

半导体设备系列研究之二十八

玻璃基板从零到一，TGV 为关键工艺

核心观点：

- **玻璃基板优势明显，英特尔持续加码。**玻璃相对于传统的硅和有机物材料，拥有更低的成本、更低的介电常数、更短的互联长度和更高的传输速率以及带宽密度，能耗可以有效降低；根据英特尔官网 23 年 9 月发布的演讲中，公司表示已经在玻璃基板领域布局了数年，目前推出了玻璃基板封装实验产品，将玻璃基板、CPO（Co-packaged Optics）以及相关的 TGV（Through Glass Via）工艺视为重要发展方向。
- **玻璃基板可用于替代硅中介层以及有机物中介层。**以台积电的 COWOS 封装为例，中介层（interposer）一般选用硅（COWOS-S）、有机物（COWOS-R）或者是硅和有机物的结合（COWOS-L），玻璃基板直接利用玻璃中介层（Glass Interposer）实现芯片之间、芯片与外部的互联，利用玻璃材质成本低、电学性能好、翘曲低等优点来克服有机物材质和硅材质的缺陷，来实现更稳定、更高效的连接以及降低生产成本，有望为 2.5D/3D 封装带来全新的范式改变。
- **玻璃通孔成孔技术、通孔填孔技术以及高密度布线为关键工艺。**TGV 通孔的制备需要满足高速、高精度、窄节距、侧壁光滑、垂直度好以及低成本等一系列要求，如何制备出高深宽比、窄节距、高垂直度、高侧壁粗糙度、低成本的玻璃微孔一直是多年来各种研究工作的重心，激光诱导刻蚀法或为未来主流；高质量的金属填充则是另一难点，TGV 孔径较大且形状不同，主要有盲孔、垂直通孔、X 型通孔以及 V 型通孔四种类型，这些形状对铜的沉积构成了较大的挑战，容易形成孔的“堵塞”，由于玻璃表面光滑，与常用金属的粘附性较差，容易造成玻璃衬底与金属层之间的分层现象，导致金属层卷曲甚至脱落的现象；在完成玻璃通孔的制备后，需要在玻璃基板表面进行布线来实现互联互通的电气连接，玻璃表面的粗糙度小，高密度布线操作亦有一定难度。
- **投资建议。**（1）推荐帝尔激光，行业内少数能够提供全方位高效太阳能电池激光加工综合解决方案的企业，目前公司已经推出了 TGV 激光微孔设备，通过精密控制系统及激光改质技术，实现对不同材质的玻璃基板进行微孔、微槽加工，为后续的金属化工艺实现提供条件；（2）推荐德龙激光，公司从 2021 年开始布局集成电路先进封装应用，2023 年在激光开槽（low-k）、晶圆打标的基础上，重点研发出玻璃通孔（TGV）、模组钻孔（TMV）、激光解键合等激光精微加工设备。关于玻璃基板的其他工艺环节，可关注中微公司**、盛美上海*、大族激光*等标的。（标*的为电子组覆盖，标**的为联合覆盖）。
- **风险提示。**玻璃基板工艺推进不及预期；半导体行业波动的风险；先进封装市场规模增长不达预期的风险。

行业评级

买入

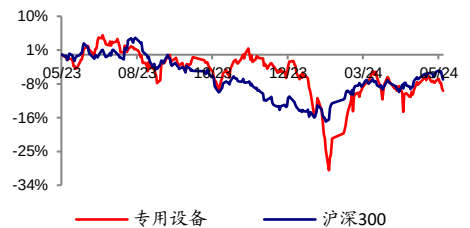
前次评级

买入

报告日期

2024-05-26

相对市场表现



分析师：

代川



SAC 执证号：S0260517080007



SFC CE No. BOS186



021-38003678

daichuan@gf.com.cn

分析师：

孙柏阳



SAC 执证号：S0260520080002



021-38003680



sunboyang@gf.com.cn

分析师：

王宁



SAC 执证号：S0260523070004



021-38003627



shwangning@gf.com.cn

请注意，孙柏阳、王宁并非香港证券及期货事务监察委员会的注册持牌人，不可在香港从事受监管活动。

相关研究：

重点公司估值和财务分析表

股票简称	股票代码	货币	最新	最近	评级	合理价值	EPS(元)		PE(x)		EV/EBITDA(x)		ROE(%)	
			收盘价	报告日期			2024E	2025E	2024E	2025E	2024E	2025E	2024E	2025E
帝尔激光	300776.SZ	CNY	52.93	2024/05/05	买入	61.93	2.48	2.97	21.34	17.82	17.54	14.53	18.30	18.00
德龙激光	688170.SH	CNY	25.23	2023/09/14	买入	55.60	1.39	1.90	18.15	13.28	13.95	10.39	9.70	11.70

数据来源：Wind、广发证券发展研究中心

备注：表中估值指标按照最新收盘价计算

目录索引

一、玻璃基板：先进封装的变革，重新定义基板	6
（一）英特尔持续加码玻璃基板，高举封装工艺变革旗帜	6
（二）玻璃基板：材料与工艺的变革	8
（三）新型显示已有成熟应用，半导体领域东风渐起	11
二、TGV：玻璃基板应用于先进封装的关键工艺	18
（一）玻璃通孔成孔技术：如何制作高精度的通孔/盲孔	19
（二）玻璃通孔填孔技术：如何高质量进行金属填充	25
（三）玻璃基板高密度布线	30
三、玻璃基板产业链重点公司梳理	33
（一）玻璃基板供应商	33
（二）TGV 设备厂商梳理	36
四、风险提示	41
（一）玻璃基板推进不及预期	41
（二）半导体行业波动风险	41
（三）先进封装市场规模增长不达预期的风险	41

图表索引

图 1: 英特尔 TGV 玻璃基板样本.....	6
图 2: 英特尔 75 μ m 间距/3 层 RDL 的玻璃基板.....	6
图 3: 英特尔封装基板材质路线图	7
图 4: 英特尔先进封装迭代路线图	7
图 5: 目前 2.5D/3D 封装基板与工艺路线图	8
图 6: Mini LED 背光显示结构	11
图 7: Micro LED 显示结构	11
图 8: 京东方 MircoLED 直显 COG 产品	12
图 9: TCL 华星首款 125"玻璃基透明直显 MicroLED.....	12
图 10: 全球先进封装市场规模变化及各工艺份额（收入口径）	13
图 11: 5G 毫米波集成天线封装流程.....	14
图 12: TGV-集成天线的工艺流程	14
图 13: 森九电子基于 TGV、玻璃空腔工艺的 MEMES 微系统加工方案.....	14
图 14: 超高封装密度的异质集成芯片（预测未来 10 年后）	15
图 15: Absolics 公司玻璃基板方案可以带来 40%的芯片性能提高.....	16
图 16: TSV 与 TGV 的技术对比.....	18
图 17: TGV 玻璃通孔与 TSV 硅通孔制备流程对比	19
图 18: 喷砂法制作的 TGV 结构	20
图 19: 聚焦放电制作 TGV 的示意图	21
图 20: TGV 阵列和横截面扫描电镜图	21
图 21: 等离子体刻蚀法制作 TGV 的具体流程	21
图 22: CO ₂ 激光、准分子激光制作通孔（上图为 CO ₂ 激光，下图为准分子激光）	22
图 23: 电化学放电法制备 TGV 装置	23
图 24: 光敏玻璃通孔制备工艺流程图	23
图 25: 光敏玻璃热处理温度曲线.....	23
图 26: 光敏玻璃法孔阵列显微镜图	24
图 27: 光敏玻璃法制备的通孔精密度高.....	24
图 28: 激光诱导刻蚀制作 TGV 的流程	24
图 29: 激光诱导刻蚀形成通孔的显微镜图像	25
图 30: 四种 TGV 孔型示意图	26
图 31: Bottom-up 填充过程示意图.....	26
图 32: 蝶形填充过程示意图	27
图 33: 改善后通孔填充过程包含的流程示意图	28
图 34: Conformal 填充在垂直盲孔和通孔上会导致孔洞缺陷的存在	28
图 35: 电镀填充工艺和通孔电镀薄层方案的对比（左为电镀薄层）	29
图 36: 美国安美特公司可以制出 9nm 厚的金属氧化物粘附层以提高 Cu 黏附力	30
图 37: 通过聚合物干膜方案来增强 Cu 的黏附力	30

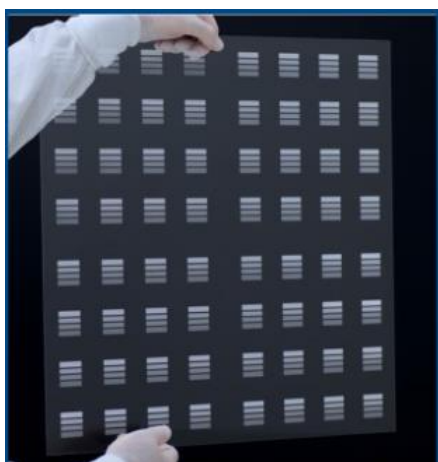
图 38: RDL 线路预制工艺流程	31
图 39: 双面 RDL 集成工艺流程.....	31
图 40: PTE 工艺流程	31
图 41: CTT 与 PTE 制作 RDL 层相比	31
图 42: 采用改进式 SAP 制作多层 RDL 的工艺流程.....	32
图 43: TGV 金属化后的多层 RDL 堆叠结果	32
图 44: 美国康宁公司提供的 TGV 晶圆参数和类型	33
图 45: 云天半导体 2.5D TGV Interposer 产品参数.....	34
图 46: 沃格光电 TGV 核心工艺	35
图 47: LPKF 公司研发的 LIDE 技术可以实现精确的 TGV 开孔加工	37
图 48: 4JET Microtech 的 VLIS 方案可以提高 TGV 的生产效率	37
表 1: 主要的基板材料对比	9
表 2: 2.5D 封装主流路线对比	9
表 3: 3D 封装主流路线对比	10
表 4: 京东方 Mini LED 旗舰系列 TV 显示屏对比	11
表 5: 目前海外芯片巨头针对玻璃基板的布局情况.....	16
表 6: 不同玻璃通孔制备方法对比	19
表 7: TGV 孔内镀膜方式对比	29
表 8: 海外主要 TGV 玻璃基板厂商梳理.....	34
表 9: 国内主要 TGV 玻璃基板厂商梳理.....	36
表 10: 海外主要 TGV 激光开孔设备厂商梳理	38
表 11: 国内主要 TGV 激光开孔设备厂商梳理	38
表 12: Lam 涉及 TGV 工艺的电镀设备.....	39
表 13: 盛美上海涉及深孔加工工艺的电镀设备.....	40

一、玻璃基板：先进封装的变革，重新定义基板

（一）英特尔持续加码玻璃基板，高举封装工艺变革旗帜

英特尔一直是玻璃基板领域的探索引领者。根据三叠纪官网，早在十年前英特尔就开始寻找有机基板的替代品，并在亚利桑那州的CH8工厂投资十亿美元试生产玻璃基板。作为封装基板领域的探索引领者，2023年9月英特尔展示了一款功能齐全的基于玻璃基板的测试芯片，并计划于2030年开始批量生产，该芯片使用75微米的玻璃通孔，深宽比为20:1，核心厚度为1毫米。英特尔的新技术不仅仅停留在玻璃基板的层面，还引入了Foveros Direct（一种具有直接铜对铜键合功能的高级封装技术），为CPO（Co-packaged Optics，可共同封装光学元件技术）通过玻璃基板设计利用光学传输的方式增加信号，并联合康宁通过CPO工艺集成电光玻璃基板探索400G及以上的集成光学解决方案。英特尔与设备材料合作伙伴展开了密切合作，与玻璃加工厂LPKF和德国玻基公司Schott共同致力于玻璃基板的产品化。另外，英特尔还带头组建了一个生态系统，已经拥有大多数主要的EDA和IP供应商、云服务提供商和IC设计服务提供商。

