

行业及产业

机械设备

强于大市

一年内行业指数与沪深300指数对比走势:



资料来源: 聚源数据, 爱建证券研究所

相关研究

《PCB 设备行业点评: 面板级封装与 mSAP

产业化提速, 设备率先受益》2026-06-08

《PCB 设备行业点评: 今日之 mSAP, 十年前的 HDI》2026-06-01

《半导体设备行业点评: 先进制程与设备多腔化共振, 看好零部件环节》2026-05-25

《半导体设备行业点评: DRAM 扩产趋势明确, 持续看好国产半导体设备》2026-05-18

《先进封装设备行业点评: CoWoS 升级下, 先进封装市场空间持续扩容》2026-05-12

证券分析师

王凯

S0820524120002

021-32229888-25522

wangkai526@ajzq.com

SK 海力士以钼代钨, 设备链如何传导?

——半导体设备行业点评

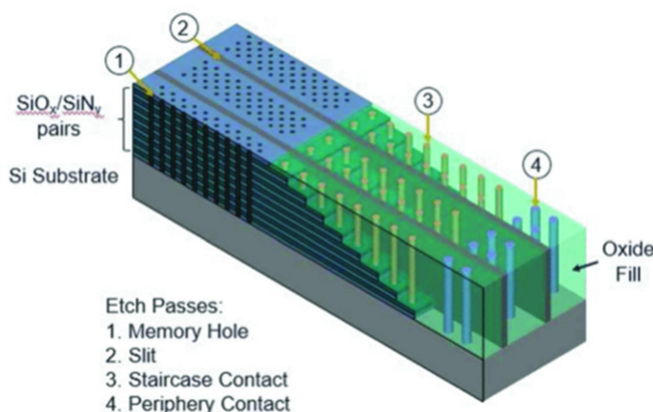
投资要点:

- **事件: SK 海力士 375 层 NAND 完成验证, 钼 (Mo) 字线导入为关键变量。**根据 The Elec 报道, SK 海力士已完成 375 层 3D NAND 生产验证, 正推进技术向量产线转移, 计划于 2026 年底前实现量产。公司将通过改造清州 M15 现有 NAND 产线导入新产品 (非新建产能)。**关键变量在于钼材料首次导入字线结构。**SK 海力士在 375 层产品中开始以钼部分替代传统钨 (W) 字线材料, 以降低电阻、提升器件性能并适应 400 层以上超高堆叠结构需求。
- **钼渗透率在高层数 NAND 中提升, 本质是为延续 NAND 单位 Bit 成本下降曲线。**
 - 1) 300 层 NAND 主要在结构上升级,**聚焦超高深宽比通道孔刻蚀、多次 Stack 堆叠、晶圆翘曲控制以及 Overlay 精度控制;**375 层乃至 400 层以后, 材料亟需升级,**因钨字线会因为字线间距通道孔缩小面临 RC 延迟快速恶化、WF₆ 残氟导致介质损伤、漏电失效率提升以及填充缺陷放大的问题。
 - 2) 选择钼字线的工艺理由:**钨沉积需使用阻隔衬里层, 钼不需要阻隔衬里层, 可以直接沉积, 从而减少成品包裹的厚度和尺寸。然而, 钼的材料加工更为复杂, 因为必须以气体形式输送, 且前驱物在室温下为固体, 需要加热器以确保流动稳定性。
 - 3) 高层数 NAND 经济性取决于两个变量: ①单位晶圆能够产出多少有效 bit, ②这些 bit 能够以多高良率、多少成本被稳定制造。**3D NAND 向 400 层演进, 单位晶圆可产出存储 bit 持续增加, 但若工艺复杂度和缺陷率上升速度快于存储密度提升速度时, 层数增加带来的容量收益将被良率损失和制造成本上升所抵消; 钼凭借更低电阻率、无氟前驱体及无需阻隔层等优势, 有望改善 RC 性能与器件可靠性, 为字线和存储孔缩放提供工艺余量, 从而延续高层数 NAND 的成本下降曲线。
- **设备视角的受益节奏: 钼导入本质是一次全流程工艺重构, 设备链受益有望沿“沉积及前驱体输送→CMP 及清洗→刻蚀→量检测”路径传导, 工艺难点由沉积向后处理环节延伸。**其中, **1) 沉积:**成熟的 WF₆ 钨工艺, Mo 沉积需重新建立高深宽比结构下的填充与缺陷控制工艺窗口, 同时有望减少阻隔层使用, 带动沉积设备及配套工艺升级;**2) 输送:**Mo 前驱体通常采用低挥发性固态源, 与传统 WF₆ 气态前驱体体系差异较大, 需要新增气化装置、温控管路及精密供气系统, 以保障前驱体稳定输送;**3) CMP:**Mo 材料的氧化及表面化学特性不同于传统金属体系, 需重新开发 CMP 研磨液和研磨垫, 以满足平坦化、去除速率及缺陷控制要求;**4) 清洗:**Mo 导入后残留物及氧化物体系发生变化, 高深宽比结构下金属残留和污染控制难度提升, 有望推动相关湿法清洗设备及配套化学品验证导入;**5) 刻蚀**环节则需重新建立适配钼材料的工艺窗口, 且 3D NAND 层数持续提升下, 刻蚀选择性、侧壁形貌控制及层间均匀性要求进一步提高, 有望带动相关刻蚀设备升级需求;**6) 量检测:**Mo 量产还需新增膜厚均匀性、填充缺陷、金属残留及电学可靠性等监控项目, 有望带动薄膜量测、缺陷检测及电性测试等设备需求增长。
- **投资建议:**NAND 工艺迭代核心从单纯堆叠层数转向材料—设备—工艺协同创新, 新材料导入将持续催生沉积、刻蚀、清洗等关键设备迭代升级, Mo 字线导入将推动沉积、刻蚀、清洗等关键环节工艺升级, 相关设备及零部件厂商有望受益。建议关注 **1) 【沉积设备】**拓荆科技 (688072.SH); **2) 【刻蚀设备】**中微公司 (688012.SH)、北方华创 (002371.SZ); **3) 【清洗设备】**盛美上海 (688082.SH)、芯源微 (688037.SH); **4) 【量检测设备】**精测电子 (300567.SZ)、天准科技 (688003.SH) 以及 **5) 【设备零部件】**先锋精科 (688605.SH)。
- **风险提示:**高层数 NAND 量产进度不及预期; Mo 材料导入不及预期; 设备验证进展不及预期; 存储行业景气度波动; 技术路线变化风险。

