

双面双玻单晶太阳能电池的高效性能改进研究

薛标文 王栓虎 刘晓君

北京京能清洁能源电力股份有限公司内蒙古分公司 呼和浩特内蒙古 010000

摘要: 为了提高双面双玻单晶太阳能电池的光电转换效率和应用性能,文章采用系统分析方法对其工作原理、结构设计及性能影响因素进行了深入研究。重点探讨了光电转换效率、温度系数及背面电池的光吸收与反射特性对电池性能的影响。通过优化材料选择、结构设计和光学增强技术,提出了多项性能改进策略。分析结果表明,双面双玻单晶太阳能电池在材料和结构优化后,能够显著提高光电转换效率,并在不同环境条件下表现出较强的稳定性和耐久性,为光伏产业的高效、可持续发展提供了有力支持。

关键词: 双面双玻;单晶太阳能电池;光电转换效率;性能优化;结构设计

引言

随着全球能源需求的不断增长和环保意识的提升,清洁能源的开发与利用成为全球关注的重点。太阳能作为最具潜力的可再生能源之一,已在光伏产业中得到广泛应用。双面双玻单晶太阳能电池因其同时利用正、反两面的光线吸收能力,具备较高的光电转换效率,近年来受到越来越多的关注。相比传统单面电池,双面双玻电池不仅可以提高能量产出,还具有更好的耐候性和使用寿命。然而,目前该技术在实际应用中仍面临效率提升、成本控制及工艺改进等挑战。因此,研究如何进一步优化双面双玻单晶太阳能电池的性能,提升其在光伏发电中的应用价值,具有重要的现实意义和研究价值。

一、双面双玻单晶太阳能电池的工作原理与性能特点

(一) 工作原理概述

双面双玻单晶太阳能电池的工作原理与传统的单晶硅太阳能电池基本相似,主要通过光生伏特效应将光能转化为电能。不同的是,双面双玻电池能够同时利用正面和背面的入射光,从而提高整体的光电转换效率。其基本结构由两层透明玻璃封装,形成一个保护外壳,中间是吸收太阳光的单晶硅材料。正面吸收直接照射的光线,背面则能够吸收从地面、建筑物或其他环境中的反射光或散射光。这种双面吸光的设计显著增强了电池的总发电量,尤其是在环境光反射率较高的区域,例如雪地、沙漠或水面等场景。此外,双玻结构增强了电池的机械强度,防止环境中湿气、风沙或腐蚀性物质对电池

的影响,增加了其长期的稳定性和使用寿命。

(二) 电池结构分析

双玻单晶太阳电池结构设计是提高太阳电池效率的关键。这种电池的核心是一块单晶硅,它位于两块高强度玻璃中间,这样既能起到保护作用,又能让光线不受阻碍地通过,因此可以实现双面光吸收。正面玻璃一般都经过防反射处理,以便将光线的反射损耗降到最低,并增加正面对光线的吸收;背面玻璃是全透明的,确保背面能有效地吸收外界光线。不同于传统的背板封装方式,双玻结构具有机械强度高、耐风化等优点。首先,双玻结构能更好地抵御恶劣气候环境,降低外界应力对机械的破坏^[1]。其次,双玻结构具有优异的耐高温、高湿度性能,不易受紫外线、水汽等侵蚀,延长电池使用寿命。此外,双玻封装技术还具有良好的热管理能力,有助于降低电池在高温环境下的温升,维持电池高效运行。

(三) 性能优势与不足

双面双玻单晶太阳电池具有高光电转化效率、环境适应能力强等优点。双面吸光设计,既可吸收直射光线,又可充分利用周围环境光的反射与散射,提高单位面积光电转化效率。尤其在积雪、沙漠、水面等高反射率环境中,双面电池的发电效率明显高于单侧电池。此外,双玻结构具有较高的力学强度及耐候性能,可有效抵御风沙、雨、雹等恶劣天气,延长电池寿命,降低维修费用。此外,双玻结构还具有较高的热稳定性,有利于在高温环境下保持稳定的发电性能。然而,双面双玻单晶太阳电池仍存在一些不足之处。首先是它的生产成本比较高,双玻结构以及复杂的制造工艺使它的成本比普通

电池要高。其次，背表面的吸光效率受安装场地反射率的影响，在低反射环境下会降低发电效率。另外，由于双层玻璃结构本身重量较大，因此其安装、运输难度较大，对支撑结构要求较高，工程造价也较高。

