بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

آنالیز و بهینه سازی سلول های خورشیدی چند گانه با پیوند تونلی

معراج رجائی، سید محمد باقر قرشی

دانشکده فیزیک دانشگاه کاشان

چکیده -سیر تکاملی سلول های خورشیدی چند پیوندی مبتنی بر ترکیبات متفاوت طی چند دهه اخیر ، نشان دهنده اهمیت کاربرد این سلول ها با توجه به بازدهی مناسب آن ها می باشد مسأله لایه نشانی آن ها مشروط به شکاف باند های مناسب هرلایه با لایه های مجاور جهت افزایش بازدهی حائز اهمیت می باشد در این مقاله طراحی و بهینه سازی سلول های خورشیدی اتصال چندگانه با استفاده از یک روش جدید شرح داده شده است. سپس چندین نوع سلول خورشیدی با استفاده از نرم افزار سیلواکو شبیه سازی شده. و نمودار جریان-ولتاژ آن طی مراحل شبیه سازی مورد مقایسه قرار گرفته است.

کلید واژه- بازدهی، چندپیوندی، شکاف باند،سیلواکو لایه نشانی.

Analysis and optimization of multiple solar cells with tunnel junctions

Meraj Rajaee, Seyed Mohammad Bagher Ghorashi

Physics Dep. of University of Kashan

Abstract- Over the past several decades, in the evolution of multijunction solar cells based on different combinations . However their layer deposition is Subjected to an appropriate band gap of each layer with adjacent layers in orderto increase the efficiency . In this paper the design and optimization of multijunction solar cells is describedby sing a new method. Then several types of solar cells simulations by are done using SILVACO TCAD software And current-voltage curves were compared during simulation.

Keywords: SILVACO TCAD- tunnel junction -efficiency

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

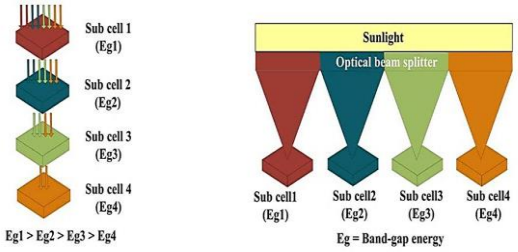
[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-01]

۱- مقدمه

در میان سلول های خورشیدی که طی چند دهه اخیر مورد بررسی و مطالعه فراوان قرار گرفته اند، سلول های خورشیدی چند پیوندی مبتنی بر ترکیبات مختلف دارای جایگاه خاصی به عنوان سلول های با بازدهی بالایی هستند. این سلول ها که متشکل از چند لایه نیمه هادی با شکاف باندهای متفاوت همراه با تطبیق ثابت شبکه ای هستند قادر به جذب وسیعی از طیف خورشیدی می باشند بنابراین تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریسیته توسط این سلول های چند پیوندی می تواند در گستره بزرگی انجام شود[۱]. زیرا در لایه اول ساختاری قرار دارد که دارای بیشترین شکاف باند انرژی نسبت به زیر لایه ها است بنابراین می تواند فوتون های نوری با انرژی بالا که دارای فرکانس بالا هستند را جذب کند. فوتون های با انرژی کمتر به ترتیب جذب لایه های بعدی که دارای شکاف باند انرژی کمتری می باشند خواهند شد. این ساختار سلول موجب افزایش راندمان سلول خورشیدی در مقایسه با سلول های تک پیوندی می شود. از طرفی این گستره لایه ها و بهبود بخشیدن آن ها موجب افزایش قیمت سلول خورشیدی می شود که استفاده از آن ها در ابعاد وسیع کاربردهایی فضایی و همراه با متمرکز کننده ها در زمین را مقرون به صرفه می کند. ساختارهای چند پیوندی دارای بازدهی بیشتری نسبت به سلول های تک لایه خواهند بود. در سلول های تک لایه حداکثر بازدهی محاسبه شده برابر ۳۴ درصد است[۲]. اما در تئوری استفاده از ساختار چندلایه زمانی که تعداد لایه را بسیار زیاد کنیم توانایی جذب حداکثری برابر با ۸۷ درصد خواهد داشت ، اما برای دست یافتن به چنین بازدهی نیازمند بهینه سازی نیمه هادی های مورد استفاده در ساختار چندلایه و ضخامت آنها هستیم. [۳]