1. 钼字线：400 层 NAND 时代突破钨瓶颈的材料方案

存储密度 = 层数 × 平面密度 (XY 密度)，高层数 NAND 降低单位 Bit 成本的核心在于同步提升层数与存储密度，因此存储厂商要降低单位 Bit 成本，需要做三件事：1) 堆更多层，即 Z 方向增加层数；2) 缩小两层字线之间的距离 (WL Pitch, Z 方向缩放)，这样同样高度下可以塞进更多层；3) 缩小存储孔 (MH Pitch, XY 方向缩放)，这样同样面积下能放更多存储单元。

图表 1：3D NAND 核心结构示意图

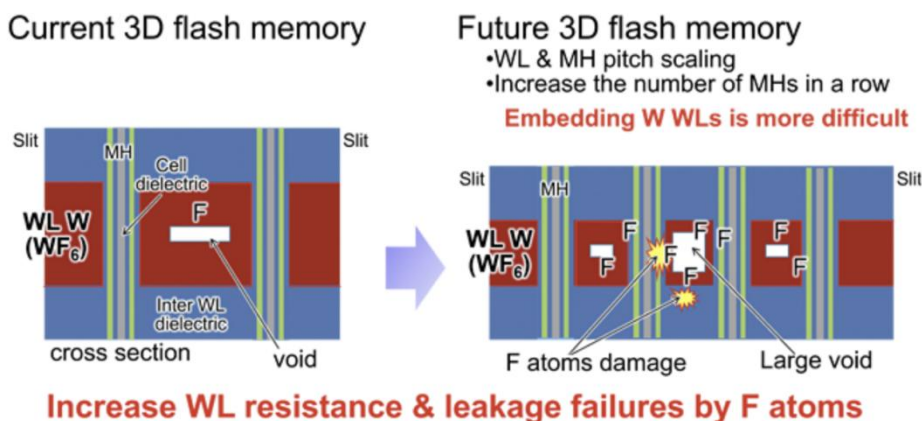


资料来源：Lam Research, Semi Engineering, 爱建证券研究所

传统金属钨 (W) 制备字线方案在 400 层 NAND 时代中工艺短板持续放大。主要集中在：

- 1) 电阻与信号延迟压力抬升。**字线和存储孔间距微缩，器件内部布线物理尺寸不断收窄，钨字线本体电阻走高，电路 RC 信号延迟恶化，直接拖累芯片读写运行速率；
- 2) 高深宽比填充良率下滑。**400 层以上 NAND 存储孔深宽比大幅攀升，钨金属填充过程极易产生孔洞、间隙等内部填充缺陷，基础工艺成型稳定性下降；
- 3) 漏电与器件可靠性劣化。**填充缺陷缝隙中会滞留六氟化钨 (WF₆) 制程前驱体解离后的氟残留原子，持续侵蚀周边介质层结构，诱发漏电故障，推高芯片失效率。

