

## بررسی ساختاری لایه های نازک CdS ساخته شده روی زیرلایه های با شرایط متفاوت

محمد حسین احسانی، حمید رضا قلی پوردیزجی و اصغر جمشیدی زوارکی

آزمایشگاه لایه نازک، گروه فیزیک، دانشگاه سمنان

محمد ابراهیم قاضی

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

( دریافت مقاله : ۸۸/۱۲/۱۲ - پذیرش مقاله : ۸۹/۹/۳۰ )

### چکیده

لایه های نازک سولفید کادمیم، با استفاده از روش تبخیر آبی با نرخ لایه نشانی  $2.5 \text{ nm/s}$  و ضخامت تقریبی  $800 \text{ nm}$  در خلأ ( $5 \times 10^{-6}$  تور) ساخته شدند. در این پژوهش، به منظور مطالعه آثار زیرلایه روی خواص ساختاری نمونه ها، از دو نوع زیر لایه، شیشه و Indium Tin Oxide (ITO) استفاده گردید. خواص ساختاری نمونه ها توسط پراش اشعه ایکس مورد بررسی قرار گرفت. محاسبه پارامترهای ساختاری آشکار نمود که نمونه های ساخته شده روی زیر لایه ITO از ساختار بلوری بهتری برخوردار است. همچنین محاسبات مربوط به نقایص بلوری و تنش در نمونه ها نشان می دهد که لایه های تهیه شده بر روی زیر لایه ITO دارای کیفیت بهتری هستند. لایه های تهیه شده بر روی زیرلایه شیشه به مدت یک ساعت در دماهای  $200^\circ\text{C}$  و  $300^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد تحت خلأ بازپخت گردیدند تا اثر عملیات حرارتی بر روی خواص ساختاری آنها مورد بررسی قرار گیرد. طیف پراش اشعه ایکس نمونه های تهیه شده بر روی زیرلایه شیشه نشان داد که خواص بلوری پس از عملیات حرارتی بهبود یافته است.

واژه های کلیدی: سولفید کادمیم، لایه های نازک، ساختار بلوری، تبخیر آبی.

## Structural characterisation of CdS thin films' grown on substrates under different conditions

M. H. Ehsani, H. R. Gholipour Dizaji and A. Jamshidi Zavaraki

Thin Film Lab. Physics Department, Semnan University, Iran

M. E. Ghazi

Physics Department, Shahroud University of Technology, Iran

### Abstract

Cadmium sulfide thin films were fabricated in a vacuum ( $5 \times 10^{-6}$  torr) with  $2.5 \text{ nm/s}$  coating rate and the approximate thickness of  $800 \text{ nm}$ . In order to study the effects of the substrate on the structural properties of samples, two types of substrates (glass and ITO) were used. Structural properties of the samples were studied by X-ray diffraction. Calculated structural parameters revealed that the samples built on ITO substrate had a better crystal structure compared to those made on glass substrate. Moreover, the calculation of stress and crystalline defects in the samples showed that the samples with ITO as substrate had better crystal quality. The CdS layers made on glass substrate were annealed at  $200^\circ\text{C}$  and  $300^\circ\text{C}$  for one hour in vacuum in order to study the effects of heat treatment on their structural properties. X-ray diffraction spectrum of samples prepared on glass substrate showed improvement of crystalline quality upon annealing.

**Keywords:** Cadmium Sulfide, Thin Films, Crystalline Structure, Flash Evaporation..

E-mail of corresponding author: hrgholipour@semnan.ac.ir

## مقدمه

عناصر گروه II-VI از جدول تناوبی دارای خواص جالب توجهی هستند. در این میان نیمرسانای سولفید کادمیم ویژگیهای خاصی نسبت به بقیه دارد. از جمله این خواص می توان به ضریب عبور بالای نور مرئی، توان نورتایی بالا، طول پخش زیاد، خواص فوتورسانایی، گاف نواری پهن والکترون خواهی زیاد اشاره کرد[۱].

