

---

# 散射波导助力提升多结太阳能电池效率

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/31007.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

散射波导助力提升多结太阳能电池效率。 导读

单片多结III-V化合物半导体太阳能电池因其优异的材料特性，如直接带隙、高载流子迁移率、低温度系数以及卓越的抗辐射能力，被广泛认为是超高效光伏技术的代表。这类太阳能电池可以简单配置为双端光伏电池，不会增加寄生吸收损耗，降低了光伏组件的复杂性。然而，其高昂的制造成本仍是其在地面光伏应用中广泛推广的主要障碍。为提升其成本效益，研究人员一直致力于减少材料的使用量，如通过设计最小的外延层结构或重复利用生长晶片。此外，通过使用光浓缩器来提高电池的发电能力也是另一种提高效率的途径。光浓缩器能够增强入射到太阳能电池上的光子流，从而使电池在未经浓缩照射条件下产生更高的输出功率。

传统的光浓缩器所用的光学组件，尽管能够增强太阳能电池的功率输出，但它们的模块装配复杂且需要额外的维护系统，成本效益较低。此外，在散射光条件下，这些光浓缩器无法正常运行，限制了其在降低电力生产成本方面的有效性。相比之下，基于波导的光浓缩器通过简单的模块结构保留了成本降低的优势。波导浓缩器由透明的多模平板波导组成，内含发光或散射元素，能够通过全内反射将光子引导至嵌入波导中的太阳能电池。然而，尽管波导光浓缩器具有这些优点，但它在多结或其他双端串联太阳能电池中的应用前景并不乐观。其原因主要在于多结电池通常设计为单面电池，需要前侧光子入射来平衡串联子电池的电流输出。此外，多结太阳能电池需要在整个太阳光谱范围内高效运行，而波导浓缩器中的光谱元件通常仅响应有限的光谱范围，因此不适用于这类电池。尽管通过调整波导中的光谱元素可以部分缓解这一问题，但输出功率的提升仍然有限，因此需要开发更先进的波导浓缩器技术，以实现与高效能多结电池的兼容性。

近日，韩国科学院与汉阳大学的联合团队的最新研究表明，基于波导的光浓缩能够显著提升多结InGaP/GaAs太阳能电池的输出功率。研究中，科学家们设计了一种带有BaSO<sub>4</sub>微粒散射元件的共面波导光浓缩器件，不仅能够直接吸收太阳光，还能引导波导内的光线，提升光子捕获率。通过优化单面光伏电池的前表面光子收集，研究团队在多项实验与理论分析的支持下，证实了该波导光浓缩技术的巨大潜力。结果表明，在最高效的散射波导组合下，这些太阳能电池的输出功率最高提升了约93%。总体而言，这项研究为多结光伏电池的进一步发展提供了新的技术路径，展示了波导光浓缩器在提升太阳能电池效率方面的巨大潜力。这一突破有望推动太阳能技术向更高效、低成本的方向发展，特别是在降低光伏电池制造成本的过程中具有重要意义。

该成果发表在《Light: Science and Applications》，题为Rational strategy for power doubling of monolithic multijunction III-V photovoltaics by accommodating attachable scattering waveguides.

研究亮点

## 1. 模块设计与制造

所设计的模块包含InGaP/GaAs微型太阳能电池、上层（聚氨酯，PU）、下层（玻璃）和散射层（PDMS与BaSO<sub>4</sub>颗粒）。将太阳能电池嵌入在上下两个波导层之间，通过两种路径（直接光路和散射光路）将光子传递到太阳能电池，利用BaSO<sub>4</sub>颗粒散射和Ag反射镜增加光子传输效率，从而提升光电转换效率（PCE），初步PCE为26.2%。

