

بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. ۱۳۹۷ بهمن ۱۳۹۷



شبیهسازی و بهبود عملکرد سلول خورشیدی لایه نازک CZTSe با الکترود شفاف گرافن

سمانه امیری، دکتر سجاد دهقانی، دکتر رزا صفایی

دانشگاه شیراز، دانشکده فناوریهای نوین

چکیده – در این مقاله عملکرد سلول خورشیدی لایه نازک CZTSe با ساختار graphene/CdS/CZTSe/Al با ساختار graphene/CdS/CZTSe/Al با استفاده از نرمافزار Silvaco شبیه سازی شده است. تاثیر گاف انرژی، ضخامت و چگالی ناخالصی لایه جاذب و همچنین ضخامت و چگالی ناخالصی لایه جاذب و همچنین ضخامت و چگالی ناخالصی لایه جاذب و همچنین ضخامت و چگالی ناخالصی لایه بافر بر عملکرد این سلول مورد بررسی قرار گرفتند. به طوری که در حالت بهینه ساختار سلول ضخامت و چگالی ناخالصی لایه بافر بر عملکرد این سلول مورد بررسی قرار گرفتند. به طوری که در حالت بهینه ساختار سلول خورشیدی با لایه پنجره گرافن به ضخامت m 10¹⁷ لایه بافر CdS با ضخامت m 00 و چگالی ناخالصی ³ در حالت بهینه ساختار سلول خورشیدی با لایه پنجره گرافن به ضخامت m 10¹⁷ دان CdS با ضخامت m 00 و چگالی ناخالصی ³ در حالت به بازد به حاذب CdS با ضخامت m 10¹⁷ cm⁻³ و گاف انرژی ve 112 e و چگالی ناخالصی ³ از مال 20¹⁷ در ³ محادت PCZTS با ضخامت m 10¹⁷ cm⁻³ در حالت به بازده ³ در حالت به بازد و گاف انرژی Cds 20¹⁷ با ضخامت m 10¹⁷ در ³ در 20¹⁷ در 2

کلید واژه- بازده، سلول خورشیدی لایه نازک، سیلواکو، CZTSe

Simulation and performance improvement of CZTSe thin film solar cell with graphene transparent electrode

Samaneh Amiri, Sajjad Dehghani, Rosa Safaiee

school of Advanced Technologies, Shiraz University, Shiraz

Abstract- In this paper we simulate the performance of CZTSe thin film solar cells with graphene/CdS/CZTSe/Al structure including recombination effects. Effects of bandgap energy, thickness and doping of absorber layer, thickness and doping of buffer layer on the performance of the solar cell is investigated. In the optimum structure with 10 nm graphene as window layer, 90 nm thick CdS with doping concentration 10^{17} cm⁻³ as buffer layer and CZTSe with 1.2 µm thickness and 1.12 ev bandgap energy and doping concentration of 5×10^{16} cm⁻³ as absorber layer, Efficiency $\eta=14.28\%$, $J_{sc}=31$ mA/cm², $V_{oc}=0.6$ V, *F.F*=76.38% was obtained. The efficiency is improved significantly in comparison to the common CZTSe solar cells.

Keywords: CZTSe, efficiency, Silvaco, thin film solar cell



بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. ۱۳۹۷ بهمن ۱۳۹۷



مقدمه

از CZTSe برای ساخت سلول خورشیدی لایه نازک با هزینه کم و بازده بالا استفاده میشود زیرا این نیمه هادی دارای ضریب جذب زیاد 10⁴ ، گاف انرژی مستقیم در بازه ev 0.9-1.12 است. منابع آن به وفور در کره زمین یافت میشوند، انعطاف پذیر است و به راحتی برروی سطوح غیرمسطح قابل نصب هستند[1].

درسلول های متداول از الکترود شفاف اکسید قلع ایندیم (ITO) استفاده شده است اما چون این ماده شکننده بوده وقیمت آن به دلیل محدود بودن منابع آن زیاد است از گرافن که انعطاف پذیرتر و ازانتر از ITO است به جای آن استفاده می شود. مقاومت صفحهای گرافن کمتراز ITO است و ۹۷ درصد نور خورشید را ازخود عبور می دهد که این باعث می شود نور بیشتری به لایه جاذب برسد و بازده سلول افزایش می یابد [2].

