

لایه‌های نازک

(۳۱۰)



ساخت و بررسی خواص اپتیکی و الکتریکی لایه‌های نازک CdS به منظور استفاده در سلولهای خورشیدی

فهمیه بافتی زاده، احمد کمپانی، سید محمد حسینی، ناصر شاه‌طهماسبی
 مشهد، دانشگاه فردوسی، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک، مرکز نانو تکنولوژی

چکیده- لایه‌های نازک سولفید کادمیم CdS، به روش اسپری پایرولیز تهیه شدند. به منظور به دست آوردن شرایط بهینه سعی شد با تغییر پارامترهای مختلف لایه‌نشانی از قبیل دمای بستر، غلظت محلول اسپری و حجم محلول اسپری بهترین شرایط برای لایه نشانی این ماده به دست آید. طیف های جذبی و تراگسیلی نمونه‌ها در ناحیه طول موج های فرابنفش تا مرئی نشان دادند که تقریباً تمامی لایه‌های تهیه شده در ناحیه فرابنفش جذب نورند و در ناحیه مرئی شفافیت لایه‌ها با تغییر پارامترهای لایه‌نشانی تغییر می‌کند. به منظور بررسی اثر نور روی مقاومت نمونه‌ها، تحت تابش نور با شدت‌های مختلف مقاومت آن‌ها اندازه‌گیری شد، که تمامی نمونه‌ها کاهش مقاومت شدیدی را در اثر تابش نور نشان می‌دادند.

کلید واژه- لایه‌های نازک سولفید کادمیم، اسپری پایرولیز، لایه پنجره در سلول‌های خورشیدی.

کد PACS - ۳۱۰،۰۳۱۰

۱- مقدمه

منظور بهینه‌سازی شرایط، ساخت نمونه‌ها در چهار مرحله با شرایط متفاوت انجام شد. با توجه به گزارش شارما و همکارانش مبنی بر اینکه لایه نازک CdS به دست آمده به روش اسپری پایرولیز کمبود سولفور دارد و افزایش میزان سولفور در محلول اسپری باعث بهبود خواص لایه نازک می‌شود، در تمامی مراحل نسبت غلظت کلرید کادمیم و تیوره در محلول اسپری یعنی $CdCl_2 \cdot 2.5H_2O : Thiourea$ را برابر با M ۱:۱/۳ در نظر گرفتیم [۱].

کار در سه مرحله با تغییرات غلظت محلول اسپری، دمای بستر و حجم محلول اسپری انجام شد. در جدول ۱ به‌طور خلاصه پارامترهای لایه‌نشانی استفاده شده برای تهیه نمونه‌های لایه نازک CdS ارائه شده است.

در هر مرحله از کار محلول آبی کلرید کادمیم و تیوره با نسبت‌های معین تهیه و به کمک گاز حامل هوا در فشار ۲۱ bar روی بسترهای داغ اسپری شدند. این نمونه‌ها حساسیت فوق‌العاده‌ای به نور نشان می‌دادند و اثر نور با شدت‌های مختلف بر روی مقاومت الکتریکی آنها نیز بررسی گردید.

به‌خاطر قیمت بالای سلول‌های خورشیدی سیلیکونی، تلاشهایی برای تهیه سلول‌های خورشیدی از نیم‌رساناهای بس‌بلور شکل گرفته است. اخیراً لایه‌های نازک سولفید کادمیم CdS، به علت داشتن گاف انرژی بزرگ (در حدود ۲/۴ eV)، به عنوان لایه پنجره در سلول‌های خورشیدی نامتجانس بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. این لایه را می‌توان همراه با لایه‌های موادی از قبیل SnO_2 ، $CdTe$ ، Cu_2S و InP ... برای تهیه پیوندگاه در سلول‌های خورشیدی با بازده ۱۶٪-۱۴٪ مورد استفاده قرار داد. هدف از انجام این تحقیق، تهیه لایه نازک CdS، به روش اسپری پایرولیز، بررسی خواص الکتریکی و اپتیکی آن است.

