

电子级氢氟酸及蚀刻液企业供应链协同优化策略研究 ——基于芯片行业需求波动视角

胡法祥 潘美华

浙江森田新材料有限公司 浙江金华 321000

【摘要】在芯片行业技术迭代提速与市场需求剧烈震荡之际，电子级氢氟酸及蚀刻液企业供应链碰到响应滞后、协同效能失效等挑战，本文拟从需求波动视角对供应链协同优化策略展开探究，对行业需求波动特征和传导机制展开分析，采用DEMATEL方法和系统动力学模型识别关键要素，形成涉及三级数据共享平台及动态产能调配的优化策略。周度细分需求共享率上升45%，订单交付周期缩短至三日，库存周转情况提升至4.5次/年，若强化全链条信息协同、建立弹性机制，可有效增强供应链应对需求波动的能力，为相关企业提供理论实践层面的参考。

【关键词】电子级氢氟酸；蚀刻液；供应链协同；芯片行业；需求波动

Research on Supply Chain Collaboration Optimization Strategies for Electronic-grade Hydrofluoric Acid and Etching Solution Enterprises —— From the Perspective of Demand Fluctuations in the Chip Industry

Hu Faxiang Pan Meihua

Zhejiang Sentian New Materials Co., Ltd. Jinhua, Zhejiang 321000

【Abstract】 Amid accelerated technological iterations and intense market fluctuations in the semiconductor industry, electronic-grade hydrofluoric acid and etching solution enterprises face challenges such as delayed responses and ineffective collaboration. This study explores supply chain optimization strategies from the perspective of demand fluctuations, analyzes industry demand volatility characteristics and transmission mechanisms, identifies key factors using DEMATEL method and system dynamics models, and develops optimization strategies involving a three-tier data sharing platform and dynamic production capacity allocation. Weekly segmented demand sharing rate increased by 45%, order delivery cycles shortened to three days, and inventory turnover improved to 4.5 times/year. Strengthening full-chain information collaboration and establishing flexible mechanisms can effectively enhance supply chain resilience against demand fluctuations, providing theoretical and practical references for related enterprises.

【Key words】 Electronic-grade hydrofluoric acid; Etching solution; Supply chain collaboration; Semiconductor industry; Demand fluctuations

引言

全球芯片产业正历经技术迭代以及市场需求的双重转变，伴随制程由14nm朝3nm不断缩减，作为芯片制造关键材料的电子级氢氟酸及蚀刻液，其纯度要求及用量呈指数级递增；终端应用领域（诸如AI芯片、消费电子）需求的波动程度加剧，牛鞭效应以及产能周期错配现象显著暴露，对供应链协同构成严峻考验。基于此一背景，对电子级氢氟酸及蚀刻液企业供应链协同的优化策略开展研究，对提高企业响应效能、保障芯片产业供应链安全具有重要现实意义，更是助力高端电子化学品实现国产化的关键途径。

一、芯片行业需求波动特征及其对供应链的传导影响

（一）周期性与结构性特征

就本质而言，芯片行业需求波动是技术演进规律跟市场动态博弈的结果，体现出周期性跟结构性交织错落的复杂特点，在技术迭代的维度范畴内看，制程的微缩从质与量两个角度对电子级氢氟酸及蚀刻液产生驱动，以逻辑芯片为例

子，在14nm到3nm制程逐步推进之际，伴随着晶体管密度的上升，材料纯度要求呈指数级攀升，金属离子杂质控制标准从100ppt逐步降低至10ppt以下，单晶圆上氢氟酸用量从500ml上升到3000ml，展现出先进制程对高纯材料的刚性需求局面。市场周期的变动同终端应用的景气程度强相关联：2020-2022这三年，全球智能手机出货量年均减少12%，引致配套蚀刻液需求一同收缩15%-20%；2021年，数据中心服务器芯片需求出现35%的急剧增长，带动高纯氢氟酸订单量呈爆发状增长了40%。新兴领域所经历的结构变更更剧烈，2023年，由于AI芯片产能扩张，EUV配套蚀刻液需求同比大增60%，远超行业的平均水平值，同消费电子领域需求的萎缩局面形成强烈对比，技术迭代周期3-5年跟市场周期1-2年的不同步情形，造成需求波动体现“长周期结构调整”跟“短周期景气循环”叠加的效应情况，对供应链资源的合理配置提出极高要求。

（二）传导机制

供应链中需求波动的传导表现出“信号失真、效应放大、响应滞后”这样的典型特性，核心冲突是牛鞭效应跟产能周期错配之间的交互影响。

表1 不同制程演进对电子级氢氟酸需求对比表

制程节点	晶体管密度提升	金属离子杂质控制标准	单晶圆氢氟酸用量	晶圆清洗次数	技术驱动需求增幅
14nm	2倍	≤100ppt	500ml	3次	-
7nm	3.6倍	≤50ppt	1800ml	5次	+260%
3nm	8倍	≤10ppt	3000ml	7次	+500%

