

证券研究报告

2024年03月04日

行业报告| 行业专题研究

专用设备

半导体射频电源专题：激荡频波，驭势而行！

作者：

分析师 朱晔 SAC执业证书编号：S1110522080001

分析师 张钰莹 SAC执业证书编号：S1110523080002



天风证券

[综合金融服务专家]

行业评级：强于大市（维持评级）

上次评级：强于大市

请务必阅读正文之后的信息披露和免责声明

摘要

射频电源：高技术壁垒核心零部件

- ✓ 射频电源是可以产生300KHz-300MHz频率的高频交流电源，虽然射频的频段很宽，但半导体设备用的射频电源工作频率一般处于 2MHz 至 60MHz 之间。核心技术难点在于参数稳定性、控制精度与阻抗匹配。随着技术的不断发展，市场将逐渐向高频、高功率、小型化和能效方向发展。

射频电源应用：

- ✓ 1) 半导体：刻蚀、薄膜沉积、干法清洗、离子注入等。2) 光伏：PECVD、RPD等。3) 面板：TFT阵列、CELL成盒制作等。

半导体射频电源市场：国外头部企业垄断、市场集中度较高

- ✓ 2022年全球半导体射频电源市场销售额达到了7.26亿美元，预计2029年将达到14.57亿美元，年复合增长率（CAGR）为11.18%（2023-2029）。中国市场（含中国台湾地区）2022年市场规模为96.6百万美元，约占全球的13.31%。
- ✓ 2022年，全球第一梯队厂商主要有万机仪器、美国优仪（AE）、日本大阪变压器株式会社，占有大约52.95%的市场份额。

海外半导体射频电源公司如何发展：

- ✓ MKS：向半导体行业提供环形等离子体源的领导者，面向FinFET开发自适应脉冲技术，以一致的脉冲提供射频功率。
- ✓ AE：拥有更稳定的eVerest系列射频等离子体发生器、更快更准的Navigator II系列射频匹配网络，专有算法PowerInsight应对匹配网络生命周期的不确定性。深耕全射频传输系统，为多种工艺提供不同产品匹配方案。
- ✓ DAIHEN：1986年开始生产半导体制造设备用的射频发生器，使用内部等离子体评估室进行技术开发（如脉冲输出和频率调谐）、产品性能评估以及功能改进。

相关标的：英杰电气、爱科赛博、北方华创等。

风险提示：技术与产品研发风险、市场开拓风险、需求波动风险等。文中所提爱科赛博业绩预告数据仅为初步核算数据，准确的财务数据以公司正式披露的年报为准。

1 射频电源： 高技术壁垒核心零部件

1.1 射频电源（RF Power Supply）：高技术壁垒核心零部件

- **电源**：给电气或电子设备提供电力的装置，主要作用是将电网、发电机、电池等发出的一次电能转换为可供用电设备使用的二次电能。电源按输出类型可分为直流电源和交流电源，而交流电源按照频率大小可以分为中频电源、射频电源、微波电源。
- **射频电源**：可以产生300KHz-300MHz频率的高频交流电源，虽然射频的频段很宽，但半导体设备用的射频电源工作频率一般处于 2MHz 至 60MHz 之间。
- **射频电源应用领域**：射频电源主要用于PECVD、HDPCVD、PEALD、干法刻蚀、去胶、PVD、干法清洗等设备中，起到激发等离子体、选择刻蚀方向等作用。LED与太阳能光伏行业、科学研究、射频感应加热、医疗美容及常压等离子体消毒清洗等领域也有应用。

图：射频电源应用场景

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

1.1 射频电源（RF Power Supply）：高技术壁垒核心零部件

□ 射频电源分类：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（又称为全固态射频电源）。

✓ 电子管射频电源：电子管本身存在很多问题，包括体积大，在某些精密领域限制了应用；寿命不足晶体管射频电源的一半；制造工艺复杂。因此随着晶体管的发展，电子管逐渐被淘汰。

✓ 晶体管射频电源：与电子管相比，晶体管射频电源的体积要小很多，同时它的损耗低、寿命长、产生很少的热量。

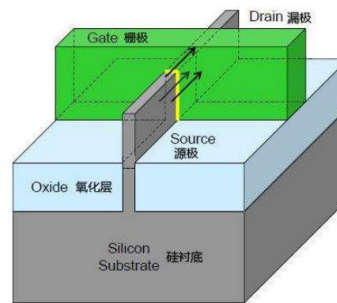
表：电子管射频电源与晶体管射频电源对比

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	寿命低：1000-2000h	寿命高：大于5000h
转换效率	低	大于80%
反射功率	能承受较大反射功率	对反射功率较敏感
体积	体积较大不利于小型化	体积较小利于小型化
热量	多	少

图：电子管结构示意图



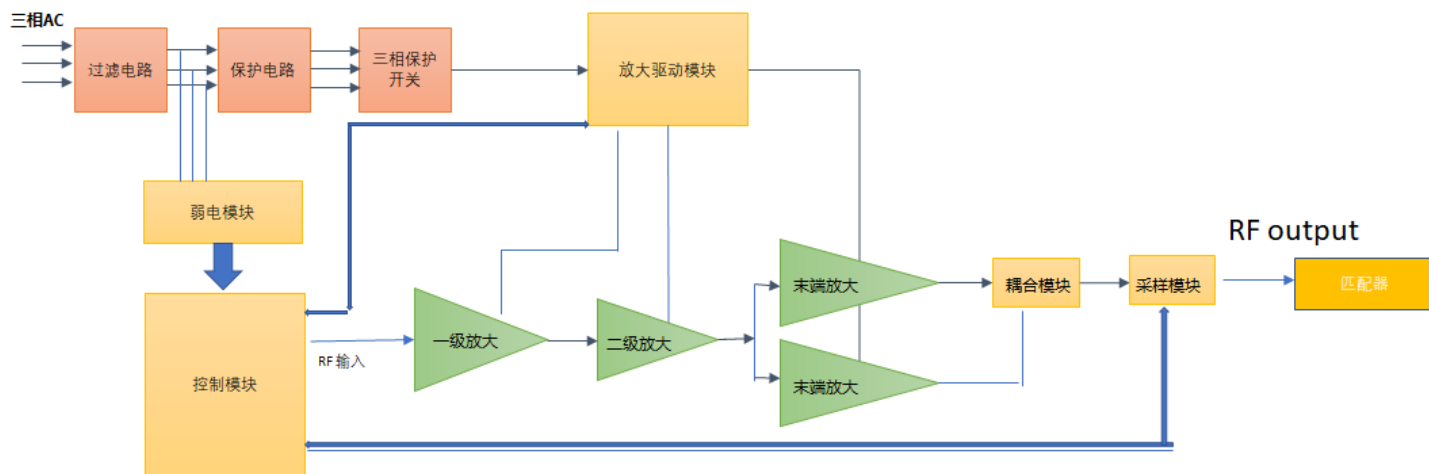
图：晶体管结构示意图



1.2 射频电源原理及结构

- **射频信号源**：射频信号源主要作用是提供射频信号基础频率。
- **放大模块**：信号放大模块通过功率放大管对基础信号进行逐级放大。每一级信号放大后，信号源产生的正弦波容易出现移相的情况，射频信号会互相抵消，需要进行信号耦合调整（调相、调频），调相、调频主要依靠耦合器件来完成。
- **匹配器**：当射频电源的阻抗与负载的阻抗不一致时，射频电源发出的射频信号会被负载所反射，会对射频电源造成伤害，并降低射频电源的输出效率。阻抗匹配器主要起到阻抗匹配的作用，减少被反射的射频信号。
- **开关电源**：开关电源主要起到将交流电整流为直流电的作用，为各模块供电。
- **控制模块**：控制模块会不间断对控制点的信号进行采样、检测和反馈，当出现超出正常范围的信号功率变化，控制模块会根据算法进行警报、微调。控制模块最重要的参数是采样、检测和反馈的速度，而参数的实现主要取决于芯片算力和软件算法。
- **显示面板**：显示面板主要作用是显示控制模块发出的信息。

图：射频电源工作原理

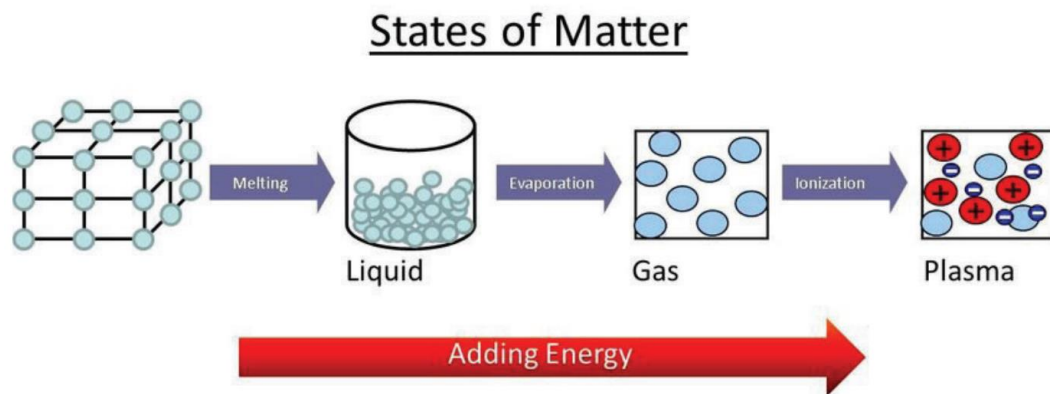


1.3 射频电源技术难点

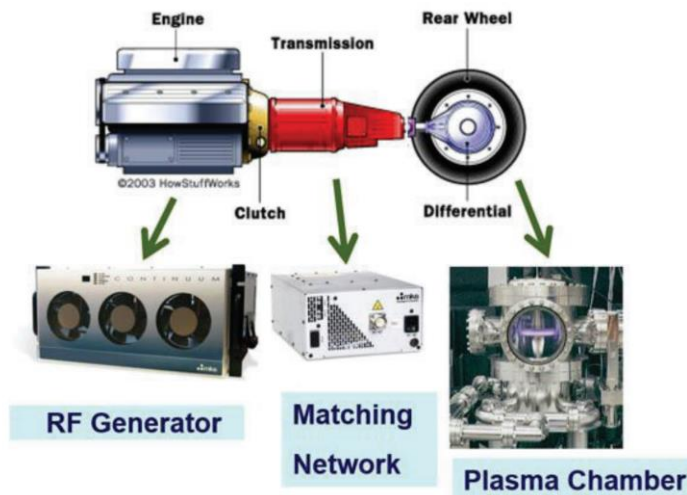
□ 1、核心技术难点在于参数稳定性、控制精度与阻抗匹配

- ✓ 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。
- ✓ 由于等离子体行为在微秒以下的时间尺度上演变，射频传输系统必须能够以非常低的群延迟感知和控制事件。为此，控制通常由高速数字控制器提供复杂的DSP(数字信号处理)和反馈/前馈控制算法。

图：等离子体变化过程示意图



图：射频能量驱动和维持等离子体示意图

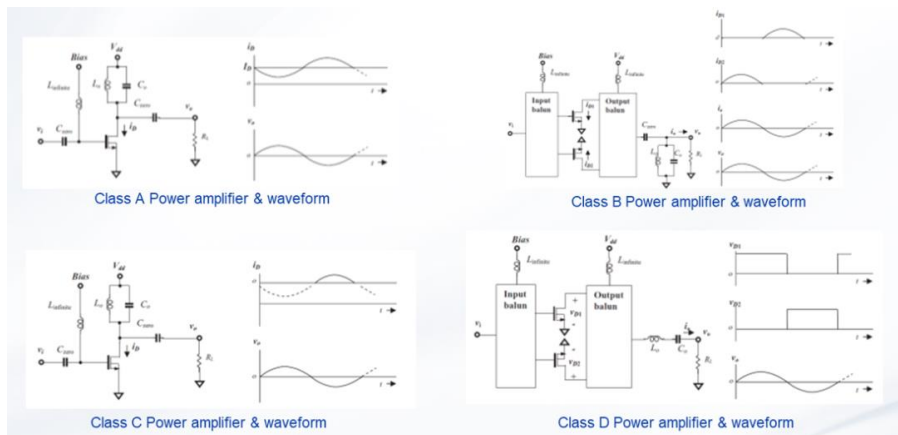


1.3 射频电源技术难点

□ 2、半导体制程微缩化发展，面临复杂工艺过程中功率输送的一致性与准确性问题

- ✓ 3D IC时代芯片制造工艺设备的电源系统，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。
- ✓ 匹配网络可以提供从等离子体室到发电机的固定、离散或连续阻抗转换。大多数匹配网络采用步进电机驱动的真空中变电容器(VVC)来调节等离子体阻抗变化时的阻抗变换。由于步进电机/VVC方法与等离子体动力学相比速度较慢，因此电子匹配网络正在兴起，用于脉冲射频、原子层沉积(ALD)和原子层蚀刻(ALE)等高速应用。

