



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس



مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،  
دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.  
7-9 بهمن 1399



## شبیه سازی سلول خورشیدی تندم CGS/CIGS

دکتر معراج رجایی<sup>1</sup>، مریم شاپورجانی<sup>2</sup>، زهرا سادات الهام نیک<sup>3</sup>

استادیار دپارتمان مهندسی برق دانشکده شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه

ای، تهران، ایران

[1mrajaee@tvu.ac.ir](mailto:mrajaee@tvu.ac.ir)

دانشجویان دپارتمان مهندسی برق دانشکده شریعتی، دانشگاه فنی و حرفه

ای، تهران، ایران

[2Shapourjani.maryam@gmail.com](mailto:Shapourjani.maryam@gmail.com) , [3Elhamnik03@gmail.com](mailto:Elhamnik03@gmail.com)

چکیده - در این مقاله به بررسی افزایش راندمان ناشی از اضافه شدن لایه CGS بر روی سلول CIGS پرداخته شده است. با تغییر پارامترهای مختلف و استفاده از نرم افزار شبیه ساز Silvaco ، سلول خورشیدی تک قطبی CIGS شبیه سازی و سپس عملکرد سلول خورشیدی دو اتصالی CGS / CIGS به صورت عددی شبیه سازی شد. ضخامت و غلظت لایه های مختلف نیمه رسانا برای دستیابی به حداکثر موجود بهینه شده و حداکثر بازده تبدیل 44.37٪ حاصل شد.

کلید واژه - بازده، تک قطبی، دو اتصالی، سلول خورشیدی CGS / CIGS ، Silvaco

## CGS / CIGS Solar Cell Simulation

Dr.Meraj Rajae<sup>1</sup>, Maryam Shapourjani<sup>2</sup>, Zahra sadat Elhamnik<sup>3</sup>

Assistant Professor of the Department of Electrical Engineering, Shariaty  
University, Tehran, Iran

[1mrajaee@tvu.ac.ir](mailto:mrajaee@tvu.ac.ir)

Students of the Department of Electrical Engineering, Shariaty University, Tehran, Iran

[2Shapourjani.maryam@gmail.com](mailto:Shapourjani.maryam@gmail.com) , [3Elhamnik03@gmail.com](mailto:Elhamnik03@gmail.com)

**Abstract-** In this paper, the efficiency increase due to the addition of CGS layer on CIGS cell is investigated. by changing different parameters and using Silvaco simulation software, CIGS unipolar solar cell was simulated and then the performance of CGS / CIGS dual-junction solar cell was numerically simulated. To achieve the maximum amount available , the thickness and concentration of different semiconductor layers were optimized and the maximum conversion efficiency was 44.37%.

Keyword: CGS / CIGS Solar Cell , Dual- Junction , efficiency , Silvaco , unipolar

## مقدمه

ساختار سلول بگونه ایست که با تغییر ضخامت لایه ی Cds و ZnO و بررسی موارد مختلف تاثیر گذار در تغییر پارامترهای این سلول خوشیدی مانند تغییر ضخامت لایه ی Cds به 0/2um و تغییر ضخامت ZnO به 0/05um و ضخامت Molybdenum به 0/5um و با ثابت نگه داشتن ضخامت CIGS به میزان 2um که سایر اطلاعات که در جدول شماره (1) قابل مشاهده است، مقادیر  $FF=89/58$  و  $J_{sc}=0/033$  و  $V_{oc}=0/6$  و  $Eff=28/43$  در بهترین حالت حاصل شد. نمودار جریان-ولتاژ، سلول در شکل (2) قابل مشاهده است.

جدول (1) پارامترهای سلول خورشیدی CIGS بهینه

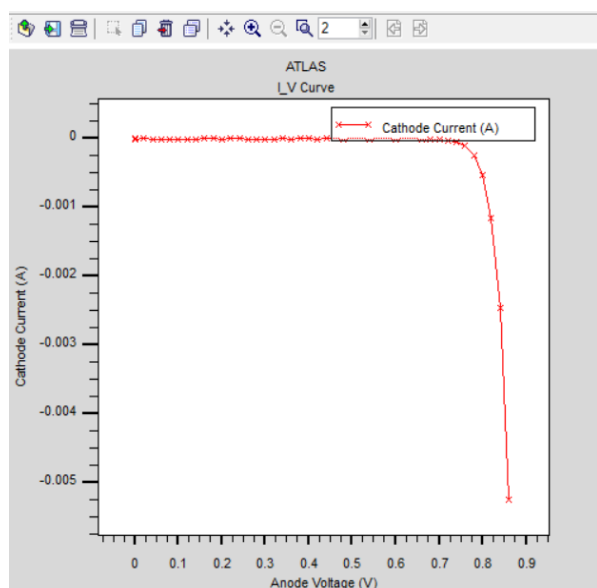
	ZnO	Cds	CIGS
ضخامت (um)	0/05	0/2	2
گذردهی	9	10	13/6
پیوستگی	4/5	4/18	4/58
MUN	100	100	100
MNP	25	25	25
NV	$1/8 \times 10^{19}$	$2/57 \times 10^{19}$	$1/8 \times 10^{19}$
NC	$2/2 \times 10^{18}$	$2/41 \times 10^{18}$	$2/2 \times 10^{18}$

