

半导体射频电源：刻蚀+CVD 设备的核心，国产化替代拐点已至

——半导体设备行业深度报告

投资要点

- **射频电源：半导体工艺控制的核心，应用于 CVD 薄膜沉积、刻蚀等核心环节**
 - 1) **什么是射频电源？**用来产生射频电功率的电源。**核心作用**——通过产生高频电磁场，将在低压或常压下的气体进行电离、形成等离子体。从而在腔体内部实现不同的工艺需求。
 - 2) **下游应用在哪？**半导体薄膜沉积、刻蚀、离子注入、清洗等前道工艺机台的关键零部件之一，与工艺直接相关。射频电源的应用直接关系到腔体中的等离子体浓度、均匀度和稳定性，影响到终端晶圆刻蚀、成膜的质量。
 - 3) **为什么值得关注？**此前受制于下游对半导体核心零部件替换意愿弱、且对性价比不敏感等因素，国产替代诉求较弱。2022 年 10 月美国出台的“半导体制造”最终用途限制措施，进一步限制国内半导体的发展，**射频电源已成为“卡脖子”环节之一，国产替代需求紧迫。**
- **行业趋势：全球/国内 270/70 亿元市场，国产化率极低、未来 2 年将提速**
 - 1) **市场空间：**受益于新增扩产+存量替换市场需求，我们测算：预计 2025 年全球半导体射频电源市场空间有望达 270 亿元，国内市场空间达 70 亿元。未来随着半导体资本开支的上行、市场空间有望持续打开。
 - 2) **竞争格局：**全球射频电源主要被 2 家美系厂商寡头垄断。2022 年美国 MKS 和 AE 合计市占率达 87%，其余日德企业占据少量份额，国产化率极低。在半导体“卡脖子”背景下、国内厂商英杰电气、恒运昌、北方微电子与下游设备厂共同成长，在射频电源产品供应方面已实现批量订单突破。
 - 3) **行业趋势：**我们认为行业将受益于——海外供应瓶颈+库存消耗周期因素+半导体资本开支提速的 3 重因素叠加，半导体射频电源国产替代进程有望进入加速期。预计半导体射频电源的国产替代趋势有望在未来 1-2 年内加速推进、实现全面国产替代。
- **海内外产业链重点公司：预计国产半导体射频电源公司将迎加速突破拐点——海外主要企业：**
 - 1) **美国 MKS：**全球半导体射频电源龙头，覆盖半导体/电子封装/特殊工业领域
 - 2) **美国 AE：**半导体射频电源龙头，覆盖半导体/工业/医疗/数据/通讯多领域
 - 3) **美国 Comdel：**并购 XP Power，完善电源产品生态
 - 4) **日本 DAIHEN：**焊接机器人龙头，延伸布局等离子射频电源领域
 - 5) **德国 TRUMPF 霍廷格：**光伏射频电源龙头，半导体射频电源加速布局**——国内主要企业：**
 - 1) **英杰电气：**半导体射频电源订单加速突破、迈向泛半导体核心零部件龙头
 - 2) **恒运昌：**半导体射频电源领军者，在拓荆 PECVD 设备已实现批量供货
 - 3) **北方微电子：**收购射频电源资产，与半导体设备业务相协同
- **投资建议**

重点推荐：英杰电气（半导体电源龙头）、北方华创（半导体设备国产替代领军者）、中微公司（半导体刻蚀设备龙头）；拓荆科技（薄膜沉积设备龙头）

建议关注：恒运昌（拓荆科技参股）、北方微电子（北方华创子公司）等厂商
- **风险提示**

半导体贸易管制风险；国产射频电源研发验证不及预期；市场竞争加剧。

行业评级：看好(维持)

分析师：邱世梁
执业证书号：S1230520050001
qiushiliang@stocke.com.cn

分析师：王华君
执业证书号：S1230520080005
wanghuajun@stocke.com.cn

分析师：李思扬
执业证书号：S1230522020001
lisiyang@stocke.com.cn

相关报告

- 1 《特斯拉新一代人形机器人亮相；推荐人形机器人、半导体设备、3C 设备》
2023.12.17
- 2 《中央经济工作会议推进“三大工程”，期待稳增长加码、内需改善》 2023.12.17
- 3 《11 月挖机销量同比走弱；持续看好人形机器人、半导体设备、3C 设备等》
2023.12.12

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

正文目录

1 半导体射频电源：刻蚀+CVD 工艺的核心，技术壁垒高	5
1.1 射频电源：半导体工艺控制的核心，半导体零部件国产化最难关卡	5
1.2 应用领域：产生等离子体的核心，作用于半导体 CVD、刻蚀等多道工艺	6
1.2.1 薄膜沉积 CVD 中的应用：薄膜沉积质量、沉积速率的关键	6
1.2.2 刻蚀机中的应用：针对 CCP、ICP 刻蚀，控制等离子体密度和离子能量	8
1.2.3 半导体离子注入机中的应用：射频为离子源设计方案的选择之一	9
1.2.4 半导体清洗中的应用：射频技术应用在等离子清洗当中	10
2 行业趋势：全球/国内 270/70 亿市场，国产替代开始提速	11
2.1 市场空间：国内 70 亿元市场，受益新增+存量替换需求驱动	11
2.2 竞争格局：美系厂商寡头垄断，国产订单已批量突破、实现国产替代	13
2.3 行业趋势：受制海外供应瓶颈，国产替代进程将提速	14
3 产业链重点公司：MKS、AE、Comdel、DAIHEN、霍廷格（海外）；英杰电气、恒运昌、北方微电子（国内）	15
3.1 全球-半导体射频电源重点企业	15
3.1.1 美国 MKS Instruments：全球半导体射频电源龙头，下游覆盖半导体、电子封装、特殊工业 3 大领域	15
3.1.2 美国 Advanced Energy：半导体射频电源龙二，下游覆盖半导体、工业、医疗、数据中心、通讯等领域	18
3.1.3 美国 Comdel：并购 XP Power，完善电源产品生态	20
3.1.4 日本 DAIHEN：焊接机器人龙头，延伸布局等离子射频电源领域	21
3.1.5 德国 TRUMPF Hüttinger 霍廷格电子：光伏射频电源龙头，半导体射频电源加速布局	22
3.2 国内-半导体射频电源重点企业	24
3.2.1 英杰电气：半导体射频电源订单加速突破、迈向泛半导体核心零部件龙头	24
3.2.2 恒运昌：半导体射频电源领军者，在拓荆 PECVD 设备已实现批量供货	26
3.2.3 北方微电子：收购射频电源技术资产，与半导体设备业务相协同	27
4 投资建议：重点推荐英杰电气，迈向半导体射频电源龙头	28
5 风险提示	28

图目录

图 1: 无线电频率划分及应用	5
图 2: 老牌射频电源龙头 MKS 产品示意图	5
图 3: 射频电源结构图: 功率放大、阻抗匹配为核心难点	6
图 4: 射频电源工作原理: 功率放大、阻抗匹配为核心难点	6
图 5: PECVD 等离子体产生机制	7
图 6: PECVD 系统构成	7
图 7: 双频电源系统组成示意图	7
图 8: 等离子体刻蚀发展路线	8
图 9: 等离子注入机结构图	10
图 10: 清洗操作流程	11
图 11: 等离子清洗示意图	11
图 12: 2021 前三季度拓荆科技采购电气 (含电源) 占比 27%	12
图 13: 2021 年微导纳米采购电器类 (含电源) 占比 12%	12
图 14: 射频电源产业集中度高, AE 和 MKS 市占率超过 80%	13
图 15: MKS 半导体产业生态	16
图 16: MKS 是半导体射频电源产业的引领者	16
图 17: MKS 电子及封装产业生态	16
图 18: MKS 过去三年营业收入 CAGR 为 15.04%	17
图 19: 2022 年 MKS 净收入近 60% 来自半导体市场	17
图 20: 2018-2022 年 MKS 毛利率与净利率	17
图 21: AE 射频电源与工艺电源市占率排名世界第一	18
图 22: 近三年 AE 营业收入 CAGR 达 9.24%	19
图 23: 2018-2022 年 AE 毛利率与净利率	19
图 24: 2020-2022 年 AE 收入按产业拆分 (百万美元)	19
图 25: 2022 年 AE 在半导体行业收入占比 50%	19
图 26: 2020-2022 年 AE 收入按地区拆分 (百万美元)	19
图 27: 2022 年 AE 在中国地区营收占比约 10%	19
图 28: XP Power 在半导体业务 CAGR 约 25%	20
图 29: Comdel 补充射频电源产品	20
图 30: XP Power 半导体领域产品	20
图 31: 2018-2022 年 DAIHEN 营业收入与归母净利润 (十亿日元)	21
图 32: 2018-2022 年 DAIHEN 毛利率与净利率	21
图 33: DAIHEN 射频电源技术构成	22
图 34: 2022 年公司半导体及平板显示器相关业务 (含射频电源) 营收占比 32%	22
图 35: 2020-2022 年 TRUMPF 收入按部门拆分 (百万欧元)	23
图 36: 2022 年激光技术部门营收占比 34%	23
图 37: 2018-2022 年 TRUMPF 毛利率与净利率	23
图 38: 2020-2022 英杰电气营业收入及归母净利润 (亿元)	24
图 39: 2020-2023H1 英杰电气毛利率与净利率	24

表目录

表 1: 干法刻蚀和湿法刻蚀对比.....	8
表 2: 半导体刻蚀机: CCP 和 ICP 工艺的比较	9
表 3: 等离子清洗与湿化学清洗对比	10
表 4: 2020 年我国半导体设备零部件市场格局及国产化率	11
表 5: 2023-2025 年中国大陆半导体设备射频电源市场规模 59/67/70 亿元.....	13
表 6: 半导体射频电源厂家介绍.....	14
表 7: 针对“半导体制造”的管制新规	15
表 8: MKS 射频电源产品主要参数	18
表 9: Comdel 射频电源产品主要参数	21
表 10: DAIHEN 射频电源产品主要参数.....	22
表 11: 英杰电气覆盖行业.....	24
表 12: 英杰电器特种电源产品矩阵.....	25
表 13: 恒运昌射频电源及匹配器产品参数.....	26
表 14: 北广电子主要产品.....	27
表 15: 产业链重点公司盈利预测与估值.....	28

1 半导体射频电源：刻蚀+CVD 工艺的核心，技术壁垒高

1.1 射频电源：半导体工艺控制的核心，半导体零部件国产化最难关卡

什么是射频电源？是用来产生射频电功率的电源。**核心作用**—通过产生高频电磁场，将在低压或常压下的气体进行电离、从而形成等离子体。由于不同气体产生的等离子体具有不同的化学性能，从而在腔体内部实现不同的工艺需求。

下游应用：射频电源被广泛应用于半导体工艺设备、LED 与太阳能光伏产业、科学研究、射频感应加热、医疗美容、常压等离子体消毒清洗等领域。工作频率一般处于 2MHz 至 60MHz 之间。

图1：无线电频率划分及应用

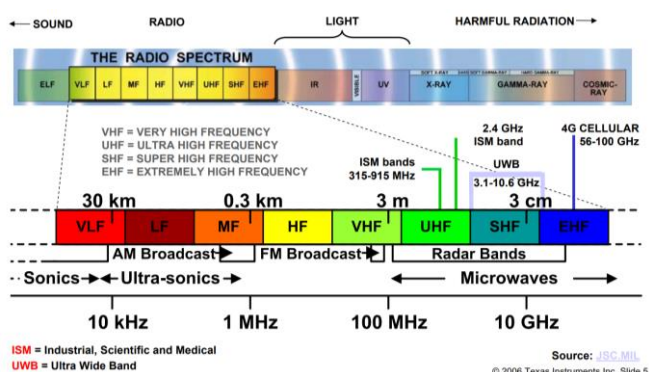


图2：老牌射频电源龙头 MKS 产品示意图



资料来源：德州仪器官网，浙商证券研究所

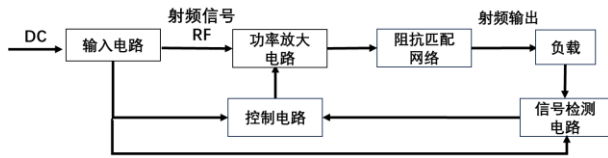
资料来源：MKS 官网，浙商证券研究所

射频电源由五部分组成：输入电路、功率放大电路、阻抗匹配网络、信号检测电路和控制电路。其中，**功率放大和阻抗匹配是技术突破的重难点。**

- ① **输入电路：**包括直流供电电源模块+振荡电路模块，作用分别为供电和发出信号源。**核心作用：**决定电源最终输出的频率和波形，进而影响系统稳定性。
- ② **功率放大电路：**射频电源的核心，是制约射频电源发展的关键因素。由几个固态晶体管组成。**核心作用：**振荡电路产生的信号源功率难以达到设备用电要求，故须进行功率放大，从而使功率达到输出要求，其性能决定了电源系统整体性能。
- ③ **阻抗匹配网络：**射频传输的效率关键在于阻抗匹配，其目的是保证信号或能量能有效从“信号源”传送到“负载”。其主要功能是实时跟踪负载阻抗变化，保障射频电源和负载之间一种处于抗阻匹配状态。**核心作用：**使得射频功率源输出的功率能被负载全部吸收，从而提高系统的频率和稳定性能。
- ④ **信号检测电路：**用于检测射频电源负载的电压电流信号，并传输给控制电路。
- ⑤ **控制电路：**由脉冲信号发生器和调制驱动电路组成。**主要作用：**是调制电源的信号输出，使机器持续稳定工作，实现对射频电源输出功率的控制。

