Nanoscale
www.nanomeghyas.ir
نانومقیاس

بررسی نظری عملکرد نانوساختار SnS_2 بعنوان لایه بافر در سلول خورشیدی $CuIn_{1-x}Ga_xS(e)_2$ و مقایسه آن با CdS

مریم حقیقی[۱] | مهران مین‌باشی[۲] | نیما تقوی نیا[۱،۳*] | سید محمد مهدوی[۱،۳] | امیرحسین احمدخان کردبچه[۲]

[۱] پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
[۲] دانشکده فیزیک، دانشگاه علم و صنعت، تهران
[۳] دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

چکیده: در این مقاله، ابتدا سلول خورشیدی CIGS(e) با نسبت مختلف Ga/Ga+In بر اساس داده های تجربی با استفاده از نرم افزار SCAPS مدلسازی شده است. سپس، ترکیب SnS_2 بعنوان بافری مناسب جهت حذف ترکیب سمی CdS مطرح شده است. با توجه به نتایج مدلسازی، SnS_2 ماده ای بسیار مناسب جهت جایگزینی با ماده سمی CdS می باشد.

واژگان کلیدی: سلول خورشیدی CIGS(e)، نرم افزار SCAPS، لایه بافر، لایه نانوساختار SnS_2، خمش نوار رسانش.

taghavinia@sharif.edu

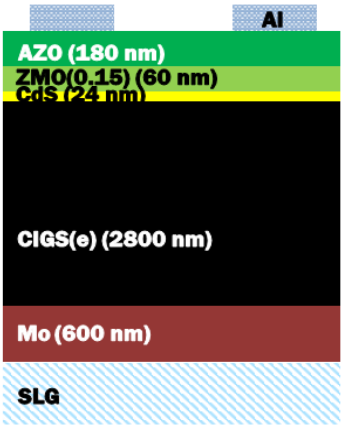
۱-مقدمه

عواملی مانند آلودگی زمین و کمبود منابع انرژی، بشر را ملزم به کاهش مصرف انرژی و حفاظت از محیط زیست کرده‌است. بهترین راه، بهره‌برداری از منبع انرژی خورشیدی تجدیدپذیر می‌باشد [۳-۱]. سلول‌های خورشیدی بس بلور لایه نازک $CuInS(e)_2$ (CIS(e)) و آلیاژ $CuIn_{1-x}Ga_xS(e)_2$ (CIGS(e)) موادی با گاف نواری مستقیم می‌باشند. این کالکوژن‌ها دارای ضرایب جذب بسیار بالا هستند که برای جذب بخش قابل توجهی از تابش خورشید، فقط نیازمند به لایه‌های بسیار نازک (۲-۱ میکرومتر) می‌باشند. علاوه بر این، CIS(e)/CIGS(e) دارای راندمان بالا، پایداری طولانی مدت و پتانسیلی برای تولید و فرآوری کم هزینه هستند [۴]. همترازی نامناسب نوار رسانش بین لایه جاذب و لایه بافر یکی از عوامل کاهش V_{OC} در سلول می‌باشد. بطورکلی، خمش نوار رسانش (CBO) در فصل مشترک جاذب و بافر می‌تواند به سه صورت flat، spike و cliff باشد که مناسبترین آنها spike است [۷-۵]. اگر خمش نوار رسانش از نوع spike باشد، درواقع، سد پتانسیلی در فصل مشترک ایجاد می‌شود که ارتفاع آن مهم است. زیرا این سد پتانسیل، همانطور که از بازترکیب بین الکترون-های نوار رسانش لایه بافر و حفره‌های نوار ظرفیت جاذب، جلوگیری می‌کند[۷-۵]، می‌تواند بدلیل ایجاد یک سد بلند در برابر الکترون‌های تولیدشده، J_{SC} و FF و در نتیجه عملکرد سلول را کاهش دهد [۷]. بطورکلی، در حالت spike، cliff و flat، سد پتانسیل flat احتمال بازترکیب الکترون‌های نوار رسانش لایه بافر و حفره‌های نوار ظرفیت جاذب، افزایش می‌یابد [۷-۵]. بطور معمول در ساختار سلول خورشیدی CIGS(e)، CdS به عنوان لایه بافر استاندارد پذیرفته شده است [۸ و ۹]. اما خطر زیست محیطی حاصل از بکارگیری CdS در استفاده گسترده تکنولوژی فوتوولتاییک CIGS(e) امری غیرقابل چشم‌پوشی است [۱۲-۱۰]. البته بیشترین بازدهی این سلول خورشیدی (۲۲/۹٪) نیز با

تاریخ دریافت : ۱۳۹۵/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش : ۱۳۹۷/۰۳/۲۵

لایه بافر CdS می‌باشد [۱۳].

