

ویژگی ساختاری SnS خالص و لایه های نازک ایندیم-آلاییده SnS با استفاده از ایزوتروپی و مدل های ایزوتروپی

چکیدہ:

یک مسیر الکتروشیمیایی برای تهیه لایه های نازک ایندیم-آلاییده SnS و خالص SnS استفاده شده است. شش نمونه شامل لایه های نازک ایندیم-آلاییده SnS و ناآلاییده SnS در لایه شیشه ای اکسید قلع فلورین-آلاييده واقع مي شود. محلول آبي حاوى SnCl2 و Na2S2O3 به عنوان الكتروليت اوليه استفاده مي شود. نمونه های مختلف ایندیم-آلاییده SnS با افزودن مقدار متفاوت mM 1 محلول InCl3 به الکترولیت اول تهیه شدند. پتانسیل کاربردی(E) ، زمان رسوب(t) ، PH و درجه حرارت حمام (T) به ترتیب در ,T→ PH و درجه حرارت حمام (T) و بوب $60~^{\circ}{
m Co}_{2.1}$ حفظ می شود. برای همه نمونه ها، به جز غلظت ناخالص ساز –ایندیم، تمام پارامترهای رسوب 2.1يكسان هستند. يس از آماده سازي، يراش اشعه ايكس(XRD) ، ميكروسكوپ الكتروني اسكن انتشار ميداني. (FESEM)به همراه پیوستگی آنالیزگر اشعه ایکس پراکنده انرژی(EDX) ، میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) و ميكروسكوپ الكتروني انتقال (TEM) براي تعين خواص ساختاري لايه هاي رسوب شده استفاده مي شود. الگوهای XRD نشان داد که لایه های نازک ایندیم-آلاییده SnS و غیر آلاییده سنتز شده در ساختارار تورومبیک متبلورشده بود. شکل کریستال SnS در تصویر TEM کروی بود. مطالعات وسیع پیک اشعه ایکس با استفاده از روش شرر، مدل ویلیامسون هال (W-H) (شامل مدل تغییر شکل یکنواخت(UDM) ، مدل تغيير فشار يكنواخت (UDSM) و مدل تراكم تغيرشكل انرژى يكنواخت (UDEDM) و روش طرح ميزان فشار SSP انجام شد. با استفاده از این تکنیکها، اندازه کریستالیت و فشارهای شبکه پیش بینی شده است. توافق خوبی در اندازه ذرات حاصل شده توسط روش -W-H و SSP با تصویر TEM وجود دارد.

كلمات كليدى: SnS، رسوبد هي برقي، ويليام سان هال، اشعه ايكس، آلاييده، طرح ميزان-فشار

1.مقدمه

در سال های اخیر، سولفید قلع (SnS) ، با طیف وسیعی از کاربردهای مانند آشکارسازهای نزدیک به مادون قرمز، خازن های الکتروشیمیایی [1]، نوارضبط هولوگرافی، سلول های فتوولتائیک و باتری های لیتیومون، [2-8]توجه زیادی را به خود جلب کرده است. SnS نیمه هادی متعلق به گروه IV-VI ا دارای محور طول b با شبکه ثابت است

A=0.4321 nm, b=1.119 23nm, c=0.39838nm

آن ساختار لایه ای دارد. با توجه به شکل 1، SnSشامل دو لایه پیوند نیروی واندوالس ضعیف است که در آن اتمها با پیوند کواندنسیون محکم پیوند می خورند. SnS تنوعی از شکاف باند انرژی دارد که مربوط به روش آماده سازی است. شکاف پیوند SnS به عنوان SnS د V 2.3-9 برای شکاف پیوند مستقیم و 1.0-1.2 v برای شکاف پیوند غیر مستقیم گزارش شده است [10]. به دلیل ویژگی های منحصر به فرد SnS مانند ضریب جذب بالا (1-20 104 cm) غلظت حامل مناسب [9]، فراوانی در طبیعت، غیر سمی بودن و هزینه بهره وری، نامزد امیدبخشی برای استفاده در لایه جذب کن در برنامه های کاربردی سلول خورشیدی لایه های نازک بود. تکنیک های مختلف برای ترسیب SnS مانند رسوبگیری-پیرولیتیک اسپری[14-12]، پرتو مولکولی اپیتاژی (MBE) [21]. روش هیدروترمال [6، 7، 66]، رسوبگیری حمام شیمیایی [71-20]، تبخیر پرتو الکترون توجه به سادگی، هزینه بهره وری و قابلیت کنترل پارامترهای آن با دقت بالا روش خوبی است. همچنین این روش ارزان است [25].

برای برآورد اندازه ماده کریستالیت ، روش شرر استفاده می شود. به هرحال، دوعوامل ضروری شامل فشار ناهمگن و اثرات مفید برای به دست آوردن اندازه کریستالیت بررسی نمی شود.



شکل 1: آرایش Sn و S در شبکه SnS

بنابراین، روش SSP W-Hand تکنیکی متوسط برای برآوردهای بسیار واقع بینانه اندازه کریستالیت و فشارشبکه می باشد[26]. همانطور که می دانیم، پیک های پراکندگی به علت انحراف از بلورینگی کامل افزایش می یابد. از تجزیه و تحلیل عرض پیک، اندازه کریستالیت و فشارشبکه حاصل شود. اندازه ذرات تقریبا بزرگتر از اندازه کریستالیت به علت جمع شدن ساختارهای کریستالیت می باشد[27]. برای بدست آوردن بزرگتر از اندازه کریستالیت به علت جمع شدن ساختارهای کریستالیت می باشد[27]. برای بدست آوردن کریستالی و فشارشبکه حاصل شود. اندازه ذرات تقریبا بزرگتر از اندازه کریستالیت می باشد[27]. برای بدست آوردن کریستالی ماند را اندازه کریستالیت می باشد[27]. برای بدست آوردن مانزگتر از اندازه کریستالیت می باشد[27]. برای بدست آوردن ماند بزرگتر از اندازه کریستالیت به علت جمع شدن ساختارهای کریستالیت می باشد[27]. برای بدست آوردن جریستالی واقعی جدا از کریستال کامل، فشار شبکه ایجاد می شود. منابع فشار شبکه ای نواقص کریستالی مانند جابجایی ها، مرزهای دانه، اتصالات سه گانه، استرس های متخلخل، گسل های انباشته، تنش های انسجام، و غیره است. برخی از پارامترهای ساختاری مانند نیروی پیک ها، شدت پیک ها و تغیر موقعیت پیک ها بر اندازه کریستالیت و فشار شبکه با و قعیا و فشار شبکه به ترتیب بستگی به موقعیت پیک ها بر اندازه ای استان و فشار شبکه به ترتیب بستگی به موقعیت پیک ها داده ای اندازه ای اندازه کریستالیت و فشار شبکه به عنوان تابع 9، می توان با دو روش به نام های ویلیام سان–هال (W-H) و روش طرح فشار –شبکه (SSP) استفاده کرد.

