بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

کد مقاله : ۱-۲۵۶۴-۱۰-A

مدل‌سازی عددی سلول خورشیدی مبتنی بر گالیوم‌آرسنایدبا طیف جذب باندپهن

حدیث فولادی، علی فرمانی، علی میر

گروه الکترونیک، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

چکیده –سلولهای خورشیدی مبتنی بر GaAs (گالیوم-آرسنایدد) به دلیل بازدهی بالاتر و مقاومت بیشتر در مقابل تابشهای کیهانی و گرما اهمیت بالایی دارند.در این مقاله به مدلسازی عددی سلول خورشیدی مبتنی بر گالیوم‌آرسنایدبا طیف جذب باندپهن پرداخته می شود. در سلول های خورشیدی به منظور طراحی و عملکرد سیستم، مدلسازی عددی مبتنی بر روش تفاضل محدود در زمان ارائه شده است. نتایج مدلسازی نشان میدهدکه ساختار پیشنهادی، به دلیل هندسه ساختار و استفاده از گالیوم‌آرسنایدد، دارای بهبود مناسب از لحاظ پهنای باند و مقدار جذب نسبت به ساختارهای مشابه است.

کلید واژه- مدلسازی عددی، سلول های خورشیدی، گالیوم‌آرسنایدد.

Numerical modeling ofGaAs-based solar cell with broadband absorption spectrum

Hadis Fouladi, Ali Farmani, Ali Mir

Department of Electrical Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Abstract- GaAs-based solar cells are more important due to their higher efficiency and resistance against cosmic radiation and heat. In this article, the numerical modeling of GaAs-based solar cell with broadband absorption spectrum is investigated. Due to design and operate the solar cells systems, the numericalmodeling must be presented.The modeling results show that the proposed structure, due to structure geometry and use of Ga-As, in terms of bandwidth compared to similar structures has better improvement.

Keywords: numerical modelling, Ga-As solar cells.

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

بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان،
زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

مقدمه

سلول خورشیدی بعنوان یک از المان های نوری مهم، مورد توجه گروه های تحقیقاتی بسیاری می باشد. این المان بصورت کلی دارای سه نسل از نظر بکارگیری مواد و ساختارها می باشد. نسل اول آنها سلول های خورشیدی سیلیکونی(Si) هستند که شامل تک و پلی کریستال ها می باشند. نسل دوم سلول های خورشیدی فیلم نازک می باشند و سومین نسل سلول های خورشیدی رنگدانه ای می باشند [۱].یک مشکل اساسی تلفات burn-in در سلول های خورشیدی می باشد(افت سریع پارامتر های سلول خورشید در شروع کار دستگاه) در واقع افت سریع ولتاژ مدار باز(Voc)یک مشکل اساسی در سلول های خورشیدی می باشد[۲].قیمت بالای سلول های خورشیدی(SCs) مبتنی بر زیرلایه های گران قیمت از جمله Ge وGaAs سنتز شده توسط MOCVD و MBEنیاز استفاده از سیستم غلظت دهی نور به منظور کاهش ناحیه المانی فتوولتائیک را ضروری می کند[۳].یکی از انواع سلول های خورشیدی، سلول های خورشیدی گالیم-آرسناید هستند که از ترکیب گروه های دوم و پنج بدست می آیند. این گروه علی‌رغم هزینه های بالای استحصال و ساخت این نیمه هادی ها، با موفقیت زیاد در کاربردهای فضایی که در آنها هزینه، فاکتور مهمی نیست مورد استفاده قرار گرفته اند.انرژی شکاف گالیم آرسناید برابر۱.۴۲۴ eVاست می تواند ماده مناسبی برای طراحی سلول های خورشیدی باشد[۴].سلول های خورشیدی ساخته شده بر پایه لایه نازک GaAs به عنوان نسل دوم سلول های خورشیدی نامگذاری می شوند[۵].

در این مقاله به مدلسازی عددی سلول های خورشیدی مبتنی بر گالیم-آرسناید با طیف جذب باند پهن با استفاده از نرم افزار Lumerical مبتنی بر روش حل عددی تفاضل محدود حوزه زمان (FDTD) پرداخته شده است.

معرفی نرم افزار مدلسازی

نرم افزار لومریکال از چهار ماژول FDTD Solutions ، Device، MODE Solutionsو Interconnect تشکیل شده است[۶] .دو ماژول Device وFDTD ماژول های اصلی و پرکاربرد نرم افزار لومریکال می باشند.روش حل مسائل در این نرم افزار براساس روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD) می باشد.