لایه های نازک این نیمرسانا کاربرد زیادی در ساخت فتودیودها، ترانزیستورهای اثر میدان، موج برها و سلولهای خورشیدی و... دارد. از لایه نشانی CdS (نوع n) بر روی CdTe (نوع p) یا بر روی CuInSe<sub>2</sub> (CIS) (نوع p) یک اتصال p-n بوجود می آید که به عنوان دو لایه اصلی در سلول خورشیدی شناخته می شوند. لایه سولفید کادمیم در این ساختار به لایه پنجره موسوم است. همچنین لایه های ضخیم این نیمرسانا نیز کاربرد وسیعی در حسگرهای نوری، لیزرهای نیمرسانا و قطعات اپتیکی غیر خطی دارند. لازم به ذکر است که از مواد نیمرسانا با گاف نواری پهن می توان برای ساخت دیودهای نورگسیل یا ساختارهای همگون لیزری برای تابش در ناحیه طیف نور مرئی استفاده کرد[۲].

برای تهیه لایه های نازک CdS از روشهای مختلف نظیر کندوپاش[۳]، نشست شیمیایی بخار [۴-۶]، تبخیر در خلاء [۸و۷]، روش غوطه وری [۹]، پالس لیزر [۱۰]، الکتروانباشت [۱۱]، اسپری پایرولیز [۱۲]، و... استفاده شده است.

در این میان، روش تبخیر در خلاء روش ساده تری است که بنحو گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش ماده مورد نظر در یک بوتله قرار داده شده و پس از آنکه محفظه به خلاء مورد نظر رسید در اثر عبور جریان الکتریکی از بوتله، ذوب و سپس تبخیر می گردد. این بخارات بر روی زیرلایه ای که در بالای بوتله قرار گرفته است، چگالیده شده و تشکیل یک لایه را می دهد. این روش برای تبخیر مواد مرکبی که نقطه ذوب عناصر موجود در آن با یکدیگر اختلاف زیادی داشته باشند مناسب نیست. از این رو، روش تبخیر آبی مورد استفاده قرار می گیرد که در آن ماده اولیه داخل یک مخزن از طریق لرزش ایجاد شده روی مخزن از مسیر یک

قیف به درون بوتله گذاخته که دمای آن برای تبخیر سریع آن مناسب باشد، ریخته می شود. به این ترتیب عناصر داخل مواد مرکب بعد از مواجه شدن با بوتله داغ بلافاصله تبخیر می شوند و در نتیجه استوکیومتری عناصر بهتر حفظ می شود [۱۳]. در این تحقیق با روش تبخیر آبی لایه های نیمرسانای CdS روی زیر لایه های شیشه و ITO با ساختار هگزاگونال ساخته شد. سپس نمونه های تهیه شده توسط آزمایش پراش اشعه ایکس، تجزیه و تحلیل ساختاری شدند.

## مواد و روش آزمایش ها

لایه نازک CdS را می توان روی زیر لایه های متفاوت رشد داد. شیشه، شیشه کوارتز، مولیبدن، ITO، SnO<sub>2</sub>، Si و از جمله این زیر لایه ها هستند.

در این مطالعه از زیر لایه های شیشه و ITO با مقاومت سطحی  $10 \Omega/\text{cm}^2$  برای لایه نشانی استفاده شده است.

زیر لایه های شیشه ابتدا به مدت ۳۰ دقیقه در مایع شستشو (صابون مایع) در حال جوشیدن قرار داده شدند و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در آب مقطر در حال جوشیدن گذاشته شدند. در ادامه، این زیر لایه ها در آب دیونیزه گذاشته شده و با استفاده از حمام اولتراسونیک تمیزگردیدند.