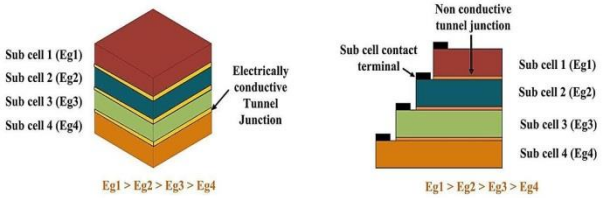
۲- ساختار سلول های خورشیدی چند پیوندی

سلول های خورشیدی چندپیوندی چندین ماده با شکاف باند متفاوت بر روی هم رشد داده می شوند. هر لایه نیمه هادی که به عنوان یک لایه مجزا در ساخت کل سلول قرار گرفته، توانایی جذب محدوده ای از طول موج های نور تابشی طیف خورشیدی و تبدیل آن به الکتریسیته را دارد . در نتیجه زیرلایه های نیمه هادی می توانند به این شکل بر روی هم قرار بگیرند که در لایه اول نیمه هادی ای که در مقایسه با سایر نیمه هادی های مورد استفاده در کل ساختار دارای شکاف انرژی بزرگتری است قرار می گیرد تا بتواند قسمتی از طیف که دارای انرژی بیشتری است، یعنی طول موج کوتاه را جذب کند[۴]. امواج با طول موج بالاتر که انرژی کمتری دارند از لایه اول ساختار عبور کرده و به لایه های زیرین که از نیمه هادی هایی با شکاف انرژی کمتر تشکیل شده اند برخورد می کند تا در لایه های زیرین جذب شوند[۵و۶]. همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است سلول خورشیدی چند پیوندی بر اساس روش های شکاف طیف نوری و زاویه متوسط محل اتصال به دو گروه تقسیم می شود: ۱) سلولهای خورشیدی چند پیوندی عمودی (Vertical Multijunction)؛ ۲) سلول های خورشیدی چند پیوندی افقی (Lateral Multijunction).



شکل ۱: (الف) سلول (LMJ) ب) سلول (VMJ)

سلول های چند پیوندی (LMJ) با وجود مزایایی که دارد اما هنوز به طور عملی کاربردی مانند نوع (VMJ) ندارد. سلول های خورشیدی چند پیوندی (VMJ) خود نیز به دو صورت انباشته مکانیکی و انباشته یک پارچه ساخته می شوند. در شکل۲ این دو حالت نشان داده شده است.



الف ب

شکل ۲: سلول های خورشیدی چند پیوندی (VMJ) به دو صورت : (الف) مکانیکی ، (ب) یک پارچه

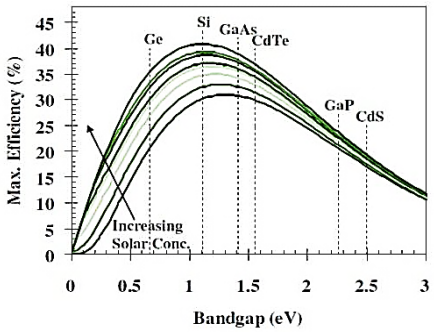
سلولهای خورشیدی چندپیوندی علاوه بر نیمه هادی های مختلف برروی هم از چند لایه اساسی نیز تشکیل

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-01]

شده اند که در قسمت های مختلف ساختار این سلول ها قرار می گیرند[۷و۸]. از جمله این لایه ها می توان به لایه های امیتر و بیس، روکش ضدبازتاب ، کنتاکت های فلزی ، پیوند تونلی ، لایه میدان سطح پشتی ، پنجره و متمرکز کننده ها اشاره کرد. بازده تبدیل انرژی سلول خورشیدی چند پیوندی از حاصل جمع بازده های متناظر با تک تک لایه ها بدست می آید. در این رابطه E_{gi} شکاف باند انرژی ناحیه جذب سلول i ام است[۳].

$$\eta(E_g) = \sum_{i=1}^{n} \eta(E_{gi}) \qquad (۱)$$

در شکل (۳) منحنی بازده بر حسب شکاف باند در تراکم های مختلف خورشید نشان داده شده است.