در این مقاله، ابتدا سلول خورشیدی CIGS(e) بصورت گرادیانی از نسبت مختلف Ga/Ga+In (GGI) بر اساس داده های تجربی با استفاده از نرم افزار SCAPS مدلسازی شده است. در این مدلسازی پارامترهای لایه جاذب مانند گاف نواری، الکترونخواهی، نسبت ترکیب مواد و چگالی حامل‌های حفره بر حسب تابعی از ضخامت لایه جاذب، بر اساس داده‌های تجربی مدل شده اند تا مدل، نزدیک



شکل۱: طرحواره‌ای از سطح مقطع ساختار سلول خورشیدی CIGS(e)

به شرایط واقعی سلول شود. در ادامه، مقایسه‌ای بین ماده SnS_2 بعنوان ماده‌ای جایگزین بافر و CdS انجام شده است.

ترکیب SnS_2 به عنوان یکی از مهم ترین مواد کالکوژن فلزی است که خصوصیات نوری و الکتریکی بسیار مشابهی با ماده CdS دارد. گاف نواری این ماده نیمه‌هادی نوع-n، غیرمستقیم و در بازه ۱/۸۲ – ۲/۸۸ eV گزارش شده است [۱۶-۱۴ و ۱۰]. از جمله مزایای این ماده نسبت به ماده تجاری و مرسوم CdS، غیرسمی و ارزان بودن است [۱۶-۱۴ و ۱۰]. برای ساخت این ماده از روش های مختلفی مانند رسوب حمام شیمیایی [۱۷]، فرآیند هیدروترمال [۱۵] و اسپری پیرولیز [۱۸ و ۱۹] استفاده می‌شود. تاکنون از این ماده بعنوان لایه بافر در سلول خورشیدی CIGS(e) استفاده نشده است.

جدول۱: نتایج تجربی سلول CIGS(e) مدلسازی شده

CIGS(e)/CdS	
eff (%)	22.00
V_{OC} (V)	0.734
J_{SC} (mA/cm²)	36.90
FF (%)	81.00
R_{SL} (Ω.cm²)	0.45
R_{Sh} (kΩ.cm²)	12.50

۲- مدلسازی

طرحواره‌ای از سطح‌مقطع سلول خورشیدی CIGS(e) تجربی بر اساس نتایج گروه پاوالا [۲۰ و ۲۱] در شکل ۱ نمایش داده شده است. در مدلسازی نیز ساختار به همین صورت در نظر گرفته شده است. در این مدل، ساختار سلول به صورت (Mo/$MoSe_2$/CIGS(e)/CdS/ZMO(0.15)/AZO/Al) می‌باشد. مولیبدن بعنوان کانتکت پشتی، ترکیب CIGS(e) بعنوان‌لایه جاذب، CdS در نقش لایه بافر، ZnMgO (ZMO(0.15)) بعنوان لایه پنجره با مقاومت بالا ، Al:ZnO بعنوان لایه اکسید رسانای شفاف و آلومینیوم بعنوان اتصال جلویی سلول به کار گرفته شده است. جزییات بیشتر از ساختار این سلول خورشیدی در مرجع ۲۱ بیان شده است. مدلسازی بر اساس نتایج تجربی حاصل از سلول خورشیدی $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ با بازدهی

جدول۲: مقادیر پارامترهای ورودی لایه‌های مختلف CIGS(e)[۲۰-۲۹]