مدلسازی عددی سلول خورشیدی مبتنی بر گالیوم‌آرسناید

گالیم آرسناید باتوجه به ویژگی هایش در تمام زمینه ها برتری چشمگیری نسبت به سیلیکون دارد. از جمله مزایای این نیمه هادی نسبت به سیلیکون ضریب دمای کم، عملکرد خوب در نور کم، بازدهی بالا، انعطاف پذیری، وزن سبک و تحرک بیشتر الکترونهای آن می باشد. باتوجه به تحقیات بعمل آمده ساخت سلول خورشیدی با این نیمه هادی با بالاترین کارایی و جزئی از هزینه های فعلی امکانپذیر می باشد.در یک سلول ایده آل کل جریان بصورت رابطه (۱) می باشد.

$$I = I_{PH} - I_0 \Rightarrow I = I_{PH} - I_O\left[\exp\left(\frac{qV}{AKT}\right) - 1\right] \quad (۱)$$

که در آن I_O جریان اشباع دیود در شرایط بدون نور، A ضریب کیفیت دیود و بین ۱ الی ۲ می باشد، q بار

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

الکتریکی، k ثابت بولتزمن و T دمای سلول خورشیدی برحسب کلوین می باشد.در این مدل جریان فوتوولتائیک، جریان اشباع دیود و ضریب کیفیت دیود باید محاسبه شوند. برای محاسبه I_{PH} با توجه به اطلاعات نقطه اتصال کوتاه داریم:

$$I = I_{SC}, V = 0 \Rightarrow I_{PH} = I_{SC} \quad (۲)$$

با استفاده از داده های مدار باز، مقدار جریان اشباع دیود محاسبه می گردد:

$$I = 0, V = v_{oc} \Rightarrow 0 = I_{PH} - I_0\left[\exp\left(\frac{qv_{oc}}{AKT}\right) - 1\right] \Rightarrow \quad (۳)$$
$$I_0 = \frac{I_{sc}}{\left[\exp\left(\frac{qv_{oc}}{AKT}\right)-1\right]}$$

مقدار A با مقادیر جریان و ولتاژ در نقطه توان بیشینه محاسبه می شوند:

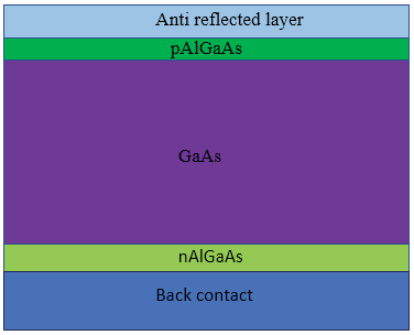
$$I = I_{mp}, V = V_{mp} \quad (۴)$$

I_{mp}

با استفاده از روش نیوتن مقدارA محاسبه می شود.

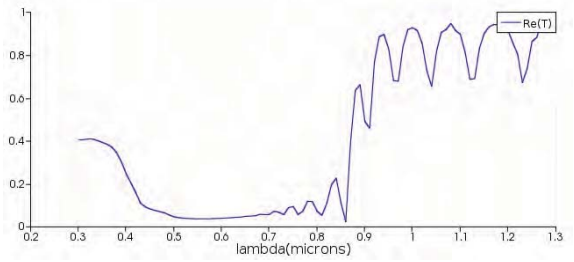
نتایج شبیه سازی

در این مقاله مدلسازی سلول خورشیدیمبتنی بر گالیومآرسناید با طیف جذب باندپهن با استفاده از نرم افزار لومریکال ارائه شده است. ساختار سلول خورشیدی پیشنهادی در شکل زیر نشان داده شده است.



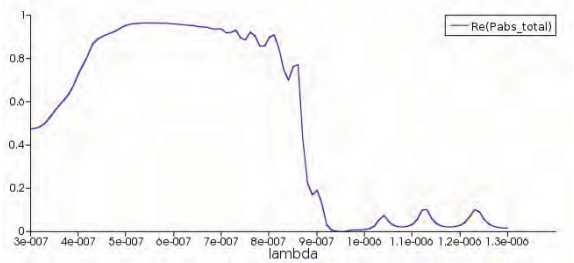
شکل ۱.ساختار سلول خورشیدی پیشنهادی مبتنی بر گالیوم آرسناید

برای بررسی عملکرد این طراحی، پهنای طیف انتقالی در بازه ی ۰.۹ تا ۱.۳ میکرومتر دارای شدت بیشتری نسبت به طول موج های ماوراء بنفش و همچنین مرئی به دست آمده است.



شکل ۲.طیف نـور انتقالیکـه در آن در فاصـله ۰.۹ تـا ۱.۳ بیشـترین جذب رخ داده است.

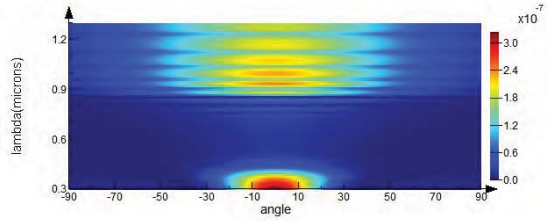
در شکل شماره ۳، با استفاده از تحلیل عددی طیف نور جذبی در سلول خورشیدی پیشنهادی محاسبه و بدست آمده است. یکی از اهداف این طرح رسیدن به میزان جذب بالاتر در محدوده طول موج های بیشتر می باشد.



