



فصل نامه علمی ((دفاع هوافضایی))  
دوره ۲، شماره ۴، اسفند ۱۴۰۲



مقاله پژوهشی

## بررسی اثر غلظت یون غیرفلزی در نیمه رسانای نانو ساختار کادمیم سلنید

### در حالت لایه های نازک با قابلیت کاربری در رادارها

حمیدرضا حاتمی<sup>۱</sup>، قبادی نادر<sup>۱\*</sup>، داریوش مهرپرور<sup>۲</sup>، محمد فرخزادی<sup>۳</sup>

۱- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ملایر

۲- گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه ملایر

۳- گروه ریاضی، دانشگاه فنی و حرفه ای تهران

#### چکیده

در این کار تلاش بر مهیا کردن ساخت لایه های نازک نانوساختار کادمیم سلنید (CdSe) بر مبنای روش محلولی ساده لایه نشانی حمام شیمیایی (CBD) شده است که از لحاظ تجاری پیش ماده ای ارزان و در دسترس دارد. در روش لایه نشانی حمام محلول شیمیایی، عوامل ساخت، نقش قابل ملاحظه ای را ایفا کرده و خواص فیزیکی محصول نهایی را تعیین می کنند. در این پژوهش، تأثیر یک عامل مهم، غلظت محلول های اولیه یون سلنیم که یکی از مهمترین فاکتورهای تشکیل دهنده کادمیم سلنید است، مشاهده خواهد شد که تغییر غلظت این یون غیرفلزی، نوع ساختار الکترونی ماده را به شدت تحت تاثیر خود قرار می دهد. بر خلاف روش های کند و پاش، در روش رسوبگیری از محلول شیمیایی، کنترل بالایی در تشکیل رسوبهای جامد با ترکیبهای مختلف ترکیبات دوتایی فلز و غیرفلز وجود دارد. تغییر غلظت یون سلنید اندازه گاف انرژی را تغییر می دهد. مشاهده شده است با افزایش غلظت یون غیرفلزی سلنید، گاف انرژی افزایش می یابد. که در ساخت بردهای مورد استفاده در رادارها کاربرد دارد.

#### اطلاعات مقاله

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

#### کلمات کلیدی:

غلظت یون غیرفلزی، رسوبگیری محلول شیمیایی، گاف انرژی.



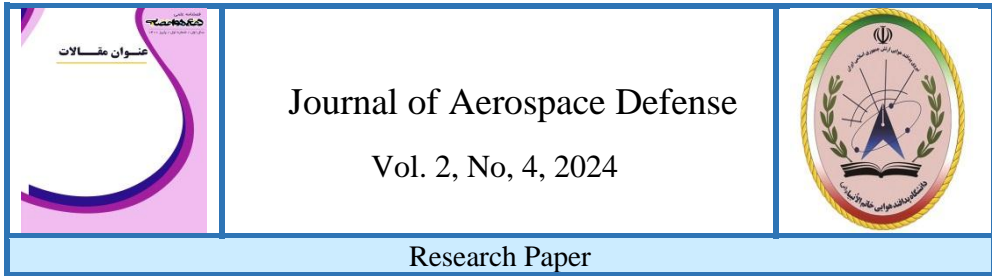
نویسنده مسئول:

نادر قبادی

ایمیل:

n.ghobadi@malayeru.ac.ir

استناد به مقاله: نادر قبادی، حمیدرضا حاتمی، داریوش مهرپرور، محمد فرخزادی، بررسی اثر غلظت یون غیرفلزی در نیمه رسانای نانو ساختار کادمیم سلنید در حالت لایه های نازک، مجله علمی پژوهشی دفاع هوافضایی دوره ۲، شماره ۴ اسفند ۱۴۰۲.



## Investigating the effect of non-metal ion concentration in cadmium selenide nanostructure semiconductors in the state of thin films Can be used in radars

Hamid Reza Hatami<sup>1</sup>, Nader Ghobadi<sup>1</sup>, Dariush Mehrparvar<sup>2</sup>, Mohammad Farokhzadi<sup>3</sup>

1 -Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Malayer University, Malayer, Iran

2 -Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Malayer University, Malayer, Iran

4- Department of Mathematics, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran

### Article Information

Accepted: 2024/02/08

Received: 2024/11/11

### Keywords:

Template Matching,  
Invariant to Scale and  
Angle, Tracing,  
Correlation Coefficients..



Corresponding author:

Nader Ghobadi

Email:

[n.ghobadi@malayeru.ac.ir](mailto:n.ghobadi@malayeru.ac.ir)

### Abstract

In this work, an attempt was made to prepare thin layers of nanostructured cadmium selenide (CdSe) based on a simple solution method of chemical bath deposition (CBD), which commercially has an accessible precursor. In the chemical solution bath layering method, manufacturing factors play a significant role and determine the characteristics of the final product. In this research, the effect of an important factor, the concentration of primary solutions of selenium and cadmium ions, which is one of the most important factors in the formation of cadmium selenide, and it will be observed that the change in the concentration of these metal and non-metal ions strongly affects the type of electronic structure of the material. In comparison with the sputtering methods, in the chemical solution deposition method, there is a high control in the formation of solid deposits with different combinations of metal and non-metal binary compounds. Changing the selenide ion concentration changes the size of the energy band gap. It has been observed that the energy gap increases with the increase of selenide non-metal ion concentration.

