

行业研究

半导体制程设备核心零部件射频电源，国产验证与替代加速

——半导体零部件之射频电源行业动态报告

要点

射频电源为等离子体配套电源，广泛应用于半导体与泛半导体领域。射频电源主要由射频信号源、射频功率放大器及阻抗匹配器组成，属于可以产生固定频率正弦波、具有一定频率的高频交流电源，工作频率一般处于 2MHz 至 60MHz 之间。其本质是等离子体配套电源，在低压或常压下产生等离子体，并利用等离子体不同的化学性能，广泛应用于**半导体工艺设备（PVD、PECVD、刻蚀、离子注入、清洗）**、LED、光伏、医疗等领域。

以 ICP 刻蚀机台为例，ICP 放电系统通常使用两个射频功率源。第一个是 source RF，射频功率源驱动线圈，一般外置且由介质窗口与等离子体隔离开。射频电流流过线圈时会在附近产生一个衰减距离为几厘米的扰动波，其扰动可在等离子体中感应出射频电流，将电磁场能量传递给电子，即驱动线圈的射频功率控制等离子体密度。第二个是 bias RF，射频功率源加在基板上，产生的直流偏压可将离子吸引至晶圆上，作为偏压电源可以独立控制等离子体密度和离子轰击基板的能量。**两个 RF 电源搭配可以实现更高的蚀刻速率、更大的工艺窗口，提高良率水平。**

核心技术难点在于参数稳定性、控制精度与阻抗匹配。射频电源主要技术难点在于电源波形、频率和功率等参数稳定性的提升，以及在腔体中激发出的等离子体浓度、均匀度及相应的控制精度，稳定性与控制精度对于薄膜沉积厚度、密度、应力、速率，以及深孔刻蚀质量至关重要。此外，半导体制程微缩化发展，3D IC 时代芯片制造工艺设备的电源系统面临复杂工艺过程中功率输送的一致性与准确性问题，各工艺步骤间的功率水平、气体流量、压力变化不一，致使等离子体阻抗急剧变化，因此，射频电源系统的功率传输与阻抗匹配的创新必须与工艺创新保持同步。**阻抗匹配器将射频信号源与负载阻抗匹配，从而保证从射频源输出的功率均可被等离子体负载全部吸收，即得到最大的输出功率。**

射频电源为半导体设备核心零部件，全球市场规模达数十亿美元。据芯谋研究统计，2020 年我国晶圆厂商采购的射频发生器金额占所有采购零部件产品的 10%，仅次于石英件（11%）。据拓荆科技公告，2018 年至 2021 年一季度，射频系统及等离子体源占拓荆科技核心原材料采购额比重一直保持在 25% 以上，主要采购自美国，但国产化率有所提升，2018/2019/2020/2021Q1 美国占比分别为 100%/98.62%/90.95%/87.85%，中国占比分别为 0%/1.38%/8.68%/11.71%。据恒州诚思 YH，2022 年全球射频电源市场销售额预计达 26.43 亿美元，同比增长 20.04%，其预测 2028 年该规模将达到 50.62 亿美元，2022-2028 年 CAGR 达 11.44%。

全球射频电源市场供应主要集中于美、日、德等国外厂商，国产化率低。半导体射频电源主要由美、日、德企业垄断，头部厂商主要为万机仪器 MKS、先进能源 AE、日本大阪变压器株式会社和 XP Power 等。据恒州诚思 YH 数据，生产层面，2021 年全球前五大厂商射频电源市场份额占全球 80.47% 左右。受美日等国家先进制程设备与零部件封锁影响，国内半导体设备厂与零部件厂商加紧研发合作，推进成熟制程与先进制程领域的半导体零部件国产化替代。国内代表厂商包括英杰电气、恒运昌、北方华创、神州半导体、吉兆源、华鑫晶造、瀚强科技等。

英杰电气：已于 2017 年成功为中微公司配套 MOCVD 直流电源，刻蚀设备射频电源处于研发验证中。

恒运昌（未上市）：2016 年 1 月，恒运昌第一批 1kw 射频电源与自动匹配器产品上市，经过 3 年多的反复实验与客户现场验证，2019 年年底，恒运昌部分射频电源产品成功通过拓荆科技的验证，同期恒运昌与拓荆科技正式签署战略合作备忘录，2020 年 Q2 正式投入市场，实现批量供货。2022 年拓荆科技向恒运昌增资 2000 万并参股，以强化公司在射频电源的供应能力。

北方华创：2020 年，收购北广科技射频应用技术相关资产。

风险提示：国产射频电源研发验证不及预期，科技封锁加剧，市场竞争加剧。

机械行业

买入（维持）

作者

分析师：杨绍辉

执业证书编号：S0930522060001

021-52523860

yangshaohui1@ebcn.com

分析师：陈佳宁

执业证书编号：S0930512120001

021-52523851

chenjianing@ebcn.com

联系人：林映吟

021-52523418

linyinyin@ebcn.com

行业与沪深 300 指数对比图



资料来源：

目 录

1、 射频电源：半导体制程设备核心零部件	5
1.1、 射频电源：功率放大器为核心模块，可产生高频交流变化电磁波	5
1.2、 射频电源：等离子体化学性质存在差异，可用于多种晶圆制造工艺	7
1.2.1、 射频电源在 PECVD 中的应用	8
1.2.2、 射频电源在等离子体刻蚀中的应用	9
1.2.3、 离子注入机关键构件离子源的可选零部件	11
1.2.4、 射频电源在等离子清洗设备中的应用	12
1.3、 射频电源技术壁垒较高，3D IC 对功率稳定一致要求更高	13
2、 射频电源以美日德进口为主	14
2.1、 全球射频电源市场规模持续扩大	14
2.2、 射频电源为半导体核心零部件	16
3、 国际厂商处领先地位	17
3.1、 MKS Instruments 万机仪器	17
3.2、 Advanced Energy 优仪半导体	20
3.3、 TRUMPF Hüttinger 通快霍廷格	22
4、 国产厂商紧步追赶	24
4.1、 英杰电气：高端射频电源验证加速	24
4.2、 恒运昌：PECVD 用射频电源已实现批量供货	26
4.3、 北方华创：收购北广科技射频应用技术相关资产	28
4.4、 神州半导体：半导体产线电源系统服务厂商	28
4.5、 吉兆源：专注射频电源与自动匹配器研制生产	29
4.6、 瀚强科技：A 轮融资获中芯聚源领投	29
4.7、 华鑫晶造：特种电源后起之秀	30
5、 风险分析	31

图目录

图 1：射频电源在泛半导体设备行业广泛应用.....	5
图 2：射频电源原理.....	6
图 3：射频电源功率转换过程.....	6
图 4：晶体管射频功率放大器发展历程.....	7
图 5：PECVD 内部结构.....	8
图 6：a 为各向同性化学刻蚀，b 为各向异性反应离子刻蚀.....	9
图 7：刻蚀设备的两个 RF 电源结构图.....	10
图 8：CCP 与 ICP 结构示意图.....	11
图 9：离子注入机结构.....	12
图 10：射频等离子清洗兼具物理清洗与化学清洗.....	13
图 11：稳定的射频系统在刻蚀中的重要性.....	14
图 12：多个 RF 电源作用于一个电极.....	14
图 13：全球射频电源市场规模.....	14
图 14：2020 年中国晶圆厂商零部件采购金额产品结构.....	16
图 15：射频系统及等离子体源在核心原材料中采购额占比超 1/4.....	16
图 16：MKS 公司的半导体晶圆产业链.....	17
图 17：MKS 半导体晶圆设备与材料产品矩阵.....	18
图 18：MKS 自动化平台在晶圆加工中的应用.....	18
图 19：MKS 射频电源产品工艺先进，传输效率高.....	18
图 20：2018-2022 年 MKS 营业收入（亿美元）.....	19
图 21：2018-2022 年 MKS 毛利率与净利率.....	19
图 22：MKS 收入构成（按产品，亿美元）.....	19
图 23：MKS 收入构成（按地区，亿美元）.....	19
图 24：AE 电源产品布局，射频电源处全球领先地位.....	20
图 25：AE 收入结构（按产品，百万美元）.....	20
图 26：AE 收入结构（按区域）.....	20
图 27：AE 毛利率与净利率水平.....	21
图 28：AE 电源产品具体应用领域.....	21
图 29：AE 电源产品在半导体制造中的全制造流程.....	21
图 30：AE 射频电源产品一览.....	22
图 31：通快霍廷格等离子体电源领域产线细分.....	23
图 32：通快 2020-2022 财年收入增长情况（亿欧元）.....	23
图 33：2015-2022 年英杰电气营业收入、归母净利润及增速.....	25
图 34：2015-2022 年英杰电气毛利率及净利率（%）.....	25
图 35：2017-2022 年英杰电气光伏及半导体行业销售收入及增速.....	26
图 36：恒运昌代理的主要产品.....	27
图 37：吉兆源产品体系.....	29
图 38：华鑫晶造射频电源产品.....	31

表目录

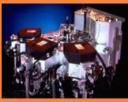
表 1：等离子体源的频率范围	7
表 2：电子管与晶体管射频电源性能比较	7
表 3：电子特气可运用于光刻、刻蚀、成膜、清洗、掺杂、沉积等环节	8
表 4：CCP 与 ICP 特点比较	10
表 5：CCP 与 ICP 等离子体差异	11
表 6：湿法清洗与干法清洗	12
表 7：全球半导体电源市场供应格局	15
表 8：各零部件服务的半导体设备类型及工业步骤	15
表 9：MKS 射频电源产品主要参数	19
表 10：AE 射频电源产品主要参数	22
表 11：通快霍廷格最先进工艺射频电源产品参数比较	23
表 12：射频电源企业对比	24
表 13：英杰电气特种电源主要产品用途及用途	24
表 14：英杰电气射频电源产品主要参数	25
表 15：英杰电气各业务主要客户	26
表 16：恒运昌自主研发产品	27
表 17：北广科技主要产品	28
表 18：神州半导体射频电源产品	29
表 19：瀚强科技 HQ-MF 系列中频电源产品优势	29
表 20：瀚强科技 HQ-MF 系列各型号产品参数性能	30

1、射频电源：半导体制程设备核心零部件

1.1、射频电源：功率放大器为核心模块，可产生高频交流变化电磁波

射频属于每秒变化大于 10000 次的高频交流变化电磁波。射频电源属于可以产生固定频率正弦波、具有一定频率的高频交流电源，工作频率一般处于 2MHz 至 60MHz 之间。它主要由射频信号源、射频功率放大器及阻抗匹配器组成，是等离子体配套电源，在低压或常压下产生等离子体。利用等离子体不同的化学性能，广泛应用于半导体工艺设备、LED 与太阳能光伏、科学实验中的等离子体发生、射频感应加热、医疗美容及常压等离子体消毒清洗等领域。

图 1：射频电源在泛半导体设备行业广泛应用

	PVD	PECVD	HDPCVD	ETCH
半导体				
	异质结等离子体镀膜设备		管式等离子体沉积炉	
光伏				
	磁控溅射镀膜设备		高端真空镀膜设备	
工业镀膜				

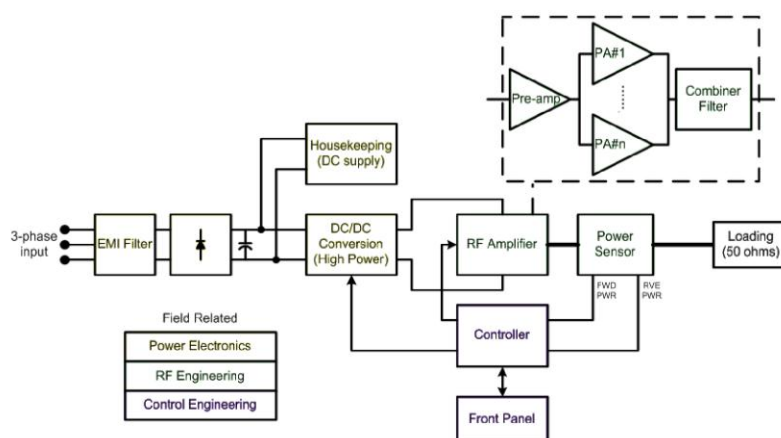
资料来源：国投创业微信公众号，光大证券研究所

射频电源主要由五部分组成，分别为直流供电电源模块、振荡电路模块、功率放大模块、射频功率检测模块、射频互锁控制模块。它们各自的功能如下：

- (1) 直流电源模块：为电源内部控制线路板供电，电压包括 24V、15V 等；
- (2) 振荡电路模块：晶体振荡部分，用以产生正弦波信号；
- (3) 功率放大模块（Power Amplifier）：由几个固态晶体管组成，主要目的在于将高频信号进行功率放大，从而使得输出功率达到输出要求；
- (4) 射频功率检测模块：主要为检测控制电路，通过高频测量电感检测入射功率、反射功率，同时把该信号提供给主控制板，实现自动 PID 控制；
- (5) 射频互锁控制模块：主要为开关信号模式，可提供安全互锁功能，比如射频输出线互锁、高压互锁、射频输出互锁、过温互锁等控制功能。

