

KNO-1102-4404

بررسی و تحلیل جهت طراحی یک پنل فتوولتائیک با استفاده از فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل با کارکرد ولتاژ حداکثر

امیر شاطری* amir.sh197799@gmail.com

*فارغ التحصیل مقطع کارشناسی پیوسته مهندسی برق موسسه آموزش عالی آپادانا شیراز؛ ایران

چکیده

در این تحقیق و مقاله، از یک مرحله حذف بستر موضعی برای ساخت یک پنل کوچک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل فتوولتائیک با نور پستی مناسب برای کاربردهای ولتاژ بالا و توان کم استفاده شده است. حذف بستر موضعی را می توان با ایجاد یک شکاف فیزیکی ۵۰ میکرومتری بین سلول های فتوولتائیک تراشه ای برای جداسازی الکتریکی، در حالی که نیاز به زمان بر بودن مراحل انتخاب و مکان را ایجاد کرد، ارتقا یافته فناوری ماژول چند تراشه در نظر گرفت. اثبات مفهوم ماژول فتوولتائیک، ولتاژ مدار باز حداکثر و جریان اتصال کوتاه در مقیاس میکروآمپر را در یک ضریب شکل کوچک (۳،۱۳ ولت بر میلی متر مربع) به دست آورد. ساخت این مینی ماژول فتوولتائیک بر اساس فرآیندهای استاندارد تولید/بسته بندی میکروالکترونیک است، در نتیجه یکپارچگی آسان با سایر میکروالکترونیک ها برای سیستم های خود تغذیه را تضمین می کند.

کلید واژه ها: فناوری نیمه هادی اکسید-فلزی تکمیلی، دستگاه فتوولتائیک با نور پست، حذف موضعی بستر، فرآیند سیستم های میکرو الکترومکانیکی

۱. مقدمه

پیشرفت های اخیر در طراحی مدار و فناوری نیمه رسانای اکسید فلزی اندازه و مصرف انرژی گره های حسگر مستقل و دستگاه های پزشکی قابل کاشت [۱]-[۳] را تا حد زیادی کاهش داده است، و در نتیجه دری را برای توسعه سیستم های خود تغذیه باز می کند. تولید برق از نور با استفاده از دستگاه های فتوولتائیک مبتنی بر سیلیکون مشاهده می شود به عنوان یک جایگزین امیدوار کننده برای باتری ها، اما تنها ولتاژ خروجی ۰،۵ ولت تولید شده توسط یک پنل فتوولتائیک سیلیکونی برای به حرکت درآوردن ترانزیستورها، که معمولاً به ولتاژ محرکی ۱،۲ ولت یا بالاتر نیاز دارند، کافی نیست. علاوه بر این، راه اندازی محرک های الکترواستاتیکی سیستم میکرو الکترومکانیکی که توسط فرآیند نیم رسانای اکسید-فلز مکمل ریخته گری اجرا می شود، معمولاً به منبع تغذیه ولتاژ بالا (بیشتر از ۱۰ ولت) و جریان فعال سازی کم (بیشتر از ۱ میکروآمپر) نیاز دارد [4-5]. این موضوع توسط اجرای یک پنل فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل متصل به مدار تقویت کننده ولتاژ dc/dc برای افزایش ولتاژ مستقیم پنل فتوولتائیک به سطح دلخواه با قرار دادن دو بل کننده های ولتاژ به تعداد مورد نیاز [۶]. متأسفانه، کارایی مدارهای تقویت کننده ولتاژ تا حد زیادی به شدت روشنیایی که به سلول های فتوولتائیک می رسد بستگی دارد [3-6]. در مقابل، یک آرایه فتوولتائیک مینیاتوری می تواند به عنوان یک مبدل افزایش دهنده dc/dc بدون نیاز به پمپ شارژ معمولی یا مبدل های سوئیچینگ عمل کند،

بنابراین از استفاده از مدارهای فرکانس بالا خازن سوئیچ یا سلف‌های حجیم اجتناب می‌کند. این واقعیت که فتوولتائیک‌ها به صورت سریال متصل می‌شوند امکان افزایش ولتاژ آرایه را به سطوح مناسب برای فعال سازی سامانه میکروالکترومکانیکی کم توان فراهم می‌کند [7-8]. متأسفانه، انباشتن روی تراشه‌های فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل به صورت سری راه حل ساده‌ای نیست، به دلیل اشتراک گذاری زیرلایه‌های حجیم یکسان [۹]-[۱۱]. فن آوری ماژول چند تراشه می‌تواند یک راه حل برای اتصال سریال تعداد زیادی از پنل‌های فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل منفرد از طریق بسته بندی میکروالکترونیک باشد [۱۲]. با این حال، این رویکرد وقت گیر و بسیار ناکارآمد است، به ویژه در ساخت آرایه‌های کوچک فتوولتائیک با ولتاژ بالا که نیاز به مونتاژ ده‌ها یا حتی صدها قالب فتوولتائیک دارند. اخیراً اثباتی بر مفهوم فرآیند حذف بستر موضعی ارائه شده است تا جداسازی الکتریکی و اتصال سریال چهار بر روی سلول‌های فتوولتائیک تراشه‌ای را که ولتاژ خروجی ۲,۰۵ ولت تولید می‌کنند، فعال کند [۱۳]. در این تحقیق و مقاله، یک ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل با ولتاژ بالا با ولتاژ بالا طبق استاندارد بین‌المللی بریتانیا را با آشناری ۲۵ روی سلول‌های فتوولتائیک تراشه از طریق حذف بستر موضعی یک مرحله‌ای ایجاد شده است. این امر باعث شد تا از مراحل زمان بر انتخاب و مکان مورد نیاز برای ماژول چند تراشه جلوگیری شود. ساخت ماژول فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل پیشنهادی با فرآیندهای استاندارد تولید و بسته‌بندی میکروالکترونیک سازگار است، به این معنی که می‌توان آن را به راحتی با سایر اجزای میکروالکترونیکی برای ساخت سیستم‌های خود تغذیه ادغام کرد.