در این کار، شش نمونه (شامل ایندیم-آلاییده SnS و ناآلاییده SnS) توسط رسوب الکتروشیمیایی از محلول آبی سنتز شده است. با استفاده از داده XRD، اندازه کریستالیت، فشار شبکه و سایر پارامترهای مرتبط با روش های UDEDM، UDSM، UDM و SSP حاصل شده است. مقادیر اندازه کریستالیتی که از روش شرر، روشهای Hand و SSP W دست آمده، توسط تصویر TEM تایید شد. متوجه شدیم که روش-SSP W هامط

2. تجربی

2.1 مواد و فرايند

لایه های نازک ایندیم-آلاییده SnS و خالص با استفاده از مسیر الکتروشیمیایی روی زیرلایه شیشه ای روکش دار اکسید قلع فلورین-آلاییده (FTO) رسوب می کند. ناحیه سطح مؤثر از زیرلایه FTO (به عنوان الکترود کار استفاده می شود) 1سانتیمتر × 1 سانتیمتر بود. ورق پلاتین و الکترودهای کالومل اشباع شده (SCE) (SnCl2 (2mM)) به ترتیب به عنوان آند و الکترود مرجع استفاده شدند. الکترولیت یک محلول آبی (2mM) SnCl2 (2mM) و (Mom) (SCE) ایندیم-ناخالصی را ارائه داد. با اضافه کردن و (30M) (30M) (30M) (30M) و محلول آبی (30M) (30M) و (30M) (30M) و (30M) و محلول آبی (30M) (30M) و (30M) و روز و محلول آبی (30M) و (30M) و (30M) و (30M) و روز و محلول آبی (30M) (30M) و (30M) و (30M) و روز و محلول آبی (30M) و (30M) و روز و محلول آبی (30M) و (30M) و (30M) و (30M) و روز و محلول آبی (30M) و (

(potentiostat, Autolab, A3ut71167, Netherlands) پتانسیل رسوب اعمال شده در V 1 ثابت نگه داشته شد. پس از فرایند رسوب، زیرلایه از حمام خارج و با آب مقطر شسته شد. رابطه زیر مکانیزم تشکیل SnS در الکترود کاتدی را نشان می دهد.

> $Sn^{2+} + 2e^{-} \rightarrow Sn$ $S_2O_3^{2-} + 2H^+ \rightarrow S + H_2SO_3$ $Sn^{2+} + S + 2e^{-} \rightarrow SnS$ (1)

با توجه به واکنش های بالا، Na2S2O3در واسطه های اسیدی ناپایدار است. بنابراین، جدا کردن گوگرد آسان است، و در نتیجه، + Sn2و S در کاتد (زیرلایه) برای تشکیل SnS کاهش می یابد. در این مطالعه، SnS خالص و لایه های نازک ایندیم-آلاییده SnS با استفاده از روش رسوبدهی برقی تهیه شد. SnS نا آلاییده به عنوان(0) ا ، و لایه های نازک ایندیم-آلاییده به عنوان .(5) ا- (1) ا نامیده می شود. با استفاده از تجزیه و تحلیل EDX ، درصد اتمی از ایندیم ناخالص ساز در نمونه های(1) ا ، (2) ا، (3) ا، (4) او (5) ا به ترتیب 1.30، 2.13، 2.59، 2.50 و 3.58 درصد به دست آمد.



شكل 2: الف) الكوى پراش اشعه ايكس لايه هاى نازك اينديم-آلاييده SnS و ب) پراش اشعه ايكس براى صفحه (111) [29].

2.2 ویژگی لایه ها

X'Pert- برای بررسی نوع فاز نمونه های رسوب شده، سیستم پراش سنج پراش اشعه ایکس (XRD) فیلیپ X'Pert-(MPD با تابش Cu-Kα مورد استفاده قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل عنصری توسط یک میکروسکوپ الکترونی اسکن انتشار میدانی TE-SCAN (FESEM) با پیوست یک تجزیه کننده اشعه ایکس پراکنده انرژی (AFM- ARA میکروسکوپ نیروی اتمی AFM- (AFA- ARA)) حاصل شد. توپوگرافی نمونه های رسوب شده توسط میکروسکوپ نیروی اتمی SnS استفاده شد. فوتولومینسانس دمای اتاق واریان کاری اکلیپس (PL) برای تجزیه و تحلیل خواص نوری نمونه های نانوساختار SnS استفاده شد.

3. نتايج و بحث

3.1تجزيه و تحليل XRD

آزمون پراش اشعه ایکس (XRD) روش ناپایداری قوی است که برای تشخیص فاز ساختاری از ترکیبات مختلف استفاده می شود. بنابراین، XRDیک روش منحصر به فرد در تعیین بلورینگی ترکیب است. شکل 2 (الف) الگوهای XRD توصیف شده از نمونه های رسوب شده را نشان می دهد. ساختار بلوری همه لایه های رسوب شده ارتورومبیک SnSباSco39-0354 بود. همانطور که در این شکل مشخص شد، نمونه های(0) I ، (1) I ، (2) I و (3) I در طول نمونه های (021) و (111) و نمونه های (4) I و (5) I در طول (101) و (040) رشد کردند. بنابراین، جالب است که تغییر در جهت گیری ترجیحی لایه های نازک ایندیم-آلاییده رسوب شده Sn با توجه به افزایش غلظت ایندیم ناخالص ساز مشاهده شده بود. همچنین هیچ اثری از In 2O3، و In 2O3، و In 2O3 یا سایر ناخالصی ها را نمی توان در تمام نمونه ها پیدا کرد. همانطور که در الگوی RD مشاهده می شود، با افزایش غلظت ناخالص ساز ایندیم، پیک کمتر شدید و گسترده تر می شوند که نشان دهنده کاهش در نمونه های بلوری می باشد. از این رو، آن افزایش قابل توجهی در نقایص کریستالی و ناسازگاری به تاوجه به ایندیم-آلاییده را نشان می دهد.