از مهمترین سلول های خورشیدی نسل دوم می توان به خانواده 2I-III-VI اشاره نمود که مهمترین آن ها سلول های CIGS هستند. ماده ای مرکب از عناصر گروه های یک، سه و شش جدول تناوبی شامل مس، ایندیوم، گالیوم و سلنیوم که موسوم به CIGS است. این سلول ها به دلیل بالا بودن بازده و پایین بودن هزینه مواد مصرفی، از امید بخش ترین فناوری های لایه نازک هستند. این سلول ها نیز مانند سایر انواع سلول های لایه نازک از رسوب روی شیشه یا پلاستیک ساخته می شوند. بهترین بازده سلول های CIGS حدود 20٪ و بازدهی مدل های آن بین 13٪ تا 15٪ است که بیشترین مقدار در میان انواع سلول های لایه نازک به حساب می آید.

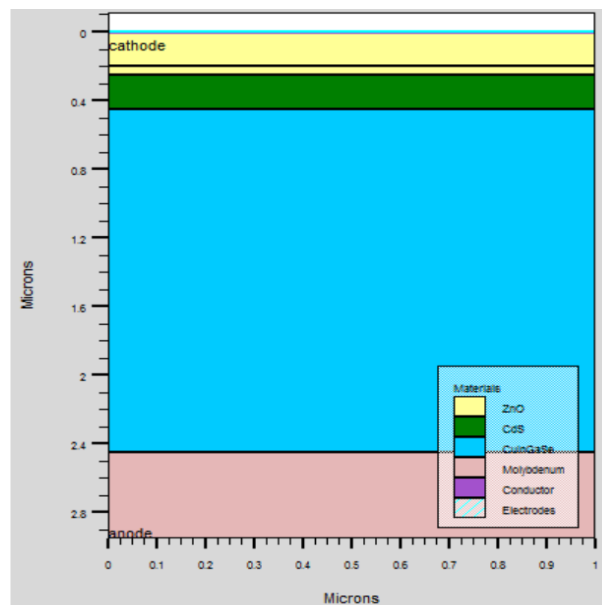
[5,4]

## مدل پیشنهادی CIGS بهینه

ساختار سلول CIGS تک لایه با توجه به مرجع شماره [1] بهینه سازی شده، که در شکل (1) قابل مشاهده است. این سلول با استفاده از نرم افزار شبیه ساز SILVACO شبیه سازی شده است.



شکل (2) منحنی جریان-ولتاژ سلول تک لایه CIGS بهینه



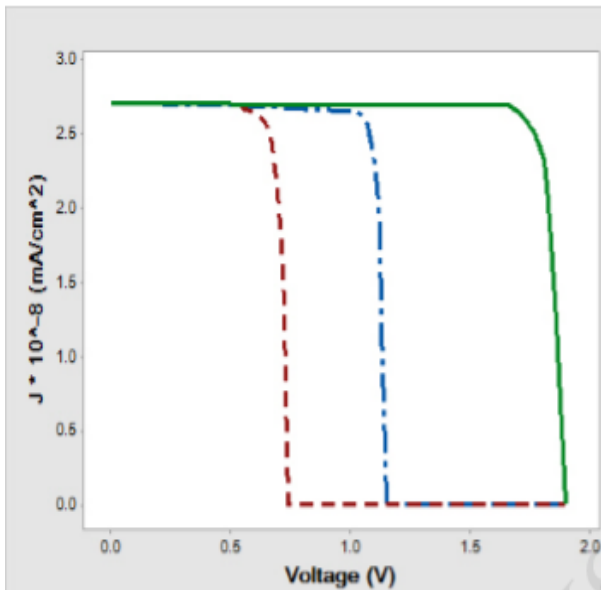
شکل (1) ساختار CIGS بهینه سازی شده

جدول (2) مشخصات مواد استفاده شده در سلول پیشنهادی

	Cds	CIGS	CGS
شکاف باند	2/4	1/55	1/011
ضریب الکترون خواهی	3/75	4/8	4/8
NC	$2/2 \times 10^{18}$	$2/2 \times 10^{18}$	$2/2 \times 10^{18}$
NV	$1/8 \times 10^{19}$	$1/8 \times 10^{19}$	$1/8 \times 10^{19}$

