

سلول‌های خورشیدی با فناوری چاه کوانتومی

تیرماه ۱۴۰۱

دانشگاه قم

استاد راهنما: دکتر جعفر محمودی

دانشجویان: زهرا معدن‌کن



مقدمه

امروزه دنیا در حال گذار از انرژی تجدیدناپذیر به سمت انرژی‌های نو می‌باشد. کشور ما ایران نیز از این قاعده نمی‌تواند مستثنی باشد؛ تغییرات آب و هوایی، اتمام ذخایر نفتی تا ۱۵۰ سال آینده و... ما را از این گذار ناگزیر کرده. از طرفی پیشرفت تکنولوژی و کاربرد روز افزون انرژی پاک خورشیدی، توجه جهانی را به این منبع انرژی معطوف ساخته است.

در حال حاضر سلول‌های خورشیدی چند اتصالی III-V بالاترین راندمان را بین فناوری‌های مختلف سلول‌های خورشیدی دارند. اخیراً تکنیک‌های بسیاری منجر به پیشرفت کلی راندمان سلول‌های خورشیدی چند اتصالی III-V با سه تا شش اتصال شده است. اما دستگاه‌هایی با اتصالات زیاد به ساختار پیچیدگی می‌بخشند، شامل مواد چالش برانگیز را می‌شوند و می‌توانند به تغییرات در طیف بسیار حساس شوند. به شکل قابل توجهی، افزایش بهره‌وری با افزودن اتصالات در دستگاه‌هایی با بیش از سه اتصال به دلیل چالش‌های مواد عملی مشکل‌ساز می‌شود.

در این طرح، پیشنهاد ما ساخت دستگاه‌هایی سه اتصالی است که کارایی بالاتری نسبت به دستگاه‌های شش اتصالی قدیمی دارند. این اتفاق با بهبود طراحی ترکیب فاصله باند میسر است. چاه‌های کوانتومی (QWs) می‌توانند برای مهندسی فاصله باند یک ماده مورد استفاده قرار گیرند لذا با استفاده از QW ها می‌توانیم اثربخشی شکاف باند را افزایش دهیم. سلول‌های خورشیدی چند پیوندی III-V سه اتصالی معمولاً از GaAs به عنوان سلول میانی به دلیل کیفیت مواد تقریباً عالی آن استفاده می‌کنند، علی‌رغم اینکه فاصله باند آن بالاتر از حد مطلوب برای طیف جهانی است. در اینجا، شکاف باند GaAs را با استفاده از سلول‌های خورشیدی چاه کوانتومی (QW) ضخیم GaInAs/GaAsP با ولتاژ و جذب عالی اصلاح می‌شود. این QW ها با کارایی بالا در یک دستگاه چند اتصالی دگرگونی معکوس سه اتصالی متشکل از سلول بالایی GaInP، سلول میانی چاه کوانتومی GaInAs/GaAsP و سلول پایینی GaInAs در شبکه قرار می‌گیرند که هر کدام بسیار بهینه شده‌اند. در این حالت بازده اتصال سه‌گانه به ترتیب ۳۹/۵٪ و ۳۴/۲٪ در طیف جهانی و فضایی می‌شود که از دستگاه‌های شش اتصالی قدیمی بالاتر است.