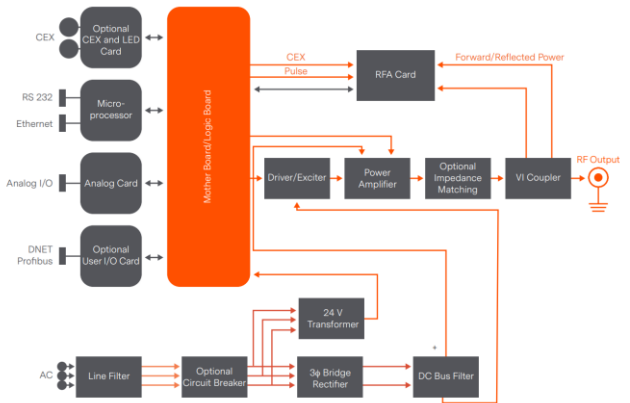
在电路中，功率变化过程为：低频交流电（50Hz/60Hz）—直流电—高频交流电（2MHz 或以上）。

图3：射频电源结构图：功率放大、阻抗匹配为核心难点



资料来源：潘少祠,姚岛,王微,《基于全桥拓扑结构的固态射频电源技术研究与设计》，浙商证券研究所整理

图4：射频电源工作原理：功率放大、阻抗匹配为核心难点



资料来源：AE 官网，浙商证券研究所

核心技术壁垒：主要在于电源波形、频率和功率性，以及在腔体中激发的等离子体浓度、均匀度的精准控制。国内外技术差距主要体现在以下3个方面：

- ① **阻抗的高速匹配。**现代工艺中各步骤之间的转换可能导致功率、气体流量和压力迅速改变，使等离子体阻抗的急剧变化，对频率调谐的灵活性和速度提出了更高要求。一方面需要更快的数据处理能力；另一方面需要完善数据的收集、处理和传输系统，为机器学习等算法构建数据库进行分析和预测、客户个性化定制。以AE为例，其电源发生器和匹配网络（PowerInsight）可用于收集信息，分析速度和精度的，且无需外部传感器。
- 目前我国仍以手动调节阻抗匹配器为主，易受环境影响，需研制高精度、高速度高精度、高速度的阻抗自动匹配器。
- ② **多频率电源的提供。**海外供应的电源系统通常使用 source RF 和 bias RF 两个甚至多个电源，可相对独立控制等离子体密度和离子能量，实现更高的蚀刻速率、更大的工艺自由度，提高良率水平。我国射频电源种类较为单一，宽频带电源、微波电源、高功率射频电源的研发成果尚未普及于生产领域。
- ③ **与芯片制造同步革新功能。**以刻蚀工艺为例，其对射频电源的要求不仅包括控制精度、功率范围、效率、响应速度等，还需要电源系统配和新功能，如调频、扫频、相位调整、脉冲和电弧管理等。射频电源厂需要与下游设备厂同步革新、研发适配功能。

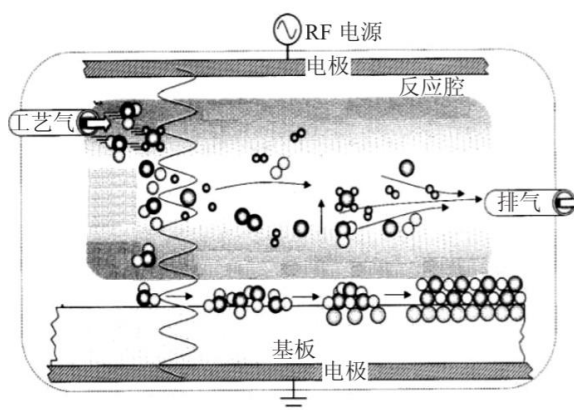
1.2 应用领域：产生等离子体的核心，作用于半导体 CVD、刻蚀等多道工艺

射频电源是半导体中薄膜沉积、刻蚀、离子注入、清洗等前道工艺机台的关键零部件之一。射频电源是等离子体发生器配套电源，主要用于在低压或常压气氛中产生等离子体，其直接关系到腔体中的等离子体浓度、均匀度和稳定性。

1.2.1 薄膜沉积 CVD 中的应用：薄膜沉积质量、沉积速率的关键

CVD 薄膜沉积：是在低气压下辉光放电使反应气体电离，再通入工艺气体，经一系列化学反应和等离子体反应在基片上表面形成固态薄膜。

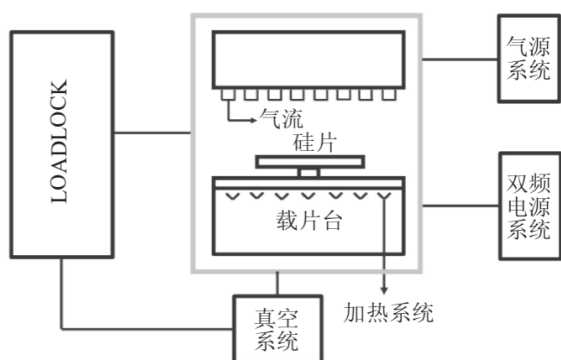
图5: PECVD 等离子体产生机制



资料来源：龙长林,周立平,陈国钦,龚欣,龚俊,巴赛.《基于双频电源的 PECVD 沉积设备设计与仿真》，浙商证券研究所

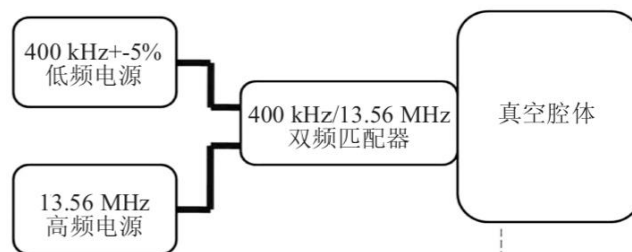
射频电源的作用：解离气体产生等离子体。薄膜沉积一般在真空腔中进行，腔内放置平行且间距若干英寸的托盘。硅片置于托盘上，上电极施加 RF 功率。当原气体流过气体主机和沉积中部时会产生等离子体，多余的气体通过下面电极的周围排出。**射频功率越大离子轰击能量越大，有利于沉积膜质量的改善。**功率增加可增强气体中自由基浓度，提高沉积速率，当功率增加到一定程度，反应气体完全电离，自由基达到饱和，沉积速率则趋于稳定。

图6: PECVD 系统构成



资料来源：龙长林,周立平,陈国钦,龚欣,龚俊,巴赛.《基于双频电源的 PECVD 沉积设备设计与仿真》，浙商证券研究所

图7: 双频电源系统组成示意图



资料来源：龙长林,周立平,陈国钦,龚欣,龚俊,巴赛.《基于双频电源的 PECVD 沉积设备设计与仿真》，浙商证券研究所

目前 PECVD 主要应用双频电源，由 400kHz 和 13.56MHz 构成，两个电源最高功率均为 3000W。相比于单一电源，高频和低频相结合的双频驱动可以显著地降低启辉电压，更有利于获得稳定的等离子体源，减弱带电粒子对沉积衬底的轰击及红外芯片的损伤，提高了工艺自由度。

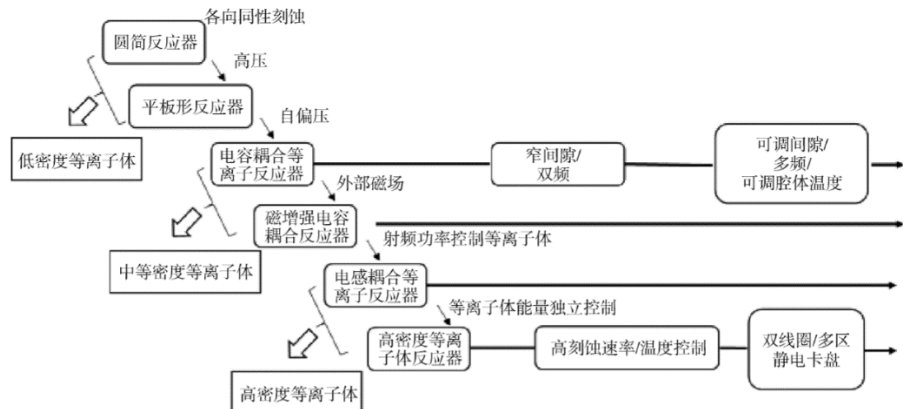
双频电源系统可选工作模式：

- ① 高低频同时作用于反应室，高频为主，低频调制为辅；
- ② 高低频交替作用于反应室，可以快速切换；
- ③ 高低频单独作用于反应室，独立控制工作。

1.2.2 刻蚀机中的应用：针对 CCP、ICP 刻蚀，控制等离子体密度和离子能量

等离子体刻蚀：指在低压情况下，反应气体在射频功率的激发下辉光放电形成等离子。等离子是由带电的电子和离子组成，反应腔体中的气体在电子的撞击下，除了转变成离子外，还能吸收能力并形成大量的活性基团。活性反应基团和被刻蚀物质表面形成化学反应并形成挥发性的反应生成物，反应生成物脱离被刻蚀物质表面，并被真空系统抽出腔体。其中，经常采用的刻蚀气体有氟（F）、氯（Cl）、溴（Br）等卤族元素化合物。

图8：等离子体刻蚀发展路线



资料来源：韦刚,成晓阳,刘建,刘卓远,王娜,赵晋荣.《集成电路刻蚀装备及其核心部件的发展历程》，浙商证券研究所

刻蚀按类型分：主要分为干法刻蚀和湿法刻蚀，干法刻蚀覆盖近 90% 的市场；

干法刻蚀进一步按产生等离子体方法不同：分为电容性等离子体刻蚀（CCP）电感性等离子体刻蚀（ICP）。其中，射频电源可改变电子密度，轰击离子流量密度，增强各向异性刻蚀。

表1：干法刻蚀和湿法刻蚀对比

刻蚀方法	原理	分类	优势	劣势	市场占比
干法刻蚀	用等离子体进行薄膜刻蚀	CCP：主要用于介质刻蚀 ICP：主要用于硅、金属刻蚀	实现各向异性， 用于高精度加工的 半导体制造工艺	造价高	90%
湿法刻蚀	将刻蚀材料浸泡， 在腐蚀液内进行刻蚀	/	表面均匀性好， 对硅片损伤小	各向异性差， 侧壁易产生横向刻蚀偏差	10%

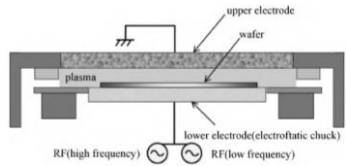
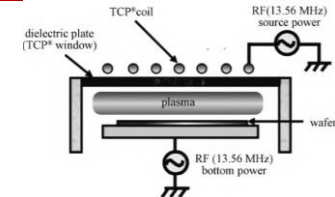
资料来源：国际电子商情，浙商证券研究所

射频电源在 CCP、ICP 刻蚀中的作用：

CCP 工艺中：相互平行放置的电极在射频功率下产生的高频电磁场激发等离子体。早期配套单一射频电源，高密度离子束流往往伴随高能量，使得在以化学刻蚀为主的反应中会出现高能离子轰击的负面影响。为了产生高密度且低能量的等离子体，发展出了多频率的 CCP 刻蚀系统，高频电源控制等离子体密度、低频电源控制离子的能量。目前，双频 CCP 主要应用于 SiO₂ 等绝缘体介质的刻蚀。

