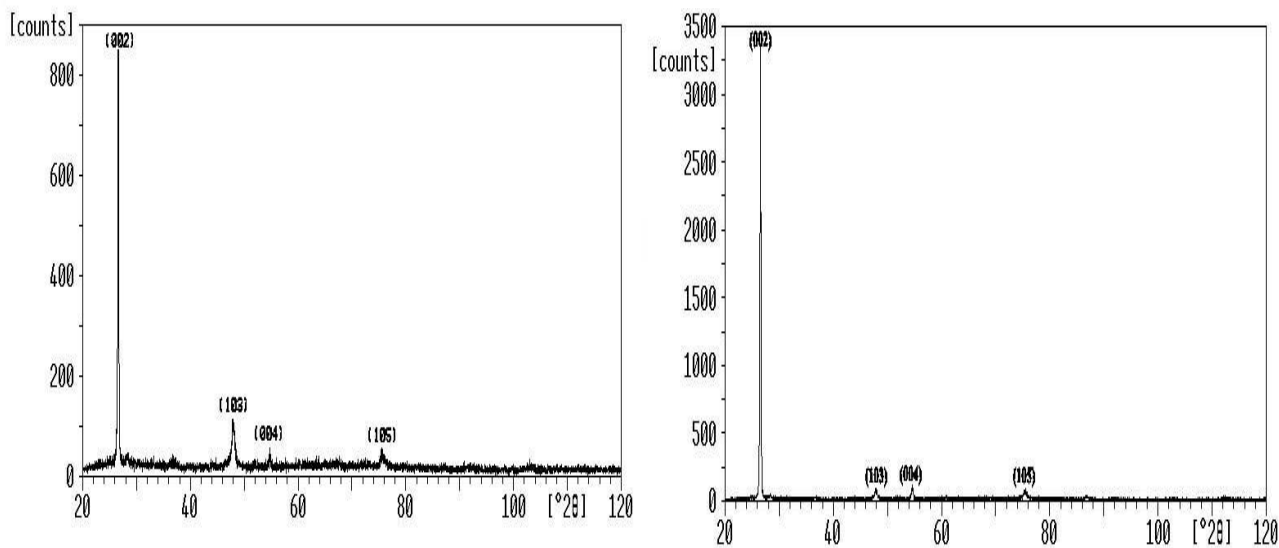
مطالعه مقاومت الکتریکی، ابزار سودمندی برای شناخت خصوصیات و رفتار لایه‌های نازک می‌باشد. از این رو، نمونه‌های زیادی در شرایط مختلف آزمایشگاهی جهت بررسی مقاومت الکتریکی سولفید کادمیوم و سولفید کادمیوم آلانیده با مس با روش چهار نقطه‌ای کاوه ب‌عمل آمد. شکل ۳ نمودار تغییرات مقاومت الکتریکی فیلم‌های

$3.5 \text{ nm/s}$  و میانگین ضخامت لایه‌ها  $550 \text{ nm}$  که قبلاً بررسی و تعیین شده بودند، در طول آزمایشات ثابت نگه داشته شدند [21]. ب‌منظور مطالعه اثر حرارت بر رفتار لایه‌های  $\text{CdS}$ ، نمونه‌ها در دماهای مختلف بین  $35^{\circ}\text{C}$  تا  $225^{\circ}\text{C}$  لایه‌نشانی شدند. تعدادی از نمونه‌های  $\text{CdS}$  که دارای مقاومت ویژه پایین تری بودند انتخاب شده و با استفاده از دستگاه Ion Modification (MBM) Beam Mixing، عنصر مس با چگالی  $2 \times 10^{21} \text{at/cm}^3$  و  $4 \times 10^{21} \text{at/cm}^3$  ب‌عنوان ناخالصی فلزی ب‌طور غیر مستقیم کاشته شدند. قابل ذکر است که دمای نمونه‌ها به هنگام کاشت حدوداً  $540^{\circ}\text{C}$  درجه سانتی‌گراد بود که طبق بررسی‌های ب‌عمل 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 آندوسی 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  $\text{CdS}$  و  $\text{CdS}:\text{Cu}$  ب‌کمک دستگاه اسپکترومتر Carry-17-D دو باریکه‌ای مورد بررسی و پژوهش قرار گرفتند. آنالیز عنصری و آرایه عمقی عناصری در نمونه‌ها با ب‌کارگیری و بهره‌برداری از سیستم طیف‌سنجی تحریکی - اپتیکی تخلیه نورانی GDS-ES مدل JY-500 انجام شد.