نمونه های ITO که با مشخصات بالا خریداری شده بود، در ظرف محتوی آلکیل بنزن و به کمک حمام اولتراسونیک به مدت ۲۰ دقیقه و در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد کاملاً تمیز شدند. در پایان، جهت خشک کردن زیرلایه ها از گاز نیتروژن خشک با خلوص بالا استفاده شد.

عملیات لایه نشانی در دستگاه HINDIVAC ساخت کشور هندوستان در آزمایشگاه لایه نازک دانشکده علوم پایه دانشگاه سمنان انجام گردید.

پودر CdS با مارک آلدریچ با خلوص بالا تهیه گردید. همچنین بوتله درپوش دار از جنس مولیبدن برای تبخیر سولفید کادمیم مورد استفاده قرار گرفت. فشار محفظه  $5 \times 10^{-6}$  تور، فاصله بستر تا نمونه ۱۳ سانتیمتر و نرخ لایه نشانی حدود ۲/۵ نانومتر برثانیه بود. در طول مدت لایه نشانی دمای زیر لایه، دمای محیط بود.

مربوط به صفحات (۲۰۰) و (۱۰۳) نسبت به بقیه قله ها بیشتر است. برای رشد ترجیحی نمونه ها در راستای دسته صفحات {۲۰۰} می باشد.

همانطوری که مشاهده می شود عملیات حرارتی ساختار لایه ها را تغییری نداده ولی باعث افزایش شدت قله ها شده است. البته باید اشاره شود که به علت عملیات حرارتی انجام شده روی نمونه ها و ارتعاشات ایجاد شده در ساختار درونی ماده که منجر به بازآرایی ساختار بلوری می شود، محل برخی از قله ها به مقدار ناچیزی جابجا شده است. نمونه با زیرلایه ITO نیز دارای ساختار هگزاگونال بوده و در طیف اشعه ایکس تمام قله های مشابه نمونه های قبلی بجز (۱۰۱) و (۱۰۰) ظاهر شده است. اینچنین رفتاری در مقاله مشابهی دیده شده است [۲]. کیم و همکارانش با روش حمام شیمیایی، لایه CdS را روی شیشه، ITO و CIS رشد دادند [۵]. در طیف اشعه ایکس مربوط به نمونه های با زیر لایه ITO دقیقاً دسته صفحات اشاره شده در بالا حذف شده اند. در واقع رشد بلورکهای لایه CdS به میزان زیادی به ساختار زیر لایه وابسته است.

مطابق طیف اشعه ایکس شکل ۱، زیر لایه ITO دارای ساختار مکعبی با رشد ترجیحی (۲۲۲) می باشد. در نمونه های ساخته شده در گزارش کیم و همکارانش بنا به وابستگی شدید رشد لایه به شرایط بلوری زیر لایه، ساختار لایه CdS تشکیل شده، نیز دارای ساختار مکعبی است، لذا بعضی از صفحات مربوط به فاز هگزاگونال در نمونه CdS حذف شده و چند قله اضافی مربوط به ساختار مکعبی ظاهر شده اند. اما در نمونه های ساخته شده با روش تبخیر آبی حتی با زیر لایه ITO، اگر چه دو قله (۱۰۱) و (۱۰۰) حذف شده اند ولیکن هنوز ساختار لایه ساخته شده هگزاگونال باقی مانده است. همچنین باید اشاره شود که علاوه بر تشکیل ساختار پایدار هگزاگونال در این روش، ظهور دسته صفحات {۱۰۳} در طیف نمونه ها با شدت نسبی مناسب که در مقالات مشابه دیده نشده است نیز یکی دیگر از تفاوت های طیف نمونه های ساخته شده نسبت به نمونه های تهیه شده با روش تبخیر حرارتی می باشد [۱۶].