图 1：英特尔TGV玻璃基板样本



数据来源：ANANDTECH，Intel，广发证券发展研究中心

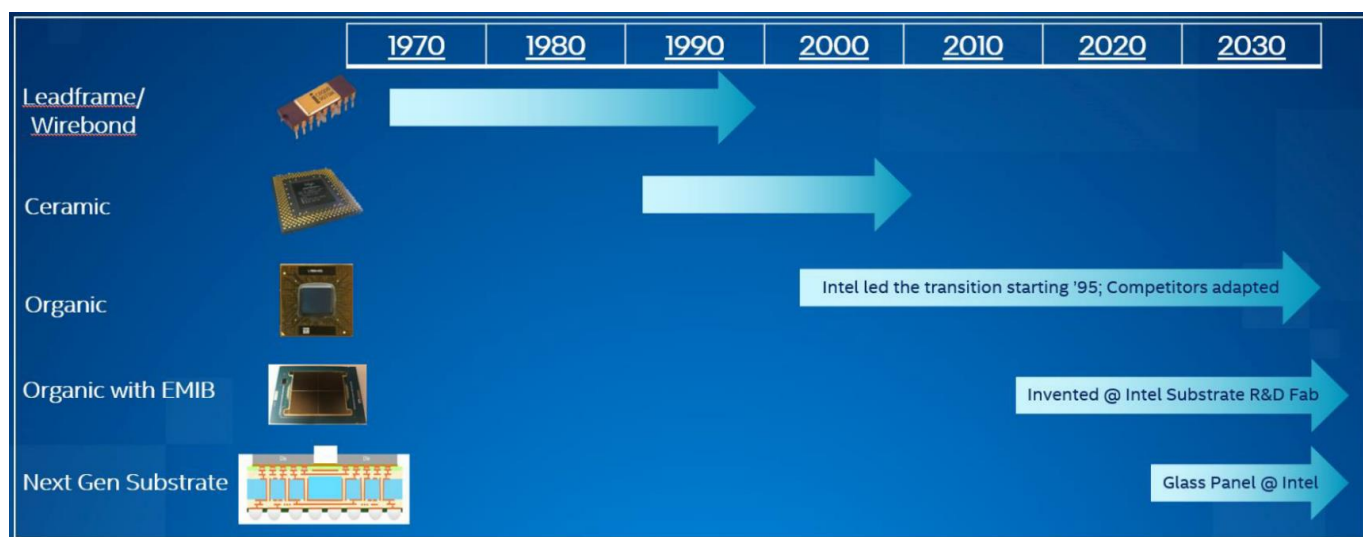
图 2：英特尔75 μm间距/3层RDL的玻璃基板



数据来源：ANANDTECH，Intel，广发证券发展研究中心

英特尔认为玻璃基板有望成为下一代主流的基板材质。根据ANANDTECH引用的Intel展示PPT，复盘芯片基板的发展历史，自1970年引线框架大规模使用于芯片封装后，英特尔认为半导体行业主流的基板技术将会每15年改变一次，未来行业将会迎来玻璃基板的转变，而从有机板到玻璃基板的这个转变将在近10年发生，同时英特尔也认为玻璃基板的出现并不会马上完全取代有机板，而是会在未来一段时间内和有机板共存。

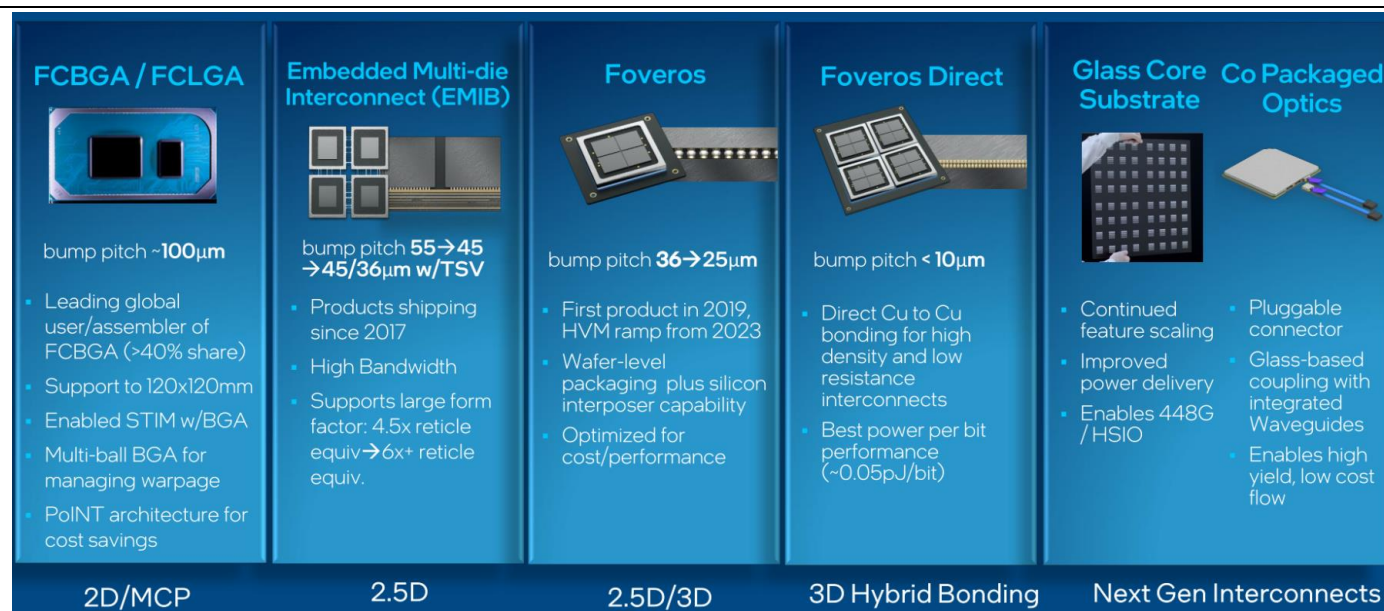
图 3：英特尔封装基板材质路线图



数据来源：ANANDTECH, Intel, 广发证券发展研究中心

玻璃基板、CPO工艺有望成为混合键合以后的下一代先进封装工艺。根据ANANDTECH引用的Intel展示PPT，英特尔认为基于玻璃基板、CPO将是先进封装下一代主流技术。相比有机板和硅，玻璃基板的性能和密度均有提高，可以允许在更小的占用面积下封装更多的Chipselets，以此带来更低的整体成本的功耗，让未来数据中心和AI产品得到大幅改进。根据未来半导体，英特尔研发的CPO也可以通过玻璃基板进行设计，从而实现利用光学传输的方式来增加信号，提高功率的同时降低成本。

图 4：英特尔先进封装迭代路线图



数据来源：ANANDTECH, Intel, 广发证券发展研究中心

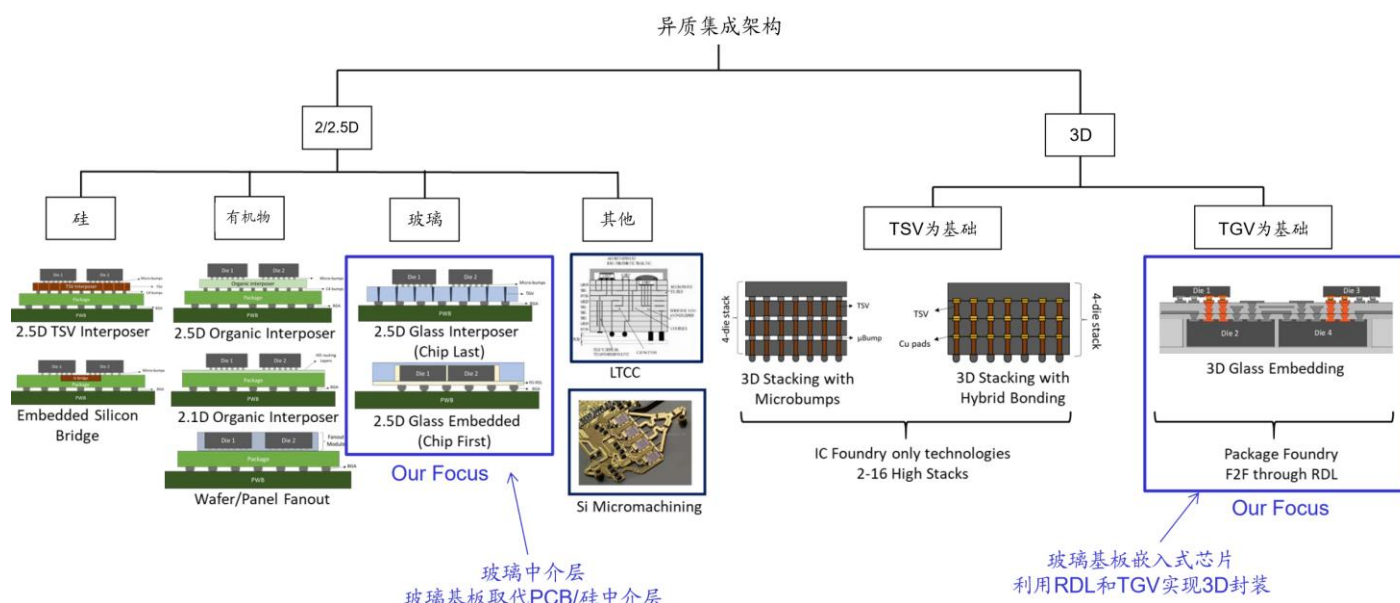
（二）玻璃基板：材料与工艺的变革

玻璃基板主要用来取代原先的硅/有机物基板和中介层，可应用于面板、IC等泛半导体领域。在目前的2.5D封装中，以较为主流的台积电的CoWoS封装为例，是先将半导体芯片（CPU、GPU、存储器等）通过Chip on Wafer（CoW）的封装制程一起连接至中介层（Interposer）上，再通过Wafer on Substrate（WoS）的封装制程将硅中介层连接至底层基板上；其中，中介层（interposer）一般选用硅（COWOS-S）、有机物（COWOS-R）或者是硅和有机物的结合（COWOS-L）。

玻璃材质的引入可以取代原先的硅中介层和有机基板。玻璃基板直接利用玻璃中介层（Glass Interposer）实现芯片之间、芯片与外部的互联，利用玻璃材质成本低、电学性能好、翘曲低等优点来克服有机物材质和硅材质的缺陷，来实现更稳定、更高效的连接以及降低生产成本，有望为2.5D/3D封装带来全新的范式改变。

玻璃基板的3D封装方面，TGV及其相关的RDL将成为关键工艺。目前的3D封装中，以HBM工艺为例，其中的关键技术包括TSV（Through-Silicon Vias）、微凸点（Microbumps）、TCB键合（Thermo-Compression Bonding，热压键合）、混合键合（hybrid bonding）等；对于玻璃基板的3D封装，TGV（Through Glass Via，玻璃通孔）、铜孔的填充及其RDL将成为关键工艺。

图 5：目前2.5D/3D封装基板与工艺路线图



数据来源：《Heterogeneous integration for AI applications: status and future needs》（Madhavan Swaminathan, Siddharth Ravichandran），广发证券发展研究中心

玻璃基板优势显著。根据《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），玻璃基板的优势主要体现在：

（1）低成本：受益于大尺寸超薄面板玻璃易于获取，以及不需要沉积绝缘层，玻璃转接板的制作成本大约只有硅基转接板的1/8；

(2) 优良的高频电学特性: 玻璃材料是一种绝缘体材料, 介电常数只有硅材料的1/3左右, 损耗因子比硅材料低 2~3 个数量级, 使得衬底损耗和寄生效应大大减小, 可以有效提高传输信号的完整性;

(3) 大尺寸超薄玻璃衬底易于获取: 康宁、旭硝子以及肖特等玻璃厂商可以量产超大尺寸 (大于2 m×2 m) 和超薄 (小于50μm) 的面板玻璃以及超薄柔性玻璃材料;

(4) 工艺流程简单: 不需要在衬底表面及TGV内壁沉积绝缘层, 且超薄转接板不需要二次减薄;

(5) 机械稳定性强: 当转接板厚度小于100μm时, 翘曲依然较小;