۲. پیشینه تحقیق و پژوهش

یک سامانه فتوولتایی با به کارگیری پنل‌های خورشیدی؛ که هر کدامشان را شماری از سلول‌های خورشیدی تشکیل می‌دهد، توان الکتریکی تولید می‌کند. یکی از انواع سامانه‌های تولید برق از انرژی خورشیدی می‌باشد. در این روش با به کارگیری سلول‌های خورشیدی، تولید مستقیم الکتریسیته از تابش خورشید امکان پذیر می‌شود. سلول‌های خورشیدی از نوع نیم‌رسانا می‌باشند که از سیلیسیوم یعنی دومین عنصر فراوان پوسته زمین ساخته می‌شوند. وقتی نور خورشید به یک سلول فتوولتایی می‌تابد، بین دو الکترود منفی و مثبت اختلاف پتانسیل بروز کرده و این امر موجب جاری شدن جریان بین آن‌ها می‌گردد. می‌توان فتوولتائیک را در دسته فناوری‌های انرژی‌های تجدید پذیر (نوشو) قرار داد. مقدار انرژی تابشی خورشید بر روی کره زمین (در یک ساعت یا یک دقیقه (جمله باید تابع زمان باشد) ۶۰۰۰ برابر کل مصرف انرژی‌های سالیانه بر روی زمین است که این مطلب نشان دهنده اهمیت توجه به این منبع در تأمین نیازهای روزمره بشر است. اگر تا به حال انرژی خورشیدی رقیبی جدی برای سوخت‌های فسیلی محسوب نمی‌شده است، به دلیل پایین بودن تاریخی قیمت سوخت‌های فسیلی بوده است. اگر چه هنوز هم فناوری استفاده از انرژی خورشیدی به بلوغ خود نرسیده است، اما رسیدن به این تکامل نزدیک است. بسیاری از کشورهای جهان در تلاشند تا با جایگزینی انرژی خورشیدی در تولید حرارت و الکتریسیته حداکثر استفاده از این منبع انرژی را به دست آورده و زیان‌های ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را کاهش دهند. عنصر اصلی فناوری فتوولتائیک، سلول خورشیدی است. سلول‌های فتوولتائیک که عموم آن را با نام سلول‌های خورشیدی می‌شناسند، از مواد نیم‌رسانای حالت جامد تشکیل شده‌اند. سیلیکون، عمومی‌ترین ماده نیم‌رسانا است که به واسطه فراوانی آن در سلول‌های فتوولتائیک مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر چه سیلیکون عنصر فراوانی است و درصد زیادی از پوسته زمین را تشکیل می‌دهد، ولی سلول‌های سیلیکونی به خاطر فرایند ساخت و خالص سازی سیلیکون، قیمت بالایی دارند. سلول‌های فتوولتائیک با استفاده از پرتو خورشید و سلول‌های خورشیدی، و با ایجاد اختلاف فشار الکتریکی در نیم‌رساناهایی که به‌طور مناسب ساخته شده‌اند الکتریسیته تولید می‌شود. امروزه مؤثرترین و ارزان‌ترین سلول‌های خورشیدی ماده‌ای به نام سیلیسیم می‌باشد. ماسه یکی از منابع مهم سیلیس بوده که پس از پالایش آن بلورهای سیلیسیم به دست می‌آید و پس از بریده شدن به صورت صفحه آماده می‌شود. به عبارت دیگر سلول‌های فتوولتائیک که گاه نام سلول‌های خورشیدی نیز به آن گفته می‌شود از پولک‌هایی ساخته می‌شوند که نور را مستقیماً به الکتریسیته تبدیل می‌کند. این پولک‌ها همانند ترانزیستور معمولاً از لایه‌های نازک یک ماده نیم‌رسانا مانند سیلیکان با مقادیر کمی افزودنی‌های خاص به منظور ایجاد مازادی از الکترون در یک لایه و کمبودی از

الکترون در لایه دیگر ساخته می‌شوند. فوتون‌های نور در یک لایه الکترون‌های آزاد را به وجود می‌آورند و یک رشته هادی، الکترون‌ها را قادر می‌سازد که در یک مدار خارجی جریان یافته و به لایه‌هایی که فاقد الکترون است دسترسی پیدا کنند. پل‌های فتوولتائیک از نیم‌رساناها ساخته شده و با اتصال سیلیکون‌های نوع P و N شکل می‌گیرند. وقتی نور خورشید به یک سلول فتوولتائیک می‌تابد، به الکترون‌ها در آن انرژی بیشتری می‌بخشد. با تابش نور خورشید الکترون‌ها در نیم‌رسانا پلاریزه شده، الکترون‌های منفی در سیلیکون نوع N و یون‌های مثبت در سیلیکون نوع P به وجود می‌آیند. بدین ترتیب بین دو الکترون، اختلاف پتانسیل بروز کرده و این امر موجب جاری شدن جریان بین آن‌ها می‌شود. از آنجا که سلول‌های فتوولتائیک کوچک، شکننده بوده و تنها مقدار کمی برق تولید می‌کنند آن‌ها را به صورت مدول شکل می‌دهند. مدل‌ها در اندازه‌های متنوع عرضه می‌گردند ولی برای سهولت جابجایی ابعاد آن‌ها به ندرت از ۹۰ سانتی متر عرض در ۱۵۰ سانتی متر طول تجاوز می‌کند. هنگامی که دو سلول با مدول در یک ردیف متصل می‌گردند ولتاژ آن‌ها دو برابر می‌شود و هنگامی که به صورت موازی به یکدیگر متصل می‌شوند جریان برق آن دو برابر می‌گردد.

