



بهبود مشخصات سلول خورشیدی بس بلوری Cds/CdTe با استفاده از لایه جاذب GaSb

ملیحه ماهودی¹، سعید مرجانی² و بهنام درستکار³

¹ گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، malihe.mahoodi@mail.um.ac.ir

² گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران، saeid.marjani@mail.um.ac.ir

³ گروه برق، دانشکده مهندسی، موسسه آموزش عالی وحدت، تربت جام، ایران، behnamdorostkar@gmail.com

چکیده - در این مقاله، اثر لایه جاذب GaSb بر روی کارایی یک سلول خورشیدی با پیوند دوگانه CdS/CdTe مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا، مشخصات الکتریکی سلول خورشیدی CdS/CdTe مرجع را، شبیه سازی و اعتبار سازی شده و با نتایج تجربی سلول خورشیدی CdS/CdTe ساخته شده، مقایسه می شود. به منظور افزایش بازده، یک ساختار جدید با استفاده از لایه جاذب GaSb ارائه شده است که سبب کاهش ضخامت سلول نیز می شود. نتایج نشان می دهد با استفاده از لایه جاذب GaSb می توان بازدهی سلول خورشیدی را 3/4 درصد در مقایسه با سلول مرجع افزایش داد. تحت شرایط AM 1/5، ولتاژ مدار باز و چگالی جریان اتصال کوتاه و ضریب پری و بازده ساختار سلول خورشیدی به ترتیب 0.91V، 28/2 mA/cm²، 0/84 و 21/4٪ هستند. کلید واژه- بس بلوری، سلول خورشیدی، لایه جاذب، CdS/CdTe.

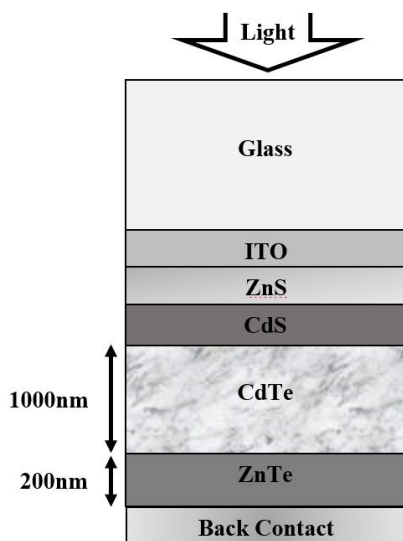
1- مقدمه

(Close Space Sublimation)، روش دادن الکتریکی (Electro Plating)، چاپ پرده ای (Screen Printing)، لایه نشانی حمام شیمیایی (Chemical Bath Deposition)، لایه نشانی تبخیر حرارتی (Vacuum evaporation) و یا روش های CSS انجام می پذیرد. از سوی دیگر، به دلیل محدودیت های دسترسی و قیمت بالای تلوراید و با توجه به حجم بسیار بالای ماژول های ساخته شده CdS/CdTe در آینده، کاهش ضخامت لایه جاذب CdTe بسیار مهم است [3]. به منظور شکل دادن یک اتصال اهمی، ساختاری با یک لایه بافر ZnTe به عنوان سطح پشتی بازتابنده پیشنهاد شده است [4 و 5]. موسسه انرژی های نو (NREL) بازده سلول های خورشیدی CdS/CdTe 20/5٪ و 21/1٪ گزارش کرده است؛ هم چنین NREL، در شرایط آزمایشگاهی، بازدهی ماژول های سلول های خورشیدی CdS/CdTe 16/1٪ و 18/6٪ گزارش کرده است [4 و 5]. به همین دلیل روند پیشرفت بازدهی در طی 20 سال گذشته فقط 3/2٪ بوده است. بنابراین، افزایش بازدهی مهم ترین چالش برای سلول های خورشیدی CdS/CdTe است [6-10].

در این مقاله، به منظور افزایش بیش تر کارایی سلول خورشیدی بس بلوری پیوند دوگانه CdS/CdTe، از لایه جاذب GaSb استفاده شده است. نتایج شبیه سازی، با ساختار سلول خورشیدی CdS/CdTe ساخته شده به عنوان یک سلول مرجع