图表 2：钨 (W) 字线在 3D NAND 继续 XYZ 缩放时遇到瓶颈



资料来源：Kioxia, IEEE Takashi Fukushima et al., 2024 VLSI T6-1, 爱建证券研究所

3D NAND 技术迭代进程中，材料工艺价值权重持续提升，进入超高层数制程阶段后，其技术影响力往往高于单纯的堆叠结构改良。当前行业最直观的扩容方式仍是抬升垂直堆叠层数，各大厂商迭代进度分化较明显：三星 V10 达到 4xx 层、铠侠 BiCS9 为 332 层、SK 海力士 G9 为 321 层、美光 G9 为 276 层、长江存储已稳定量产 232 层产品。但单纯依赖堆叠层数拔高的发展路径已浮现显著物理瓶颈，材料体系与配套工艺的优劣，正成为划分各家产品存储密度、传输速率与器件可靠性差距的核心因素。

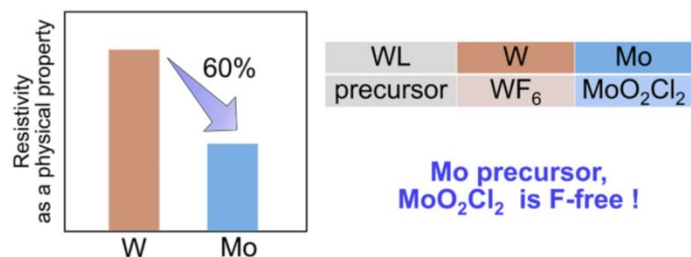
图表 3：3D NAND 迭代升级参数对比：堆叠层数、存储密度与单元架构演进一览

	长江存储		美光	三星		铠侠 / 闪迪		SK 海力士
代际	-	Xtacking 3.0 / 第 4 代	第 9 代 (G9)	V9	V10	BiCS 8	BiCS 9	第 9 代
堆叠层数	232 层	232 层	276 层	290 层	4xx 层	218 层	332 层	321 层
存储密度	>20 Gb / 平方毫米	19.8 Gb / 平方毫米	21.0 Gb / 平方毫米	17 Gb / 平方毫米	28 Gb / 平方毫米	22.9 Gb / 平方毫米	-	20 Gb / 平方毫米
存储架构	TLC (三层单元)	QLC (四层单元)	TLC (三层单元)	TLC (三层单元)	TLC (三层单元)	QLC (四层单元)	-	TLC (三层单元)
单颗核心容量	1 Tb	1 Tb	1 Tb	1 Tb	1 Tb	2 Tb	-	1 Tb
I/O 速度	-	-	最高 3600 MT/s	最高 3200 MT/s	最高 5600 MT/s	最高 3600 MT/s	最高 4800 MT/s	-

资料来源：Tom's Hardware，爱建证券研究所

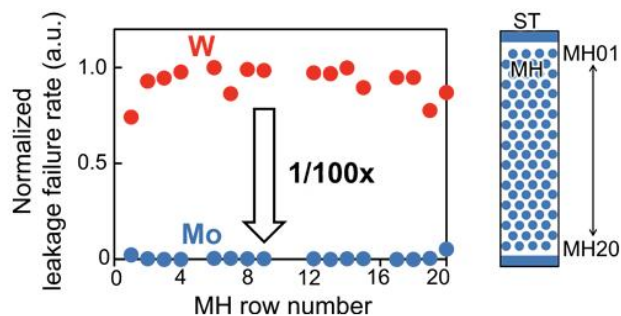
金属钼是现阶段替代钨材料的优选方案。1) 钼的电阻率优于钨，能够有效降低电路 RC 延迟；2) 钼工艺所使用的前驱体原料（二氯二氧钼）不含氟元素，从根源规避氟原子残留造成的介质腐蚀、漏电等问题。根据 2024 年 VLSI 会议 Fukushima 等人发布的无氟钼字线工艺研究，在 20 层完整垂直存储柱的实试验证下，钼基字线相较传统钨字线具备可靠性优势：全堆叠高度范围内漏电失效率压低至钨方案的 1%。而对于 400 层以上超高堆叠 3D NAND，层数越高、深宽比越大，钨工艺氟腐蚀漏电的缺陷会被持续放大，而钼无氟、低阻的双重特性，可有效保障高层数器件良率以及长期稳定性。