其中，射频功率放大器是射频电源内部实现信号驱动和功率放大的关键单元，被认为是射频电源的核心，也是制约射频电源发展的关键因素。

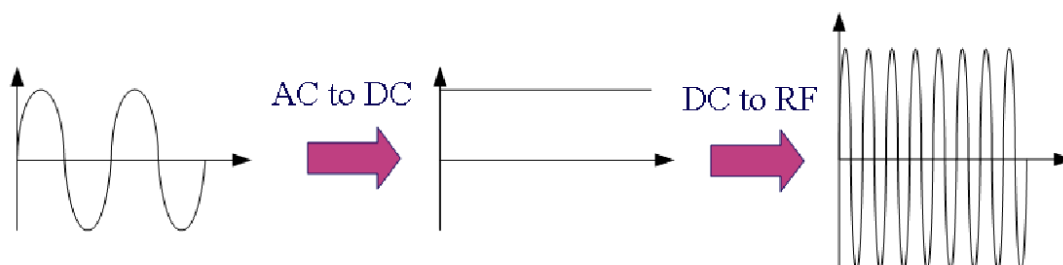
图 2：射频电源原理



资料来源：孙必武. 射频电源放大器研究[D]. 哈尔滨工业大学, 光大证券研究所整理

射频电源输出波形为高频正弦波，功率变化过程包括两步骤：（1）将低频交流电（50Hz/60Hz）转换为直流电；（2）再将直流电转换为高频交流电（频率大于 2MHz）。其中射频放大器在其中起到关键作用，它将射频小信号放大为射频大信号，其性能决定了电源系统整体性能。根据国家无线电频率划分规定，2MHz、13.56MHz、27.12MHz、40.68MHz 为工业制造、科学研究和医疗使用。

图 3：射频电源功率转换过程



资料来源：孙必武. 射频电源放大器研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2017, 光大证券研究所整理

阻抗匹配器将射频信号源与负载阻抗匹配，得到最大功率输出。等离子体放电为动态过程，阻抗的变化复杂，等离子体工艺过程需保持等离子体均匀稳定。在等离子体反应负载特性动态变化的情况下，实现高精度的自动阻抗匹配是保证等离子体均匀稳定的主要手段。自动阻抗匹配器，能够及时跟踪等离子体负载复杂的阻抗变化，保证负载和源之间阻抗匹配，从而保证从射频源输出的功率均可被等离子体负载全部吸收。

射频整个波段，电子均可即时响应射频场变化，但不同射频波段具有不同意义。低频端的射频放电，除重离子外，等离子体中的其他各种荷电粒子运动均可以跟上射频电磁场变化；高频端的射频放电，等离子体中只有电子可以响应射频电磁场变化，离子由于惯性大，只能响应时间平均的电场。

表 1：等离子体源的频率范围

类型	频率范围
直流或低频	$f < 1 \text{ MHz}$
射频	$1 \text{ MHz} < f < 500 \text{ MHz}$ ，常用 13.56MHz
微波	$0.5 \text{ GHz} < f < 10 \text{ GHz}$ ，常用 2.5GHz

资料来源：（法）夏伯特，（英）布雷斯韦特著；王友年，徐军，宋远红译，北京科学出版社，2015.10，《射频等离子体物理学》，光大证券研究所

晶体管射频电源相比于电子管具有绝对优势，已成为目前主流。射频电源根据采用的功率放大器类型不同，可分为电子管射频电源与晶体管射频电源（又称全固态射频电源）。1904 年电子管的出现从根本上解决了射频功率放大器的器件问题，开始被正式应用于各领域。但电子管本身存在诸多问题：①体积非常大，难以应用到某些精密领域；②电子管射频电源寿命短，不到晶体管射频电源的一半；③制造工艺非常复杂。随着晶体管的发展，射频电源中电子管被逐渐取代。同电子管相比，晶体管射频电源在体积、损耗、寿命和热量产生方面优势明显。

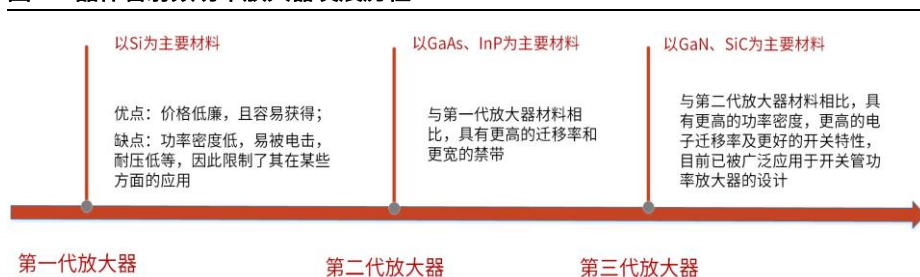
表 2：电子管与晶体管射频电源性能比较

指标	电子管射频电源	晶体管射频电源
稳定性	强	差
输出功率	大	小
寿命	寿命短，1000~2000 小时	寿命长，>5000 小时
转换效率	低	>80%
反射功率	能承受较大反射功率	对反射功率比较敏感
体积	体积较大，不利于小型化	体积小，利于小型化
热量	热量产生多	热量产生少

资料来源：马梅彦，《射频电源研究综述》，光大证券研究所整理

根据制作材料不同，晶体管射频功率放大器可分为以 Si 为主要材料的第一代放大器、以 GaAs、InP 为主要材料的第二代放大器，和以 GaN、SiC 为主要材料的第三代放大器。

图 4：晶体管射频功率放大器发展历程



资料来源：马梅彦，《射频电源研究综述》，光大证券研究所整理

1.2、 射频电源：等离子体化学性质存在差异，可用于多种晶圆制造工艺

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、均匀度和稳定度。等离子

体是由部分电子被剥夺后的原子及原子被电离后产生的正负电子组成的离子化气体状物质，是除去固、液、气外，物质存在的第四态。**等离子体是一种很好的导体，利用经过巧妙设计的磁场可以捕捉、移动和加速等离子体。**

简单而言，等离子体蚀刻和 PECVD 之间的区别仅在于等离子体化学性质。在蚀刻过程中，与基板的化学反应会产生挥发性分子并被抽走，而在 PECVD 中，等离子体自由基之间的反应会在它们接触的表面上留下固体副产物。

表 3：电子特气可运用于光刻、刻蚀、成膜、清洗、掺杂、沉积等环节

应用行业	环节	气体类型
集成电路	成膜	六氟化钨 (WF_6)、四氟化硅 (SiF_4)、乙炔 (C_2H_2)、丙烯 (C_3H_6)、氖气 (D_2)、乙烯 (C_2H_4)、硅烷 (SiH_4)、氧氮混合气 (Ar/O_2)、氖代氮 (ND_3) 等
	光刻	氟氮氖 ($\text{F}_2/\text{Kr}/\text{Ne}$)、氮氖 (Kr/Ne) 等混合气
	刻蚀	三氟化氮 (NF_3)、六氟乙烷 (C_2F_6)、八氟丙烷 (C_3F_8)、八氟环丁烷 (C_4F_8)、六氟丁二烯 (C_4F_6)、氟化氢 (HF)、氯化氢 (HCl)、氧氮 (O_2/He)、氯气 (Cl_2)、氟气 (F_2)、溴化氢 (HBr)、六氟化硫 (SF_6) 等
	清洗	
	离子注入	砷烷 (AsH_3)、磷烷 (PH_3)、四氟化锗 (GeF_4)、三氟化硼 (BF_3) 等
	其他	六氯乙硅烷 (Si_2Cl_6)、六氟化钨 (WCl_6)、四氯化钛 (TiCl_4)、四氯化锆 (HfCl_4)、四乙氧基硅 ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$) 等

资料来源：中船特气招股说明书，光大证券研究所整理

1.2.1、射频电源在 PECVD 中的应用

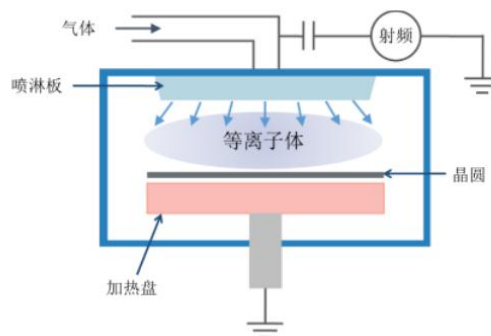
相比传统的 CVD 设备，PECVD 设备在相对较低的反应温度下形成高致密度、高性能薄膜，不破坏已有薄膜和已形成的底层电路，实现更快的薄膜沉积速度，是芯片制造薄膜沉积工艺中运用最广泛的设备种类。

该技术在低气压下，利用低温等离子体在工艺腔体的阴极上产生辉光放电，并利用辉光放电使晶圆升温到预定温度。然后通入适量的工艺气体，这些气体经一系列化学反应和等离子体反应，最终在晶圆表面形成固态薄膜。在反应过程中，**反应气体从进气口进入炉腔，逐渐扩散至晶圆表面，在射频电源激发的电场作用下分解成电子、离子和活性基团等。**

具体而言：PECVD 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。有时，反应气体从下部电极周边引入，从电极中部排出。

射频功率越大离子轰击能量越大，有利于淀积膜质量的改善。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，淀积速率则趋于稳定。

图 5：PECVD 内部结构



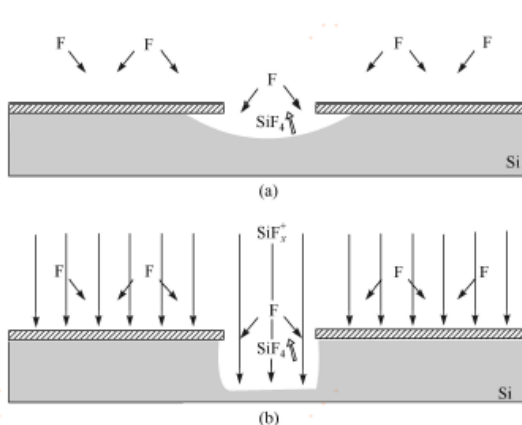
资料来源：拓荆科技招股说明书，光大证券研究所整理

1.2.2、射频电源在等离子体刻蚀中的应用

在等离子体刻蚀设备中，刻蚀气体（通常为一种或几种卤族化合物分子如 CF_4 ， SF_6 ， Cl_2 ， HBr ）通过气路系统通入反应腔室后，被射频电源产生的高频率电场电离产生辉光放电，完成从气体分子到离子的转变，形成等离子体，提高气体反应活性。气相中 F 原子属于一种有效的硅刻蚀剂，气相 F 原子与固相表面的 Si 原子发生反应生成挥发性的刻蚀反应产物，而后被真空系统抽走完成刻蚀。刻蚀主要分为干法刻蚀和湿法刻蚀，目前主流刻蚀工艺是干法刻蚀，等离子体刻蚀是利用干法刻蚀的设备。

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。没有离子轰击时刻蚀各向同性，即刻蚀速率在各方向是相同的，意味着无法适用于高深可比刻蚀。此外，在大部分刻蚀设备中，射频电源会和 DC 直流电源配合使用，以分别控制离子的密度和能量大小，轰击表面的离子流量密度增加，会增强各向异性刻蚀。由于电场的加速效应，离子通常以物理和化学两种形式对晶圆进行刻蚀。