ICP 工艺中：射频电流流经线圈，在腔室内产生电磁场激发气体产生等离子体。放电系统通常使用通过 source RF 和 bias RF 两个电源，可相对独立控制等离子体密度和离子能量，实现更高的蚀刻速率、更大的工艺自由度，提高良率水平。被广泛地应用于集成电路制造中硅、铝等栅极材料和导电材料的精细刻蚀工艺。

表2: 半导体刻蚀机: CCP 和 ICP 工艺的比较

	CCP	ICP
构造		
射频电源工作原理	电极表面的电荷形成电容电场	交流电通过腔体周围的线圈产生诱导磁场, 磁场产生诱导电场
特征	1. 电子在静电场中加速产生等离子体 2. 构造简单 3. 等离子能量高, 电子温度低 4. 晶圆和等离子体存在鞘层	1. 电子在诱导电场中加速产生等离子 2. 构造复杂 3. 等离子体能量低, 电子温度高 4. 等离子体形状类似甜甜圈
应用	介质刻蚀: 用于 SiO_2 、 Si_3N_4 刻蚀; 金属刻蚀: 铝、钨等形成线路	硅刻蚀: 单晶硅、多晶硅、硅化物等刻器件
优势	1. 均一性好 2. 易调节离子化能力 3. 可刻蚀高键能物质 4. 各向异性刻蚀	1. 电极和腔室分离, 污染小 2. 可在低压状态获得高密度等离子体 3. 可通过 RF 调节电子温度
劣势	1. 电极处于腔体内部, 污染多 2. 溅射反应会造成基底损坏 3. 等离子体密度较低	1. 等离子体均一性差 2. 构造复杂

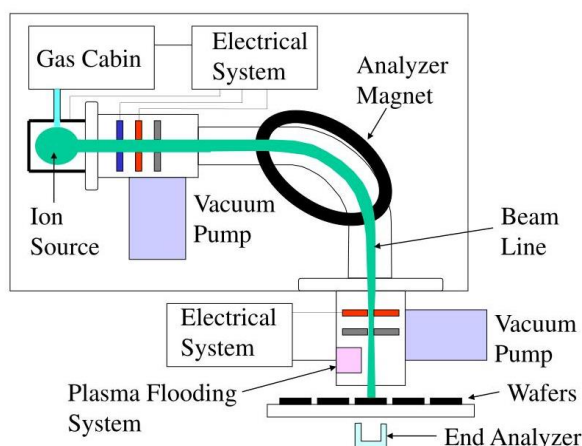
资料来源: 韦刚,成晓阳,刘建,刘卓远,王娜,赵晋荣.《集成电路刻蚀装备及其核心部件的发展历程》,浙商证券研究所

1.2.3 半导体离子注入机中的应用: 射频为离子源设计方案的选择之一

半导体离子注入机: 在半导体晶圆制造过程中, 器件的电学性能取决于半导体掺杂的杂质浓度, 要使导电性能较差的纯净硅变为半导体, 需要加入少量杂质改变其结构和电导率, 这个过程就被称为掺杂。离子注入凭借对注入剂量、注入角度、注入深度、横向扩散等方面的精确控制, 在半导体制造中占据主导地位。

离子注入机由以下部分组成: 离子源、质量分离器、束流扫描单元、离子注入室。其中, 离子源是离子注入机的源头, 用于产生和引出某种元素的离子束。其内部结构可选用磁分析器离子源、射频离子源、冷阴极源和微波离子源作为电源, 射频电源可通过真空弧放电能在较低的等离子温度下产生更高的离子束电流, 延长离子源的寿命。

图9： 等离子注入机结构图



资料来源：M. H. Nemati Sabanci University. Ion Implantation. Introduction Safety Hardware Processes Summary, 浙商证券研究所

1.2.4 半导体清洗中的应用：射频技术应用在等离子清洗当中

等离子清洗：又叫干法清洗，是一种成熟、有效、经济且环保安全的关键表面处理方法。不采用化学液体的清洗技术，如气相干洗、束流清洗、干冰清洗、紫外-臭氧清洗、等离子清洗等。与传统的湿式清洗方法相比，使用氧等离子体的等离子体清洗能在纳米尺度上消除等离子清洗可产生纯净的表面，为粘接或进一步加工做好准备，且不会产生任何有害废料。湿法清洗在现阶段的微电子清洗工艺中还占据主导地位，但综合考虑环境污染、原材料消耗及未来发展，干法清洗将逐步取代化学湿法清洗。

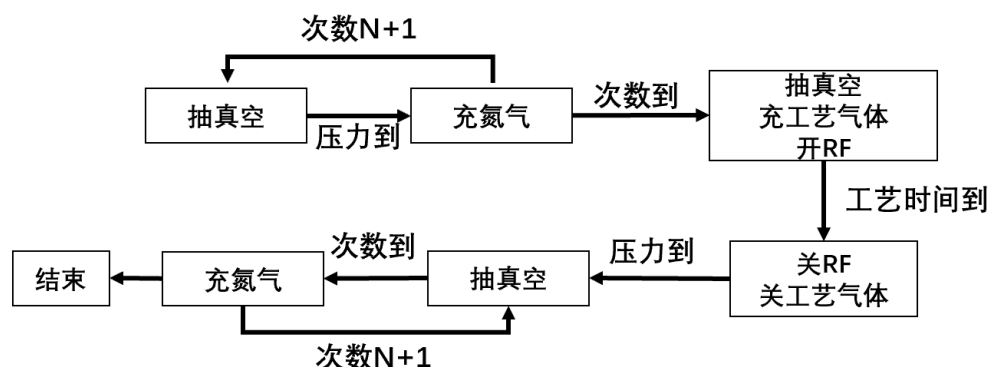
表3： 等离子清洗与湿化学清洗对比

等离子清洗	湿化学清洗
可通过功率、压力、气体类型、处理时间等精确控制工艺	工艺对处理时间和化学浓度非常敏感
无有机物残留	可靠性取决于残留物的中和效果，可能需要进一步处理
废物"是无害的，并且总是以气体形式存在，可以直接释放到大气中	大量的液体废物处理费用昂贵，且受到严格的监管
使用的大部分气体没有毒性	使用的大部分溶剂和酸都极其危险 如 H_2SO_4 , H_2O_2 , DHF , NH_3H_2O , IPA 等溶剂

资料来源：Henniker Plasma, 浙商证券研究所整理

射频电源：配合真空系统多次置换气体实现清洗。等离子清洗机主要由真空腔体、RF 等离子电源、真空产生及测量系统、工艺气体系统、控制系统等组成。在实际工艺中，首先进行N次置换，将腔体内的空气置换为干净的氮气；然后在真空状态下通入工艺气体，再打开射频功率源，开始工艺；工艺完成后，再次置换，将腔内残余的有害尾气置换排出，防止污染净化间，对人体造成伤害。

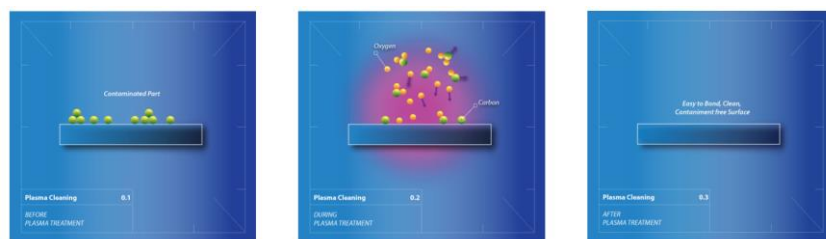
图10: 清洗操作流程图



资料来源：张文全、雷晓东、李柏荣、羊奎：《低温等离子清洗技术在清洁发动机涂胶面上的应用》，浙商证券研究所

射频电源激发高频交变电场将气体进行电离，根据气体等离子体不同性质，清洁方式包括利用紫外线打破表面污染物的大部分有机键；高能氧气等离子体与有机污染物发生反应，生成水和二氧化碳并在加工过程中不断从腔体中排出（泵走）；使用氩气或氦气惰性气体清洁易氧化材料，如铜，银等。

图11: 等离子清洗示意图



资料来源：Henniker Plasma, 浙商证券研究所

2 行业趋势：全球/国内 270/70 亿市场，国产替代开始提速

2.1 市场空间：国内 70 亿元市场，受益新增+存量替换需求驱动

射频电源作为半导体设备的核心零部件之一，伴随半导体 CVD、刻蚀机等核心设备的市场空间同步成长。**新增扩产+存量替换市场需求大。**

1) **新增需求:** 射频发生器是射频电源的重要组成部分, 据芯谋研究统计, 2020 年射频发生器在晶圆厂零部件采购中占比达 10%, 仅次于石英 (11%), 受益新增扩产需求。

2) **存量替换需求:** 射频电源使用寿命约为 5~6 年, 短于半导体腔体的使用寿命, 需求定期进行维保或更换, 部分晶圆厂有直接备存射频电源的需求。

表4: 2020年我国半导体设备零部件市场格局及国产化率

产品	采购占比	海外厂商	国内厂商	国产化率
石英	11%	Ferrotec、Heraeus	菲利华、石英股份	>10%

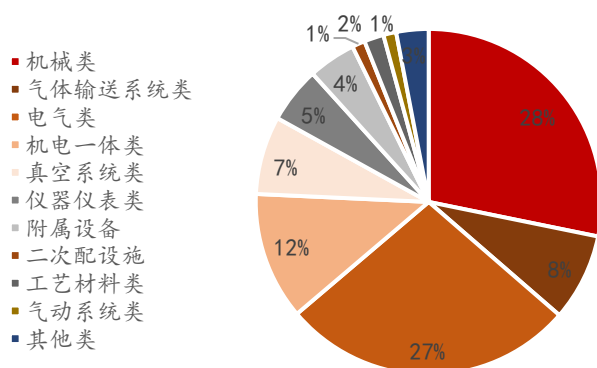
射频发生器	10%	MKS、AE、TRUMPF Hüttinger、Comdel、 DAIHEN	英杰电气、恒运昌、北方微电子	1%~5%
真空泵	10%	Alcatel、Pfeiffer、Edward、 Ebara、Ulvac、 Leybold、Varian	沈阳科仪、京仪	<1%
阀门	9%	Fujikin、VAT、MKS、 Swagelok、Hamlet	新莱应材	<1%
静电卡盘	9%	AMAT、Lam、新光电器、 TOTO、NTK	海拓创新、华卓精科	>10%
喷淋头	8%	新鹤	靖江先锋、江丰电子	>10%
边缘环	3%	Tokai Carbon、EPP	珍宝、神功股份	<1%
测量仪表	2%	MKS、Inficon		1%~5%
MFC	2%	Brooks、MKS、Fujikin、 Horiba、CDK	北方华创、万业企业 (Compart system)	5%~10%
陶瓷件	1%		苏州阿玛	5%~10%
O 型环		Dupont	芯密科技	<1%
其他	29%			1%~5%

资料来源：芯谋研究，浙商证券研究所整理

我们通过成本占比法对全球/中国半导体射频电源市场空间进行测算，核心假设：

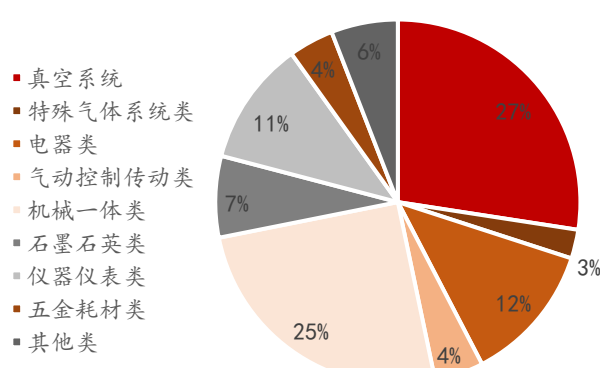
- ① 半导体设备市场规模：由于全球半导体市场疲软及行业周期性波动，SEMI 预计 2023 年半导体设备全球销售额将从 2022 年的 1074 亿美元减少 18.6%，至 874 亿美元。2024 年将复苏至 1,000 亿美元，同比增长 14.4%，主要因高性能计算和无处不在的连接驱动的长期强劲增长；
- ② 半导体设备中射频电源价值量占比：根据中国刻蚀设备行业现状深度研究与投资趋势预测报告（2022-2029 年），膜沉积设备、刻蚀设备、离子注入机和去胶机占比分别为 27%/22%/3%/1%；
- ③ 射频电源占设备成本：假设射频电源成本约占等离子体加工设备 12%（取图 12、图 13 折中假设），假设毛利率为 45%，则半导体射频电源占设备价值量比为 7%；

