

# سلول‌های خورشیدی با فناوری شش پیوندی

---

تیرماه ۱۴۰۱

---

دانشگاه قم

استاد راهنما: دکتر جعفر محمودی

دانشجویان: زهرا معدن‌کن، محدثه شهبازی



## مقدمه

سلول‌های خورشیدی زمینی صفحه‌تخت تک‌پیوندی اساساً به حدود ۳۰ درصد راندمان محدود می‌شوند، اما پیوندهای متعدد و نور متمرکز باعث می‌شود که عملاً راندمان بسیار بالاتری قابل دستیابی باشد. در این پیش‌طرح، ما راندمان تبدیل خورشیدی ۴۷.۱٪ که تحت طیف مستقیم در غلظت ۱۴۳ خورشید عمل می‌کند را با استفاده از یک ساختار یکپارچه دگرگونی معکوس شش پیوندی، متصل به سری، پیشنهاد می‌کنیم.

باند‌های تقریباً بهینه برای شش اتصال با استفاده از آلیاژهای نیمه‌هادی‌های III-V ساخته شدند. طبق یافته‌های پژوهشگران کاهش بیشتر مقاومت سری در این ساختار می‌تواند به طور واقع بینانه‌ای راندمان بیش از ۵۰٪ را ممکن کند.

مسیر رسیدن به راندمان بالا برای سیستم‌های فتوولتائیک نیازمند مواد تقریباً کامل، شکاف‌های باند جاذب متعدد و غلظت نوری بالا است. با افزایش تعداد اتصالات، بازده افزایش می‌یابد. در این پیش‌طرح ما راندمان تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی بسیار بالا را با استفاده از یک طراحی سلول خورشیدی شش اتصالی (۶J) ارائه می‌کنیم.

طبق پژوهش‌های صورت گرفته تحت طیف جهانی یک خورشید (AM۱.۵G)، یک سلول خورشیدی ۶J دارای راندمان  $(۳۹.۲ \pm ۱.۳) \%$  است. راندمان تحت طیف مستقیم (AM۱.۵D)  $(۴۷.۱ \pm ۳.۲) \%$  در غلظت ۱۴۳ خورشیدی به اوج خود می‌رسد و بازدهی ۴۴.۹٪ از غلظت ۱۱۱۷ خورشیدی را حفظ می‌کند. این با درک و کاهش منابع مقاومت داخلی به دست می‌آید. پیش‌بینی می‌شود که پیشرفت‌های بیش‌تر در ۶J راندمان از ۵۰٪ فراتر رود.

## عملکرد

شماتیک‌های دقیق ساختار لایه در شکل ۱ گنجانده شده است. شکاف‌های باند مربوطه و ثابت‌های شبکه آلیاژهای III-V در شکل ۱ نشان داده شده است. همه اتصالات به جز قسمت بالا، طرح‌های همجنس ساده با قطره چکان‌های نازک (از نوع  $100 \sim n$  نانومتر)، یک لایه نازک ناخواسته (UID) و لایه‌های پایه ضخیم‌تر از نوع p هستند. برای به حداقل رساندن نو ترکیب رابط، هر اتصال نیاز به غیرفعال سازی هترو مانع هر اتصال دارد. این لایه‌های غیرفعال سازی «پنجره» در بالا و «فیلد سطح پشت (BSF)» در زیر نامیده می‌شوند. سلول خورشیدی J ۶ شامل CGB برای انتقال شبکه است.

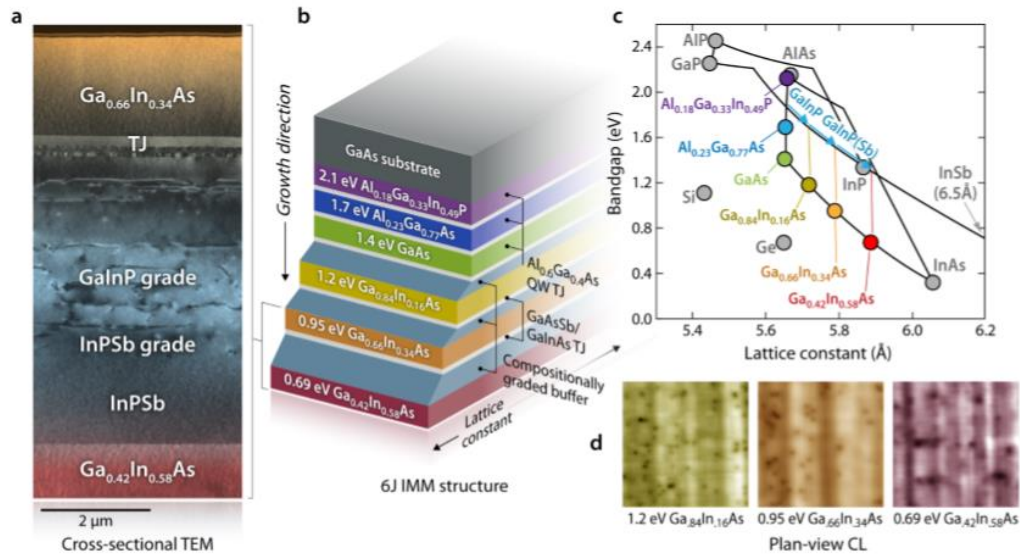
مراحل ساخت در شکل ۲ نشان داده شده است که با رشد OMVPE آغاز می‌شود. اندازه گیری های درجا در طول رشد OMVPE در شکل ۲ نشان داده شده است. یک دستگاه متمرکز کننده تمام شده در مرحله ۸ از شکل ۲ در زیر بایاس رو به جلو نشان داده شده است.