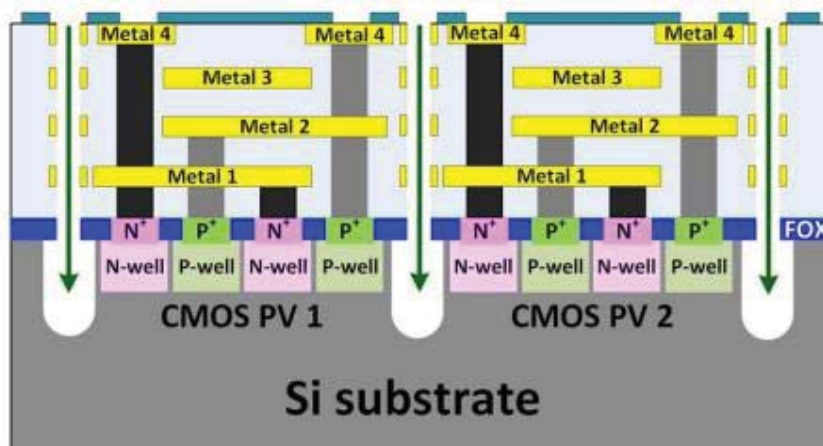
به زبان ساده، سی‌ماس از قرار گرفتن یک ماس‌فیت نوع N در کنار یک ماس‌فیت نوع P تشکیل می‌شود، به طوری که گیت‌های آنها به هم وصل شده و سورس یک ماس‌فیت به درین دیگری وصل می‌شود. البته این کار در عمل به صورت یک پارچه صورت می‌گیرد. از ویژگی‌های سی‌ماس، مصرف توان بسیار کم است. از فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل برای ساخت مدارهای مجتمع، از جمله ریزپردازنده‌ها، ریزکنترل‌گرها، چیپ‌های حافظه و دیگر مدارهای دیجیتال استفاده می‌شود. همچنین از فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل در ساخت مدارهای آنالوگ منجمله سنسورهای تصویر (سنسور پیکسل-فعال)، مبدل‌های داده، مدارهای فرکانس-رادئویی و مدارهای فوق مجتمع ترنسپورها استفاده می‌شود.

۱. طراحی و آزمایش

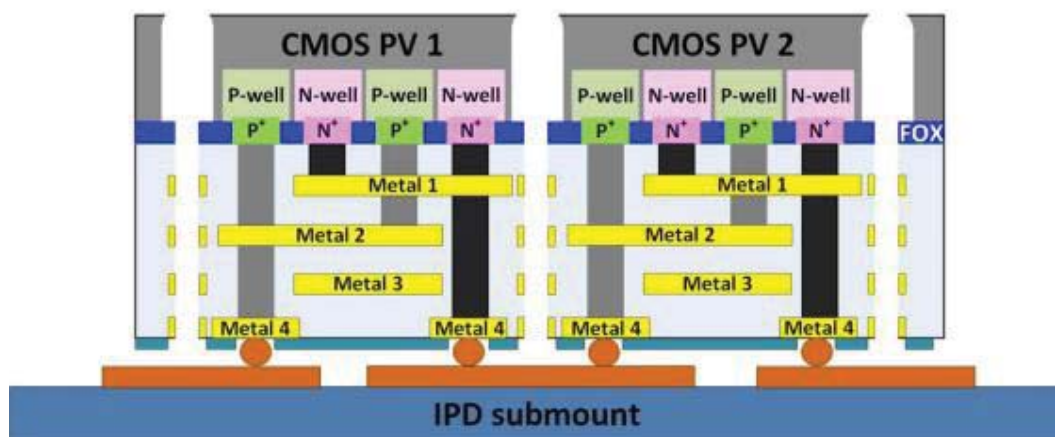
طراحی تراشه فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل بر اساس پیکربندی استاندارد شرکت تولید نیمه هادی تایوان ۰.۱۸ میکرومتر با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل فله ای است، در حالی که طراحی پایه دستگاه غیرفعال یکپارچه بر اساس فناوری استاندارد مرکز پایدار آمریکا فقط غیرفعال است. فرآیند فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل انبوه برای مدارهای منطقی و سیگنال مختلط توسعه یافته است، در حالی که پلت فرم ارزان قیمت دستگاه غیرفعال یکپارچه برای سیستم‌های ارتباطی بی سیم و کاربردهای فرکانس رادئویی توسعه داده شده است. با این وجود، پردازش فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل انبوه را برای ساخت تراشه‌های فتوولتائیک با استاندارد بین المللی بریتانیا و پلت فرم دستگاه غیرفعال یکپارچه برای اتصال سریال سلول‌های فتوولتائیک روی تراشه برای ایجاد ولتاژهای بالاتر اتخاذ شد. در طول چیدمان تراشه، از الگوهای دوپینگ در هم برای ایجاد دیویدهای کانال منفی و مثبت یکنواخت الکتریکی استفاده شد تا کل منطقه اتصال مورد استفاده برای تولید جریان نوری از بستر را بزرگ‌تر شود. سلول‌های فتوولتائیک منفرد با اتصال سلول‌های واحد مثبت-منفی به صورت موازی تشکیل شدند. لایه‌های فلزی بالایی هر سلول واحد به لایه‌های فلزی پایینی واحد مجاور متصل هستند سلول‌های واحد مثبت-منفی با استفاده از چندین مسیر برای دستیابی به مقاومت سری یکنواخت مستقل از اندازه سلول فتوولتائیک. آند و کاتد سلول‌های فتوولتائیک به طرف مقابل تراشه هدایت می‌شوند تا بسته‌بندی و مشخصات دستگاه را ساده‌تر کنند. چیدمان نهایی تراشه شامل ۲۵ سلول فتوولتائیک است که به طور یکپارچه بر روی یک بستر حجیم یکسان اجرا شده اند. شکل ۱ پردازش فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل پس از استفاده در ساخت ماژول مینی فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل پیشنهادی را نشان می‌دهد. روش حذف بستر موضعی شامل حکاکی پس از سامانه میکروالکترومکانیکی، اتصال بر روی تراشه و نازک شدن بستر برای اطمینان از جداسازی الکتریکی تراشه است. پس از ساخت در یک ریخته‌گری فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل، تراشه‌های فتوولتائیک تحت عملیات پس از ریزماشین کاری قرار گرفتند که شامل حکاکی خشک دی الکتریک ناهمسانگرد و سپس حکاکی خشک سیلیکونی همسانگرد بود. هدف ما ایجاد حفره‌های هوایی موضعی در زیر اکسید میدان بود. سپس تراشه فتوولتائیک پردازش شده با استفاده از برجستگی‌های خرد طلا به عنوان ماده اتصال به یک پایه دستگاه منفعل یکپارچه متصل شد. در نهایت، تراشه‌های فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل از طریق آسیاب مکانیکی نازک شده و تا زمانی که ترانشه‌های هوا در معرض دید قرار گیرند، صیقل داده شدند. مینی