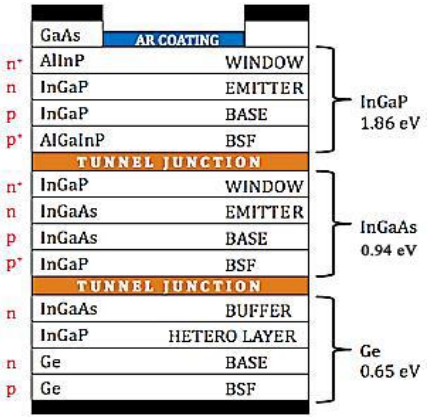


شکل ۳: منحنی بازده بر حسب شکاف باند برای ساختارهای مختلف سلول خورشیدی چند پیوندی

در ساخت سلول های خورشیدی چند پیوندی لایه های مختلف از مواد متفاوت به صورت سری با هم قرار می گیرند. بنابراین جریان عبوری از آنها یکسان است در این حالت برای رسم منحنی جریان- ولتاژ کل سلول مقدار ولتاژ سلول در یک جریان مشخص از جمع ولتاژ زیر لایه ها در همان جریان به دست می آید

۲-۱- سلول خورشیدی سه پیوندی GaInP/InGaAs/Ge

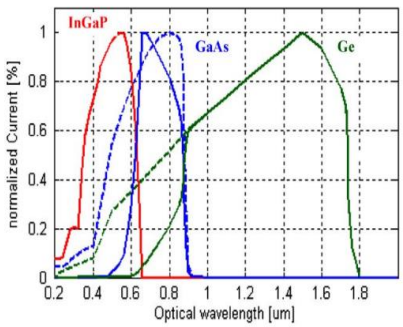
یک ساختاری که بعد از سال ۲۰۰۵ مورد بررسی بیشتر قرار گرفته است ، سلول خورشیدی متوالی سه لایه GaInP/InGaAs/Ge است. تحقیقات نشان داده شده است که این سلول سه لایه که از سه لایه نیمه هادی با ضخامت بهینه تشکیل شده است در صورتی که از ادوات متمرکز کننده نور استفاده کند، قادر به دستیابی به بازده تئوری ۳۵ ٪ خواهد بود. این سلول دارای ۳۰ لایه مختلف از جمله لایه های سد و پیوندهای تونلی است. در ابتدا به طور کلی می توان گفت که این سلول سه لایه ساخته شده بر پایه نانو تکنولوژی ، از سه لایه اصلی نیمه رسانا تشکیل شده است که عبارتند از:الف) یک لایه GaInP با شکاف باند eV۱,۸۶که برای جذب طول موجهای کوتاه طیف نور است؛ ب) یک لایه InGaAs با شکاف باند ۰,۹۴ eV که برای طول موجهای میانی طیف نور مناسب است؛ ج) و یک لایه Ge با شکاف باند eV ۰,۶۵؛که برای جذب طول موجهای بلند طیف نور مناسب است. ساختار سه لایه به همراه نواحی قابل جذب طیف تابشی AM۱,۵ خورشید توسط لایه های مختلف سلول در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴: شماتیک سلول خورشیدی سه پیوندی GaInP/GaInAs/Ge

پاسخ فرکانسی هر سلول ونیز اتصال سه گانه آن ها در شکل۵ مشاهده می شود. این ساختار سه لایه به همراه نواحی قابل جذب طیف تابشی AM۱,۵ خورشید توسط لایه های مختلف سلول بررسی شده است. در این مقاله چندین نوع سلول خورشیدی با استفاده از نرم افزار SILVACO TCAD شبیه سازی شده است .این نرم افزار توانایی شبیه سازی آزمایش های فیزیکی ، همانند اعمال مراحل لایه نشانی را دارا بوده و طراح به سادگی می تواند اثر تغییرات پارامترهای مختلف را بر بهبود نتایج، مشاهده کند.