برای بهتر بررسی اثر ایندیم-آلاییده روی خواص ساختاری SnS ، نمودار θ I-2 برای (111) پیک پراش مفحه (شکل 2 ((b) از کلیه نمونه ها گرفته شده است. تغیر از (111) موقعیت پیک به θ 2 بالاتر به علت تغییر در شعاع یونی مؤثر بین (A Sn2) + Sn2 و (A O SN) + In3 شناسایی شده است.

شبکه های ثابت برای SnS های خالص و لایه های نازک ایندیم-آلاییده SnS با استفاده از رابطه زیر حاصل می شود [30] که (hkl) شاخص های میلر برای صفحاتی با شدت بیشتر، یعنی صفحه های (040)، (021)، (111)، وdkkl مسافت بین مسطح است. جدول 1 پارامترهای شبکه محاسباتی و پارامترهای ساختاری را برای Sn2خالص و نمونه های SnS ایندیم-آلاییده را خلاصه می کند. واضح است که جایگزینی + In3 برای Sn2 +در ساختار SnS منجر به کاهش حجم سلول واحد می شود. دلیل این پدیده، شعاع یونهای مؤثرتر + In3 است که با+ SnS مقایسه می شود، که باعث کاهش در dkkl و در نتیجه حجم سلول واحد می شود.

$$\frac{1}{d_{hkl}^2} = \frac{h^2}{a^2} + \frac{k^2}{b^2} + \frac{l^2}{c^2}$$
(2)

جدول 1: برخی از ویژگی های ساختاری SnS خالص و نمونه های ایندیم-آلاییده SnS ناشی از الگوهای XRD

می باشد.

					Latt			
Sample	20	$FWHM \times 10^4 rad$	Average FWHM $\times~10^4~rad$	$d_{\rm hkl}(\overset{\circ}{A})$	a	b	с	$V \overset{\circ_3}{A}$
I (0)	27.090	19.89	20.24	3.288 52	4,319 194	11,323 48	4.039 835	197.581
	31.305	16.40		2.8550 9				
	31.579	24.43		2.830 87				
I (1)	27.113	19.37	22.57	3.289 36	4.313 475	11.323 72	4.039 55	197.310
	31.330	16.92		2.853 07				
	31.604	31.41		2.830 49				
I (2)	27.095	21,29	22.92	3.288 39	4.310 066	11.321 96	4.041 669	197.227
	31.324	16.05		2.853 34				
	31.579	31.41		2.830 93				
I (3)	27.086	20.76	24.55	3.286 16	4.315 423	11,314 88	4.037 021	197.121
	31.327	16.23		2.852 87				
	31.584	36.65		2.828 72				
I (4)	27.060	38.39	27.10	3.281 21	4,259 288	11.166 12	3.997 455	190.117
	30.655	19.89		2.761 53				
	32.044	23.03		2.914 13				
I (5)	26.489	36.65	25.59	3.292 69	4,258 984	11.163 56	3.997 169	190.047
	30.654	19.19		2.830 99				
	32.036	20.94		2.790 89				



شکل 3: تناوب در پارامتهای شبکه SnS خالص و لایه های نازک SnS ایندیم-آلاییده

اثر ایندیم آلاییده بر روی پارامترهای شبکه لایه های نازک SnS در شکل 3 نشان داده شده است. همانطور که در این شکل آشکار بود، پارامترهای شبکه لایه های نازک SnS به دلیل ایندیم آلاییده افزایش یافته است. این وقوع به وضوح نشان می دهد که ناخالصی ایندیم جایگزین آلاییده در شبکه SnS می شود. با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی(AFM) ، بررسی های توپوگرافی نمونه های(0) I ، (1) Iو(2) I بیش از یک مساحت 6 μm 6 × μm انجام می شود. شکل 4 تصویر AFM از لایه های ذخیره شده را نمایش می دهد. شکل 4 نشان داد که افزایش در مقدار ناخالصی ایندیم در شبکه های SnS منجر به تغیر درریخت شناسی دانه مانند به صفحه های نازک رشد ستونی می شود. علاوه بر این، اندازه دانه از لایه های نازک SnS به دلیل ایندیم آلاییده ضعیف تر شد. بنابراین، تغییر در ریخت شناسی نانوساختارهای SnS ایندیم آلاییده نشان می دهد که ناخالصی ایندیم با موفقیت در شبکه SnS آلاییده شده است. 3.2اندازه و فشار کریستالیت

در این بخش، از روش های مختلف برای اندازه گیری اندازه کریستالیت و فشار شبکه استفاده می شود. این روش ها عبارتند از روش شرر،W-H (شامل UDEDM ،UDSM ،UDM) و روش SSP می باشد.



(a) I (0), (b) I (1), and (c) I (2) برای نمونه های AFM برای AFM برای نمونه های 4 (c) AFM (c) I (1), and (c) I (2)

3.2.1روش شرر

با استفاده از الگوهای XRD ، اندازه بلوری (D) از معادله شرر برآورد شده است [31، 32]،

$$D = \frac{K\lambda}{\beta_{hkl}\cos\theta_B} \tag{3}$$

Cu که K، D و طول موج اشعه ایکس تابش-K، B، و λ اندازه کریستالی هستند، شکل وابسته ثابت برابر با 0.94 و طول موج اشعه ایکس تابش-Ka (κ 0.154 056) که K α 0.154 056) دو θ زاویه (FWHM) ، و κ

اثر ابزاری از افزایش پیک یک نمونه مرجع (سیلیکون) ارزیابی می شود. بنابراین، با توجه به اثر سازنده، βhklرا می توان به صورت زیر بدست آورد: [31]

$$\beta_{hkl} = \sqrt{\beta_{hkl}^2(measured) - \beta_{hkl}^2(instrumental)}$$
(4)

معادله شرر را می توان با استفاده از βhkl اصلاح شده به شرح زیر تنظیم کرد.

$$D = \frac{k\lambda}{\beta_{hkl}\cos\theta} \Rightarrow \cos\theta = \frac{k\lambda}{D} \left(\frac{1}{\beta_{hkl}}\right)$$
(5)

اندازه کریستالیت (D) از شیب θ cos می نود به βhkl 1 / با استفاده از معادله (5) تخمین زده می شود. در نتیجه، مقدار شیب / kλ مقدار اندازه کریستالیت را نشان می دهد. شکل 5 طرح های شرر از لایه های نازک ایندیم آلاییده SnSنانوساختار و غیرآلاییده را نشان می دهد. مشخص است که اندازه کریستالیت D از SnS با توجه به ایندیم-آلاییده کاهش می یابد. همچنین کاهش در D لایه های نازک غیرآلاییده SnS پس از ایندیم-آلاییده می تواند به دلیل تغییر در شعاع یونی + Sn2و .+ In3 موثر باشد .بنابراین کیفیت کریستال SnS غیرآلاییده پس از ایندیم-آلاییده کاهش می یابد که می تواند به ناسازگاری شبکهٔ ایجاد شده نسبت داده شود.