Parameter and units	Buffer (CdS)	Buffer (SnS_2)	Window (ZMO(0.15))	AZO
Thickness (nm)	24	24	60	180
Electron affinity (eV)	4.20	4.33	4.18	4.6
Bandgap (eV)	2.4	2.27	3.49	3.6
Dielectric permittivity (relative)	10.0	17.7	9	9
CB effective density of states (cm⁻³)	1×10^{18}	7.32×10^{18}	2.2×10^{18}	2.2×10^{18}
VB effective density of states (cm⁻³)	1×10^{19}	1×10^{19}	1.8×10^{19}	1.8×10^{19}
Electron mobility (cm²/Vs)	100	50	100	100
Hole mobility (cm²/Vs)	25	25	25	31
Shallow uniform donor density N_D(cm⁻³)	1×10^{18}	6.14×10^{18}	1×10^{18}	0
Shallow uniform acceptor density N_A(cm⁻³)	0	0	0	1.0×10^{20}

جدول۳: جزییات پارامترهای ورودی لایه جاذب $CuIn_{1-x}Ga_xS(e)_2$[۲۰،۲۱]

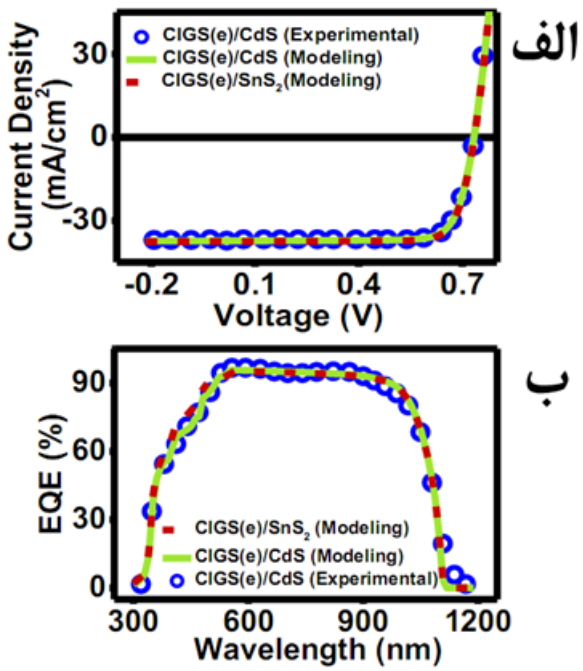
Parameter and units			Composition Dependence P
Thickness (μm)	2.8		
Composition y at left and right side of layer	pure $CuInSe_2$ (y = 0)	pure $CuGaSe_2$ (y = 1)	From Exp File
Bandgap (eV)	1.035	1.675	Parabolic (bowing parameter=0.15)
Electron affinity (eV)	4.5	3.86	Parabolic (bowing parameter=-0.15)
Dielectric permittivity (relative)	10.0	13.6	Uniform
CB effective density of states (1/cm³)	2.2×10^{18}	2.2×10^{18}	Uniform
VB effective density of states (1/cm³)	1.8×10^{19}	1.8×10^{19}	Uniform
Electron mobility (cm²/Vs)	100	100	Uniform
Hole mobility (cm²/Vs)	25	25	Uniform
Shallow uniform donor density N_D (1/cm³)	0	0	-
Shallow uniform acceptor density N_A (y) (1/cm³)	7.5×10^{16}	4×10^{15}	Beta Function (a=900 , b=11
Absorption constant A (1/cm eV$^{(1/2)}$)	3.7×10^{4}	3.7×10^{4}	-
Absorption constant B (eV$^{(1/2)}$/cm)	0	0	-
Defect type	Double Single Donor		
Capture cross section electrons (cm²)	4.0×10^{-16}	4.0×10^{-15}	-
Capture cross section holes (cm²)	4.0×10^{-14}	4.0×10^{-13}	-
Energy level with respect to Reference (eV)	0.26	0.34	--

۲۲٪ انجام شده که بطور خلا صه در جدول ۱ آورده شده ا ست. همچنین مقادیر ورودی برای لایه‌های جاذب، ZMO و AZO بر ا ساس مراجع ۲۰ و ۲۱ انجام شده ا ست. جزییات مقادیر ورودی برای لایه های مختلف در جدول ۲ آورده شده است. پس از اعتبار سنجی مدل، لایه بافر CdS با ماده SnS_2 جایگزین شده و مجددا مدلسازی انجام شد، بطوریکه مقادیر پارامترهای مختلف SnS_2 از جمله گاف نواری [۲۲]، الکترونخواهی [۲۷-۲۲]، چگالی حالات موثر نوار رسانش[۲۸ و ۲۹]، چگالی حامل [۲۸]، تحرک پذیری [۹، ۱۷، ۱۸ و ۲۸] و ضریب دی الکتریک [۳۰، ۲۸ و ۳۱] باسایر گزارش مطابقت دارد. با توجه به قواعد تعریف شده در SCAPS، جهت تعیین نسبت مواد در ترکیبات آلیاژی نیمه هادی بصورت $A_{1-x}B_x$ عمل می کند که در آن x=[A]/[A]+[B] است [۳۲].