图 6：a 为各向同性化学刻蚀，b 为各向异性反应离子刻蚀



资料来源：（法）夏伯特，（英）布雷韦特著；王友年，徐军，宋远红译，北京科学出版社，2015.10，《射频等离子体物理学》，光大证券研究所

等离子体刻蚀设备常用的射频系统配置组合为固定频率射频电源和可调的匹配器。在刻蚀工艺发生过程中，匹配器会自主调节内部的可调电容，使电源本身的输出阻抗和反应负载阻抗相互匹配，以达到射频电源的满功率输出。在理想的匹配状态下，所有射频信号均能传到负载位置，并减少其能量的反射功率。当负载阻抗和射频电源输出的阻抗没有处于匹配状态时，少部分输入信号会在负载端反射回射频源，射频电源的输出功率并没有被完全使用，降低了刻蚀反应发生的效率。

按照等离子体的生成方式，可以分为电容性耦合等离子体（CCP）和电感性耦合等离子体（ICP）。由于等离子体产生的方式不同，刻蚀机的结构、性能和特点也存在较大差异。CCP 和 ICP 两类技术并非相互取代，而是相互补充的关系。电容性等离子体刻蚀主要是以高能离子在较硬的介质材料上，刻蚀高深宽比的深孔、沟槽等微观结构；而电感性等离子体刻蚀主要是以较低的离子能量和极均匀的离子浓度刻蚀较软的或较薄的材料。

表 4: CCP 与 ICP 特点比较

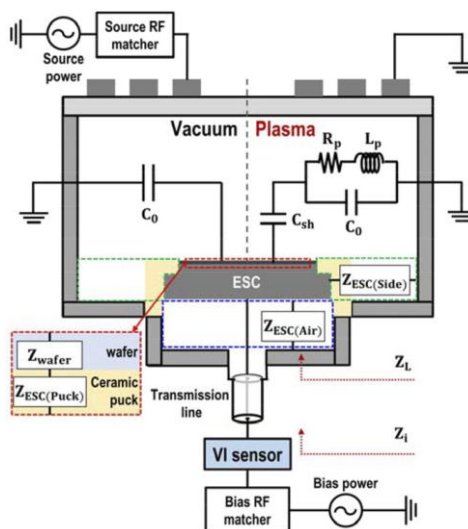
名称	特点	应用
CCP	等离子密度：中 等离子能量：高 可调节性：较差	介质刻蚀：氧化硅、氮化硅等 金属刻蚀：铝、钨等 形成线路
ICP	等离子密度：高 等离子能量：低 可调节性：可单独调节密度和能量	硅刻蚀：单晶硅、多晶硅、硅化物 等刻器件

资料来源：中科院半导体所公众号，光大证券研究所整理

CCP 等离子体发生器是由接地电极和引入的驱动电极作为耦合元件。真空腔室的平行电极通常由功率为 1kw，频率为 13.56MHz 的射频电源驱动，等离子体密度为 $10^{15}\sim 10^{16}\text{m}^{-3}$ 。需刻蚀的衬底置于射频驱动电极，接地电极离子轰击效应弱，加在驱动电极的射频功率大小决定轰击衬底离子流密度及离子能量，但存在缺乏对离子流量与离子能量独立控制的缺陷。双频驱动放电系统引入，增加的射频波形是两个可独立控制射频分量的叠加，意味着可用于部分特定台阶的刻蚀。

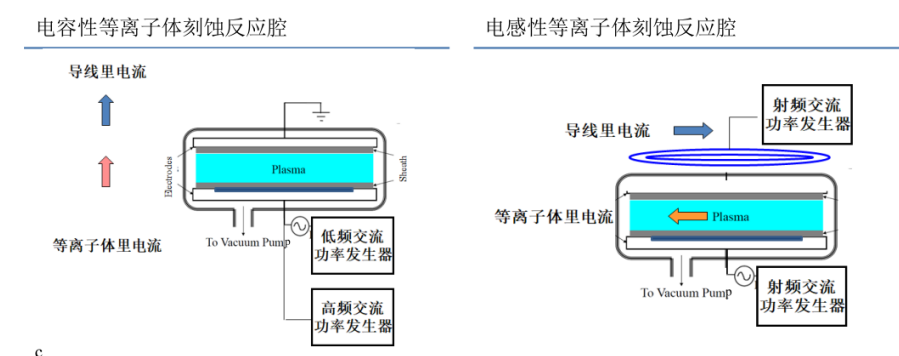
ICP 等离子体是射频电流经由匹配电路传输给感应线圈后产生电磁场激发气体而产生的。ICP 放电系统通常使用两个射频功率源，第一个是 source RF，射频功率源驱动线圈，一般外置且由介质窗口与等离子体隔离开。射频电流流过线圈时会在线圈附近的等离子体中产生一个衰减距离为几厘米的扰动波，其扰动可在等离子体中感应出射频电流，将电磁场能量传递给电子，即驱动线圈的射频功率控制等离子体密度。第二个是 bias RF，射频功率源加在基板上，产生的直流偏压可将离子吸引至晶圆上，作为偏压电源可以独立控制等离子体密度和离子轰击基板的能量。**两个 RF 电源搭配可以实现更高的蚀刻速率、更大的工艺窗口，提高良率水平。**

图 7: 刻蚀设备的两个 RF 电源结构图



资料来源: AIP Advances. 2021;11(2). doi:10.1063/6.0000883, 光大证券研究所

图 8: CCP 与 ICP 结构示意图



资料来源：中微公司年报，光大证券研究所整理

表 5: CCP 与 ICP 等离子体差异

	CCP	ICP
电场形成	电极表面形成电场	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	电子在静电场中加速产生等离子体； 高压、低电子温度； 晶圆与等离子体中存在鞘层	电子在诱导电场中加速产生等离子体； 低压，高电子温度；Skin depth 内生成 Plasma
应用	下部电极和 Plasma 之间强电压，离子能量高，用于 SiO ₂ 、Si ₃ N ₄ 等化学键能高的刻蚀	金属、掺杂硅刻蚀
优点	均一性好； 易于调节离子化能量； 可刻蚀硬介质材料； 各方异向刻蚀	电极与腔室分离，污染小； 可在低压状态获得高等离子体密度； 可以通过 RF 调节电子温度； 可独立控制等离子体能量与密度
缺点	电极位于腔体内部，污染多； 强力溅射容易造成衬底损伤； Plasma 密度低	Plasma 均一性差； 感应模式下无法在低等离子体密度下工作

资料来源：Valery Godyak, Workshop on Radio Frequency Discharges, 2011，中微公司公告，光大证券研究所整理

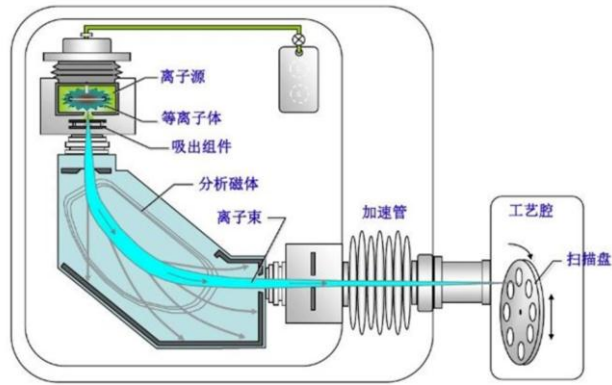
1.2.3、离子注入机关键构件离子源的可选零部件

离子注入是一种向硅衬底中引入可控制数量的杂质以改变其电学性能的工艺，最主要用途是掺杂半导体材料，可通过重复控制杂质浓度和深度，以满足每一次掺杂对杂质浓度和深度的特性要求。

离子注入机包括离子源、引出电极和离子分析器、加速管、扫描系统和工艺室。其中离子源是用来产生离子的装置。离子源的设计方法，包括磁分析器离子源、射频离子源、冷阴极源和微波离子源。因此射频电源是离子源可选用的零部件之一，RF 源在磁场中激活气体分子，能够在较低的等离子体温度下产生更高的离子束电流，并能延长离子源的寿命。

离子注入工艺在离子注入机内进行，并处于高真空环境。注入机包含离子源部分，可从源材料中产生带正电荷的杂质离子。离子被吸出后，质量分析仪将它们分开以形成需要掺杂离子的束流。离子束在电场中加速至高速，使离子有足够的动能注入到硅片的晶格结构中。束流扫描整个硅片，使硅片表面均匀掺杂。注入之后的退火过程将激活晶格结构中的杂质离子。

图 9：离子注入机结构



资料来源：Michael Quirk, Julian Serda 等,《半导体制造技术》，光大证券研究所整理

1.2.4、射频电源在等离子清洗设备中的应用

低温等离子体为重要的表面改性技术，将电浆物理、电浆化学及气固相界面反应等综合，可以有效去除材料表面有机污染物与氧化层，该方法属于干法清洗，优点是环境友好、低磨损，但成本高，控制精度要求高，只在少量特定工艺环节中采用。

表 6：湿法清洗与干法清洗

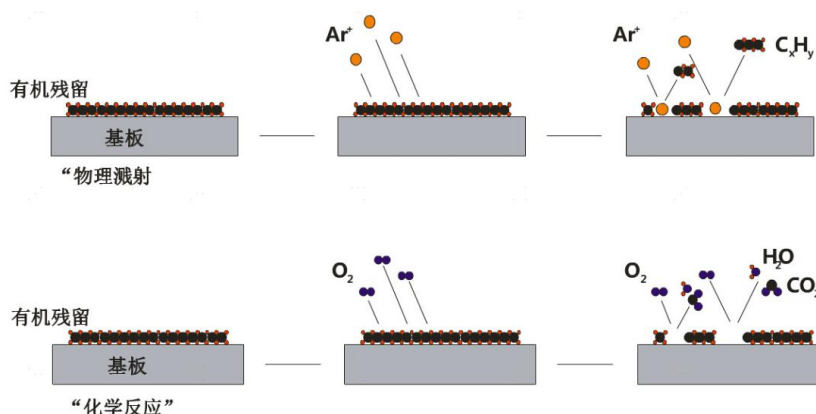
类别	清洗方法	清洗介质	工艺简介	应用特点
湿法清洗	溶液浸泡法	化学药液	主要用于槽式清洗设备，将待清洗晶圆放入溶液中浸泡不同的化学药液；产能高，同时可泡，通过溶液与晶圆表面及进行多片晶圆浸泡工艺；成本低，杂质的化学反应达到去除污染物的目的。	应用广泛，针对不同的杂质可选用不同的化学药液；产能高，同时可泡，通过溶液与晶圆表面及进行多片晶圆浸泡工艺；成本低，杂质的化学反应达到去除污染物的目的。
	机械刷洗法	去离子水	主要配置包括专用刷洗器，配合去离子水利用刷头与晶圆表面的摩擦力以达到去除颗粒的清洗方法。	成本低，工艺简单，对微米级的大颗粒去除效果好；清洗介质一般为水，应用受到局限；易对晶圆造成损伤。一般用于机械抛光后大颗粒的去除和背面颗粒的去除。
	二流体清洗	SC-1 溶液, 去离子水等	一种精细化的水气二流体雾化喷嘴，在喷嘴的两端分别通入液体介质和高纯氮气，使用高纯氮气为动力，辅助液体微雾化形成极微细的液体粒子被喷射至晶圆表面，从而达到去除颗粒的效果。	效率高，广泛用于辅助颗粒去除的清洗步骤中；对精细晶圆图形结构有损伤的风险，且对小尺寸颗粒去除能力不足。
	超声波清洗	化学溶剂加超声辅助	在 20-40kHz 超声波下清洗，内部产生空腔泡，泡消失时将表面杂质解吸。	能清除晶圆表面附着的大块污染和颗粒；易造成晶圆图形结构损伤。
	兆声波清洗	化学溶剂加兆声波辅助	与超声波清洗类似，但用 1-3MHz 工艺频率的兆声波。	对小颗粒去除效果优越，在高深宽比结构清洗中优势明显，精确控制空穴气泡后，兆声波
	批式旋转喷淋法	高压喷淋去离子水或清洗液	清洗腔室配置转盘，可一次装载至少两个晶圆盒，在旋转过程中通过液体喷嘴不断向圆片表面喷淋液体去除圆片表面杂质。	与传统的槽式清洗相比，化学药液的使用量更低；机台占地面积小；化学药液之间存在交叉污染风险，若单一晶圆产生碎片，整个清洗腔室内所有晶圆均有报废风险。
干法清洗	等离子清洗	氧气等离子体	在强电场作用下，使氧气产生等离子体，迅速使光刻胶气化成为可挥发性气体状态物质并被抽走。	工艺简单、操作方便、环境友好、表面干净无划伤；较难控制、造价较高。
	气相清洗	化学试剂的气相等效物	利用液体工艺中对应物质的汽相等效物与圆片表面的沾污物质相互作用。	化学品消耗少，清洗效率高；但不汽相等效物与圆片表面的沾污物质相互作用。