W-H شيوه های **3.2.**2

طرح ویلیامسون-هول (W-H) و اندازه فشار (SSP) دو روش برای برآورد D و فشار شبکه می باشد. در این مقاله، سه مدل از روش W-H شامل UDSM ، UDSM ، و UDEDMبرای برآورد پارامترهای ساختاری استفاده می شود. مدل JUDM برای بررسی فشار یکنواخت در شبکه های بلوری پیشنهاد شد. در این روش، فرمول H-Wبر اندازه اثر گسترده و تاثیر گسترش فشار متکی است. اثر اندازه گسترده با فرمول) (βDS) دبی-فرمول H-Wبر اندازه اثر گسترده و تاثیر گسترش فشار متکی است. اثر اندازه گسترده با فرمول) (βDS) دبی-شرر معادله (3) توصیف می شود، در حالی که اصطلاح گسترش فشار از نقص و تحریف در شبکه های کریستال (معادله (6)) شروع می شود.

$$\beta_{\varepsilon} = C \varepsilon \tan \theta$$
 (6)

در معادله فوق، \Im یک حداکثر کشش یا فشار فشرده و C ثابت است که همانند 4 فرض می شود. رابطه فوق الذکراز دیفرانسیل معادله براگ $(n\lambda = 2d\sin heta_{
m B})$ در مورد فاصله d و زاویه پراش حاصل می شود. با توجه به

فشار شبکه به عنوان
$$\Delta d = 2\varepsilon$$
 بررسی و اصطلاح القاء کششی به شرح زیر حاصل می شود: [33]
$$\frac{\Delta d}{d} = \cot \theta \Delta \theta \Rightarrow \Delta(2\theta) = 2 \left| \frac{\Delta d}{d} \right| \tan \theta = 4\varepsilon \tan \theta$$
(7)

$$eta_{ ext{hkl}} = eta_{arepsilon} + eta_{ ext{DS}}$$
برای بدست آوردن ، معادله (8) به صورت زیر حاصل می شود [34]

$$\beta_{hkl} = \frac{k\lambda}{D.\cos\theta_B} + 4\varepsilon.\tan\theta$$
(8)
[31] (8)

$$\beta_{hkl} \cos\theta_B = \frac{k\lambda}{D} + 4\varepsilon.\sin\theta$$
(9)

$$eta_{hkl}.\cos heta$$
 با توجه به معادله (9)، D و Ξ حاصل می شود. مقادیر جدا -y در ($B_{hkl}.\cos heta=0$)و شیب $eta_{hkl}.\cos heta$



شکل 5 نمودارهای شرر از SnS خالص و نانو ساختار ایندیم آلاییده لایه های نازک SnS ، اندازه کریستالیتD

نمودار H–H از SnS خالص، و لایه های نازک ایندیم آلاییده SnSدر شکل 6 نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، به دلیل تفاوت در شعاع یونی مؤثر یونهای + Sn2 و یونهای + In3 با که در این شکل نشان داده شده است، به دلیل تفاوت در شعاع یونی مؤثر یونهای + Sn2 و یونهای + In3 با افزایش مقدار ناخالص −ایندیم در ساختار D ، SnS و ع نمونه های ایندیم آلاییده SnS به ترتیب کاهش و افزایش می یابد.

با توجه به مدول الاستیسیته مواد، هویت آنیزوتروپیک را نشان می دهد، فشار اندک در همه جهت کریستالوگرافی ثابت نیست. بنابراین، با توجه به ماهیت ناهمسانگردی مدول یانگ، روش های UDSM و UDEDM برای اندازه گیری خصوصیات ساختاری شبکه های بلوری استفاده می شود. در مدل UDSN، فرض شده است که تنش شبکه (σ) در تمام جهات کریستالوگرافی یکسان است. بنابراین، رفتار ناهمسانگردی مدول الاستیک مواد، مسئول عملکرد آنییزوتروپیک فشاراندک (همه) و تراکم انرژی (u) می باشد. [35]همانطورکه می دانیم، در منطقه تغییر شکل الاستیک، قانون هوک قابل استفاده و با توجه به این قانون، σ و ٤ دارای تغییرات خطی به یکدیگر هستند.

بنابراین استرس با استفاده از فرمول $\sigma = \varepsilon E_{hkl}$ حاصل می شود، که σ, ε , و Ehkl تنش شبکه، فشار شبکه و مدول الاستیک در مسیر عمودی به ترتیب برای صفحه های بلورین (hkl) شبکه های بلورین است. بنابراین

$$\varepsilon = \sigma/E_{hkl}$$
 معادله (9) با قرار دادن مقدار $\varepsilon = \sigma/E_{hkl}$ به شرح زیر اصلاح و حاصل می شود:
 β_{hkl} . $\cos \theta_B = \frac{k\lambda}{D} + \frac{4.\sin \theta}{E_{hkl}}\sigma$ (10)



شکل 6: طرح های ویلیامز هال UDM برای لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS و SnS نانوساختارخالص با توجه به معادله فوق، طرح UDSM با توجه به βcos θ در مقابل sin θ / Ehkl 4 طراحی شده است. بنابراین، D و ع بر اساس جدا -γ و شیب این طرح به ترتیب برآورد می شود. مدول یانگ در ساختارهای ارتورومبیک به شرح ذیل حاصل می شود:

[36]

$$\frac{1}{Y_{hkl}} = l_1^4 s_{11} + 2l_1^2 l_2^2 s_{12} + 2l_1^2 l_3^2 s_{13} + l_2^4 s_{22} + 2l_2^2 l_3^2 s_{23} + l_3^4 s_{33} + l_2^2 l_3^2 s_{44} + l_1^2 l_3^2 s_{55} + l_1^2 l_2^2 s_{66}$$
(11)

که ⁴ بردار واحد برای صفحه های خاص (hkl) وhkl، s12، s12، s22، s23، s23، s24، s55 و s66 به ترتیب انطباق الاستیک SnSبا مقادیر 11.92، -2.93، -4.32، 10.07، -8.22، 19.04، 19.46، 35.8 و 135.27⁻ (TPa) هستند. شکل 7 طرح های UDSM برای SnS خالص و لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS را نشان می دهد. نتایج فوق نشان داد که افزایش مقدار ایندیم-آلاییده در شبکه SnS باعث به ترتیب کاهش و افزایش درd و ع می شود. بنابراین، می توان گفت که استرس میکرو کششی در لایه نازک ایندیم آلاییده لایه ها ممکن است ناشی از ایجاد مرزهای دانه باشد [34].



شکل 7: لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS و طرح های SnS خالص UDSM

شکل دیگری از روش UDEDM، W-H است. در این روش، تراکم انرژی (u) در تمام جهات کریستالوگرافی بدون تغییر فرض می شود، در حالی که استرس تغییر شکل (σ) آنییزوتروپیک فرض می شود [35] . با توجه به قانون هوک در منطقه تغییر شکل الاستیک، چگالی انرژی (u) به عنوان $\frac{2}{E_{hld}}$ تعریف می شود. بنابراین، فرمول UDEDM با تغیر معادله (9) بدست می آید

$$\beta_{hkl}\cos\theta = k\lambda/D + \left(\frac{4\sin\theta}{(Y_{hkl}/2)^{1/2}}\right) \times u^{\frac{1}{2}}$$
(12)

همودارهای eUDEDM برای تخمین D و u توزیع شده است. منحنی های UDEDM با توجه βcos θ نمودارهای UDEDM الایه های نازک ایندیم در مقابل 1/2.4 (2 / Yhkl / 2) 1/2.4

آلاییده SnS و خالص SnS شکل 8 را نشان می دهد. در معادله (12) روشن و واضح بود که D و U به وسیله جدا Y و شیب تناسب برآورد می شوند. بر اساس معادله (12)، D و U با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود.

$$D = \frac{0.1448}{y - \text{intercept}} (\text{nm})$$
$$u = (slope)^2$$
(13)



شکل 8: لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS و طرح های SnS خالص UDSM

با توجه به مدل D ،UDEDM و U ناآلاییده SnS به ترتیب پس از ایندیم آلاییده کاهش و افزایش می یابد. همانطور که قبلا توضیح داده شد، معرفی یون 3+ با شعاع یونهای مؤثر مختلف در مقایسه با + Sn2 در شبکه SnS منجر به ایجاد عدم تطابق و ناقص در شبکه SnS می شود. بنابراین، آن تراکم انرژی را در شبکه کریستالین ایندیم آلاییده SnS افزایش می دهد. با توجه به قانون هوک، افزایش در تراکم انرژی سبب باعث افزایش فشار و تنش شبکه می شود.

ارزش محاسبه شده D از روش W-H از جمله UDSM ، UDSM، تعالیه خوبی با یکدیگر سازگار است. به این دلیل که وجود فشار در مدل های مختلف تجزیه و تحلیل W-H تاثیر اندکی بر میانگین لایه های نازک D از SnS دارد. همچنین، مقدار متوسط اندازه کریستالین بر نمونه های SnS ایندیم آلاییده از روش شرر برآورد می شود. و تجزیه و تحلیل W-H انحراف را نشان می دهد، که این به دلیل (I) اثر گسترده فشار و (2) تغییر در میانگین توزیع اندازه ذرات [27] است. نتایج مشابهی در [31} مشاهده می شود. 3.2.3روشSSPروش3.2.3

تکنیک طرح فشار اندازه (SSP) یکی دیگر از روش های مناسب برای بررسی D و ع است. در این روش، طبیعت کریستال ها ایزوتروپیک در نظر گرفته شده است [37]. علاوه بر این، مشخصات اندازه کریستال و مشخصات فشار به ترتیب توسط عملکرد لورنتزین و گاوسسی تعریف می شود [26]. با توجه به روشSSP ، معادله زیر برای توصیف رابطه بین ع و D [38] استفاده می شود.

$$(\beta_{hkl}.\cos\theta.d_{hkl})^2 = \frac{A}{D}(d_{hkl}^2.\beta_{hkl}.\cos\theta) + \left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^2$$
(14)

که Aثابت برابر با 3⁄4 ذرات کروی است.



شکل 9: طرح اندازه فشار (SSP) برای لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS و SnS خالص

با چیدمان ²(الماطر) (معابل β در مقابل β در مقابل ⁴هدام⁴ همانطور که در شکل 9 نشان داده شده (طرح SSP). D و ع از لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS و غیرآلاییده حاصل می شود. با توجه به شکل 9 و معادله (41)، D و ع را می توان از شیب و-۷ جدا بدست آورد که به ترتیب (0 = ²(الماطر)) است. نتایج استخراج شده از روش های شرر، H-Wو روش SSP در جدول 2 فهرست شد. علاوه بر این، مقادیر حاصل شده D و ع برای لایه های نازک ایندیم آلاییده SSP در جدول 2 فهرست شد. علاوه بر این، مقادیر حاصل شده D و ع برای لایه های نازک ایندیم آلاییده SSP و روش SSP خالص با استفاده از روش های شرر -H-W و SSP در شکل 10 مقایسه می شود. همانطور که در شکل 10 نشان داده شده است، با افزایش مقدار ایندییم خالص در شبکه SSP، کاهش و پس از آن، عافزایش یافت. با توجه به این واقعیت که با معرفی یونهای ایندیوم به شبکهSNS، شبکه با عدم همبستگی مربوط به شعاع یونهای مؤثر متفاوت یون های + Snle + Snle + Snle است. نتایج نشان داد که D حاصل شده از روش شرر کمتر از روش SSP است. آن می تواند به علت تاثیر ع رخ دهد که نشان دهنده اهمیت فشار شبکه می باشد [39]. در نتیجه، می توان گفت که سازگاری خوبی بین پارامترهای ساختاری حاصل شده از مدل ها MDDDDD بروش . SSP - Strain Str

جدول 2: پارامترهای ساختاری برای لایه های نازک ایندیم آلاییده و غیر آلاییده Sn و با استفاده از روش شرر، W-H وSSP .