ماژول‌های فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل به یک ایستگاه کاوشگر چهار نقطه‌ای فرستاده شدند تا ویژگی‌های ولتاژ-جریان نور را تحت قرار گرفتن در معرض یک منبع لیزری ۹۸۰ نانومتری اندازه‌گیری کنند. پروفیل پرتو لیزر گاوسی با استفاده از مجموعه لنزهای شکل دهنده پرتو به یک نقطه پرتو کلاه بالای ۵ در ۵ میلی متر مربع با توزیع انرژی برابر (تغییرات شدت کمتر از ۱۰ درصد) تبدیل شد. اندازه ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل ۳٫۹ در ۳٫۹ میلی متر مربع است که تراشه فتوولتائیک مساحت ۲ در ۲ میلی متر مربع را اشغال می‌کند. تراشه فتوولتائیک شامل ۲۵ سلول فتوولتائیک است که هر یک از آنها مساحت ۰٫۳ در ۰٫۳ میلی متر مربع را اشغال می‌کند که در آن اتصال فتوولتائیک فعال فقط مساحت ۰٫۱ در ۰٫۱ میلی متر مربع را پوشش می‌دهد. بنابراین، نسبت سطح فعال فتوولتائیک به کل سطح تراشه ۶٫۲۵ درصد است. شکل ۲(a)، ۲(b) و ۲(c) به ترتیب نماهای میکروسکوپی از تراشه فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل، پایه دستگاه منفعل یکپارچه، و ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل را ارائه می‌دهند. تصویر میکروسکوپی انتشار اسکن روبشی نزدیک از ماژول کوچک فتوولتائیک در شکل ۲(d) نشان می‌دهد که تمام سلول‌های فتوولتائیک به طور فیزیکی توسط ترانسه‌های هوا از هم جدا شده‌اند. با این وجود، سلول‌های فتوولتائیک از طریق فلزات چند سطحی و دی الکتریک‌های میانی به یکدیگر متصل می‌مانند. عمق ترانسه‌های هوای تولید شده حذف بستر موضعی (تقریباً ۳۰ میکرومتر) ضخامت بستر در سلول‌های فتوولتائیک حاصل را تعیین می‌کند.