图12： 2021 前三季度拓荆科技采购电气（含电源）占比 27%



资料来源：拓荆科技招股说明书，浙商证券研究所

图13： 2021 年微导纳米采购电器类（含电源）占比 12%



资料来源：微导纳米招股说明书，浙商证券研究所

- ④ 假设人民币兑美元汇率为 7（USD/CNY=7）；

测算结论：预计 2025 年全球半导体射频电源市场空间有望达 270 亿元，国内市场空间达 70 亿元。未来伴随着半导体资本开支的上行、市场空间有望持续打开。

表5: 2023-2025 年中国大陆半导体设备射频电源市场规模 59/67/70 亿元

年份	2022	2023E	2024E	2025E
全球半导体设备市场规模 (亿美元)	1074	870	992	1041
YOY	5%	-19%	14%	5%
薄膜沉积设备 (27%)	290	235	268	281
刻蚀设备 (22%)	236	191	218	229
离子注入机 (3%)	32	26	30	31
去胶机 (1%)	11	9	10	10
射频电源下游设备-全球市场规模 (亿美元)	569	461	526	552
射频电源占设备价值量比率	7%			
半导体射频电源全球市场规模 (亿元, 按 1:7 汇率)	279	226	258	270
中国大陆半导体设备销售额全球占比	26%			
中国大陆半导体设备射频电源市场规模 (亿元, 按 1:7 汇率)	73	59	67	70

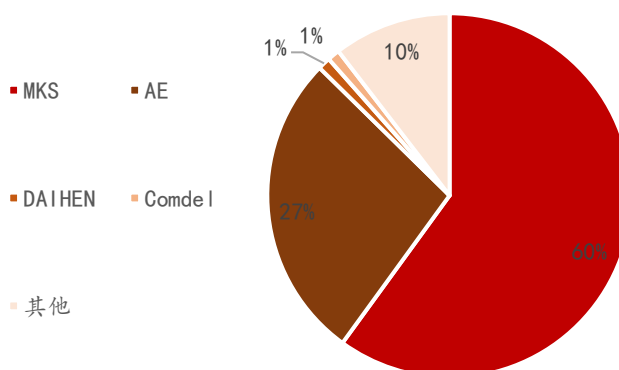
资料来源: SEMI、中国刻蚀设备行业现状深度研究与投资趋势预测报告 (2022-2029 年), 浙商证券研究所测算

2.2 竞争格局: 美系厂商寡头垄断, 国产订单已批量突破、实现国产替代

射频电源是技术壁垒最高的半导体设备零部件之一, 要实现高功率和高效率厂商需要对内部电路和结构设计有较深的技术积累, 如频率精度、响应时间、匹配精度、匹配时间; 并配合客户共同不断调试。此外, 制程节点不断革新衍生出脉冲输出、多频射频等高端需求, 国内厂商要克服较多技术难题。

全球竞争格局: 全球射频电源主要被美系厂商垄断, 头部厂商主要包括 MKS (美)、AE (美)、Comdel (日)、DAIHEN (日) 和 TRUMPF Hüttinger (德) 等。据我们测算, 2022 年美国 MKS 和 AE 合计市占率达 87%, 其余为日德企业占据少量份额, 国产化率极低。

图14: 射频电源产业集中度高, AE 和 MKS 市占率超过 80%



资料来源: 各公司年报, 浙商证券研究所整理

国内竞争格局：在半导体“卡脖子”背景、国内厂商英杰电气、恒运昌、北广科技与下游设备厂（中微股份、拓荆科技、北方华创等）共同成长，在射频电源产品供应方面已实现批量订单突破。

1) 英杰电气：应用于半导体设备的射频电源已实现批量订单（截至 2023 年 11 月 29 日，已突破 9000 万元订单），正呈现逐渐增量的趋势。

2) 恒运昌：2019 年底公司与沈阳拓荆科技有限公司正式签署了战略合作备忘录。2022 年 6 月 17 日，拓荆科技以自有资金人民币 2000 万元向恒运昌增资并参股恒运昌，增资后持有其 3.51% 的股份。在 PECVD 射频电源领域持续突破。

3) 北方微电子：2020 年公司以 6397 万人民币收购北广科技射频应用技术相关资产，提高在射频电源细分领域的核心竞争力。

表6：半导体射频电源厂家介绍

厂商	简介
MKS	全球领先的射频电源及等离子体源供应商。
AE	研究和生产基于等离子体状态下薄膜沉积和刻蚀工艺的开关电源，射频电源领域产品线丰富。
Comdel	为半导体，薄膜，光伏，平板和工业加热行业设计和制造射频和直流电源和过程仪器。产品包括射频发生器，直流发电机，阻抗匹配网络，多通道合成器和静电卡盘电源。2017 年被 XP Power 收购。
DAIHEN	在焊接机器人领域占据了全球第一的份额，同时其变压器和焊接机占据了日本份额首位。
TRUMPF Hüttinger	隶属于通快，是德国半导体通用设备制造与激光设备供应商。重点发展中高频直流等离子体电源、直流/直流脉冲等离子体电源以及射频等离子体电源等。
英杰电气	是专业的工业电源设计及制造企业。公司始终以自主研发、持续创新为核心，专注于以功率控制电源、特种电源为代表的工业电源设备的研发制造。
恒运昌	以等离子体电源系统设计研发、智能制造为主。公司致力于发展半导体晶圆制造、半导体设备制造零部件的专业技术。
北方微电子	2020 年公司以 6397 万人民币收购北广科技射频应用技术相关资产，提高在射频电源细分领域的核心竞争力。

资料来源：各公司官网，浙商证券研究所

2.3 行业趋势：受制海外供应瓶颈，国产替代进程将提速

政策驱动国产替代加速：“半导体制造”最终用途限制措施于 2022 年 10 月 7 日生效。此次管制是美国近年来范围最大的管制举措，管控范围包括芯片、设备、零部件、人员等，限制行为主要集中于 4 个层面：

1) 高端芯片及超算：高端芯片及包含高端芯片的计算机禁止出口给中国；

2) 代工：为中国大陆进行代生产或研发受到管制；

3) 设备：对生产 16nm 及以下逻辑芯片、18nm 及以下 DRAM 芯片、128 层及以上 NAND 芯片的设备进行管制。

4) 人才：限制美国人为中国芯片制造业服务。同时修订了未核实名单（UVL）并新增 31 家中国企业。

复盘历史：半导体射频电源主要由美国 2 家头部公司垄断（AE、MKS），为国产化率极低环节之一。且此前受制于半导体核心零部件替换意愿弱（射频电源对工艺直接影响）、且半导体设备对性价比不敏感等因素，国产替代诉求较弱。

展望未来：受中美贸易法案限制，半导体产业链自主可控意愿持续强化，国内零部件厂商迎来新的发展机遇。我们认为，行业受益于：**海外供应瓶颈+库存消耗周期因素+半导体资本开支提速的3重因素叠加，半导体射频电源国产替代进程有望进入加速期。预计半导体射频电源的国产替代趋势有望在未来1-2年内加速推进、实现全面国产替代。**

表7：针对“半导体制造”的管制新规

具体限制情形	1	2	3
产品范围	任何受 EAR 管辖的物项	任何受 EAR 管辖的物项 且属于 CCL 种规定的 B（测试、检测和生产设备组）， C（材料组），D（软件组）， E（技术组）组 规定的 ECCN 编码	任何受 EAR 管辖的物项
最终用途范围	且出口商、再出口商、境内转移方“知晓”该物项将被用于在中国境内的半导体制造“工厂”中“开发”或“生产”集成电路。		且出口商、再出口商、境内转移方“知晓”该物项将被用于在中国境内的半导体制造“工厂”中“开发”或“生产”集成电路。
	同时，制造的集成电路符合以下(A)-(C)的三项任何标准： (A) 使用非平面结构或“生产”技术节点为 16/14 纳米或以下的逻辑集成电路； (B) 具有 128 层或更多的 NOT-AND（NAND）存储器集成电路； (C) 动态随机存取存储器（DRAM）集成电路，使用半间距为 18 纳米或更小的“生产”技术节点	但不“知晓”制造的集成电路符合以下(A)-(C)的三项任何标准：	ECCN 编码为 3B001,3B002,3B090,3B611,3B991,3B992 (包括各向异性等离子干蚀刻设备、特定半导体制造设备)

资料来源：美国先进计算芯片和半导体制造物项出口管制新规全景解读-中伦律师事务所，浙商证券研究所（注：关于“知晓”，EAR 规定的含义为，知晓某一情形不仅包括正面知晓某一情形的存在，或极为肯定其将要发生，也包括意识到该情形的存在或未来发生具有极高可能性。这种意识可以从与某人有意忽略其所知晓的事实相关的证据中推断出，也可以从某人故意避开某些事实的行为中推断出）

3 产业链重点公司：MKS、AE、Comdel、DAIHEN、霍廷格（海外）；英杰电气、恒运昌、北方微电子（国内）

3.1 全球-半导体射频电源重点企业

3.1.1 美国 MKS Instruments：全球半导体射频电源龙头，下游覆盖半导体、电子封装、特殊工业 3 大领域

MKS Instruments 成立于 1961 年，是全球领先的射频电源及等离子体源供应商，旨在提供集前沿半导体制造、先进电子与特种工业三位一体的先进制造设备解决方案。近年来，MKS 在半导体领域的市场份额排名全球第一。

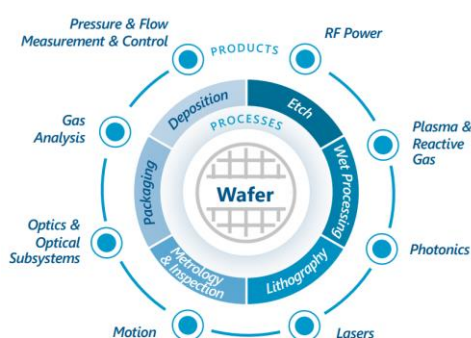
自 2001 年收购 Emerson Electric 的 ENI 部门后，MKS 在等离子体配套射频电源及监控仪器上迅速抢占市场份额；2021 年收购加拿大半导体光学传感器供应商 Photon Control，进一步提升半导体晶圆制造中刻蚀与薄膜沉积设备中用于温度控制的光学传感器地位；同在 2021 年，公司收购工艺化学品和先进电镀解决方案公司 Atotech，合并后公司可优化 PCB 互连，在先进电子市场为客户提供互补的解决方案。

公司有三大目标市场：

- ① 半导体领域：公司基本实现全流程覆盖，形成了以晶圆制造为核心的设备生态系统，服务于薄膜沉积、蚀刻、清洗、光刻、计量和检测、封装业务。主要产

- 品包括功率传递产品，例如微波，功率传递系统，射频匹配网络以及用于为蚀刻，剥离和沉积过程提供能量的计量产品；以及等离子体和反应气体产品。
- ② 电子及封装市场：公司提供激光器和基于激光器的系统，用于测量和分析的光子仪器以及用于测试和测量的生产设备。
 - ③ 特殊工业市场：MKS 掌握工业技术、生命科学、国防工业领域的专有技术。工业技术涵盖汽车功能性涂层、人造金刚石制造、激光二极管制造等；生命科学产品应用于生物成像、医疗器械消毒、医疗设备制造；国防工业则分为材料科学、物理化学、光学、电子材料和国防用监控等。