۲- جزئیات روش تجربی

اسپری پایرولیز یک روش ساده برای تهیه لایه‌های نازک است که در آن یک محلول کاملاً شفاف، حاوی نمک‌های مواد مورد نظر برای لایه‌نشانی، به کمک یک گاز حامل (در اینجا هوا) روی بستر داغ اسپری می‌شود. جزئیات لایه نشانی به این روش در گزارش های مختلف موجود است [۱]. برای تهیه لایه‌های نازک CdS، به این روش، از کلرید کادمیم، $CdCl_2 \cdot 2.5H_2O$ ، به عنوان منبع کادمیم، و از تیوره، $(NH_2)_2CS$ ، به عنوان منبع سولفور استفاده شده است. به-

این نتیجه از قبل نیز قابل پیش بینی بود، زیرا با غلیظتر شدن محلول، ماده نشانده شده روی بستر افزایش یافته که خود افزایش ضخامت لایه را به همراه دارد و در نتیجه باعث کاهش تراگسیل نمونه شده است، به گونه‌ای که مقدر آن از ۹۰-۸۰ در صد برای نمونه با غلظت 0.025 M کلرید کادمیم به ۶۰-۵۰ در صد برای نمونه با غلظت 0.15 M کلرید کادمیم کاهش می‌یابد.

در شکل ۲ طیف تراگسیلی نمونه‌های سولفید کادمیم که در جدول ۱ با شماره‌های ۵، ۶، ۳ و ۷ نشان داده شده است و به ترتیب در دماهای 300°C ، 350°C ، 400°C و 450°C تهیه شده‌اند، نشان داده شده است. طیف تراگسیلی نشان می‌دهد که تمامی لایه‌های نازک سولفید کادمیم تهیه شده، در ناحیه فرابنفش جذب نور و در ناحیه مرئی (طول موج‌های 850 nm - 530 nm) تقریباً شفافند. البته با مقایسه طیف‌ها مشخص می‌شود که در دمای لایه نشانی پایین‌تر لایه‌های تهیه شده شفافیت کمتری در ناحیه مرئی دارند، هر چه دمای لایه‌نشانی بیشتر شده است شفافیت نمونه‌ها در این ناحیه بهبود یافته است. به طوری که از مقدار حدود ۴۰-۵۰ در صد برای نمونه تهیه شده در در دمای 300°C ، به مقدار ۹۰-۸۰ در صد برای نمونه تهیه شده در دمای 450°C رسیده است. بنابراین با توجه به شفافیت حدود ۸۰٪ نمونه، برای نور مرئی، این لایه‌ها قابل مقایسه با نتایج به دست آمده توسط دیگران هستند و برای کاربرد در سلول‌های خورشیدی به عنوان لایه پنجره بسیار مناسبند [۲].

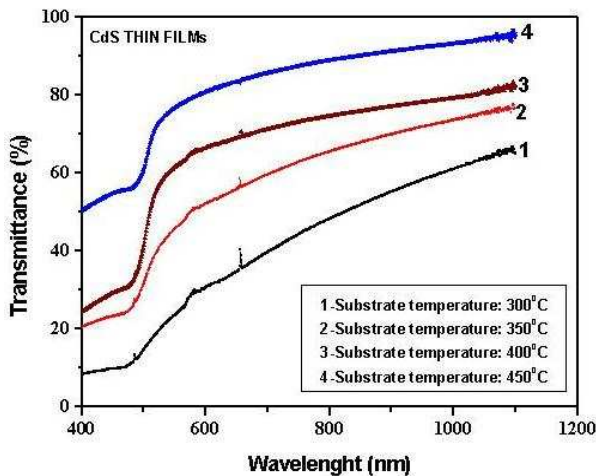
جدول ۱

نمونه	غلظت کلرید کادمیم (مولار)	غلظت تیوره (مولار)	دمای بستر (درجه سانتی‌گراد)	حجم محلول اسپری (سی سی)
۱	۰٫۰۲۵	۰٫۰۳۲۵	۴۰۰	۳۰
۲	۰٫۰۵	۰٫۰۶۵	۴۰۰	۳۰
۳	۰٫۱	۰٫۱۳	۴۰۰	۳۰
۴	۰٫۱۵	۰٫۱۹۵	۴۰۰	۳۰
۵	۰٫۱	۰٫۱۳	۳۰۰	۳۰
۶	۰٫۱	۰٫۱۳	۳۵۰	۳۰
۷	۰٫۱	۰٫۱۳	۴۵۰	۳۰
۸	۰٫۱	۰٫۱۳	۴۰۰	۵۰
۹	۰٫۱	۰٫۱۳	۴۰۰	۱۰۰
۱۰	۰٫۱	۰٫۱۳	۴۰۰	۱۵۰
۱۱	۰٫۱	۰٫۱۳	۴۰۰	۲۰۰