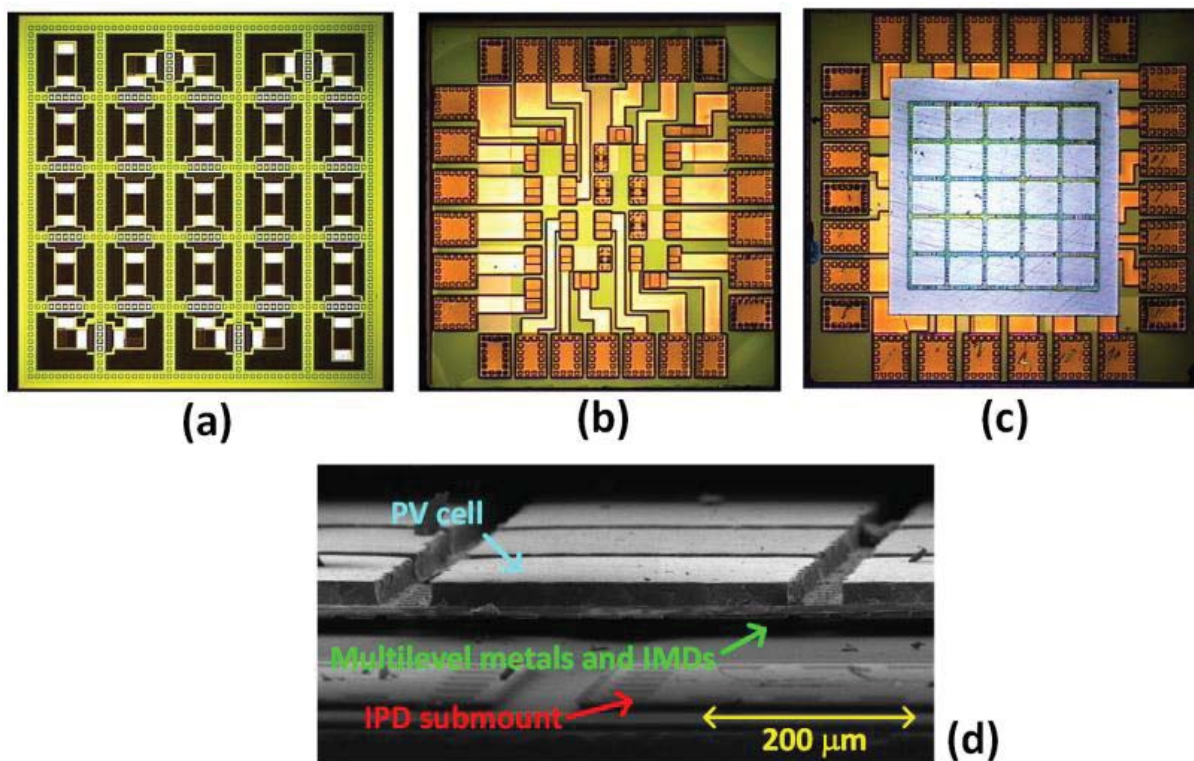
(1) CMOS fab. & post MEMS etching



(2) Flip-chip packaging on IPD & substrate thinning



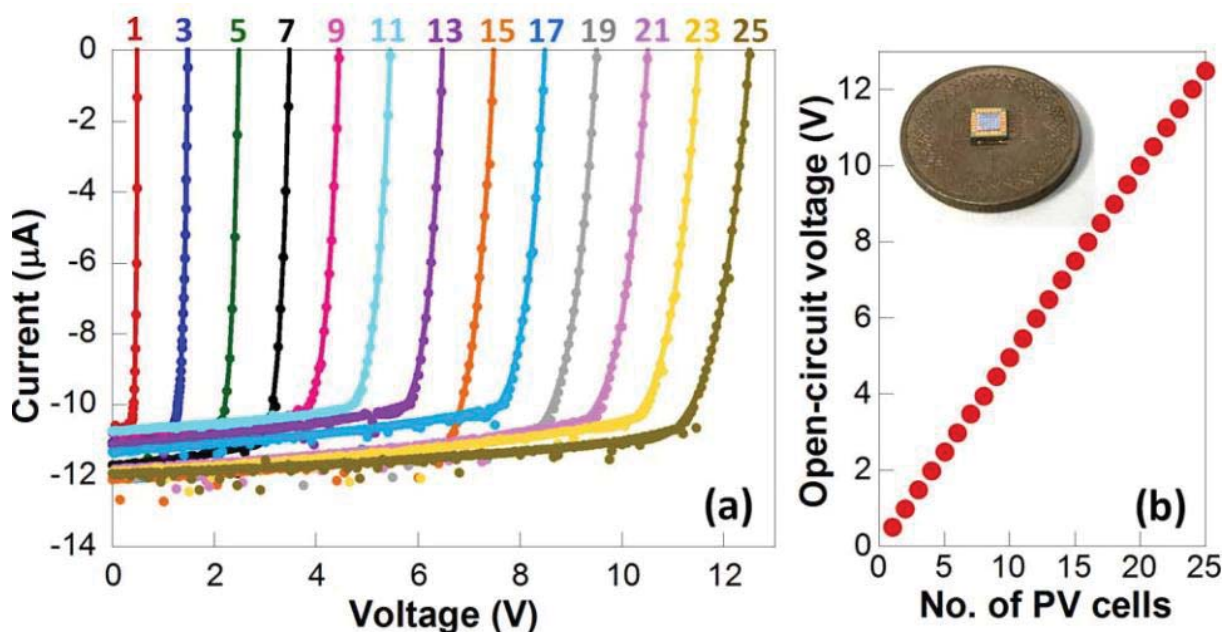
شکل ۱. روش حذف بستر محلی برای جداسازی الکتریکی روی سلول های فتوولتائیک تراشه با فرآیند حذف بستر موضعی یک مرحله ای.



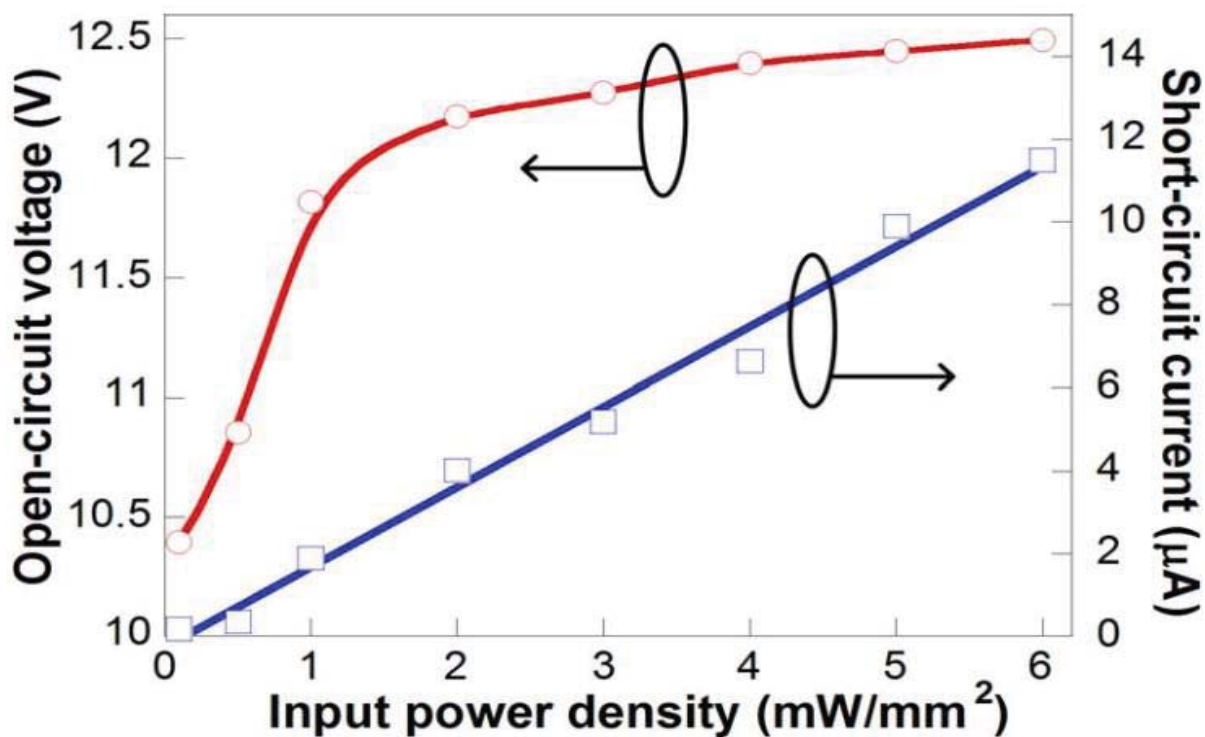
شکل ۲. نماهای میکروسکوپی از بالا: الف) تراشه فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل؛ ب) پایه قطعات غیرفعال یکپارچه؛ ج) ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل مونتاژ شده و د) نمای میکروسکوپ الکترونی روبشی مقطعی ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل با سلول های فتوولتائیک ایزوله شده الکتریکی پس از حذف بستر موضعی.

