

2024 年度江苏省科学技术奖提名项目公示

项目名称：PE-TOPCon 高效电池关键技术和高端装备的创新与产业化

所有完成人：廖宝臣，沈文忠，苏晓东，杨永杰，黎微明，王强，李翔，严大

所有完成单位：南通大学，江苏微导纳米科技股份有限公司，上海交通大学，苏州大学

项目简介：

以光伏为代表的清洁能源是未来可持续发展的战略核心。近年来，光伏电池技术的发展却面临重大挑战。市场主流的 PERC 技术光电转换效率已接近 24.5% 的理论极限，亟需新一代高效技术突破。隧穿氧化物钝化接触电池 (Tunnel oxide passivated contact, TOPCon) 以其极高的效率潜力 28.7%，成为下一代高效电池技术首选之一。然而，TOPCon 电池结构更为复杂，新增正面高温硼扩层、背面隧穿氧化层、背面掺杂多晶硅层三道核心工序，产业化也面临诸多挑战，亟需自主创新，攻克相关关键技术。

本项目以国家重点研发计划、国家自然科学基金、江苏省人才引进项目以及高校与企业横向项目等为依托，针对 TOPCon 新增的三道核心工序，通过镀膜技术与装备协同创新，突破国际技术壁垒，实现 TOPCon 全链条国产化，推动我国光伏产业技术迭代。主要创新点如下：

1、管式 ALD/PEALD 氧化铝钝化技术突破与单面镀膜技术革新

自主研发的新型管式 ALD/PEALD 钝化技术，通过石墨舟通孔和导气槽设计，解决了管式 PEALD 电场均匀性、镀膜均匀性等原理性问题，实现了 ALD 单面镀膜技术的创新。通过氧化前驱体界面预处理、匀流板流场优化和 1.5 倍舟等创新，攻克了 TOPCon 电池正面硼扩层钝化的效率与良率瓶颈，同时实现大产能设备需求。

2、发明了管式 PEALD/PECVD 原子级隧穿氧化层精确控制技术

针对 TOPCon 电池背面核心薄膜层隧穿氧化层膜厚小于 2nm 的量产控制问题，自主研发管式 PEALD/PECVD 隧穿氧化层技术，通过内成长与外延结合的创新镀膜方式，在光伏电池量产应用上实现隧穿氧化层原子级的膜厚精确控制。

3、管式 PECVD Poly 原位掺杂镀膜技术与量产装备的突破

针对 TOPCon 电池背面核心薄膜层掺杂多晶硅的量产问题，通过管式 PECVD 原位磷掺镀膜技术与量产装备的协同创新，结合形貌应力、叠层膜、梯度掺杂、热预算控制、可拆卸电极馈入装置设计等技术，攻克了管式 PECVD 设备镀导电膜的产业化瓶颈，解决了低温易爆膜工艺难题，实现了管式 PECVD 原位掺杂多晶硅技术的突破。

4、管式 PE-ToxPoly 新集成设备技术创新突破以及 PE-TOPCon 器件新技术路线的产业化

针对新技术产业化的需求，自主研发了 PE-ToxPoly (Plasma enabled tunnel oxide polysilicon) 新设备技术。创造性将管式 PECVD 与 PEALD 集成于同一工艺管，可以在同一

工艺管内连续完成隧穿氧化层，掺杂多晶硅层和掩膜层，一道工序完成 TOPCon 电池背面核心膜层的沉积，大幅简化生产制造成本。

上述技术突破攻克了新一代光伏电池技术 TOPCon 产业化的瓶颈，助力了光伏电池技术从 PERC 到 TOPCon 的迭代。该项目已授权专利 45 项，其中发明专利 18 项。发表学术论文 10 篇。研究成果多次被行业头部期刊选为杂志封面技术。以上技术均已实现产业化，该项目的设备已经应用到通威股份、阿特斯阳光电力等全球光伏排名前五的企业，ALD 和管式 PECVD ToxPoly 设备分别累计国内市场占有率第一和前三（中国光伏行业协会证明）。该项目新设备技术 2021 年至 2024 年累计实现销售收入 45.64 亿元，累计在手订单 51.88 亿元（上市公司财报）。