图：四类功放器波形



图：AENI Matching Networks射频匹配器



1.4 射频电源：产业发展瓶颈及行业趋势

- 目前国内先进等离子体设备中应用的射频电源，其主要技术性能（如输出功率、频率，阻抗匹配网络等）已和国外同类电源无甚差别，但在自动化水平、体积以及应用范畴方面还有一定差距。因而，要跟上国际水平，还需进行以下工作：
- ✓ 1、**小型化**：国内射频电源采用的都是电子管或电子管、晶体管混合电路，体积较大，在对体积有要求的地方，限制了应用。因此需要采用新兴的技术、新型的元器件，使射频电源固态化，更小型化。
 - ✓ 2、**阻抗自动匹配**：国外的阻抗自动匹配网络已产品化，设备更趋于完善。目前国内还是手动，在一般状况下能够满足工艺请求，但操作时稍不留意仍会匹配不佳。用自动匹配取代手动是目前需要解决的工作重点之一。
 - ✓ 3、**多类型**：我国需开扩射频电源的应用范畴，研制多性能、多种类的射频电源，如宽频带电源、微波电源等，为电源的发展开创新的道路。

表：射频电源主要技术参数

参数类型	描述
功率误差	代表实际输出功率与目标输出功率之间的偏差范围，数值越小越好。
频率误差	代表实际输出频率与目标输出频率之间的偏差范围，数值越小越好。
正向功率与反向功率	代表射频电源可输出功率的范围。
功率提升速度	代表射频电源功率从0W提升到目标功率需要的时间。
驻波比	代表发射波和反射波匹配程度的参数，当发射波和反射波不匹配时，在相位相同的地方电压最大形成波腹，在相位相反的地方电压最小形成波节，而波腹电压和波节电压之比就是驻波比。
谐波	谐波无法避免，但要必须控制在 $\leq -45\text{db}$ 的水平。
杂波	杂波无法避免，但要必须控制在 $\leq -45\text{db}$ 的水平。
电弧管理	需要避免产生电弧，因为电弧可能导致整批晶圆报废。

2

射频电源应用：

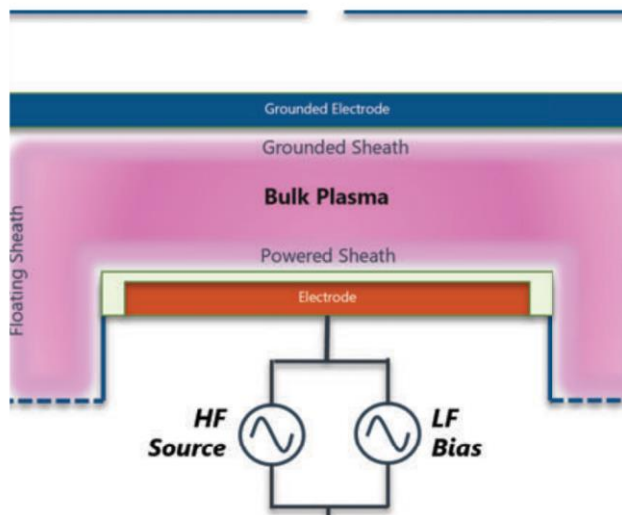
- ✓ 半导体：刻蚀、薄膜沉积、干法清洗、离子注入等
 - ✓ 光伏：PECVD、RPD等
 - ✓ 面板：TFT阵列制作、CELL成盒制作等

2.1.1 射频电源在半导体领域的应用：刻蚀

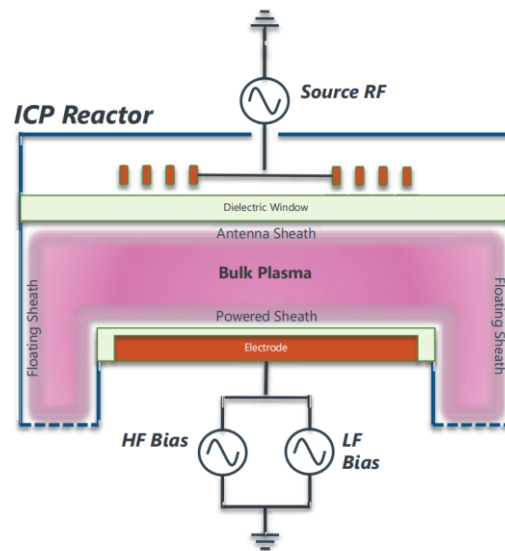
□ 刻蚀：

- ✓ 使用化学或物理化学的方法在刻蚀对象表面去除不需要的材料，可以分为干法刻蚀（等离子刻蚀）和湿法刻蚀，目前干法刻蚀在半导体刻蚀中占主流地位，市场占比超过90%。
- ✓ 刻蚀气体（主要是CF₄）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(通常为13.56 MHz)电离从而产生辉光放电，完成从气体分子到离子的转变，形成等离子体(Plasma)，提高气体反应活性。
- ✓ 射频电源是等离子刻蚀设备的核心部件，为设备提供稳定的射频源，用于电离气态的化学刻蚀剂，直接关系到反应腔体中的等离子浓度，均匀度以及稳定度。

图：电容耦合等离子体刻蚀(CCP)示意图



图：电感耦合等离子体刻蚀（ICP）示意图

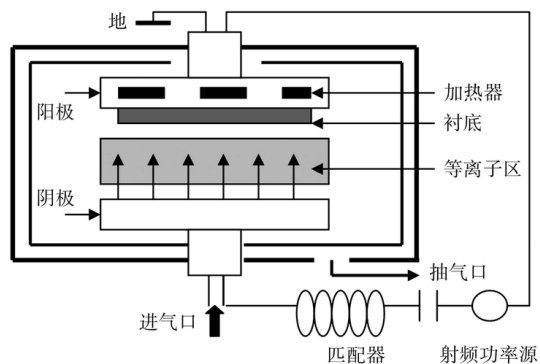


2.1.2 射频电源在半导体领域的应用：薄膜沉积

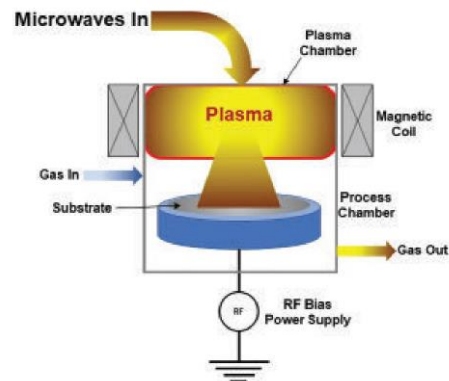
□ 薄膜沉积：

- ✓ 1、PECVD：主要通过射频电源使工艺气体离子化，然后离子化后的气体通过扩散到达衬底表面，进而发生化学反应，完成薄膜生长。射频电源是PECVD镀膜设备的核心部件，为设备提供稳定的射频源，以此生成辉光放电等离子体。
- ✓ 2、HDPCVD：是一种可以同时进行薄膜沉积与刻蚀制程的技术，极大提高了生产效率。HDPCVD设备有两个射频电源，其中一个射频电源（Source RF）用于产生并维持等离子体，而另一个射频电源（Bias RF）用于控制反应腔中高能粒子的轰击力度和方向，从而实现在小于 $0.5\mu\text{m}$ 的间隙中镀膜不产生夹断和空洞。
- ✓ 3、PEALD：将气相的前驱体A与等离子活性化的前驱体B交替地通入反应室，从而实现以单原子层的形式一层层沉积具有特殊功能的薄膜。射频电源主要为设备提供稳定的射频源来电离前驱体气体。
- ✓ 4、PVD：磁控溅镀设备通过射频电源使工艺气体电离，产生带正电的离子，然后通过大功率DC电源产生电磁场，使带正电的等离子体受到负电极的吸引，撞击位于负极的靶材。靶材上的原子受到撞击并脱落，最终沉积于基体表面，实现镀膜效果。

图：射频电源在PECVD设备的应用



图：HDPCVD系统示意图



2.1.3 射频电源在半导体领域的应用：干法清洗、离子注入

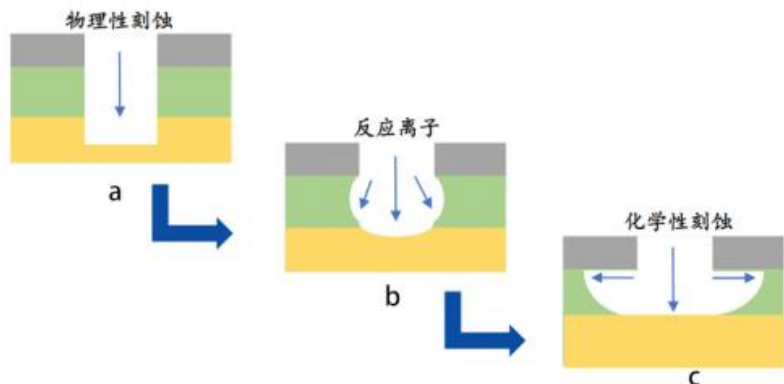
□ 干法清洗：

✓ 干法清洗设备的工作原理与等离子刻蚀设备类似，实质上是一种程度较轻的等离子刻蚀。干法清洗通过射频电源将化学气体电离，使其更容易与待清洗材料发生反应，并形成可挥发的生成物，最后将挥发的生成物抽离反应腔完成清洗。

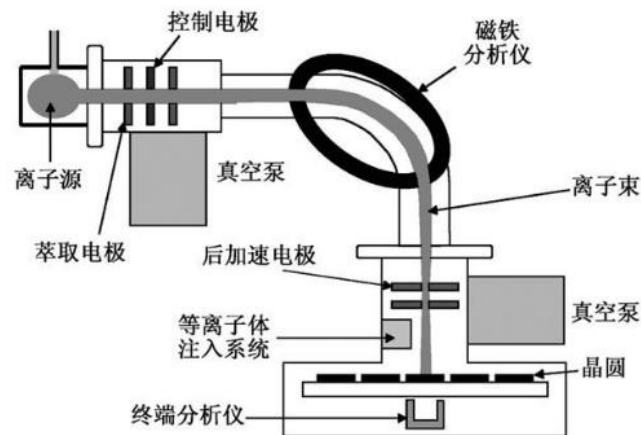
□ 离子注入：

✓ 离子注入是一种添加工艺，利用高能离子束冲击的形式，将掺杂原子打入半导体中，从而控制半导体的导电率。用离子注入的方式可以通过调整离子束电流大小和注入时间来控制掺杂物浓度，离子注入是目前最主要的掺杂方式。射频电源主要用于离子源的射频模块，为设备提供稳定的射频源来产生等离子体。

图：等离子体干法蚀刻示意图



图：离子注入示意图



2.2 射频电源在光伏领域、面板领域的应用

□ 光伏领域：

✓ 射频电源主要应用于PECVD及RPD中。

□ 面板领域：

✓ OLED显示面板又称为有机电激光显示面板，其生产工艺流程主要可以分为TFT阵列制作、CELL成盒、后段组装。射频电源主要应用于TFT阵列制作和CELL成盒的制作流程中。

表：射频电源在光伏领域的应用

工艺	清洗制绒	沉积非晶硅薄膜	沉积TCO薄膜	丝网印刷	低温固化	测试
设备	湿法设备	PECVD	PVD (RPD)	丝网印刷设备	低温烘干机	测试设备
使用射频电源	否	是	是	否	否	否

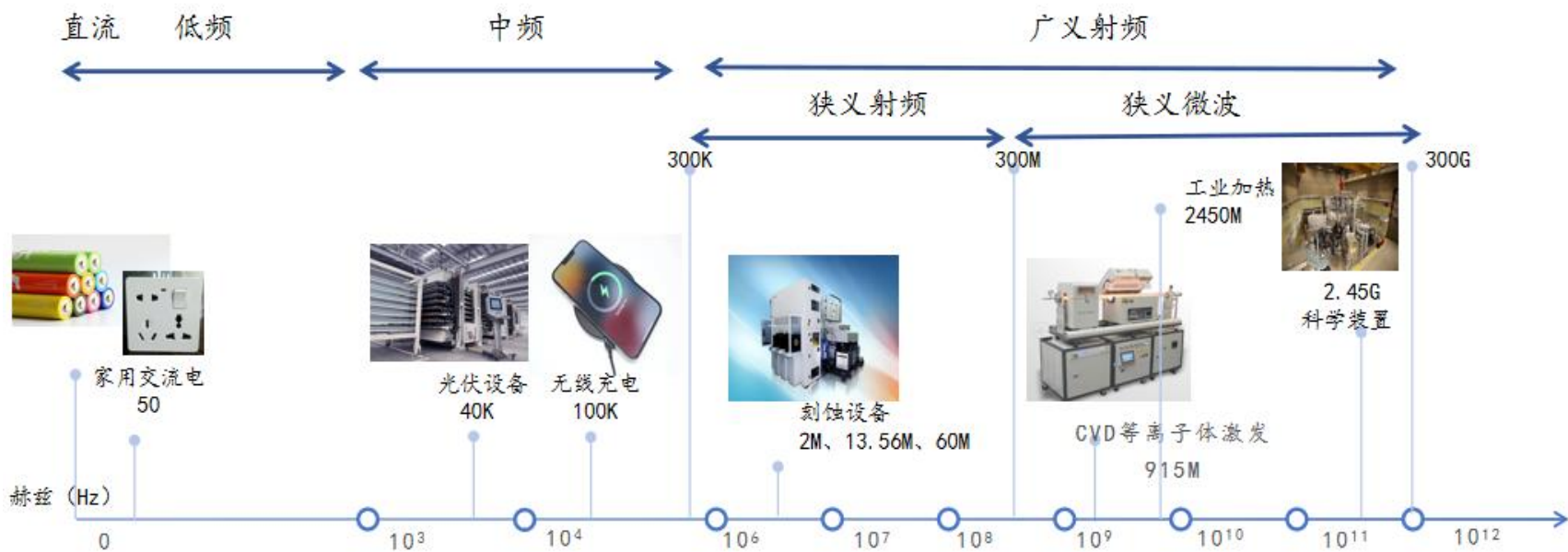
表：射频电源在面板领域的应用

TFT阵列制作						
工艺	基板清洗	镀膜	曝光	显影	刻蚀	剥离
设备	清洗机	PECVD、PVD	曝光机	显影机	湿法刻蚀	剥离机
使用射频电源	否	是	否	否	否	否
CELL成盒						
工艺	TFT清洗	蒸镀	封装		测试	
设备	清洗机	蒸镀机	金属封装、玻璃封装、薄膜封装		AOI测试设备	
使用射频电源	否	否	薄膜封装需要		否	