۲. نتایج و بحث

شکل ۳ (a) مشخصات ولتاژ جریان ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل را تحت نور ۶ میلی وات بر میلی متر مربع نشان می دهد. این ماژول کوچک فتوولتائیک اجازه می دهد تا ولتاژ مدار باز قابل تنظیم از ۰٫۵ تا ۱۲٫۵ ولت را با بررسی پدهای الکتروود مختلف بر روی قطعات غیرفعال یکپارچه برای انتخاب تعداد سلول های فتوولتائیک که باید به صورت سریال متصل شوند، در حالی که جریان اتصال کوتاه را در یک سطح تقریباً ثابت حفظ می کند (۱۱ تا ۱۲ میکروآمپر تحت نور ۶ میلی وات بر میلی متر مربع).

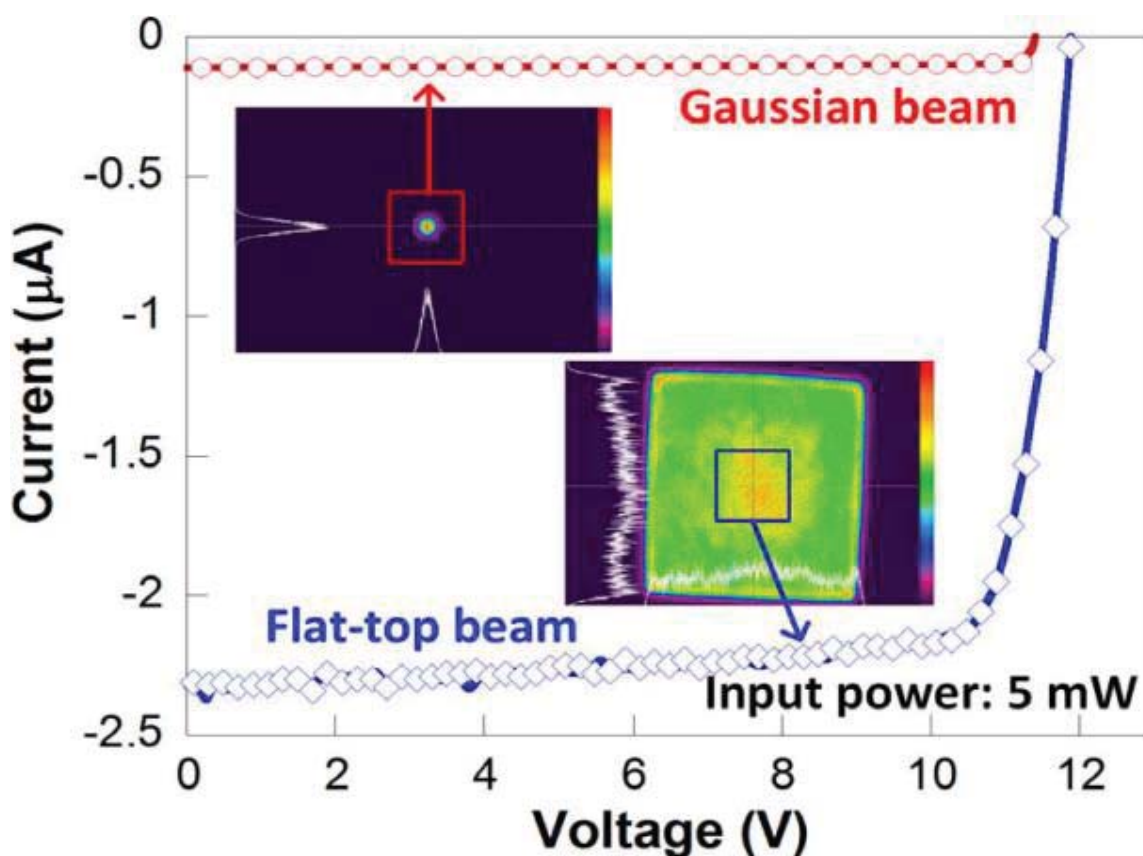


شکل ۳. ویژگی های ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل که در آن سلول های فتوولتائیک به صورت سری متصل می شوند: الف) مشخصه های ولتاژ-جریان اندازه گیری شده ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل تحت روشنایی ۶ میلی وات بر میلی متر مربع. مقادیر ورودی تعداد سلول های فتوولتائیک را نشان می دهد که باید در طول اندازه گیری ها به صورت سری متصل شوند. ب) ولتاژ مدار باز اندازه گیری شده در مقابل تعداد سلول های فتوولتائیک متصل شده به صورت سری.



شکل ۴. اندازه گیری های: الف) ولتاژ مدار باز و ب) جریان اتصال کوتاه ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل شامل ۲۵ سلول فتوولتائیک آبشاری تحت چگالی توان ورودی مختلف.