表2 牛鞭效应传导路径数据对比表

传导环节	终端市场	晶圆制造企业	材料供应商	案例(2021年)
实际需求波动	10%	25%	40%	某企业订单波动60%vs实际25%
安全订单追加		20%-30%	15%-20%	库存周转率从4.5→2.8次/年
产能规划预留			20%	资金占用增加30%

受信息不对称情况的波及,经芯片设计、晶圆制造传导,终端市场10%需求波动传导到材料供应商时,订单的波动幅度可达40%到50%,2021年全球缺芯潮盛行阶段,某国内氢氟酸领域龙头企业月度订单量波动达60%,可事实上终端需求仅波动了25%,牛鞭效应造成企业库存周转率从4.5次/年急剧下滑到2.8次/年,资金占用规模扩大了30%。长周期特性的产能建设加剧了错配,电子级氢氟酸产线从规划到达成量产需3-5年,而芯片市场需求的波动,其最短周期仅6-12个月,2020年TWS耳机芯片需求瞬间爆发的阶段,国

内企业无法做到迅速扩产,造成蚀刻液供应缺口长达6个月未弥合,部分芯片产线产能利用率下探至70%以下。跟国际领先企业相对比,日本森田化学借助提前规划EUV配套蚀刻液产能,把响应周期压减至2年,当2023年AI芯片需求猛增时,仍能维持85%-90%的合理产能利用率水平,因供应链层级存在差异,需求波动能量在逆向传导中产生“频率转换”,2022年消费电子需求急剧下降之际,上游萤石矿库存积压,占比达年产量25%,下游蚀刻液企业面临着原料剩余与产线闲置的双重窘迫。

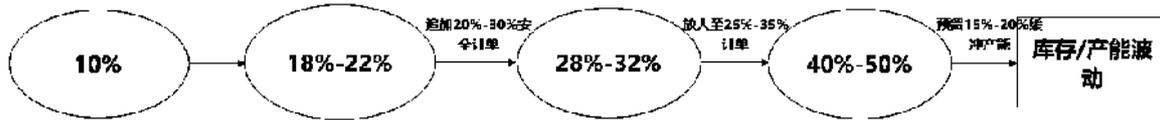


图1 半导体供应链牛鞭效应传导模型图

二、电子级氢氟酸及蚀刻液企业供应链协同现存问题剖析

(一) 信息壁垒与响应滞后

供应链各环节的信息共享明显存在“层级壁垒”与“时效鸿沟”,芯片制造企业与材料供应商产能信息交互仅停留在月度总量阶段,周度细分规格的需求数据共享占比低于30个百分点,导致材料企业以历史数据为依据进行预测,误差率竟攀升至25%。2022年某季度,消费电子需求猛地下降15%时,某家中型氢氟酸企业未获取到终端产品结构调整数据,高纯度产品库存积压量是月均销量的两倍之多,而通用型产品短期供应陷入断档,上下游产能协同的滞后问题愈发凸显:上游萤石矿开采因勘探、审批周期受限,平均4-6个月的滞后出现在产量波动信息传递到中游企业时。2021年,江西某萤石矿因环保政策,产量减产达20%,预警才传达至中游企业,原料库存年周转次数从5次降到了4次,无奈之下启动高价进口预案,单吨成本上扬了15个百分点。

(二) 协同机制失效

库存管理及产能调配机制的呆滞,让企业在需求出现波动时陷入“库存积压”与“产能不足”两难之境,在库存策略这一维度,大部分企业依旧采用基于历史平均需求的安全库存模式,未采用嵌入动态预测算法的方式,当2022年Q3智能手机需求猛然下跌30%时,某龙头企业蚀刻液成品库存抵3个月的销售数量,库存周转率从一年4.2次陡然降至2.3

次,仅仓储成本一项就多支出了1200万元。从产能调配这一角度,多基地布局企业产能切换的效率极为低下,要完成浙江和福建基地间的产能切换,需20天以上,2021年,因交付延迟率达18%,某新能源汽车芯片客户有紧急订单,造成后续20%的订单流失,传统排产模式借助人经验,若需求波动超出20%时,产线切换效率出现30%的下降,2023年某季度,AI芯片蚀刻液需求呈现50%的激增态势,部分企业高端产品产能的实际利用率仅75%,失掉占据市场良机。

三、需求波动视角下供应链协同优化理论框架构建

(一) 目标体系设计

协同优化目标要兼顾效率上扬与风险防控,生成呈层级递进的指标体系,核心目标聚焦于波动应对能力:依靠全链条数据互通和流程革新,把订单交付周期压至15天以内,较行业平均减少30%,把需求预测的误差率控制于15%以内;辅助目标以资源配置效率为核心,让库存周转率达到4次/年及以上,在需求出现波动时,把产能利用率维持在±10%均衡区间。来自国际领先企业的实践证明,每把订单交付周期缩短10天,物流成本出现8%的下降;若需求预测误差率降低5%,库存持有成本削减12%,目标布局紧密贴合行业属性,着眼于3nm制程对高纯氢氟酸的特殊要求,增设以“亚10ppt级杂质检测覆盖率”为主的质量目标,保障技术标准的协同与产能规划实现深度契合。