### بحث و نتایج

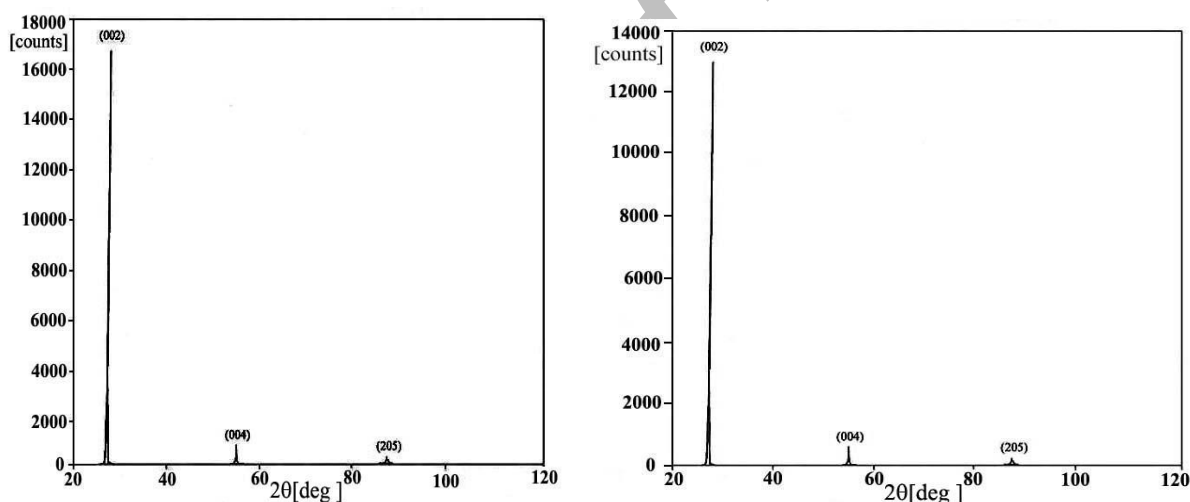
#### الف) بررسی ساختار بلوری

الگوی پراش اشعه X (XRD) لایه‌های نازک سولفید کادمیوم و لایه‌های آلانیده با مس مورد بررسی قرار گرفتند. شکل‌های ۱ (الف و ب) مربوط به نمونه‌هایی هستند که در آن لایه‌های  $\text{CdS}$  بدون آلانیدگی به ترتیب در دمای زیرلایه  $165^{\circ}\text{C}$  و  $225^{\circ}\text{C}$  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



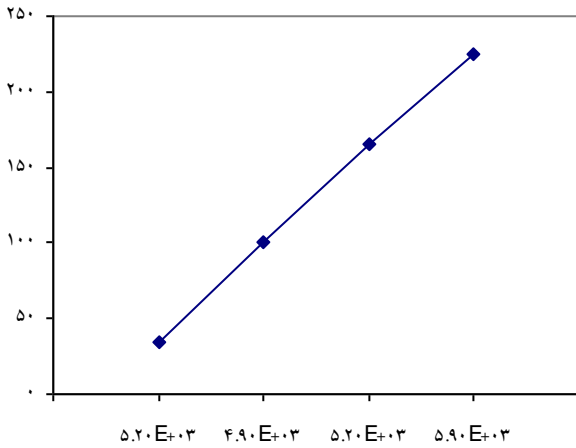
شکل 2- (a): الگوی پراش اشعه X (XRD) لایه‌های نازک cds آلاینده با مس انباشت شده بر روی شیشه با چگالی  $2 \times 10^{21}$  at/cm<sup>3</sup>.

(b): الگوی پراش اشعه X (XRD) لایه‌های نازک cds آلاینده با مس انباشت شده بر روی شیشه با چگالی  $4 \times 10^{21}$  at/cm<sup>3</sup>.

دست یافت [15].

مشاهده ما حاکی از آن است که افزایش مقاومت الکتریکی با دمای زیرلایه به لحاظ نزدیک تر شدن نسبت اتمی Cd و S به یکدیگر است. به بیان دیگر، افزایش جایگاه‌های تهی S<sup>2-</sup> در شبکه کریستالی به کاهش مقاومت می‌انجامد. در دمای بالاتر اتم های Cd جاهای خالی سولفور را پر می‌کنند و بدین ترتیب به نسبت اتمی یکسان نزدیک تر می‌شوند که سبب افزایش مقاومت می‌شوند. مرجع [12]

نازک CdS که در دمای مختلف زیرلایه بر روی شیشه و با نرخ انباشت ۳.۵ 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 (Ω cm) ۱۰<sup>۵</sup> هستند. البته با کنترل ضخامت لایه، آهنگ تبخیر و دمای زیرلایه می‌توان به حامل‌های بار و مقاومت دلخواه



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

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]:

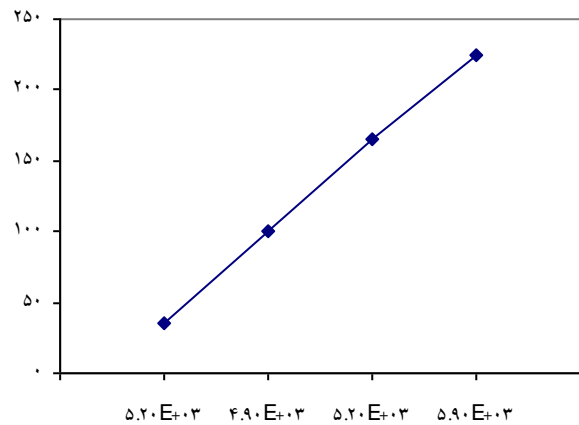
$$\alpha = A \cdot \frac{(\hbar\omega - E_g + \hbar\Omega)^2}{e^{\hbar\Omega / K_B T} - 1} \quad (1)$$

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 ۳۵ °C و ۲۲۵ °C نشان داده است. همان گونه که ملاحظه می شود

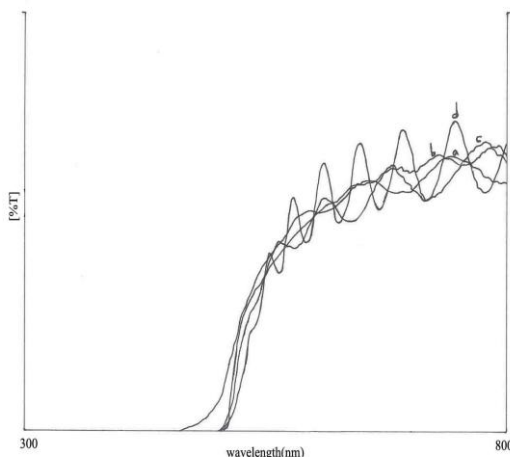
مشاهده ما حاکی از آن است که افزایش مقاومت الکتریکی با دمای زیرلایه به لحاظ نزدیک تر شدن نسبت اتمی CdS به یکدیگر است. به بیان دیگر، افزایش جایگاه های تهی  $S^{2-}$  در شبکه کریستالی به کاهش مقاومت می انجامد. در دمای بالاتر اتم های Cd جاهای خالی سولفور را پر می کنند و بدین ترتیب به نسبت اتمی یکسان نزدیک 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 زیرلایه 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 آینده 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 زیرلایه با نرخ انباشت ۳/۵ nm/s

### ج) تعیین پارامترهای اپتیکی

منحنی گذردهی لایه های نازک CdS که در دماهای مختلف بین ۳۵ °C تا ۲۲۵ °C بر روی شیشه لایه گذاری شده اند در شکل ۵ رسم شده است. همچنین نمونه های آلاییده 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]

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

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  $\lambda$  هستند. این توابع منحنی‌های پوش ماکزیمم و می‌نیمم در طیف عبور می‌باشند.

جدول شماره ۱ تغییرات ضریب شکست، گاف انرژی

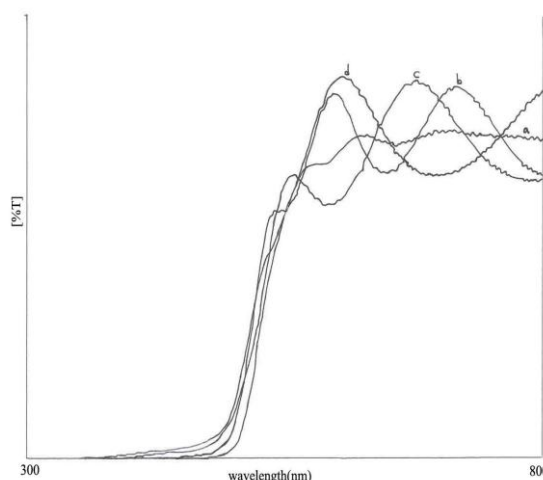
لایه‌های CdS را که در دماهای مختلف زیرلایه تهیه

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  $225^\circ \text{C}$

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  $2.41 \text{ eV}$  به  $2.44 \text{ eV}$  تغییر داده است که البته این تغییر چندان قابل

توجه نمی‌باشد بنابراین میانگین  $E_g = 2.43 \text{ eV}$  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