عملکرد

جذب کل در سلول خورشیدی چاه کوانتومی GaInAs/GaAsP (QW) به ضخامت و تعداد چاه‌های کوانتومی بستگی دارد. QWs به عنوان چاه‌های کوانتومی که از $\text{GaInAs } 33\%$ و $\text{GaAsP } 67\%$ ، و QWs با لبه جذب 1.35 eV تشکیل شده است. در اینجا، سلول‌های خورشیدی چاه کوانتومی با کرنش متعادل GaInAs/GaAsP را با استفاده از موانع نازک‌تر 5 nm $\text{P}_{0.32}\text{Ga}_{0.68}\text{As}$ با چاه‌های 8.5 nm $\text{Ga}_{0.89}\text{In}_{0.11}\text{As}$ طراحی شده است تا جذب افزایش یابد. ضخامت‌ها و ترکیبات، شرایط متعادل کننده کرنش بدست آمده را برآورده می‌کند و در شکل ۴ نشان داده شده است. تنش متوسط خالص در QWs با اندازه‌گیری انحنا و ویفر با یک پروب نوری در طول رشد تقریباً صفر است. شرایط رشد و توالی‌ها به منظور ایجاد سطوح مشترک ناگهانی و تغییرات ضخامت جانبی محدود انتخاب شدند. شکل ۲ ساختار اتصال سه‌گانه نهایی را نشان می‌دهد که در آن این MQWها در نظر گرفته شده‌اند. ساختار تست تک اتصال با سلول میانی دستگاه سه اتصال یکسان است، با لایه‌های تماس خارج از لایه‌های مانع. GaInP به عنوان یک ساختار ناهمگون عقب معکوس استفاده شد، که دارای یک تابش کننده GaAs نوع n سیلیکوندوپ شده $1 \text{ }\mu\text{m}$ میکرومتری و یک پایه GaInP نوع p با روی دوپ شده $0.3 \text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر است. جزئیات ساختار MQW در سمت راست شکل ۲ نشان داده شده است. QWs بدون دوشاخه و بین $n\text{-GaAs}$ و $p\text{-GaInP}$ قرار گرفته‌اند، با GaAs های 50 nm بدون لایه در دو طرف که به منظور به حداقل رساندن تاثیر انتشار پتانسیل استفاده شده‌اند. تعداد چاه‌های کوانتومی به طور سیستماتیک از ۱۰۰ تا ۳۰۰ متغیر است که ضخامت لایه چاه GaInAs تجمعی را به ترتیب از 850 nm به $2.5 \text{ }\mu\text{m}$ میکرومتر افزایش می‌دهد. دستگاه با $200 \text{ }\mu\text{m}$ چاه به دلیل وجود رفلکتور از نظر نوری ضخیم است، در حالی که دستگاه با $300 \text{ }\mu\text{m}$ چاه بیش از $2.5 \text{ }\mu\text{m}$ GaInAs دارد و بنابراین حتی بدون بازتابنده نیز ضخامت نوری خواهد داشت. به طور جالب توجهی، با افزایش تعداد چاه‌ها، یک جابجایی کوچک باند وجود دارد، که نشان دهنده تغییر جزئی موادی است که می‌تواند به شروع تدریجی ضخامت جانبی یا مدولاسیون ترکیب مربوط باشد. QWs 300 جریان 2.6 mA/cm^2 را در طیف جهانی و 3.5 mA/cm^2 را در طیف فضایی AM دریافت می‌کنند.

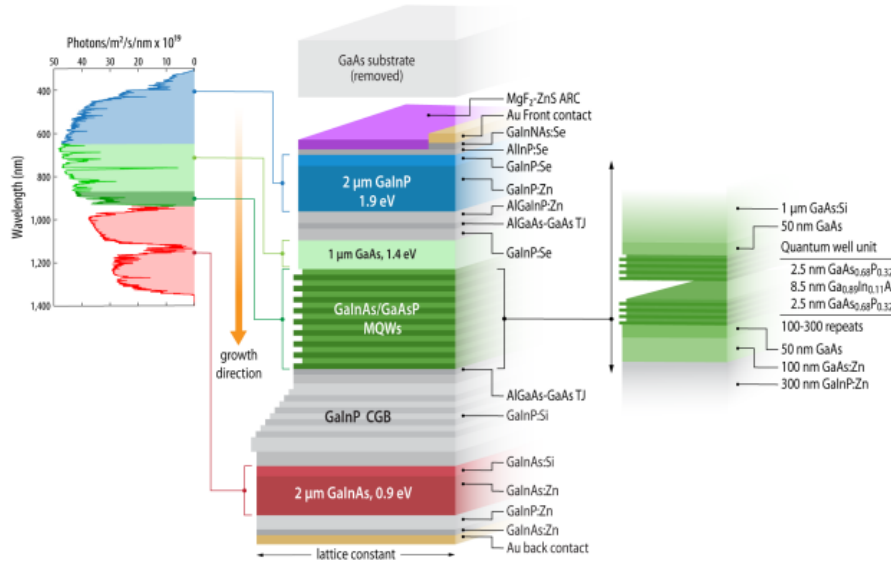


Figure 2. Triple-junction device structure

(A) Global spectrum, with the portions of the spectrum for the top, middle, and bottom subcells of a triple-junction device highlighted in blue, green, and red, respectively.
 (B) Illustration of the triple-junction IMM structure including MQWs in the middle subcell.
 (C) Expanded illustration of the structure of the MQWs, used in both the triple-junction cell and single junction test structures.