图表 4：相较 W，钼材料兼具低电阻率与无氟前驱体优势



资料来源：Kioxia, IEEE Takashi Fukushima et al., 2024 VLSI T6-1, 爱建证券研究所

图表 5：钼基字线相较钨字线漏电失效率降至原有 1%量级



资料来源：Kioxia, IEEE Takashi Fukushima et al., 2024 VLSI T6-1, 爱建证券研究所

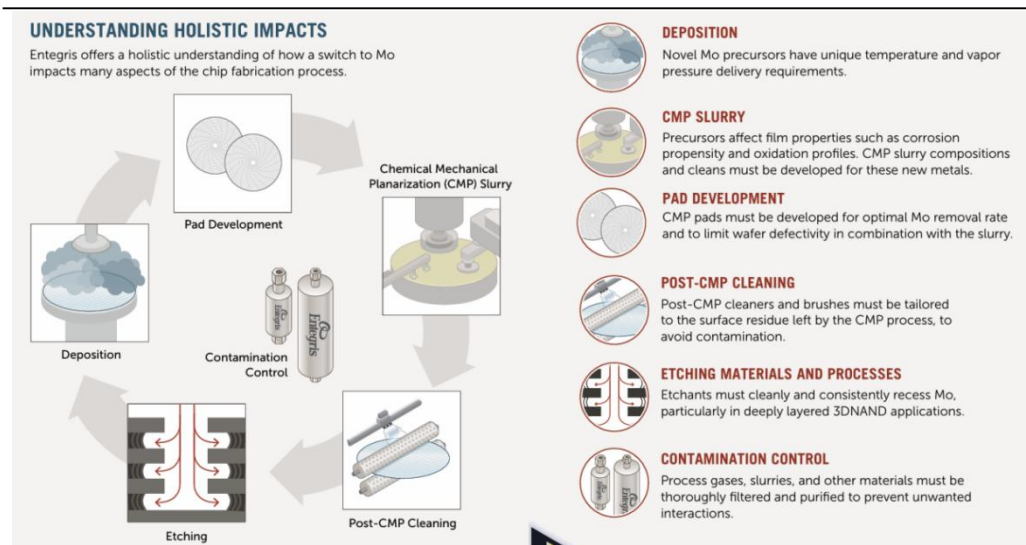
2. 设备链传导：沉积、前驱体、刻蚀清洗和整线切换

设备视角下，钼导入本质是一次全流程工艺重构，设备产业链受益有望沿“沉积及前驱体输送→CMP 及后清洗→刻蚀→清洗→量检测”的路径逐步传导，工艺难点将由沉积环节向后处理环节延伸。

钼字线导入首先受益于沉积环节，且主要为 NAND 厂商针对既有产线改造带来的钼沉积工艺切换。根据 The Elec，SK 海力士计划在 M15 既有 NAND 产线导入 Mo 字线方案，在原有 W 工艺体系基础上完成材料体系升级。由于钼前驱体及成膜机理与钨存在显著差异，原有 W 沉积工艺难以直接沿用，需要重新开发 Mo 沉积工艺并对设备及供气系统进行适配改造。对于既有产线改造而言，成本效率与工艺兼容性优先于极限性能，根据 The Elec，SK 海力士评估 Lam 单片式沉积方案与 TEL 炉管式 Batch 沉积方案后，最终选择 TEL，主因 TEL Batch 方案可一次处理约 100 片晶圆，批量处理方式更符合存储厂商通过产线升级降低单位 Bit 成本的需求。