**HOW TO CITE:** Hamid Reza Hatami , Nader Ghobadi , Dariush Mehrparvar , Mohammad Farokhzadi , Investigating the effect of non-metal ion concentration in cadmium selenide nanostructure semiconductors in the state of thin films, Journal of Aerospace Defense, Vol. 2, No4. 2024

## ۱. مقدمه

در دهه های اخیر، نیمه رساناهای نانوساختار، به علت خواص الکتریکی و نوری ویژه خود در مقایسه با مواد توده ای، توجه زیادی را به خود جلب کرده اند [۱]. خواص الکتریکی و نوری این نانوساختارها مستقیماً مربوط به محدودیت کوانتومی حامل های بار است که منجر به جابه جایی گاف نواری به سمت انرژی های بزرگتر می شود که با کاهش اندازه ذراتشان ایجاد می شود [۲]. پژوهش های بسیاری لایه های نازک کادمیم سلنید را با استفاده از روش های شیمیایی گوناگون مثل پیرولیز پاششی (spray pyrolysis) [۳]، لایه نشانی حمام شیمیایی (CBD) [۴]، روش لایه نشانی فوتوشیمیایی [۵]، روش جذب و واکنش لایه ای یونی متوالی [۶]، رسوب دهی الکترواستاتیکی [۷]، روش غوطه وری و خشک کردن [۸] و تبخیر تحت خلأ [۹] ساخته اند. شکل گیری لایه های نازک از محلول آبی به وسیله لایه نشانی حمام بخار شیمیایی به علت سهولت و مقرون به صرفه بودن، روشی مطلوب است. این روش لایه نشانی، در دمای پایین مورد استفاده قرار می گیرد که از اکسید شدن مواد لایه نشانی شده جلوگیری می کند. همچنین، به منظور حصول لایه ای با ساختار دانه ای و جهت گیری ترجیحی، روشی است که به آسانی قابل کنترل می باشد [۱۰]. علاوه بر این، مزیت عمده روش لایه نشانی حمام شیمیایی بر سایر روش ها، لایه نشانی بر انواع مختلفی از زیرلایه ها با اشکال و اندازه های متفاوت است [۱۱]. در سال های گذشته، لایه های نازک نانوساختار نیمه رساناهای مختلف با گاف انرژی نواری نوری که قابل کنترل با تغییر عوامل مؤثر است، با موفقیت ساخته شده اند. در روش لایه نشانی حمام شیمیایی، روند لایه نشانی مواد نانوساختار، به وضوح شامل لایه نشانی نانوذره از فاز محلول است. ساخت لایه های نازک نانوساختار در اندازه و شکل مورد نظر با کنترل کردن عوامل ساخت و فرآیند لایه نشانی میسر است [۲]. از اینرو، نیمه رسانای نانو ساختار را می توان در گستره ای از اندازه ها رشد داد و تنوعی از گاف های انرژی نواری داشت که بدون تغییر مواد اساسی یا روش های ساخت حاصل شده اند. سلنید کادمیم نانوساختار، نیمه رسانایی با اهمیت است که کاربردهایی در ادوات اپتوالکترونیک [۴ و ۲ و ۱]، خصوصاً سلول خورشیدی با مشخصه نقطه کوانتومی دارد که به دلیل جریان نوری افزایش یافته اش است که نتیجه ای از تولید اکسایتون های متعدد و توانایی داشتن گاف انرژی نواری صحیح و شعاع اکسایتونی بوهر بزرگ (۴۶ نانومتر) است [۱۲-۱۵ و ۸].

نقطه کوانتومی کادمیم سلنید گاف انرژی نواری مناسبی در طیف ناحیه مرئی خورشید دارد که برای استفاده بهتر در سلول خورشیدی می تواند با فرکانس های ناحیه مرئی وفق داده شود. این گستره از گاف انرژی نواری با سلول های خورشیدی آلی- معدنی مرسوم، نوعاً به سختی به دست می آید [۲۷-۱۶]. مشخصات لایه نازک کادمیم سلنید که به روش لایه نشانی حمام شیمیایی ساخته شده است، قویاً به شرایط رشد لایه وابسته است. با تغییر عوامل کلیدی لایه نشانی مثل غلظت، pH و دما می توان ضخامت، اندازه نانوذرات و گاف نواری انرژی لایه های نازک را کنترل کرد [۱۰]. در واقع، سیستم های نانومقیاس به نشان دادن خصوصیات فیزیکی جالبی همچون افزایش گاف انرژی نواری نیمه رسانا به علت محدودیت الکترون شناخته شده اند.