در آن x=[A]/[A]+[B] است [۳۲]. در نتیجه، برای ترکیب $CuIn_{1-x}Ga_xS(e)_2$، پارامتر A برای $CuInS(e)_2$ و پارامتر B برای $CuGaS(e)_2$ تعریف می شود و $CuIn_{1-x}Ga_xS(e)_2$ = (1-x) $CuInS(e)_2$ + x $CuGaS(e)_2$ است. نسبت x=GGI=Ga/Ga+In بر حسب ضخامت را می‌توان از داده های تجربی[۲۰] بصورت فایل در نرم افزار وارد کرد. جزییات پارامترهای ورودی لایه جاذب جهت مدلسازی در جدول ۳ آورده شده است.

۳- نتایج و بحث

شکل ۲ منحنی های بدست آمده از مدلسازی و مقایسه آن با نتایج تجربی سلول خورشیدی CIGS(e) را نشان می‌دهد که نتایج بدست آمده از مدلسازی بسیار نزدیک به نتایج تجربی می‌باشند. منحنی های بدست آمده از سلول خورشیدی CIGS(e) مدلسازی شده با لایه بافر SnS_2 و مقایسه آن با نتایج تجربی و مدلسازی با CdS (شکل ۲ و جدول ۴) نشان می‌دهد که نتایج بدست آمده از مدلسازی با SnS_2، بسیار نزدیک به نتایج حاصل از بافر CdS می باشد. همانگونه که مشاهده می شود، V_{OC} در هر دو ماده تقریبا یکسان بوده اما J_{SC} با جایگزینی CdS با SnS_2 تاحدودی افزایش یافته است که دلیل این امر کاهش سد انرژیCBO در مقابل الکترون از ۰/۲۱ eV به ۰/۰۸ eV است.

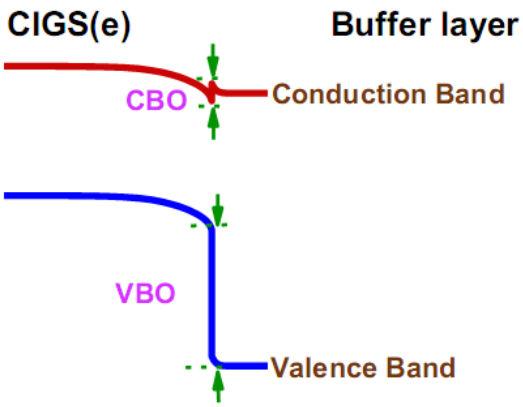


۲: منحنی (الف) J-V و (ب) EQE سلول خورشیدی CIGS(e) با لایه بافر CdS (تجربی و مدل شده) و SnS_2 (مدل شده)شکل

جدول ۴مقایسه عملکرد سلول خورشیدی CIGS(e) با لایه بافر CdS (تجربی و مدل شده) و SnS_2 (مدل شده)

Cell	eff (%)	J_{SC} (mA/cm²)	V_{OC} (V)	FF (%)
CIGS(e)/CdS (Experimental)	22.00	36.90	0.734	81.00
CIGS(e)/CdS (Modeling)	22.03	37.28	0.734	80.53
CIGS(e)/SnS_2 (Modeling)	22.47	37.53	0.735	81.44