	束流清洗	高能束流状物质	利用高能束流状物质与圆片表面的沾污杂质发生相互作用而达到清除圆片表面杂质。	技术较新，清洗液消耗少、避免二次污染；较难控制、造价较高。
--	------	---------	---------------------------------------	-------------------------------

资料来源：盛美上海招股说明书，光大证券研究所整理

真空腔负压与射频高压交变电场协同实现清洗。射频等离子清洗设备工艺原理是利用真空腔体产生真空负压，在真空状态下，工艺气体压力越来越小，分子间距越来越大，分子间力越来越小。在 5~10Pa 气压范围内利用频率为 13.56MHZ、1000W 功率(功率范围)的射频电源产生的高压交变电场将 O_2 、 Ar_2 、 H_2 或 CF_4 等工艺气体的分子之间化学键打断，激荡成具有高活性或高能量的离子团，该等离子团动能高，可与有机污染物、微颗粒污染物或金属氧化层反应或碰撞形成易挥发性物质，然后通过真空泵产生的负压管道气体流将挥发性物质抽出，从而达到持续高精密清洁、活化器件表面的目的。

图 10：射频等离子清洗兼具物理清洗与化学清洗



资料来源：纳恩科技官方网站，光大证券研究所

等离子体去胶机属于等离子清洗的一种，只是去胶的操作对象是光刻胶。是通过氧原子与光刻胶在等离子体环境中发生反应，从而去除光刻胶。**原子氧通过微波或 RF 能量分解氧分子而产生**，也常常加入 N_2 或 H_2 来提高去胶性能并加强对残留聚合物的去除。氧原子可以很快与光刻胶反应生成挥发性的一氧化碳、二氧化碳和水等，并被真空系统抽走。

1.3、 射频电源技术壁垒较高，3D IC 对功率稳定一致要求更高

目前我国传统的国产射频电源主要应用于工业低端设备，尚无法满足半导体及泛半导体产业的批量应用要求，主要技术难点在于**电源波形、频率和功率等参数稳定性**的提升，以及在腔体中激发出的**等离子体浓度、均匀度及相应的控制精度**。

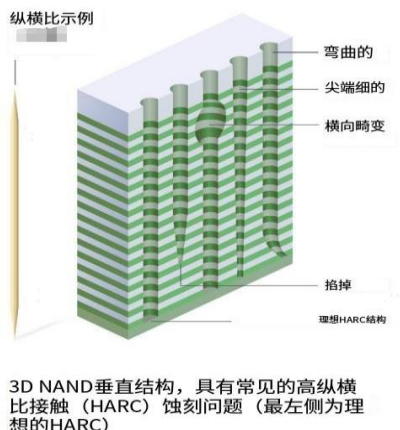
我国先进的等离子体设备使用的射频电源与国外同类电源仍然存在较明显的差距，主要体现在以下方面：

- (1) 目前我国的射频电源大多采用电子管或电子管、晶体管混合电路，体积较大，限制了射频电源的应用。同时，使用的晶体管大多为国外进口。
- (2) 目前我国仍使用阻抗手动匹配器，易受环境因素影响，而国外已开始使用阻抗自动匹配器。

(3) 我国射频电源种类单一。

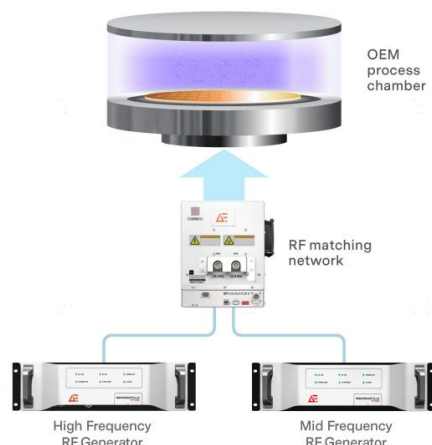
随着半导体制程微缩化发展, 3D IC 时代芯片制造工艺设备的电源系统面临复杂工艺过程中功率输送的一致性与准确性问题。射频电源频率、精确性、功率调节能力的选择对于薄膜沉积厚度、密度、应力、速率至关重要。多层堆叠的 3D NAND 深孔刻蚀需多频 RF、同步 RF 脉冲以及互补的匹配能力, 以更好控制等离子体功率以及电荷累积等表面效应。此外, 各工艺步骤间的功率水平、气体流量、压力变化不一, 致使等离子体阻抗急剧变化, 因此, 过程动力系统必须克服此影响, 功率传输与阻抗匹配的创新必须与工艺创新保持同步。

图 11: 稳定的射频系统在刻蚀中的重要性



资料来源: AE 官网, 光大证券研究所

图 12: 多个 RF 电源作用于一个电极



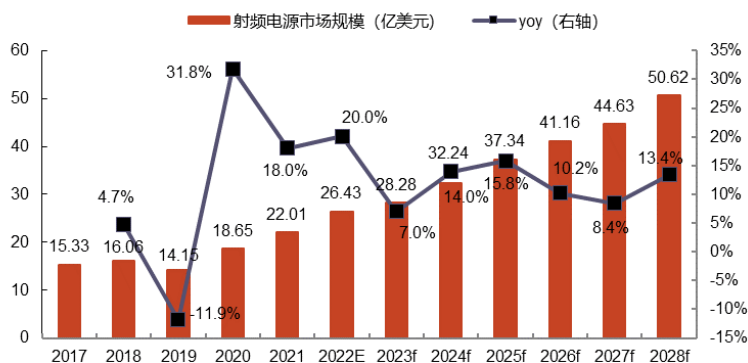
资料来源: AE 官网, 光大证券研究所

2、射频电源以美日德进口为主

2.1、全球射频电源市场规模持续扩大

国内外射频电源市场需求旺盛, 并预计未来数年内市场规模持续增长。据恒州诚思 YH 数据, 2022 年全球射频电源市场销售额预计达 26.43 亿美元, 同比增长 20.04%, 其预测 2028 年该规模将达到 50.62 亿美元, 2022-2028 年 CAGR 达 11.44%。

图 13: 全球射频电源市场规模



资料来源: 恒州诚思 YH 及其预测, 光大证券研究所整理

全球射频电源市场供应主要集中于美、日、德等国外厂商，国产化率低。在全球射频电源生产领域，基本由美国和日本地区厂商主导，头部厂商主要包括万机仪器 MKS、先进能源 AE、日本大阪变压器株式会社和 XP Power 等，据恒州诚思 YH 数据，生产层面上，2021 年全球前五大厂商的市场份额占有全球 80.47% 左右。近年来，国内厂商英杰电气、恒运昌等在射频电源产品供应方面有所突破，但国产化率依然较低，中芯聚源认为目前射频电源的国产化率尚不足 10%。

按区域看，2021 年中国占全球市场份额 15.78%，美国为 35.48%，预计 2022-2028 年中国市场 CAGR 为 10.33%，并在 2028 年规模达到 7.15 亿美元¹。

按产地看，北美为全球最大的射频电源生产区，2021 年占约 32.43% 的市场份额，日本占 24.17% 的市场份额²。

表 7：全球半导体电源市场供应格局

厂商	国家	中频	射频	高压	直流	微波
AEIS	美	☆	☆	☆	☆	
MKS	美		☆		☆	
COMDEL	美		☆		☆	
Huttinger	德	☆	☆		☆	
Kyosan	日		☆	☆	☆	
英杰电气	中	☆	☆	☆	☆	☆
恒运昌	中	☆	☆		☆	

资料来源：各公司公告，光大证券研究所整理

表 8：各零部件服务的半导体设备类型及工业步骤

零部件	主要服务的半导体设备类型及工艺步骤	国外企业	国内企业
O-Ring 密封圈	单晶炉、氧化炉、清洗机、等离子蚀刻设备、湿法蚀刻机、CVD、PVD、CMP	Dupont、Greene Tweed	深圳畅扬、沸点密封、苏州复芯
精密轴承	离子注入、PVD、RTP、WET	Fala、Kaydon	暂无
Valve 阀	CVD、光刻、离子注入、PVD、RTP、WET、CMP	Fujikin、VAT、MKS、Swagelok、Hamlet	晶盛机电、中科艾尔、靖江佳佳
硅/SiC 件(硅环、硅电极、硅部件)	等离子刻蚀设备		神工股份、北京亦盛
机械手臂	光刻、WET、TF、Etch、DIFF	Brooks、MKS、Yaskawa、Kawasaki、JEL、Rorze、Sankyo、RND、Kostek	沈阳新松机器人、上海广川、大族富创得
石英件(电容石英、电解石英)	刻蚀、炉管	Wonik、Ferrotec、Heraeus	凯德石英、上海强华、菲利华、宁波云德、太平洋石英
射频电源	离子注入、PVD、CVD、刻蚀	AE、MKS、Kyosan、Daihen	英杰电气、恒运昌、北方华创(旗下北广科技)、吉兆源、神州半导体、瀚强科技、华鑫晶造
陶瓷件	CVD、PVD、离子注入、刻蚀	Kyocera、CoorsTek	苏州珂玛、河南东微电子、上海卡贝尼
ESC 静电卡盘	等离子制蚀设备、深法到蚀设备、CVD、PVD、ALD	Shinko(新光电气)、TOTO、NGK	君原电子、新纳陶瓷、华卓精科、海拓创新、隐冠半导体
压力计	离子注入、WET	MKS、Inficon	上海振太
真空泵	WET、子注入、PVD	Alcatel、Edwards、荏原、Pfeiffer Vacuum(普发)、Kashiyama(坚山工业)、Brooks、Sumitomo、Varian、Leybold	汉钟精机、通嘉宏瑞、中科科仪、上海协微、沈阳科仪、北京京仪
气体流量计	CVD、离子注入、RTP	Horiba、Brooks、MKS、Swagelok、Hamlet	北方华创、万业企业、七星流量计

¹ 数据来自恒州诚思 YH² 数据来自恒州诚思 YH

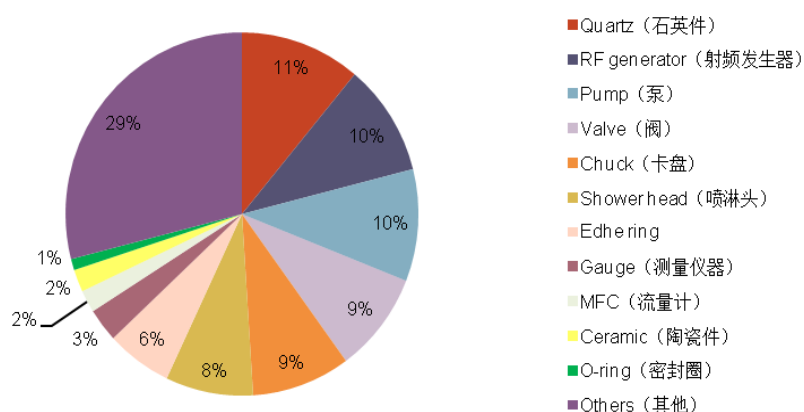
零部件	主要服务的半导体设备类型及工艺步骤	国外企业	国内企业
喷淋头	CVD、PVD	AMSEA、UMS	江丰电子、靖江先锋、成都超纯