图15: MKS 半导体产业生态



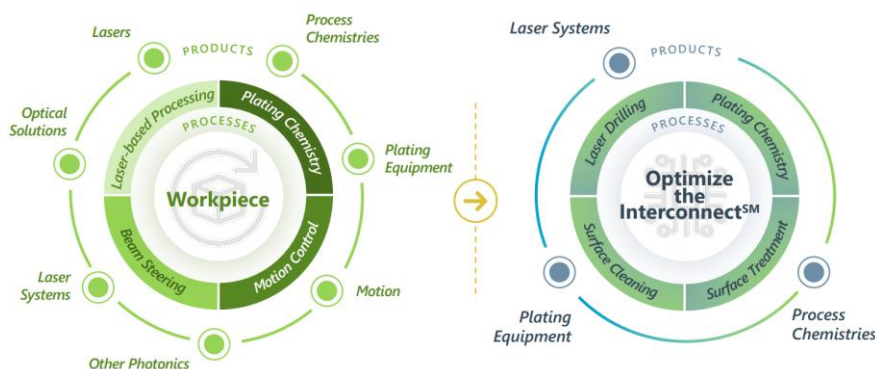
资料来源: MKS 官网, 浙商证券研究所

图16: MKS 是半导体射频电源产业的引领者



资料来源: MKS 官网, 浙商证券研究所整理

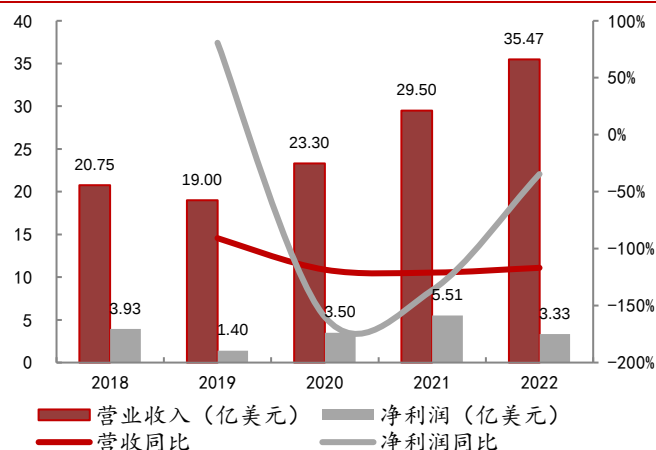
图17: MKS 电子及封装产业生态



资料来源: MKS 官网, 浙商证券研究所

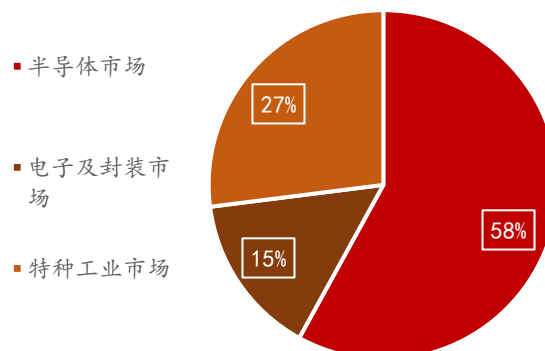
2022 年公司营业收入达 35.47 亿美元，过去三年营收 CAGR 为 15.04%，同比增长 20.24%；净利润 3.33 亿美元，同比下降 39.56%。

图18: MKS 过去三年营业收入 CAGR 为 15.04%



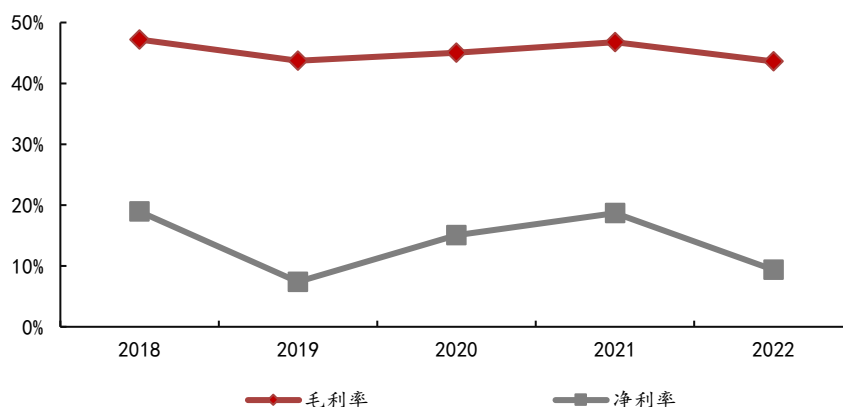
资料来源: MKS 年报, 浙商证券研究所

图19: 2022 年 MKS 净收入近 60%来自半导体市场



资料来源: MKS 年报, 浙商证券研究所

图20: 2018-2022 年 MKS 毛利率与净利率



资料来源: MKS 年报, 浙商证券研究所

MKS 在射频电源技术处于领先地位, 2MHz 射频等离子发生器功率最高达 13KW, 可实现高频、多点位脉冲应用以及快速阻抗调整, 并集成 VI 传感器实现功率精度的数字化控制; 另有 13.56MHz 的集成式单板高效率射频等离子发生器, 利用风冷封装技术实现低成本。测试中, 该产品直流至射频转换效率超过 85%。

区别于自动频率调谐 (AFT) 算法, **MKS 的专利 DFT (动态频率调谐) 算法在多频和脉冲 RF 功率传输系统中产生显著的性能增益**。可通过实时测算射频电源的功率失真, 实现射频电源的最佳瞬时阻抗调谐, 从而最大限度地减少反射功率并为等离子应用提供精确的设定功率, 可实现调谐时间低至 50 微秒, 快出传统调谐方法 10 倍以上, 是功率级别从 3KW 到 13KW 和频率范围从 2MHz 到 100MHz 的精选射频发生器的可选功能, 在刻蚀选择性、轮廓控制、薄膜厚度均匀性上表现出色。

表8: MKS 射频电源产品主要参数

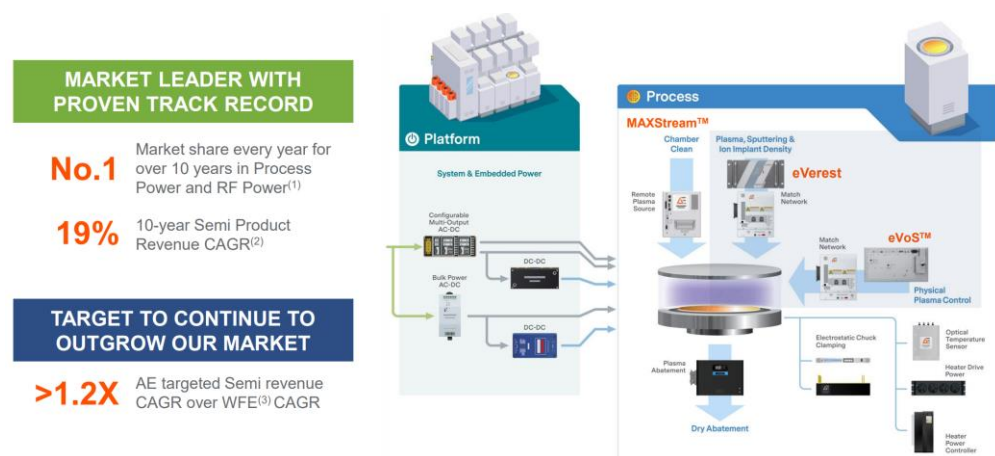
参数	KEINOST™ 2MHz plasma generator	elite™ 13.56 MHz RF Plasma Generators
频率	1.985 MHz	13.56 MHz
频率调谐范围	±10%	
输出功率	5kW, 11kW, 13kW	elite 750: 750 W; elite 600: 600 W; elite 300: 300 W
精度	±5W (1 ~ 500W), ±1% (501W ~ max)	elite 300: ±2 W (1 ~ 100 W), ±2% (101 W ~ 300 W) elite 600: ±2 W (1 ~ 100 W), ±2% (101 W ~ 600 W) elite 750: ±2 W (1 ~ 100 W), ±2% (101 ~ 750 W)
负载阻抗范围	无限制	200 - 750 W (取决于型号)
输入交流电源	200/208VAC ±10%, 3Φ, 50/60 Hz	110VAC - 253VAC, 单相, 50Hz / 60Hz
尺寸 (H x W x D) (英寸)	5 kW: 5.25 x 17.5 x 24.5 11 kW & 13 kW: 8.30 x 17.8 x 25.5	elite 750 & 600: 3.5 x 17 x 15 elite 300: 5.25 x 8.5 x 15

资料来源: MKS 官网, 浙商证券研究所

3.1.2 美国 Advanced Energy: 半导体射频电源龙二, 下游覆盖半导体、工业、医疗、数据中心、通讯等领域

AE 成立于 1981 年, 总部位于科罗拉多州, 公司研究和生产基于等离子状态下薄膜沉积和刻蚀工艺的开关电源。其等离子电源产品包括射频电源、射频匹配网络、射频仪器、直流电源系统、脉冲直流电源系统、低频交流电源系统以及用于反应气体应用的远程等离子源。

图21: AE 射频电源与工艺电源市占率排名世界第一

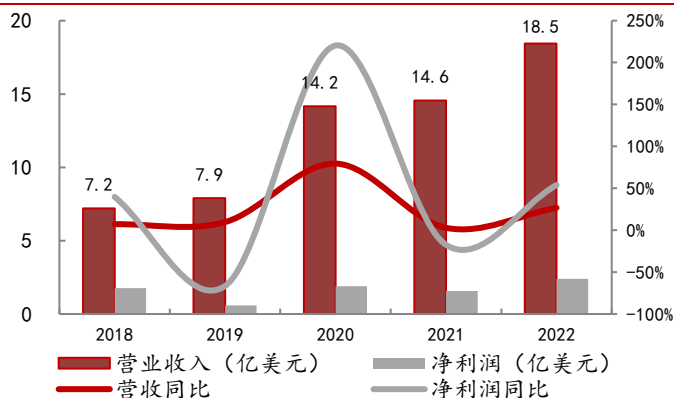


资料来源: AE 官网, 浙商证券研究所整理

丰富的产品矩阵及先进的解决方案, 使得 AE 公司半导体领域营业收入快速增长。2022 年营收达 9.31 亿美元, 同比增速达 31%, 净利润为 2.4 亿美元, 同比增长 53.4%。

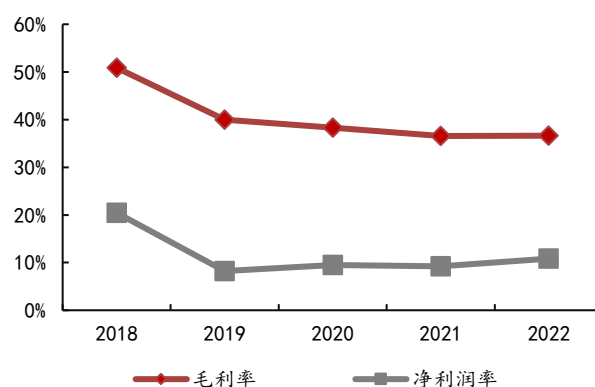
产品结构上, 2022 年 AE 半导体业务占比 50%, 是营收增长的重要动力; 工业与医疗/数据中心/通信与网络营收占比为 50%/23%/18%/9%。地区结构上, 近年北美 (含美国) / 亚洲 (除中国) / 欧洲/中国收入占比分别为 46%/31%/12%/10%。公司盈利能力稳步提升, 2022 年毛利率维持 36.6%, 净利润为 10.8%。

图22: 近三年 AE 营业收入 CAGR 达 9.24%



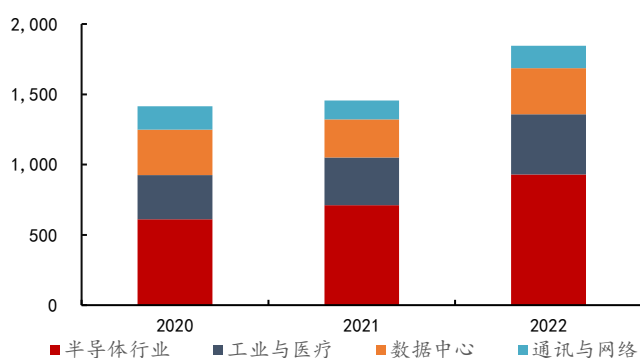
资料来源: AE 年报, 浙商证券研究所

图23: 2018-2022 年 AE 毛利率与净利率



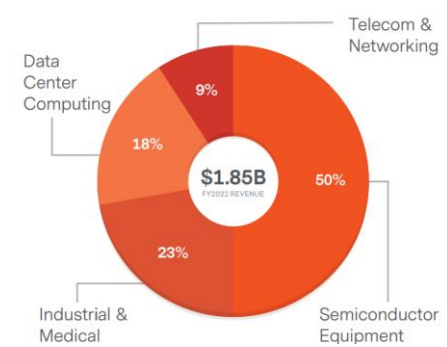
资料来源: AE 年报, 浙商证券研究所整理

图24: 2020-2022 年 AE 收入按产业拆分 (百万美元)