طرحواره‌ای از منحنی نوار انرژی در فصل مشترک لایه بافر و جاذب در شکل ۳ نشان داده شده است که خمش نوار رسانش (CBO) سد انرژی در مقابل الکترون و خمش نوار ظرفیت (VBO) سد انرژی در مقابل حفره است که مقادیر آنها بصورت CBO = $\chi_{CIGS(e)} - \chi_{Buffer}$ و VBO = $(\chi_{CIGS(e)} + E_{g\ CIGS(e)}) - (\chi_{Buffer} + E_{gBuffer})$ محاسبه می‌شود [۳۴ و ۳۳] (جدول ۵). همانگونه که در جدول ۵ مشاهده می شود، مقدار CBO برای هر دو بافر مثبت می باشد که نشان دهنده نوع spike است. در همه گزارش‌ها، در سلول‌های خورشیدی CIGS(e) بر پایه CdS، اتصال ناهمگون CIGS(e)/CdS از نوع I یا spike است که لبه نوار رسانش در لایه CIGS(e) نسبت به CdS، در موقعیت پایین-تری قرار دارد [۳۵ و ۷]. مقدار مطلوب برای این سد پتانسیل eV ۰/۰-۴ گزارش شده است. در صورتی که مقدار CBO منفی بوده و از این بازه کمتر می بود (نوع cliff)، بازترکیب در فصل مشترک خصوصا در حضور نقص‌های فصل مشترک افزایش می یافت که درنهایت باعث کاهش V_{OC} در سلول می‌شد [۷].



شکل۳: طرحواره‌ای از منحنی نوار انرژی در فصل مشترک لایه بافر و جاذب CIGS(e)

جدول۵: مقادیر CBO و VBO محاسبه شده برای سلول خورشیدی CIGS(e) با لایه بافر CdS و SnS_2

Cell	CBO (eV)	VBO (eV)
CIGS(e)/CdS	+0.21	-0.8
CIGS(e)/SnS_2	+0.08	-0.8

۴- نتیجه گیری

سلول خورشیدی CIGS(e) با لایه بافر CdS و SnS_2 با نرم افزار SCAPS مدلسازی شد. با توجه به نتایج مدلسازی، SnS_2 ماده ای بسیار مناسب جهت جایگزینی با ماده سمی CdS می باشد. همچنین، عملکرد سلول خورشیدی CIGS(e) با لایه بافر SnS_2 به اندازه سلول خورشیدی CIGS(e) با لایه بافر CdS مطلوب است (V_{OC}=۰/۷۳۵ V، J_{SC}=۳۷/۵۳ mA/cm²) بطوریکه بازدهی آن نسبت به CdS تقریبا ۲/۱۴ درصد افزایش یافته است.

مراجع

[1] B. W. Lavery, S. Kumari, H. Konermann, G. L. Draper, J. Spurgeon, and T. Druffel, "Intense Pulsed Light Sintering of $CH_3NH_3PbI_3$ Solar Cells," ACS Appl. Mater. Interfaces, 8, 8419–8426, 2016.

[2] M. a, Y. Diaz, H. C. Avila, J. Chen, C. Kalappattil, V. Das, R. Phan, M. H. Čadež, T. Carmelo, J. M. Asensio, M. C. Batzill, "Angle resolved photoemission spectroscopy reveals spin charge separation in metallic $MoSe_2$ grain boundary," Nat. Commun , 8, 14231-14243, 2017.

[3] D. K. Nam, Junggyu, Y. Kang, D. Lee, J. Y. Yang, Y. S. Kim, Ch. B. Mo, S. Park, "Achievement of 17.9% efficiency in 30×30 cm^2 $Cu(In,Ga)(Se,S)_2$ solar cell sub-module by sulfurization after selenization with Cd-free buffer," Prog. Photovolt Res. Appl, 24, 175–182, 2016.

[4] W. Liu, D. B. Mitzi, M. Yuan, A. J. Kellock, S. Jay Chey, and O. Gunawan, "12% Efficiency $CuIn(Se,S)_2$ photo-voltaic device prepared using a hydrazine solution process," Chem. Mater, 22 , 1010–1014, 2010.

[5] B. Von Roedern and G. H. Bauer, "Material requirements for Buffer layers used to obtain Solar Cells with High open Circuit Voltages," MRS online Proceeding Libr. Arch, 557, 1-6, 1999.

[6] A. Redinger, M. Mousel, M. H. Wolter, N. Valle, and S. Siebentritt, "Influence of S/Se ratio on series resistance and on dominant recombination pathway in $Cu_2ZnSn(SSe)_4$ thin film solar cells," Thin Solid Films, 535, 291–295, 2013.