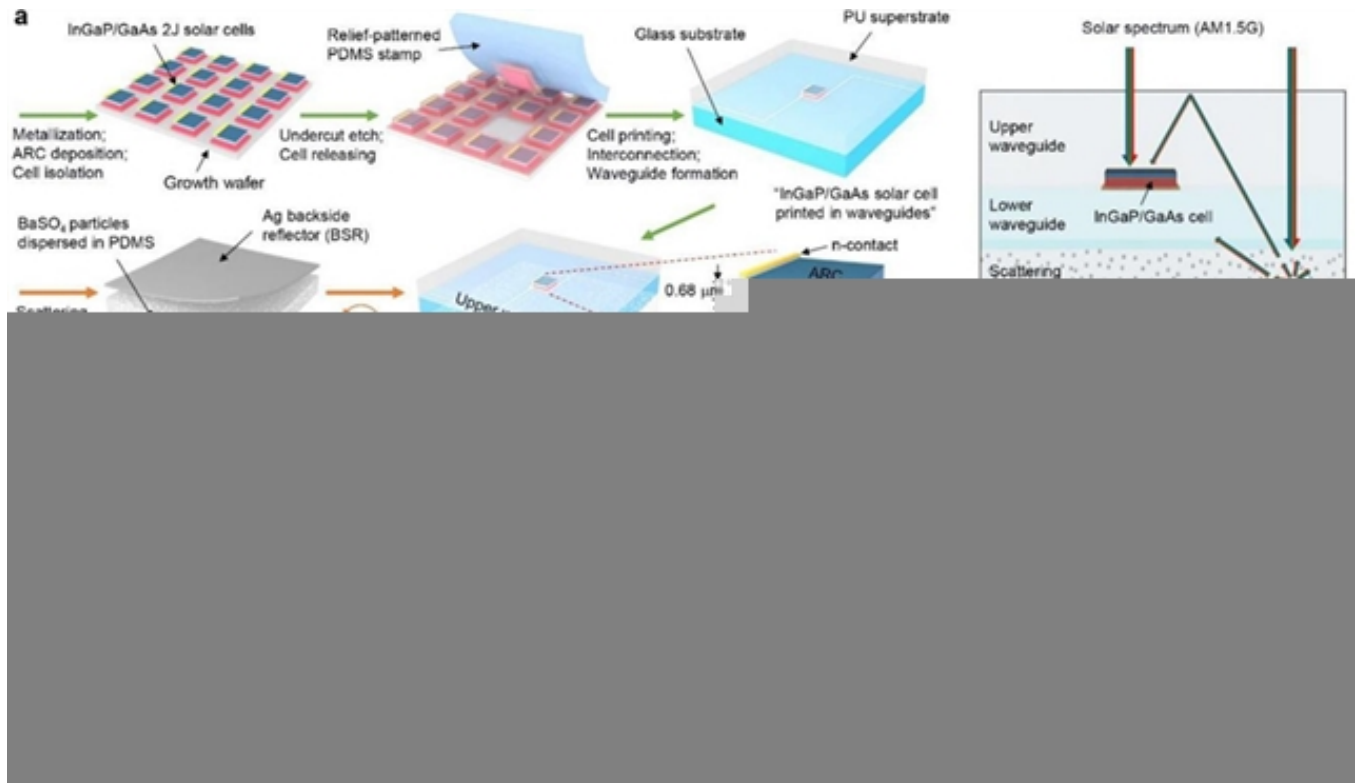


图1. 基于散射波导的InGaP/GaAs太阳能电池的设计与加工

## 2. 波导参数优化和光伏性能

通过改变上、下和散射导光层的厚度及折射率进行光学建模优化光子传输，还利用BaSO<sub>4</sub>的浓度增加提高了光子散射效率，结合BSR（反射镜）后效率进一步提高。此外，还发现厚度和折射率的合理配置可实现最佳光子捕获，从而提升太阳能电池性能。加入BaSO<sub>4</sub>散射层后，光伏器件的短路电流密度显著提高，PCE最高可达到50.68 mW/cm<sup>2</sup>（提升93.2%），不同BaSO<sub>4</sub>浓度的模块性能表现不同，BSR的加入加速了电流的提升并减少了衰减。