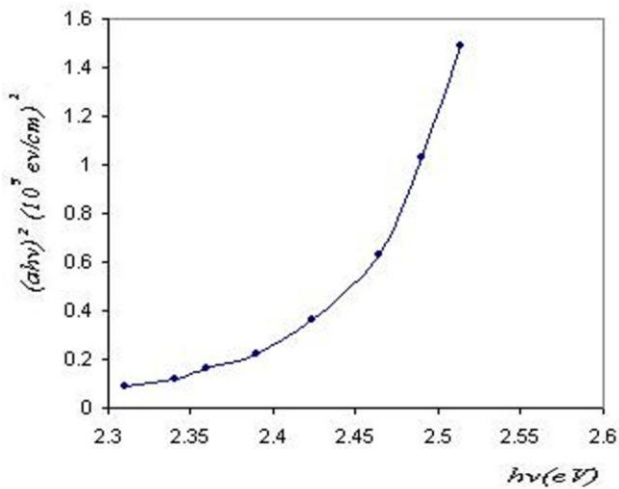
رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$E_g = E_{g0} + \Delta E_g^{Bm} \quad (2)$$

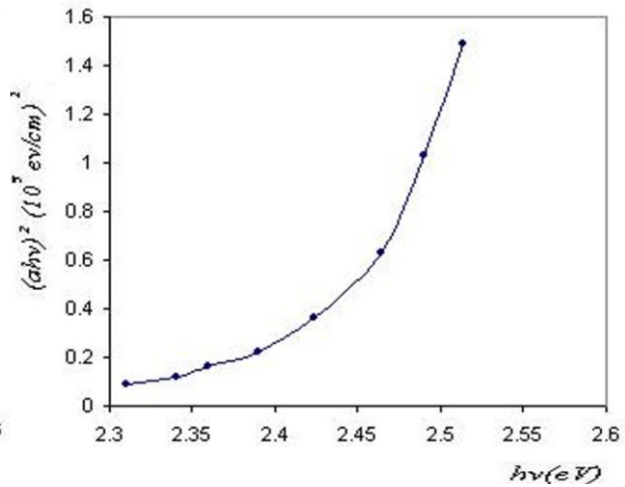
که در آن  $E_g$  و  $E_{g0}$  به ترتیب انرژی گاف نیم رسانای

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  $225^\circ\text{C}$  زیرلایه



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

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

به این علت نسبت داد. [3, 12].

گزارش نموده اند. مقادیر اعلام شده برای پارامترهای

مذکور در مقالات با همدیگر متفاوت می باشند که دلیل آن

را بکارگیری روش‌های مختلف پوشش دهی و مشخصه-

یابی لایه‌ها می توان ذکر کرد.

جدول شماره ۲: مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب شکست و انرژی گاف

در فیلم‌های نازک CdS آلاییده با چگالی‌های مختلف مس

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

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

### نتیجه‌گیری

با استفاده از روش تبخیر حرارتی و در شرایط خلاء Torr

$10^{-6}$ ، لایه‌های نازک سولفید کادمیم به تنهایی و آلاییده

با چگالی‌های مختلف مس بر روی شیشه تهیه شدند. از

آنجا که هدف عمده این مقاله ارائه نتایج اپتیکی و

الکتریکی نمونه‌های مذکور می باشد، لذا در تمام مراحل

عملیات ضخامت لایه ۵۵۰ nm و نرخ لایه نشانی nm/s

۳.۵ 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  $165^\circ\text{C}$  ساختار CdS

بی‌شکل است ولی در دمای بالاتر  $225^\circ\text{C}$  ساختار بلوری

تغییرات همانندی در پارامترهای اپتیکی نسبت به چگالی

های مختلف در نمونه‌های Cds: Cu در جدول شماره ۲

آورده شده است. همان‌گونه که در این جدول ملاحظه می-

شود لایه‌های آلاییده شده ضریب شکست و گاف انرژی

اپتیکی بالایی را نشان می دهند. 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 , Xiag 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 . 22<sup>nd</sup> 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، نا صر 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 کادمیم

آلئیده با مس و روی " پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک

حالت جامد" ۱۳۷۸

هگزائول و بازتاب قوی تر از صفحه (۰۰۲) صورت می‌گیرد، مضافاً اینکه شدت پراش در دمای  $225^{\circ} \text{C}$  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 ب‌دقت مطالعه شدند و مشخص گردید که تغییرات بسیار جزئی و در ناحیه  $2.43 \text{ eV}$  تا  $2.48 \text{ eV}$  می‌باشد، اما ضریب شکست نمونه‌های فوق‌الذکر تفاوت قابل توجهی از خود نشان دادند ب‌طوری که مقادیر  $2.51$  و  $1.75$  به ترتیب متعلق به سولفید کادمیم فاقد هر گونه آلیش و آلئیده با مس تعیین گردیدند. نهایتاً با استفاده از روش چهار نقطه کاوه‌ای مقاومت الکتریکی لایه ها اندازه گیری شد که طی آن مقاومت CdS از مقدار  $5.2 \times 10^3$  اهم سانتی‌متر به مقدار  $9 \times 10^3$  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 . Sbervegieri 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 . Sbervegieri , 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