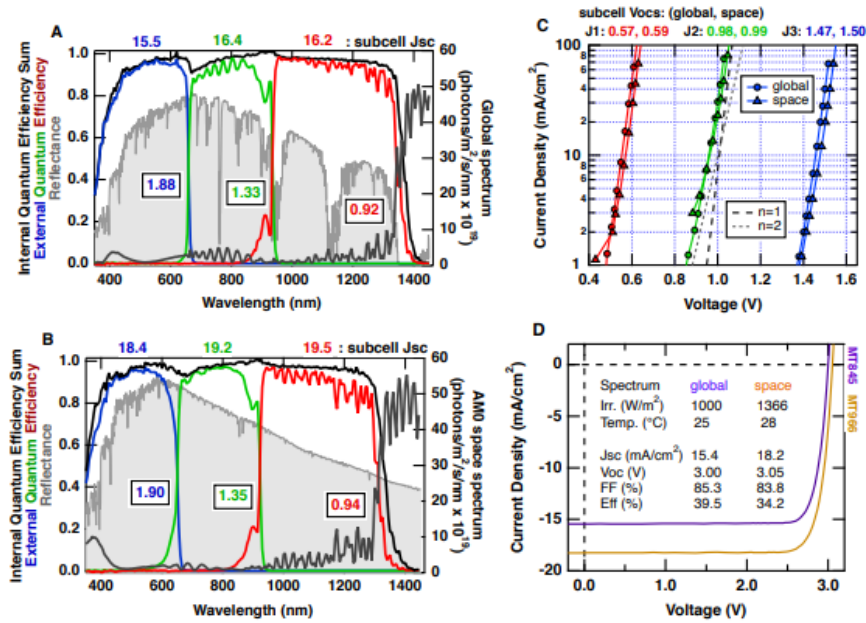


Figure 4. Performance of triple-junction inverted metamorphic devices with quantum wells in the middle cell

(A and B) External quantum efficiency of devices designed for the (A) global or (B) space spectra, overlaid on top of the corresponding spectra. The subcell bandgaps are inside each graph, and the integrated subcell photocurrents are shown on top of each graph.
 (C) Subcell dark J-V curves, determined from electroluminescence measurements. EL spectra are shown in Fig. S7. The voltage of each subcell at the multijunction Jsc is shown for each device on top of the graph.
 (D) Illuminated J-V curves and performance metrics of both devices tested under the appropriate spectra, independently measured by the Cell and Module Performance team at NREL.

کاربرد

سلول‌های خورشیدی III-V، برای کاربردهای زمینی مناسب هستند من جمله: وسایل نقلیه هوایی یا خودروها، تقسیم آب فوتوالکتروشیمیایی، تولید هیدروژن و سایر سوخت‌های خورشیدی، کاربردهای ترموفتوولتائیک مانند ذخیره انرژی، مبدل‌های قدرت لیزری، و برای سیستم‌های فتوولتائیک متمرکز کننده که در آن نور بر روی نیمه‌هادی متمرکز می‌شود تا هم کارایی را بیشتر کرده و هم سطح نیمه‌هادی مورد نیاز را کاهش دهد، استفاده می‌کنند.

این سلول خورشیدی همچنین فناوری غالب برای ماهواره‌ها و وسایل نقلیه فضایی است، جایی که هزینه‌های پرتاب بالا، کارایی و جرم را به معیارهای کلیدی تبدیل می‌کند و محیط تشعشع مستلزم تحمل ذرات با انرژی بالا است. این سلول‌ها به علت جرم کم و ماندگاری به نسبت مناسب بیش‌ترین گزینه‌ی مورد استفاده در ماهواره‌هاست.





تصاویری از کاربردهای سلول

- France, R. Geisz, J. Song, T. Olavarria, W. Young, M. Kibbler, A and Steiner, M.” Triple-junction solar cells with 39.5% terrestrial and 34.2% space efficiency enabled by thick quantum well superlattices”, Joule, Volume 6, Issue 5p923-1136, Pages 1121-1135, 2022
- <https://factnameh.com/fa/fact-checks/2018-08-22-iran-oil-gas-reserves>