资料来源：各公司官网，中国集成电路制造年会公开演示资料，光大证券研究所

2.2、 射频电源为半导体核心零部件

射频电源在晶圆厂零部件采购中占比较高。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，部分晶圆厂有直接备存射频电源的需求。据芯谋研究统计，2020 年我国晶圆厂商采购的射频发生器金额占所有采购零部件产品的 10%，仅次于石英件（11%）。

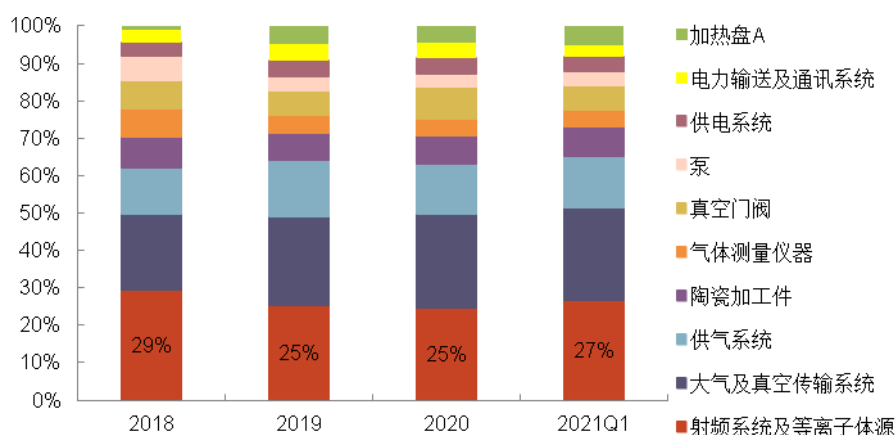
图 14：2020 年中国晶圆厂商零部件采购金额产品结构



资料来源：芯谋研究，光大证券研究所整理

射频系统是半导体制造工艺设备中价值量占比相对较高的核心零部件。据拓荆科技反馈问答文件，2018 年至 2021 年一季度，射频系统及等离子体源³占拓荆科技核心原材料采购额比重一直保持在 25%以上，主要采购自美国，但国产化率有所提升。2018/2019/2020/2021Q1 美国占比分别为 100%/98.62%/90.95%/87.85%，中国占比分别为 0%/1.38%/8.68%/11.71%。

图 15：射频系统及等离子体源在核心原材料中采购额占比超 1/4



资料来源：拓荆科技公告，光大证券研究所

³拓荆科技的射频系统由射频发生器（射频电源）、匹配器、上下极板、射频回路，以及射频安全屏蔽能模块构成

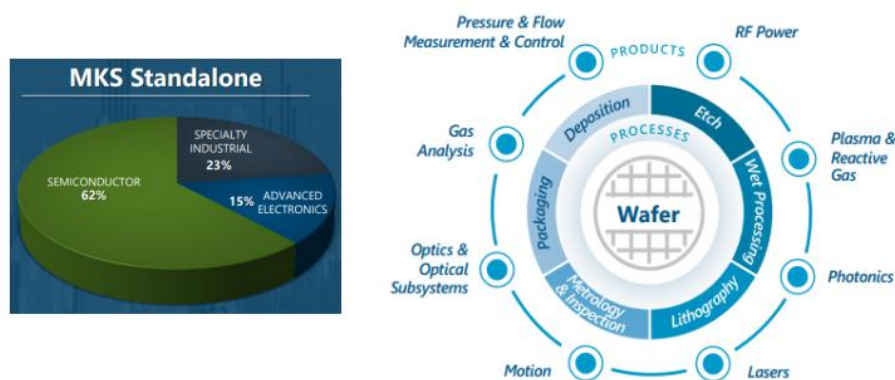
3、国际厂商处领先地位

3.1、MKS Instruments 万机仪器

MKS 成立于 1961 年，总部位于美国马萨诸塞州，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。

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。

图 16：MKS 公司的半导体晶圆产业链



资料来源：MKS 官网，光大证券研究所整理

至 2022 年，MKS 半导体制造业务收入达到 20.4 亿美元，同比增长 12%。2020-2022 年前十大客户收入占比分别达到 44%/46%/42%，2020-2022 年来自 Lam Research 与 Applied Materials 的收入占公司总收入的 24%/27%/24%。

拥有三大产品条线：

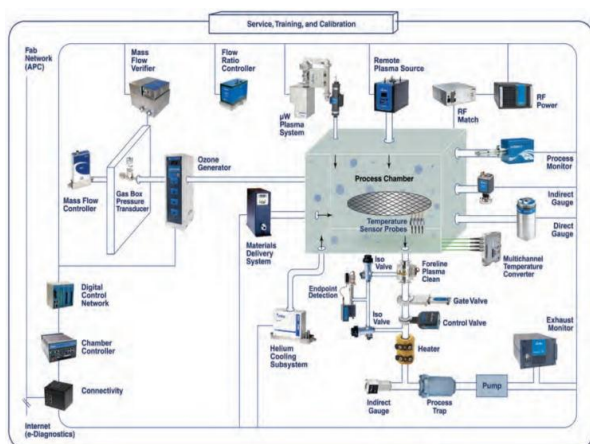
（1）真空与分析条线：涵盖了流量和阀门技术、集成压力测控子系统，微波、供电系统、射频电源匹配及计量产品、用于薄膜沉积、刻蚀、清洗等工艺的等离子体、活性气体产品；

（2）光学与运动控制条线：提供激光器、精密运动控制、光学平台、隔振系统、用于晶圆制造系统的温度传感产品、LED 测量产品等；

（3）设备和解决方案：则提供基于激光的系统和测试产品。用于 PCB 制造的基于激光的系统，包括柔性互连 PCB 处理系统和用于刚性 PCB 制造和基板处理的高密度互连解决方案；多层陶瓷电容器（“MLCC”）测试系统，包括测试超小型 MLCC（主要用于智能手机和其他电子产品制造）和大芯片 MLCC（主要用于汽车和基础设施应用）。

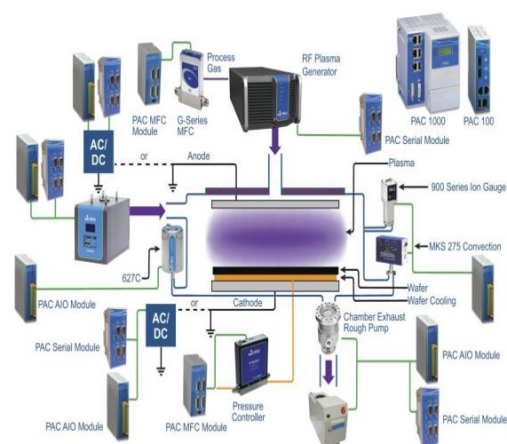
公司产品矩阵丰富，应用端采用自有分层式自动化流程，可覆盖半导体制造工艺中从反应气体控制与量测到硅片沉积、刻蚀、清洗等工艺链，再至终端产品的数据及服务等多个环节。

图 17: MKS 半导体晶圆设备与材料产品矩阵



资料来源：MKS 官网，光大证券研究所整理

图 18: MKS 自动化平台在晶圆加工中的应用



资料来源：MKS 官网，光大证券研究所整理

射频电源领域，MKS 拥有功率最高可达 13KW 的 2MHz 射频等离子发生器，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) 算法在高频和脉冲 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。

图 19: MKS 射频电源产品工艺先进，传输效率高



KEINOS™ 2 MHz 5 kW, 11 kW & 13 kW RF Plasma Generators



**elite™ 13.56 MHz RF Plasma
Generators**

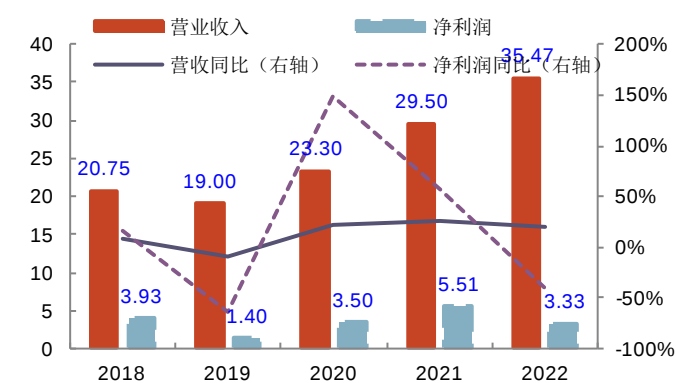
资料来源：MKS 官网，光大证券研究所整理

表 9：MKS 射频电源产品主要参数

具体参数	KEINOS™ 2 MHz 5 kW, 11 kW & 13 kW RF Plasma Generators	elite™ 13.56 MHz RF Plasma Generators (包含 elite 300, elite 600, elite 750)
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)
谐波输出&失真		-20 to -30 dBc
谐波输出		-30 dBc
脉冲频率	50KHz	
输入交流电源	200/208VAC ±10%, 3Φ, 50/60 Hz	110VAC - 253VAC, 单相, 50Hz / 60Hz
额定电流	5kW: 最大 25 amps 13kW: 最大 55 amps	
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

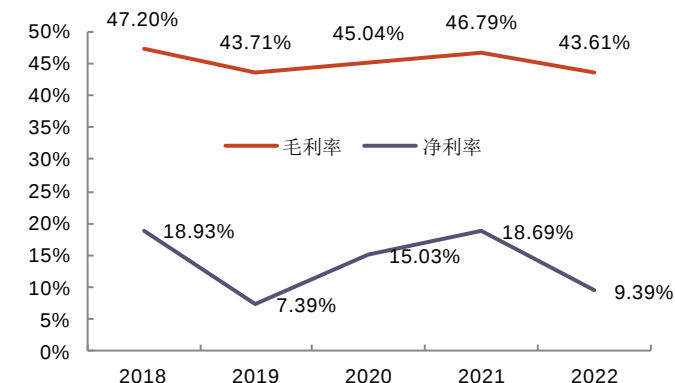
资料来源：MKS 公司官网，光大证券研究所整理

图 20：2018-2022 年 MKS 营业收入（亿美元）



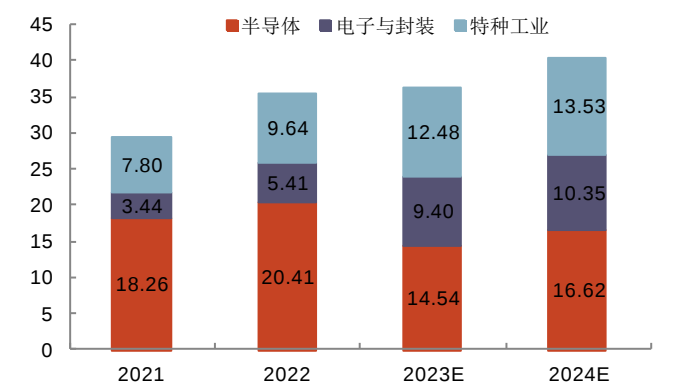
资料来源：，光大证券研究所

图 21：2018-2022 年 MKS 毛利率与净利率



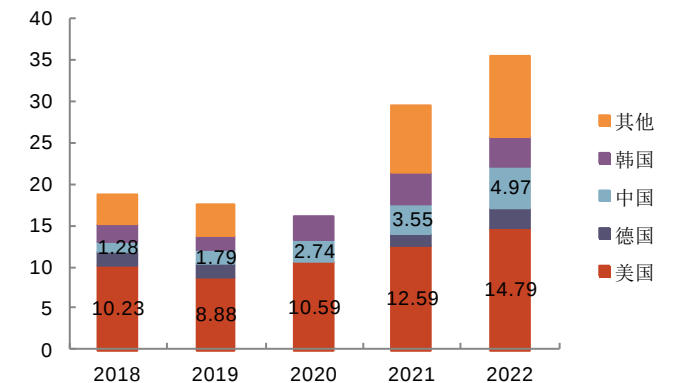
资料来源：，光大证券研究所

图 22：MKS 收入构成（按产品，亿美元）



资料来源：Bloomberg 及一致预期，光大证券研究

图 23：MKS 收入构成（按地区，亿美元）



资料来源：Bloomberg，光大证券研究所

3.2、Advanced Energy 优仪半导体

Advanced Energy 于 1981 年在科罗拉多州成立，是全球领先的精密电源转换、量测与控制解决方案的供应商。AE 的等离子体电源解决方案包括射频电源、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远程等离子体源。此外还有功率控制模块和热工仪表产品，射频、温度计量仪器和校准系统，嵌入式电源等。下游应用广泛，涵盖半导体、平板显示、光伏、各类镀膜、医疗、航空航天、食品等。2022 年公司收购总部位于加州的电源电子公司 SL Power，为 AE 丰富医疗电源产品。