[7] C. Yan et al., "Band alignments of different buffer layers (CdS, Zn(O,S), and In_2S_3) on Cu_2ZnSnS_4," Appl. Phys. Lett, 104, 17, 1739011-1739014, 2014.

[8] L. a Burton et al., "Synthesis, Characterization, and Electronic Structure of Single-Crystal SnS, Sn_2S_3, and SnS_2," Chem. Mater, 25, 4908–4916, 2013.

[9] A. Voznyi, V. Kosyak, A. Opanasyuk, N. Tirkusova, L. Grase, and A. Medvids, "Structural and electrical properties of SnS_2 thin films," Mater. Chem. Phys, 173, 52–61, 2016.

[10] C. Mondal, M. Ganguly, J. Pal, A. Roy, J. Jana, and T. Pal, "Morphology controlled synthesis of SnS_2 nanomaterial for promoting photocatalytic reduction of aqueous Cr(VI) under visible light," Langmuir, 30, 4157–4164, 2014.

[11] Y. Wu et al., "Synthesis and Photovoltaic Application of Copper (I) Sulfide Nanocrystals," NANO Lett, 8, 2551–2555, 2008.

[12] Y. Liao, Y. Wang, Y. Yen, C. Chen, D. Hsieh, and S. Chen, "Non-antireflective Scheme for Efficiency Enhancement of $Cu(In,Ga)Se_2$ Nanotip Array Solar Cells," ACS Nano, 7, 7318–7329, 2013.

[13] http://www.solar-frontier.com/eng/news/2017/1220_press.html, "Solar Frontier Achieves World Record Thin-Film Solar Cell Efficiency: 22.9%," Solar Frontier.

[14] Z. Wu, Y. Xue, Y. Zhang, J. Li, and T. Chen, "SnS2 nanosheet-based microstructures with high adsorption capabilities and visible light photocatalytic activities," RSC Adv, 5, 24640–24648, 2015.

[15] J. Yu, C. Xu, F. Ma, S. Hu, Y. Zhang, and L. Zhen, "Monodisperse SnS_2 Nanosheets for High-Performance Photocatalytic Hydrogen Generation," ACS Appl. Mater. Interfaces, 6, 24, 22370–22377, 2014.

[16] G. Radovsky, R. Popovitz-biro, and R. Tenne, "Study of Tubular Structures of the Misfit Layered Compound SnS_2/SnS," Chem. Mater., 24, 15, 3004–3015, 2012.

[17] X. Hu et al., "Phase-controlled synthesis and photocatalytic properties of SnS, SnS_2 and SnS/SnS_2 heterostructure nanocrystals," Mater. Res. Bull, 48, 2325–2332, 2013.

[18] R. K. Gupta and F. Yakuphanoglu, "Photoconductive Schottky diode based on Al/p-Si/SnS_2/Ag for optical sensor applications," Sol. Energy, 86, 1539–1545, 2012.

[19]B. Thangaraju and P. Kaliannan, "Spray Pyrolytic Deposition and Characterization of SnS and SnS_2 Thin Films," J. Phys. D - Appl. Phys., 33, 9, 1054–1059, 2000.

[20] A. Bauer, S. Sharbati, and M. Powalla, "Systematic survey of suitable buffer and high resistive window layer materials in CuIn1−xGaxSe2 solar cells by numerical simulations," Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 165, 119–127, 2017.

[21] P. Jackson, R. Wuerz, D. Hariskos, E. Lotter, W. Witte, and M. Powalla, "Effects of heavy alkali

[30] Y. Sun et al., “Freestanding Tin Disulfide Single-Layers Realizing Efficient Visible- Light Water Splitting,” Angew. Chem. Int. Ed, 51, 35, 8727–8731, 2012.

[31] N. Takeda and B. A. Parkinson, “Adsorption Morphology, Light Absorption, and Sensitization Yields for Squaraine Dyes on SnS_2 Surfaces,” J. Am. Chem. Soc, 125, 5559–5571, 2003.

[32] S. D. Marc Burgelman, Koen Decock, Alex Niemegeers, Johan Verschraegen, SCAPS Manual, 17th ed., 2016.