## ساختار CGS/CIGS پیشنهادی

در بالای سلول طراحی شده یک لایه نازک CdS به عنوان لایه پنجره ضد انعکاس استفاده شده است. پارامترهای ساختاری از جمله ضخامت و غلظت متفاوت است و لایه های نیمه هادی بهینه سازی شده اند تا به حداکثر بازده تبدیل موجود برسند. با در نظر گرفتن سلول بالا و پایین ، لایه خلا، مانند تونل شبیه سازی می شود. سلول بالا از یک لایه پنجره ضد بازتابنده 187 نانومتری ، یک لایه جاذب 90 نانومتری p-CGS ( $p=4 \times 10^{19} \text{cm}^{-1}$ ) و یک لایه بافر 90 نانومتری n-CGS ( $n=1 \times 10^{22} \text{cm}^{-1}$ ) تشکیل شده است. ضخامت لایه خلا 40 نانومتر است و سلول پایین از یک لایه جاذب 90 نانومتری p-CIGS ( $p=8 \times 10^{20} \text{cm}^{-1}$ ) و یک لایه بافر n-CIGS ، 3/705 میکرو متری ( $n=9 \times 10^{16} \text{cm}^{-1}$ ) تشکیل شده است. شکل (3) شماتیک سلول پیشنهادی را نشان می دهد. مشخصات الکتریکی و نوری مواد استفاده شده در مدل پیشنهادی در جدول (2) نشان داده شده است. در شکل (4) منحنی های V-I مشاهده می شود که منحنی آبی رنگ مربوط به سلول CGS ، منحنی قرمز ، سلول CIGS و منحنی سبز سلول ایده آل را نشان می دهد. در این نمودار مشاهده می شود که شدت چگالی جریان در منحنی ایده آل بیشتر شده در نتیجه بازدهی به 44/37% رسیده است.

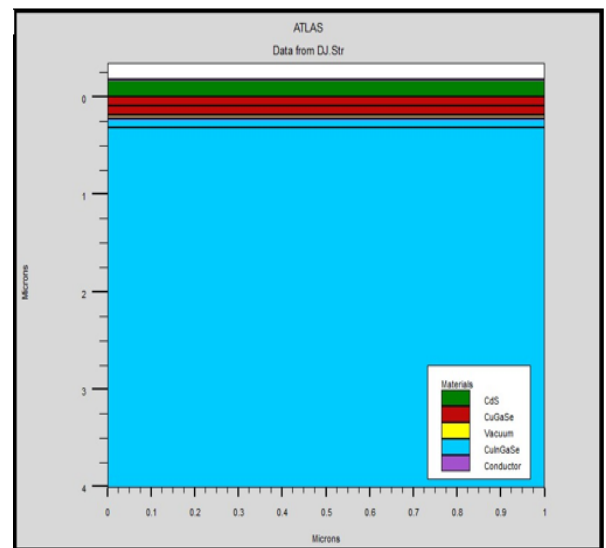


شکل (4) منحنی های V-I مربوط به سلول CGS و سلول CIGS و سلول ایده آل

در جدول (3) پارامترهای عملکرد محاسبه شده ساختار بهینه سلول خورشیدی دو پیوندی CGS/CIGS ارائه شده است.

جدول (3) پارامترهای عملکرد محاسبه شده ساختار پیشنهادی

	$J_{sc}$	$V_{oc}$	$P_m$	FF	EFF
CGS/CIGS	$2/709 \times 10^{-8}$	1/9	4/437	86/21	44/37



شکل (3) شماتیک سلول پیشنهادی CGS / CIGS

[2] معراج رجائی، سید محمد باقر قرشی "آنالیز و بهینه سازی سلول های خورشیدی چند گانه با پیوند تونلی" بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و هفتمین کنفرانس هندسی و فناوری فوتونیک ایران دانشگاه شهید بهشتی دی ماه 93

[3] J. Krc, G. Cernivec, A. Campa, J. Malmström, M. Edoff, F. Smole, and M. Topic, "Optical and electrical modeling of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> solar cell s", optical and quantum electronics, vol. 38, PP.1115-1123, 2006

[4] Theoretical study and simulation of solar cell structure by Seyede Mansoore MousaviNasab

[5] Kokate, S.K.; Jagtap, C.; Baviskar, P.K. & Mohite, K. (2018), "CdS sensitized cadmium doped ZnO solar cell: Fabrication and characterizations", Optik international journal for light and electron optics 157, pp. 628-634.