(6) 应用领域广泛: 除了在高频领域有良好应用前景之外, 透明、气密性好、耐腐蚀等性能优点使玻璃通孔在光电系统集成领域、MEMS封装领域有巨大的应用前景。

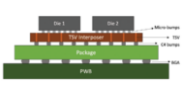
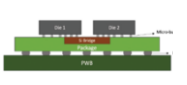
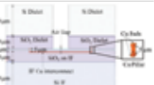
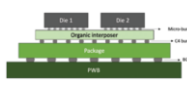
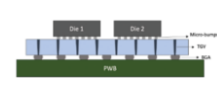
表 1: 主要的基板材料对比

基板材料	硅	有机材料		玻璃
		层压板	环氧模塑料	
化学性质				
表面平整度	< 10	400-600	> 1000	< 10
CTE (ppm/K)	2.9-4	3-17	16-30	3-9
弹性系数	165	10-40	22	50-90
吸湿性	0	0.04%	1-2.5%	0
热传导性	148	0.9	0.5-0.75	1.1
物理性质				
封装大小	35 × 35	70 × 70	50 × 50	100 × 100
直径/晶圆大小	300 mm	710mm ²	300mm/510mm ²	710mm ²

数据来源: 《Heterogeneous integration for AI applications: status and future needs》(Madhavan Swaminathan, Siddharth Ravichandran), 广发证券发展研究中心

根据《Heterogeneous integration for AI applications: status and future needs》, 可以看到玻璃中介层对比硅中介层, 拥有更低的介电常数、更短的互联长度和更高的传输速率 (约提高3.5倍) 以及带宽密度 (提高约3倍), 同时能耗可以有效降低约2倍, 玻璃中介层的优势较为明显。

表 2: 2.5D封装主流路线对比

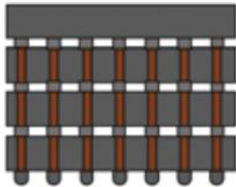
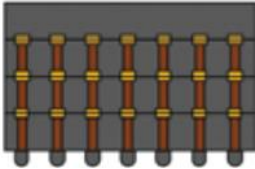
	硅			有机物		玻璃
	TSV 中介层	硅桥 (EMIB)	Silicon IF	有机中介层	Chip-last Fan Out	玻璃中介层
图例						
状态	商业化	商业化	研发	商业化	开发	研究
介电常数	3.9	3.9	3.9	3.0	3.2	2.5-3.0
IO 间隙	50μm	45μm	10μm	55μm	40μm	55μm

互联长度	5mm	5mm	0.5mm	6mm	1mm	2.5mm
互联密度 IO/mm/层	250	300	-	25	500	250
V _{swing}	1.2V	1V	1V	0.15V	1V	1V
Ω/F	39/0.4p	50/0.5p	30/50f	-	50/0.4pF	30/0.3pF
传输速率	2 Gbps	5 Gbps	4.21 Gbps	20 Gbps	9.5 Gbps	9.2 Gbps
带宽密度	500 Gps/min	1500 Gps/min	1300 Gps/min	500 Gps/min	4750 Gps/min	2300 Gps/min
每比特能量	1.025 pJ/bit	1.2 pJ/bit	0.4 pJ/bit	0.58 pJ/bit	0.78 pJ/bit	0.36 pJ/bit

数据来源：《Heterogeneous integration for AI applications: status and future needs》（Madhavan Swaminathan, Siddharth Ravichandran），广发证券发展研究中心

3D封装方面：TGV可以在玻璃上制作空腔，进而为芯片的封装提供一种名为嵌入式玻璃扇出（eGFO）的新方案。根据《Heterogeneous integration for AI applications: status and future needs》，这种架构不需要逻辑芯片中的TSV来建立较短的互连长度，因此可以提高信号完整性，减少昂贵芯片的占用空间，并降低整体系统成本。该解决方案由多个嵌入式芯片和使用RDL连接的组装芯片（玻璃制成）组成，目前这种封装的IO间距可以做到20μm，L/S为2/2μm，并拥有三个金属层，在传输效率、带宽密度、能耗上均有明显优势。

表 3：3D封装主流路线对比

	TSV-based		Non-TSV
	3D IC/w TSV	混合键合	3D Glass Embedding
图例			
状态	商业化	商业化	研发
介电常数	3.9	3.9	2.5-3
IO 间隙	40μm	10μm	20μm
互联长度	75μm	50μm	35-50μm
互联密度 IO/mm/层	625	10000	2500
V _{swing}	0.7V	1V	1V
Ω/F	-	-	50/50f
传输速率	1.69Gbps	-	1.86Gbps
带宽密度	1.76 Tbps/mm ²	-	4.65 Tbps/mm ²
每比特能量	76.2 fJ/bit	7 fJ/bit	11.2 fJ/bits

数据来源：《Heterogeneous integration for AI applications: status and future needs》（Madhavan Swaminathan, Siddharth Ravichandran），广发证券发展研究中心

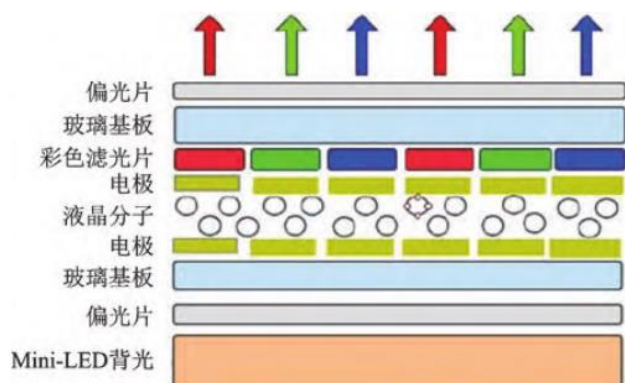
（三）新型显示已有成熟应用，半导体领域东风渐起

（1）新型显示领域：玻璃基板的应用已经得到验证

目前玻璃基板在新型显示领域的渗透目标主要是Mini/Micro LED（MLED）。玻璃基Mini/Micro LED也叫COG（Chip on Glass），即LED发光晶体直接封装在TFT玻璃基板（或者TFT树脂基板）上的LED显示单元封装技术。

面板领域采用玻璃基板的优势在于：（1）相对来说导热率更高、散热性更强、受热膨胀率更低，可以有效应用于密度较高的MLED焊接，满足复杂的布线需要；（2）玻璃基板平坦度高，芯片转移难度较PCB低；（3）玻璃刚性较好，在多组背光单元拼接时，玻璃基板可以满足高精度拼接需求，减少拼接产生的拼缝问题。

图 6：Mini LED背光显示结构



数据来源：《微缩化 LED 显示技术的发展及应用》（宋德宇），广发证券发展研究中心

图 7：Micro LED显示结构



数据来源：《2020 深圳市 Micro LED 产业发展白皮书》，广发证券发展研究中心

玻璃基已用于Mini LED产品。根据沃格光电2023年年报，在Mini LED基板方面，玻璃基板取代PCB板的优势在于具有更优的性能和成本优势。玻璃基低胀缩以及高平整度的特性可以更好支持真正的Mini Led芯片的COB封装，同时在高端产品以及高分区、窄边框、低OD值上都有优于PCB基板的良好表现。特别是在车载显示领域，玻璃基Mini LED背光在拥有Mini LED技术寿命长、高亮度、高色域饱和度以及低成本优势的基础上，依靠玻璃材质的高平整性、低胀缩比及超薄特性在大屏化和轻薄化，具有较明显的应用优势。

京东方已经实现了玻璃基Mini LED产品在高端系列的量产商用。根据京东方官网，其Mini LED TV显示的旗舰系列产品（包括55" DID、65" TV、75" TV、85/86" TV）全部采用玻璃基（COG）技术，可以实现大尺寸65整板的拼接。

表 4：京东方Mini LED旗舰系列TV显示屏对比

	55" DID	65" TV	75" TV	85/86" TV
应用技术	COG			
分辨率	2K	4K	4K	4K
光距（mm）	10	3	6	6

亮度 nits (Typ.)	700	600	600	600
亮度 nits (Peak)	1300	2000	2000	2000
背光分区	960	2304	2040	2304
单区 LED	6	4	4	4
驱动模式	AM	AM	AM	AM

数据来源：京东方官网，广发证券发展研究中心

Micro LED直显领域，持续发力。根据《新型玻璃基Micro-LED曲面弯折拼接显示技术研究》，随着LED芯片和像素间距变得越来越小，Micro-LED显示背板在固晶焊接时，单位面积上会产生更高的热量密集。PCB基板由于其自身散热性的限制，会存在翘曲变形的风险，所以将Micro-LED芯片直接转移到PCB基板上的工艺难度会越来越高。相比之下，玻璃材料的散热性好、受热膨胀率低可有效地应用于密度较高的Micro-LED焊接。除此之外，玻璃基在透明显示领域亦有着得天独厚的优势，能很大程度地丰富Micro LED产品的多样性。

京东方、TCL华星均有玻璃基Micro LED直显产品布局。根据京东方官网，京东方自主研发的MircoLED直显COG产品采用玻璃基板，其点间距达到0.9mm，搭载主动式点对点的直驱方式，无频闪低蓝光特性让其在画质、护眼等方面大幅提升。TCL华星也在2021年就展示了首款125"玻璃基透明直显Micro-LED产品，推进玻璃基板在Mirco LED领域对PCB板的替代。根据沃格光电2023年年报，TGV工艺技术路径的突破，凭借其优异的性能和成本优势，未来将有望大幅提升Micro LED直显的行业渗透率。

图 8：京东方MircoLED直显COG产品



数据来源：京东方官网，广发证券发展研究中心

图 9：TCL华星首款125"玻璃基透明直显MicroLED



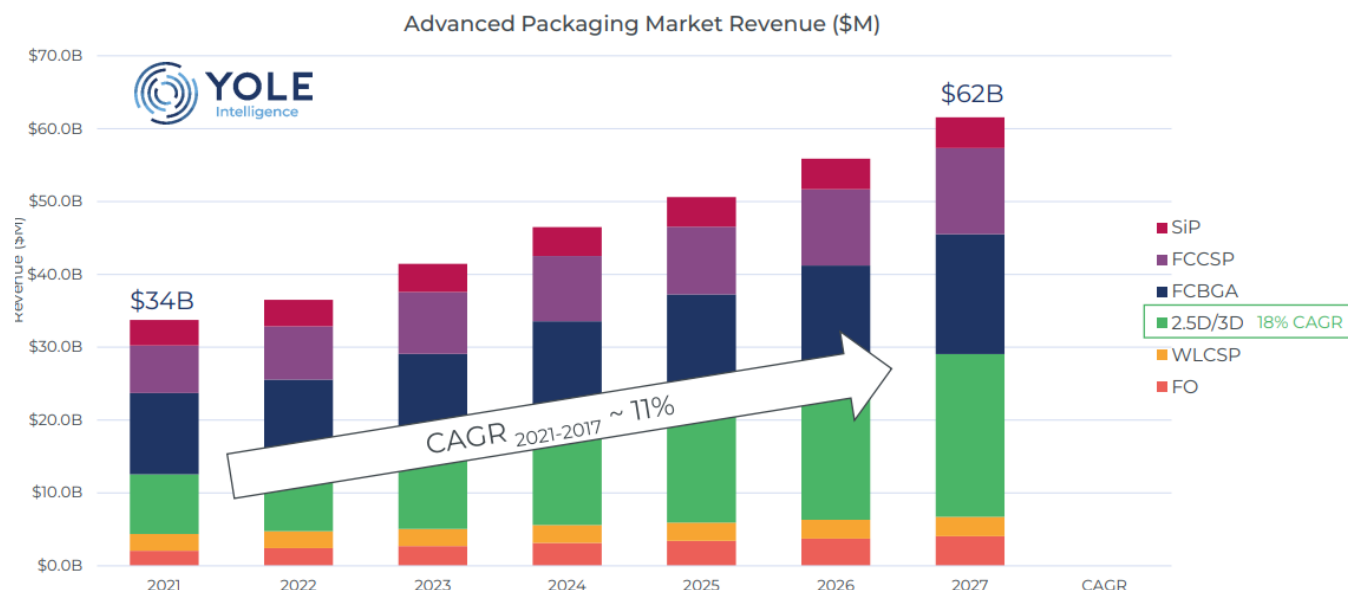
数据来源：《新型玻璃基 Micro-LED 曲面弯折拼接显示技术研究》（卢鑫泓等），广发证券发展研究中心