2.3 半导体 vs 光伏 vs 面板射频电源

□ 光伏设备通常使用能提供较高频率（如40KHz）的电源，半导体设备的射频电源功率在1KW-10KW之间（工作频率一般处于2MHz-60MHz之间），面板生产使用15KW-50KW的功率水平，和无线通讯的射频功率相比大很多，应用不同。

图：射频电源不同频率的应用场景



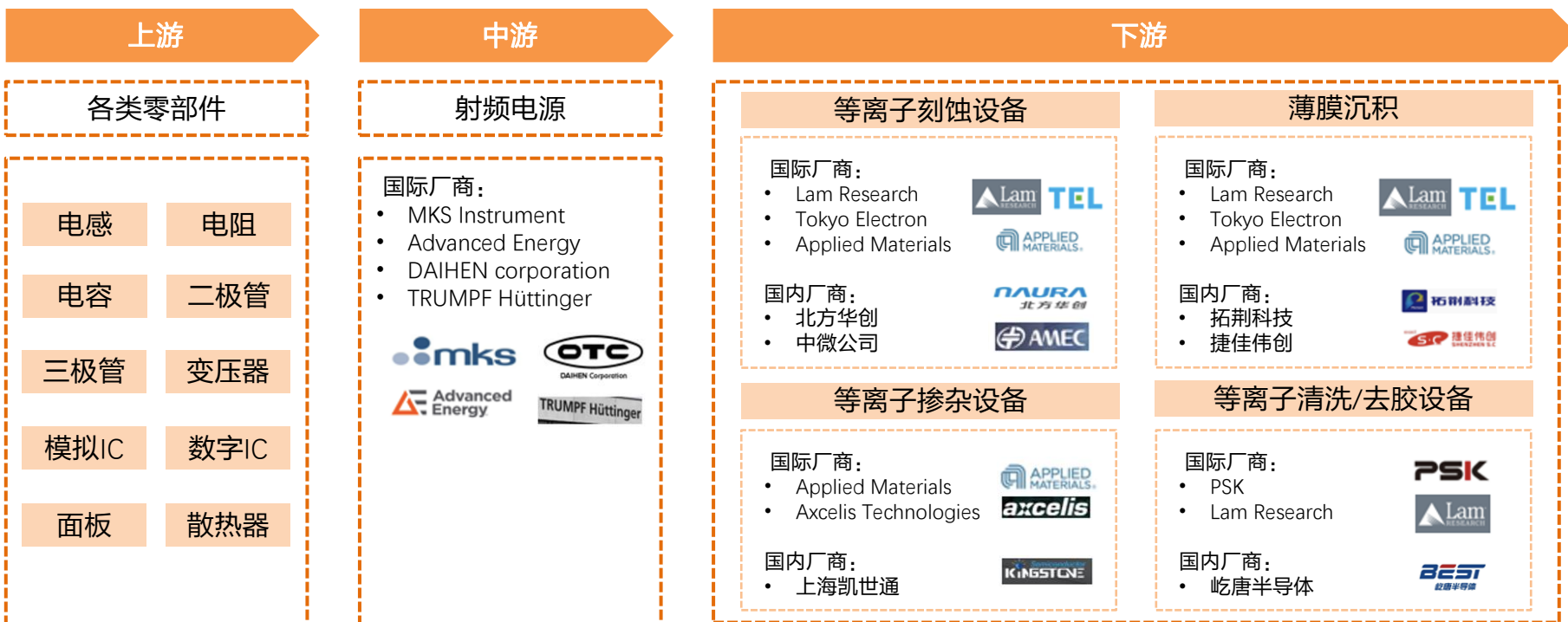
3

半导体射频电源市场： 国外头部企业垄断、市场集中度较高

3.1 射频电源产业链

- 上游：射频电源的上游核心零部件如电感、变压器等，主要依靠射频电源厂商自主设计；其余非核心的零部件如MOSFET等主要依靠封装厂供应。
- 中游：射频电源市场呈现国外头部企业垄断、市场集中度较高的竞争格局，目前射频电源领域尚无成熟的国内生产商。
- 下游：射频电源的下游厂商主要为半导体及泛半导体加工设备制造商，市场集中度较高。

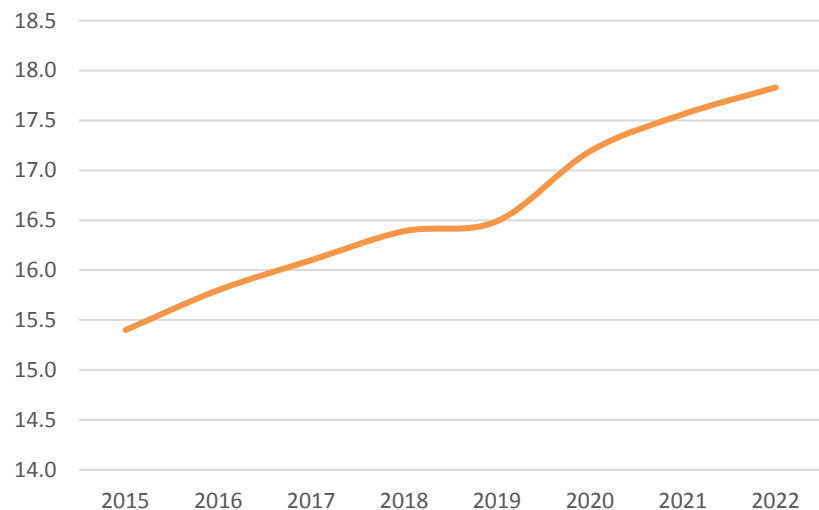
图：射频电源产业链



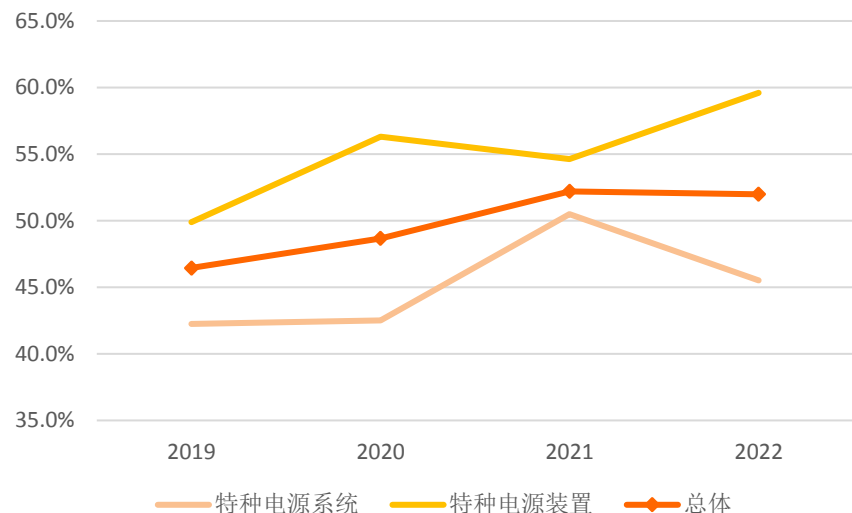
3.2 射频电源定价及毛利率

- 根据智研咨询数据显示，2022年中国射频电源行业产量约为29716台，需求量约为38548台，均价约为17.83万元/台。
- 以一台12吋刻蚀机为例，有8个腔，每个腔体有上电极和下电极，每个电极有一台射频和一台匹配器，共32台射频和匹配器。一台刻蚀机在射频电源和匹配器上的采购需要花费几百万，占一台设备总成本的12%左右。
- 根据英杰电气年报相关数据，其特种电源（含射频电源）总体毛利率处于50%水平，自2019年至2022年整体呈上升趋势。2022年，英杰电气特种电源系统的毛利率为45.5%，特种电源装置的毛利率为59.6%，特种电源总体毛利率为52%。

图：2015-2022年中国射频电源均价走势（万元/台）



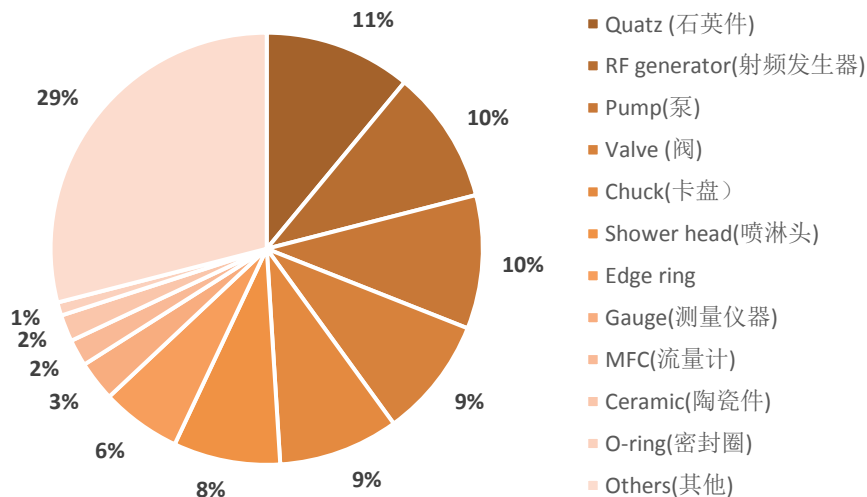
图：2019-2022年英杰电气特种电源毛利率（%）



3.3 半导体射频电源市场需求

- 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，未来主要增长点在于晶圆厂新增扩产+存量替换市场需求。
- ✓ 新增需求：射频发生器是射频电源的重要组成部分，据Yole统计，2022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。
- ✓ 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，需要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。

图：2020年中国晶圆厂商采购8-12寸晶圆设备零部件产品结构



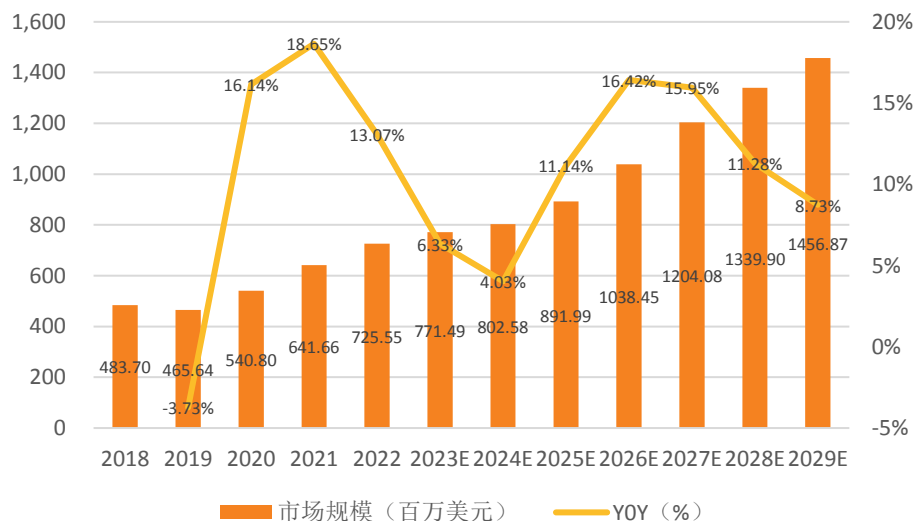
图：AENI RF Generator 射频发生器



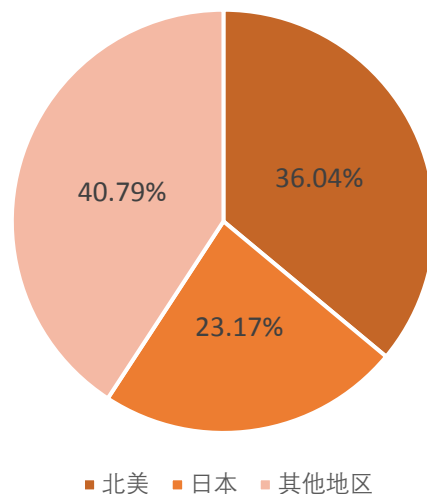
3.4.1 全球半导体射频电源：2022年市场规模7.26亿美元

- **全球半导体射频电源市场规模：**根据QYR（恒州博智）的统计及预测，2022年全球半导体射频电源市场销售额达到了7.26亿美元，预计2029年将达到14.57亿美元，年复合增长率（CAGR）为11.18%（2023-2029）。地区层面，中国市场（含中国台湾地区）在过去几年变化较快，2022年市场规模为96.6百万美元，约占全球的13.31%，预计2029年将达到188.52百万美元，届时全球占比为12.94%。未来几年，亚太地区的重要市场地位将更加凸显，除中国外，日本、韩国、印度和东南亚地区，也将扮演重要角色。此外，未来六年，预计德国将继续维持其在欧洲的领先地位。
- **全球半导体射频电源生产地区分布：**根据共研产业咨询披露的数据，2022年，全球半导体射频电源重要生产区域是北美、日本，合计占据全球近60%的市场份额，其中北美占全球的36.04%，日本占全球的23.17%。