## ۲- مواد و روش ها

فهم درخوری از روش لایه نشانی به کنترل رشد از نانوذرات به لایه نازک نانوساختار دلخواه کمک می کند. لایه های نازک کادمیم سلنید بر روی زیرلایه شیشه ای معمولی به ابعاد  $26 \times 7/6 \times 2$  میلی متر مکعب رشد داده شدند. تمیزی زیرلایه نقش مهمی در لایه نشانی لایه های نازک ایفا می کند. از این رو، قبل از لایه نشانی، زیرلایه ها با پاک کننده شست و شو داده شدند و با آستون آبکشی شدند سپس توسط دستگاه التراسونیک با محلول آب دیونیزه و اتانول شست و شو و در نهایت با آب دیونیزه آبکشی شدند و زیرلایه ها در خلأ نگه داشته شدند. به منظور تولید یون های کادمیم ( $Cd^{2+}$ )، 25 میلی لیتر از استات کادمیم  $Cd(CH_3COO)^{2-}$  در بشری شیشه ای با گنجایش ۱۰۰ میلی لیتر تحت چرخش ثابت بر طبق جدول ۱ و ۲ ریخته شد و سپس آمونیاک به عنوان عامل کمپلکس ساز به تدریج و قطره قطره وارد محلول شد. در ابتدا محلول شیری رنگ شد و با اضافه کردن آمونیاک محلول شفاف و سفید شد. سپس، ۲۵ میلی لیتر از محلول سلنو سولفات سدیم ( $Na_2SeSO_3$ ) تازه تهیه شده به عنوان چشمه یون های سلنیوم ( $Se^{2-}$ ) به تدریج به محلول اضافه شد. زیرلایه شیشه ای به طور قائم درون محلول لایه نشانی قرار گرفت. به منظور کنترل نرخ رشد لایه، دمای حمام در مقدار دلخواه (RT=Room Temperature یا  $35^\circ C$ ) ثابت نگه داشته شد. به منظور بررسی pH های مختلف مقادیر متفاوتی از آمونیاک با ثابت نگه داشتن بقیه پارامترها به محلول وارد شد. در انتهای فرآیند لایه نشانی، زیرلایه ها از حمام شیمیایی در بازه های زمانی مناسب برداشته شدند و با آب دیونیزه و متانول به منظور کنده شدن نانو ذرات کمتر چسبیده شده به زیرلایه شسته شدند. پوشش در طرف پشت لایه ها با پنبه آغشته به اسید

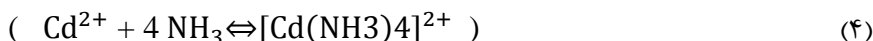
هیدروکلریک رقیق شده برداشته شد. سپس لایه ها در هوا خشک شدند و سرانجام در دسیکاتور قرار گرفتند. شکل گیری لایه نازک کادمیم سلنید بر اساس رها شدن آهسته یون های کادمیم و سلنیوم در محیط آبی و سپس چگالش متوالی بر زیر لایه است. مکانیسم واکنش در لایه نشانی لایه نازک سلنید کادمیم به صورت زیر پیشنهاد شده است [۲۰]:



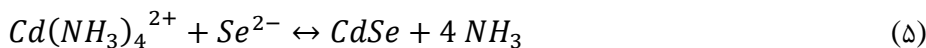
هنگامی که محلول آمونیاک به محلول نمک کادمیم اضافه می شود، اگر حاصلضرب حلالیت  $Cd(OH)_2$  فراتر باشد، رسوب شیری رنگ هیدروکسید کادمیم  $Cd(OH)_2$  شروع به تشکیل می شود، یعنی:



رسوب  $Cd(OH)_2$  در محلول آمونیاک اضافی حل می شود و کمپلکس یونی تترا-آمین کادمیم  $Cd(NH_3)_4^{2+}$  شکل می گیرد.



و سرانجام شکل گیری لایه نازک سلنید کادمیم رخ می دهد:



ضخامت لایه لایه نشانی شده sensitive microbalance با استفاده از رابطه  $d = \frac{m}{\rho A}$  اندازه گیری شد، به طوریکه m جرم لایه لایه نشانی شده، A ناحیه لایه نشانی شده لایه و  $\rho$  چگالی ماده لایه نشانی شده در شکل حجمی (سلنید کادمیم) = 5.82 گرم بر سانتیمتر مکعب است.

### ۳- بحث و نتایج

#### ۳-۱ جذب اپتیکی

خواص اپتیکی لایه های نازک کادمیم سلنید با استفاده از دستگاه اسپکتروسکوپی UV-Vis (Perkin Elmer, Lambda25, USA) دردمای اتاق در بازه طول موجی ۱۱۰۰-۱۹۰ نانومتر به منظور نشان دادن تغییرات گاف انرژی نواری نوری با غلظت های