هدف کلی از این مقاله ارائه یک ساختار بهینه برای بهبود عملکرد سلول خورشیدی لایه نازک CZTSe میباشد.که در حالت بهینه به *n*=14.28% رسیدهایم.

شبیه سازی سلول خورشیدی CZTSe

ابتدا سلول خورشیدی CZTSe را مطابق شکل ۱ و با دادههای جدول ۱ با نرمافزار Silvaco شبیه سازی می کنیم.

Graphene	10 nm
CdS	150 nm
CZTSe	1200 nm
Aluminum	100 nm

شكل ۱- ساختار سلول خورشيدى CZTSe

جدول ۱-پارامترهای به کاررفته در شبیه سازی سلول خورشیدی [3, 5, 6, 7] CZTSe].

parameters	CZTSe	CdS	Graphe
			ne
Thickness	1.2	0.15	0.01
(µm)			
Permittivity	7	10	25
Bandgap	1.04	2.42	0
Affinity	4.05	3.75	5.25
Electron	0.07	0.25	
effective mass			
Hole effective	0.2	5	
mass			
Electron	145	160	10^{4}
mobility			
Hole mobility	35	15	10^{4}
Donor density		5×10 ¹⁶	
Acceptor	5×10^{15}		
density			
SRH life time	1.5×10 ⁻⁹	7.5×10 ⁻¹⁰	
Radiative	1.04×10^{-10}	1.02×10^{-10}	
recombination			

با توجه به مقادیر ذکرشده در جدول ۲، خطای نتایج شبیه سازی با نتایج تجربی تقریبا بین ۲ تا ۵ درصد است که این میزان اختلاف خیلی ناچیز است، چون CZTSe پلی کریستال است و با توجه به اینکه جدول مربوط به پارامترهای مواد در کار تجربی ذکر نشده است به همین دلیل مقداری تفاوت وجود دارد.

جدول ۲- مقايسه نتايج شبيه سازى ساختار اوليه با نتايج تجربي [8].

نتايج	η (%)	$V_{oc}\left(\mathbf{v} ight)$	J_{sc} (mA/cm ²)	F.F (%)
تجربى	10.21	0.426	36.1	66.4
شبیه سازی	10.76	0.45	35.20	67.83

بررسی تاثیرپارامترهای مختلف برعملکرد سلول خورشیدی CZTSe

۱-ضخامت لايه بافر

ضخامت لایه بافر را در بازه nm 10-150 تغییر میدهیم که طبق شکل ۲ درضخامت n=10.79% به بیشینه بازده n=10.79% میرسیم.



شکل۲-منحنی بازده بر حسب ضخامت لایه بافر CdS

۲-ضخامت لایه جاذب

ضخامت CZTSe را در بازه nm – 2 μm تغییر میدهیم

که مطابق شکل ۳ در ضخامت m اید ا به بیشینه بازده N میرسیم. با افزایش ضخامت بازده افزایش می یابد زیرا $\eta=10.76$ میرسیم. با افزایش ضخامت بازده افزایش می یابد زیرا تعداد فوتونهای بیشتری در لایه جاذب جذب می شوند که می توانند اضافی بیشتری تولید می کنند که باعث افزایش V_{oc} می شود که اضافی بیشتری تولید می کنند که باعث افزایش می افزایش ضخامت با می می و در در جهت افزایش بازده عمل می کند و در به دلیل افزایش بازتر کیب در جهت کاهش بازده عمل می کند و در به دایی این دو از همدی بازده به انباع می می دو از همدیگر را خنثی می کنند و ثابت می شوند و بازده به اشباع می سرد [4].

۳-چگالی ناخالصی لایه جاذب و لایه بافر

بر اساس گزارش مقالهها، چگالی ناخالصی لایه جاذب و بافر در بازه r^{-3} بر اساس گزارش مقالهها، چگالی ناخالصی 10^{14} - 10^{18} cm⁻³ را در این بازه تغییر می دهیم. طبق نتایج شبیه سازی در حالت بهینه را در این بازه تغییر می دهیم. طبق نتایج شبیه سازی در حالت η برای CdS با چگالی ناخالصی η =10.69 به η czTse دست η =11.47% به τ cz