همچنین قبل از انجام آزمایشات بعدی روی نمونه های با زیر لایه شیشه عملیات حرارتی در دماهای ۲۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی گراد در مدت ۱ ساعت و با گرادیان دمایی سرد کردن به مدت ۳ ساعت تحت خلاء انجام شد. نمونه ها دارای رنگ طبیعی سولفید کادمیم (زرد رنگ) بوده و از لحاظ شفافیت دارای شرایط مطلوبی بودند. ضخامت لایه ها توسط بلور کوارتز تعبیه شده در دستگاه لایه نشانی ثبت شد که اندازه آنها حدود ۸۰۰ نانومتر بودند.

### نتایج و بحث

برای بررسی خواص ساختاری نمونه های ساخته شده از دستگاه اشعه X، BRUKER مدل D8-ADVANCE با هدف مس و پرتو  $K_{\alpha}$  استفاده شد. شکل ۱ طیف های XRD لایه های نازک CdS در دمای اتاق روی زیر لایه های شیشه بدون بازپخت و بازپخت شده در دمای ۲۰۰ و ۳۰۰ درجه سانتی گراد و ITO بدون بازپخت را در بازه  $2\theta = 10^0 - 70^0$  نشان می دهد.

### اثر تغییر زیر لایه روی طیف اشعه ایکس

CdS دارای ساختار مکعبی و هگزاگونال است که تشکیل هر کدام از فازها به عوامل مختلفی نظیر روش رشد، دمای بستر، شرایط لایه نشانی و بستگی دارد [۱۲]. ساختار هگزاگونال در بازه دمایی ۲۵ درجه تا ۹۰۰ درجه سانتی گراد پایدار است، لذا این ساختار برای کاربردهای عملی بخصوص در سلولهای خورشیدی مناسب تر است. در روش تبخیر حرارتی معمولاً با دمای پایین بستر (کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد) ساختار لایه ها بصورت فاز مکعبی و با دمای بالای بستر (بیشتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد) لایه ها بصورت هگزاگونال رشد می کنند [۱۴].

قله های ظاهر شده در شکل ۱ مربوط به طیف پراش اشعه ایکس نمونه های تهیه شده بر روی زیرلایه شیشه، قبل و بعد از عملیات حرارتی، مربوط به فاز هگزاگونال CdS می باشند. در طیف نمونه ها هیچ قله مربوط به ناخالصی یا عناصر Cd و S به تنهایی دیده نمی شود. همچنین شدت قله های

روابط ۲-۴  $k, h$  و  $l$  اندیس های میلر و  $a$  و  $c$  ثابتهای شبکه و  $V$  حجم یاخته واحد می باشد.

نسبت  $c/a$  برای ساختار تک بلورتنگ پکیده هگزاگونال (hcp) مقدار  $1/633$  می باشد. ولی به ساختارهای با مقادیر نزدیک به این عدد نیز ساختار تنگ پکیده هگزاگونال گفته می شود.

از داده های جدول ۱ می توان مشاهده کرد که مقدار پارامتر  $c/a$  برای نمونه با زیر لایه ITO نسبت به نمونه با زیر لایه شیشه بدون بازیخت به مقدار ایده آل نزدیکتر است. علت آن را می توان تطابق شبکه بهتر لایه CdS رشد یافته روی زیرلایه بلوری ITO دانست. البته باید اشاره کرد که عملیات حرارتی انجام شده روی نمونه های با زیر لایه شیشه هم باعث بهبود مقدار  $c/a$  این نمونه ها شده است.

اثر تغییر زیر لایه روی پارامترهای شبکه

پارامترهای شبکه CdS با استفاده از روابط زیر روی قله (۰۰۲) محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۱ ثبت شده است.