[6] Gjessing, J.; Marstein, E.S. & Sudbø, A. (2010), "2D back-side diffraction grating for improved light trapping in thin silicon solar cells", Opt express, 18 (6):5481-5495

[7] Feldman, F.; Simon, M.; Bivour, M.; Reichel, C.; Hermle, M. & Glunz, S.W. (2014), "Efficient carrier-selective p-and n-contacts for Si solar cells", Solar energy materials and solar cells 131, pp. 100-104.

[8] Farhadi, Bitra, and Mosayeb Naseri. "Structural and physical characteristics optimization of a dual junction CGS/CIGS solar cell: A numerical simulation." Optik-International Journal for Light and Electron Optics 127.21 (2016): 10232-10237.

[9] Chelvanathan, Puvaneswaran, Mohammad Istiaque Hossain, and Nowshad Amin. "Performance analysis of copper-indium-gallium-diselenide (CIGS) solar cells with various buffer layers by SCAPS." Current Applied Physics 10.3 (2010): S387-S391.

[10] Repins, Ingrid, et al. "19.9%-efficient ZnO/CdS/CuInGaSe<sub>2</sub> solar cell with 81.2% fill factor." Progress in Photovoltaics: Research and applications 16.3 (2008): 235-239

[11] Elbar, M., and S. Tobbeche. "Numerical simulation of CGS/CIGS single and tandem thin-film solar cells using the Silvaco-Atlas software." Energy Procedia 74 (2015): 12201227.

[12] Elbar, M., S. Tobbeche, and A. Merazga. "Effect of top-cell CGS thickness on the performance of CGS/CIGS tandem solar cell." solar energy 122 (2015): 104-112.

در این مقاله ، پنج پارامتر ساختاری بهینه شده است: شکاف باند لایه های CIGS ، ناخالصی لایه های CGS نوع P و نوع N و ناخالصی لایه های CIGS نوع P و نوع N .

1- با بررسی صورت گرفته در شکاف باند لایه های نیمه هادی CIGS اوج کارایی در  $E_{\text{g}} = 1.55 \text{ eV}$  اتفاق می افتد.

2- با بررسی صورت گرفته در تاثیر ناخالصی لایه های CGS نوع P و N اوج کارایی در  $p = 4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  و  $n = 1 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$  رخ می دهد.

3- با بررسی صورت گرفته در تاثیر ناخالصی لایه های CIGS نوع P و N اوج کارایی در  $p = 8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  و  $n = 9 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  رخ می دهد.

در ساختار بهینه ، مطابقت جریان با تنظیم ضخامت لایه CdS حاصل می شود و با تنظیم ضخامت این لایه برابر با 185 نانومتر جریان سلول های بالا و پایین همسان می شوند. درصد کارایی ساختار بهینه به طور قابل توجه ای بالا میباشد.

## نتیجه گیری

سلول خورشیدی دو اتصال CGS/CIGS به صورت عددی شبیه سازی شد. برای دستیابی به حداکثر درصد راندمان موجود ، پنج پارامتر ساختاری بهینه سازی شد: شکاف باند لایه های CIGS ، ناخالصی لایه های CGS نوع P و N و ناخالصی لایه های CIGS نوع P و N . نتایج شبیه سازی ها نشان می دهد که تحت نور استاندارد AM 1/5 ،  $V_{\text{oc}} = 1.9 \text{ V}$  و  $J_{\text{sc}} = 27.09 \text{ mA / cm}^2$  ، حداکثر بازده تبدیل 44/37٪ حاصل شد. همان طور که مشاهده شد راندمان سلول تک قطبی CIGS به تنهایی 28/43٪ بدست آمده است سپس با اضافه کردن CGS به آن مشاهده شد که این سلول tandem جدید به راندمان 44/37٪ افزایش پیدا کرده است که در نهایت 15/94٪ افزایش بازدهی حاصل شده است.

## مراجع

[1] معراج رجائی (( مدل سازی و بهینه سازی ساختار سلول خورشیدی لایه نازک CIGS به منظور افزایش بازدهی)) مجله علمی و پژوهشی کارافن شماره چهل و یکم ۱۳۹۶