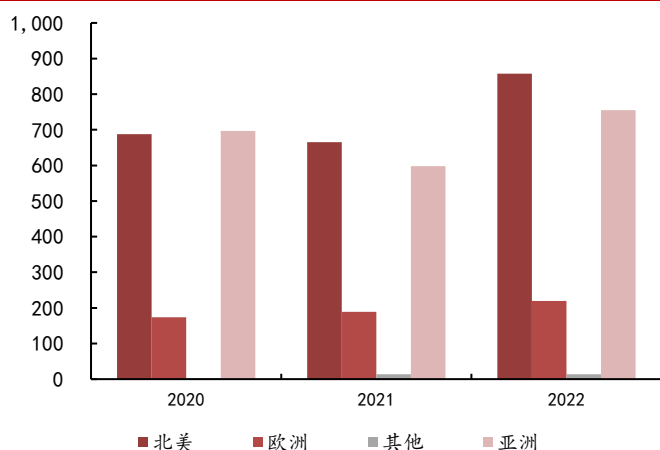
资料来源: AE 年报, 浙商证券研究所

图25: 2022 年 AE 在半导体行业收入占比 50%



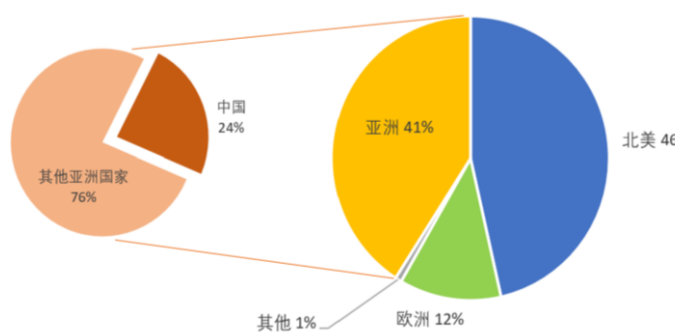
资料来源: 公司年报, 浙商证券研究所整理

图26: 2020-2022 年 AE 收入按地区拆分 (百万美元)



资料来源: AE 年报, 浙商证券研究所

图27: 2022 年 AE 在中国地区营收占比约 10%



资料来源: AE 年报, 浙商证券研究所

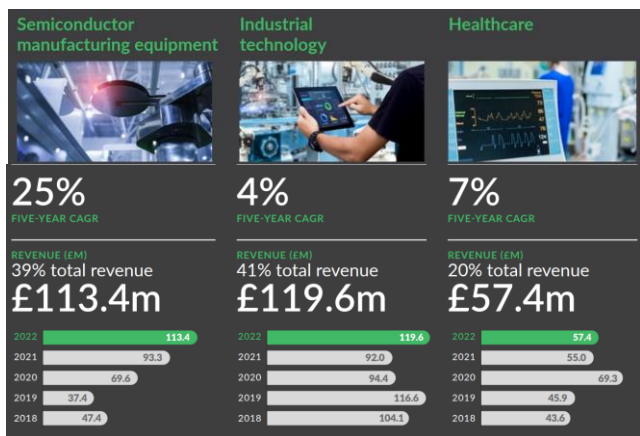
AE 在射频电源领域产品线丰富, 2022 年 10 月在射频电源领域最新推出的 ALTA 数控射频电源传输系统包含最高功率达 6KW 的 13.56MHz 的机架式电源以及 13.56MHz 的阻抗匹配网络, 该电源配备了频率调节、功率和抗阻实时测量及电弧管理与相位同步系统; 此外还有高功率射频电源 APEX, 可在低功率损耗及高达 10KW 的传输功率下运行, 两台主要产品都接入了 PowerInsight™ 数控系统, 接入抗阻匹配网络实现综合工况监测。

3.1.3 美国 Comdel: 并购 XP Power, 完善电源产品生态

XP Power 是一家总部位于英国的关键电源控制组件的开发商和制造商。2017 年 10 月, XP Power 正式宣布以 2300 万美元收购射频电源研发和生产企业 Comdel 的所有业务和资产。Comdel 公司位于马萨诸塞州, 截至 2016 年 12 月 31 日的财年其销售额达 1,650 万美元, 公司将成为 XP Power 的 RF 电源部门对现有 AC-DC 和 DC-DC 电源产品进行补充。同时, Comdel 和 XP Power 共享半导体设备领域客户, 通过获取客户的需求来帮助客户整合供应链。

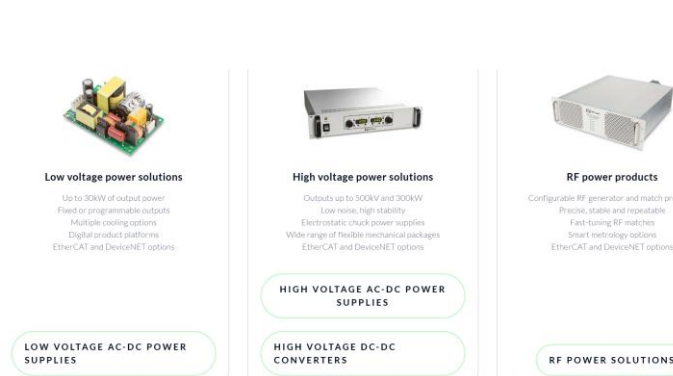
2022 年, XP Power 营业收入达 2.9 亿英镑, 同比增长 21%, 毛利率 41.5%。XP Power 有三大产业部门, 半导体制造设备部门增速最快, 过去 6 年 CAGR 达 25%, 2022 年营业收入达 1.13 亿英镑, 占比 39%。其中射频电源销售收入为 0.37 亿英镑; 工业技术和医疗保健营收占比分别为 41% 和 20%。其产品类别包括交流至直流电源、DC-DC 转换器、高压电源、射频 (RF) 电源系统、三相电源和 EMI 滤波器。该公司经营地区广泛分布于北美、英国、新加坡、德国、瑞士、法国。

图28: XP Power 在半导体业务 CAGR 约 25%



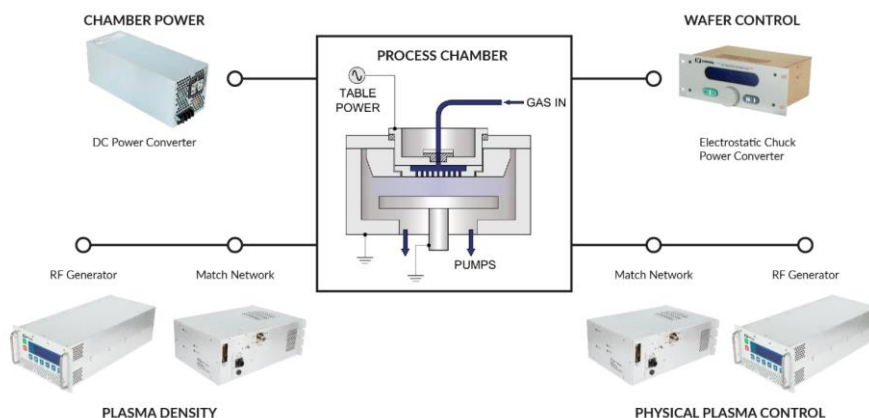
资料来源: XP Power 官网, 浙商证券研究所

图29: Comdel 补充射频电源产品



资料来源: XP Power 官网, 浙商证券研究所

图30: XP Power 半导体领域产品



资料来源: XP Power 官网, 浙商证券研究所

表9: Comdel 射频电源产品主要参数

参数	CDX Series	CH Series	CB600A Series	CLB3000 Series
输出功率	≤ 1500W	50W~1500W	≤ 600W	2000W~3000W
频率	400kHz, 2MHz, 13.56MHz, 27.12MHz, 40.68MHz, 60MHz (双频)		400kHz~60MHz	400kHz - 2MHz
精度	Max {±2W, ±1.0%} (实际输出功率为 150W~1500W)		Max {±2W, ±1.0%} (实际输出功率为 60W~600W)	Max {±3W, ±2.0%} (实际输出功率 300W~3000W)
频率稳定性			±0.005%	
电源稳定性		±1.0% (10%~100% 输出功率), 1 小时 ±3.0% (10%~100% 输出功率), 3 年		
最小调谐时间			200ms	
阻抗匹配			50Ω	
尺寸	19"W x 5.25"H x 18"D	8.5"W x 5.25"H x 18"D	8.5"W x 5.25"H x 18.5"D	17" W x 5.25" H x 16" D
重量	≤ 18 kg	9.6kg	9.1kg	29kg
冷却方式	水冷	水冷	风冷	水冷

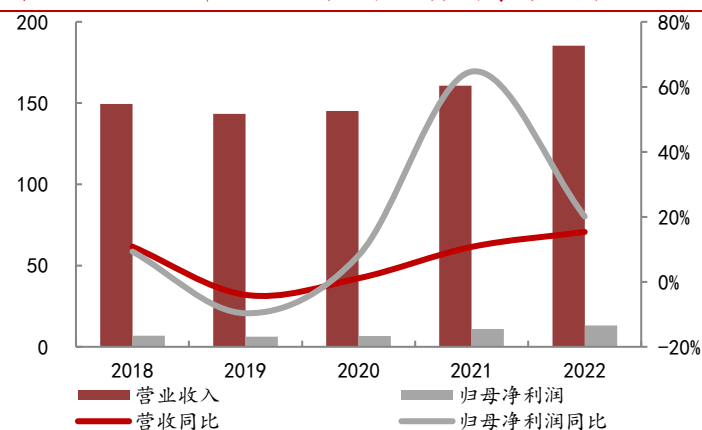
资料来源: XP Power 官网, 浙商证券研究所

3.1.4 日本 DAIHEN: 焊接机器人龙头, 延伸布局等离子射频电源领域

DAIHEN 成立于 1919 年, 是一家日本电气基础设施公司, 在焊接机器人领域占据了全球第一的份额, 同时在变压器和焊接机领域占据日本份额首位。

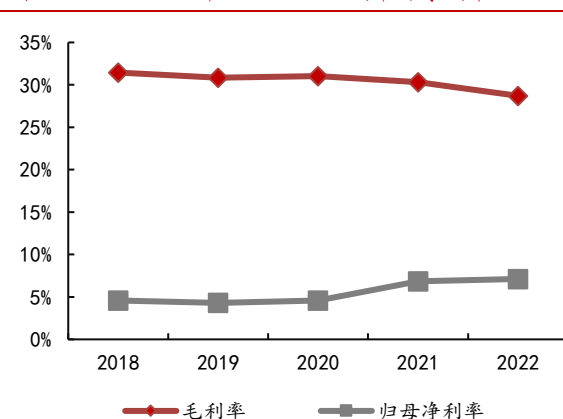
2022 年公司营业收入达 1853 亿日元, 同比增长 15.36%, 归母净利润为 131.9 亿日元, 同比提高 15.36%。近三年毛利率为 31.04%/30.31%/28.71%, 净利率分别为 4.60%/6.84%/7.12%。

图31: 2018-2022 年 DAIHEN 营业收入与归母净利润 (十亿日元)



资料来源: DAIHEN 年报, 浙商证券研究所

图32: 2018-2022 年 DAIHEN 毛利率与净利率



资料来源: DAIHEN 年报, 浙商证券研究所

公司分为三大部门:

- ① 半导体及平板显示器相关业务: 2022 年营业收入 590 亿日元, 占比公司总营收 32%, 主要生产等离子射频电源、清洁搬运机器人等;
- ② 电力产品业务: 2022 年营收 754 亿日元, 占比公司总营收 41%, 产品包括变压器, 电源配电设备、开关、控制和电信设备、分散电力设备、充电系统等;

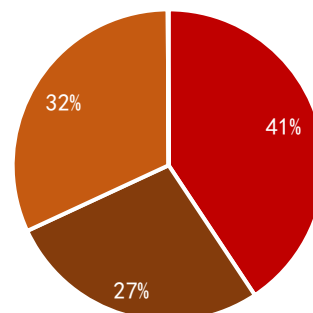
- ③ **焊接及机电业务**：2022 年部门销售额达 508 亿日元，占比公司总营收 27%。
产品包括焊机、等离子切割机、工业机器人。

图33：DAIHEN 射频电源技术构成



图34：2022 年公司半导体及平板显示器相关业务（含射频电源）
营收占比 32%

- 电力产品业务
- 焊接及机电业务
- 半导体及平板显示器相关业务
- 其他



资料来源：DAIHEN 官网，浙商证券研究所

资料来源：DAIHE 年报，浙商证券研究所

表10：DAIHEN 射频电源产品主要参数

参数	RF Generator: RGA-50 Automatic Matching Unit: RMN-50	RF Generator: AGA-50 Automatic Matching Unit: AMN-50
频率	13.56MHz	60 MHz
输出功率	5kW	5kW
脉冲频率	1Hz~100KHz	1Hz~50KHz
精度	1%以内（电力比）	1%以内（电力比）
整合速度	3 秒以内	3 秒以内
尺寸（W×D×H）（mm）	RGA-50（420×440×133） RMN-50（410×388×174）	AGA-50（430×600×225） AMN-50（500×640×230）