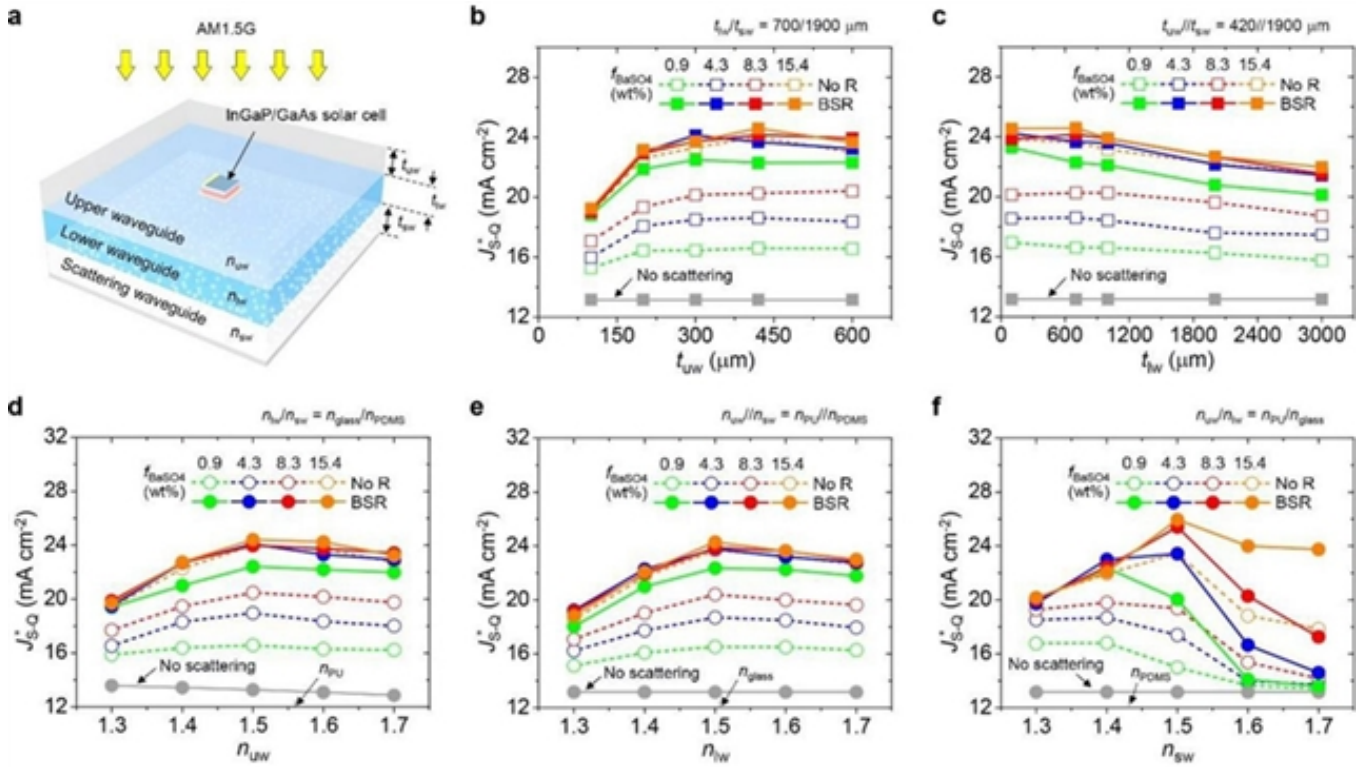


图2. 波导参数优化的数值计算

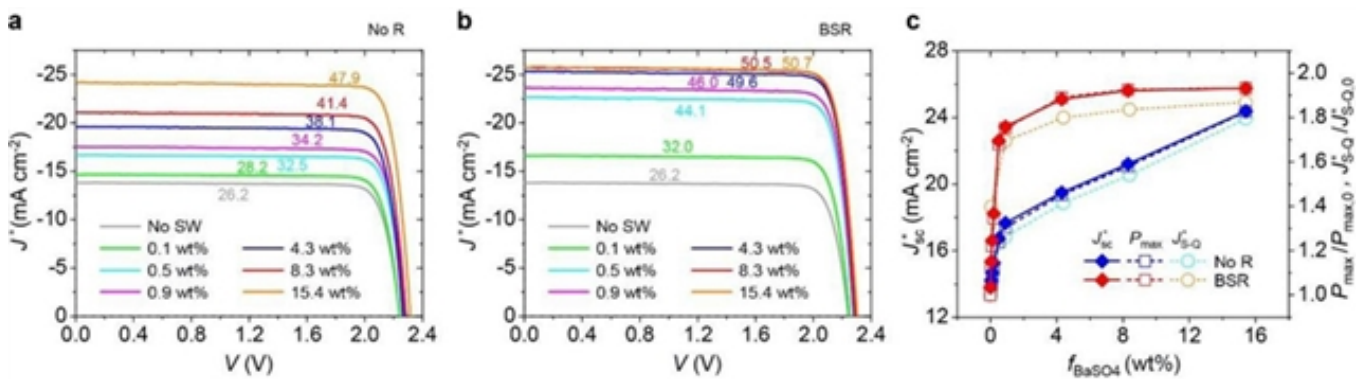


图3. 集成散射波导的太阳能电池的光伏特性

### 3. 光子波导特性与模块测试

作者通过测试不同BaSO<sub>4</sub>浓度和BSR条件下的光子传输，发现光子散射增加，但在高浓度下传播范围有限，而BSR的加入有效扩展了光子的传播路径，改善了远距离光传输。此外，测试不同光照区域和散射层尺寸对模块性能的影响，发现随着导光层尺寸增加，最大输出功率也增加。同时发现模块的最佳性能出现在适当的电池间距下，表明光散射和传输的设计对多结电池的性能至关重要。