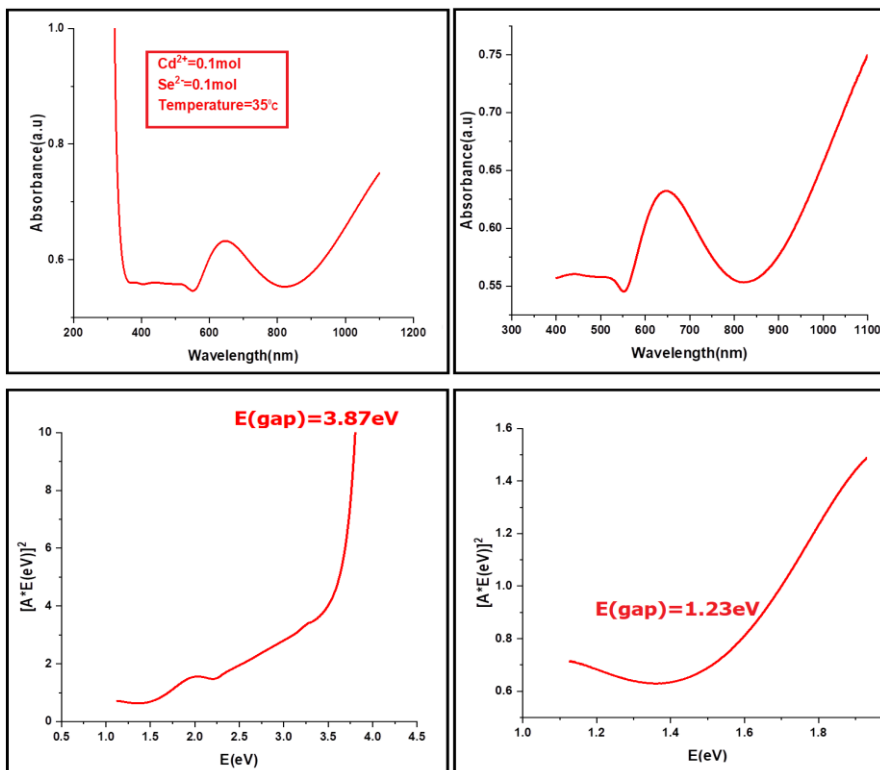
مختلف عامل کمپلکس ساز (pH) بررسی شد. داده های جذب با استفاده از معادله معروف زیر برای لبه جذب اپتیکی نزدیک نیمه رساناها آنالیز شدند [19]:

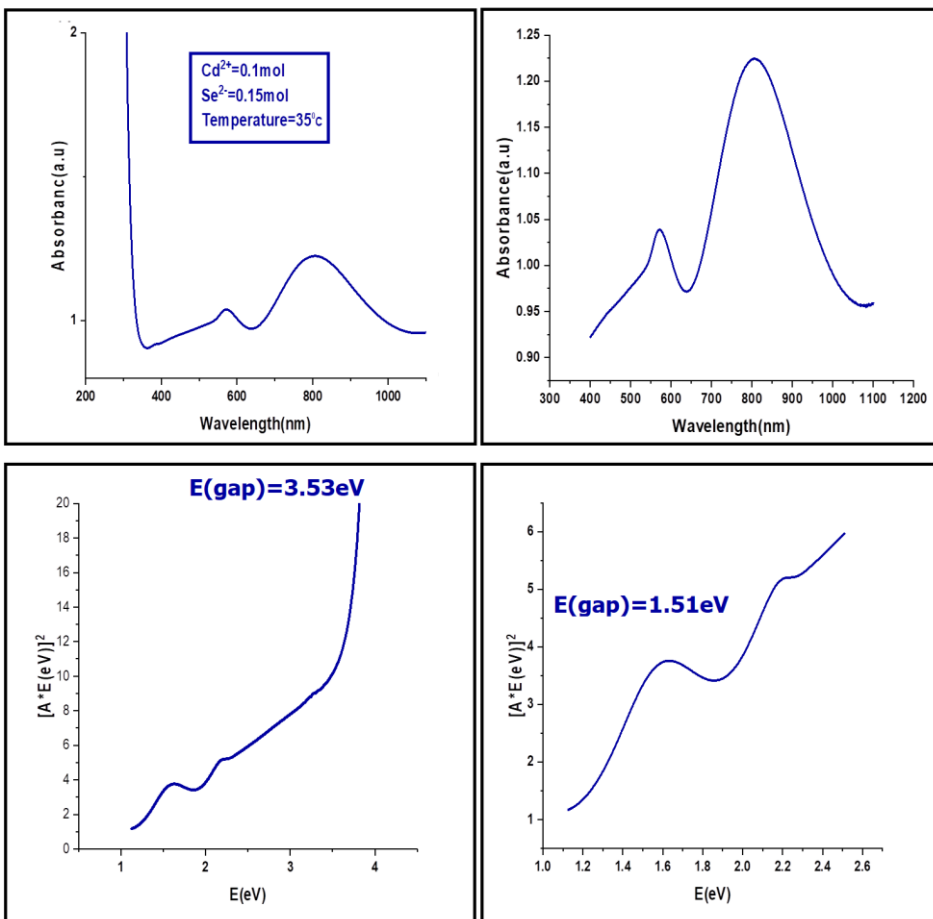
$$\alpha = \frac{B(h\nu - E_g)^n}{h\nu} \quad (6)$$

به طوریکه  $h\nu$  انرژی فوتون،  $B$  ثابت،  $E_g$  گاف انرژی نواری نوری و  $n$  عددی ثابت است که برای نیمه رساناها با گاف مجاز مستقیم معادل  $1/2$  و برای نیمه رساناهای با گاف مجاز غیر مستقیم  $2$  است.  $\alpha$  ضریب جذب است که بوسیله قانون بیر-لمبرت تعریف می شود:

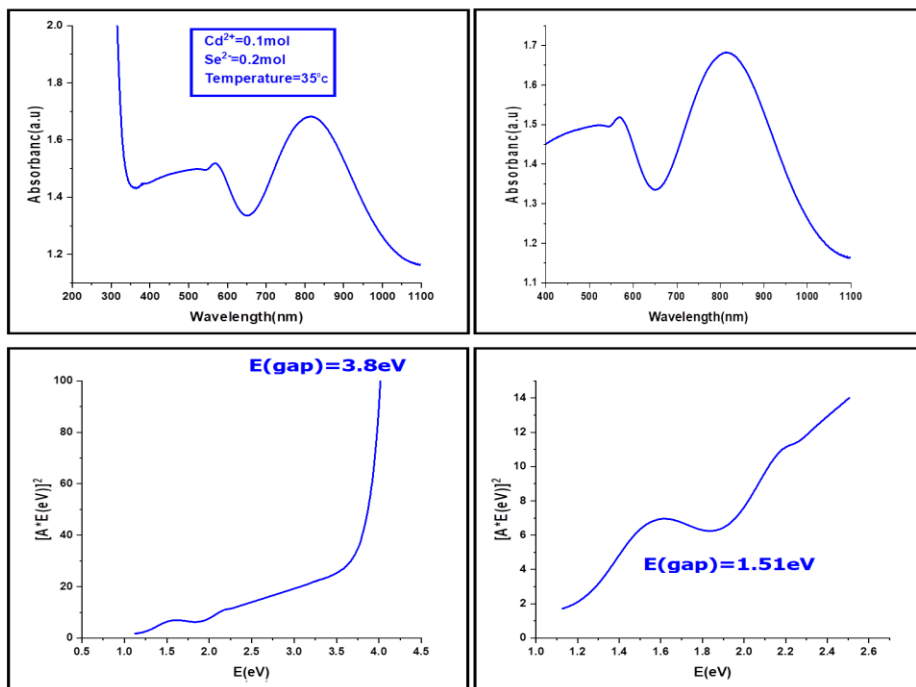
$$\alpha(\lambda) = (2.303 \times A(\lambda))/d \quad (7)$$

در این رابطه  $d$  و  $A$  به ترتیب ضخامت و جذب لایه هستند [19]. در پژوهش های پیشین، نشان داده شده است که هر لایه گاف انرژی نواری نوری منحصر به فردی دارد و گاف نواری با ضخامت های مختلف فرضی تغییری نمی کند [20-24]. در واقع گاف انرژی نوری را می توان بدون اندازه گیری ضخامت یا ضریب جذب و تنها با داشتن داده های طیف جذب تعیین کرد. از طرف دیگر، در این روش ضخامت غیر مؤثر (ITM) که برای تعیین گاف نواری به کار برده می شود، نیازی به فرضیات و اندازه گیری های اضافی نیست. اسپکتروسکوپی جذب اپتیکی رایجترین روش برای جست و جوی اثرات کوانتومی در نیمه رساناهای نانو ساختار است. با استفاده از روش ITM نتایج گاف نواری اپتیکی برآورد شدند و نمودار  $(A h\nu)^2$  بر حسب  $(h\nu)$  در شکل (۱) نشان داده شده است. برای لایه های نازک کادمیم سلنید به ازای مقادیر مختلف یون غیرفلزی سلنید بهترین برازش خطی با  $n$  برابر  $1/2$  بدست آمد. کنترل گاف انرژی نوری در این قسمت مربوط به تغییرات غلظت یون سلنیم است این نکته باید توضیح داده شود که بقیه پارامترها ثابت نگه داشته شده است. غلظت یون کادمیم، غلظت یون آمونیوم یا همان عامل کمپلکس ساز و دمای رسوبگیری همگی با تغییر غلظت سلنیم، ثابت نگه داشته شده است. نتیجه مهم این است با توجه به ثابت بودن همه پارامترهای تهیه، افزایش غلظت یون سلنیم به طور مستقیم گاف انرژی نواری را افزایش می دهد.