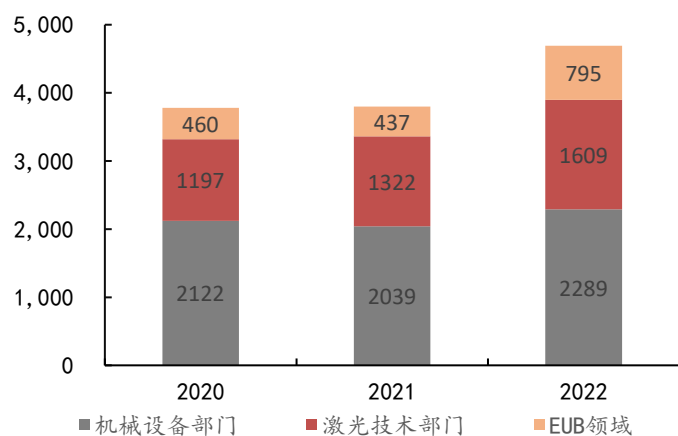
资料来源：DAIHEN 官网，浙商证券研究所

3.1.5 德国 TRUMPF Hüttinger 霍廷格电子：光伏射频电源龙头，半导体射频电源加速布局

通快霍廷格是德国半导体通用设备制造与激光设备供应商，其被业务划分为 EUV 光刻机激光器条线；2D/3D 激光切割机、功率电子（含射频电源）、激光焊接设备在内的机械设备条线等。

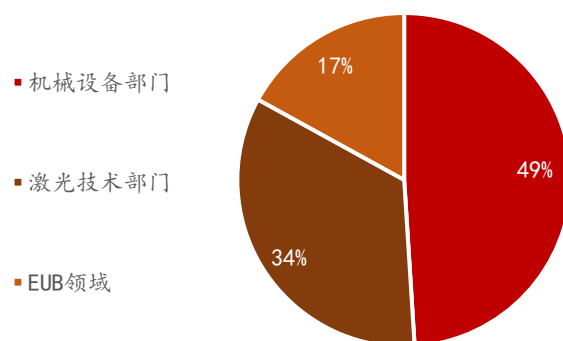
2022 年，通快销售额达 42.23 亿欧元，同比增幅 20.5%，公司半导体业务纵深布局的系统性优势逐渐凸显。

图35：2020-2022 年 TRUMPF 收入按部门拆分（百万欧元）



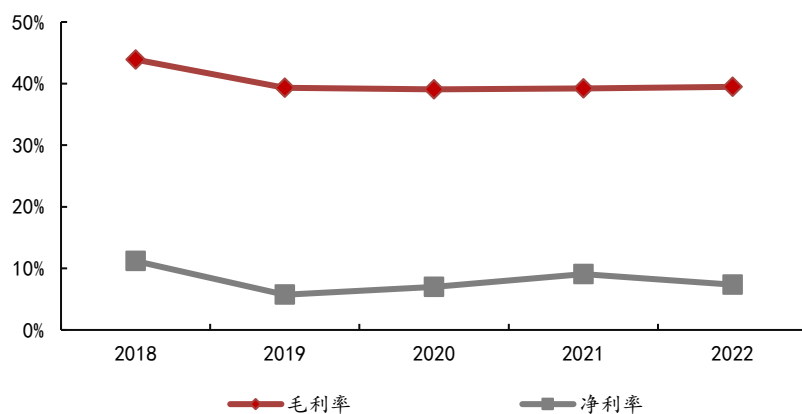
资料来源：TRUMPF 年报，浙商证券研究所

图36：2022 年激光技术部门营收占比 34%



资料来源：TRUMPF 年报，浙商证券研究所

图37：2018-2022 年 TRUMPF 毛利率与净利率



资料来源：TRUMPF 年报，浙商证券研究所

3.2 国内-半导体射频电源重点企业

3.2.1 英杰电气：半导体射频电源订单加速突破、迈向泛半导体核心零部件龙头

公司成立于1996年，2020年创业板上市，为国内中高端工业电源龙头企业。基于对工业电源底层技术的理解，公司横向延伸、下游覆盖光伏（硅料、硅片、电池片）、泛半导体（半导体、蓝宝石、碳化硅）等多个领域。同时，公司向新能源车充电桩设备布局，打开公司新增长点。

1) **硅料电源**：2023年迎硅料大批投产，公司市占率超70%、充分受益。

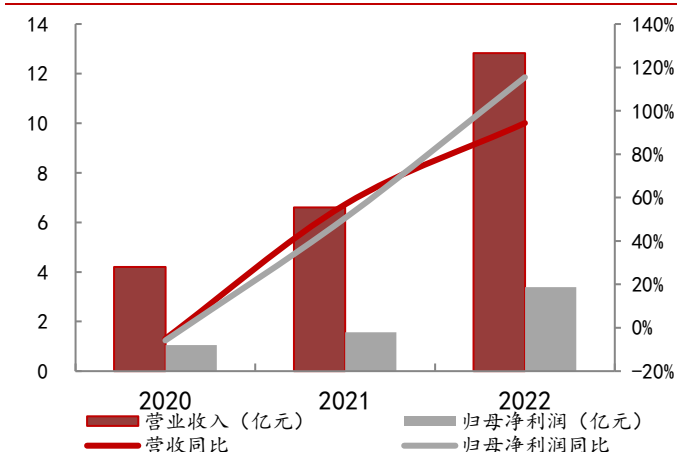
2) **硅片电源**：预计未来扩产景气维持稳态。公司市占率75-80%，绑定核心设备厂+硅片厂。

3) **电池电源**：迎HJT、TOPCon新技术扩产，公司布局PECVD、PVD、扩散等环节电源，为国产替代领军者，有望实现批量供应。

4) **半导体电源**：受益中国半导体设备进口替代加速，核心零部件将同步受益。公司为半导体设备电源国产替代领军者，与头部半导体设备企业深度合作、国产替代进行中。

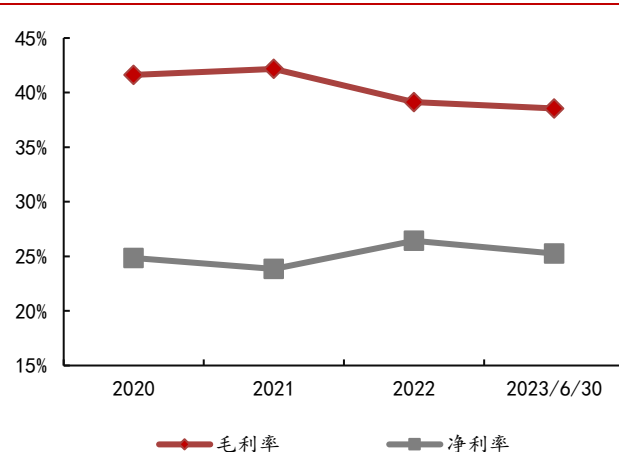
5) **充电桩**：公司海内外市场开拓顺利，定增加码41.2万台/年充电桩扩产。

图38：2020-2022 英杰电气营业收入及归母净利润（亿元）



资料来源：英杰电气年报，浙商证券研究所

图39：2020-2023H1 英杰电气毛利率与净利率



资料来源：英杰电气年报，浙商证券研究所

表11：英杰电气覆盖行业

行业	主要产品	主要客户
光伏行业	TPM3系列功率控制器、TPM5系列功率控制器、RLS系列射频电源、RHH系列射频电源、RMA系列匹配器、MSD系列溅射电源、DD系列IGBT直流电源、谐波治理、KRQ30系列交流电机软起动器	晶盛机电、天通股份、连城数控、高景太阳能、晶澳太阳能、中环股份、隆基绿能、双良集团、东方希望、永祥股份、中硅高科、特变电工、ReneSola、亚洲硅业、中国国电、京运通、协鑫硅业、中电科等
蓝宝石行业	AS系列SCR交流电源、DS系列SCR交流电源、DD系列IGBT直流电源、感应电源、PD系列可编程直流电源	宁夏晶环、奥瑞德光电、天通吉成、晶科光电、蓝思科技、元亮科技、晶升能源、中微公司等
钢铁冶金	KTY系列单相功率控制器、KTY系列三相功率控制器、AS系列SCR交流电源、DS系列SCR交流电源、DD系列IGBT直流电源、感应电源、成套控制系统	宝钢钢铁、首钢、柳钢、沙钢、鞍钢、河北钢铁、德龙钢铁、安阳钢铁、泰山钢铁、敬业集团、西门子、SMS Group、ABB、普瑞特、宏旺集团、甬金股份等

玻璃玻纤行业	ST 系列单相功率控制器、ST 系列三相功率控制器、TPH 系列单相功率控制器、TPH 系列三相功率控制器、KTY 系列单相功率控制器、KTY 系列三相功率控制器、成套控制系统	南玻、旗滨集团、山东玻纤、Fives Stein、迎新玻璃、长海股份、中玻控股、巨石集团、泰山玻纤、台玻集团、光远新材、彩虹集团、信义玻璃、Saint Gobain、中材科技、CDGM 等
特种电源行业	PDA 风冷可编程电源、HV 系列高压直流电源模块、VD 系列高压直流电源、Modulator PS2000 系列固态调制器、微波电源	宝钛集团、东方电气、中国二重、上海电气、中微公司
工业电炉	ST 系列单相功率控制器、ST 系列三相功率控制器、TPH 系列单相功率控制器、TPH 系列三相功率控制器、成套控制系统	宝钛集团、东方电气、中国二重、Fives Stein、攀钢集团、森松国际等

资料来源：英杰电气官网，浙商证券研究所整理

目前，公司半导体设备端的射频电源、光伏电池片设备端的溅射电源，都已有批量订单，正呈现逐渐增量的趋势。

未来核心增长点：半导体射频电源订单高增、国产替代加速。

据公司投资者关系活动记录表

- (1) 2023 年 4 月份——半导体射频电源订单约 200-300 万；
- (2) 2023 年 9 月 30 日——半导体射频电源订单约 2500 多万，相比 4 月提升 8~12 倍；
- (3) 2023 年 10 月 27 日——半导体射频电源订单近 5000 万元，相比 9 月 30 日提升 2 倍
- (4) 2023 年 11 月 29 日——半导体射频电源订单突破 9000 万元，相比 9 月 30 日提升 3-4 倍。
- (5) 未来——半导体射频电源市场空间远大于光伏、公司成长空间大。

表12：英杰电器特种电源产品矩阵

产品类别	产品名称	主要特点及用途
可编程电源	PDE 水冷可编程电源	PDE 系列产品是一款高精度、高稳定度的水冷型直流电源，最大输出功率达 40kW，采用标准机箱设计。产品广泛应用于半导体制备、激光器、加速器、实验室等行业领域。
	PDA 风冷可编程电源	PDA 系列产品是一款高精度、高稳定度的风冷型直流电源，最大输出功率达 15kW，采用标准机箱设计。产品广泛应用于半导体制备、激光器、加速器、实验室等行业领域。
射频/溅射电源	RMA 系列匹配器	可适配于 RLS 系列射频电源使用，应用于半导体、泛半导体等行业。
	RHH 系列射频电源	产品分多个功率等级，多个频率等级，满足半导体、泛半导体行业需要。
	RLS 系列射频电源	产品采用目前稳定可靠的功率放大器和公司最核心的直流控制系统，从而使产品具有非常稳定的性能，产品可靠性高。主要应用于光伏产业、平板显示器行业、半导体行业、化工业、实验室、科研、制造业等。
	MSD 系列溅射电源	产品采用公司最核心的直流控制系统，结合优异的弧光管理方案，应用于各种溅射工艺需要。
感应电源	/	产品稳定、精度高，可在各个情况下安全运行，广泛应用于金属热处理、淬火、退火、透热、熔炼、焊接、半导体材料炼制、晶体生长、塑料热合、光纤、烘烤和提纯等行业领域。
高压电源	HV 系列高压直流电源模块	HV 系列产品是针对半导体行业研发的小型化高压电源，可应用于离子注入、X 射线分析、电子束系统、实验室等。
	VD 系列高压直流电源	可应用于电子束熔炼、静电杀菌、高压测试、微波加热杀菌等行业领域。
固态调制器	Modulator PS1000 系列固态调制器	采用全固态开关的高压脉冲电源，用于驱动脉冲磁控管，可应用于医学、无损检测、安检加速器等领域。