图：2018-2029年全球射频电源市场销售额及增长率



图：2022年全球半导体射频电源重要生产区域分布



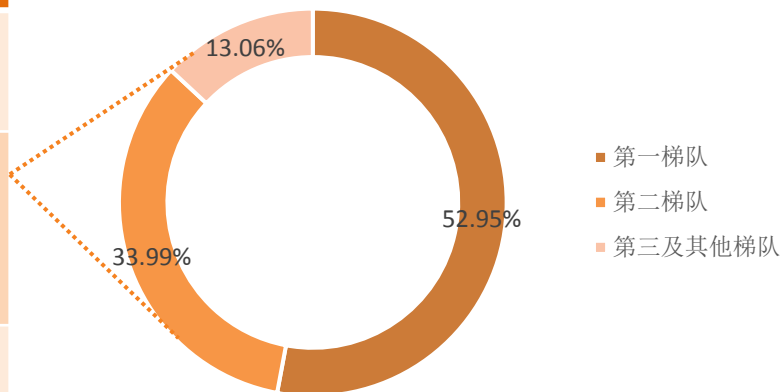
3.4.2 全球半导体射频电源：竞争格局较为集中，CR3≈52.92%

□ 全球半导体射频电源市场集中度：

- ✓ 全球范围内，半导体射频电源核心厂商主要包括万机仪器、美国优仪（AE）、日本大阪变压器株式会社、XP Power和通快等。
- ✓ 根据QYR（恒州博智）的统计，2022年，全球第一梯队厂商主要有万机仪器、美国优仪（AE）、日本大阪变压器株式会社，占有大约52.95%的市场份额；第二梯队厂商有通快、康姆艾德、京三制作所、北广科技、爱发科、日本电子株式会社、Adtec Plasma Technology、New Power Plasma等，共占有33.99%份额。

图：2022年全球射频电源市场集中度

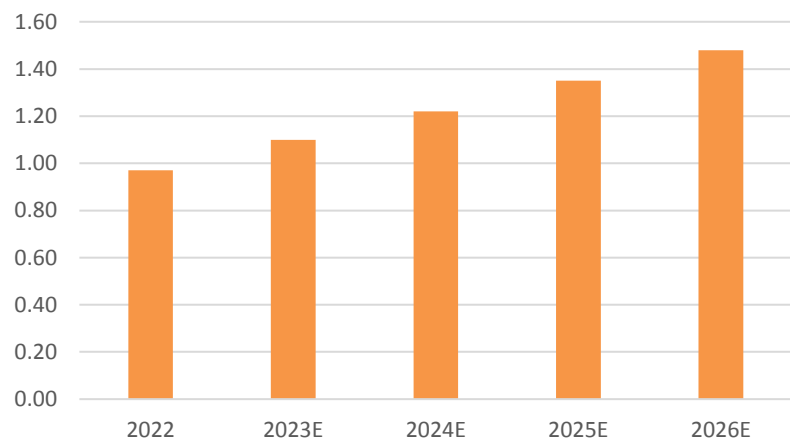
梯队	企业	市占率
第一梯队	万机仪器、美国优仪（AE）、日本大阪变压器株式会社	52.95%
第二梯队	通快、康姆艾德、京三制作所、北广科技、爱发科、日本电子株式会社、Adtec Plasma Technology、New Power Plasma等	33.99%
第三及其他梯队	其他企业	13.06%



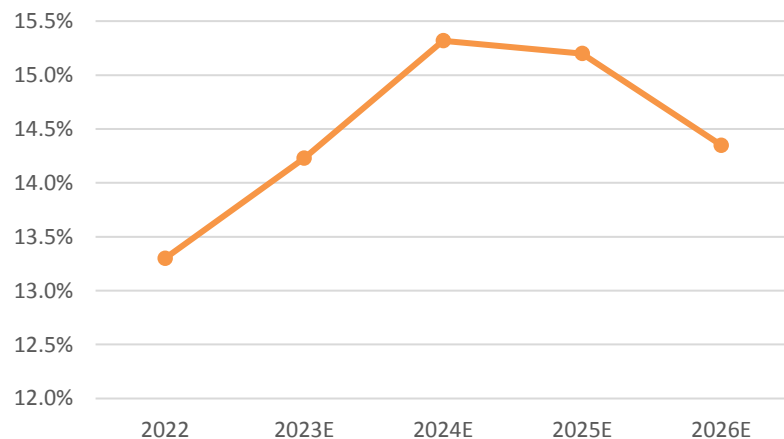
3.5 国内半导体射频电源：2022年市场规模0.97亿美元，约占全球13.31%

- **国内半导体射频电源市场规模：**随着国内半导体行业的持续稳步发展，中国半导体射频电源市场规模仍将保持着强劲的增长态势。根据共研产业咨询的统计及预测，2022年中国半导体射频电源市场规模为0.97亿美元，约占全球的13.31%，预计2023年将达到1.10亿美元，约占全球的14.23%。根据智研咨询数据，2022年中国射频电源行业产量约为29716台，需求量约为38548台。
- **国内相关企业：**国内射频电源基本依赖进口，主要研发单位主要包括北京北广科技股份有限公司、四川英杰电气股份有限公司、江苏神州半导体科技有限公司、深圳恒运昌真空技术有限公司等。随着半导体设备国产化的不断推进，国产零部件厂商逐步崭露头角，恒运昌、英杰电气、北广科技等射频电源企业在下游设备厂商的支持下逐步成长，在射频电源产品供应方面实现批量订单的突破。

图：2022-2026年中国半导体射频电源市场规模（亿美元）



图：2022-2026年中国半导体射频电源市场全球占比（%）



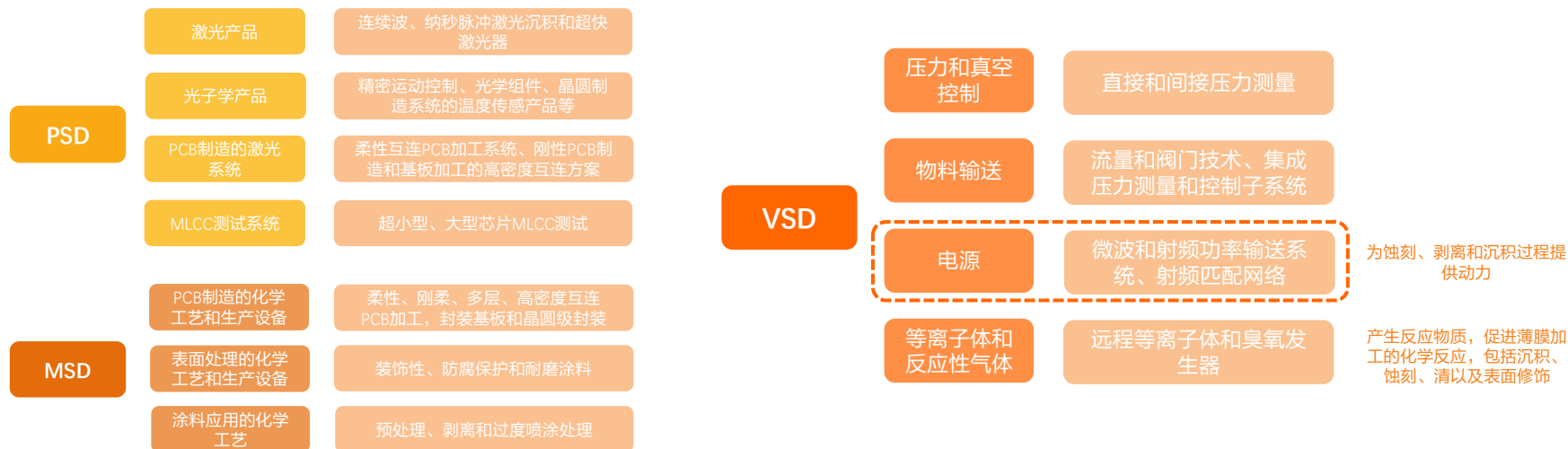
4

他山之石：论海外半导体射 频电源公司如何发展的？

4.1 MKS : 半导体环形等离子体源领导者

- MKS公司成立于1961年，为领先的半导体制造、电子封装以及特殊工业应用提供基础技术解决方案。
- 公司运用广泛的科学和工程能力，创造仪器、子系统、系统、过程控制解决方案和特种化学品技术，以提高过程性能、优化生产力并实现独特创新。公司产品可分为以下三部分：
 - ✓ 1、VSD (Vacuum Solutions Division) : 提供基础技术解决方案。VSD产品源于公司在压力测量和控制、流量测量和控制、气体和蒸汽输送、气体成分分析、电子控制技术、反应气体产生和输送、发电和输送以及真空技术方面的核心竞争力。
 - ✓ 2、PSD (Photonics Solutions Division) : 提供仪器、组件和子系统。PSD产品源自公司在激光、光子学、光学、温度传感、精密运动控制和振动控制方面的核心竞争力。
 - ✓ 3、MSD (Materials Solutions Division) : 在先进的表面改性、化学和电解电镀以及表面处理方面开发领先的工艺和制造技术，产品组合包括化学、设备、软件和服务。

图：MKS产品矩阵



4.1 MKS：半导体环形等离子体源领导者

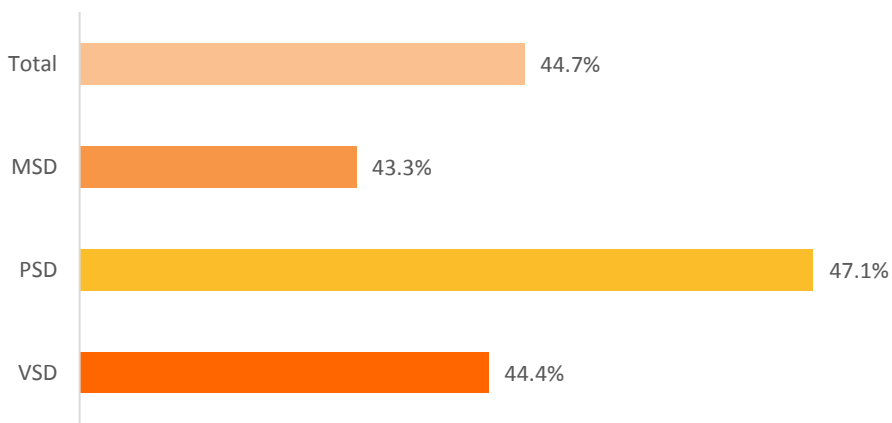
□ 根据MKS年报数据，2022年，公司VSD、PSD和MSD的产品毛利率分别为44.4%、47.1%和43.3%，整体毛利率为44.7%。

□ MKS射频功率发生器（属于VSD）：

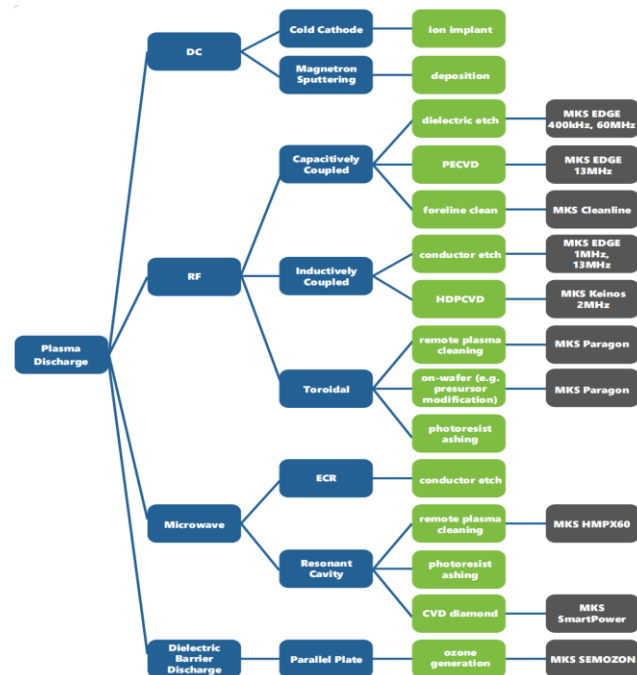
✓ 为薄膜加工设备提供可靠的固态功率，是半导体制造系统的重要组成部分，用于生产现代计算机和电子设备所需的集成电路（IC）或芯片。MKS 射频发生器与阻抗匹配网络和 V/I 探头相结合，形成了一个完整的射频传输系统。

✓ 相关产品主要包括：1）EDGE™射频等离子发生器、2）KEINOS™射频等离子发生器、3）Elite™射频等离子体发生器。

图：MKS总体及各部门（VSD、PSD、MSD）产品毛利率



图：等离子体源的分类、半导体加工中的典型应用及MKS相应产品



4.1 MKS：半导体环形等离子体源领导者

□ EDGE™射频等离子发生器

- ✓ 采用最先进的射频拓扑结构、获得专利的内在功率放大器保护、改进的设计余量和嵌入式V-I传感器，可实现卓越的可靠性、可重复性和准确性。发生器的频率从400kHz到60MHz，并拥有不同的功率水平，以满足蚀刻应用不断增长和多样化的需求。EDGE™射频发生器提供开关/关闭脉冲、多级脉冲和脉冲整形，此外，还提供了许多频率调谐选项，可根据工艺和脉冲条件将反射功率降至最低。