本项目通过了中国电子学会的科技成果鉴定，以中科院院士杨德仁和亚太材料科学院院士沈鸿烈等专家组成的鉴定委员会一致认为“该技术及装备创新性强，市场占有率高，用户反映良好，关键产业化技术指标达到国际领先水平”。

代表性论文论著目录（主要知识产权和标准规范目录）

代表性论文：

- [1] **B. Liao**, X. Wu, W. Wu, C. Liu, S. Ma, S. Wang, T. Xie, Q. Wang, Z. Du, W. Shen, X. Li, W. Li and B. Hoex, “Tube-type Plasma-enhanced atomic layer deposition of aluminum oxide: Enabling record lab performance for industry with demonstrated cell efficiencies > 24%”, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **31(1)**, 52-61 (2023). 杂志封面
- [2] **B. Liao**, W. Wu, R. J. Reuben, X. Wu, S. Ma, Q. Wang, Y. Wan, X. Su, W. Shen, X. Li, W. Li, G. Xing and B. Hoex, “Atomic scale controlled tunnel oxide enabled by a novel industrial tube-based PEALD technology with demonstrated commercial TOPCon cell efficiencies > 24%”, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **31(3)**, 220-229 (2023). 杂志封面
- [3] S. Ma, **B. Liao***, F. Y. Qiao, D. Ding, C. Gao, Z. P. Li, R. Tong, X. Y. Kong* and W. Z. Shen*, “24.7% industrial tunnel oxide passivated contact solar cells prepared through tube PECVD integrating with plasma-assisted oxygen oxidation and in-situ doped polysilicon”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **257**, 112396 (2023).
- [4] S. Ma, **B. Liao***, D. X. Du, D. Ding, C. Gao, Z. P. Li, Q. Wang, X.Y. Wu, S. Zou, X. Su, R.J. Yeo, X. Li, W.M. Li, X. Y. Kong* and W. Z. Shen*, “Bi-layer in-situ phosphorus doped poly-Si films by PECVD for blistering-free high-efficiency industrial TOPCon solar cells”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **269**, 112771 (2024).
- [5] S. Ma, D. X. Du, D. Ding, C. Gao, Z. P. Li, X.Y. Wu, S. Zou, X. Su, X. Y. Kong, **B. Liao***, and W. Z. Shen*, “Improving the performance of industrial TOPCon solar cells through the insertion of intrinsic a-Si layer”, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **275**, 113024 (2024).

主要知识产权：

1. 廖宝臣、张密超、左敏、杨柳；石墨舟片及石墨舟；2024-11-08；ZL202110340069.9

2. 杨柳、廖宝臣、严大、范方宇；一种载体舟、处理设备以及载体舟内压降控；2023-12-15；ZL202310389574.1
3. 施述鹏、严大、黎微明、康旭、沈安磊；处理腔室、基片处理方法及处理装置；2023-09-22；ZL202310437556.6
4. 施述鹏、严大；一种喷淋板、喷淋方法及处理装置；2023-11-17；ZL202310981606.7
5. 张小剑、廖宝臣、王亨、姚森；一种 TOPCon 太阳能电池及其制备方法；2023-10-16；ZL202311334473.0
6. 王亨、廖宝臣、张良俊、李挺；电极馈入装置和化学沉积设备；2025-04-01；ZL202211401702.1
7. 毛文瑞、李挺、张鹤、吴兴华、严大、张密超、潘景伟、廖宝臣、黎微明；一种舟结构及承载舟结构的电极馈入装置；2024-10-29；ZL202210334750.7
8. 张胜、严大、陈六；一种电场馈入结构及沉积设备；2024-01-02；ZL202311266199.8
9. 严大、张胜；一种镀膜设备；2024-02-02；ZL202311549822.0
10. 张鹤、廖宝臣、吴兴华；除尘装置及真空镀膜设备；2025-02-18；ZL202211150361.5