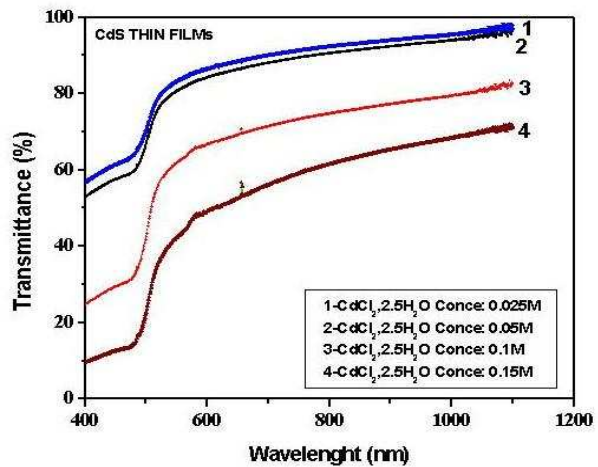
۳- بحث و نتایج

۳-۱ نتایج اندازه‌گیری‌های اپتیکی

در شکل ۱ طیف تراگسیلی نمونه‌های لایه نازک سولفید کادمیم تهیه شده در غلظت‌های 0.025 M ، 0.05 M ، 0.1 M و 0.15 M کلرید کادمیم، که در جدول ۱ با شماره‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ آورده شده است، نشان داده شده است. طیف تراگسیلی مشخص می‌کند که تمامی لایه‌های نازک سولفید کادمیم تهیه شده، در ناحیه فرابنفش جذب نور و در ناحیه مرئی تقریباً شفافند. با مقایسه، مشخص می‌شود که هر چه غلظت محلول اسپری بیشتر شده است، شفافیت نمونه‌ها کاهش یافته است.



شکل ۲ طیف تراگسیلی مربوط به لایه‌های نازک سولفید کادمیم تهیه شده در دماهای 300°C ، 350°C ، 400°C و 450°C .



شکل ۱ طیف تراگسیلی مربوط به لایه‌های نازک تهیه شده در غلظت‌های 0.025 M ، 0.05 M ، 0.1 M و 0.15 M کلرید کادمیم.



۳-۲ نتایج اندازه‌گیری‌های الکتریکی

تابش نور به نیم‌رسانا سبب تولید زوج الکترون-حفره در آن می‌شود، ولی تولید حامل‌های بار با پدیده بازترکیب که به دو صورت بازترکیب مستقیم و بازترکیب غیر مستقیم اتفاق می‌افتد بسیار محدود می‌شود و به یک مقدار اشباع می‌رسد. حال اگر منبع نوری قطع شود، تولید حامل‌ها نیز قطع می‌شود اما بازترکیب ادامه می‌یابد تا این‌که این حامل‌های اضافی نابود و قطعه نیم‌رسانا به حالت تعادل گرمایی خود در قبل از اعمال نور برسد [۴].

مقاومت سطحی با توجه به پارامترهای R و L ، W به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R_s = \frac{W}{L} R \quad (1)$$

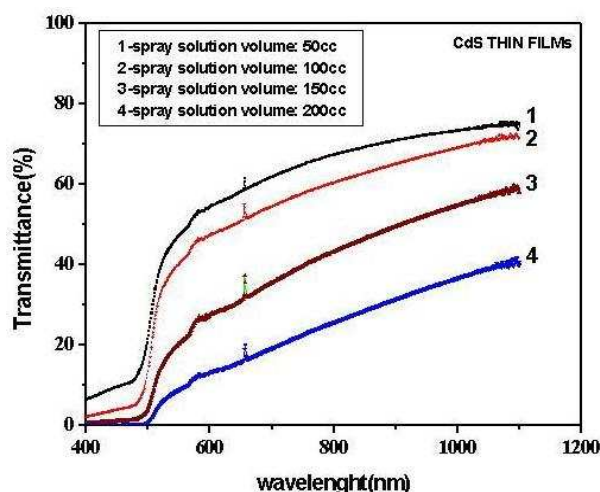
که در آن R ، L و W به ترتیب عرض و طول ناحیه تحت تابش نور و مقاومت الکتریکی نمونه در طول لایه است [۵]. در شکل ۴ تغییرات مقاومت الکتریکی بر حسب مدت زمان نوردی برای نمونه‌های مختلف رسم شده است.