ضریب پر شدن ۲۵ سلول فتوولتائیک جدا شده از ۷۸ تا ۸۶ درصد متغیر است در حالی که ضریب پر شدن ماژول کوچک فتوولتائیک حاصل حدود ۸۰ درصد است؛ این مقدار کمی کمتر از ضریب پر شدن در مطالعات و تحقیقات قبلی است [۱۳]. چنین تخریب فاکتور پر کردن ممکن است به تغییر عملکرد دیود ریخته گری و/یا عیوب سطحی ایجاد شده در حین اچ کردن سیلیکون و نازک شدن بستر در حذف بستر موضعی نسبت داده شود تا ایزوله الکتریکی را فعال کند. شکل ۳(b) یک روند خطی تقریباً ۰,۵ ولت به ازای هر سلول را بین ولتاژ مدار باز و تعداد سلول های فتوولتائیک متصل شده به صورت سریال نشان می دهد که کارایی استفاده از حذف بستر موضعی برای افزایش ولتاژ در فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل در سلول های فتوولتائیک تراشه را نشان می دهد. قسمت داخلی شکل ۳(b) فشردگی ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، ماژول کوچک فتوولتائیک قادر است ولتاژ مدار باز بیشتر از ۱۰ ولت را حتی در یک محیط کم نور (۰,۱ میلی وات بر میلی متر مربع) با افزایش خطی جریان اتصال کوتاه در مقیاس میکروآمپر با شدت روشنایی فراهم کند. اجرای عملی ماژول های کوچک فتوولتائیک ولتاژ بالا نیاز به یکنواختی در توزیع شدت روشنایی دارد، زیرا مقدار جریان نوری تولید شده توسط سلول فتوولتائیک توسط کمترین جریان در هر یک از سلول های فتوولتائیک به صورت سری محدود می شود. در مواردی که ماژول فتوولتائیک در معرض نور خورشید قرار می گیرد، این مسئله مهمی نخواهد بود. با این حال، می تواند مشکلاتی را در برخورد با توزیع شدت گاوسی پرتوهای لیزر تحمیل کند. این موضوع کاربردهای ماژول های کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل پیشنهادی را با استفاده از لیزر به عنوان منبع انرژی محدود می کند [۲].



شکل ۵. ویژگی های ولتاژ جریان اندازه گیری شده ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل که توسط یک پرتو لیزر با توزیع شدت بالای گاوسی و تخت روشن می شود.

همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، یک پرتو لیزر گاوسی متمرکز با اندازه پرتو ۲،۲۵ میلی متر مربع (کوچکتر از اندازه تراشه فتولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل) جریان نور تولید شده توسط آرایه فتولتائیک را کاهش می دهد و منجر به کاهش جریان اتصال کوتاه از ۲،۳۲ میکروآمپر می شود به تنها ۰،۱ میکروآمپر تحت نور ۵ میلی وات. این با افت متناظر در افت ولتاژ مدار باز از ۱۱،۸۹ ولت به ۱۱،۴۳ ولت همراه بود. یک راه حل برای مسئله سایه زنی جزئی، استفاده از یک دیود بای پس است که به موازات معکوس با سلول فتولتائیک کار می کند. در این آرایش، دیود بای پس زمانی که تمام سلولهای فتولتائیک روشن می شدند بلوک می شود و زمانی که یک یا چند سلول در سایه قرار می گیرند، هدایت می شود. جدول ۱ مقایسه عملکرد ماژول های فتولتائیک ولتاژ بالا گزارش شده در ادبیات را ارائه می دهد. در این تحقیق و مقاله، ولتاژ مدار باز خاص را به عنوان نسبت ولتاژ مدار باز به مساحت تراشه فتولتائیک تعریف می شود. علیرغم موفقیت در استفاده از الگوی/مجموعه میکرو سلول در ماژول های فتولتائیک ولتاژ بالا (ولتاژ مدار باز تقریباً ۲،۵ ولت بر میلی متر مربع)، این رویکرد بسیار پیچیده، گران و ناسازگار با فرآیندهای نیم رسانای اکسید-فلز مکمل انبوه کم هزینه است. رویکرد ماژول چند تراشه اتخاذ شده از بسته بندی انتخاب و مکان مدار مجتمع با فرآیندهای نیم رسانای اکسید-فلز مکمل انبوه کم هزینه سازگار است. با این حال، این رویکرد توسط حدود ۳۰۰ میکرومتر جداسازی سلول های فتولتائیک محدود شده است، که ولتاژ مدار باز را تنها به ۰،۶۴ ولت بر میلی متر مربع محدود می کند. رویکرد حذف بستر موضعی سازگار با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل انبوه پیشنهادی این محدودیت را با افزایش سن فرآیند نیم رسانای اکسید-فلز مکمل برای تعریف ترانشه های هوا برای جداسازی الکتریکی روی تراشه آزاد می کند و در نتیجه جداسازی سلول های فتولتائیک را تنها به ۵۰ میکرومتر کاهش می دهد. این امر چگالی سلول های فتولتائیک را در ماژول بسیار افزایش می دهد و در نتیجه ولتاژ مدار باز ۳،۱۳ ولت بر میلی متر مربع است. راندمان نهایی ماژول کوچک فتولتائیک تنها ۰،۵ درصد است، زیرا ناحیه فعال فتولتائیک تنها بخش کوچکی از سطح کلی تراشه تقریباً ۶،۲۵ درصد را پوشش می دهد. راندمان ذاتی (که در آن فقط ناحیه فعال فتولتائیک در نظر گرفته می شود) تقریباً ۸،۱ درصد است. بهبودهای بیشتر در بهره وری ماژول فتولتائیک را می توان با افزایش ناحیه فعال در سلول فتولتائیک به دست آورد. این را می توان با کاهش جداسازی بین سلول های فتولتائیک، و/یا استفاده از فتولتائیک ضخیم تر (از ۳۰ تا ۱۵۰ میکرومتر) به دست آورد. ترکیب ساختارهای به دام انداختن نور در چنین آرایه فتولتائیک نازکی نیز به بهبود تولید جریان نوری آن کمک می کند.

جدول ۱. مقایسه ماژول های فتولتائیک در حداکثر ولتاژ کاری.