□ KEINOS™射频等离子发生器

- ✓ 专为在经历快速阻抗变化的环境(如PECVD和等离子体蚀刻)中的脉冲工作应用而设计。KEINOS™系列可提供高达13 kW的功率、高达50 KHz的脉冲，多个设定点脉冲、脉冲整形和频率调谐。

图：EDGE™射频等离子发生器



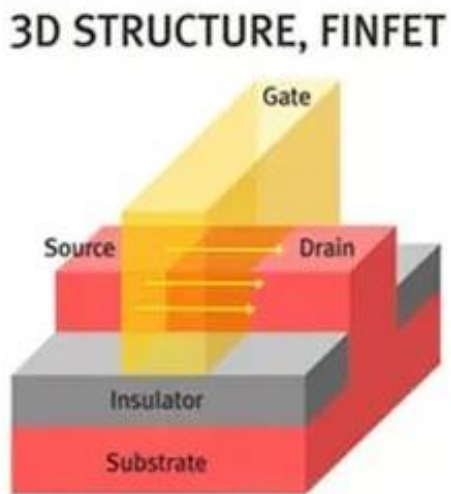
图：KEINOS™等离子发生器



4.1 MKS面向FinFET开发自适应脉冲技术，以一致的脉冲提供射频功率

- 在半导体制造过程中，最新的超小型晶体管设计转向非平面几何形状（称为FinFET）以提供更低的漏电流，从而提高每瓦能耗的性能。对于像FinFETs这样的超小型几何形状，选择性的概念（蚀刻目标材料而不是掩模）对蚀刻过程至关重要。脉冲射频有助于管理选择性和蚀刻速率之间的权衡。
- MKS与一家OEM客户合作研究用于FinFETs的先进蚀刻技术，开发了自适应脉冲技术（Adaptive Pulse Technology），提供可重复的脉冲，从而实现精确的轮廓控制。通过以一致的脉冲提供射频功率，可用于蚀刻的能量是确定的，从而更好地控制关键尺寸并最大限度地减少周围区域的晶格损毁。

图：FinFET示意图



图：Elite™ 13.56 MHz射频等离子体发生器



4.2 Advanced Energy：半导体射频电源优质供应商

- Advanced Energy（AE）主要为全球OEM（Original Equipment Manufacturers）和终端客户提供广泛的半导体和工业技术应用，提供广泛的先进和嵌入式电源产品。
- 公司的产品主要分为7类：等离子电源产品、AC-DC电源、DC-DC电源、高压电源、高压放大器、可控硅功率控制器、传感与测量。
- 等离子电源：
 - ✓ 包括功率输出系统、射频匹配网络、射频等离子体发生器、脉冲和直流电源系统，以及用于反应气体的远程等离子源。
 - ✓ 广泛用于多种半导体薄膜工艺，包括等离子干法蚀刻、干法剥离、原子层蚀刻、原子层沉积、化学气相沉积、物理气相沉积、电化学沉积和离子注入。此外，这些解决方案还用于平板显示器、太阳能电池制造、建筑玻璃镀膜、薄膜镀膜、光学镀膜和硬镀膜等行业的先进材料加工。
- 2021年6月1日，公司收购了TEGAM, Inc.(总部位于俄亥俄州日内瓦)100%的股权，为公司在半导体、工业和医疗市场的射频电源解决方案增加了计量和校准仪器。





图：Advanced Energy 产品矩阵






4.2 Advanced Energy : 半导体射频电源优质供应商

- 公司的射频等离子体发生器分为四个系列：eVerest、Apex、Paramount、Paramount Plus。
- 射频匹配网络分为三个系列：Navigator II、Navigator II FCI、Navio。

图：AE各系列射频等离子发生器

			
Series Name eVerest	Series Name Apex	Series Name Paramount	Series Name Paramount Plus
Product Type RF Plasma Generators	Product Type RF Plasma Generators	Product Type RF Plasma Generators	Product Type RF Plasma Generators
Description Angstrom Era Precision Power	Description High-Power Density for Compact Installation	Description Industry-Leading, Repeatable Power Delivery for Core Plasma Applications	Description Multi-Level Pulsing and Pulse Waveform Control for Emerging Plasma Applications
Output Frequency (MHz, kHz) 1 to 60 MHz	Output Frequency (MHz, kHz) 13.56 MHz	Output Frequency (MHz, kHz) 2 to 60 MHz	Output Frequency (MHz, kHz) 1 to 60 MHz
Power Level (kW) 3.5 to 10 kW	Power Level (kW) 1.5 to 10 kW	Power Level (kW) 3 to 15 kW	Power Level (kW) 5 to 15 kW

图：AE各系列射频匹配网络

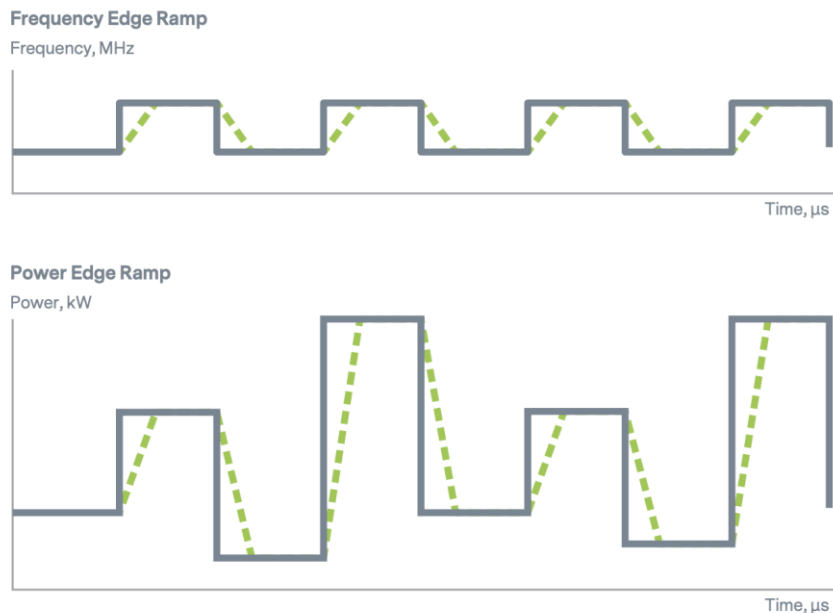
		
Series Name Navigator II	Series Name Navigator II FCI	Series Name Navio
Product Type RF Match Networks	Product Type RF Match Networks	Product Type RF Match Networks
Description Rapid, Accurate, and Reliable Digitally-Tuned Matching	Description Agile, Precise Power Delivery for Demanding High-Speed Matching Applications	Description Economical, Digital, Configurable Matching Network Solution
Output Frequency (MHz, kHz) 400 kHz to 60 MHz	Output Frequency (MHz, kHz) 13.56 MHz	Output Frequency (MHz, kHz) 13 MHz
Power Level (kW) 1 to 60 kW	Power Level (kW) 1.5 kW	Power Level (kW) 1 to 5 kW

4.2 Advanced Energy：更稳定的eVerest系列射频等离子体发生器

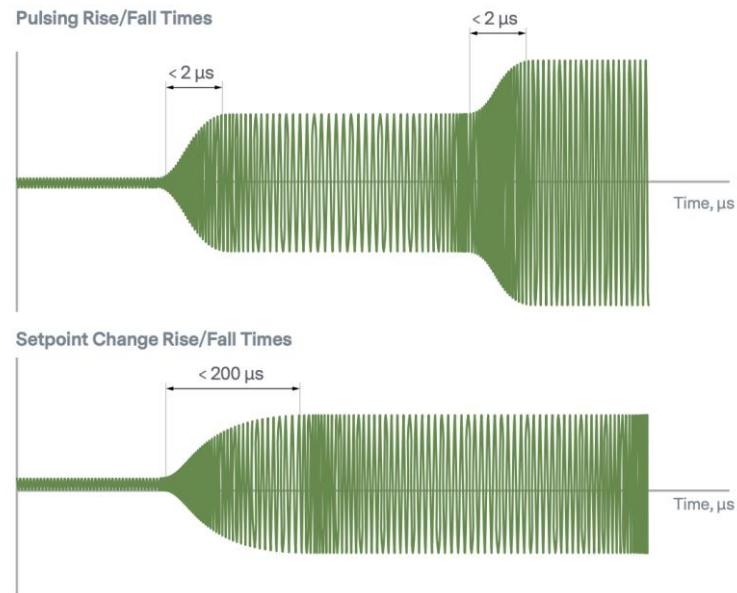
□ 特色产品——eVerest系列射频等离子体发生器：

- ✓ 半导体行业加速走向新的拐点，eVerest™射频发生器满足了变革性等离子体控制的需求。其可配置的多级脉冲，可实现瞬时调节。此外，高速、高精度、基于模型的频率调谐和宽频率扫描范围，可提供更高的过程稳定性。
- ✓ 能够实现 $< 2 \text{ nm}$ 的沉积和蚀刻轮廓的新颖工艺开发，并能够无缝集成到任何等离子系统。

图：不稳定区域（频率或功率急剧变化）调节示意图



图：瞬时脉冲变化示意图

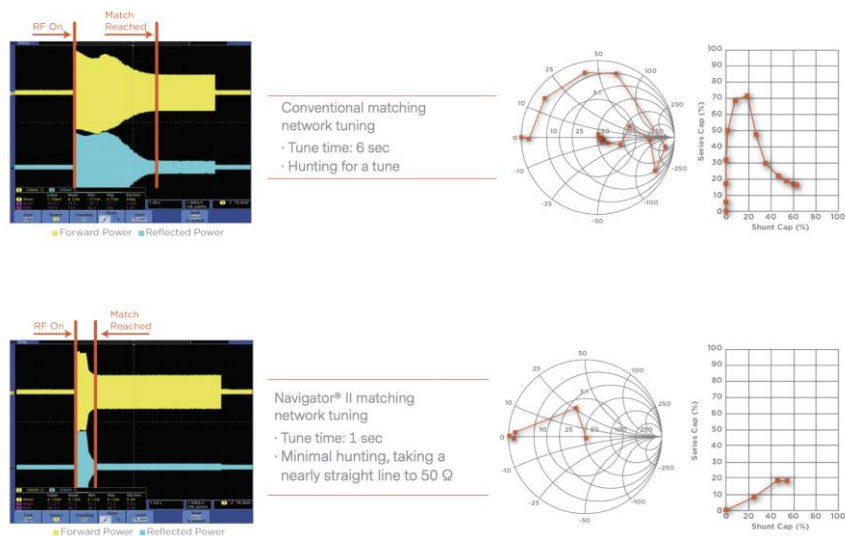


4.2 Advanced Energy: 更快更准的Navigator II系列射频匹配网络

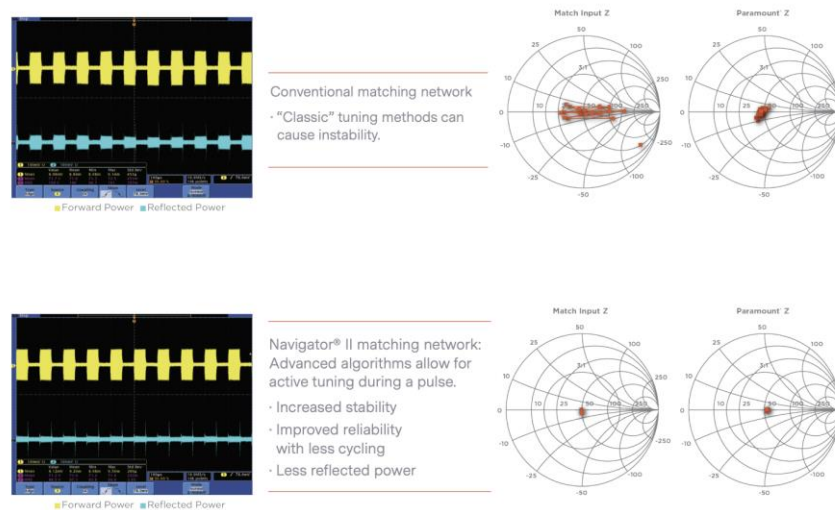
□ 特色产品——Navigator II系列射频匹配网络:

- ✓ 多功能Navigator II匹配网络提供快速、准确和可靠的匹配，可满足高达30kW的功率要求，和高达60MHz的频率要求。
- ✓ 快速、准确：配备了微处理器控制的步进电机驱动器和先进调谐算法，提供了比传统基于模拟调谐方法更强的准确性，提高了调谐速度、精度和可重复性（见下方左图）。
- ✓ 高级调谐脉冲：使用射频等离子体脉冲来控制离子能量是开发精确、先进的蚀刻和沉积工艺的关键。Navigator II匹配网络的新型输入传感器和相应的调谐算法允许在脉冲射频条件下进行精确调谐，最高可达20kHz（见下方右图）。