در طی آزمایش از نور لامپ ۱۰۰ وات که شدت نور آن برابر با ۶۶۰۰ لوکس است استفاده شده است. نمودار الف مربوط به نمونه‌های ۲، ۳ و ۴ است که در آن‌ها غلظت متغیر بوده است. مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت مقاومت نمونه‌ها کمتر شده است. به نظر می‌رسد که با افزایش غلظت ضخامت نمونه‌ها افزایش یافته است که کاهش مقاومت الکتریکی را در پی دارد. در قسمت ب که مربوط به نمونه‌های شماره ۵، ۳ و ۷ است و در آن‌ها دمای بستر متغیر بوده، دیده می‌شود که با افزایش دمای بستر تا $400^\circ C$ مقاومت نمونه‌ها کمتر شده اما در دمای $450^\circ C$ مقاومت افزایش یافته است. کاهش مقاومت نمونه‌ها تا دمای $400^\circ C$ ، با گزارشات موجود توافق خوبی دارد. علت آن‌هم می‌تواند بهبود تناسب عنصری و افزایش اندازه دانه‌ها باشد. اما افزایش مقاومت در دمای $450^\circ C$ می‌تواند ناشی از کاهش ضخامت نمونه‌ها باشد. چون انتظار می‌رود که با افزایش دمای بستر، ضخامت نمونه‌ها کاهش یابد که این امر، افزایش مقاومت را در پی دارد.

علت بهبود شفافیت در نمونه‌های تهیه شده در دماهای $400^\circ C$ و $450^\circ C$ می‌تواند بهتر شدن ساختار بلوری، کاهش نقایص ساختاری و افزایش اندازه دانه‌ها باشد. البته علت آن می‌تواند کاهش ضخامت و یا بهبود تناسب عنصری با افزایش دمای بستر نیز باشد. این افزایش تراکسیل نمونه‌ها با افزایش دمای بستر در توافق با نتایج دیگران است [۳].

بدیهی است که با افزایش دمای بستر، تبخیر سریع‌تر صورت گرفته و ضخامت لایه‌ها کاهش می‌یابد. کاهش ضخامت نمونه‌ها با افزایش دمای بستر نیز می‌تواند علت دیگری برای افزایش تراکسیل باشد.

در شکل ۳ طیف تراکسیلی لایه‌های نازک سولفید کادمیم تهیه شده در حجم‌های ۵۰ cc، ۱۰۰ cc، ۱۵۰ cc و ۲۰۰ cc محلول اسپری، که در جدول ۱ با شماره‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ مشخص شده‌اند، نشان داده شده است. این نمودارها نشان می‌دهند که تمامی نمونه‌های تهیه شده سولفید کادمیم، در ناحیه فرابنفش جاذب نور بوده و در ناحیه مرئی تقریباً شفافند. با مقایسه طیف‌ها مشخص می‌شود که با افزایش مقدار محلول که نتیجه آن افزایش ضخامت است، شفافیت لایه‌ها کمتر شده است. به طوری که مقدار آن از ۶۰-۷۰ در صد برای نمونه تهیه شده با حجم ۵۰ cc به مقدار ۲۰-۱۰ در صد برای نمونه تهیه شده با حجم ۲۰۰ cc رسیده است. به طور کلی در تمام طیف‌هایی که در این سه مرحله بررسی کردیم، لبه جذب اپتیکی در محدوده ۵۰۰ nm - ۴۷۵ nm قرار دارد.



شکل ۳ طیف تراکسیلی مربوط به لایه‌های نازک سولفید کادمیم تهیه شده با حجم‌های ۵۰ cc، ۱۰۰ cc، ۱۵۰ cc و ۲۰۰ cc محلول اسپری.