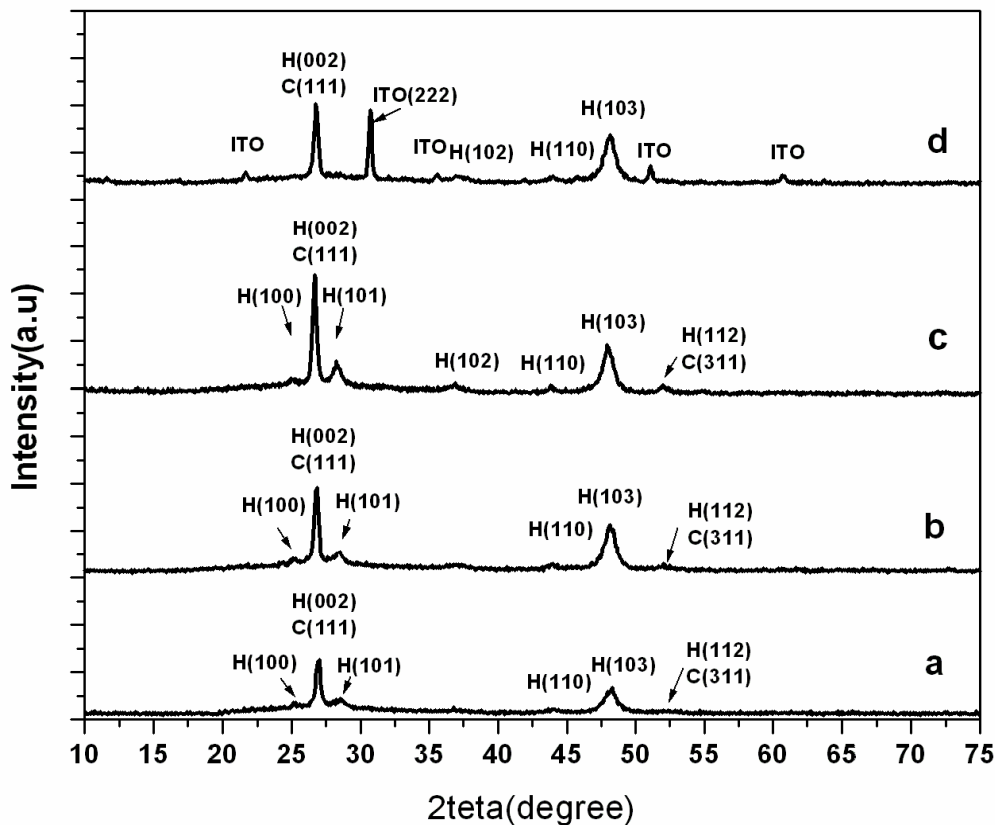
$$\frac{n\lambda}{2d} = \sin \theta \quad (1)$$

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{4}{3} \left[ \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right] + \frac{l^2}{c^2} \quad (2)$$

$$a^2 = \frac{4}{3} [h^2 + hk + k^2] d_{hk0}^2 \quad (3)$$

$$c = 2d_{002} \quad \text{و} \quad V = \frac{\sqrt{3}}{3} [a^2 c] \quad (4)$$

در رابطه ۱،  $d$  فاصله صفحات بلوری،  $\lambda$  طول موج اشعه ایکس فرودی،  $\theta$  زاویه براگ،  $n=1$  مرتبه پراش و همچنین در



شکل ۱. شکل ۱ طیف XRD لایه های نازک CdS با شرایط مختلف

(a) نمونه CdS روی زیر لایه شیشه بدون بازیخت (b) نمونه CdS روی زیر لایه شیشه با دمای بازیخت ۲۰۰ درجه سانتی گراد (c) نمونه CdS روی زیر لایه شیشه با دمای بازیخت ۳۰۰ درجه سانتی گراد (d) نمونه CdS روی زیر لایه ITO بدون بازیخت