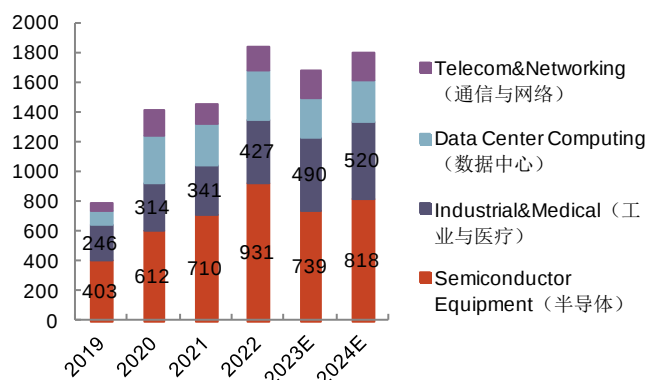
图 24：AE 电源产品布局，射频电源处全球领先地位



资料来源：AE 官网，光大证券研究所

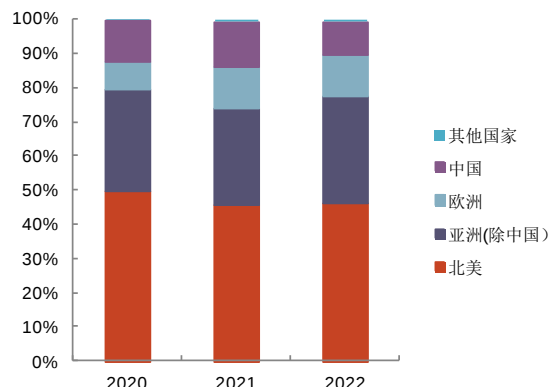
丰富的产品矩阵及先进的解决方案使得 AE 公司 2022 年半导体领域营业收入快速增长至 9.31 亿美元，同比增速达 31%，在射频电源的全球市占率连续多年领先。产品结构上，半导体/工业与医疗/数据中心/通信与网络 2022 年的收入占比分别为 50%/23%/18%/9%。地区结构上，北美（含美国）/亚洲（除中国）/欧洲/中国 2022 年的收入占比分别为 46%/31%/12%/10%。

图 25：AE 收入结构（按产品，百万美元）



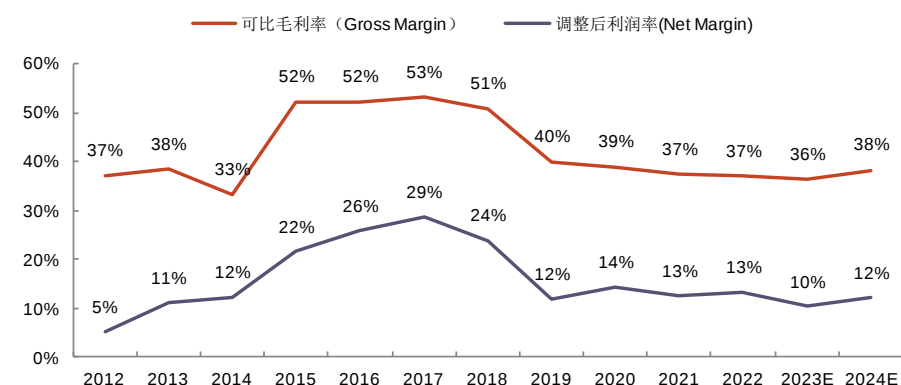
资料来源：Bloomberg 及一致预期，光大证券研究所

图 26：AE 收入结构（按区域）



资料来源：AE2022 年财报，光大证券研究所

图 27: AE 毛利率与净利率水平



资料来源: Bloomberg 及一致预期, 光大证券研究所

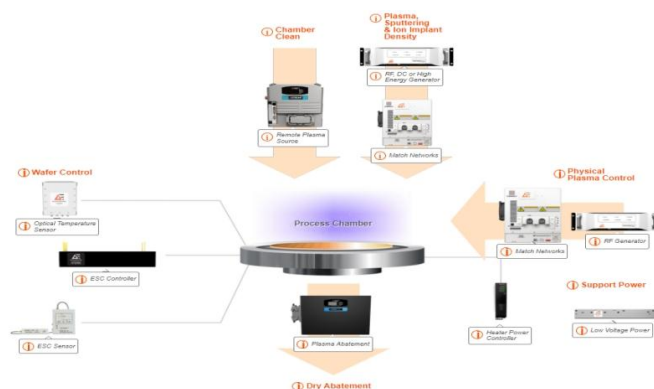
AE 公司在等离子体发生器领域推出射频电源、射频匹配网络、DC 直流电源系统、脉冲直流电源系统等工业解决方案, 被广泛应用于多种半导体工艺, 包括基于等离子体的干法刻蚀、干法剥离、原子层刻蚀与沉积与化学、物理气相沉积工艺。工业应用领域可延伸至显示器制造、光伏电池制造及建材涂层、玻璃等领域。

图 28: AE 电源产品具体应用领域



资料来源: AE 官网, 光大证券研究所

图 29: AE 电源产品在半导体制造中的全制造流程



资料来源: AE 官网, 光大证券研究所

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、功率和阻抗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, 接入阻抗匹配网络实现综合工况监测。

图 30：AE 射频电源产品一览



资料来源：AE 官网，光大证券研究所

表 10：AE 射频电源产品主要参数

产品名称		功率	频率	输入交流电源	冷却方式
Apex		1.5 kW, 3 kW, 5.5 kW	13 MHz	208 VAC	水冷
Cesar	MF	600 W, 1 kW, 2 kW, 2.5 kW, 3 kW, 5 kW	2 MHz, 4 MHz	208 & 400 VAC	风冷/水冷
	HF	300 W, 600 W, 1 kW, 1.2 kW, 2 kW, 2.5 kW, 3 kW, 5 kW	13 MHz		
	VHF	300 W, 500 W, 600 W, 1 kW, 2 kW, 4 kW	27 MHz, 40 MHz		
HiLight		200 W	0.925 MHz	230 VAC (187 ~ 253 VAC)	风冷
		300 W	13.56 MHz		
		600 W			
Paramount HF		1.5 kW, 3 kW, 6 kW	13 MHz, 频率调谐±5%	208 & 400/480 VAC ±10%	风冷/水冷
Paramount HFi		3 kW	13.56 MHz	208 V 标称电压; 187~229 VAC	水冷
Paramount Plus	MF	5 kW, 15 kW	2 MHz, 频率调谐±10%	200/240 VAC, 400/480 VAC	风冷/水冷
	VHF	5 ~ 15 kW	27 MHz, 40 MHz, 60 MHz, 频率调谐± 5%		
PDX	PDX 1250	18 ~ 1250 W	325 ~ 450 kHz	180 ~ 253 VAC, 50/60 Hz, 单相	风冷
	PDX 1400	25 ~ 1400 W	235 ~ 305 kHz	180 ~ 230 VAC, 50/60 Hz, 3 φ	
	PDX 5000	100 ~ 5000 W	330 ~ 460 kHz	180 ~ 230 VAC, 50/60 Hz, 3 φ	水冷
	PDX 8000	100 ~ 8000 W	340 ~ 440 kHz		

资料来源：AE 公司官网，光大证券研究所整理

3.3、TRUMPF Hüttinger 通快霍廷格

通快是总部位于德国的半导体通用设备制造与激光设备供应商。通快的主营业务囊括了从上世纪 60 年代成立初的冲裁机床研发，到 80 年代形成以激光器技术为核心的半导体制造产业，产品矩阵庞杂，涉及领域极多。其主要创收的产品条线包括半导体激光器、单模/多模 VCSEL（垂直腔表面发射激光器）等在内的激光科技条线，因业务重要性被独立划分的 EUV 光刻机激光器条线，以及 2D/3D 激光切割机、功率电子、激光焊接设备等在内的机械设备条线等。

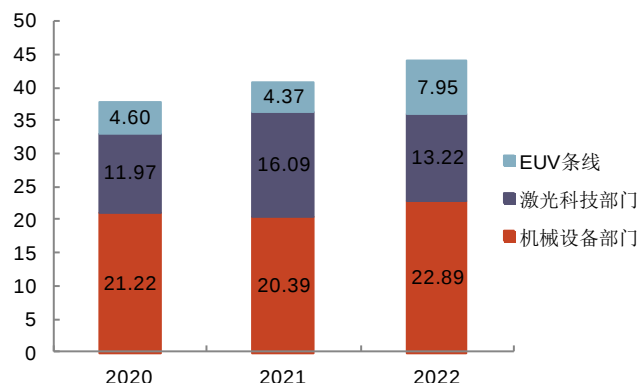
通快在 2022 财年年度报告显示,其业绩创公司成立 99 年来的历史新高,达 42.23 亿欧元,同比增幅 20.5%,足以显明其半导体业务纵深布局的系统性优势正在逐渐凸显。另外,仅该财年内,通快与荷兰光刻机巨头 ASML 签订的 EUV 用超高功率 CO₂ 激光器及其他 EUV 应用的订单数额便超过 10 亿欧元,增长势头迅猛。

图 31: 通快霍廷格等离子体电源领域产线细分



资料来源: TRUMPF Hüttinger 年报, 光大证券研究所整理

图 32: 通快 2020-2022 财年收入增长情况 (亿欧元)



资料来源: TRUMPF Hüttinger 年报, 光大证券研究所整理

近年来,通快不断增加对功率电子设备的投入,以规模化其产品矩阵。其中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。在射频电源方面,公司研发出 13.56MHz 的高频射频电源,据通快官网介绍,其搭载了 CombineLine 技术,凭借 50 欧姆的真实输出阻抗可获得最佳工艺流程功率,失调情况下能够可靠保护反射功率,最大能量转换率可达到 80%,可至多降低用户端 50% 的能量成本;另有极高功率密度射频电源平台,可通过模块化水冷结构将输出功率提高到 80kW,该电源配有智能自动频率调谐,可实现高效的电源-抗阻协作。

表 11: 通快霍廷格最先进工艺射频电源产品参数比较

指标	TruPlasma RF 3006	TruPlasma RF 3012	TruPlasma RF 3024	TruPlasma RF 1001	TruPlasma RF 1002	TruPlasma RF 1003
输出功率范围	1W~6000W	1W~12000W	1W~24000W	1W~1000W	1W~2000W	1W~3000W
最大反射功率	1200W	2400W	4800W	600W		
输出频率	13.56MHz±0.005%					
输出阻抗	50Ω					
50Ω无抗负载全额定输出功率下的谐波信号	-40dBc	-50dBc	-40dBc	-40dBc		
50Ω无抗负载全额定输出功率下的杂散信号	-50dBc	-40dBc	-50dBc	-50dBc		
50Ω负载下功率精度	±2W 或 ±1%	±4W 或 ±1.5%	±8W 或 ±1.5%	±1W 或 ±1%		
50Ω负载下波动	±2W	±4W, 8000W	±8W, 16000W	±1W		
50Ω负载下输出功率再现性	±4W 或 ±1%	±4W 或 ±1%	±8W 或 ±1%	±2W 或 ±1%		
射频输出	LC	7/8” EIA	1 5/8” EIA	MN; 7/16		
电源电压	200-480 VAC ±10%, 3 相+PE	200~220VAC±10%或 400~480VAC±10%, 3 相+PE		200~480VAC±10%, 3 相+PE		
冷却方式	水冷	水冷&风冷	水冷&风冷	水冷		

资料来源: TRUMPF Hüttinger 官网, 光大证券研究所整理

4、国产厂商紧步追赶

受美日等国家先进制程设备与零部件封锁影响，国内半导体设备厂与零部件厂商加紧研发合作，推进成熟制程与先进制程领域的半导体零部件国产化替代。国内代表厂商包括英杰电气、恒运昌、北方华创、神州半导体、吉兆源、华鑫晶造、瀚强科技等。英杰电气已于 2017 年成功为中微公司配套 MOCVD 直流电源。2022 年拓荆科技向恒运昌增资 2000 万并参股，以强化公司在射频电源的供应能力。