（2）半导体领域：工艺难度较大，处于0-1的关键阶段

2.5D/3D市场规模增长明显。根据Yole的统计与预测，全球先进封装市场规模有望从2021年340亿美元上升至2027年的620亿美元，CAGR约为11%。其中2.5D/3D封装市场规模增速最快，CAGR达到18%，有望在2027年超过200亿美元，成为全球先进

封装市场规模最大的工艺种类。

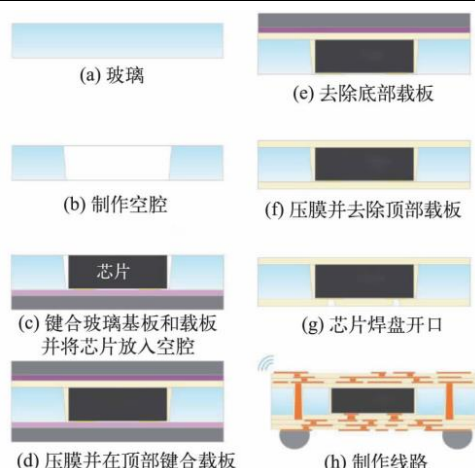
图 10：全球先进封装市场规模变化及各工艺份额（收入口径）



数据来源：Yole，广发证券发展研究中心

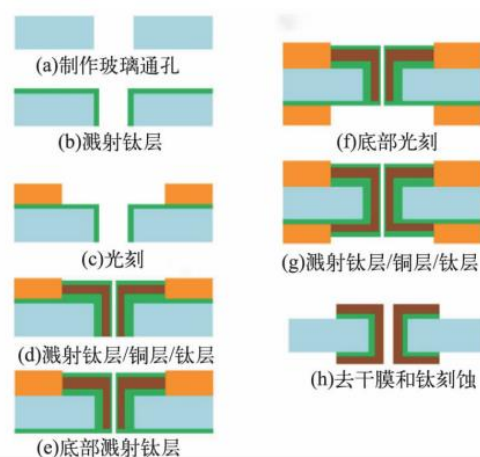
玻璃基板有望率先应用于MEMS、射频封装、三维集成无源元件以及集成天线封装等领域。根据《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），2013年LEE等人利用玻璃通孔技术实现射频MEMS器件的晶圆级封装，采用电镀方案实现通孔的完全填充，通过该方案制作的射频MEMS器件在20 GHz时具有0.197 dB的低插入损耗和20.032 dB的高返回损耗，在40 GHz以内具有稳定的射频性能；在5G毫米波集成天线封装方面，2020年乔治亚理工的Tummala首次在100 μm的玻璃基板上实现了在n257频段(26.5~29.5 GHz)的芯片嵌入毫米波天线集成模块，该方案相比于倒装芯片嵌入技术具有更低的信号损耗。同样的，使用TGV工艺制成的TGV-集成天线，可以应用于3D系统封装（SiP）中，能够实现更紧凑、高功率、高效的V波段（40~75 GHz）无线平面内芯片到芯片（C2C）通信。

图 11: 5G毫米波集成天线封装流程



数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

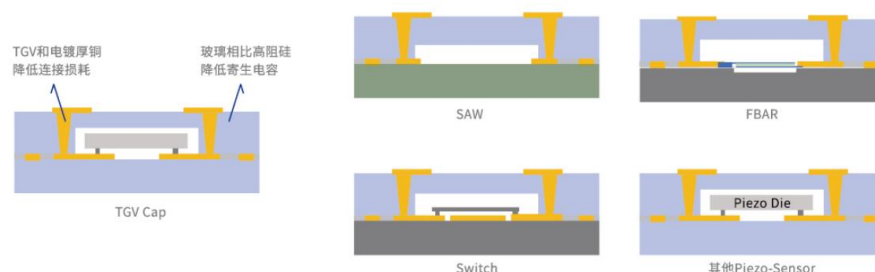
图 12: TGV-集成天线的工艺流程



数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

国内厂商在IPD（薄膜无源元件集成技术）、MEMS（微系统加工）的TGV领域均已有所建树。根据森九电子官网,公司团队在IPD集成无源器件,TGV玻璃基板通孔,MEMS微机电加工等专业领域具有深厚积累和独有特色能力。IPD领域,森九IPD具有IPD器件固有的高集成度、小型化特点外,独具玻璃通孔工艺能力,使得IPD器件性能进一步提升,兼具高性能高可靠性和批量一致性等优秀特点。MEMES领域,通过制造玻璃通孔,可以利用玻璃基底其优良的电学性能,帮助实现很多MEMS器件的开发和制造,提供空腔应用的最佳解决方案。

图 13: 森九电子基于TGV、玻璃空腔工艺的MEMES微系统加工方案

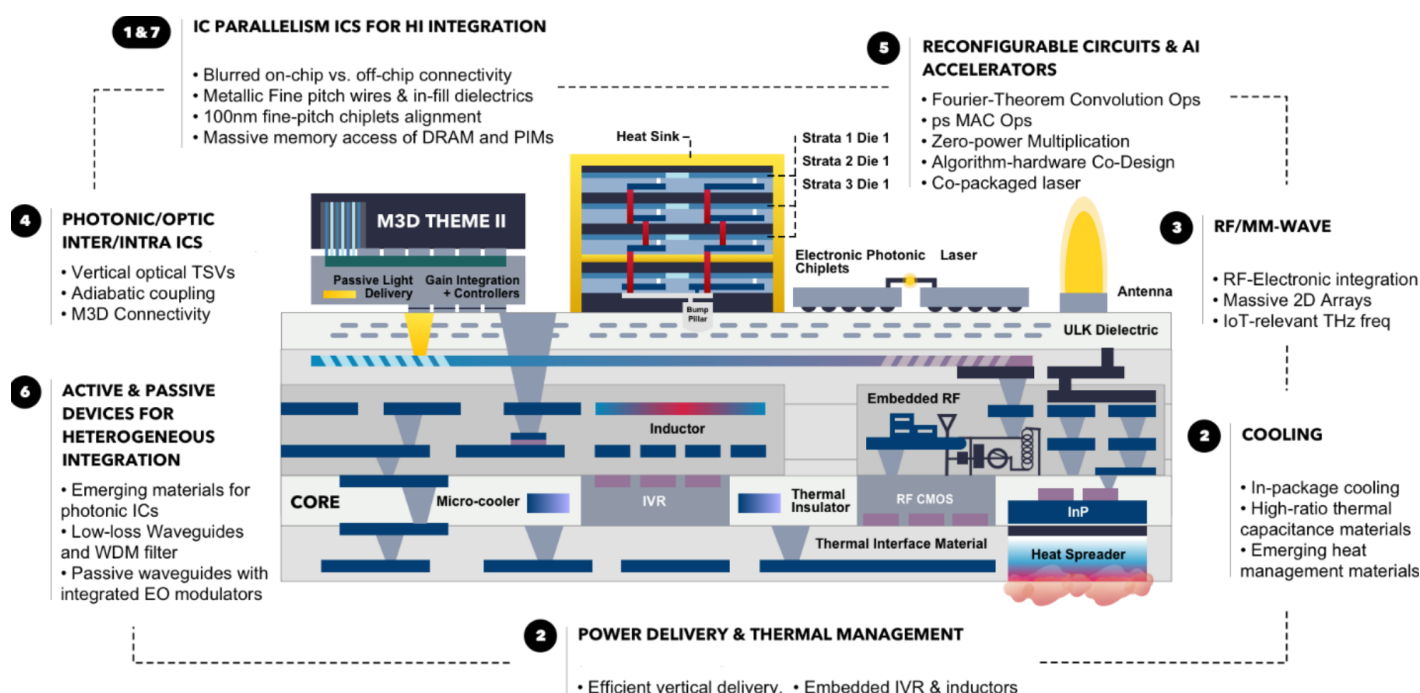


数据来源：森九电子官网，广发证券发展研究中心

算力芯片领域，巨头积极投入研发。目前人工智能对数据中心和传输效率提出了更高的要求，尤其是对低功耗、高带宽的光模块的需求更加迫切，而高算力Chiplet芯片离不开Cowos、FOEB等先进封装平台。因此，随着AI芯片尺寸/封装基板越来越大，玻璃基封装被各大公司提上日程，期望玻璃基板能够构建更高性能的多芯片系统级封装（SiP）。

根据宾夕法尼亚大学的预测，未来随着封装工艺的演进异质集成将成为芯片发展的主流路径，参考其给出的未来10年后的超高封装密度集成芯片结构，可以看出如果需要将各模组都集成在同一芯片中,对组件小型化、基板材质都提出了很高的要求。玻璃基板翘曲低、电学性能优异的特点将使其成为下一代核心基板材料的不二之选，而玻璃通孔TGV工艺也将成为高效实现各模块互联的重要工艺。

图 14: 超高封装密度的异质集成芯片 (预测未来10年后)

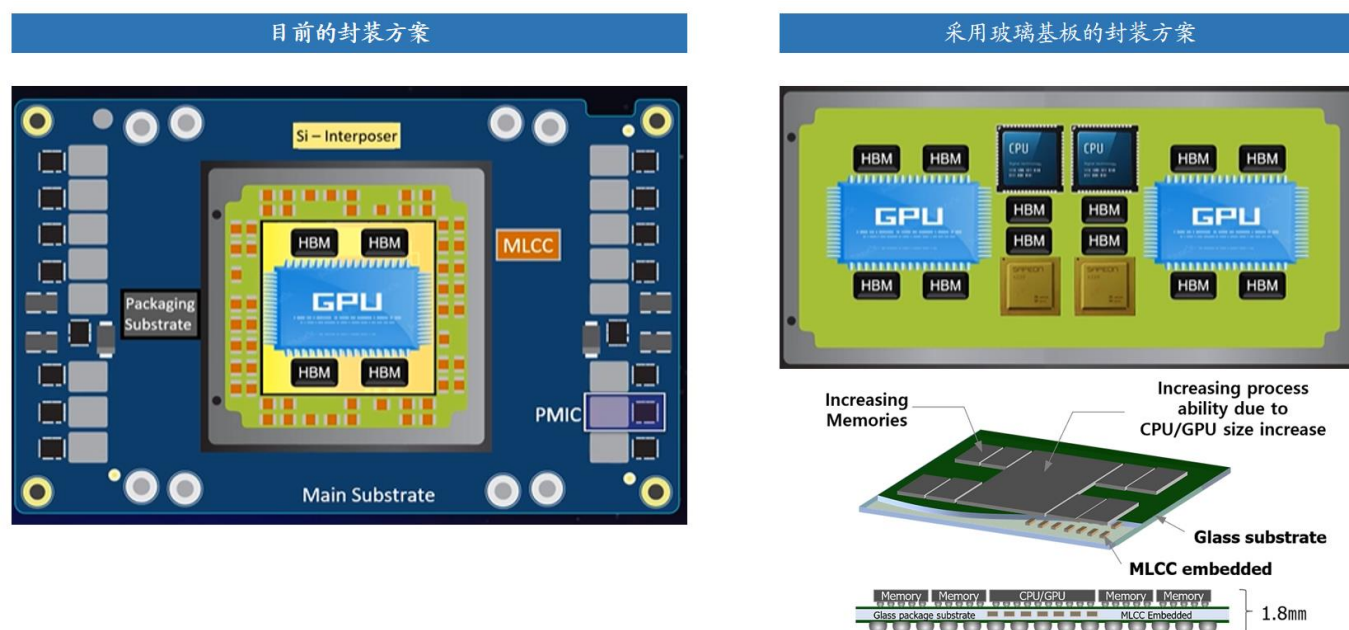


数据来源: PennState, 广发证券发展研究中心

除了英特尔, 英伟达、苹果等厂商也在纷纷布局TGV工艺。除了上文我们所提到的英特尔公司正在持续押注玻璃基板和TGV工艺, 英伟达、苹果等一众龙头芯片厂商也都将TGV纳入发展规划中。根据三叠纪官网, 英伟达指出AI所需的网络连接带宽将激增32倍, 继续使用传统光模块将导致成本翻倍和额外的20-25%功耗, 而使用玻璃基板、从玻璃基板边缘进行插拔互联有望可以降低近50%的功耗, 成为满足AI高算力需求的高效能比解决方案。此外, 苹果公司也正在积极与多家供应商商讨将玻璃基板技术应用于芯片开发, 以提供更好散热性能, 使芯片在更长时间内保持峰值性能。可以预见的是, 未来一段时间内玻璃基板将成为各大厂商竞争的新场景。