جدول ۱. پارامترهای ساختاری و نقایص بلوری نمونه ها

زیر لایه	دمای باز پخت °C	$2\theta^\circ$ (۰۰۲)	$d_{002}$ (Å)	$a$ (Å)	$c$ (Å)	$c/a$	$V$ (Å <sup>3</sup> )	$\beta$ (۰۰۲)	$D$ (nm)	$\sigma \times 10^{15}$ Lin / m <sup>2</sup>	$N \times 10^{16}$ m <sup>-2</sup>	$\varepsilon \times 10^{-3}$ Lin <sup>-2</sup> m <sup>-2</sup>
شیشه	-	۲۶/۹۲	۳/۳۰	۴/۲۴	۶/۶۰	۱/۵۵۶	۱۰۲/۷۵	۰/۴	۲۰/۴۸	۲/۳۸	۹/۳۱	۱/۶۹
شیشه	۲۰۰	۲۶/۷۸	۳/۴۱	۴/۱۳	۶/۶۴	۱/۶۰۷	۹۸/۰۵	۰/۳۷	۲۲/۱۰	۲/۱۵	۷/۴۱	۱/۵۶
شیشه	۳۰۰	۲۶/۶۶	۳/۴۳	۴/۱۴	۶/۶۸	۱/۶۱۳	۹۹/۱۵	۰/۳۳	۲۴/۷۸	۱/۶۲	۵/۲۵	۱/۳۹
I/O	-	۲۶/۷۶	۳/۴۲	۴/۱۴	۶/۶۶	۱/۶۰۸	۹۸/۸۵	۰/۳۵	۲۳/۳۳	۱/۸۳	۶/۳۰	۱/۴۸

همچنین با محاسبه  $D$  می توان  $\sigma$ ، تعداد دررفتگی های خطی در واحد سطح بلور را به کمک رابطه زیر بدست آورد [۱]:

$$\sigma = \frac{1}{D^2} \quad (۶)$$

اندازه  $\sigma$  مقدار نقایص بلوری را نشان می دهد. هرچه این مقدار کمتر باشد ساختار بلوری لایه ها بهتر است. همچنین  $N$  تعداد بلورکها در واحد سطح و  $\varepsilon$  تنش لایه ها را می توان از روابط زیر بدست آورد:

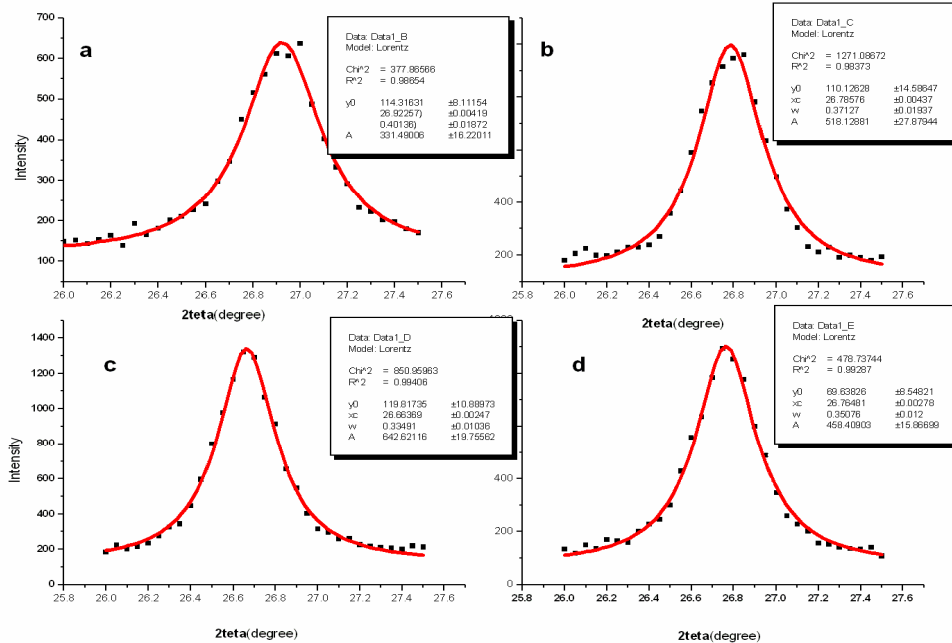
$$\varepsilon = \frac{1}{4} \beta \cos \theta \quad \text{و} \quad N = \frac{t}{D^3} \quad (۷)$$

### اثر تغییر زیر لایه روی اندازه دانه ها و نقایص بلوری

شکل ۲ برازش طیف اشعه ایکس نمونه ها را نشان می دهد. اندازه متوسط بلورک ها ( $D$ ) با توجه به محاسبات روی قله (۰۰۲) و با استفاده از معادله دبی-شرر (رابطه (۵)) بدست می آید.