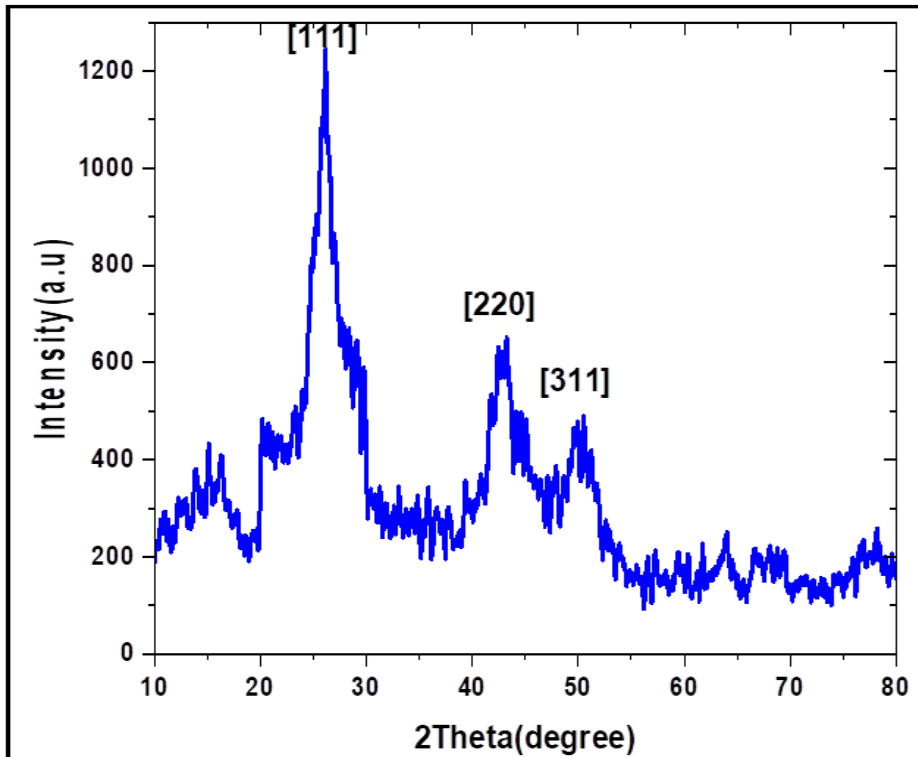




شکل ۱. نمودار جذب در مقابل طول موج و  $(A * E(h\nu))^2$  در مقابل  $E(eV)$  برای شرایط درج شده.

### ۳-۲- خواص ساختاری و مطالعه XRD

دو فاز بلوری مکعبی و شش ضلعی برای CdSe وجود دارد. نمونه های تهیه شده دارای پیک های مربوط به فاز مکعبی (گروه فضایی:  $Fm\bar{3}m$ ) با ثابت سلول  $a=b=c=0.6077$  نانومتر هستند که با JCPDS ۰۰-019-0191 مطابقت دارد. پیک های پراش در شکل نشان می دهد که لایه ها از ذراتی تشکیل شده اند که اندازه آنها در گستره نانومتر است زیرا عرض پیک در نیمه پهن شده است. ۳ شاخص میلر بلوری در محدوده ۱۰ تا ۹۰ درجه برای CdSe مکعبی، [۱۱۱] در  $25.6^\circ$ ، [۲۲۰] در  $42.7^\circ$  و [۳۱۱] در  $49.2^\circ$  وجود دارد. [۱۱۱] قله اصلی با شدت ۱۰۰٪ است. CdSe خالص آماده شده دارای سه شاخص میلر است که در تمام جهت بلوری رشد کرده است.



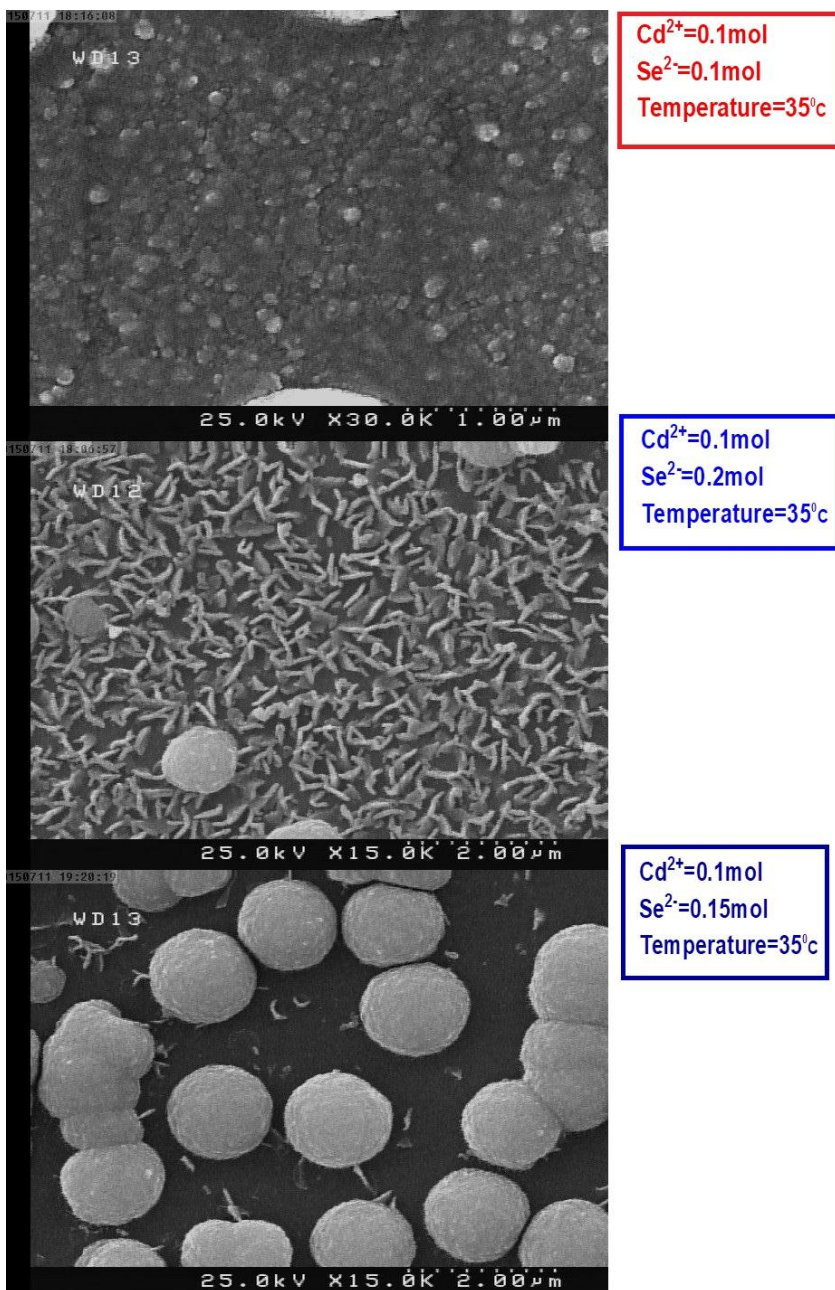
شکل ۲. الگوهای XRD برای CdSe با غلظت ۰.۲ مول سلنید