图： Navigator II系列射频匹配网络与传统效果对比一



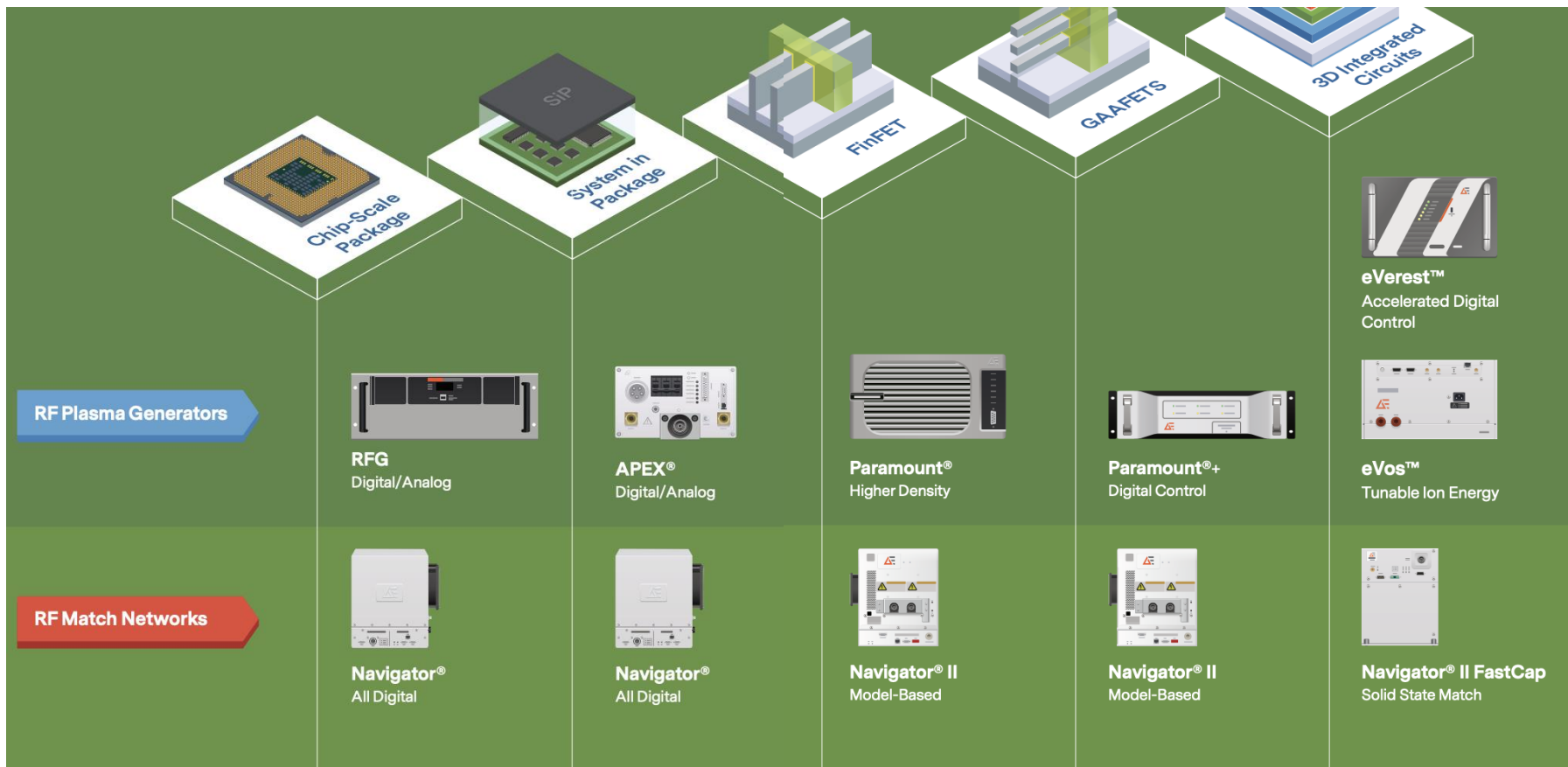
图： Navigator II系列射频匹配网络与传统效果对比二



4.2 AE深耕全射频传输系统，为多种工艺提供不同产品匹配方案

□ AE公司提供全射频传输系统长达20年，有多种匹配方案可供选择（如下图所示）。

图：AE全射频传输系统的产品匹配方案



4.2 AE专有算法PowerInsight，应对匹配网络生命周期的不确定性

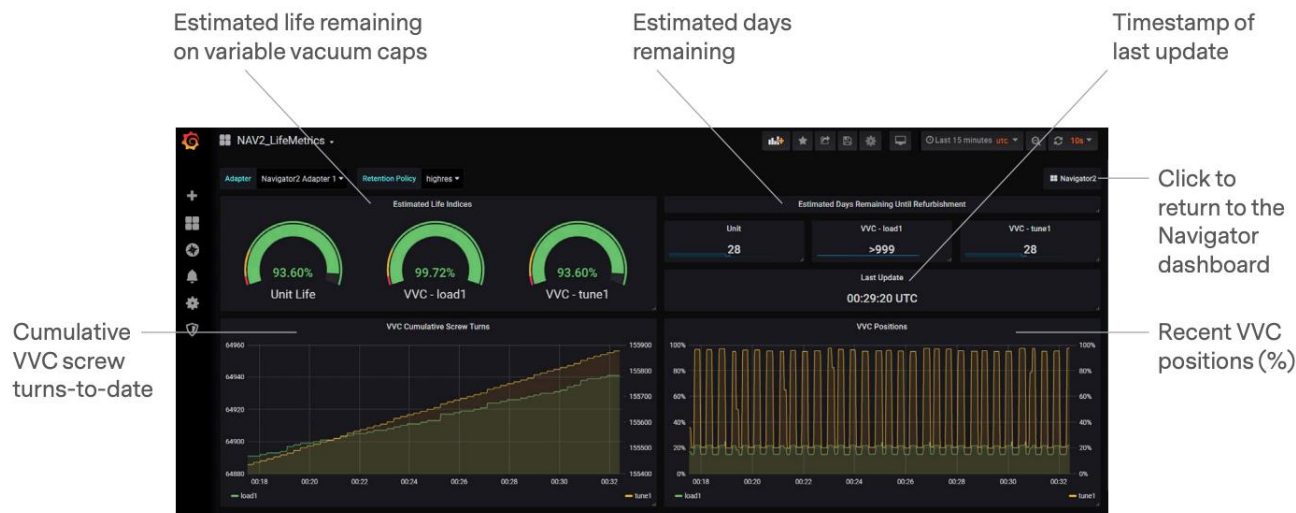
□ 应用挑战：测量真空电容器的健康状况并预测维护

✓ 真空电容器是匹配网络的关键部件，预测其剩余寿命有助于防止晶圆室和匹配网络的意外停机和昂贵维护。理想的情况是，匹配机内的真空电容器剩余寿命完全取决于时间或能量，然而，匹配网络的生命周期在很大程度上取决于使用模式和应用程序，因为有无数的独特的设置和过程。

□ 问题应对：AE提出PowerInsight解决方案

✓ Advanced Energy的专有算法PowerInsight将公司数十年的电力输送应用知识转化为用户友好的仪表板，准确预测真空电容器的使用寿命，可以制定更准确的翻新计划，并通过避免意外的停机来减少生产损失。

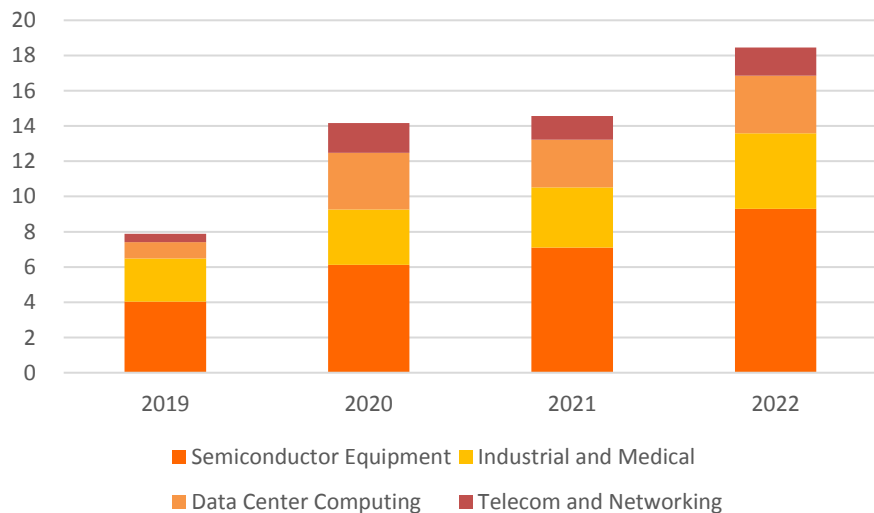
图：PowerInsight界面示意图



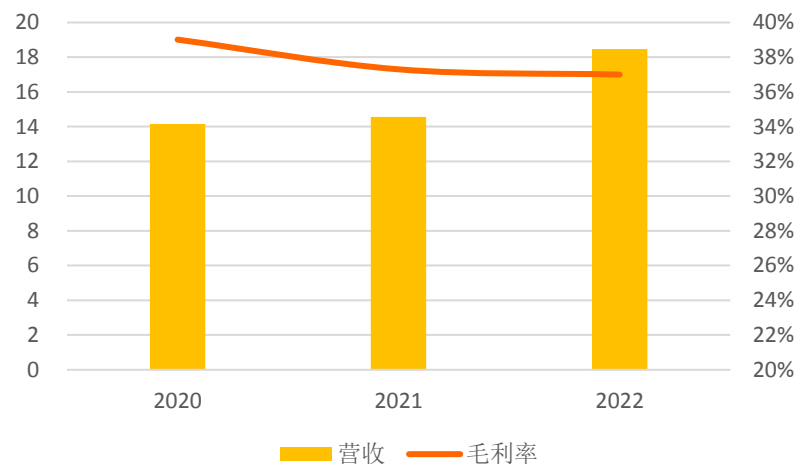
4.2 Advanced Energy：半导体射频电源优质供应商

- 在半导体市场中，除蚀刻和沉积工艺，先进节点的复杂性推动了晶圆厂其他工艺步骤的增加，公司作为关键技术提供商积极参与其中。公司的全球服务团队提供全面的本地维修服务，升级改造产品以延长客户的设备使用寿命。
- 自2019-2022年，公司在半导体设备领域的收入逐年提升，2022年，半导体设备市场的收入为9.31亿美元（占比达总收入的50.5%）。公司毛利率处于40%水平，近几年略有下降，主要由于稀缺零件需支付额外费用，导致材料成本上升。
- 公司在半导体设备市场的战略是通过新的设计和产品来捍卫在核心应用中的地位，在市场份额较低的应用中增加市场地位（如远程等离子体源和介质蚀刻），并利用公司在嵌入式电源、高压电源系统、关键传感和控制等领域的产品组合来增加市场份额。

图：2019-2022年AE分市场收入（亿美元）



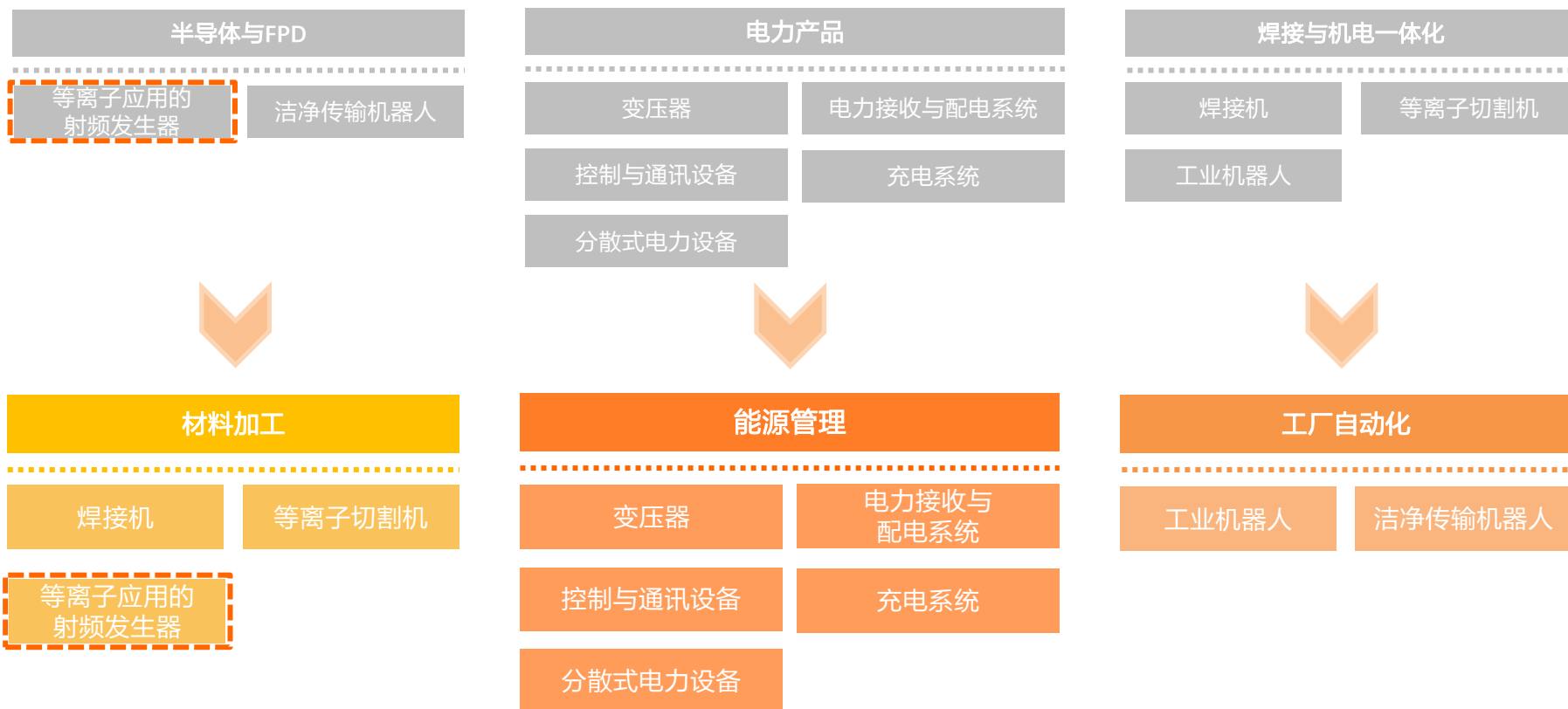
图：2020-2022年AE营收及毛利率（亿美元；%）



4.3 DAIHEN Corporation

- DAIHEN Corporation制造和销售各种变压器、配电设备、分散电源设备、焊接机、工业机器人、等离子体应用射频发生器等。
- 2023年，公司将原业务板块（电力产品、焊接与机电一体化、半导体与FPD）重新划分为三个板块：1）能源管理、2）工厂自动化、3）材料加工。