انرژی خورشید را می توان به روش فوتوولتایی با استفاده از موادی که به صورت تک بلوری، پیوند دوگانه یا لایه نازک بس بلوری ساخته شده اند به انرژی الکتریکی تبدیل کرد. لایه های نازک بس بلوری مانند CIGS یا CdTe دارای چندین مزیت بالقوه هستند که منجر به هزینه ی ساخت کم تر می شوند. بنابراین استفاده از این مواد، زمان بازگشت هزینه ساخت را به کم تر از یک سال می رساند [1 و 2]. از سوی دیگر، سلول CdTe را می توان به سادگی با استفاده از فرآیندهای تصعید در فضای بسته و لایه نشانی انتقال بخار یا اپی تکسی باریکه ملکولی (Molecular Beam Epitaxi) ساخت. در سال های اخیر بازدهی این سلول ها در حال افزایش بوده است. از آنجایی که مساحت و تعداد مشابه پنل ها می توانند انرژی بیشتری را تامین کنند، بهبود بازدهی این سلول ها می تواند به کاهش هزینه سلول ها، پنل ها و سیستم ها کمک کند.

ضخامت CdS یک پارامتر بسیار مهم در بازدهی سلول خورشیدی سولفید کادمیوم / کادمیوم تلوراید (CdS/CdTe) است. کاهش ضخامت لایه CdS، منجر به افزایش چگالی جریان اتصال کوتاه می شود. به طور کلی، لایه نشانی لایه نازک CdTe معمولا با فرآیندهای مختلفی نظیر تصعید در فضای بسته



شکل ۱: ساختار مرجع مورد استفاده یک سلول خورشیدی CdS/CdTe [5].

در این مقاله، یک سلول خورشیدی CdS/CdTe ساخته شده تجربی به عنوان سلول مرجع استفاده شده است و نتایج شبیه سازی این ساختار با نتایج تجربی سلول مرجع مقایسه شده است. شکل ۱ ساختار سلول مرجع را نشان می دهد که از شیشه به عنوان زیرلایه استفاده شده است. ساختار شامل 200 نانومتر اکسید ایندیوم قلع، 50 نانومتر سولفید کادمیوم و 1 میکرومتر کادمیوم تلوراید می باشد. دیگر پارامترهای استفاده شده برای شبیه سازی سلول خورشیدی CdS/CdTe در جدول 1 لیست شده است. تحت شرایط AM 1/5، ساختار شبیه سازی شده، ولتاژ مدار باز 998 mV، چگالی جریان $22/14 \text{ mA/cm}^2$ ، ضریب پری 0/823 و بازدهی 18٪ را نشان می دهد. جدول 2 نتایج تجربی ولتاژ مدار باز، چگالی جریان اتصال کوتاه، ضریب پری و بازده را با نتایج ساختار سلول مرجع مقایسه می کند. همان طور که مشاهده می شود نتایج شبیه سازی شده به نتایج تجربی واقعی بسیار نزدیک هستند [5].

جدول 2: پارامترهای خروجی سلول شبیه سازی شده در مقایسه با سلول مرجع

پارامترها	ساختار مرجع [5]	ساختار شبیه سازی شده
ولتاژ مدار باز (mV)	985	988
چگالی جریان اتصال کوتاه (mA/cm ²)	22/2	22/14
ضریب پری	0/830	0/823

مقایسه شده است. ساختار، مدل و صحت آن در بخش دوم تشریح شده است. بخش سوم نتایج و بحثها را ارائه داده است. در نهایت، کارهای انجام شده روی افزایش بازدهی سلول خورشیدی CdS/CdTe در بخش چهارم جمع بندی شده است.

2- ساختار سلول مرجع و پیشنهادی، مدل و صحت آن

در هنگام مدل سازی سلول خورشیدی لازم است واکنش های نوری و الکتریکی که در طی عملکرد این سلول ها اتفاق می افتد را در نظر بگیریم. معادله های اساسی اولیه شامل پتانسیل الکترواستاتیکی و چگالی حامل ها می باشند که به هم وابسته هستند و به صورت تابعی از یکدیگر حل می شوند. معادله های ثانویه شامل معادله پواسون، معادله پیوستگی و معادله انتقال است که از قوانین ماکسول به دست می آیند. همه این معادله ها، به صورت خودسازگار، به وسیله نرم افزار سیلواکو حل می شوند [11]. به منظور مدل کردن قابلیت تحرک میدان پایین وابسته به چگالی ناخالصی، مدل باز ترکیب و طول عمر حامل های اقلیت در لایه جاذب، مدل قابلیت تحرک میدان پایین وابسته به چگالی ناخالصی، مدل باز ترکیب SRH و طول عمر وابسته به چگالی SRH در نرم افزار سیلواکو استفاده شده است.