美国对先进封装基板材料的重视已上升至国家角度。根据美国商务部公告, 24年5月23日, 美国拜登政府宣布美国商务部与韩国SKC的子公司Absolics签署了一份不具约束力的初步条款备忘录 (PMT), 根据《芯片和科学法案》提供高达7500万美元的直接资金, 支持其在佐治亚州科文顿建造一座120,000平方英尺的工厂, 并开发用于半导体先进封装的基板技术, 这也是CHIPS首次提议投资于通过制造新型先进材料来支持半导体供应链的商业工厂。Absolics是韩国SK集团的子公司, 主要提供面向HPC、数据中心、AI等应用的高端玻璃封装基板。根据公司官网, 公司提供的玻璃基板封装方案可以有效减少封装厚度、简化封装结构, 并大幅提高CPU/GPU的运行速率, 带来近40%的芯片性能提高。

图 15: Absolics公司玻璃基板方案可以带来40%的芯片性能提高



数据来源: Absolics 官网, 广发证券发展研究中心

三星、LG等公司也均入局玻璃基板领域。根据EET China, 三星集团已联合三星电子、三星显示、三星电机等旗下公司组建了一个新的跨部门联盟, 开始着手联合研发玻璃基板, 推进商业化。在24年1月的CES 2024上, 三星电机已提出今年将建立一条玻璃基板原型生产线, 目标是2025年生产原型, 2026年实现量产。根据三叠纪官网, 2024年3月25日LG Innotek也宣布入局玻璃基板的开发, 将半导体基板做到第一是他们的业务目标。作为全球第一大基板供应商, 日本Ibiden也在23年10月宣布拟将玻璃基板作为一项新业务研发, 当前Ibiden正处于半导体封装用玻璃芯基板技术的探索阶段。

表 5: 目前海外芯片巨头针对玻璃基板的布局情况

公司名称	国家	玻璃基板领域布局情况
英特尔	美国	早在十年前就开始寻找有机基板的替代品, 并在亚利桑那州的 CH8 工厂投资十亿美元试生产玻璃基板; 计划于 2030 年开始批量生产玻璃基板封装芯片, 使用 75 微米的玻璃通孔, 纵横比为 20:1, 核心厚度为 1 毫米; 合作伙伴包括玻璃加工厂 LPKF 和德国玻基公司 Schott。
英伟达	美国	公司认为使用玻璃基板、从玻璃基板边缘进行插拔互联有望可以降低近 50% 的功耗, 成为满足 AI 高算力需求的高效能比解决方案, 玻璃基板未来有望成为高端 GPU 的封装方案。
苹果	美国	公司正在积极与多家供应商商讨将玻璃基板技术应用于芯片开发, 以提供更好散热性能, 使芯片在更长时间内保持峰值性能。
Absolics (SK 集团)	韩国	23 年 1 月应用材料向其投资 510 亿韩元 (4020 万美元), 协助其在美国设厂生产半导体玻璃基板, 一阶段建厂计划自 2024 年第二季正式投入量产; 24 年 5 月美国政府签署初步条款备忘录, 通过《芯片和科学法案》为其提供高达 7500 万美元的直接资金, 支持在佐治亚州科文顿建造一座 120,000 平方英尺的工厂, 并开发用于半导体先进封装的基板技术。
三星	韩国	已联合三星电子、三星显示、三星电机等旗下公司组建了一个新的跨部门联盟开始着手联合研发玻璃基板, 推进商业化。在 24 年 1 月的 CES 2024 上, 三星电机已提出今年将建立一条玻璃基板原型生产线, 目标是 2025 年生产原型, 2026 年实现量产。2024 年 3 月, 三星集团子公司三

星电机宣布与三星电子和三星显示器组建联合研发团队（R&D），三星电子预计将专注于半导体和基板的集成，而三星显示器将处理与玻璃加工相关的方面，以在尽可能短的时间内开发玻璃基板并将其商业化。

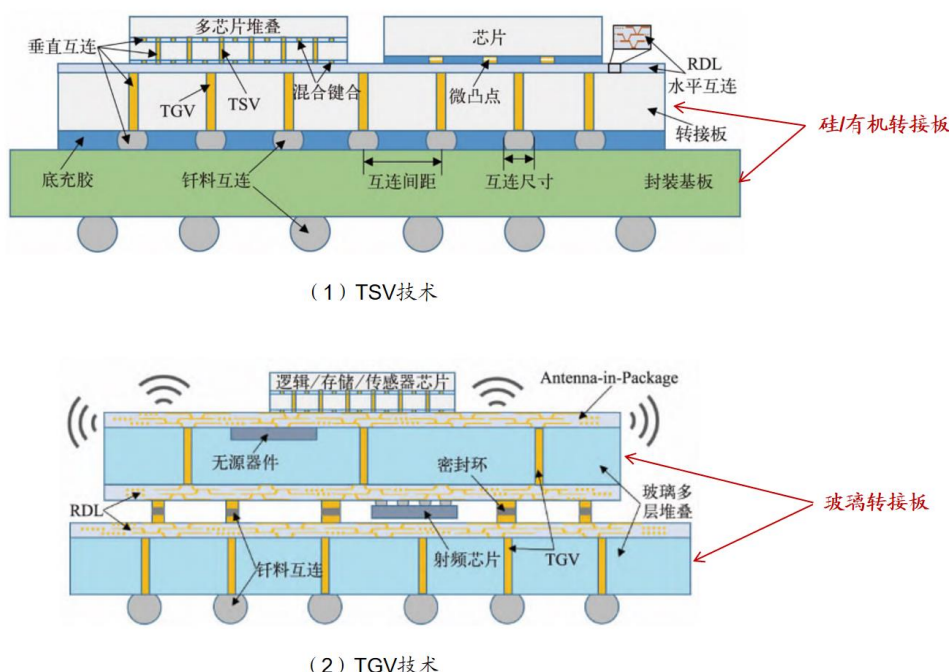
LG Innotek	韩国	宣布布局玻璃基板的开发，将半导体基板做到第一是他们的业务目标。
Ibiden	日本	公司是全球第一大基板供应商，在 23 年 10 月宣布拟将玻璃基板作为一项新业务研发，当前 Ibiden 正处于半导体封装用玻璃芯基板技术的探索阶段。

数据来源：三叠纪官网，EET China，广发证券发展研究中心

二、TGV：玻璃基板应用于先进封装的关键工艺

TGV技术是TSV技术的延续，主要区别在于引入了基板种类的变化。TSV（Through Silicon Via）是指通过在硅中介层打孔的方式实现垂直互联，而与之对应的TGV（Through Glass Via，玻璃通孔）是指穿过玻璃基板的垂直电气互连，它们都通过在中介层打孔并进行电镀填充来实现垂直方向的电气互联，以此来降低信号传输的距离，增加带宽和实现封装的小型化。而与TSV不同的是，TGV的中介层基板使用的是高品质硼硅玻璃、石英玻璃，以此来取得比硅中介层更好的封装表现，被认为是下一代三维集成的关键技术。

图 16：TSV与TGV的技术对比

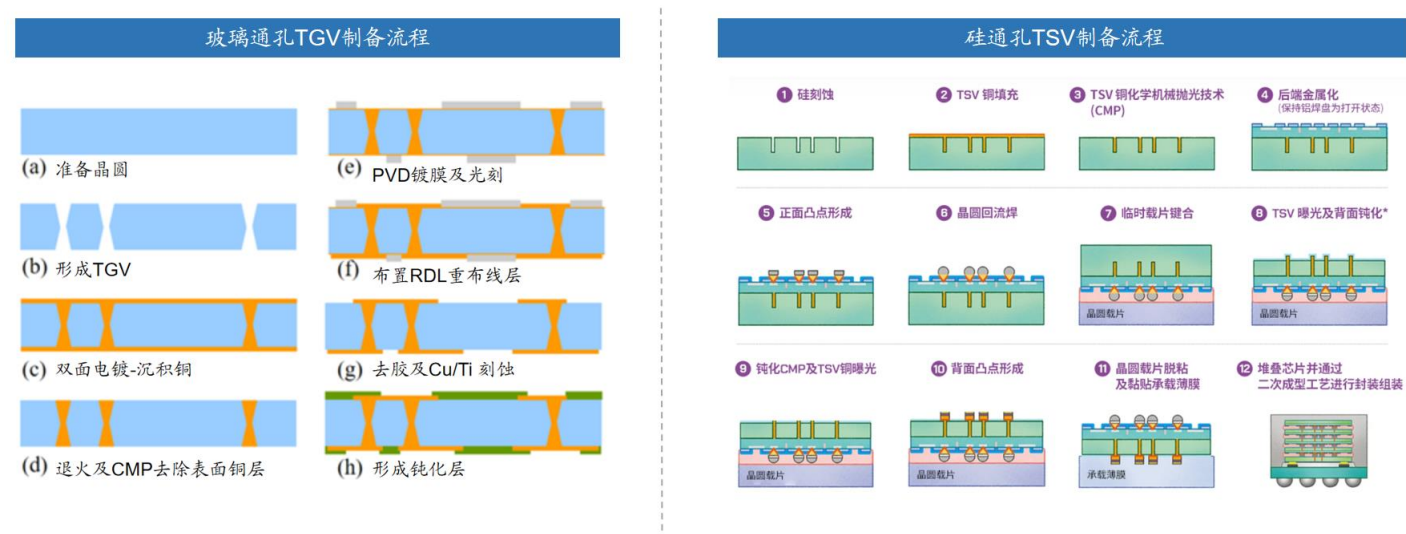


数据来源：《芯片三维互连技术及异质集成研究进展》（钟毅等），广发证券发展研究中心

TGV作为TSV的低成本替代方案，逐渐受到广泛关注。根据《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），硅基转接板2.5D/3D集成技术作为先进系统集成技术，近年来得到了迅猛的发展，但硅基转接板存在两个主要问题：（1）成本高，硅通孔（TSV）的制作采用硅刻蚀工艺，随后硅通孔需要氧化绝缘层、薄晶圆的拿持等技术，步骤复杂且流程较长；（2）电学性能差，硅材料属于半导体材料，传输线在传输信号时，信号与衬底材料有较强的电磁耦合效应，衬底中产生涡流现象，造成信号完整性较差（插损、串扰等）。

TGV省去了沉积隔离层、绝缘层的过程。TGV的制备流程包括，先玻璃基板上进行打孔，然后采用电镀的方法将Cu沉积在基板通孔和正反面已实现电气连接，然后采用CMP的方法将表面Cu层去掉，最后采用PVD镀膜光刻方法制备RDL重布线层，去胶后最终形成钝化层。与TSV的制备流程对比，TGV省去了在衬底表面及TGV内壁沉积绝缘层的步骤（由于铜可以与硅发生反应，因此需要沉积绝缘层、隔离层），并由于玻璃基板本身就可以做的很薄，还可以省去二次减薄的过程。

图 17: TGV玻璃通孔与TSV硅通孔制备流程对比



数据来源：艾邦半导体，海力士官网，广发证券发展研究中心

由于TSV技术目前相对比较成熟，已经大规模应用在高带宽存储器HBM的生产中，因此TGV与TSV相同的制备步骤（d）~（h）可以借鉴TSV的成功经验，技术成熟度相对比较高。根据《玻璃通孔三维互连镀铜填充技术发展现状》（纪执敬等），目前TGV中介层面临的挑战主要集中在TGV的通孔成孔工艺以及TGV的高质量填充两方面。

（一）玻璃通孔成孔技术：如何制作高精度的通孔/盲孔

玻璃通孔成孔技术是制约TGV发展的主要困难之一。TGV通孔的制备需要满足高速、高精度、窄节距、侧壁光滑、垂直度好以及低成本等一系列要求，如何制备出高深宽比、窄节距、高垂直度、高侧壁粗糙度、低成本的玻璃微孔一直是多年来各种研究工作的重心。目前主流的玻璃通孔加工成型方法有喷砂法、聚焦放电法、等离子刻蚀法、激光烧蚀法、电化学放电法、光敏玻璃法、激光诱导刻蚀法等。