[33] J. Lindahl, J. Keller, O. Donzel-Gargand, P. Szaniawski, M. Edoff, and T. Torndahl, “Deposition temperature induced conduction band changes in zinc tin oxide buffer layers for $Cu(In,Ga)Se_2$ solar cells,” Sol. Energy Mater. Sol. Cells, 144, 684–690, 2016.

[34] M. Gloeckler, “Device physics of $Cu(In,Ga)Se_2$ thin-film solar cells,” Colorado State University, 2005.

[35] O. Gunawan, T. K. Todorov, and D. B. Mitzi, “Loss mechanisms in hydrazine-processed $Cu_2ZnSn(Se,S)_4$ solar cells,” Appl. Phys. Lett, 97, 2335061- 2335063, 2010.

elements in $Cu(In,Ga)Se_2$ solar cells with efficiencies up to 22.6%,” Phys. Status Solidi - Rapid Res. Lett, 10, 583–586, 2016.

[22] T. J. Whittles, L. A. Burton, J. M. Skelton, A. Walsh, T. D. Veal, and V. R. Dhanak, “Band Alignments, Valence Bands and Core Levels in the Band Alignments, Valence Bands and Core Levels in the Tin Sulfides SnS, SnS_2 and Sn_2S_3: Experiment and Theory,” Chem. Mater, 28, 3718–3726, 2016.

[23] N. K. Konstantinos C. Christoforidis, Armelle Sengele, Valérie Keller, “Single-step synthesis of SnS_2 nanosheets decorated TiO_2 anatase nanofibers as efficient photocatalysts for the degradation of gas phase diethylsulfide,” Appl. Mater. Interfaces, 7, 19324–19334, 2015.

[24] A. Sánchez-Juárez, a. Tiburcio-Silver, and a. Ortiz, “Fabrication of SnS_2/SnS heterojunction thin film diodes by plasma-enhanced chemical vapor deposition,” Thin Solid Films, 480–481, 452–456, 2005.

[25] R. H. Williams, R. B. Murray, D. W. Govan, J. M. Thomas, and E. L. Evans, “Band structure and photoemission studies of SnS_2 and $SnSe_2$. I. Experimental,” J. Phys. C Solid State Phys, 6, 3631–3642, 1973.

[26] Y. Shiga, N. Umezawa, N. Srinivasan, S. Koyasu, E. Sakai, and M. Miyauchi, “A metal sulfide photocatalyst composed of ubiquitous elements for solar hydrogen production,” Chem. Commun, 52, 7470–7473, 2016.

[27] Y. Xu and M. A. A. Schoonen, “The Absolute Energy Positions of Conduction and Valence Bands of Selected Semiconducting Minerals,” Am. Mineral, 85, 543–556, 2000.

[28] O. Madelung, Semiconductors: Data Handbook. New York: Springerr-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.

[29] N. G. Deshpande, A. A. Sagade, Y. G. Gudage, C. D. Lokhande, and R. Sharma, “Growth and characterization of tin disulfide (SnS_2) thin film deposited by successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) technique,” J. Alloys Compd, 436, 421–426, 2007.

Nanoscale
www.nanomeghyas.ir
نانومقیاس

Theoretical Study of the SnS_2 Nanostructure Performance as a Buffer Layer in $CuIn_{1-x}Ga_xS(e)_2$ Solar Cell and its Comparison with CdS

M. Haghighi[1], M. Minbashi[2], N. Taghavinia[1,3]*, S. M. Mahdavi[1,3]*, A. A. Kordbacheh[2]

[1]Institute for Nanoscience and Nanotechnology, Sharif University of Technology, Tehran
[2]Department of Physics, Iran University of Science and Technology, Tehran
[3]Department of Physics, Sharif University of Technology, Tehran

Abstract: In this paper, firstly, the CIGS(e) solar cell with a different Ga/Ga+In ratio was modeled based on experimental data using the SCAPS software. Then, the SnS_2 composition was proposed as a suitable buffer for the elimination of toxic CdS compounds. According to the modeling results, SnS_2 is a very suitable material for substitution of the toxic CdS.

Keywords: CIGS(e) solar cell, SCAPS software, Buffer layer, SnS_2 nanostructure layer, Conduction band offset

*Correspondent Author Email: *taghavinia@sharif.edu*