三、影响双面双玻单晶太阳能电池性能的关键因素

(一) 光电转换效率的影响因素

光电转换效率是双面双玻单晶太阳能电池的核心性能指标，决定了电池将光能转化为电能的能力。影响光电转换效率的主要因素包括材料特性、结构设计、光线利用率和工艺水平等。首先，材料的选择直接影响电池的光吸收能力。单晶硅材料由于其较高的载流子迁移率和优良的晶体结构，是实现高光电转换效率的理想选择。此外，抗反射涂层的应用能够有效减少入射光的反射损失，从而提高光线的利用率。同时，电池的表面纹理化设计也对光线的多次反射有显著贡献，进一步提高了吸光能力。其次，电池的结构设计也是影响效率的关键因素，双面吸光结构设计大大提高了整体光电转换效率。正面吸收直接光的同时，背面能够有效捕捉反射光和散射光，在反射率较高的场地如雪地、沙漠或水面等，背面吸收贡献明显增加。此外，工艺技术水平的高低也影响光电转换效率，电池在生产过程中可能会出现缺陷，如杂质、晶格缺陷或表面不均匀性，都会影响载流子的有效传输，降低转换效率^[2]。

(二) 温度系数对电池性能的影响

温度系数是衡量太阳能电池性能随温度变化的重要参数。对于双面双玻单晶太阳能电池而言，温度是影响其性能的重要因素。通常情况下，电池的开路电压随环境温度升高而降低，从而降低电池的整体光电转换效率。这主要是由于在较高的温度下，载流子热激发增强，复合损耗增大，从而导致电池输出功率下降。温度对双玻电池性能的影响也和结构设计有很大关系。双面双玻电池采用双层玻璃封装方式，在提高其机械强度及保护能力的同时，可能会影响其散热效率^[3]。在高温环境中，电池内部温度累积会增加电池热失效的风险，降低电池寿命。另外，双玻结构的热膨胀系数不同于其他封装材料，在大温差环境中易产生微裂纹等结构损伤，影响电池的长期稳定性。因此，如何降低电池中温度系数带来的不利影响，是电池研究的重要方向之一，从改善封装材料导热性能、增加背面通风设计、或者采用高效的散热系统等方面着手，来缓解温度对电池性能的不利影响，进而提高其在高温环境中的发电效率与寿命。

(三) 背面电池吸收与反射特性分析

双面双玻单晶太阳能电池与传统单电池相比，背向吸收特性是其最核心的优点之一。背电池能有效地吸收地面和周围环境中的反射、散射和二次辐射，提高发电效率。然而，影响背侧吸光效率的因素是多方面的。首先，反射率是影响背景反射率的一个重要因素。在积雪、沙漠和水面等高反射环境下，背向光的吸收明显增强，从而提高了系统的发电效率。但对于低反射率场地，如草地、土壤等，背向吸收的贡献很小。当太阳角度较低时，较多的阳光透过地面被反射到背侧，中午时，背侧吸收的光相对较少。其次，背光源的透过率、光学设计等因素对吸光效率有很大的影响。背玻璃具有高透过率，可使周围环境光更好地被电池吸收，同时背膜材料的选择及处理方式也会对其吸收性能产生重要影响。在此基础上，通过对背膜的优化，提高电池的低能量吸收效率，采用合适的制备工艺、结构优化及材料优化等手段，实现背电池的高效吸光和反射特性的最大化，大幅提高电池的发电潜能，尤其适用于反射率高、光线色散强烈的场合。

四、双面双玻单晶太阳能电池的改进策略

(一) 新型材料的应用

在提高双面双玻单晶太阳能电池的性能过程中，材料的选择起着至关重要的作用。传统的电池通常采用单晶硅作为光吸收材料，但新型材料的引入为进一步提升光电转换效率提供了可能性。例如，近年来钙钛矿材料得到了广泛关注。钙钛矿具有优异的光吸收性能，并且能够实现较低的生产成本和较高的光电转换效率。如果将钙钛矿材料与传统的单晶硅材料结合，形成叠层结构，可以显著提高电池的光谱响应范围，实现更高的转换效率。此外，石墨烯等二维材料的引入也为电池性能优化提供了新的方向。石墨烯具有极好的导电性和透光性，可以用作电极材料，不仅减少电阻损耗，还能进一步提升光的透过率，从而提高电池的整体效率。例如，一些实验研究表明，通过在双面双玻太阳能电池中引入石墨烯作为透明导电电极，可以在保持高光电转换效率的同时，进一步增强背面光的利用率。新型材料的应用为电池性能提升提供了广阔的空间，但在大规模应用之前，还需在材料的稳定性、制造工艺及成本控制方面进行进一步的优化和研究^[4]。