جدول 1: پارامترهای استفاده شده برای شبیه سازی سلول خورشیدی CdS/CdTe

پارامترها	CdS	CdTe
m_n^*/m_0	0/171	0/25
m_p^*/m_0	0/7	0/7
Dielectric Constant ϵ/ϵ_0	10	9/4
Electron Affinity [eV]	4/3	4/28
Electron Mobility μ_e [cm ² /Vs]	350	500
Hole Mobility μ_h [cm ² /Vs]	50	60
Electron/Hole Density n, p [cm ⁻³]	10^{16}	10^{14}
Band Gap Energy E_g [eV]	2/42	1/45
Effective Density of States N_C [cm ⁻³]	$2/4 \times 10^{18}$	8×10^{17}
Effective Density of States N_V [cm ⁻³]	$1/8 \times 10^{19}$	$1/8 \times 10^{18}$
Defect Peak Energy EA, ED [eV]	midgap	midgap

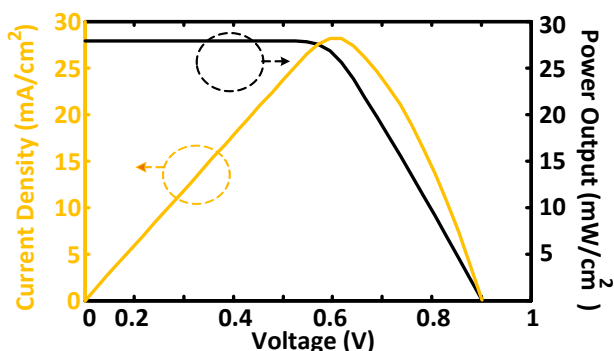


مرجع نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود لایه

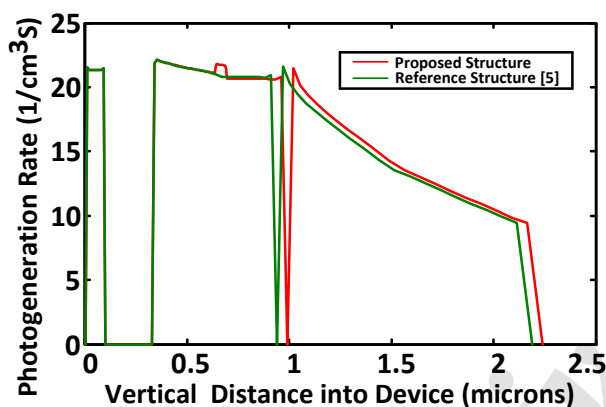
(% بازده

18/12

18



شکل 3: نمودار جریان- توان بر حسب ولتاژ برای سلول طراحی شده تحت شرایط AM 1/5

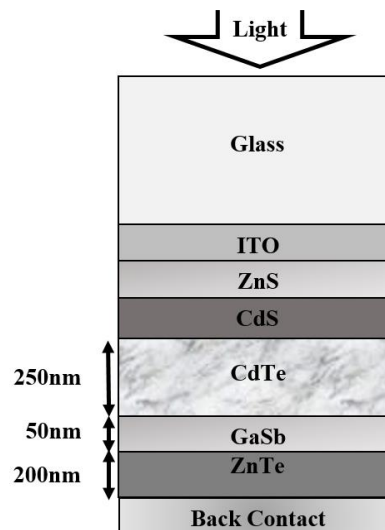


شکل 4: مقایسه نرخ تولید نور در دو ساختار پیشنهادی و مرجع [5].

جاذب GaSb سبب افزایش نرخ تولید نور و به تبع آن سبب کاهش باز ترکیب در لایه جاذب ساختار پیشنهادی می شود. از سوی دیگر، به دلیل کاهش لایه جاذب CdTe، تلفات باز ترکیب حامل ها در این لایه کاهش می یابد. بنابراین افزایش نرخ تولید نور در لایه جاذب GaSb و کاهش تلفات باز ترکیب در لایه جاذب CdTe سبب بهبود مشخصات سلول خورشیدی پیشنهادی در مقایسه با ساختار مرجع می شود.

4- نتیجه گیری

در این مقاله، یک ساختار جدید سلول خورشیدی با پیوند دوگانه CdS/CdTe با استفاده از لایه جاذب GaSb پیشنهاد شده است. هم چنین اثر تغییرات طول عمر حامل ها در لایه جاذب CdTe روی بازدهی این سلول ها بررسی شده است. این ساختار پیشنهادی علاوه بر افزایش 3/4 درصدی بازده سلول، کاهش



شکل 2: ساختار سلول بس بلوری پیشنهادی CdS/CdTe/GaSb/ZnTe.