图：DAIHEN Corporation产品矩阵



4.3 DAIHEN Corporation发展历程

□ 1919年-1980年：

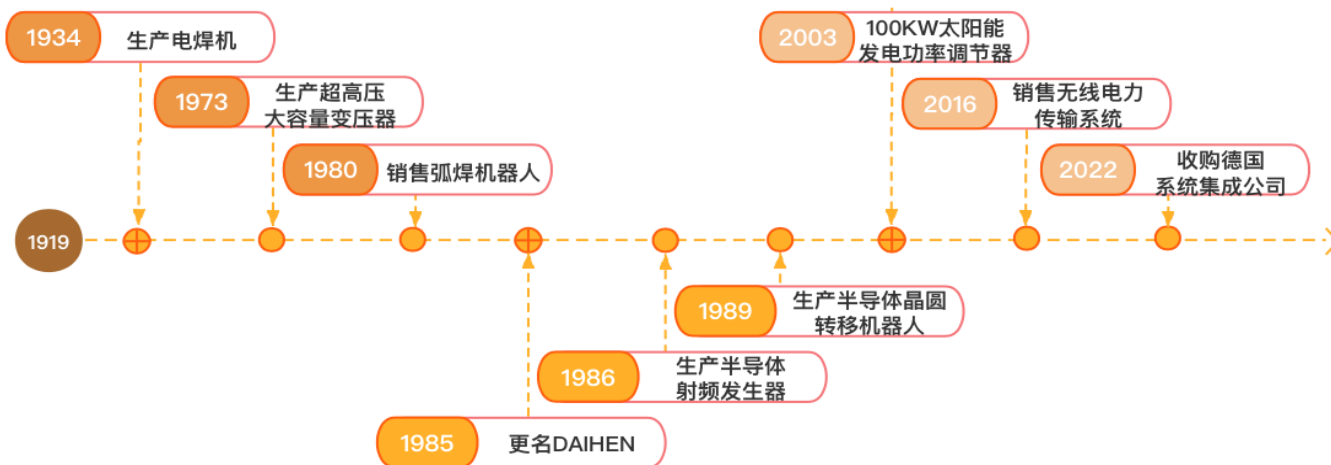
- ✓ 1919年12月公司以大阪变压器株式会社为名成立，开始专业生产杆式变压器。1934年开始生产电焊机，1973年开始生产超高压大容量变压器，1980年开始销售弧焊机器人。

□ 1981年-2000年：

- ✓ 1985年公司更名为DAIHEN株式会社，确立了“可靠性与创新性”的企业理念。1986年开始生产半导体制造设备用的射频（RF）发生器，1989年开始生产半导体晶圆转移机器人。1998年收购历史悠久的焊机制造商大阪电机有限公司。

□ 2001年-至今：

- ✓ 2003年开发100KW太阳能发电功率调节器，领先业内其他公司。2014年收购斯洛文尼亚的焊机制造公司VARSTROJ d.d.，2015年收购Chugoku Electric Manufacturing Company 60%的股份，与CHUGOKU电力株式会社联合运营。2016年开始销售无线电力传输系统。2019年收购德国系统集成公司Laso Tech Systems GmbH，2022年收购德国系统集成公司Femitec GmbH。

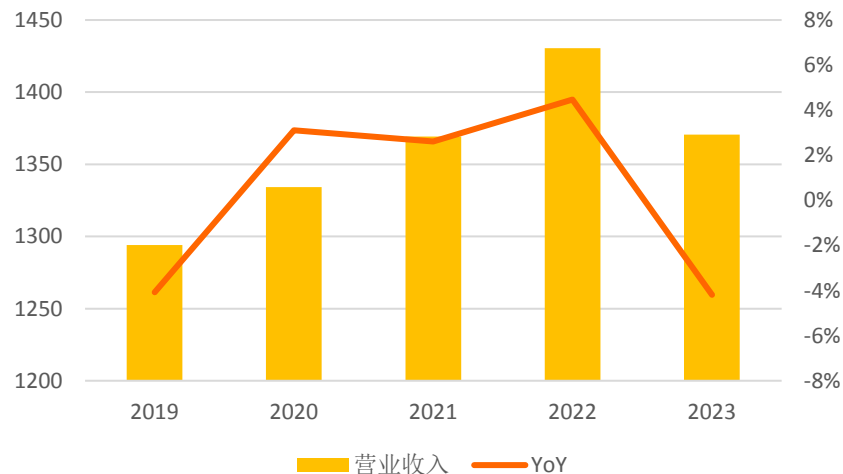


4.3 半导体企业投资推迟，DAIHEN射频发生器系统需求受到影响

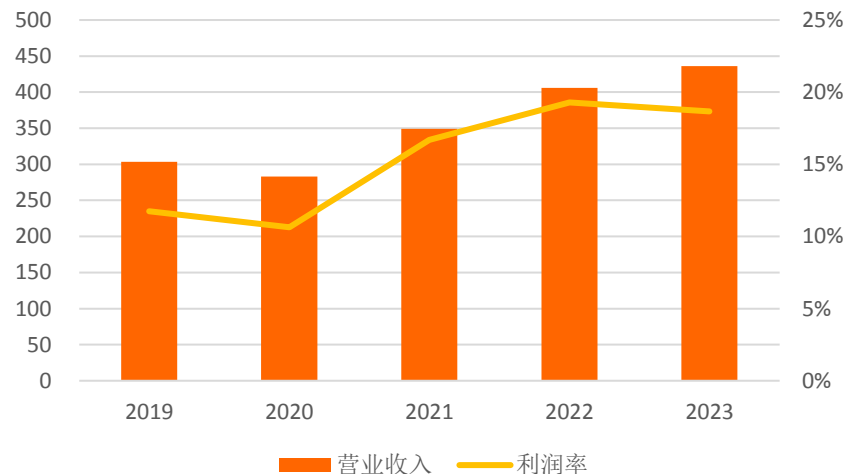
□ 半导体与FPD业务板块：

- ✓ 虽然半导体市场预计中长期内对生成型人工智能等产品的需求将会增加，但在智能手机和个人电脑(pc)需求下降的背景下，半导体企业推迟投资，对半导体制造用射频发生器系统需求减少的影响较大。
- ✓ 2023年，公司营业收入1371百万美元，同比下降4.18%。公司半导体与FPD业务营业收入为436百万美元（同比增长7.44%），占总营收的32%，利润率为18.67%，相较2022年下降0.6pct。

图：2019-2023年DAIHEN营收及增长率（百万美元；%）



图：2019-2023年半导体与FPD业务营收及利润率（百万美元；%）



4.3 DAIHEN在射频电源领域的产品及进展

- 高密度等离子体工艺要求可重复性、稳定性和精密的等离子体控制，以满足完美工艺的要求。DAIHEN凭借多年在电力电子领域的专业知识，开发了用于自动调谐的RF/MW发电机和匹配装置。
- 公司使用内部等离子体评估室进行技术开发（如脉冲输出和频率调谐）、产品性能评估以及功能改进。通过对整个射频功率系统的性能评估（如多频应用），公司正在开发与最先进的等离子体工艺相对应的高频系统。此外，通过在向客户提供评估机之前进行等离子体评估，缩短了客户设备所需的评估周期。
- “AVANCER”——高度可靠的射频功率发生器
 - ✓ 在半导体领域，诸如小型化和三维应用等技术创新不断发生，使它们更加紧凑，并在其中包含更多的功能。“AVANCER”射频功率发生器配备了下一代半导体制造工艺所需的各种功能，如脉冲RF输出和节能。

图：DAIHEN内部等离子体评估室



图：“AVANCER”射频功率发生器



5

半导体射频电源相关标的

5.1 英杰电气

- 公司是工业电源行业起步较早、规模较大的专业电源供应商，在产品研发、技术创新方面一直保持高投入。通过多年的技术积累，已经形成从小功率到大功率、从低电压到超高压等不同功率等级的工业电源及特种电源技术共享平台。
- 公司生产的特种电源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、射频电源等。
- 射频电源相关产品：
 - 1) 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。
 - 2) RLS系列射频电源：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。
 - 3) 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。

图：RHH系列射频电源



图：RLS系列射频电源



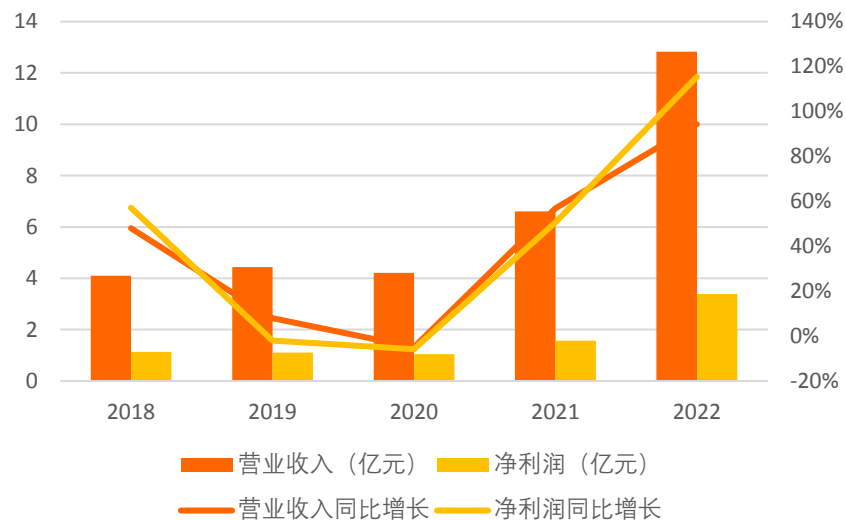
图：RMA系列匹配器



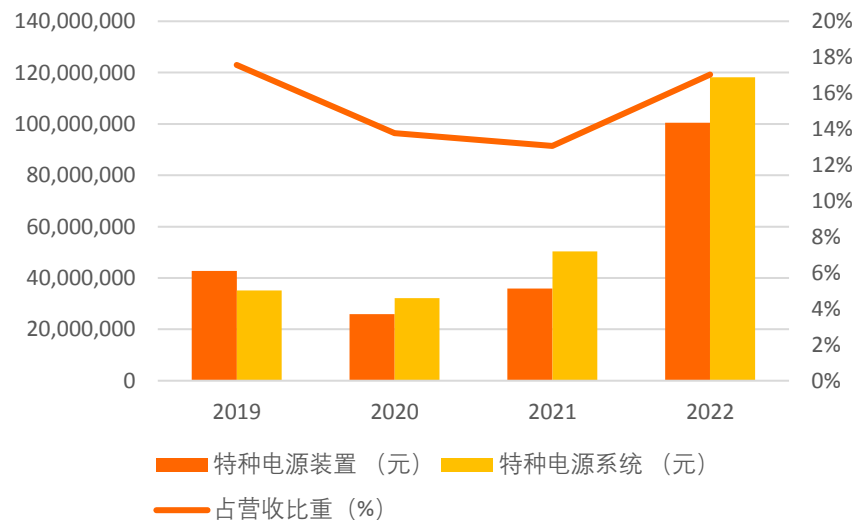
5.1 英杰电气

- 2022年，公司营收12.83亿元，其中特种电源（特种电源装置、特种电源系统）营业收入为2.19亿元，占全部营收的17.04%。
- 半导体行业产品市占率：公司半导体设备端的MOCVD已经实现进口替代7-8年，在半导体等电子材料的其他多个细分行业的市占率超过50%。射频电源方面，技术上能实现替代的公司目前并不多，公司属于第一梯队。除半导体等电子材料行业外，公司电源产品还涉及几十个细分行业，在已经形成稳定市场供求关系的行业中，公司在大多数行业的市占率超50%，这也是公司近三十年长期专注耕耘于工业电源领域，不停探索积淀的结果。
- 射频电源定价：不同设备功率的大小、频率的高低，以及不同行业参数要求的不同，都会造成价格上的差异，公司主要从成本端进行定价考虑，单台价格从几万到二三十万不等。