(二) 结构设计优化

电池的结构设计对于提高其性能和稳定性至关重要。

传统的单面电池主要依靠正面光吸收，而双面双玻电池通过结构设计实现了双面吸光的优势。为了进一步优化结构设计，可以采用多个创新策略。例如，在电池表面增加微米级的纹理结构或光子晶体，可以增强光线的捕获效果。这些结构能够使入射光在电池表面发生多次反射，从而增加光的吸收率。此外，背面设计的优化也是提高整体效率的关键。通过引入透明导电材料作为背电极，可以减少背面反射光的损失，增强背面光的吸收能力。另一个有效的设计策略是使用半透明的背板材料，增加背面的光线透过率。例如，一些双面双玻太阳能电池采用了半透明的背电极设计，通过优化电极的厚度和结构，实现了更好的光线透过性，同时保持了高效的电流传导能力。这样的结构设计不仅提高了电池的整体光电转换效率，还增强了其在不同安装场景中的适应性，如在高反射率环境下的发电表现更加出色^[5]。

（三）表面光学增强技术

提升双玻太阳能电池性能的方法有多种，首先，采用减反射膜是非常有效的技术。通过不同厚度、基底材料和涂覆方式的多层减反射膜，可以显著降低光的反射损耗，提升光的利用率，从而提高太阳能电池对太阳光的吸收。其次，纳米结构光学增强技术也是一种创新手段，利用光子晶体结构实现光在表面的多次散射和反射，可以延长光在吸光层中的传输路径，增加光的吸收概率。此外，引入金属纳米粒子能够产生表面等离子体共振效应，增强电池对特定波段光的吸收，尤其是低能区的光吸收，这将提高光电转换效率和产电性能。最后，应用超疏水涂层技术，不仅能提升光的透射率，降低反射，还能改善电池表面的防尘和防水性能，确保电池在复杂环境（如多云和雾霾）中长时间保持清洁，从而降低光学损耗。通过这些技术的整合与应用，我们有望开发出高效的太阳能电池，为未来的能源生产和环境保护提供坚实的支撑，促进可再生能源的广泛应用和普及。

（四）制造工艺的提升

制备工艺的改进是获得高性能双面双玻太阳能电池的关键。随着太阳能电池行业的快速发展，先进的制备工艺可以有效地提高电池的光电转换效率，降低生产成本。首先，通过对硅材料的精细加工，减少缺陷，减少载流子的复合概率，提高光电转换效率。另外，采用激光掺杂技术可以显著提高电池的接触性能，降低电阻损失。

激光掺杂可以更精确地控制掺杂浓度，使电池表面接触面积更均匀，电流传导效率更高。此外，对于双面双玻电池，封装工艺的优化也是提高电池性能的一个重要方面。采用低温共烧封装技术，在保证封装材料与硅片紧密结合的前提下，降低电池在封装过程中的表面损伤，提高电池的耐候性能和力学性能。如采用乙烯-醋酸乙烯共聚物（EVA）作为双面电池封装材料，可有效改善电池耐紫外、耐湿热等性能，保证长期使用稳定性^[6]。另外，自动化生产线的应用也反映了生产过程的提高。采用智能化生产设备，不仅能提高生产效率，还能降低因人为因素引起的工艺波动，提高产品的一致性及质量稳定性。通过对制备工艺的持续改进，有望在性能与成本上取得较好的平衡，促进其在光伏领域的广泛应用。

结论

综上所述，文章围绕双面双玻单晶太阳能电池的高性能进行了深入探讨，分析了其工作原理、结构特点及性能优势。研究发现，光电转换效率是影响电池整体性能的关键因素，温度系数和背面电池的光吸收与反射特性也对其能量输出起到重要作用。为提升该类电池的性能，材料选择、结构优化和光学增强技术是有效的改进方向，随着新材料的应用和制造工艺的不断提升，双面双玻单晶太阳能电池在光伏产业中的应用潜力将进一步释放。尽管存在一些技术挑战，但通过持续的研究和优化，该电池有望成为提高太阳能利用效率的关键技术之一，推动清洁能源的广泛应用。

参考文献

- [1] 王清源. 基于大位阻效应的高效有机太阳能电池受体材料的设计及器件性能的研究 [D]. 北京化工大学, 2024.
- [2] 李欣芮. 高效稳定 CsSnI₃ 钙钛矿太阳能电池的制备及其性能研究 [D]. 广西大学, 2023.
- [3] 王焯. 高效稳定三醋酸纤维素复合钙钛矿太阳能电池的光电转换性能研究 [D]. 石家庄铁道大学, 2023.
- [4] 陶俊雷. 高效稳定钙钛矿及钙钛矿/硅叠层太阳能电池制备及性能研究 [D]. 河北大学, 2022.
- [5] 路芳, 史华红, 李岱远, 等. 高效长寿命光转换太阳能电池封装胶膜的制备及性能 [J]. 塑料工业, 2022, 50(06): 191-196.