ساختار سلول بس بلوری پیشنهادی ساختار سلول بس بلوری پیشنهادی در شکل 2 نشان داده شده است. از آنجایی که کاهش ضخامت لایه جاذب CdTe به دلیل محدودیت های دسترسی و قیمت بالای تلوراید بسیار مهم است، در ساختار پیشنهادی ضخامت لایه جاذب CdTe به 250 نانومتر کاهش یافته است. در این ساختار، یک لایه GaSb با ضخامت 50 نانومتر بین لایه های جاذب و میدان سطحی پشتی قرار داده شده است.

3- نتایج و بحث ها

شکل 3 نمودار جریان- توان ساختار پیشنهادی را بر حسب ولتاژ تحت شرایط AM 1/5 نشان می دهد. بازده، ولتاژ مدار باز، چگالی جریان اتصال کوتاه و ضریب پری این ساختار به ترتیب 0/21، 0/91 V، 28/2 mA/cm² و 0/84 می باشد. همان طور که در مقایسه با جدول 2 مشاهده می شود، ساختار پیشنهادی CdS/CdTe/GaSb/ZnTe سبب افزایش بازده به میزان 3/4 درصد می شود.

به طور کلی، جریان اتصال کوتاه در سلول خورشیدی می تواند با افزایش نرخ تولید نور در لایه جاذب یا کاهش تلفات باز ترکیب، افزایش یابد. در شکل 4 نرخ تولید نور ساختار پیشنهادی CdS/CdTe/GaSb/ZnTe در مقایسه با ساختار



- [6] M. Sabaghi, A. Majdabadi, S. Khosroabadi, and S. Marjani, "A novel ultrathin CdS/CdTe solar cell with conversion efficiency of 31.2% for nano-area application," *The Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, Prague, Czech Republic, pp. 1152–1155, 2015.
- [7] M. Sabaghi, A. Majdabadi S. Marjani and S. Khosroabadi, "Optimization of high-efficiency CdS/CdTe thin film solar cell using step doping grading and thickness of the absorption layer," *Orient. J. Chem.*, vol. 31, no. 2, pp. 891–896, 2015.
- [8] M. Mahoodi and S. Marjani, "Enhanced photovoltaic performance of ultrathin polycrystalline CdS/CdTe solar cell via indium antimonide absorber layer," *The 2nd International Conference on Electrical Engineering (IC-EE)*, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran, pp. 1–4, 2017.
- [9] M. Mahoodi and S. Marjani, "High-efficiency polycrystalline CdS/CdTe/InSb/CdTe solar cell with step doping grading of absorber and back surface field layers," *The 4th National Conference on Information Technology, Computer and Telecommunication (ITCT)*, Torbat-e Heydarieh University, Torbat-e Heydarieh, Iran, pp. 1–7, 2017.
- [10] M. Mahoodi, A. Peiravi and S. Marjani, "Time to failure analysis of polycrystalline CdS/CdTe/InSb/CdTe solar cells," *The 8th International Conference on Nanotechnology (ICN)*, Istanbul, Turkey, pp. 1–3, 2018.
- [11] ATLAS Device Simulation Software, Silvaco Int., Santa Clara, CA, USA, 2015.

ضخامت سلول را نیز به دنبال خواهد داشت. نتایج بازده $21/4\%$ را همراه با ولتاژ مدار باز، چگالی جریان اتصال کوتاه و ضریب پری به ترتیب $0/91\text{ V}$ ، $28/2\text{ mA/cm}^2$ و $0/84$ را تحت شرایط AM 1/5 نشان می دهد.

مراجع

- [1] M. J. (Mariska) de Wild-Scholten: "Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 119, pp. 296–305, 2013.
- [2] M. A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, and E. D. Dunlop; "Solar cell efficiency tables," *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 22, no. 1, pp. 1–9, 2014.
- [3] S. Marjani, S. Khosroabadi, and M. Sabaghi, "A high efficiency ultrathin CdTe solar cell for nano-area applications," *Optics and Photonics Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 15–23, 2016.
- [4] M. Mahoodi and S. Marjani, "Performance enhancement of polycrystalline CdS/CdTe solar cell by diffraction grating and engineering layers," *The 8th National Conference on Physics (COP)*, Shiraz, Iran, pp. 223–227, 2017.
- [5] S. Khosroabadi, S. H. Keshmiri, and S. Marjani, "Design of a high efficiency CdS/CdTe solar cell with optimized step doping, film thickness, and carrier lifetime of the absorption layer," *Journal of the European Optical Society*, vol. 9, pp. 14052-1–14052-6, 2014.