بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ 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 در نظرگرفتن اثر بازترکیب 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 بافر بر عملکرد این سلول مورد بررسی قرارگرفتند. به طوری که در حالت بهینه ساختار سلول خورشیدی با لایه پنجره گرافن به ضخامت 10 nm، لایه بافر CdS با ضخامت 90 nm و چگالی ناخالصی 10^{17} cm^{-3}، لایه جاذب CZTSe با ضخامت 1.2 µm و چگالی ناخالصی 5×10^{16} cm^{-3} و گاف انرژی 1.12 ev به بازده η=14.28 % ، چگالی جریان اتصال کوتاه J_{sc}=31 mA/cm^2 ، ولتاژمدار باز V_{oc}=0.6 V و ضریب پرشدگی $F.F$=76.38% دست می‌یابیم که نسبت به سلول خورشیدی CZTSe متداول بهبود قابل توجهی داشته است.

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 η=14.28%, J_{sc}=31 mA/cm^2, 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

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

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 10^4 ، گاف انرژی مستقیم در بازه 0.9-1.12 ev است. منابع آن به وفور در کره زمین یافت می‌شوند، انعطاف پذیر است و به راحتی برروی سطوح غیرمسطح قابل نصب هستند[1] .

درسلول‌های 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 می‌شود. مقاومت صفحه‌ای گرافن کمتراز ITO است و ۹۷ درصد نور خورشید را ازخود عبور می‌دهد که این باعث می‌شود نور بیشتری به لایه جاذب برسد و بازده سلول افزایش می‌یابد [2].

هدف کلی از این مقاله ارائه یک ساختار بهینه برای بهبود عملکرد سلول خورشیدی لایه نازک CZTSe می‌باشد.که در حالت بهینه به η=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 می‌کنیم.

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

شکل ۱- ساختار سلول‌خورشیدی CZTSe

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

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

با توجه به مقادیر ذکرشده در جدول ۲، خطای نتایج شبیه‌سازی 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.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

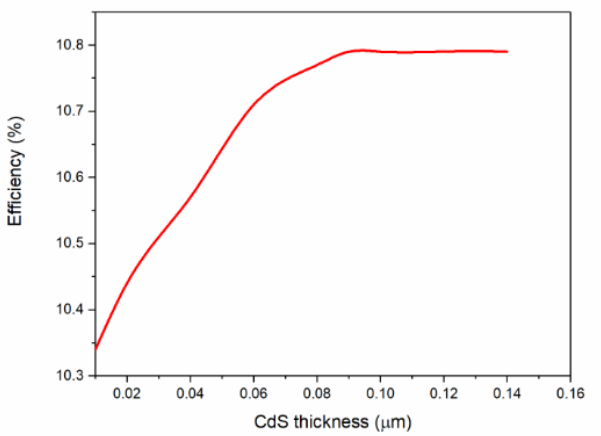
جدول ۲- مقایسه نتایج شبیه سازی ساختار اولیه با نتایج تجربی [8].

نتایج	η (%)	V_{oc} (v)	J_{sc} (mA/cm^2)	$F.F$ (%)
تجربی	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 لایه بافر

ضخامت لایه بافر را در بازه 10-150 nm تغییر می‌دهیم که طبق شکل ۲ درضخامت 90 nm به بیشینه بازده η=10.79% می‌رسیم.



شکل۲-منحنی بازده بر حسب ضخامت لایه بافر CdS

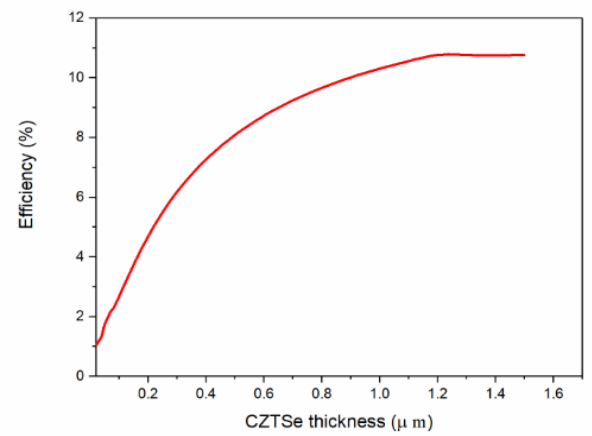
۲-ضخامت لایه جاذب

ضخامت CZTSe را در بازه 10 nm – 2 μm تغییر می‌دهیم

که مطابق شکل ۳ در ضخامت 1.2 μm به بیشینه بازده η=10.76% می‌رسیم. با افزایش ضخامت بازده افزایش می‌یابد زیرا تعداد فوتون‌های بیشتری در لایه جاذب جذب می‌شوند که می‌توانند در تولید زوج الکترون – حفره بیشتری شرکت کنند و حامل‌های اضافی بیشتری تولید می‌کنند که باعث افزایش V_{oc} و J_{sc} می‌شود که در جهت افزایش بازده عمل می‌کند، از طرفی دیگر افزایش ضخامت به دلیل افزایش بازترکیب در جهت کاهش بازده عمل می‌کند و در جایی این دو اثر همدیگر را خنثی می‌کنند و ثابت می‌شوند و بازده به اشباع می‌رسد[4] .