نکته مهم این است که کیفیت بلوری در لایه های با غلظت کم سلنیم آمورف هستند و پیک های مشاهده شده مربوط به لایه با غلظت ۰.۲ مول یون سلنیم است.

### ۳-۳- ریخت شناسی و مطالعه SEM

تصاویر SEM در شکل (۳) نشانگر برآورد اندازه ذره و ریخت شناسی لایه های نازک نانوساختار سلنید کادمیم، ساخت شده در غلظت های مختلف یون غیرفلزی سلنید است در حالی که غلظت یون فلزی کادمیم را ثابت نگه داشته ایم. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان می دهد که با تغییر غلظت یون سلنیم آرایش لایه ها تغییر می کند حتی شکل نانو ذرات نیز تغییر قابل توجهی دارد، یکی از علت های افزایش اندازه ذرات در غلظت ۰.۱۵ مول می تواند کاهش گاف انرژی در این

غلظت باشد و این نکته مهمی است زیرا خواص فیزیکی مانند رسانش الکتریکی به شدت به شکل و آرایش لایه ها بستگی دارد.



شکل ۳: تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای لایه های نازک با شرایط ثبت شده غلظت های مختلف یون غیرفلزی سلنید.

## ۶. نتیجه گیری

در این پژوهش، تأثیر یک عامل مهم، غلظت محلول اولیه یون سلنیم که یکی از مهمترین فاکتورهای تشکیل دهنده کادمیم سلنید است و مشاهده خواهد شد که تغییر غلظت این یون غیرفلزی نوع ساختار الکترونی ماده را به شدت تحت تأثیر خود قرار می دهد. بر خلاف روش های کند وپاش، در روش رسوبگیری از محلول شیمیائی، کنترل بالائی در تشکیل رسوبهای جامد با ترکیبهای مختلف ترکیبات دوتائی فلز و غیرفلز وجود دارد. نکته مهمی که باید به آن اشاره کنیم این است که گاف انرژی نوری ماده ای مانند کادمیم سلنید با ترکیب یک به یک مقدار ثابتی است و برابر ۱.۷۴ الکترون ولت در ساختار بلوری مکعبی است. در مواد نیمه رسانای توده ای این مقدار در کادمیم سلنید خالص تحت هیچ شرایطی تغییر نمی کند فقط در حالت نانو ساختار با کوچکتر شدن اندازه ذرات، گاف انرژی بزرگتر خواهد شد. ایده اصلی ما تغییر یون غیرفلزی برای دست یافتن به ترکیبات مختلف کادمیم و سلنید است و ساخت مواد با گاف های انرژی مختلف و مهندسی استوکومیتری لایه ها با آرایش های مورد نظر و کنترل کیفیت لایه های نازک نانو ساختار است. با محاسبه گاف انرژی از روش تاک مشاهده می شود که لایه های ناشناخته ای از ترکیبات کادمیم و سلنید تشکیل شده است که گاف انرژی آنها از ۱.۷۴ الکترون ولت کمتر است و ما باید پاسخ قانع کننده ای داشته باشیم. این مواد آمورف هستند و پراش اشعه ایکس کمی نمی کند ولی آنالیز EDX ترکیباتی با درصدهای بالای فلز و بسیار کمتر غیر فلز را نشان می دهد.

## ۶- تشکر و قدردانی

از آقای دکتر جمشیدی تشکر و قدردانی می شود

## ۷- تعارض منافع

نویسنده (گان) اعلام می دارند که در مورد انتشار این مقاله تضاد منافع وجود ندارد. علاوه بر این، موضوعات اخلاقی شامل سرقت ادبی، رضایت آگاهانه، سوء رفتار، جعل داده ها، انتشار و ارسال مجدد و مکرر توسط نویسندگان رعایت شده است.

## ۸- دسترسی آزاد

این نشریه دارای دسترسی باز است و اجازه اشتراک (تکثیر و بازآرایی محتوا به هر شکل) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را می دهد با تشکر از گیتی جمشیدی.