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (۵)$$

که در این رابطه  $\lambda$  طول موج پرتو  $X$  برابر با  $1.5406 \text{ \AA}$ ،  $\beta$ ، پهنای قله در نیم بیشینه،  $\theta$  زاویه براگ و  $k=0.9$  انتخاب شده است.



شکل ۲. برازش طیف اشعه ایکس در بازه  $2\theta = 26^0 - 28^0$

(a) نمونه CdS روی زیر لایه شیشه بدون بازپخت ۲۰۰ درجه سانتی گراد  
 (b) نمونه CdS روی زیر لایه شیشه با دمای بازپخت ۲۰۰ درجه سانتی گراد  
 (c) نمونه CdS روی زیر لایه شیشه با دمای بازپخت ۳۰۰ درجه سانتی گراد  
 (d) نمونه CdS روی زیر لایه ITO بدون بازپخت

روش تبخیر آنی در مقایسه با سایر روشها، دارای نقایص بلوری و تنش لایه ای کمتر و از ساختار بلوری هگزاگونال برخوردار می باشد که نسبت به ساختار مکعبی CdS پایدارتر است.

#### منابع

1. K. Sivaramamoorthy, S. Asath Bahadur, M. Kottaisamy and K. R. Murali, *Properties of CdS films deposited by the electron beam evaporation technique*, Journal of Alloys and Compounds, 503(2010)170–176.
2. M. Kim, B. K. Min, C. D. Kim, S. Lee, H. T. Kim, S. K. Jung and S. Sohn, *Study of the physical property of the cadmium sulfide thin film depending on the process condition*, Current Applied Physics 10(2010)S455–S458.
3. J. H. Lee and D. J. Lee, *Effect of CdCl<sub>2</sub> treatment on the properties of CdS films prepared by r.f. magnetron sputtering*, Thin Solid Films 515(2007)6065-6059.
4. R. Sathyamoorthy, S. Chandramohan, P. Sudhagar, D. Kanjilal, D. Kabiraj and K. Asokan, *Structural and photoluminescence properties of swift heavy ion irradiated CdS thin films*, Solar Energy Materials & Solar Cells, 90(2006)2297-2304.
5. M. Kim, S. Lee and S. Sohn, *Physical properties of CdS thin films grown by chemical bath deposition with directly immersed ultrasonification module*, Thin Solid Films, 519(2010)1787–1793.
6. J. H. Lee, *Influence of substrate on structural and optical properties of chemically deposited CdS films*, Thin Solid Films 515(2007)6089-6093.
7. S. A. Mahmoud, A. A. Ibrahim and A. S. Riad, *Physical properties of thermal coating CdS thin films using a modified evaporation source*, Thin Solid Films 372(2000)144-148.
8. A. Ashour, N. El-Kadry and S. A. Mahmoud, *On the electrical and optical properties of CdS films thermally deposited by a modified source*, Thin Solid Films, 269(1995)117-120.
9. P. P. Hankare, P. A. Chate and D. J. Sathe, *CdS thin film: Synthesis and characterization*, Solid State Sciences, 11(2009)1226-1228.
10. X. L. Tong, D. S. Jiang , Q. Y. Yan, W. B. Hu, Z. M. Liu and M. Z. Lou, *Deposition of CdS thin films onto Si (111) substrate by PLD with femtosecond pulse*, Vacuum, 82(2008)1411–1414.