表3 协同优化目标与量化指标表

目标分类	具体指标	当前水平	目标值	效益预测
核心目标	订单交付周期	25天	≤15天	物流成本降30%
	需求预测误差率	25%	≤15%	库存成本降20%
辅助目标	库存周转率	3次/年	≥4次/年	资金效率提升25%
	产能利用率波动	±20%	±10%	设备损耗降15%

(二) 要素识别与模型构建

依托 DEMATEL 方法开展的关键要素分析表明,需求预测数据共享度(权重 0.35)、产能弹性系数(0.3)、质量追溯协同度(0.25)乃是影响协同效能的核心变量,系统动力学模型凭借构建需求、制造、供应三端的三阶反馈回路来开展,对需求波动传导效果进行模拟,按照行业实测数据进行参数设置。模型验证得出结论,若数据共享度升高到70%以上,可以把订单波动放大倍数控制在1.5倍以内;若产能弹性系数提升至10%,供需错配风险有15%的降低。

(一) 需求驱动的全链条信息协同

半导体产业深陷信息孤岛困境,三级数据共享平台搭建成破局核心,芯片制造端开放产能利用率、12nm以下先进制程占比等关键数据,材料企业与上游资源同步共享信息,打造“需求-制造-供应”信息闭环,国内龙头试点数据亮眼,平台启用后周度细分需求共享率由30%跃至75%,需求预测误差率从25%降至15%。预测模型优化上,融合 LSTM 算法与行业修正因子的智能系统,依历史订单、制程演进及终端应用动态预测,对 AI 芯片产能扩张等重大事件加权调整,2023年企业应用后,EUV 蚀刻液需求预测达88%精准度,紧急订单响应缩至48小时,避免库存积压与产能错配,大幅提升供应链响应和资源配置效率。

四、电子级氢氟酸及蚀刻液供应链协同优化策略体系

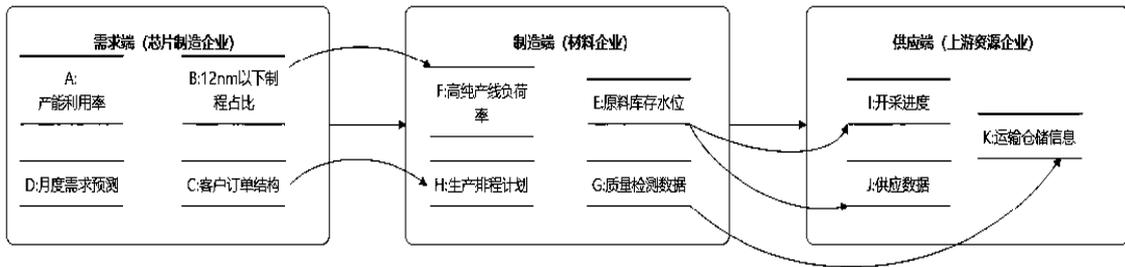


图2 三级数据共享平台功能架构

(二) 产能与库存的动态调优

顺应半导体市场多变需求,实施“核心产能+弹性外协”双轨模式,推动产能配置由“刚性供给”转向“柔性响应”,核心产能基地承接60%-70%稳定订单,确保高端产品持续生产;与江西石磊、福建德尔科技等企业签订战略合作协议,预留30%-40%外协产能应对短期激增需求,产能利用率从75%升至85%,外协产线7天内即可完成切换。长三角、珠三角设立VMI-HUB共享仓库,依需求波动指数(IFI)灵活调配库存:IFI大于1.5释放安全库存,库存周转率提至4.5次/年;IFI小于0.8启动库存回拢,防止产品滞销积压,外资企业实践表明,此模式让紧急订单交付延迟率从18%降至6%,库存持有成本降低20%,有效平衡产能供需与库存管理,提升企业市场适应能力。

结语

从芯片行业需求波动出发,本研究剖析电子级氢氟酸及蚀刻液企业供应链周期与结构挑战,构建需求驱动的信息协同平台、动态产能调配机制和风险共担体系,为解决信息壁垒与产能错配提供理论和实践方案。研究显示,三级数据共享平台降低需求预测误差率10%，“核心产能+弹性外协”提升产能利用率至85%，但在芯片制程向2nm以下演进、AI芯片需求激增背景下,供应链协同需深化技术研发、提升全球资源调配能力。

参考文献

[1]姬晓婷.多氟多的华丽转型[N].中国电子报,2022-11-11(003).DOI:10.28065/n.cnki.ncdz.2022.001341.
 [2]苏宁,曾明辉,杨宏.浅谈电子级氢氟酸技术及发展[J].有机氟工业,2024,(02):54-57.
 [3]许子皓.多氟多成功牵手台积电半导体关键原材料实现本土化[N].中国电子报,2022-05-24(004).DOI:10.28065/n.cnki.ncdz.2022.000585.

作者简介:胡法祥,出生年月:1970.02.23,男,汉族,籍贯:浙江省武义县,学历:本科,研究方向:电子级氢氟酸及其衍生产品蚀刻液等高纯化学品、新材料领域、经济、企业管理。