همایش نانوفوتونیک ایران ۱۳۹۹- ۱ و ۲ آبان
Iranian Nano-Photonic Conference 2020
October 23 and 24

بهبود بازدهی مبدل فوتوولتاییک دو پیوندی GaInP/GaAs

آذین جعفری [۱]، علیرضا رنجکش [۱،*]، رضا رازمند [۱]، نگین معنوی‌زاده [۲]

[۱] آزمایشگاه خواص الکترونیکی مواد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران
[۲] آزمایشگاه ادوات نانوساختار الکترونیکی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ایران

چکیده: بازدهی بالای سلول‌های خورشیدی با بهره‌گیری از فناوری چندپیوندی نظیر GaAs، تاثیر زیادی در افزایش کارایی این سلول‌ها و تمرکز بر ساخت و بهینه‌سازی پارامترهای آن‌ها داشته است. GaAs با ضریب جذب در طیف مرئی بسیار بالاتر نسبت به Si، می تواند با ویفری بسیار نازک‌تر از ویفر سیلیکون در جذب یکسان فوتون کار کند. در این مقاله با استفاده از نرم افزار Silvaco سلول خورشیدی دو پیوندی GaInP/GaAs بهینه‌سازی شده است. ابتدا ساختار سلول اولیه منطبق با نتایج عملی ساخت و با چگالی ناخالصی مشخص آماده‌سازی می‌شود و در ادامه با تغییر نوع ماده نیمه‌رسانا در لایه امیتر و همچنین بهینه سازی چگالی ناخالصی لایه بیس و امیتر، سلول بهینه پیشنهادی آماده می‌شود. این کار با هدف بهبود عملکرد سلول خورشیدی GaInP/GaAs بوده که نتایج بدست آمده، یک بهبود ۱۰/۸۷ درصدی و ۱/۳۵ درصدی به ترتیب در بازدهی و فاکتور پرشدگی و یک افزایش حدود ۱ ولتی در ولتاژ مدار باز سلول را نشان داده است.

کلید واژگان: مبدل فوتوولتاییک؛ سلول‌خورشیدی چندپیوندی؛ ایندیم‌گالیم‌آرسناید؛ شبیه‌سازی و بهینه‌سازی پارامترها؛

Efficiency improvement of the GaInP/GaAs multi junction photovoltaic modules

Azin Jafari[1], Alireza Ranjkesh[1], Reza Razmand[1], Negin Manavizadeh[2]
[1]Electronic Materials Laboratory, Electrical Engineering Department, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran
[2]Nanostructures Lab, Electrical Engineering Department, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract: The high efficiency of solar cells due to the use of multi junction as GaAs, has a great impact on increasing the efficiency of these cells and on both fabrication and optimization of their parameters. Higher absorption coefficient in the visible spectrum than Si, GaAs can work with a much thinner wafer, absorbing photons as much as the conventional Si cells. In this paper, GaInP/GaAs dual junction solar cell is optimized using Silvaco simulator software. First, the structure of the primary cell according to the fabrication results on GaAs with specific impurity densities is prepared. Then, through changing the material in the emitter layer and optimizing the impurity density of the base and emitter layers, the improved cell has been simulated. The aim of this work was to improve the performance of the GaInP/GaAs solar cell, applying the changes and optimizing the results showed a 10.87% and 1.35% improvement in efficiency and fill factor with near 1-volt increasement in open circuit voltage.

Keywords: Photovoltaic modules; multi junction solar cells; InGaAs; Simulation and Optimization;

* Ranjkesh.kntu95@email.kntu.ac.ir

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

۱- مقدمه

سلول‌های خورشیدی چندپیوندی مبتنی بر عناصر گروه‌های III-V مانند سلول خورشیدی دو پیوندی GaInP/GaAs بدلیل بازدهی تبدیل بالایی که دارند، توجه بسیار زیادی را به خود جلب نموده اند[۱]. دلیل اصلی انتخاب این ساختارها، استفاده از آن‌ها در سیستم کاسگرین است که یک سیستم فوتوولتاییک با متمرکز کنندگی بالا می‌باشد[۲]. ساخت این سلول‌ها به دلیل آنکه لایه‌های متعدد آن ضخامتی زیر 100 nm دارند، از نظر اقتصادی و کوچک‌سازی ادوات و سلول‌ها در حوزه نانوفوتونیک کاربرد دارند؛ اما به دلیل پیچیدگی در فرآیند ساخت، هزینه بالا و زمانبر بودن، بهینه‌سازی عملی این نوع از سلول‌های خورشیدی نسبتا دشوار است. شرکت‌های فعال در این حوزه، در بخش تحقیق و توسعه با استفاده از شبیه سازی و مدل سازی عددی به بهینه سازی ساختار سلول مورد نظر پرداخته و بعد از آن بهینه سازی عملی را در دستور کار خود قرار می‌دهند. در واقع هدف از انجام این شبیه‌سازی‌ها، کاهش زمان و هزینه‌های مربوط به ارتقای این سلول‌ها می‌باشد.