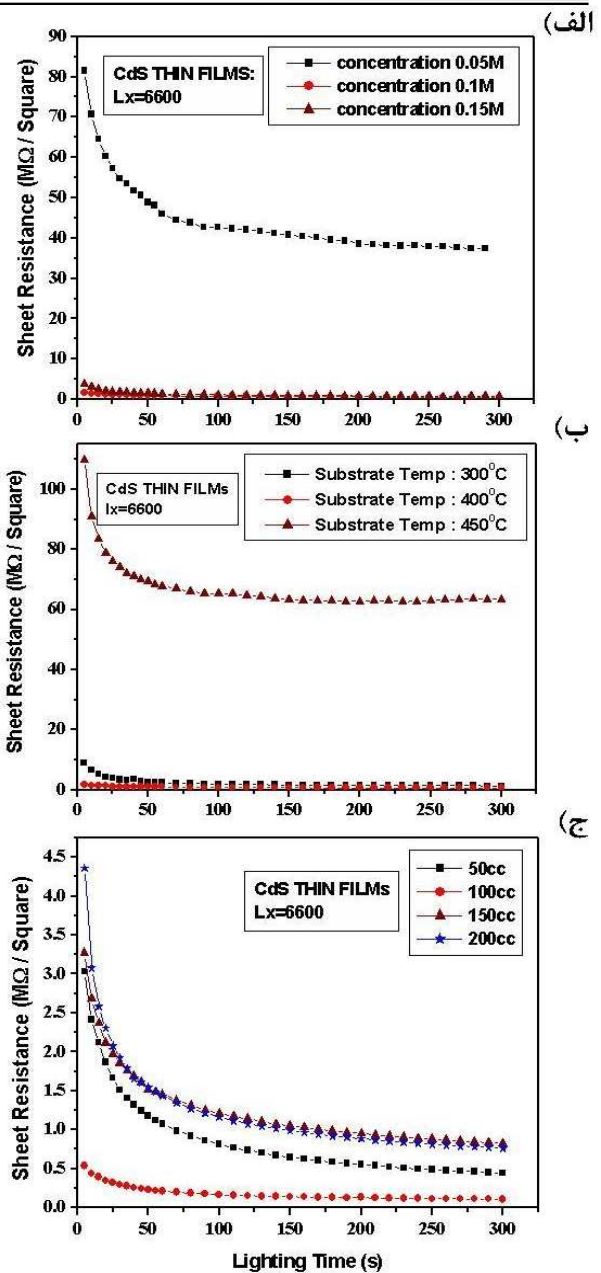
CC ۲۰۰، مقاومت افزایش یافته است. می توان ادعا کرد که گرچه ضخامت نمونه، افزایش یافته ولی مقدار تله‌ها یا همان مراکز بازترکیب در حجم لایه نیز بیشتر شده است. بنابراین آهنگ بازترکیب، به خاطر افزایش مراکز باز ترکیب بیشتر شده، که این عامل باعث کاهش مقدار جریان فوتورسانشی و افزایش مقاومت شده است.

۴- جمع‌بندی

لایه‌های نازک CdS به روش اسپری پیرولیز ساخته شدند. با تغییر پارامترهای لایه‌نشانی از قبیل دمای بستر، غلظت محلول اسپری و مقدار حجم محلول اسپری و سپس با اندازه‌گیری‌های مربوط به خواص اپتیکی و الکتریکی بر روی آن‌ها پارامترهای بهینه لایه‌نشانی مشخص شدند، با توجه به نتایج به نظر می‌رسد روش اسپری پیرولیز برای ساخت لایه‌های نازک CdS روشی مناسب و قابل قبول است. لایه‌های تهیه شده به این روش به دلیل شفافیت خوب در ناحیه مرئی و همچنین حساسیت فوق العاده به نور برای استفاده در صنعت ساخت سلول‌های خورشیدی و همچنین استفاده در حسگرها می‌توانند بسیار مناسب باشند.

۵- مراجع

- [1] R. K. Sharma, K. Jain and A. C. Rastogi, "Growth of CdS and CdTe Thin Films for the Fabrication of n-CdS/p-CdTe Solar Cell", *Current Applied Physics*, 3, pp. 199-204, 2003
- [2] J. Hiie, T. Dedova, V. Valdana and K. Muska, "Comparative Study of Nano-Structured CdS Thin Films Prepared by CBD and Spray Pyrolysis: Annealing Effect", *Thin Solid Films*, 511-512, pp. 443-447, 2006
- [3] A. Ashour, "Physical Properties of Spray Pyrolysed CdS Thin Films", *Turk. J. Phys.*, 27, pp. 551-558, 2003
- [4] E. S. Yang, "Fundamentals of Semiconductor Devices", McGraw-Hill (1978)
- [5] S. A. Halperin, "The Effect between Surface Resistance and Surface Resistivity", *EE: Evaluation Engineering*, 35, pp. 49-50, 1996



شکل ۴. نمودارهای مربوط به تغییرات مقاومت سطحی نمونه‌ها بر حسب زمان نوردهی برای لایه‌های نازک سولفید کادمیم تهیه شده در الف) غلظت‌های ۰٫۰۵ M، ۰٫۱ و ۰٫۱۵ کلرید کادمیم. ب) دماهای بستر ۳۰۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ °C و ج) حجم‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ cc محلول اسپری

و نهایتاً در قسمت ج که مربوط به نمونه‌های شماره ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ است که در آن حجم محلول اسپری متفاوت بوده مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار حجم محلول اسپری از ۵۰ cc به ۱۰۰ cc، مقاومت مطابق با انتظار ما کاهش یافته است، اما بعد از آن با افزایش مقدار حجم محلول تا ۱۵۰ cc و