که در رابطه فوق  $t$  ضخامت لایه است. نتایج حاصل از محاسبات در جدول ۱ ذکر گردیده است.

از مقایسه اندازه بلورک ها در جدول ۱ می توان مشاهده کرد که این اندازه برای نمونه با زیر لایه ITO نسبت به نمونه با زیر لایه شیشه بدون بازپخت بزرگتر است. پارامترهای محاسبه شده مربوط به نقایص بلوری برای نمونه با زیرلایه ITO از اعداد محاسبه شده برای نمونه با زیر لایه شیشه کمتر است. تطابق شبکه ای بین لایه و زیر لایه می تواند این مورد را تایید کند.

همچنین نتایج ذکرشده در جدول ۱ نشان می دهد که با افزایش دمای بازپخت روی نمونه های با زیر لایه شیشه اندازه بلورک ها از مقدار حدود ۲۰ نانومتر به مقدار ۲۴ نانومتر افزایش یافته که علت آن گسترش حوزه ها و پیوستن جزیره ها در ساختار است. همچنین افزایش دما روی نمونه های با زیر لایه شیشه منجر به کاهش دو پارامتر مهم در ساختار لایه، یعنی نقص بلوری و تنش لایه ها شده است. بهبود پارامتر  $c/a$  در اثر افزایش دمای بازپخت که در بخش قبلی به آن اشاره شد هم از نتایج کاهش نقایص و نش در نمونه ها است. نتایج نقایص بلوری و تنش لایه ها حاصل از این کار در مقایسه با مقالات مشابه حاکی از شرایط بهتر انتخاب روش رشد و شرایط لایه نشانی می باشد [۱۵و۱۴].

#### نتیجه گیری

لایه نازک سولفید کادمیم بر روی زیرلایه های از جنس شیشه و ITO با استفاده از روش تبخیر آنی در خلاء تهیه گردید. طیف اشعه ایکس نمونه ها بدست آمد و تاثیر عملیات حرارتی بر روی ساختار بلوری CdS بررسی شد. تمام نمونه ها دارای ساختار تنگ پیکیده شش گوشه بودند. ملاحظه گردید که استفاده از ITO به عنوان زیر لایه به علت وجود مراکز جوانه زنی بر روی آن سبب رشد لایه ها در جهت های ترجیحی خاصی گردیده است. همچنین عملیات حرارتی نمونه های با زیرلایه شیشه، ساختار حاصل را به یک ساختار تنگ پیکیده شش گوشه (hcp) نزدیک تر ساخته است. با توجه به نتایج بدست آمده، لایه های ساخته شده با

11. S. Chun, K.S. Han, J. S. Lee, H. J. Lim, H. L. and D. Kim, *Fabrication CdS thin film and nanostructure grown on transparent ITO electrode for solar cells*, Current Applied Physics, 10(2010)S196–S200.
12. K. Ravichandran and P. Philominathan, *Comparative study on structural and optical properties of CdS films fabricated by three different low-cost techniques*, Applied Surface Science, 255(2009)5736–5741.
13. K. R. Murali, C. Kannan and K. Subramanian, *Photoelectro- chemical properties of flash evaporated cadmium sulfide films*, Chalcogenide Letters, 5 (2008)195-199.
14. J. Lee, *Comparison of CdS films deposited by different techniques, Effects on CdTe solar cell*, Applied Surface Science, 252(2005)1398-1403.
15. H. Metin, S. Erat and S. Durmas, *Annealing effect on CdS/SnO<sub>2</sub> films grown by chemical bath deposition*, Applied Surface Science, 256(2010)5076–5081.
16. U. Pal, R. Silva-Gonzalez, G. Martinez-Montes, M. Gracia-Jimenez, M. A. Vidal and Sh. Torres, *Optical characterization of vacuum evaporated cadmium sulfide films*, Thin Solid Films 305(1997)345-350.