ضخامت هر اتصال GaInAs ناهماهنگ حدود ۲-۳ میکرومتر است تا بخش مناسبی از طیف خورشیدی را به طور کامل جذب کند. چنین ضخامت‌هایی به مراتب از ضخامت بحرانی این آلیاژهای ناهم‌خوان با شبکه فراتر می‌رود و بنابراین لایه‌های CGB برای کاهش فشار و محدود کردن نابجایی‌های نامناسب در مواد غیرفعال رشد می‌کنند. سلول‌های خورشیدی III-V به نو ترکیبی مرتبط با نابجایی‌ها بسیار حساس هستند و برای کارکرد کارآمد نیاز به چگالی نابجایی رزوه‌ای (TDD) حدود  $10^{10}$  سانتی‌متر یا کم‌تر در ناحیه فعال دارند.

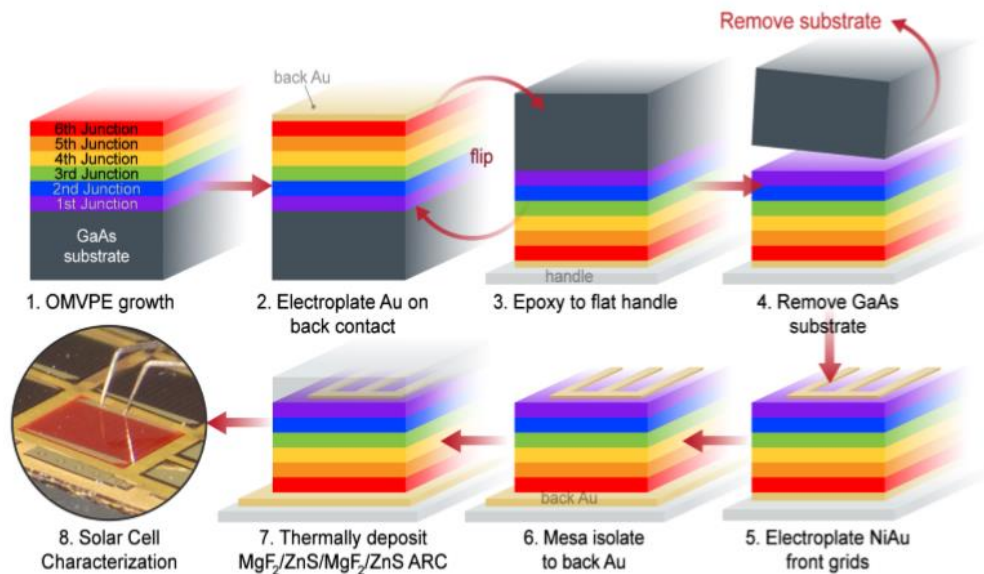
به منظور به حداقل رساندن تراکم نقص در لایه‌های فعال، نابجایی‌ها برای سر خوردن در فواصل طولانی در داخل CGB با حذف موانع سر خوردن، مانند جداسازی فاز و ناهم‌واری سطح، و استفاده از شرایط رشدی که سر خوردن را تشویق می‌کنند، تشویق می‌شوند.

دستگاه های J ۶ هم برای شرایط AM۱.۵G یک خورشیدی و هم برای شرایط AM۱.۵D با غلظت بالا طراحی شده‌اند.

هر یک از شش اتصال بیش از ۸۰ درصد از فوتون‌ها را در باندهای خود جمع‌آوری می‌کند، علی‌رغم تلفات بازتابی غیر صفر. این سلول‌های خورشیدی ۶ل به ترتیب حداقل ۷۴٪ و ۷۳٪ از تمام فوتون‌های طیف AM۱.۵G و AM۱.۵D را جمع‌آوری می‌کنند.