۹- منابع

- [1] Granitzer P., Rumpf K., *Nanostructured Semiconductors: From Basic Research to Applications*, Taylor & Francis Group, 2014.
- [2] Yi G.C., *Semiconductor Nanostructures for Optoelectronic Devices: Processing, Characterization and Applications*, Springer Berlin Heidelberg, 2012.
- [3] Thangaraju B., Kaliannan P., Spray pyrolytically deposited PbS thin films, *Semiconductor science and technology*, **15**, 849-856, 2000.
- [4] El-Menyawy E.M., Mahmoud G.M., Ibrahim R.S., Terra F.S., El-Zahed H., El Zawawi I.K., Structural, optical and electrical properties of PbS and PbSe quantum dot thin films, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **27**, 10070-10077, 2016.
- [5] Preetha K.C., Remadevi T.L., Band gap engineering in PbSe thin films from near-infrared to visible region by photochemical deposition method, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **25**, 1783-1791, 2012.
- [6] Bhat T.S., Vanalakar S.A., Devan R.S., Mali S.S., Pawar S.A., Ma Y.R., Hong C.K., Kim J.H., Patil P.S., Compact nanoarchitectures of lead selenide via successive ionic layer adsorption and reaction towards optoelectronic devices, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **27**, 4996-5005, 2016.
- [7] Hens Z., Kooij E.S., Allan G., Grandidier B., Vanmaekelbergh D., Electrodeposited nanocrystalline PbSe quantum wells: synthesis, electrical and optical properties, *Nanotechnology*, **16**, 339-343, 2005.
- [8] Kim S.J., *Nanostructured photovoltaic devices for next generation solar cell*, State University of New York at Buffalo, 2008.
- [9] Kumar S., Sharma T.P., Zulfequar M., Husain M., Characterization of vacuum evaporated PbS thin film, *Physica B: Condensed Matter*, **325**, 8-16, 2003.

- [10] Lincot D., Hodes G., *Chemical solution deposition of semiconducting and non-metallic films: proceedings of the international symposium*, Electrochemical Society, 2006.
- [11] Mane R.S., Lokhande C.D., Chemical deposition method for metal chalcogenide thin films, *Materials Chemistry and Physics*, **65**, 1-31, 2000.
- [12] Choi J.J., Lim Y.F., Santiago-Berrios ME.B., Oh M., Hyun B.R., Sun L., Bartnik A.C., Goedhart A., Malliaras G.G., Abruña H.D., Wise F.W., Hanrath T., PbSe nanocrystal excitonic solar cells, *Nano Letters*, **9**, 3749-3755, 2009.
- [13] Kamat P.V., Quantum dot solar cells. semiconductor nanocrystals as light harvesters, *The Journal of Physical Chemistry C*, **112**, 18737-18753, 2008.
- [14] Ma W., Luther J.M., Zheng H., Wu Y., Alivisatos A.P., Photovoltaic devices employing ternary  $PbS_xSe_{1-x}$  nanocrystals, *Nano Letters*, **9**, 1699-1703, 2009.
- [15] Dang H., *Nanostructured semiconductor device design in solar cells*, University of Kentucky, 2015.
- [16] Sargent E.H., *Infrared quantum dots*, *Advanced Materials*, **17**, 515-522, 2005.
- [17] Mertens K., *Photovoltaics: Fundamentals, Technology and Practice*, Wiley, 2018.
- [18] Zhang J., Gao J., Church C.P., Miller E.M., Luther J.M., Klimov V.I., Beard M.C., PbSe quantum dot solar cells with more than 6% efficiency fabricated in Ambient Atmosphere, *Nano Letters*, **14**, 6010-6015, 2014.
- [19] Brus L., Quantum crystallites and nonlinear optics, *Applied Physics A*, **53**, 465-474, 1991.
- [20] Hodes G., *Chemical solution deposition of semiconductor films*, Taylor & Francis Group, 2000.
- [21] Qiu W., Xu M., Yang X., Chen F., Nan Y., Zhang J., Iwai H., Chen H., Biomolecule-assisted hydrothermal synthesis of  $In_2 S_3$  porous films and

enhanced photocatalytic properties, *Journal of Materials Chemistry*, **21**, 13327-13333, 2011.

[22] Hussain R.A., Badshah A., Khan M.D., Haider N., Ial B., Khan S.I., Shah A., Comparative temperature and surfactants effect on the morphologies of FeSe thin films fabricated by AACVD from a single source precursor with mechanism and photocatalytic activity, *Materials Chemistry and Physics*, **159**, 152-158, 2015.

[23] Tauc J., Menth A., States in the gap, *Journal of Non-Crystalline Solids*, **8**, 569-585, 1972.

[24] Stach S., Sapota W., Talu S., Ahmadpourian A., Ghobadi N., Luna C., Arman A., Ganji M., 3-D surface stereometry studies of sputtered TiN thin films obtained at different substrate temperatures, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **28**, 2113-2122, 2016.

[25] Ghobadi N., Ganji M., Luna C., Arman A., Ahmadpourian A., The effects of DC power on the physical properties and surface topography of sputtered TiN nanostructured thin films, *Optical and Quantum Electronics*, **48**, 467-475, 2016.

[26] Yazdan Panah, M. R., Hosseini Moradi, S. A., Hatami, M., & Jouladeh Roodbar, H. (2021). Designing and Manufacturing Recyclable Metal Based Nanocomposites for Purification of Chemically Contaminated Waters. *Nashrieh Shimi va Mohandesi Shimi Iran*, 40(2), 51-59.

[27] Ghobadi N.; Derivation of ineffective thickness method for investigation of the exact behavior of the optical transitions in nanostructured thin films, *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **27**, 8951–8956, 2016.