۲- ساختار مبدل فوتوولتاییک پیشنهادی

در این مقاله، اثر تغییرات مختلفی نظیر تغییر نوع ماده در لایه امیتر و تغییر چگالی ناخالصی هر یک از لایه ها بر روی مشخصه‌های اصلی مبدل بررسی و بهینه‌سازی شده‌اند. ساختار مبدل فوتوولتاییک شبیه سازی شده، در شکل-۱-الف نشان داده شده است. پس از تعریف هر یک از ناحیه‌ها و اتصالات فلزی، در زیر آن‌ها یک لایه GaAs قرار می‌گیرد. این لایه Cap یا کلاه نامیده می‌شود و برای سهولت گذر جریان از لایه بالایی به اتصال‌ها استفاده می‌گردد. به دلیل کاربرد گسترده این مبدل‌های فوتوولتاییک در ساخت سلول‌های خورشیدی برای کاربردهای فضایی، شبیه‌سازی مبدل فوتوولتاییک شکل-۱، تحت شرایط تابش 1-sun و AM0، جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، فاکتور پرشدگی و بازده تبدیل سلول در جدول-۱ و منحنی مشخصه جریان ولتاژ سلول در نمودار شکل-۱-ب (نمودار آبی رنگ) نشان داده شده است. زیربنای کار شبیه‌سازی انجام شده نتایج عملی مقاله‌ای ساخت در زمینه سلول‌های خورشیدی چندپیوندی و بهبود پارامترهای آن است.

از آنجا که هدف بهبود عملکرد مبدل فوتوولتاییک به واسطه تغییر نوع ماده نیمه‌رسانا در لایه امیتر و چگالی ناخالصی در بیس بوده، در این راستا از یک ماده شفاف با گاف انرژی بزرگ‌تر (1.96 eV) یعنی AlGaInP به جای GaAs در لایه امیتر پایینی استفاده شده است. جنس لایه بیس بدون تغییر و همان GaAs بوده است. در حقیقت از سلول AlGaInP انتظار ولتاژ مدار باز و مقاومت تابشی بیشتری می‌رود. اما چگالی جریان اتصال کوتاه یک سلول AlGaInP کمتر از یک سلول InGaP است. درواقع AlGaInP دارای گاف انرژی بزرگ‌تر از InGaP می‌باشد و از آنجا که مواد با گاف انرژی بزرگ‌تر، فوتون‌های پرانرژی‌تر اما کمتری را جذب می‌کنند، چگالی جریان اتصال کوتاه یک سلول AlGaInPکمتر از یک سلول InGaP در ضخامت برابر لایه‌ها خواهد بود. برای دستیابی به بهترین چگالی ناخالصی در هر لایه و بیشترین بازده از سلول مورد ارزیابی، ابتدا چگالی ناخالصی در لایه امیتر بالایی از ۲×۱۰^{۱۵} تا ۲×۱۰^{۱۹} تغییر یافته و چگالی ناخالصی در بقیه لایه‌ها ثابت باقی مانده است. نمودارهای تغییرات جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز، فاکتور پرشدگی و بازده تبدیل سلول به ازای تغییرات در لایه امیتر بالایی درنظر گرفته شده و در نهایت چگالی بهینه برای این لایه بدست آمده است.

سپس همین مراحل به ترتیب برای لایه‌های امیتر پایینی، بیس بالایی و بیس پایینی نیز مانند لایه امیتر بالایی انجام شده‌اند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نشان می‌دهند که هر اندازه چگالی ناخالصی لایه بیس بالایی بیشتر باشد، خروجی بهتری حاصل شده است. همچنین تغییرات چگالی ناخالصی در لایه بیس پایینی تاثیر چندانی بر مشخصه‌های الکتریکی خارجی مبدل نداشته و چگالی ناخالصی این لایه بدون تغییر باقی می‌ماند. در نهایت چگالی‌های بهینه برای چهار لایه امیتر بالا و پایین و بیس بالا و پایین به ترتیب برابر ۲×۱۰^{۱۹}، ۲×۱۰^{۱۵}، ۲×۱۰^{۱۵} و ۲×۱۰^{۱۷} محاسبه شد. در جدول-۲ تفاوت عملکرد مبدل فوتوولتاییک بعد از اعمال تغییرات نشان داده شده است.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]