**Figure 1 | Description of the six-junction inverted metamorphic solar cell structure.** **a**, 220 reflection diffraction contrast TEM image cross sectional expansion of selected layers. **b**, Simplified 6J IMM structure schematic. The junction absorber thicknesses are approximately 1.2, 2.6, 1.6, 3.0, 3.2, and 2.2 microns thick respectively from the top. The layer structure is shown in greater detail in Supplementary Figure 1. **c**, Bandgap vs. lattice constant of 6J IMM semiconductor design. **d**, Plan-view cathodoluminescence images of metamorphic GaInAs junctions. CL images are 65 x 65  $\mu\text{m}$ . TDDs are approximately  $10^6 \text{ cm}^{-2}$  or lower for all three metamorphic junctions, respectively



**Figure 2 | Process flow of 6J IMM solar cell.** Schematics of the fabrication steps of 6J IMM solar cells follow the red arrows clockwise: 1. inverted OMVPE growth of layered structure, 2. Electroplate gold on the back of the inverted structure, 3. Epoxy the back of the inverted structure to a flat silicon wafer, 4. Remove the GaAs substrate by chemical etching, 5. Photolithography and deposition of front-side metal grids, 6. Mesa isolation by chemical etching down to the back gold, 7. Deposition of an antireflective coating (ARC), and 8. Solar cell characterization. Step 8 shows an actual photograph of a 0.1  $\text{cm}^2$  concentrator cell glowing under forward bias.

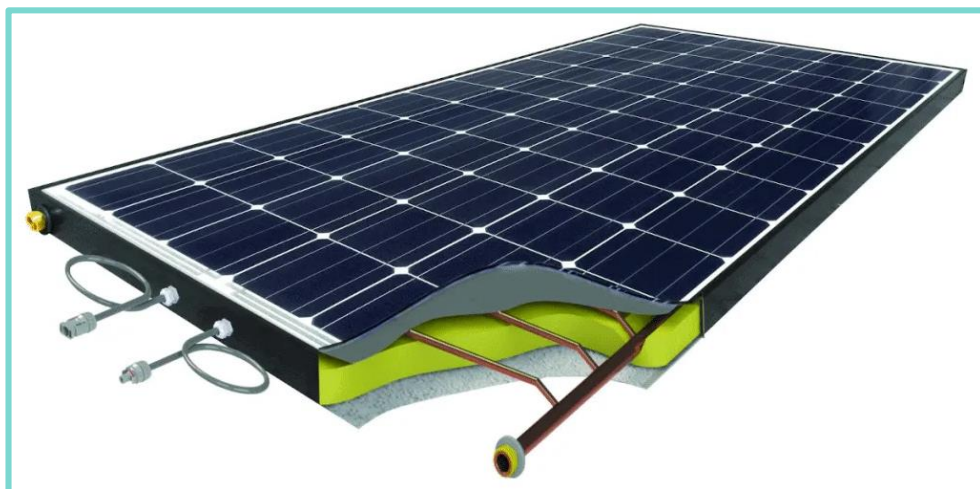


## کاربرد

سلول‌های خورشیدی چند اتصالی، 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 برای ماهواره‌ها نیز مناسب است. کاربردهای ترموفتوولتائیک اقتصادی همه این کاربردها با افزایش بازده سلولی مطلوب‌تر می‌شود.





تصاویری از کاربردهای سلول

- Shockley, W. & Queisser, H. J. Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. J. Appl. Phys. 32, 510, doi:10.1063/1.1736034 (1961)
- Steiner, M. A. et al. Optical enhancement of the open-circuit voltage in high quality GaAs solar cells. Journal of Applied Physics 113, 123109, doi:10.1063/1.4798267 (2013)
- Miller, O. D., Yablonovitch, E. & Kurtz, S. R. Strong Internal and External Luminescence as Solar Cells Approach the Shockley- Queisser Limit. IEEE Journal of Photovoltaics 2, 303-311, doi:10.1109/Jphotov.2012.2198434 (2012)
- Henry, C. H. Limiting efficiencies of ideal single and multiple energy gap terrestrial solar cells. J. Appl. Phys. 51, 4494-4500, doi:10.1063/1.328272 (1980)
- Marti, A. & Araujo, G. L. Limiting efficiencies for photovoltaic energy conversion in multigap systems. Solar Energ Mater Solar Cells 43, 203-222, doi:10.1016/0927-0248(96)00015-3 (1996)