شکل ۳- منحنی بازده برحسب ضخامت لایه جاذب CZTSe ۴-گاف انرژی لایه جاذب

بر اساس مرجع [9] گاف انرژی CZTSe در بازه ev 0.1.1-0.9 تغییر می کند، از این رو ما اثر تغییر گاف انرژی بر بازده سلول خورشیدی را بررسی می کنیم. مطابق شکل ۴ با افزایش گاف انرژی بازده افزایش می یابد زیرا در ساختارسلول به دلیل وجود پیوند pn ناهمگن با افزایش گاف انرژی، پتانسیل داخلی سلول افزایش می یابد که این موجب افزایش V_{oc} می شود؛ از طرفی دیگر با افزایش می یابد که این احتمال تجمع الکترون ها وحفره ها در سلول افزایش می یابد که این هم موجب افزایش J_{sc} می شود، در نتیجه افزایش می یابد که این افزایش بازده می شود [3]. مطابق شکل ۴ در گاف انرژی η =13.07% بیشترین بازده (30%)



شکل ۴-منحنی بازده برحسب گاف انرژی لایه جذب CZTSe



مرجعها

[1] A. Reshak , K. Nouneh and I. Kityk, "Structural, Electronic and Optical Properties in Earth-Abundant Photovoltaic Absorber of Cu_2ZnSnS_4 and $Cu_2ZnSnSe_4$ from DFT calculations", Int. J. Electrochem. Sci, Vol. 9, pp. 955 – 974, 2014.

[2] Y. Xu and J. Liu, "Graphene as Transparent Electrodes: Fabrication and New Emerging Applications", materials views, Vol. 12, No. 11, PP. 1400-1419, 2016.

[3] U. Saha and M. Alam, "Proposition an computational analysis of a kesterite/kesterite tandem solar cell with enhanced efficiency", RSC Advances, Vol. 7, PP. 4806-4814, 2017.

[4] A. Cherouana and R. Labbani, "Study of CZTS and CZTSSe solar cells for buffer layers selection", Applied Surface Science, Vol. 424, PP. 251-255, 2017.

[5] K. ITO, *Copper Zinc Tin Sulfide-Based Thin-Film Solar Cells*, wiley, PP. 172-173, 2015.

[6] K. Patel and P. Tyagi, "Multilayer graphene as a transparent conducting electrode in silico heterojunction solar cells", AIP advances, Vol. 5, PP. 077165-11,2015.

[7] J. Weber, V. Calado and M. Sanden, "Optical constants of graphene measured by spectroscopic ellipsometry", Applied physics letters, Vol. 97, PP. 091904-3, 2010.

[8] J. Lia, S. Kim and Y. Zhang, "Tailoring the defects and carrier density for beyond 10% efficient CZTSe thin film solar cells", Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 159, PP. 447-455, 2017.

[9] S. Bag, O. Gunawan and D. Mitzi, "Low band gap liquidprocessed CZTSe solar cell with 10.1% efficiency", Energy Environ. Sci, Vol. 5, PP. 7060-7065, 2012.

منحنی مشخصه I-V سلول خورشیدی درحالت بهینه

با در نظر گرفتن کیله مقادیر بهینه به دست آمده از قسمتهای قبل برای گاف انرژی، ضخامت و چگالی ناخالصی لایه جاذب، ضخامت و چگالی ناخالصی لایه بافر سلول را شبیه سازی کردیم که منحنی مشخصه I-V میوال در حالت بهینه مطابق شکل ۵ می باشد.



شکل۵- منحنی مشخصه I-V سلول خورشیدی CZTSe در حالت بهینه

بنابراین در ساختار بهینه η =14.28% شد، که نسبت به بازده تجربی η =10.21% گزارش شده در [8] و همچنین نسبت به نتایج شبیه سازیهای پیشین با بازده η =6.45% و η =9.47% که به ترتیب در [3] و [4] گزارش شده اند، بازده افزایش یافته است.

منحنی بازده کوانتومی، جذب و بازتاب بر حسب طول موج

نتایج اپتیکی حاصل از شبیه سازی، که شامل منحنی بازده کوانتومی سلول، جذب و بازتاب برحسب طول موج میباشد در شکل ۶ نشان داده شده است.

نتيجه گيرى

در این مقاله سلول خورشیدی لایه نازک CZTSe با الکترود گرافن شبیه سازی گردید وتاثیر پارامترهای ضخامت، چگالی ناخالصی و گاف انرژی لایه جاذب، ضخامت و چگالی ناخالصی لایه بافر بر عملکرد سلول بررسی شدند. که با توجه به مقادیر بهینه به دست آمده برای این سلول به بازده %P=14.28 دست یافتیم و به این طریق عملکرد کلی سلول CZTSe بهبود یافت.