			Williamson-Hall method											
	Scher- rer's meth-	UDM		UDSM		UDEDM			Size-Strain plot method					
Sample	D (nm)	D(nm)	$\varepsilon imes 10^{-4}$	D (nm)	$\epsilon \times 10^{-4}$	σ (MPa)	D (nm)	$\varepsilon imes 10^{-4}$	σ (MPa)	U(Kjm ⁻³)	D(nm)	$\varepsilon imes 10^{-4}$	σ(MPa)	U(Kjm ⁻³)
(0)	82	102	1.55	103.4	1.53	10.57	102.6	1.51	10.43	0.78	88.3	2.79	19.28	2.69
I (1)	64	100	1.62	101.2	1.59	10.99	99.1	1.59	10.99	0.87	80.6	3.13	21.63	3.38
I (2)	57	85	2.31	87.2	2.33	16.10	87.2	2.33	16.10	1.87	78.1	3.53	24.39	4.30
I (3)	54	77	2.33	77.0	2.36	16.31	76.6	2.34	16.17	1.89	73.7	3.62	25.02	4.52
I (4)	51	66	9.81	67.3	9.79	62.00	67.9	9.83	67.94	33.39	47.6	4.97	34,35	8.53
I (5)	53	75	7.68	77.0	7.64	47.51	77.4	7.65	52.87	20.22	48.8	4.17	28.82	6.00



شکل 10: مقایسه بین پارامترهای ساختاری SnS خالص و نمونه های ایندیم آلاییده SnS با استفاده از روش (u) های مختلف حاصل شد الف) اندازه بلوری D ب) تنش شبکه ε ج) تنش شبکه σ د) تراکم انرژی



شكل 11: تصوير TEM از نمونه ناآلاييده SnS

3.2.4. روش TEM

برای کشف واقعیت داده های به دست آمده از تجزیه و تحلیل XRD ، تجزیه و تحلیل TEM اعمال شد. تجزیه و تحلیل TEM برای لایه های نازک و تحلیل SnS برای برسی اندازه و شکل رسوب شده SnS عالی است. تصویر TEM برای لایه های نازک خالص SnS در شکل 11نشان داده شده است.در تصویر TEM واضح است که اندازه ذرات متوسط مطابق با میانگین D توسط تکنیک های SSP W-Hand ارزیابی شده است . PL 3.3.

PLیک آزمایش غیر مخرب برای بررسی کیفیت بلورین مواد و طیف PL می تواند اندازه گیری های XRD را تایید کند. دمای اتاق طیف PL از SnS های خالص و لایه های نازک ایندیم آلاییده -Sn درشکل 12 ارائه شده و طول موج عکسبرداری 350 نانومتر است.



شكل 12: طيف PL از نانوساختار خالص و لايه هاى نازك اينديم آلاييده SnS با طول موج هيجان انگيز 350

nm(3.54 eV).



شکل 13. ویژگی های I-V از لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS و ناآلاییده SnS

همانطور که در این شکل مشخص است، دو پیک انتشار شامل پیک انتشار آبی در 482 نانومتر و پیک انتشار سبز در 559 نانومتر برای تمام نمونه ها است. بنابراین،

لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS به عنوان منتشرکننده آبی و / یا سبز و یا دستگاه های دیگر به علت نوارهای انتشار آبی و سبز استفاده می شود. بر اساس تحقیقات ما، این نوارهای انتشار ممکن است به علت تراکم بالا گوگرد، جای خالی قلع، درون شبکه ای قلع و گسل های انباشته رخ دهد [40، 41]. لیو و همکاران دو پیک را در 365 و 465 نانومتر برای نانوذرات SnO2 مشاهده کردند که در اوج 464 نانومتر مربوط به فضای خالی اکسیژن است [42]. پیک انتشار آبی مشاهده شده همانند آنچه در [40، 41] گزارش و انتشار سبز شبیه آنچه که در منبع [44] مطالعه همانطور که در جریان نشان داده شده است، انتشار باند SnSبه 824 نانومتر رسانده شد (حدود EV1.5). همانطور که در شکل 12 روشن است، در مقایسه با لایه های نازک خالص SnS، شدت PL نمونه های ایندیم آلاییده SnS کاهش یافت که نشان داد کیفیت بلورین ایندیم آلاییده SnS کاهش می یابد. این مشاهده با الگوهای RD مناسب است.

.3.4خواص الكتريكي

به منظور بررسی اثر خواص ساختاری بر رفتار الکتریکی لایه های ناز SnS ، منحنی های ولتاژ جریان (V-I) (شکل 13) از لایه های ناز ک ایندیم آلاییده SnS و غیر آلاییده SnS تحت وضعیت محیط طراحی شده است. رفتار شاتکی در مشخصه جریان ولتاژ برای تمام نمونه ها مشاهده شد. با توجه به شکل 13، با اضافه کردن غلظت در شبکه SnS ، در همان ولتاژ ما جریان کمتری داریم، به معنای افزایش در مقاومت الکتریکی لایه های ناز ک SnS می باشد. همانطور که در نتایج XRD نشان داده شده، کیفیت بلوری لایه های ناز SnS پس از ناز ک SnS می باشد. همانطور که در نتایج XRD نشان داده شده، کیفیت بلوری لایه های ناز SnS پس از ایندیم آلاییده کاهش یافته است. محیط قرار که در نتایج SnS نشان داده شده، کیفیت بلوری لایه های ناز SnS پس از ایندیم آلاییده کاهش یافته است. همچنین تراکم جابجایی، مرزهای دانه، فشار شبکه و تنش شبکه لایه های ناز ک ایندیم آلاییده SnS در مقایسه با لایه های ناز ک ناآلاییده SnS افزایش یافته است. از این رو، حمل و نقل حامل الکتریکی به علت ایندیم آلاییده در شبکه SnS دشوارتر می شود. در نتایج منحنی VI نای SnS در مقای و SnS در مقایسه با لایه های ناز ک ناآلاییده SnS افزایش یافته است. از این رو، حمل و نقل SnS در ایندیم آلاییده SnS در مقای های ناز ک SnS در منایم در تایج SnS در تراکی جایم مرزهای دانه، فشار شبکه و تنش شبکه لایه های ناز ک ایندیم آلاییده SnS در مقایسه با لایه های ناز ک SnS در می شود. در نتیجه، نتایج منحنی V-I نتایج حامل الکتریکی به علت ایندیم آلاییده در شبکه SnS دشوارتر می شود. در نتیجه، نتایج منحنی V-I نتایج تجزیه و تحلیل XRD را تایید می کند.