۳-چگالی ناخالصی لایه جاذب و لایه بافر

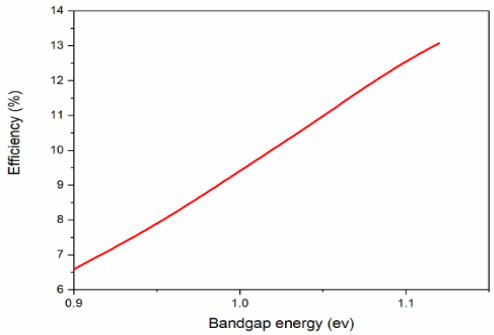
بر اساس گزارش مقاله‌ها، چگالی ناخالصی لایه جاذب و بافر در بازه 10^{14}-10^{18} cm^{-3} تغییر می‌کنند بر این اساس ما هم چگالی ناخالصی را در این بازه تغییر می‌دهیم. طبق نتایج شبیه سازی در حالت بهینه برای CdS با چگالی ناخالصی 10^{17} cm^{-3} به η=10.69% و برای CZTSe با چگالی ناخالصی 5×10^{16} cm^{-3} به η=11.47% دست می‌یابیم.



شکل ۳- منحنی بازده برحسب ضخامت لایه جاذب CZTSe

۴-گاف انرژی لایه جاذب

بر اساس مرجع [9] گاف انرژی CZTSe در بازه 0.9-1.12 ev تغییر می‌کند، از این رو ما اثر تغییر گاف انرژی بر بازده سلول خورشیدی را بررسی می‌کنیم. مطابق شکل ۴ با افزایش گاف انرژی بازده افزایش می‌یابد زیرا در ساختارسلول به دلیل وجود پیوند pn ناهمگن با افزایش گاف انرژی، پتانسیل داخلی سلول افزایش می‌یابد که این موجب افزایش V_{oc} می‌شود؛ از طرفی دیگر با افزایش پتانسیل داخلی احتمال تجمع الکترون‌ها وحفره‌ها درسلول افزایش می‌یابد که این هم موجب افزایش J_{sc} می‌شود، درنتیجه افزایش V_{oc} و J_{sc} سبب افزایش بازده می‌شود[3]. مطابق شکل ۴ در گاف انرژی 1.12 ev بیشترین بازده η=13.07% را به دست می‌آوریم.



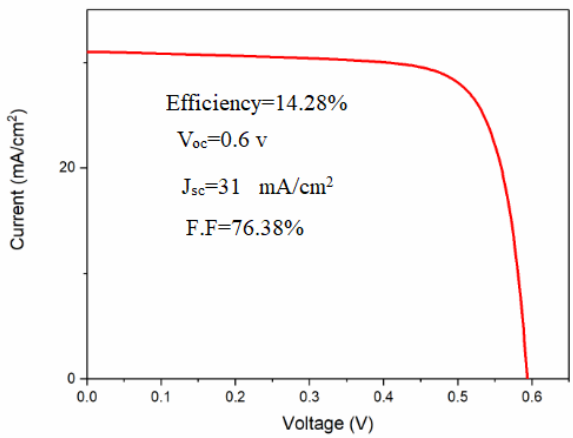
شکل ۴-منحنی بازده برحسب گاف انرژی لایه جذب CZTSe

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]

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 سلول در حالت بهینه مطابق شکل ۵ می‌باشد.



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

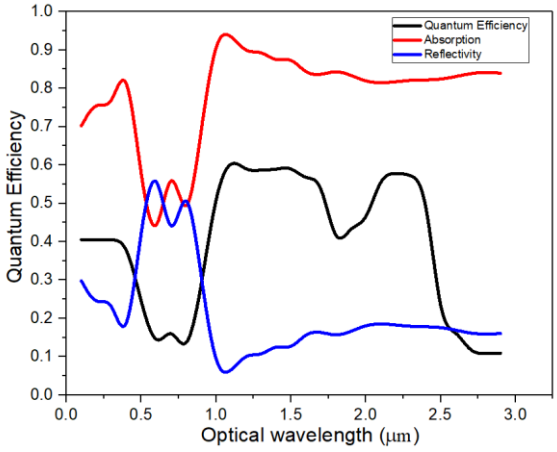
بنابراین در ساختار بهینه η=14.28% شد، که نسبت به بازده تجربیη=10.21% گزارش شده در [8] و همچنین نسبت به نتایج شبیه سازی‌های پیشین با بازده η=6.45% و η=9.47% که به ترتیب در [3] و [4] گزارش شده اند، بازده افزایش یافته است.

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.

نتیجه گیری

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 η=14.28% دست یافتیم و به این طریق عملکرد کلی سلول CZTSe بهبود یافت.



شکل ۶- منحنی بازده کوانتومی، جذب و بازتاب برحسب طول موج

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 liquid-processed CZTSe solar cell with 10.1% efficiency", Energy Environ. Sci, Vol. 5, PP. 7060-7065, 2012.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-12-14]