شکل ۳. طیف جذبی کل در سلول خورشیدی پیشنهادی

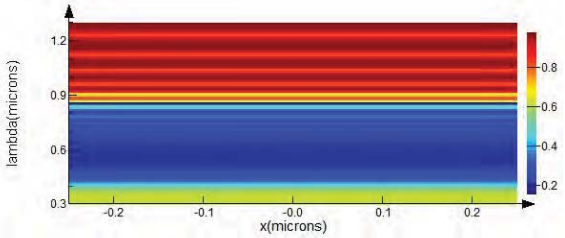
همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است، میزان برهمکنش نور و ساختار در طول موج های پایین بسیار شدید می باشد. البته جهت بهبود میزان جذب در طول موج های بالاتر استفاده از نانوذرات در ساختار پیشنهادی مدنظر قرار خواهد گرفت. در ادامه اثر زاویه نور تابشی به ساختار مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، ساختار پیشنهادی به زاویه تابش نور حساس می باشد و بیشترین میزان جذب نور در ساختار در زوایای -۱۰ تا ۱۰ درجه خواهد.

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



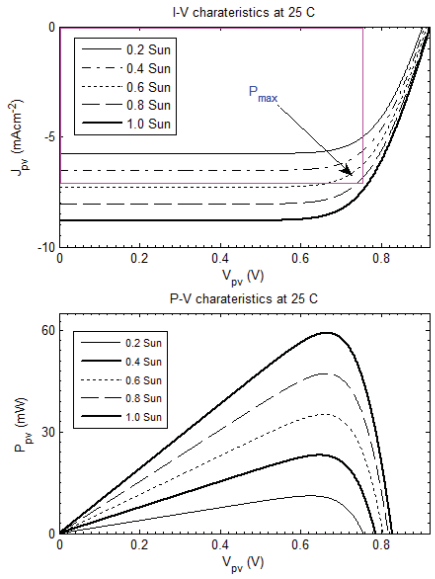
شکل ۴. فوتون تولید شده در سلول پایه. در زاویای مختلف که در زاویه تابش صفر درجه، بیشترین میدان بوجود آمده است.

محاسبه میدان نزدیک در سلول خورشیدی یکی از پارامترهای مهم می باشد. بنابراین در شکل ۵ میزان برهم کنش نور و ساختار در لایه های ساختار مورد ارزیابی قرار گرفته است.



شکل ۵. فوتون تولید شده در سلول پایه در مقیاس نزدیک. مقدار جذب و میدان در لایه های بالا رخ داده است.

بمنظور بررسی کامل سلول پیشنهادی، پارامترهای الکتریکی ساختار با استفاده از روش عددی محاسبه شده است.



شکل ۶. محاسبه نمودار جریان ولتاژ و همچنین میزان توان تولیدی به ازای تغییرات شدت نور خورشید

نتیجه‌گیری

نتایج مدلسازی نشان میدهد که ساختار پیشنهادی، به دلیل هندسه ساختار و استفاده از گالیوم‌آرسناید، دارای بهبود مناسب از لحاظ پهنای باند و مقدار جذب بالاتر نسبت به ساختارهای مشابه است.

مرجع‌ها

۱. Arifin, Zainal, et al. "The Effect of Heat Sink Properties on Solar Cell Cooling Systems." Applied Sciences 10.21 (2020): 7919

۲. Kim, Jihee, et al. "Improving the Photostability of Small-Molecule-Based Organic Photovoltaics by Providing a Charge Percolation Pathway of Crystalline Conjugated Polymer." Polymers 12.11 (2020): 2598.

۳. Mazouz, Halima, et al. "Numerical simulation of GaAs solar cell aging under electron and proton irradiation." IEEE Journal of Photovoltaics 9.6 (2019): 1774-1782.

۴.ذرم، برهان،*نسل های مختلف سلول های خورشیدی و مکانیسم عملکرد آن ها*،دو فصلنامه مباحث برگزیده در انرژی، دوره: ۳، شماره: ۲، ۱۳۹۶.

۵ .بهنام، سعید، *تولید و انتقال بدون سیم برق خورشیدی از فضا به زمین*، سی و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق، پژوهشگار، ۱۳۹۸.

۶.فیاضی، غزاله و کرمدل، جواد،*بهبود راندمان سلول خورشیدی سه پیوندی مبتنی بر گالیوم-آرسناید با استفاده از چاههای کوانتومی ایندیوم-آرسناید*،بیست و نهمین کنفرانس بین المللی برق،تهران،۱۳۹۳