整体来看，Mo 导入本质上是新材料驱动的工艺平台升级，设备产业链受益有望沿着“沉积→输送→刻蚀→清洗→量检测”的路径逐步扩散。1) **输送**：Mo 前驱体通常采用低挥发性固态源，与传统 WF_6 气态前驱体体系差异较大，需要新增气化装置、温控管路及精密供气系统，以保障前驱体稳定输送；2) **CMP**：Mo 材料的氧化及表面化学特性不同于传统金属体系，需重新开发 CMP 研磨液和研磨垫，以满足平坦化、去除速率及缺陷控制要求；3) **清洗**：Mo 导入后残留物及氧化物体系发生变化，高深宽比结构下金属残留和污染控制难度提升，有望推动相关湿法清洗设备及配套化学品验证导入；4) **刻蚀**：刻蚀环节则需重新建立适配钼材料的工艺窗口，且 3D NAND 层数持续提升下，刻蚀选择性、侧壁形貌控制及层间均匀性要求进一步提高，有望带动相关刻蚀设备升级需求；5) **量检测**：Mo 量产还需新增膜厚均匀性、填充缺陷、金属残留及电学可靠性等监控项目，有望带动薄膜量测、缺陷检测及电性测试等设备需求增长。

图表 6：围绕 Mo 材料导入的材料的全流程工艺重构



资料来源：Entegris，爱建证券研究所

3. 风险提示

- 1) **高层数 NAND 量产进度不及预期。**375 层及以上 NAND 仍面临超高深宽比刻蚀、堆叠应力控制及良率爬坡等挑战, 若量产导入进度放缓, Mo 字线渗透节奏可能低于预期;
- 2) **Mo 材料导入不及预期。**当前 Mo 字线仍处于产业化初期阶段, 若后续可靠性、成本或良率表现未达预期, 不排除厂商继续优化 W 工艺或采用其他替代方案;
- 3) **设备验证进展不及预期。**Mo 工艺涉及沉积、刻蚀、清洗及量检测等多个环节协同开发, 若设备厂商验证周期延长或客户导入进度放缓, 相关设备需求释放可能低于预期;
- 4) **存储行业景气度波动风险。**NAND 资本开支及工艺升级节奏受终端需求、库存水平及产品价格影响较大, 若行业景气度下行, 可能影响先进工艺导入及设备投资节奏;
- 5) **技术路线变化风险。**未来高层数 NAND 在字线材料、存储单元结构及堆叠方案等方面仍存在技术迭代可能, 相关技术路线变化或影响产业链受益格局。

爱建证券有限责任公司

上海市浦东新区前滩大道 199 弄 5 号

电话: 021-32229888

传真: 021-68728700

服务热线: 956021

邮政编码: 200124

邮箱: ajzq@ajzq.com

网址: <http://www.ajzq.com>

评级说明

投资建议的评级标准

报告中投资建议所涉及的评级分为股票评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后 6 个月内的相对市场表现，也即以报告发布日后的 6 个月内的公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A 股市场：沪深 300 指数（000300.SH）；新三板市场：三板成指（899001.CSI）（针对协议转让标的）或三板做市指数（899002.CSI）（针对做市转让标的）；北交所市场：北证 50 指数（899050.BJ）；香港市场：恒生指数（HIS.HI）；美国市场：标普 500 指数（SPX.GI）或纳斯达克指数（IXIC.GI）。

股票评级

买入	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅大于 15%
增持	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在 5% ~ 15%之间
持有	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在 -5% ~ 5%之间
卖出	相对同期相关证券市场代表性指数涨幅小于 -5%

行业评级

强于大市	相对表现优于同期相关证券市场代表性指数
中性	相对表现与同期相关证券市场代表性指数持平
弱于大市	相对表现弱于同期相关证券市场代表性指数

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，本报告采用信息和数据来自公开、合规渠道，所表述的观点均准确地反映了我们对标的证券和发行人的独立看法。研究报告对所涉及的证券或发行人的评价是分析师本人通过财务分析预测、数量化方法、或行业比较分析所得出的结论，但使用以上信息和分析方法可能存在局限性，请谨慎参考。

法律主体声明

本报告由爱建证券有限责任公司（以下统称为“爱建证券”）证券研究所制作，爱建证券具备中国证监会批复的证券投资咨询业务资格，接受中国证监会监管。

本报告是机密的，仅供我们的签约客户使用，爱建证券不因收件人收到本报告而视其为爱建证券的签约客户。本报告中的信息均来源于我们认为可靠的已公开资料，但爱建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、意见等均仅供签约客户参考，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，爱建证券及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、评估及预测后续可随时更改。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，爱建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。

版权声明

本报告版权归爱建证券所有，未经爱建证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、转载、刊登和引用。否则由此造成的一切不良后果及法律责任由私自翻版、复制、转载、刊登和引用者承担。版权所有，违者必究。