منابع	[7-8]	[12-13]
روند	الگو/مجموعه میکرو سلول	ماژول چند تراشه ای و مقدار تاثیر فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل و حذف بستر موضعی
لایه	سیلیکون روی عایق و کریستال سیلیکون	کریستال سیلیکون
طرح به هم پیوسته	روی الگوهای فلزی تراشه ای	زیر بخش خارجی و قطعات غیرفعال یکپارچه فلزات خارجی چند سطحی
پشته سازی	۱۶۹ و ۵۱۲	۴ و ۹ و ۲۵
محدوده تراشه فتولتائیک (میلی متر مربع)	۴۲،۲۵ و ۵۹،۸۵	۷،۸۴ و ۸،۹۱ و ۴
ولتاژ مدار باز (ولت)	۱۰۳ و ۱۵۵	۵،۰۵ و ۲،۰۵ و ۱۲،۵
ولتاژ مدار باز خاص (ولت بر میلی متر مربع)	۲،۴۴ و ۲،۵۹	۰،۶۴ و ۰،۲۳ و ۳،۱۳



۳. نتیجه گیری

این تحقیق و مقاله یک ماژول کوچک فتوولتائیک با فناوری نیم رسانای اکسید-فلز مکمل ولتاژ بالا را ارائه می دهد که با استفاده از یک فرآیند حذف بستر موضعی یک مرحله ای ساخته شده است. ماژول کوچک فتوولتائیک پیشنهادی دارای ولتاژ مدار باز قابل تنظیم (۵،۰ تا ۱۲،۵ ولت) و جریان اتصال کوتاه در مقیاس میکروآمپر در یک ضریب شکل کوچک با ولتاژ مدار باز خاص ۳،۱۳ ولت بر میلی متر مربع است. تنها ۲۵ سلول فتوولتائیک روی تراشه در اثبات مفهوم ما به صورت سریال متصل شدند. با این حال، رویکرد حذف بستر موضعی پیشنهادی می تواند برای اتصال تعداد زیادی سلول فتوولتائیک روی یک تراشه به منظور افزایش ولتاژ خروجی بدون نیاز به مراحل پردازش اضافی یا به خطر انداختن عملکرد دستگاه استفاده شود.

منابع و مراجع

- [1] A. L. Barnabei et al., "A wireless irradiance-temperature humidity sensor for photovoltaic plant monitoring applications," in Proc. IEEE Sensors, Taipei, Taiwan, 2012, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICSENS.2012.6411267.
- [2] S. Ayazian, V. A. Akhavan, E. Soenen, and A. Hassibi, "A photovoltaic-driven and energy autonomous CMOS implantable sensor," IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst., vol. 6, no. 4, pp. 336-343, Aug. 2012, doi: 10.1109/TBCAS.2011.2179030.
- [3] Y.-J. Huang et al., "A self-powered CMOS reconfigurable multi-sensor SoC for biomedical applications," IEEE J. Solid-State Circuits, vol. 49, no. 4, pp. 851-866, Apr. 2014, doi: 10.1109/JSSC.2013.2297392.
- [4] J.-F. Saheb, J.-F. Richard, R. Meingan, M. Sawan, and Y. Savaria, "System integration of high voltage electrostatic MEMS actuators," in Proc. 3rd Int. IEEE NEWCAS Conf., Québec City, QC, Canada, Jun. 2005, pp. 155-158, doi: 10.1109/NEWCAS.2005.1496677.
- [5] W.-C. Chen, W. Fang, and S.-S. Li, "A generalized CMOS-MEMS platform for micromechanical resonators monolithically integrated with circuits," J. Micromech. Microeng., vol. 21, no. 6, 2011, Art. no. 065012, doi: 10.1088/0960-1317/21/6/065012.
- [6] O. Aktan et al., "Optoelectronic CMOS power supply unit for electrically isolated microscale applications," IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., vol. 17, no. 3, pp. 747-756, May/June. 2011, doi: 10.1109/JSTQE.2010.2096801.
- [7] P. Ortega, S. Bermejo, and L. Castaner, "High voltage photovoltaic mini-modules," Progr. Photovolt. Res. Appl., vol. 16, no. 5, pp. 369-377, 2008, doi: 10.1002/pip.816.
- [8] A. J. Baca et al., "Compact monocrystalline silicon solar modules with high voltage outputs and mechanically flexible designs," Energy Environ. Sci., vol. 3, no. 2, pp. 208-211, 2010, doi: 10.1039/b920862c.
- [9] N. J. Guilar, T. J. Kleeburg, A. Chen, D. R. Yankelevich, and R. Amirtharajah, "Integrated solar energy harvesting and storage," IEEE Trans. Very Large Scale Integr. (VLSI) Syst., vol. 17, no. 5, pp. 627-637, May 2009, doi: 10.1109/TVLSI.2008.2006792.
- [10] M. K. Law and A. Bermak, "High-voltage generation with stacked photodiodes in standard CMOS process," IEEE Electron Device Lett., vol. 31, no. 12, pp. 1425-1427, Dec. 2010, doi: 10.1109/LED.2010.2075910.



- [11] F. Horiguchi, "Integration of series-connected on-chip solar battery in a triple-well CMOS LSI," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 59, no. 6, pp. 1580–1584, Jun. 2012, doi: 10.1109/TED.2012.2189116.
- [12] P. Ortega, S. Bermejo, L. Castaner, and E. Cabruja, "Small PV generators assembled using multichip module technology," in Proc. 6th Eur. Space Power Conf., Porto, Portugal, 2002, p. 545.
- [13] Y.-J. Hung, M.-S. Cai, and H.-W. Su, "High-voltage generation in CMOS photovoltaic devices by localized substrate removal," IEEE Electron Device Lett., vol. 37, no. 6, pp. 754–757, Jun. 2016, doi: 10.1109/LED.2016.2550496.