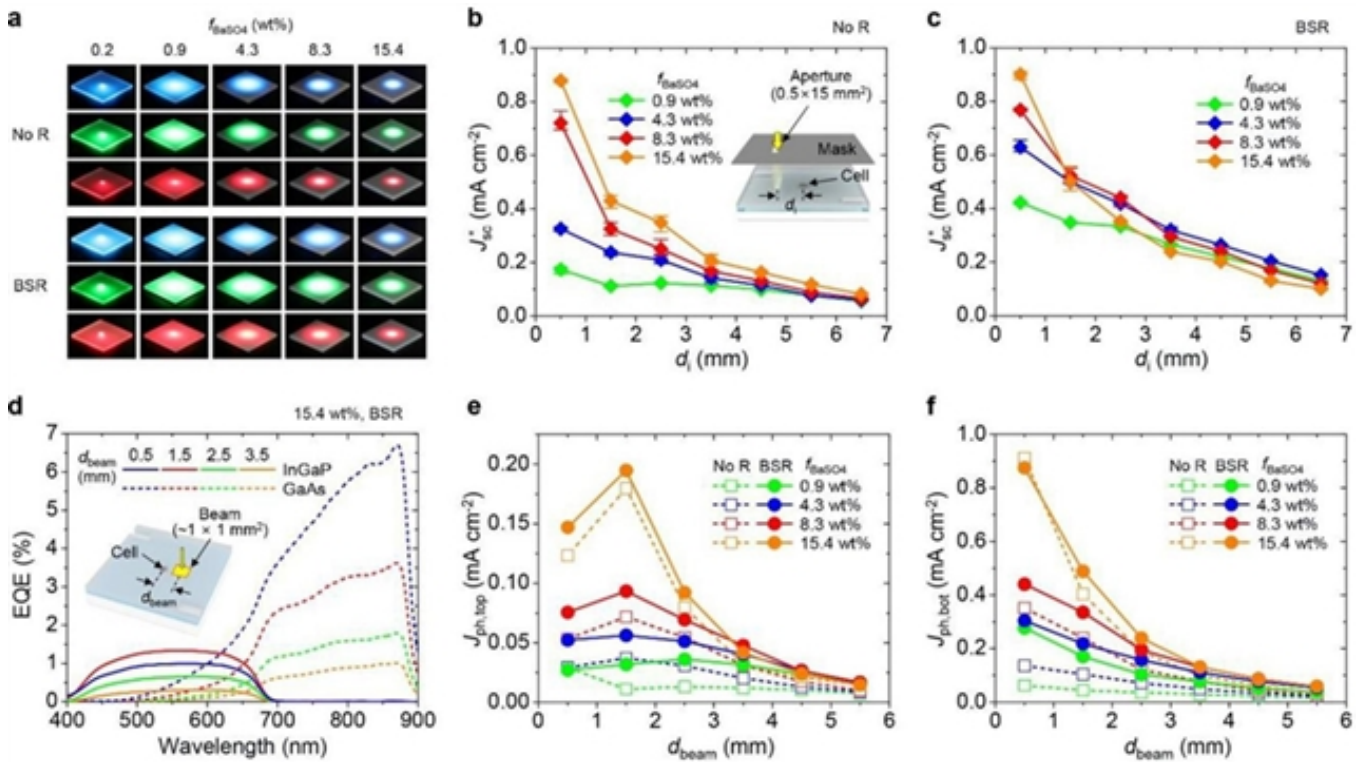


图4. 散射波导模块的光子输运特性

### 总结与展望

本研究展示了一种通过简单设计来提升多结太阳能电池阵列模块发电效率的有效途径。由于多结电池通常采用单面配置，传统的背面散射反射器（BSR）或相关的散射结构在没有复杂波导设计的情况下无法正常运行。尽管微透镜技术可能在光浓缩方面表现更好，但与其不同的是，散射波导无需严格的太阳追踪系统即可实现有效光捕获，因此在非垂直入射光场景中具备优势。未来，散射波导技术有望与微透镜浓缩器相互补充，尤其是在光入射角度多变的应用场景中，预计该设计过程和实验结果能够为提升多结太阳能电池的性能提供多样化的解决方案选项。（来源：Light ScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41377-024-01628-6>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。

作者：Sung-Min Lee 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

---

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://iikx.com)转发