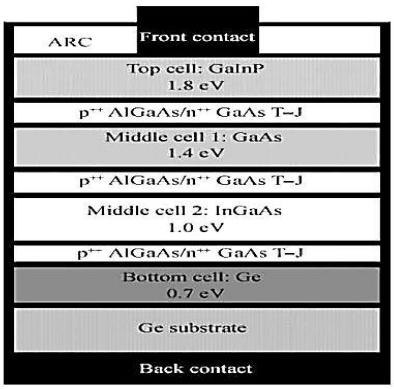
[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-01]



شکل ۵: پاسخ فرکانسی سه سلول به صورت جداگانه

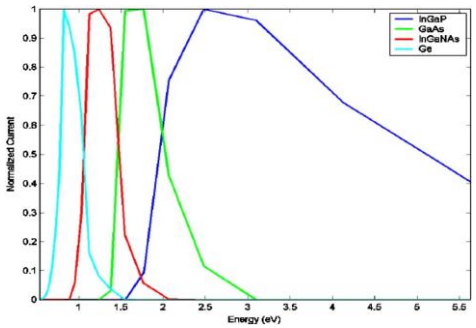
۲-۱- سلول خورشیدی چهارپیوندی GaInP/GaAs/InGaAs/Ge

این سلول چهار پیوندی دارای لایه هایی به صورت زیر است ؛لایه اول GaInP با شکاف باند ۱/۸ eV ؛ لایه دوم GaAs با شکاف باند ۱/۴ eV؛ لایه سوم InGaAs با شکاف باند ۱ eV؛ لایه چهارم Ge با شکاف باند ۰/۷ eV قرار دارد. در بین اتصال این لایه ها از سه پیوند تونلی p++ AlGaAs/n++ GaAs استفاده شده است. در شکل۶ ساختار این سلول چهار پیوندی نشان داده شده است.



شکل ۶: سلول خورشیدی چهارپیوندی GaInP/GaAs/InGaAs/Ge

بازده سلول خورشیدی چهار پیوندی در مقایسه با سلول سه پیوندی GaInP/InGaAs/Ge افزایش یافته است. در شکل ۷ با بررسی منحنی جریان ولتاژ سلول نهایی و سهم هر سلول را به طور جداگانه پاسخ طیفی نمایش داده شده است.



شکل ۷: پاسخ طیفی هر لایه InGaP/GaAs/InGaNAs/Ge

۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله به مطالعه ساختار سلول های خورشیدی چند پیوندی پرداخته شد. باتوجه به شبیه سازی سلول های خورشیدی اتصال یگانه و چندگانه و مشاهده ی خروجی های مطلوب که نتایج مشابه با مرجع را در اختیار ما قرار داده است می توان شاهد بهبود بازدهی و مشخصات سلول های اتصال چندگانه در مقایسه با اتصال یگانه بود. جهت رسیدن به حداکثر بازدهی تغییرات مطلوب را در ساختار سلول می توان ایجاد کرد.

مراجع

[۱] A.Bahrami, S.Mohammadnehad, N.J.Abkenar, "Normal Distribution Profile for Doping Concentration in Multilayer Tunnel junction." Optical and QuantumElectronics ٤٥, (۲۰۱۳).

[۲] A.Bahrami, S.Mohammadnehad, N.J.Abkenar, "Normal Distribution Profile for Doping Concentration in Multilayer Tunnel junction." Optical and QuantumElectronics ٤٥, (۲۰۱۳).

[۳] Engineering fundamentals, structures & technologies Prof.S.Mohammadnejad, A.Bahrami. (۲۰۱۳)

[٤] F.Dimroth, " High- efficiency solar cells from III-V compound semiconductors," phys.spl.(c)۳.(۲۰۰٦)

[٥] H.jianmin, W. Yiyoung , X.Jingdong, Y.Dezhuang , and Z.Zhhongwei, " Degradation behaviors of lectrical properties of GaInP/GaAS/Ge solar cells under <۲۰۰ keV proton irradiation, " Solar Energy Materials & Solar cells ۹۲, (۲۰۰۸)

[٦] Improvement of Radiation Resistance in InGaP/GaAs/Ge Triple Junction Solar Cell by using AlInGaP and Grading Doping Concentration: Dorna Mortezapour, Javad Karamdel, Mohamadali Moradian.

[۷] On Generation and Recombination in Cu(ln,Ga)Se۲ Thin-Film Solar Cells. Jonas Malmstrom, ۲۰۰٥.

[۸] Optimization of Subcell Interconnection for Multijunction Solar Cells Using Switching Power Converters;Mohammed Khorshed Alam, Student Member, IEEE, Faisal Khan, Member, IEEE, andAbusaleh M. Imtiaz, Student Member, IEEE. IEEE

[Downloaded from opsi.ir on 2025-11-01]