表 12：射频电源企业对比

序号	企业	单位	2022 财年 半导体设备收入	2022 财年 公司整体净利率	半导体电源业务主要产品
1	AEIS	亿 USD	9.31	10.82%	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、低频交流电源和用于反应性气体应用的远程等离子体源
2	MKS	亿 USD	20.41	9.39%	微波、电力输送系统、射频匹配网络和计量产品
3	Huttinger	亿欧元	42.23（整体）	11.1%	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
4	英杰电气	亿 RMB	1.95	26.42%	直流编程电源、加速器电源、中高频感应电源、高压电源、微波电源、射频电源、固态调制器系统
5	恒运昌	亿 RMB	1.55	6.79%	射频电源及匹配器、中频电源、直流电源
6	吉兆源				多功率射频电源

资料来源：各公司官网，集成电路制造年会公开演示资料，光大证券研究所整理

4.1、英杰电气：高端射频电源验证加速

英杰电气成立于 1996 年，是专业的工业电源设计及制造企业，于 2020 年 2 月 13 日在深交所创业板上市。公司主要专注于电力电子技术在工业各领域的应用，从事以功率控制电源、特种电源为代表的工业电源设备的研发、生产与销售以及新能源汽车充电桩/站的研发、生产和销售。目前，公司电源产品已应用于光伏、半导体、新能源汽车、钢铁冶金、玻璃玻纤、科研等行业。

表 13：英杰电气特种电源主要产品用途及用途

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及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、化工行业、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，用于驱动脉冲调制管，可应用于无损检测、辐照加速器等领域。

资料来源：英杰电气公司年报，公司官网，光大证券研究所整理

特种电源对电源稳定性、精度、动态响应及波纹要求高，公司特种电源产品主要有直流编程电源、加速器电源、中高频感应电源、高压电源、微波电源、射频电源、固态调制器系统等，主要应用于半导体、激光、医疗、环保、航空航天等行业，以及电子枪、杀菌、等离子喷涂、真空熔炼等特种工业领域。公司射频/溅

射电源主要产品包括 RMA 系列匹配器、RHH 系列射频电源、RLS 系列射频电源及 MSD 系列溅射电源。

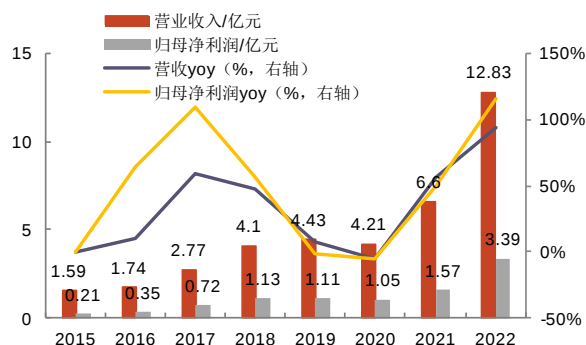
表 14：英杰电气射频电源产品主要参数

具体参数	RHH 系列射频电源	RLS 系列射频电源
输入电压	AC220V±10% 3ΦAC380V±5%（特殊规格可定制）	
输入频率	47~63Hz	
输出频率	13.56MHz、27.12MHz、40.68MHz	2MHz、13.56MHz、27.12MHz、40.68MHz
输出功率	1.5~5kW	0.5~5kW
输出阻抗	50Ω+j0	
输出模式	连续、脉冲	
脉冲频率	100Hz~100kHz	0.1~10kHz
占空比	5~95%	10~90%
功率因数	0.98	
频率稳定精度	±0.005%	
效率	75%（额定输出时）	
外部控制接口	模拟量、通讯、同步	
通信方式	标配 RS485 通讯接口，可选 Ether CAT、工业以太网等	

资料来源：英杰电气公司官网，光大证券研究所整理

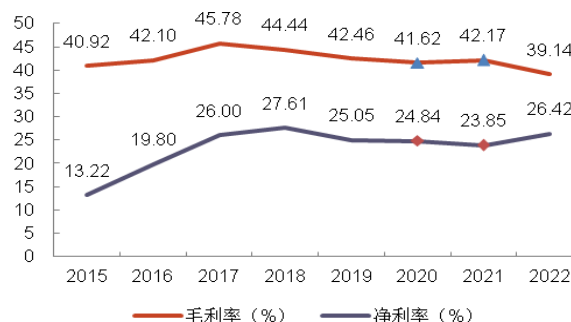
业绩增长快速，半导体领域收入同比高增。2022 年公司实现营业收入 12.83 亿元，同比增长 94.34%，归母净利润 3.39 亿元，同比增长 115.47%。结构上，光伏行业实现销售收入 6.13 亿元，同比增长 70.67%，占总营业收入比重 47.82%；半导体等电子材料行业销售收入 1.95 亿元，同比增长 175.29%，占总营业收入比重 15.17%。主要是因为 2021-2022 年光伏行业景气度高，硅料、硅片价格高涨，扩产多带来多晶硅还原炉电源与单晶炉电源需求增加。

图 33：2015-2022 年英杰电气营业收入、归母净利润及增速



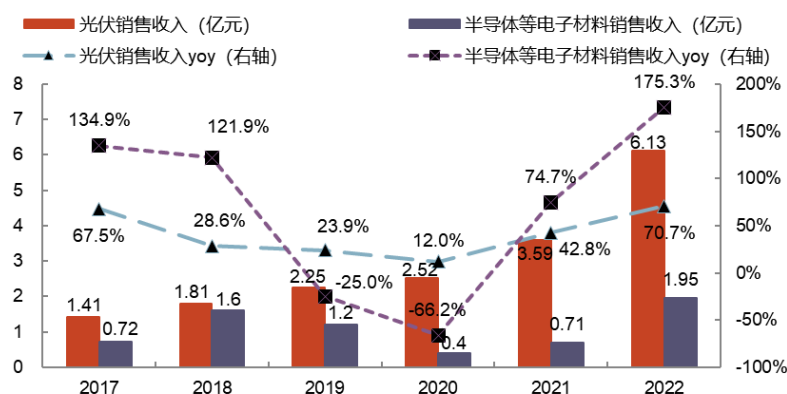
资料来源：，光大证券研究所整理

图 34：2015-2022 年英杰电气毛利率及净利率 (%)



资料来源：，光大证券研究所整理

图 35：2017-2022 年英杰电气光伏及半导体行业销售收入及增速



资料来源：iFinD，光大证券研究所整理

公司客户覆盖范围广，与国内外大型企业存在业务合作。公司产品应用于光伏行业上游的材料生产设备电源控制，及还原提纯和晶体生长环节设备的电源控制。据英杰电气 2022 年年报，公司电源在光伏行业市场占有维持在 70% 以上。2022 年公司光伏行业订单同比继续保持较高增长，2022 年末/2023Q1 末，公司合同负债为 8.46/10.18 亿元。目前，公司在光伏、蓝宝石、钢铁冶金、玻璃玻纤、特种电源等行业已积累了大量客户。

射频电源领域，公司产品目前在半导体设备行业和光伏电池片行业均处于测试阶段，逐步提升稳定电源性能，从测试情况看，初步具备了国产化替代的能力。

表 15：英杰电气各业务主要客户

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、TCL 中环、隆基绿能、晶科、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、中国电科
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	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
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	宝武钢铁、首钢集团、柳钢集团、沙钢集团、鞍钢集团、河北钢铁、德龙钢铁、安阳钢铁、泰山钢铁、敬业集团、西门子、西马克集团、ABB、通用电气、普瑞特、宏旺集团、甬金股份、城德、金泰包装、宝信软件
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	南玻集团、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
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、森松集团（中国）

资料来源：英杰电气公司官网，光大证券研究所整理

4.2、恒运昌：PECVD 用射频电源已实现批量供货

恒运昌成立于 2013 年，专注等离子体电源系统产品的研发、设计、生产制造、应用维护、技术进出口和国内外贸易。公司产品广泛应用于半导体、光伏设备、LCD 设备、LED 设备、生物工程设备、医药设备、玻璃深加工、卷绕镀膜和先进工业镀膜等领域。公司自主产品主要包括射频电源及匹配器、中频电源、直流电源等。主要合作伙伴有德国 ADL，美国 Ceres，日本日立金属/KOFLOC/LINTEC/岛津等。

图 36：恒运昌代理的主要产品



资料来源：恒运昌官网，光大证券研究所

表 16：恒运昌自主研发产品

射频电源			匹配器				
具体参数	13.56MHz 自动扫频 射频电源	400KHz 自动扫频 射频电源	具体参数	13.56MHz 双频匹 配器	400KHz 双频匹 配器	27.12MHz 双频自动 匹配器	400KHz 双频自动匹 配器
产品图片			产品图片				
输入电压	3P 208V		频率	13.56 MHz± 0.005%	350KHz ~450KHz ±0.005%	27.12 MHz±0.005%	400KHz±0.005%
最大输出功率	2.5KW	1KW	最大输出电流	30 Arms	9 Arms	30 Arms	7 Arms
扫描频率范围	12.882MHz~14.238 MHz	350KHz~450KHz	最大输出电压	叠加波形峰值电压超过 2000V 峰值			
扫描频率调谐时 间	≤50ms		最大输入功率	3000W	1000W	3000W	1500W
脉冲功能	10Hz~10KHz	10Hz~2KHz	反射功率（自动匹 配状态下）	5W/1%（前向功率 50~3000W 时）		2W 或 1%（前向功率 50~3000W 时）	2W 或 1%（前向功率 25~1500W 时）
占空比	5%~95%		输入阻抗	50Ω			
效率	≥70%	≥80%	匹配时间	<1.5s			
电源稳定性	0.5%，72h		射频输入隔离度	-40dB			
工作温度	5~40℃		冷却方式	风冷			
冷却方式	风冷+水冷		尺寸（W*L*D）	250*308*420mm³		280*335*425mm³	
尺寸（W*L*H）	234*546 *170mm³	250*308*420mm³	重量	13kg		17.7kg	
重量	18kg	18kg	射频输入接头	N female		HN female	N female
射频输出接头	HN female/客户指定	N female/客户指 定					

资料来源：真空技术与设备网公众号，光大证券研究所整理

公司核心团队已深耕射频电源领域多年，掌握全数字测量系统、全数字环路控制技术、高效宽带平衡功放技术等多项核心技术，打破海外垄断，成为国内率先进入 IC 前道设备的射频电源供应商之一。据南方日报文章，2016 年 1 月，恒运昌第一批 1kw 射频电源与自动匹配器产品上市，经过 3 年多的反复实验与客户现场验证，2019 年年底，恒运昌部分射频电源产品成功通过拓荆科技的验证，同期恒运昌与拓荆科技正式签署战略合作备忘录，2020 年 Q2 正式投入市场，实现批量供货，部分产品填补国内空白。

4.3、 北方华创：收购北广科技射频应用技术相关资产

北方华创集团全资子公司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。2020 年，北方华创微电子与兆维集团子公司北京北广科技股份有限公司就北方华创微电子收购北广科技射频应用技术相关资产签署《资产转让协议》，以提高北方华创射频应用技术水平。

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、Brookehaven 等。

表 17：北广科技主要产品

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，光大证券研究所整理

4.4、 神州半导体：半导体产线电源系统服务厂商

神州半导体⁴是中国地区半导体产线电源系统服务厂商，目前已建成完整全面的高精度，高功率直流、射频、微波、网络匹配器、远程等离子发生器等制造、维修、测试平台，是中国科学技术部国家火炬计划项目《等离子电源研发，应用平台建设》承接单位。公司主要客户覆盖半导体设备、封装测试、晶圆厂、光伏、液晶面板等领域。