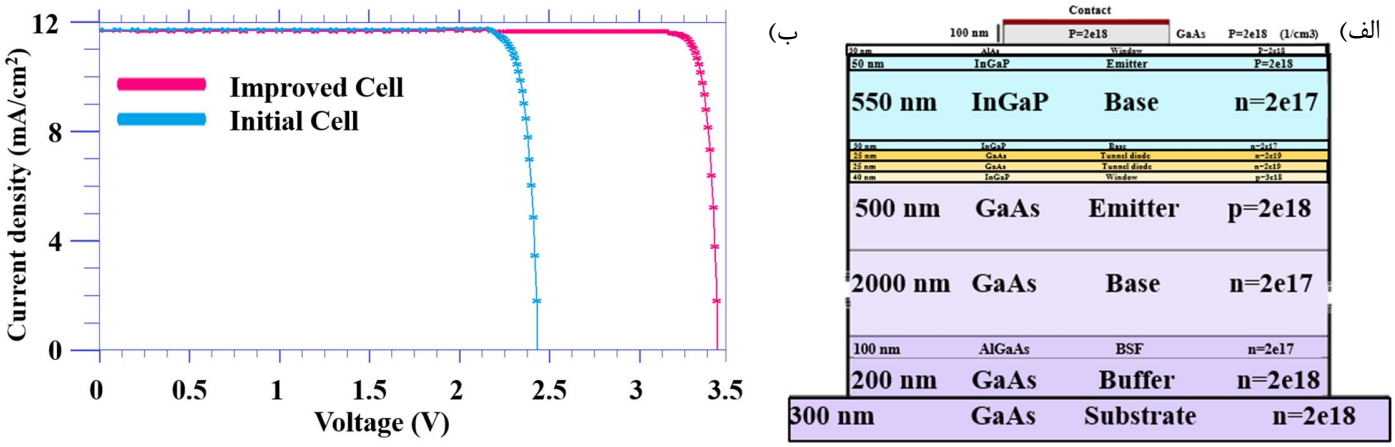
جدول ۱- نتایج بدست آمده از منابع آزمون های عملی[۳] و مقایسه با نتایج بدست آمده در شبیه سازی اولیه.

نتایج	بازدهی تبدیل (%) η	فاکتور پرشدگی(%) FF	ولتاژ مدار باز(V) V_{OC}	چگالی جریان اتصال کوتاه J_{SC} (MA/CM^2)
آزمایش عملی	۲۴,۲۷	----	۲,۳۲	۱۱,۸۶
شبیه سازی	۲۴,۴۲	۸۸,۶۶	۲,۳۷	۱۱,۷۲

جدول ۲- مشخصه های الکتریکی سلول دو پیوندی GaInP/GaAs ابتدایی در مقایسه با سلول دو پیوندی AlGaInP/GaAs بهینه شده

نمونه شبیه سازی	بازدهی تبدیل (%) η	فاکتور پرشدگی(%) FF	ولتاژ مدار باز(V) V_{OC}	چگالی جریان اتصال کوتاه J_{SC} (MA/CM^2)
سلول پیشنهادی	۲۴,۴۲	۸۸,۶۶	۲,۳۵	۱۱,۷۲
سلول پیشنهادی بهبود یافته	۳۵,۲۹	۹۰,۰۱	۳,۳۶	۱۱,۶۷

با در نظر گرفتن مقادیر بهینه شده برای ساختار پیشنهادی و شبیه سازی ساختار بهبود یافته بازده سلول بهبود چشمگیری داشته است. منحنی مشخصه جریان-ولتاژ ساختار بهبود یافته در نمودار شکل-۱-ب با ساختار متداول مقایسه شده است. واضح است که افزایش بیش از یک ولتی ولتاز مدار باز منجر به افزایش عملکرد مبدل فوتوولتاییک شده است؛ بطوریکه بازدهی تبدیل مبدل فوتوولتاییک پیشنهادی بهبود یافته نسبت به وضعیت اولیه خود ۱۰/۸۷ ٪ افزایش یافته است. این عملکرد برای یک مبدل فوتوولتاییک دو پیوندی مطلوب به نظر می رسد. در واقع می‌توان اینگونه استنباط کرد که نرخ جدایش زوج حفره-الکترون با بیشتر شدن شیب میدان داخلی افزایش یافته است. مسلم است که با استفاده از این بهینه‌سازی‌ها می توان ساختارهای پربازده‌تری طراحی کرد.



شکل -۱-الف) ساختار مبدل فوتوولتاییک دو پیوندی GaInP/GaAs و ب) منحنی مشخصه جریان-ولتاژ سلول ابتدایی در مقایسه با منحنی مشخصه جریان-ولتاژ سلول بهینه‌سازی شده، هر دو در شرایط AM0 و 1 sun.

مراجع

1. M. Feifel, *et al.* **Solar RRL 3(12)** 1900313 2019.
2. J. P. Ferrer-Rodríguez *et al*. **AIP Conference Proceedings 2149(1)** 2019.
3. H. Heydari *et al.* **Journal of Electrical and Electronics Engineering 11(4)** 2278-1676 2016.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01]