表 6: 不同玻璃通孔制备方法对比

玻璃通孔制备方式	加工品质	生产效率	生产成本
喷砂法	孔径大、节距大、表面质量较差	中：双面喷砂	高：需用到掩膜板、研磨
聚焦放电法	密度高、深宽比高、垂直度差	低：单孔制作	中：设备维护成本
等离子刻蚀法	侧壁粗糙度低、损伤小	中：工艺复杂，刻蚀速率低	高：需用到掩膜板、光刻胶
激光烧蚀法	粗糙度大、存在侧裂纹	低：单孔作业	中：激光设备维护成本
电化学放电法	孔径大、节距大、垂直度差	中：单孔成型快	低：设备简单
光敏玻璃法	密度高、深宽比高、侧壁粗糙度好、垂直度好	高：工艺简单，整片作业	中：需用到掩膜板
激光诱导刻蚀法	密度高、深宽比高、无损伤、垂直度差	中：单孔成型快	高：设备维护成本

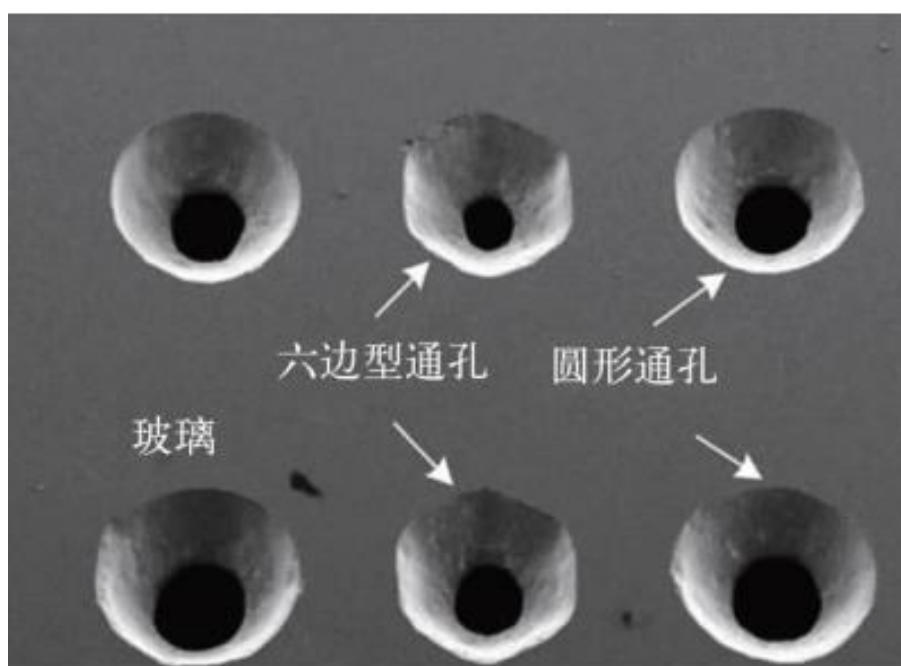
数据来源：《三维集成封装中光敏玻璃通孔制备工艺研究》（王刚），广发证券发展研究中心

1. 喷砂法：加工精度较低，应用场景较少

加工步骤：喷砂法要求在加工前先在玻璃基板上制作一层复合掩模，然后以制备的复合掩模为基础，采用干粉喷砂工艺对玻璃晶片进行蚀刻。考虑到蚀刻效率和宽高比，可在玻璃晶片的一侧先蚀刻一次，随后在玻璃晶片的另一侧也采用同样的工艺步骤进行蚀刻，两次喷砂蚀刻过程中必须保证中心点完全对称以形成完整的通孔。

工艺特点：由于喷砂法制作的通孔非常粗糙，孔孔径较大且一致性较差，所以该方法只能制作孔径较大($>200\mu\text{m}$)、间距较大的玻璃通孔，而逐渐退出三维集成封装的应用范畴；同时，该工艺中使用的沙粒直径一般为 $20\sim 50\mu\text{m}$ ，如此大的颗粒碰撞会对玻璃表面以及孔的侧壁造成封装系统无法接受的损伤，以此少见于先进封装工艺。

图 18：喷砂法制作的TGV结构



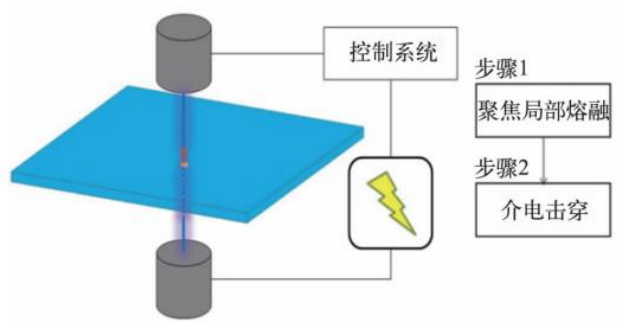
数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

2. 聚焦放电法：通孔均匀性好，生产效率较低

加工步骤：聚焦放电主要包括两个步骤：1. 将玻璃放在两个电极之间，通过控制放电对玻璃局部区域进行放电熔融；2. 通过焦耳热使玻璃内部产生高应力，引起内部高压和介电击穿，上述步骤可以在不到 $1\mu\text{s}$ 的时间内就完成 $100\sim 500\mu\text{m}$ 厚的玻璃通孔制备，可以制备最小孔径为 $20\mu\text{m}$ 、深宽比 $5\sim 8$ 的玻璃通孔。

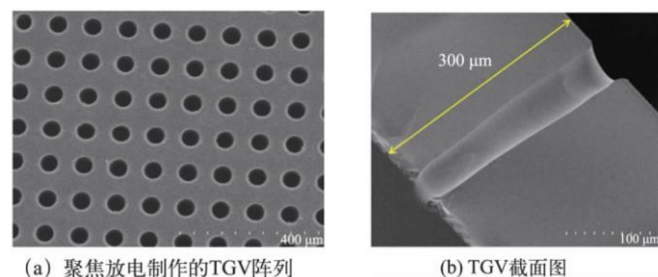
工艺特点：聚焦放电产生玻璃通孔的方法可以制备多种类型的玻璃，如石英、钠钙玻璃、无碱玻璃、含碱玻璃等，且从聚焦放电制作的TGV阵列可以看出，该方法能够制作均匀性较好、没有裂纹的高密度通孔。但由于此方法是单次进行单孔制作，所以生产效率较低，且从玻璃通孔的切片结果来看，通孔的形状不是很垂直，可能会影响后续填充的效果。

图 19: 聚焦放电制作TGV的示意图



数据来源:《玻璃通孔技术研究进展》(陈力等),广发证券发展研究中心

图 20: TGV阵列和横截面扫描电镜图

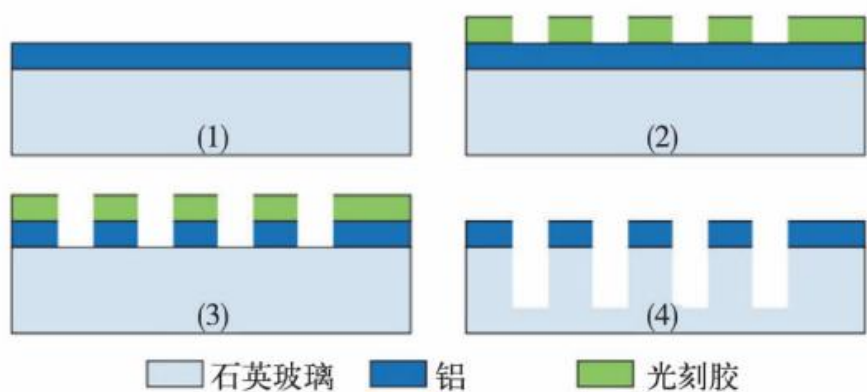


数据来源:《玻璃通孔技术研究进展》(陈力等),广发证券发展研究中心

3. 等离子体刻蚀: 通孔可靠性提高, 工艺成本较高

加工步骤: 用等离子体刻蚀法在石英玻璃上制作玻璃通孔步骤如下: 1. 在石英上蒸发沉积了一层铝层作为刻蚀硬掩模; 2. 通过光刻的方法暴露出玻璃表面需要光刻的位置; 3. 用氯气或者三氯化硼腐蚀暴露的铝层, 用氧气等离子体去除玻璃表面的光刻胶; 4. 利用全氟环丁烷/氩气等离子体蚀刻石英以形成TGV。

图 21: 等离子体刻蚀法制作TGV的具体流程



数据来源:《玻璃通孔技术研究进展》(陈力等),广发证券发展研究中心

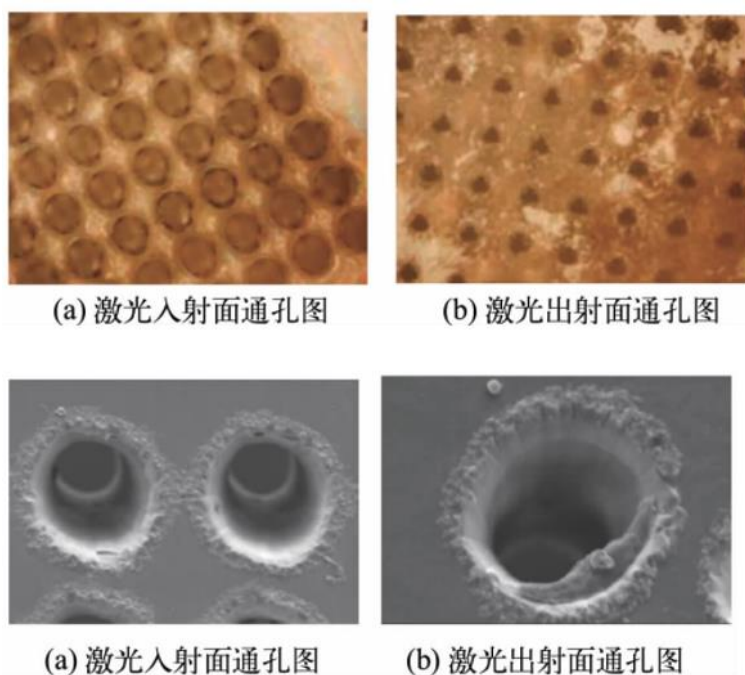
工艺特点: 等离子体法刻蚀TGV可以同时进行大面积的多个TGV刻蚀, 因此生产效率相较聚焦放电法可以得到改善, 且因为其侧壁粗糙度小($<150\text{nm}$)、侧壁无损伤, 拥有良好的可靠性保证。但是等离子体刻蚀TGV的方法也还存在许多缺点, 包括工艺复杂, 需要额外的多个步骤; 生产成本低, 需要用到掩模版、光刻胶等; 以及刻蚀速率慢, 速率小于 $1\text{ }\mu\text{m/min}$ 。

4. 激光烧蚀法: 通孔垂直度较高, 但粗糙度、无裂纹无法兼顾

激光烧蚀TGV制作是利用激光的能量将玻璃烧蚀以形成玻璃通孔, 可制备出垂直度

高的玻璃通孔。激光烧蚀所使用激光器主要包括飞秒激光、皮秒激光、纳秒准分子激光器和CO₂激光器等。其中CO₂激光属于“热激光”，其通过局部烧蚀玻璃材料形成TGV，但利用该种激光制备的TGV侧壁裂纹较多（热应力问题）；准分子激光器属于“冷激光”，其烧蚀形成的TGV孔壁基本上没有裂纹出现，但是孔壁的粗糙度略大（4~5 μm），且成孔效率较低。