⁴ 全称为江苏神州半导体科技有限公司

表 18：神州半导体射频电源产品

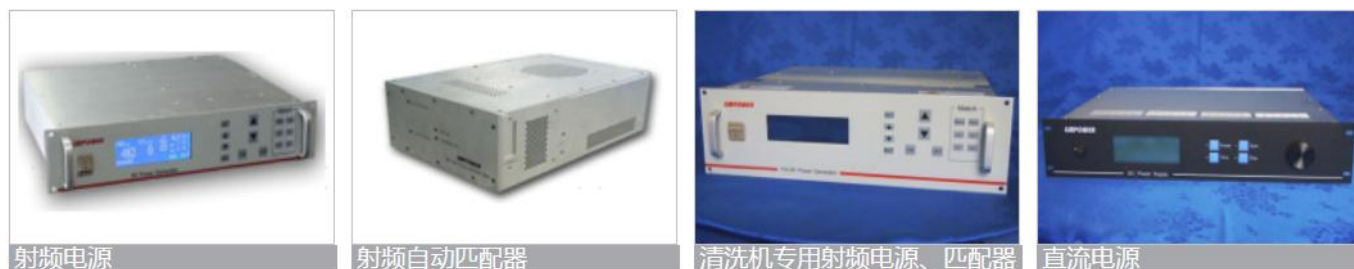
型号	CDX-2000	RFX 5500	Paramount 6013	Paramount 6013
MN	FP5325R1	3155084-001 A	3156360-060	3156360-060
PN	0190-40655W	B5108726BJ	660-106049-002	660-106049-002
设备状态				
设备状态	Refurbished	Refurbished	Refurbished	Refurbished
特性				
输出功率	2000W	5500W	6000W	6000W
频率	13.56/2MHz	13.56MHz	13.56MHz	13.56MHz

资料来源：神州半导体官网，光大证券研究所整理

4.5、吉兆源：专注射频电源与自动匹配器研制生产

北京吉兆源成立于 2012 年，公司主要研发和生产射频电源、自动匹配器。产品体系有 50W、150W、500W、750W、1000W 和 1250W 射频电源，具体可应用于刻蚀、RIE、PECVD、ICP、射频溅射、CVD 和 PVD 等系统，也可作为工业系统中感应加热和电介质加热设备的电源。其自动匹配器已成功应用于半导体、光伏等领域，可匹配国内电子管射频电源和海外进口电源。

图 37：吉兆源产品体系



资料来源：吉兆源官网，光大证券研究所

4.6、瀚强科技：A 轮融资获中芯聚源领投

多型号中频电源供应商，满足不同行业及场景应用需求。瀚强科技由杨小春及其团队创立于 2012 年，2019 年公司将主要资源投入到光伏领域 PECVD 和 PVD 电源研发，其电源产品广泛应用于光伏、真空镀膜等核心工艺环节。2022 年下半年，公司新产品顺利打入光伏电池片核心生产环节。目前，公司研发生产的 HQ-MF 系列中频电源处于国内射频电源领域领先地位，输出有单通道、双通道等方式，每通道功率可达 15kW~60kW，可以输出包括方波、阶梯波、双极性脉冲波在内的多种电压波形，满足不同镀膜工艺要求。

表 19：瀚强科技 HQ-MF 系列中频电源产品优势

产品优势	具体表现
节能环保	采用先进的软开关技术，最高效率可达 93%，比传统电源高 3% 以上。
极低电弧能量	自主专利技术的电弧检测和灭弧方法，确保出色的镀膜均匀度和高良率。
匹配性强	多种不同电压波形可调，输出电压范围更宽/输出电压高达 800V，可同时满足新型和传统的镀膜工艺要求。
电网谐波污染小	具备主动功率因素校正功能，输入功率因素满载高达 0.99，电流谐波小于 5%。
可扩展	FPGA+DSP+ARM 全数字化控制平台，更智能更可靠，轻松匹配客户的定制化

	需求。
高集成，易维护	自主专利技术的水冷设计，标准化结构设计，噪音低，操作简单，维护便捷。

资料来源：瀚强科技官网，光大证券研究所整理

公司 HQ-MF 系列内有六款型号产品，在输出通道数量、输出功率、输出电压和输出电流等参数方面各自具有不同的特征，可满足不同应用场景需求。

表 20：瀚强科技 HQ-MF 系列各型号产品参数性能

参数	HQ-MF04030-1	HQ-MF04040-1	HQ-MF04040-2	HQ-MF04060-2	HQ-MF04030-1P	HQ-MF04040-1P	HQ-MF04040-2P
输入电压	323Vac~475Vac，三相+地线						
输入频率	45Hz~64Hz						
输出通道数量	1	1	2	2	1	1	2
每通道输出功率	30kW	35kW	20kW	30kW	30kW	35kW	20kW
每通道最高输出电压	600V				800V		
每通道最大输出电流	85A	87.5A	55A	85A	85A	87.5A	55A
输出频率	40kHz，可调						
输出控制模式	恒功率、恒压、恒流						
开关机控制方式	触摸屏、RS485、模拟接口、CAN、EtherCAT						
安装尺寸（W*H*D）	482*178*700 mm ³			482*267*700 mm ³	482*178*700 mm ³		
工作温度	+5°C~+45°C						
冷却方式	水冷						

资料来源：瀚强科技官网，光大证券研究所整理

较大规模融资为公司射频电源产品持续研发注入持续动力。据公司官网披露，目前公司拥有技术研发人员占比 60%以上，累计获得专利 60 余件，研发投入占比超过 6%。同时，公司研发骨干均来自知名电源企业核心团队，具备多种电源技术平台开发实力，并承接深圳市科创委重大“技术攻关”项目，已通过科创委组织的专家答辩和验收。2023 年 3 月，瀚强科技宣布完成数亿元人民币 A 轮融资，由中芯聚源领投，深创投、国信资本跟投。本轮融资资金主要用于现有产品产能提升、新产品研发，以及公司的经营发展。

4.7、华鑫晶造：特种电源后起之秀

华鑫晶造由中电 18 所退休技术专家陈必雄联合创办，专注半导体、光伏领域特种电源。其团队核心技术人员来自于大学、军工研究所，有半导体设备与特种电源技术首席专家、教授、博士多人，长期从事半导体设备中频电源、射频电源、高压电源等关键部件的技术研究，多次获得国家、省、部级科技进步奖，是我国光伏 PECVD 设备国产化及工艺的先行者。目前，公司可为半导体、光伏、平板显示、材料改性、等离子体清洗、镀膜等行业提供中频电源、射频电源、微波电源、高压电源的解决方案。

射频电源领域，公司 HSP 系列射频电源可提供 1~5kW 射频功率，拥有更强的功率和阻抗测量性能，能够在 13.56MHz 固定频率、50 欧姆和非 50 欧姆负载下（电压驻波比 (VSWR) 超过 3:1），带来稳定的功率输出和控制性能。能够快速与等离子阻抗保持实时同步匹配，从而实现工艺的精确性、可重复性。

图 38：华鑫晶造射频电源产品



产品特点：

- 高效E类开关转换模式；
- 采用高频晶体管，体积小，寿命长，损耗低，结构紧凑；
- 精密闭环控制，频率误差小；
- 输出功率稳定度高；
- 配套自动匹配模块，阻抗自动匹配；
- 自动匹配有反射系数小，速度快；
- 具有限流、限压、过流、过压及短路等完善的监控与保护功能；
- 水冷或风冷散热

资料来源：华鑫晶造公司官网，光大证券研究所

5、风险分析

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，主要为美国 MKS、AE 供应。若国产射频电源研发验证不及预期，则会导致国产制程工艺设备因缺少稳定供应的核心零部件而无法顺利推向市场，进而在先进半导体设备封锁背景下，国产线/去美线的产能建设难以顺利推进。

科技封锁加剧。科技封锁一方面促进射频电源国产化替代，另一方面所封锁进一步升级或延伸至成熟制程领域，当严重影响晶圆厂扩产，射频电源间接面向的下游市场规模将萎缩。

市场竞争加剧。半导体领域射频电源存在一定的技术壁垒，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，市场参与者增多，竞争加剧，整个射频电源行业的投资性价比将降低。

行业及公司评级体系

评级	说明
买入	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 15%以上
增持	未来 6-12 个月的投资收益率领先市场基准指数 5%至 15%；
中性	未来 6-12 个月的投资收益率与市场基准指数的变动幅度相差-5%至 5%；
减持	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 5%至 15%；
卖出	未来 6-12 个月的投资收益率落后市场基准指数 15%以上；
无评级	因无法获取必要的资料，或者公司面临无法预见结果的重大不确定性事件，或者其他原因，致使无法给出明确的投资评级。
基准指数说明：A 股市场基准为沪深 300 指数；香港市场基准为恒生指数；美国市场基准为纳斯达克综合指数或标普 500 指数。	

分析、估值方法的局限性说明

本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。本报告采用的各种估值方法及模型均有其局限性，估值结果不保证所涉及证券能够在该价格交易。

分析师声明

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，以勤勉的职业态度、专业审慎的研究方法，使用合法合规的信息，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。负责准备以及撰写本报告的所有研究人员在此保证，本研究报告中任何关于发行商或证券所发表的观点均如实反映研究人员的个人观点。研究人员获取报酬的评判因素包括研究的质量和准确性、客户反馈、竞争性因素以及光大证券股份有限公司的整体收益。所有研究人员保证他们报酬的任何一部分都不与，不与，也将不会与本报告中的具体的推荐意见或观点有直接或间接的联系。

法律主体声明

本报告由光大证券股份有限公司制作，光大证券股份有限公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格，负责本报告在中华人民共和国境内（仅为本报告目的，不包括港澳台）的分销。本报告署名分析师所持中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格编号已披露在报告首页。

中国光大证券国际有限公司和 Everbright Securities(UK) Company Limited 是光大证券股份有限公司的关联机构。

特别声明

光大证券股份有限公司（以下简称“本公司”）成立于 1996 年，是中国证监会批准的首批三家创新试点证券公司之一，也是世界 500 强企业——中国光大集团股份公司的核心金融服务平台之一。根据中国证监会核发的经营证券期货业务许可，本公司的经营范围包括证券投资咨询业务。

本公司经营范围：证券经纪；证券投资咨询；与证券交易、证券投资活动有关的财务顾问；证券承销与保荐；证券自营；为期货公司提供中间介绍业务；证券投资基金代销；融资融券业务；中国证监会批准的其他业务。此外，本公司还通过全资或控股子公司开展资产管理、直接投资、期货、基金管理以及香港证券业务。

本报告由光大证券股份有限公司研究所（以下简称“光大证券研究所”）编写，以合法获得的我们相信为可靠、准确、完整的信息为基础，但不保证我们所获得的原始信息以及报告所载信息之准确性和完整性。光大证券研究所可能将不时补充、修订或更新有关信息，但不保证及时发布该等更新。

本报告中的资料、意见、预测均反映报告初次发布时光大证券研究所的判断，可能需随时进行调整且不予通知。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。客户应自主作出投资决策并自行承担投资风险。本报告中的信息或所表述的意见并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

不同时期，本公司可能会撰写并发布与本报告所载信息、建议及预测不一致的报告。本公司的销售人员、交易人员和其他专业人员可能会向客户提供与本报告中所载观点不同的口头或书面评论或交易策略。本公司的资产管理子公司、自营部门以及其他投资业务板块可能会独立做出与本报告的意见或建议不相一致的投资决策。本公司提醒投资者注意并理解投资证券及投资产品存在的风险，在做出投资决策前，建议投资者务必向专业人士咨询并谨慎抉择。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。投资者应当充分考虑本公司及本公司附属机构就报告内容可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一信赖依据。

本报告根据中华人民共和国法律在中华人民共和国境内分发，仅向特定客户传送。本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、复制、转载、刊登、发表、篡改或引用。如因侵权行为给本公司造成任何直接或间接的损失，本公司保留追究一切法律责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

光大证券股份有限公司版权所有。保留一切权利。

光大证券研究所

上海

静安区南京西路 1266 号
恒隆广场 1 期办公楼 48 层

北京

西城区武定侯街 2 号
泰康国际大厦 7 层

深圳

福田区深南大道 6011 号
NEO 绿景纪元大厦 A 座 17 楼

光大证券股份有限公司关联机构

香港

中国光大证券国际有限公司
香港铜锣湾希慎道 33 号利园一期 28 楼

英国

Everbright Securities(UK) Company Limited
6th Floor, 9 Appold Street, London, United Kingdom, EC2A 2AP