图：2018-2022年英杰电气营收及利润情况



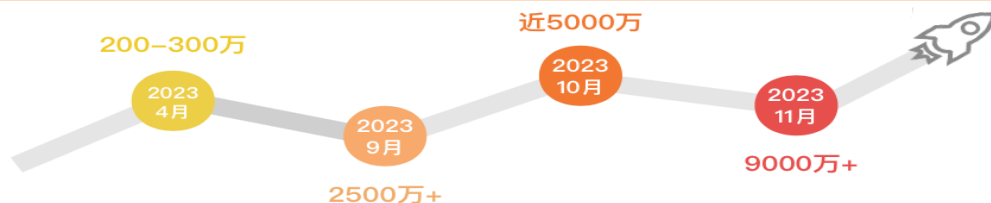
图：2018-2022年英杰电气特种电源营收情况



5.1 英杰电气

- 目前，公司已经具备了半导体设备（刻蚀机、PECVD等）部分机台射频电源的国产化替代以及量产的能力，其余机台的射频电源研发也正在有序推进，推进进度良好。公司也有生产射频电源的自动匹配器，其他功率器件兼具国外采购和国内供应。
- 公司的量产能力相较其他公司有自身优势，新建的射频电源洁净车间已经投入使用数月，目前已经进入相对繁忙的工作状态。同时，公司有计划再增加一条射频电源生产线，以满足后期可能的进一步放量的生产需求。
- 射频电源团队保障方面，全资子公司“英杰晨晖”专门负责射频电源的生产。研发、生产、工艺、品质的保障都趋于专门化、专业化，以保证产品批量供应后的品质稳定性。
- 射频电源订单情况：
 - ✓ 2023年4月，公司射频电源订单量200-300万。
 - ✓ 截至2023年9月30日，公司射频电源订单共有2500多万。
 - ✓ 截至2023年10月底，公司射频电源订单已近5000万。
 - ✓ 截至2023年11月底，公司射频电源订单已有9000多万，其中绝大部分是半导体设备端的电源订单，还有少部分在其他行业，订单数量级别已达批量供应阶段。
- 除了一些重点客户外，公司还在为一些客户做定制研发，处于测试阶段。公司的射频订单中，约有10%属于定制订单，将来定制研发状况好的情况下，有形成批量订单的可能性。

图：英杰电气射频电源订单情况



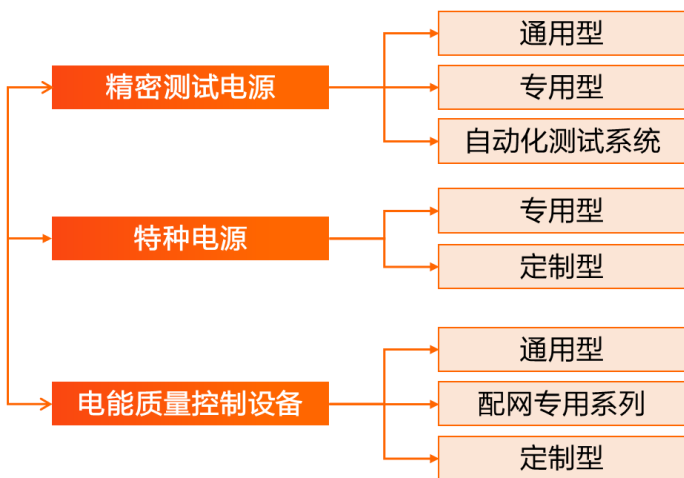
5.2 爱科赛博

□ 公司主要从事电力电子交换和控制设备的研发、生产和销售，主要产品为精密测试电源、特种电源和电能质量控制设备，在电力电子行业“器件-设备-应用系统”产业链中位居中段，产品广泛应用于新能源、特种装备、民航保障、轨道交通、科研实验、半导体、数据中心等新兴前沿领域。根据中国电源学会2022年出具的鉴定意见，公司测试电源相关技术关键性能指标已经达到或超过进口品牌。

□ 特种电源：

- 用于高端装备或特种装备特殊用电需求，主要用于航天、轨交、科研和先进制造。
- 公司已经和某半导体装备企业展开合作，为其开发 MOCVD 设备（用于半导体镀膜）所需的特种电源设备。

图：爱科赛博产品系列构成



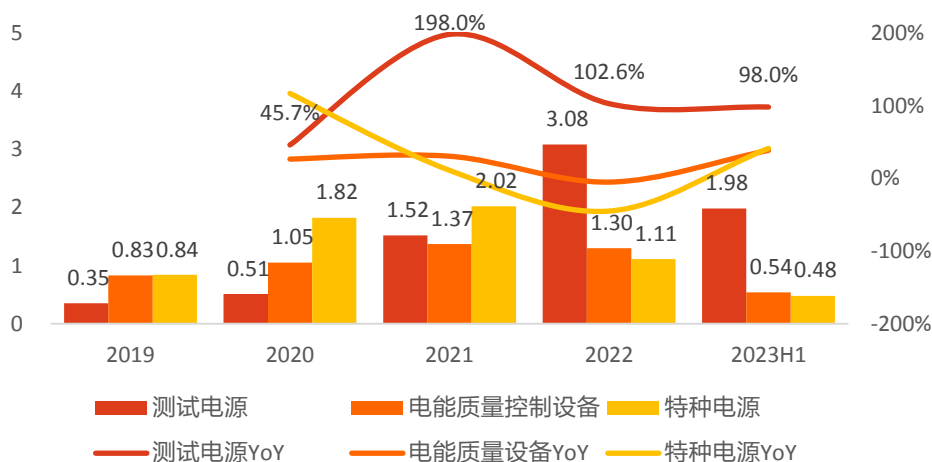
表：爱科赛博主营业务

项目	精密测试电源	特种电源	电能质量控制设备
产品功能	用于电气电子设备或其关键部件在研发、生产、认证环节的电气性能测试	用于满足高端装备或特种装备的特殊用电需求	用于解决供电系统的电压与电流相关问题，保障配电网及用户电气设备可靠、安全、高效运行
下游应用	主要应用于光伏储能、电动汽车和科研试验等领域	主要应用于特种装备、民航保障、轨道交通、科研试验和高端工业等领域	主要应用于特种装备、公共配电网、轨道交通、数据中心、工业企业等领域
主要客户	华为、固德威、南德认证、比亚迪、上海电器科学研究所等	中航集团、航空工业、中国航天、中国铁建等	中国铁路、南方电网、中国移动、国家电网等

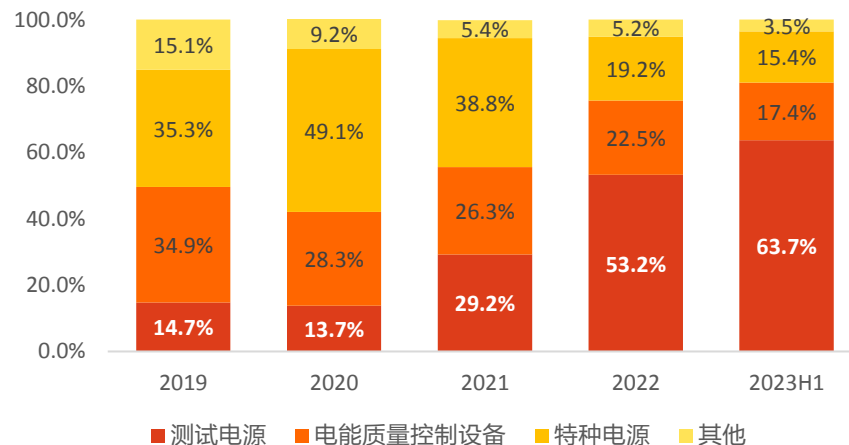
5.2 爱科赛博

- 2020年，公司特种电源业务营业收入1.82亿元，占总营收49.1%，后续特种电源业务营收占比开始下滑。截至2022年底，公司特种电源业务营业收入为1.11亿元，占总营收比重为19.2%。
- 根据公司2023年业绩预告，预计2023年年度实现归属于母公司所有者的净利润13,300万元到15,300万元，与上年同期（法定披露数据）相比，将增加6,431.13万元到8,431.13万元，同比增加93.63%到122.74%。公司精密测试电源、特种电源、电能质量产品的销售收入均有不同幅度增长。

图：爱科赛博分产品营收及同比增速（亿元；%）



图：爱科赛博营业收入产品结构占比（%）



5.3 相关标的

标的	产品/服务	相关产品进展
英杰电气	RHH系列射频电源、RLS系列射频电源、RMA系列匹配器	公司在半导体设备端的产品研发有突破，射频电源覆盖的频率段以及客户机台类型更加广泛，产品性能更加稳定，客户反映良好，初步具备了替代国外电源的能力。
爱科赛博	高端工业电源、定制特种电源	特种电源是公司最早的核心产品，公司已在中积累了较高的知名度，是国内多领域、专业化的特种电源生产企业。在高端工业领域，公司正在开发 MOCVD 设备（用于半导体镀膜）所需的特种电源设备。
北方华创	刻蚀机、PVD、CVD、ALD、立式炉和清洗机等	2020年，公司全资子公司北方华创微电子收购北广科技射频应用技术相关资产，有利于提高北方华创微电子射频应用技术水平，可增强公司半导体装备产品技术开发与应用能力。
吉兆源	350-450KHz低频电源、40KHz中频电源、2MHz、13.56MHz射频电源	公司主要研发和生产射频电源、射频自动匹配器及溅射用直流电源，多年参与半导体设备射频电源设计、调试和服务，于2019年9月成功开发40KHz、10KW/15KW中频电源。
恒运昌	射频电源、射频匹配器、中频溅射电源	公司是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科技企业。
伊恩埃	射频匹配器、射频发生器、中频电源	公司是国内专业研发、生产、组装半导体级别射频发生器(RF Generator)、射频匹配器(RF Match)、射频组件的头部企业，已在诸多方面打破国外的技术垄断和技术壁垒，拥有20多项实用型专利和国家发明专利，正逐步成为中国半导体晶圆FAB厂企的领先合作伙伴。
沃特塞恩	500W、1.5kW自匹配固态射频电源	沃特塞恩联合公司旗下拥有丰富等离子体技术开发经验的纽曼和瑞微波技术有限公司，开发了基于固态微波源的微波等离子体化学气象沉积(MPCVD)装备、远程等离子设备(RPS)，赋能高品质碳材料制备产业，半导体材料刻蚀和清洗等产业并实现国产化替代。
励兆科技	等离子射频电源及其配套系统、远程等离子源(RPS)系统	公司成立一年便开发出了13.56MHz系列和400KHz系列射频电源产品，部分关键性能参数已达到国际先进水平。2023年公司完成数千万元人民币Pre-A轮融资，中芯聚源参投。

5.4 风险提示

□1、技术与产品研发风险

- ✓ 如果相关公司未来不能继续保持充足的研发投入来满足技术持续创新、升级迭代的需要；或技术及产品不能保持现有地位或新项目研发失败；或因研发前瞻性不足，未能对市场的发展趋势做出正确判断，将面临不能适应市场需求而导致盈利降低甚至亏损，对持续盈利能力产生重大不利影响。

□2、市场开拓风险

- ✓ 为了保持业务持续稳定发展，降低单一应用领域波动对相关公司业绩的影响，需不断开发新产品、拓展新应用领域。由于不同下游应用领域在产品应用的技术特点、市场竞争格局、客户拓展渠道等方面存在差异，若新应用领域开拓效果不佳，可能会造成相关公司在技术研发、产品开发、市场拓展等方面投入的浪费。

□3、需求波动风险

- ✓ 客户按照其需求及每年采购计划进行采购，由于部分装备重复订购周期较长，使其订单具有一定的波动性。受外部不利情况和下游采购周期的影响，相关公司收入存在受下游主要客户需求影响而大幅波动的风险。

□4、文中所提爱科赛博业绩预告数据仅为初步核算数据，准确的财务数据以公司正式披露的年报为准。

分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的所有观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法。我们所得报酬的任何部分不曾与，不与，也将不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

一般声明

除非另有规定，本报告中的所有材料版权均属天风证券股份有限公司（已获中国证监会许可的证券投资咨询业务资格）及其附属机构（以下统称“天风证券”）。未经天风证券事先书面授权，不得以任何方式修改、发送或者复制本报告及其所包含的材料、内容。所有本报告中使用的商标、服务标识及标记均为天风证券的商标、服务标识及标记。

本报告是机密的，仅供我们的客户使用，天风证券不因收件人收到本报告而视其为天风证券的客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但天风证券对这些信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的信息、意见等均仅供客户参考，不构成所述证券买卖的出价或征价邀请或要约。该等信息、意见并未考虑到获取本报告人员的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对任何人的个人推荐。客户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，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，天风证券及/或其关联人员均不承担任何法律责任。

本报告所载的意见、评估及预测仅为本报告出具日的观点和判断。该等意见、评估及预测无需通知即可随时更改。过往的表现亦不应作为日后表现的预示和担保。在不同时期，天风证券可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。

天风证券的销售人员、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。天风证券没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。天风证券的资产管理部门、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。

特别声明

在法律许可的情况下，天风证券可能会持有本报告中提及公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。因此，投资者应当考虑到天风证券及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突，投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一参考依据。

投资评级声明

类别	说明	评级	体系
股票投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	买入	预期股价相对收益20%以上
		增持	预期股价相对收益10%-20%
		持有	预期股价相对收益-10%-10%
		卖出	预期股价相对收益-10%以下
行业投资评级	自报告日后的6个月内，相对同期沪深300指数的涨跌幅	强于大市	预期行业指数涨幅5%以上
		中性	预期行业指数涨幅-5%-5%
		弱于大市	预期行业指数涨幅-5%以下

THANKS