图 22：CO₂激光、准分子激光制作通孔（上图为CO₂激光，下图为准分子激光）



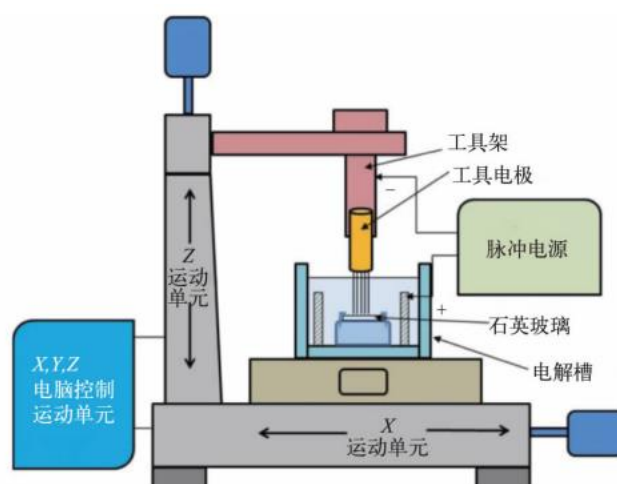
数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

5. 电化学放电加工法：工艺简单设备要求低，但可加工孔径较大

加工步骤：电化学放电加工法是一种将电火花加工（EDM）和电解加工（ECM）相结合的新型低成本玻璃微加工方法。该方法通过电解液的电化学放电和化学腐蚀产生的热熔作用，将材料从基板中去除。电化学加工的电解槽由一个碱性电解质溶液（氢氧化钾、氢氧化钠等）和两个电极组成，工具电极和对电极分别连接到电源的正、负端子上。当两个电极之间施加电位差时，在工具电极周围由于气泡的聚结而形成一层薄薄的氢气膜，将工具电极与周围的电解液完全隔离。当电位差进一步增大时，氢气膜破裂，产生电化学放电，并将玻璃融化并移除。

工艺特点：该方法不仅工艺简单，且对设备要求较低，能快速加工出TGV。但是目前该方法只能加工出孔径大于300 μm且上开口大于下开口的锥形玻璃通孔，这也大大限制了该方法的应用范围。

图 23: 电化学放电法制备TGV装置

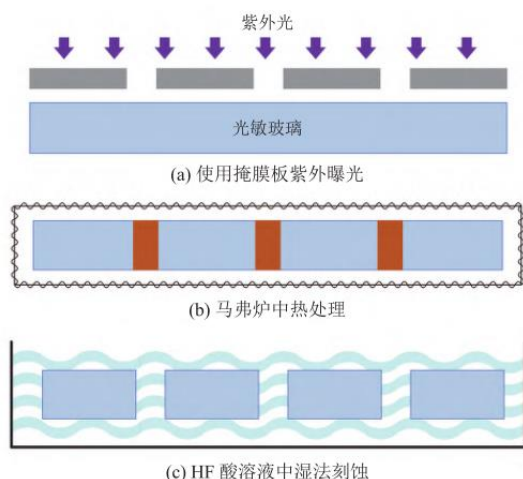


数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

6. 光敏玻璃法：高密度、高深宽比通孔，但成本较高、材料受限

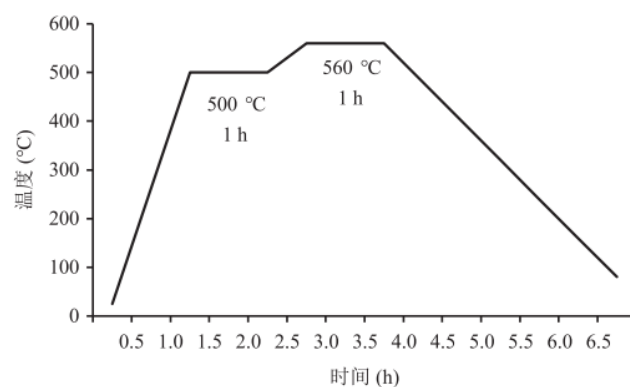
加工步骤：光敏玻璃法是指根据光敏玻璃材料特性，利用紫外曝光、热处理、湿法刻蚀等方法实现玻璃通孔加工的工艺流程。加工前需先将玻璃进行预处理，即将玻璃先后放入异丙醇和丙酮中分别超声清洗10min取出后用氮气吹干，除去玻璃表面杂质，随后先通过紫外光对光敏玻璃进行曝光，并在马弗炉中进行热处理以让紫外线照射过的区域材料变性成为陶瓷材料，最后通过氢氟酸溶液进行湿法刻蚀来去除陶瓷材料，整个加工过程中需要精密的温度控制。

图 24: 光敏玻璃通孔制备工艺流程图



数据来源：《三维集成封装中光敏玻璃通孔制备工艺研究》（王刚），广发证券发展研究中心

图 25: 光敏玻璃热处理温度曲线

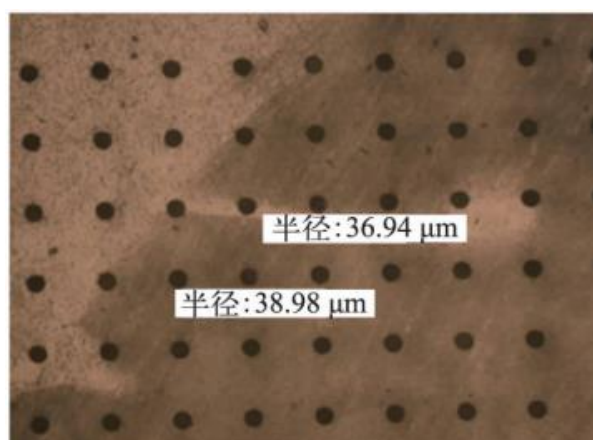


数据来源：《三维集成封装中光敏玻璃通孔制备工艺研究》（王刚），广发证券发展研究中心

工艺特点：基于光敏玻璃的TGV制作方法优势在于采用高刻蚀速率的湿法腐蚀可以实现各向异性刻蚀，从而获得高密度、高深宽比的玻璃通孔。但是该技术也存在两个问题：1. 价格昂贵，光敏玻璃本身的材料价格和工艺制程价格都相对较高；2. 对于不同尺寸的图形，尤其是盲孔或者盲槽的刻蚀，由于腐蚀速率不同会造成图形定

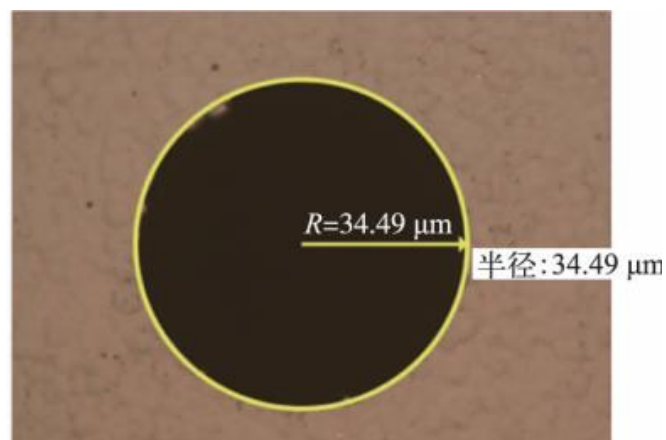
义精度差别较大；3. 由于需要高温处理，会导致玻璃在半固化状态下移动，造成结构偏移。

图 26：光敏玻璃法孔阵列显微镜图



数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

图 27：光敏玻璃法制备的通孔精密度高

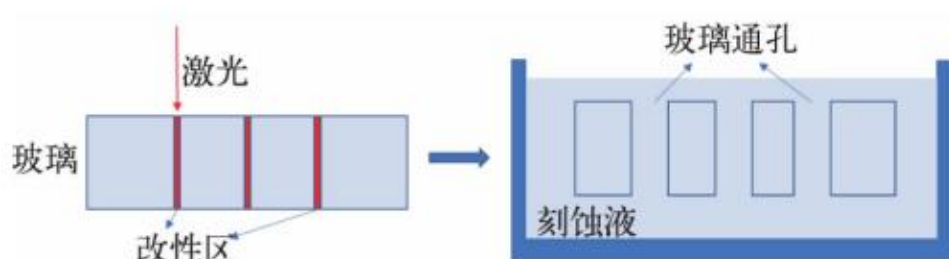


数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

7. 激光诱导刻蚀法：目前最有大规模使用前景的工艺

加工步骤：通过脉冲激光诱导玻璃产生连续的变性区，相比未变性区域的玻璃，变性玻璃在氢氟酸中刻蚀速率较快，基于这一现象可以在玻璃上制作通孔/盲孔。根据《玻璃通孔三维互连电镀填充技术发展现状》（纪执敬等），德国LPKF公司率先用该技术实现了玻璃通孔制备，该公司将该方法分为两步：1. 使用皮秒激光在玻璃上产生变性区域；2. 将激光处理过的玻璃放到氢氟酸溶液中进行刻蚀，该工艺可以制备孔径最小为10μm的TGV通孔，典型深宽比在10:1的范围内，某些特殊条件下根据玻璃类型可达到50:1。国内方面，厦门云天半导体科技有限公司成功开发了先进TGV激光刻蚀技术，实现了深宽比为10:1的玻璃通孔量产，研发结果显示，该技术可以制备深宽比为20:1的通孔和5:1的盲孔，且具备较好的形貌。

图 28：激光诱导刻蚀制作TGV的流程

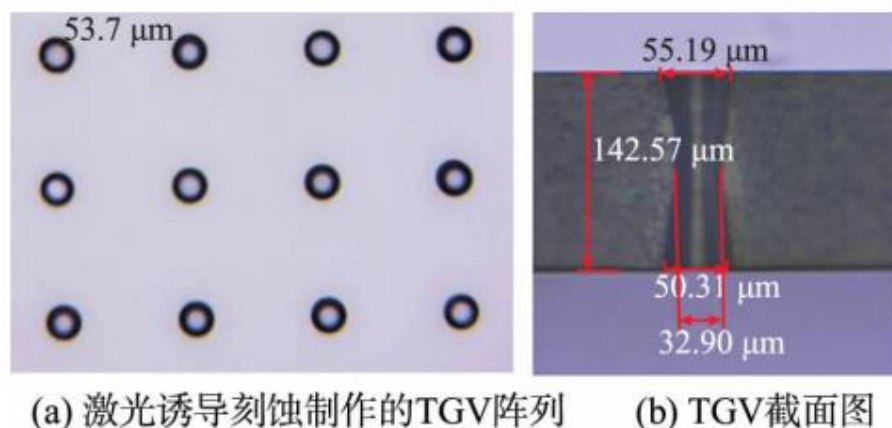


数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

工艺特点：激光诱导刻蚀法的反映机理与上文展示的光敏玻璃法类似，都是通过某种光线的照射使得玻璃内部出现变性区域，然后通过酸溶液湿法刻蚀完成，区别在于激光诱导刻蚀法对无需使用特殊的光敏玻璃。此外，激光诱导刻蚀法的优势还包

括：1.可以在50~500 μm 厚的玻璃上形成孔径大于20 μm 的玻璃通孔，成孔质量均匀，一致性好，无裂纹；2. 成孔速率快，可达到290TGV/s；3. TGV形貌可调，由于刻蚀的各向异性，可以通过调节激光参数来控制TGV的垂直度和形貌。但也具有激光诱导速度慢、制备过程复杂、激光诱导孔径受激光范围限制、表面易损伤及对材料要求高等缺点。

图 29：激光诱导刻蚀形成通孔的显微镜图像



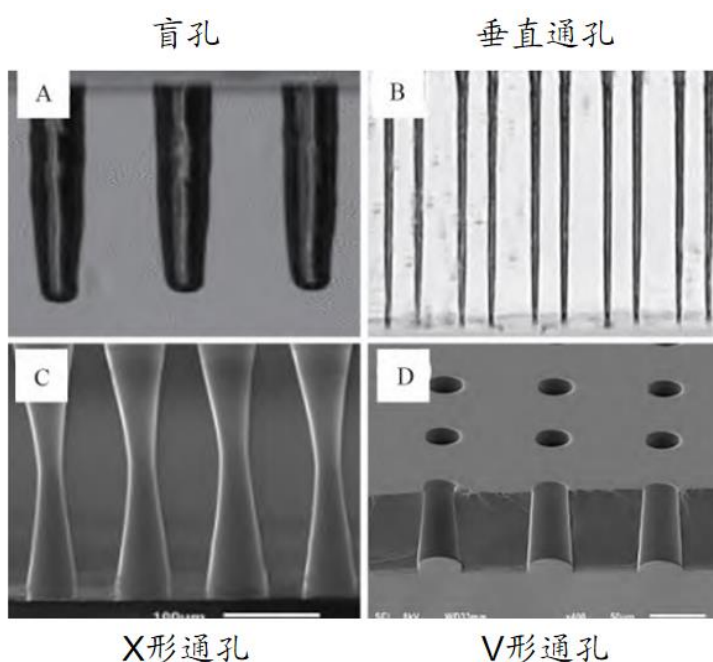
数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