4. نتیجه گیری

شش نمونه رسوب شده شامل SnS خالص و لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS توسط روش رسوبدهی برقی بر روی زیرلایه FTO سنتز شده است. نتایج الگوهای XRD به وضوح نشان داد که تمام لایه های نازک رسوب شده پلی کریستالی ارتورومبیک بودند. در این تحقیق، بررسی ها گسترده خطی در مورد لایه های نازک ایندیم آلاییده SnS و SnS خالص انجام شده است. بنابراین، روش های شرر، فرم های اصلاح شده H-W (UDM) و SSP برای تجزیه و تحلیل گسترش خطی SnS خالص و SnS ایندیم آلاییده (با غلظت های مختلف ایندیم ناخالص) استفاده شده است. نتایج به دست آمده از این روش ها نشان می دهد که افزایش در مقدار ناخالصی ایندیم در شبکه SnS منجر به کاهش در اندازه بلوری و افزایش در فشار شبکه می شود. به علت تغییر در شعاع یونی مؤثر یون های + In3 و SnS اتفاق افتاده است. از این رو، جایگزینی + In3 برای + SnS در شبکه SnS منجر به ایجاد ناسازگاری در شبکه کریستال SnS می شود. این شبکه ناسازگار مسئول کاهش کیفیت کریستالین و افزایش فشار در شبکه است. علاوه بر این، نتیجه تصویر TEM نتایج حاصل شده ما را تایید می کند.

References

- Kois J, Bereznev S, Maricheva J and Revathi N 2017 Electrochemical and photoelectrochemical characterization of SnS photoabsorber films Materials Science in Semiconductor Processing 58 76–81
- [2] Fang Z, Wang Q, Wang X, Fan F, Wang C and Zhang X 2013 Uniform hierarchical SnS microspheres: solvothermal synthesis and lithium ion storage performance Mater. Res. Bull. 48 4935–41
- [3] Zhu J, Wang D and Liu T 2013 Preparation of tin sulfide-graphene composites with enhanced lithium storage Appl. Surf. Sci. 282 947–53
- [4] Tao H-C, Yang X-L, Zhang L-L and Ni S-B 2014 One-step in situ synthesis of SnS/graphene nanocomposite with enhanced electrochemical performance for lithium ion batteries J. Electroanal. Chem. 728 134–9
- [5] Lefebvre I, Lannoo M, Moubtassim M E, Fourcade J O and Jumas J-C 1997 Lithium insertion in three-dimensional tin sulfides Chem. Mater. 9 2805–14
- [6] Manukumar K N, Nagaraju G, Kishore B, Madhu C and Munichandraiah N 2018 Ionic liquid-assisted hydrothermal synthesis of SnS nanoparticles: electrode materials for lithium batteries, photoluminescence and photocatalytic activities *Journal of Energy Chemistry* 27 806–12
- [7] Li K, Yan S, Lin Z and Shi Y 2016 Facile solution synthesis of tin sulfide nanobelts for lithium-ion batteries J. Alloys Compd. 681 486-91
- [8] Lu L, Zhang L, Zeng H, Xu B, Wang L and Li Y 2017 Enhanced cycling performance of Se-doped SnS carbon nanofibers as negative electrode for lithium-ion batteries J. Alloys Compd. 695 1294–300
- [9] Kang J-Y, Kwon S-M, Yang S H, Cha J-H, Bae J A and Jeon C-W 2017 Control of the microstructure of SnS photovoltaic absorber using a seed layer and its impact on the solar cell performance J. Alloys Compd. 711 294–9
- [10] Kabiri Samani N, Dehghani Tafti Z, Bioki H A, Zarandi M B and Shayegh S 2017 Annealing effect on structural and optical constants of SnS thin films for solar cells application Optik—International Journal for Light and Electron Optics 131 231–41
- [11] Kafashan H, Azizeh M and Balak Z 2017 Electrochemical synthesis of nanostructured Se-doped SnS: Effect of Se-dopant on surface characterization Appl. Surf. Sci. 410 186–95
- [12] Andrade-Arvizu J A, García-Sánchez M F, Courel-Piedrahita M, Pulgarín-Agudelo F, Santiago-Jaimes E, Valencia-Resendiz E, Arce-Plaza A and Vigil-Galán O 2016 Suited growth parameters inducing type of conductivity conversions on chemical spray pyrolysis synthesized SnS thin films Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 121 347–59
- [13] Ninan G G, Kartha C S and Vijayakumar K P 2016 Spray pyrolysed SnS thin films in n and p type: optimization of deposition process and characterization of samples Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 120 121–5
- [14] Polivtseva S, Katerski A, Kärber E, Oja Acik I, Mere A, Mikli V and Krunks M 2017 Post-deposition thermal treatment of sprayed SnS films Thin Solid Films 633 179–84
- [15] Wang W, Leung K, Fong W, Wang S, Hui Y, Lau S, Chen Z, Shi L, Cao C and Surya C 2012 Molecular beam epitaxy growth of high quality p-doped SnS van der Waals epitaxy on a graphene buffer layer J. Appl. Phys. 111 093520
- [16] Ali S, Wang F, Zubair Iqbal M, Ullah Shah H and Zafar S 2017 Hydrothermal synthesis, characterization and optical properties of SnS prismatic nanorods Mater. Lett. 206 22–5
- [17] Reghima M, Akkari A, Guasch C, Castagné M and Kamoun-Turki N 2013 Synthesis and characterization of Fe-doped SnS thin films by chemical bath deposition technique for solar cells applications Journal of Renewable and Sustainable Energy 5 063109
- [18] Reghima M, Akkari A, Guasch C and Kamoun-Turki N 2012 Effect of indium doping on physical properties of nanocrystallized SnS zinc blend thin films grown by chemical bath deposition Journal of Renewable and Sustainable Energy 4 011602
- [19] Akkari A, Reghima M, Guasch C and Kamoun-Turki N 2012 Effect of copper doping on physical properties of nanocrystallized SnS zinc blend thin films grown by chemical bath deposition J. Mater. Sci. 47 1365–71
- [20] Jing J, Cao M, Wu C, Huang J, Lai J, Sun Y, Wang L and Shen Y 2017 Chemical bath deposition of SnS nanosheet thin films for FTO/ SnS/CdS/Pt photocathode J. Alloys Compd. 726 720–8
- [21] Gedi S, Reddy V R M, Kang J-Y and Jeon C-W 2017 Impact of high temperature and short period annealing on SnS films deposited by E-beam evaporation Appl. Surf. Sci. 402 463–8
- [22] Henry J, Mohanraj K, Kannan S, Barathan S and Sivakumar G 2013 Effect of selenium doping on structural and optical properties of SnS: se thin films by electron beam evaporation method The European Physical Journal-Applied Physics 61 10301
- [23] Tsukigase H, Suzuki Y, Berger M-H, Sagawa T and Yoshikawa S 2011 Synthesis of SnS nanoparticles by SILAR method for quantum dot-sensitized solar cells J. Nanosci. Nanotechnol. 11 1914–22
- [24] Kafashan H, Azizeh M and Nasri Vatan H 2016 Ultrasound-assisted electrodeposition of SnS: Effect of ultrasound waves on the physical properties of nanostructured SnS thin films J. Alloys Compounds 686 962–8
- [25] Kafashan H, Jamali-Sheini F, Ebrahimi-Kahrizsangi R and Yousefi R 2016 Influence of growth conditions on the electrochemical synthesis of SnS thin films and their optical properties Int. J. Miner. Metall. Mater. 23 348–57
- [26] Sivakami R, Dhanuskodi S and Karvembu R 2016 Estimation of lattice strain in nanocrystalline RuO2 by Williamson–Hall and size– strain plot methods Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 152 43–50
- [27] Yogamalar R, Srinivasan R, Vinu A, Ariga K and Bose A C 2009 X-ray peak broadening analysis in ZnO nanoparticles Solid State Commun. 149 1919–23
- [28] Kafashan H, Jamali-Sheini F, Azizeh M, Balak Z, Cheraghizade M and Nasiri Vatan H 2017 Electrochemical deposition of nanostructured SnS_{1-x}Te_x thin films and their surface characterization J. Alloys Compunds 694 1338–47
- [29] Kafashan H and Balak Z 2017 Preparation and characterization of electrodeposited SnS: in thin films: effect of In dopant Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 184 151–62
- [30] Kafashan H, Ebrahimi-Kahrizsangi R, Jamali-Sheini F and Yousefi R 2016 Effect of Al doping on the structural and optical properties of electrodeposited SnS thin films *Physica Status Solidi* (a) 213 1302–8