Modulator PS2000 系列 采用全固态开关的高压脉冲电源，用于驱动脉冲调制管，可应用于无损检测、固态调制器 辐照加速器等领域。

资料来源：英杰电气官网，浙商证券研究所整理

3.2.2 恒运昌：半导体射频电源领军者，在拓荆 PECVD 设备已实现批量供货

深圳市恒运昌真空技术有限公司（CSL）成立于 2013 年，以等离子体电源系统设计研发、智能制造为主，在半导体、光伏新能源、平板显示、工业镀膜等领域的重大装备国产化提供核心零部件解决方案及技术进出口于一体的专精特新小巨人及国家级高新技术企业，为薄膜沉积、刻蚀等设备核心零部件解决方案国产化提供商。公司致力于发展半导体晶圆制造、半导体设备制造零部件的专业技术。

2019 年底，恒运昌和沈阳拓荆科技有限公司正式签署了战略合作备忘录。恒运昌的部分射频电源产品成功通过了国内最大半导体 PECVD 薄膜装备公司沈阳拓荆科技有限公司的验证。2020 年第二季度实现批量供货，部分产品填补了国内空白。

继沈阳拓荆科技之后，国内多家知名的半导体设备制造商也陆续和恒运昌开始洽谈合作，恒运昌营收得到了快速增长：自主产品产值自 2018 年 800 万元跃升至 2019 年 2700 万元，2020 年突破 5000 万元。

2022 年 6 月 17 日，拓荆科技以自有资金人民币 2000 万元向恒运昌增资并参股恒运昌。拓荆科技在第一届董事会第十一次会议上审议通过了《关于对外投资并参股深圳市恒运昌真空技术有限公司的议案》，增资后恒运昌总股本的 3.51%。

表13：恒运昌射频电源及匹配器产品参数

射频电源	13.56MHz 自动扫频射频电源	400KHz 自动扫频射频电源
最大输出功率	2.5KW	1KW
扫描频率调谐范围	12.882MHz-14.238MHz	350KHz-450KHz
扫描频率调谐时间	<50ms	
脉冲功能	10Hz-10KHz	10Hz-2KHz
占空比	5%-95%	
电源稳定性	0.5%，72hours	
冷却方式	风冷+水冷	
尺寸（W×L×H）（mm）	234×546×170	
重量（kg）	18	
匹配网络	13.56MHz/400KHz 双频匹配器	27.12MHz/400KHz 双频自动匹配器
最大输出电流	9Arms/30Arms	30Arms/7Arms
最大输出电压	叠加波形峰值电压不超过 2000V 峰值	
最大输出功率	3000W/1000W	3000W/1500W
反射功率	5W 或 1%	2W 或 1%（前向功率 50~3000W 时）/
（自动匹配状态下）	（前向功率 50~3000W 时）	2W 或 1%（前向功率 25~1500W 时）
阻抗匹配	50 Ω	
匹配时间	<1.5s	
射频输入隔离度	-40dB	
冷却方式	风冷	
尺寸（W×L×H）（mm）	250×308×420	280×335×425
重量（kg）	13	17.7

资料来源：真空技术与设备网公众号，浙商证券研究所整理

3.2.3 北方微电子：收购射频电源技术资产，与半导体设备业务相协同

2020 年，北方华创全资子公司北方华创微电子以 6397 万人民币收购北广科技射频应用技术相关资产，提高在射频电源细分领域的核心竞争力。北方华创微电子装备有限公司是国内先进的半导体装备研发制造企业（以下简称“北方华创微电子”），主要产品有刻蚀机、PVD、CVD、ALD、立式炉和清洗机等，产品广泛服务于集成电路、先进封装、第三代半导体器件、半导体照明、新能源光伏等领域。

北广科技前身是建于 1950 年的北京广播器材厂，公司坚持以射频技术和数字技术为核心，融合应用 5G、大数据、物联网、人工智能等新一代信息技术，协同打造全频段、多功率、收发一体的系列智能无线电装备，目前已是我国无线电领域规模较大的装备制造和系统解决方案提供商。功率源产品方面，北广科技已成为国内外科研机构固态功率源产品供应商，包括整机、功率放大器、功率分配器、功率合成器、定向耦合器、假负载、同轴馈管、弯头和波导等。国际用户主要有法国光源（SOLEIL）、欧洲光源（ESRF）、巴西光源（LNLS）、MSU、Brookhaven 等。

表14：北广电子主要产品

产品类型	产品名称
电视发射设备	UFH125W/250W/500W 数字电视发射机、UHF1kW/1.2kW/2kW/3kW DTV 发射机、5kW 数字电视发射机、DEV 型数字电视激励器、VHF/UHF100W-300W 电视发射机、VHF/UHF 3kW 电视发射机、VHF/UHF 5kW 电视发射机、VHF/UHF10kW-20kW 电视发射机（风冷或液冷）
中短波广播发射设备	50KW/100kW/150kW/500kW 短波发射机系列、DF-100A 型 100kW 短波发射机、TBH522 型 150kW PSM 短波发射机、DF500A 500kW PSM 数字调制短波发射机、PSM 短波发射机数字调制器、1kW/3kW/5kW 中波发射机、ZF-10A 10kW 数字调幅中波发射机、ZF-25A 25kW 数字调幅中波发射机、ZF-50A 50kW 数字调幅中波发射机、ZF-50A 50kW 数字调幅中波发射机、ZF-100A 100kW 数字调幅中波发射机、ZF-200A-200kW 数字调幅中波发射机、ZF-600A-600kW 数字调幅中波发射机
调频广播发射设备	10kW 调频立体声广播发射机、5kW 调频立体声广播发射机、3kW 调频立体声广播发射机、1kW 调频立体声广播发射机、500W 调频立体声广播发射机、300W 调频立体声广播发射机、100W 调频立体声广播发射机、30W 调频立体声广播激励器、2kW 全固态短波发射机、1kW 调频功率放大器
功率源产品	1.3GHz20kW 功率放大器、162.5MHz 20kW 固态功率源、325MHz10kW 固态发射机、1.3GHz5kW 功率放大器、324MHz25kW 固态放大器射频功率源、1.3GHz 3.8kW 固态功率源、162.5MHz80kW 固态功率源、工作点测量系统功率放大器、1-10MHz 5kW 高频固态功率放大器、73MHz15kW 固态功率源、40.68MHz/50kW 固态功率源、5.2kW/1.3GHz 固态功率源

资料来源：北广科技公司官网，浙商证券研究所整理

4 投资建议：重点推荐英杰电气，迈向半导体射频电源龙头

行业前景：射频电源作为半导体刻蚀机、CVD 设备的核心零部件，市场空间有望随着国内半导体设备的国产化率+射频电源国产化率的双提升持续打开。目前全球主要由美国厂商 MKS 和 AE 主导，国产替代迫在眉睫。

我们认为：海外供应瓶颈+库存消耗周期因素+半导体资本开支提速预期的 3 重因素叠加，半导体射频电源国产替代进程有望进入加速期。预计半导体射频电源的国产替代趋势有望在未来 1-2 年内加速推进、实现全面国产替代。

产业链重点推荐：英杰电气（半导体电源龙头）、北方华创（半导体设备国产替代领军者）、中微公司（刻蚀设备国产替代领军者）；拓荆科技（薄膜沉积设备龙头）；建议关注恒运昌（拓荆科技参股 3.2%）、北方微电子（北方华创子公司）等优质厂商。

表15：产业链重点公司盈利预测与估值

	日期：2023/12/17		EPS/元						PE			2022A		
	公司	代码	股价/元	总市值/亿元	2022A	2023E	2024E	2025E	2022A	2023E	2024E	2025E	PB	ROE (%)
核心零部件	英杰电气	300820	54.9	121	1.5	2.1	2.9	3.8	36	26	19	15	7.7	25.1
	新莱应材	300260	31.4	128	0.8	0.7	1.1	1.5	37	47	30	21	9.9	24.1
	汉钟精机	002158	21.7	116	1.2	1.5	1.9	2.2	18	14	11	10	4.5	22.7
	正帆科技	688596	39.9	112	0.9	1.4	2.0	2.7	43	28	20	15	4.2	12.1
	富创精密	688409	80.2	168	1.2	1.2	1.8	2.6	68	66	44	31	4.9	8.6
行业平均									40	36	25	18	6	19
半导体设备	北方华创	002371	225.0	1193	4.4	7.1	9.6	12.4	51	32	23	18	6.4	12.8
	中微公司	688012	153.5	951	1.9	2.5	3.0	3.8	81	60	51	40	4.0	8.0
	拓荆科技	688072	243.2	455	2.0	2.7	4.2	5.7	124	90	58	42	7.7	15.0
	盛美上海	688082	107.5	468	1.5	2.0	2.5	3.2	70	54	43	34	6.6	12.9
	芯源微	688037	141.4	195	1.5	2.1	3.0	4.2	97	68	48	33	7.1	13.3
	至纯科技	603690	25.7	99	0.7	1.1	1.5	1.9	35	23	17	13	2.9	6.6
行业平均									76	55	40	30	6	11

资料来源：，浙商证券研究所整理（各公司 eps 均来自一致预期）

5 风险提示

- **半导体行业出口管制风险。**如果封锁进一步升级或延伸至成熟制程领域，可能影响下游晶圆厂扩产，射频电源作为核心零部件、将受制于下游市场规模的萎缩。
- **国产射频电源研发验证不及预期。**目前半导体制造工艺设备核心零部件射频电源壁垒高，研发应用难度大。若国产射频电源研发验证不及预期，则会导致国产替代进展不及预期。
- **市场竞争加剧风险。**半导体领域射频电源技术壁垒较高，但不排除我国高端制造工业发展工作中经验积累的成功转化，带来市场参与者增多，缩减行业中各个企业市场份额和利润空间。

股票投资评级说明

以报告日后的6个月内，证券相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

1. 买入：相对于沪深300指数表现+20%以上；
2. 增持：相对于沪深300指数表现+10%~+20%；
3. 中性：相对于沪深300指数表现-10%~+10%之间波动；
4. 减持：相对于沪深300指数表现-10%以下。

行业的投资评级：

以报告日后的6个月内，行业指数相对于沪深300指数的涨跌幅为标准，定义如下：

1. 看好：行业指数相对于沪深300指数表现+10%以上；
2. 中性：行业指数相对于沪深300指数表现-10%~+10%以上；
3. 看淡：行业指数相对于沪深300指数表现-10%以下。

我们在此提醒您，不同证券研究机构采用不同的评级术语及评级标准。我们采用的是相对评级体系，表示投资的相对比重。

建议：投资者买入或者卖出证券的决定取决于个人的实际情况，比如当前的持仓结构以及其他需要考虑的因素。投资者不应仅仅依靠投资评级来推断结论。

法律声明及风险提示

本报告由浙商证券股份有限公司（已具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，经营许可证编号为：

Z39833000）制作。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但浙商证券股份有限公司及其关联机构（以下统称“本公司”）对这些信息的真实性、准确性及完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不发生任何变更。本公司没有将变更的信息和建议向报告所有接收者进行更新的义务。

本公司的客户作参考之用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告仅反映报告作者的出具日的观点和判断，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议，投资者应当对本报告中的信息和意见进行独立评估，并应同时考量各自的投资目的、财务状况和特定需求。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本公司的交易人员以及其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。本公司没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。本公司的资产管理公司、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。

本报告版权均归本公司所有，未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、发布、传播本报告的全部或部分内容。经授权刊载、转发本报告或者摘要的，应当注明本报告发布人和发布日期，并提示使用本报告的风险。未经授权或未按要求刊载、转发本报告的，应当承担相应的法律责任。本公司将保留向其追究法律责任的权利。

浙商证券研究所

上海总部地址：杨高南路729号陆家嘴世纪金融广场1号楼25层

北京地址：北京市东城区朝阳门北大街8号富华大厦E座4层

深圳地址：广东省深圳市福田区广电金融中心33层

上海总部邮政编码：200127

上海总部电话：(8621) 80108518

上海总部传真：(8621) 80106010

浙商证券研究所：<https://www.stocke.com.cn>