- [31] Aly K A, Khalil N M, Algamal Y and Saleem Q M A 2016 Lattice strain estimation for CoAl₂O₄ nano particles using Williamson-Hall analysis J. Alloys Compd. 676 606–12
- [32] Kafashan H, Jamali-Sheini F, Ebrahimi-Kahrizsangi R, Yousefi R and Jeon C-W 2016 Nanostructured SnS_{1-x}Te_x thin films: Effect of Te concentration and physical properties J. Alloys Compounds 681 595–605
- [33] Burton A W, Ong K, Rea T and Chan I Y 2009 On the estimation of average crystallite size of zeolites from the Scherrer equation: a critical evaluation of its application to zeolites with one-dimensional pore systems *Microporous and Mesoporous Materials* 117 75–90
- [34] Thandavan T M K, Gani S M A, San Wong C and Nor R M 2015 Evaluation of Williamson–Hall strain and stress distribution in ZnO nanowires prepared using aliphatic alcohol J. Nondestruct. Eval. 34 14
- [35] Madhu G, Bose V C, Maniammal K, Aiswarya Raj A S and Biju V 2013 Microstrain in nanostructured nickel oxide studied using isotropic and anisotropic models *Physica B: Condensed Matter* 421 87–91
- [36] Nye JF 1985 Physical Properties of Crystals: their Representation by Tensors and Matrices (Oxford: Oxford University Press)
- [37] Khorsand Zak A, Yousefi R, Majid W H A and Muhamad M R 2012 Facile synthesis and x-ray peak broadening studies of Zn1-xMgxO nanoparticles Ceram. Int. 38 2059–64
- [38] Yousefi R, Zak A K and Jamali-Sheini F 2013 Growth, x-ray peak broadening studies, and optical properties of Mg-doped ZnO nanoparticles *Materials Science in Semiconductor Processing* 16 771–7
- [39] Khorsand Zak A, Majid W H A, Ebrahimizadeh Abrishami M, Yousefi R and Parvizi R 2012 Synthesis, magnetic properties and x-ray analysis of Zn0.97X0.03O nanoparticles (X = Mn, Ni, and Co) using Scherrer and size–strain plot methods Solid State Sciences 14 488–94
- [40] Zhao Y, Zhang Z, Dang H and Liu W 2004 Synthesis of tin sulfide nanoparticles by a modified solution dispersion method Materials Science and Engineering: B 113 175–8
- [41] Sohila S, Rajalakshmi M, Muthamizhchelvan C, Kalavathi S, Ghosh C, Divakar R, Venkiteswaran C N, Muralidharan N G, Arora A K and Mohandas E 2011 Synthesis and characterization of SnS nanosheets through simple chemical route *Mater. Lett.* 65 1148–50
- [42] Liu J and Xue D 2010 Sn-based nanomaterials converted from SnS nanobelts: facile synthesis, characterizations, optical properties and energy storage performances *Electrochim. Acta* 56 243–50
- [43] Yue G, Lin Y, Wen X, Wang L, Chen Y and Peng D 2012 Synthesis and characterization of the SnS nanowires via chemical vapor deposition Appl. Phys. A 106 87–91
- [44] Devika M, Koteeswara Reddy N, Prashantha M, Ramesh K, Venkatramana Reddy S, Hahn Y and Gunasekhar K 2010 The physical properties of SnS films grown on lattice-matched and amorphous substrates *Phys. Status Solidi* (a) 207 1864–9