综合比较各种玻璃通孔制造技术，激光诱导刻蚀法具有低成本优势，有大规模应用前景。

（二）玻璃通孔填孔技术：如何高质量进行金属填充

除了TGV成孔技术外，限制玻璃通孔应用的另一个技术难点是高质量的金属填充。一方面，与TSV不同，TGV孔径较大，且多为通孔，且受刻蚀工艺的影响，TGV孔的形状不同，主要有盲孔、垂直通孔、X型通孔以及V型通孔四种类型，这些对铜的沉积构成了较大的挑战，容易形成孔的“堵塞”；另一方面，与硅材料相比，由于玻璃表面光滑，与常用金属的粘附性较差，容易造成玻璃衬底与金属层之间的分层现象，导致金属层卷曲甚至脱落的现象。

图 30: 四种TGV孔型示意图



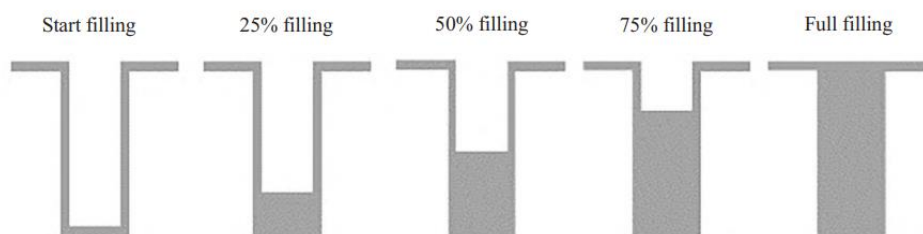
数据来源：《玻璃通孔三维互连电镀铜填充技术发展现状》（纪执敬等），广发证券发展研究中心

为了实现TGV的无孔洞、无缝隙填充，针对不同的孔形填充方式也各不相同。目前主要的填充工艺包括“自下而上（Bottom-up）填充”、“蝶形填充（Butterfly Model, BFT）”和“共形填充（Conformal）”三种填充方式。

1. Bottom-up填充：盲孔的主要填充方式

目前，对于TGV盲孔的主要填充方式是Bottom-up的填充。通过在TGV孔口侧壁及表面添加抑制剂，在盲孔底部添加加速剂的方式，可以在抑制TGV孔口侧壁及表面铜的沉积速度的同时，加速盲孔底部的Cu沉积，从而让Cu形成一种“自下而上”的填充方式来确保整个盲孔的填充过程中没有孔洞和缝隙的出现。

图 31: Bottom-up填充过程示意图



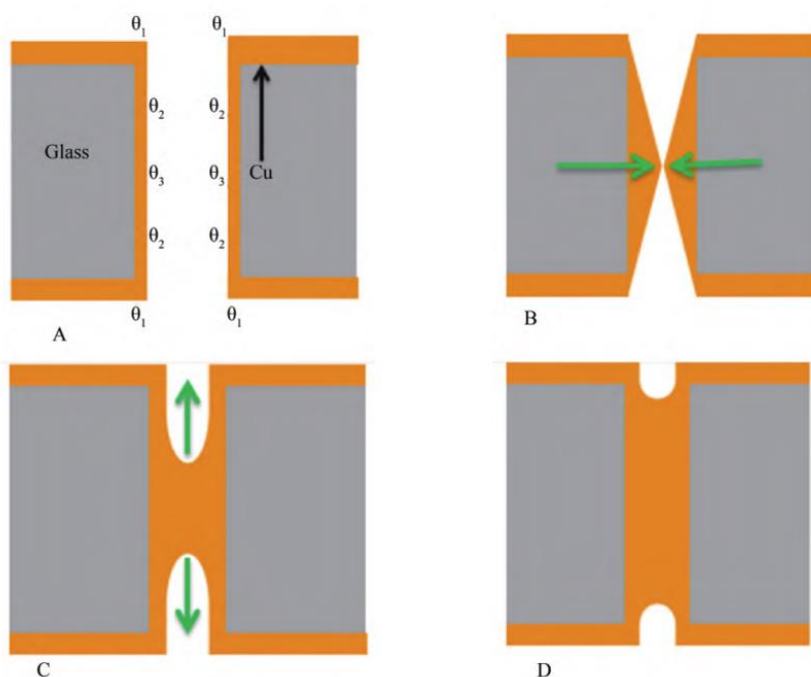
数据来源：《玻璃通孔三维互连电镀铜填充技术发展现状》（纪执敬等），广发证券发展研究中心

2. 蝶形填充：垂直TGV通孔的主要填充方式

目前，垂直TGV通孔的电镀填充方式一般为蝶形填充（BFT填充）。与盲孔填充相比，通孔填充在流体力学与质量传输方面存在明显差异。盲孔填充时，镀液在孔内很难流动，而镀液可以在通孔内部流动从而加强通孔内部的传质。且通孔与盲孔的几何形状不同，没有盲孔所谓的底部，不会产生自下而上的填充方式。由于通孔与盲孔在几何形状、流场、质量传输等方面的差异，导致用于盲孔填充的电镀配方无法直接用于通孔的电镀填充。

蝶形填充的流程包括：1. 在TGV通孔壁上按照“两边多，中间少”的方式涂抹抑制剂，从而影响通孔内次级电流的分布，让铜在孔的中心进行优先沉积的填充，形成类似“蝴蝶”的形貌，故称之为蝶形填充；2. 当通孔的蝴蝶形状形成后，通孔转变为两个对称的盲孔，填充方式由蝶形填充转变为Bottom-up填充，形成对通孔的完全填充。

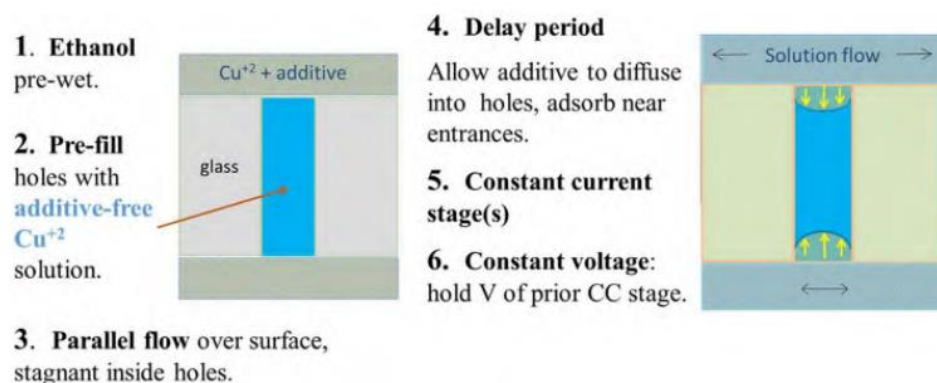
图 32：蝶形填充过程示意图



数据来源：《玻璃通孔三维互连电镀铜填充技术发展现状》（纪执敬等），广发证券发展研究中心

Dimitrov 课题组提出了一种高深宽比TGV通孔电镀的改良方案。首先使用酒精对TGV进行预润湿，然后在不含添加剂的甲基磺酸铜镀液中预先沉积一定厚度的铜，紧接着使用四唑类添加剂噻唑蓝溴化四唑（MTT）作为抑制剂，在恒定电流和恒定电压的模式下对TGV进行电镀填充。通过使用这种改进的工艺，可以在1h和4h内实现对深宽比为5:1和10:1的TGV的完整填充，且与TNBT、NTBC相比，成本较低（MTT:NTBC:TNBT=1:8:14）。但是该工艺的流程相对复杂，工业化生产难度较大，不过甲基磺酸铜镀液所允许的 Cu^{2+} 浓度（ $1.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ）远远大于硫酸铜镀液（ $0.9 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ），可以提高电镀填充的速率，对于高深宽比的TGV通孔填充更具意义。

图 33: 改善后通孔填充过程包含的流程示意图

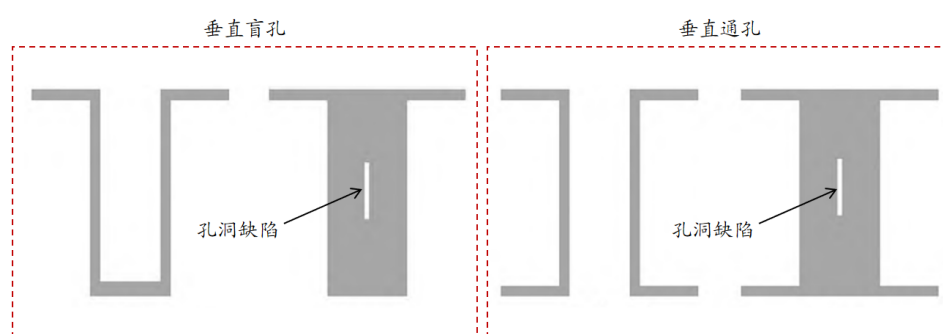


数据来源：《玻璃通孔三维互连电镀铜填充技术发展现状》（纪执敬等），广发证券发展研究中心

3. Conformal填充：X和V型通孔的主要填充方式

Conformal填充是通过添加剂的作用使得TGV孔内铜的沉积速率与孔的侧壁以及表面的沉积速率相当的一种电镀方式。对于垂直的盲孔与通孔，conformal 填充模式下随着填充过程的进行，其深宽比不断增大，在填充的最后阶段容易出现孔洞缺陷，而X形、V形通孔由于其自身特殊孔形的原因，从根本上避免了中央孔洞缺陷的形成，例如，X形通孔的中间区域较窄，在两侧Cu等速沉积的情况下会先于通孔中央形成连接，然后逐步向上下两个方向进行类似“Bottom-up”的填充。相比于垂直通孔的BFT电镀模式，Conformal的电镀模式由于加速剂的使用以及TGV孔形的原因，可以实现更大电流密度下通孔的完整快速填充。

图 34: Conformal填充在垂直盲孔和通孔上会导致孔洞缺陷的存在



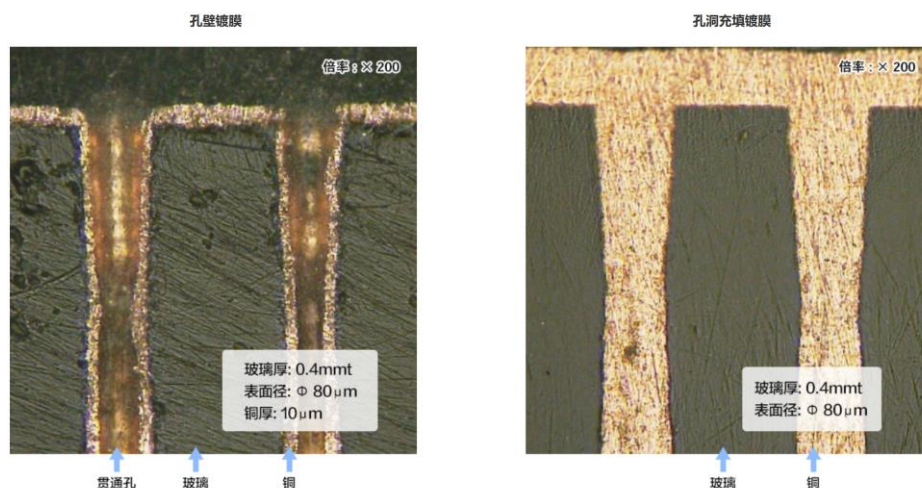
数据来源：《玻璃通孔三维互连电镀铜填充技术发展现状》（纪执敬等），广发证券发展研究中心

4. TGV孔内电镀薄层

除了以上三种TGV电镀填充工艺，TGV也可采用通孔内电镀薄层方案实现电学连接。根据《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），在电性能方面薄层电镀与实心电镀的插

入损耗差别较小，采用薄层电镀方案的优势是在保证电学性能的同时可以有效减小电镀时间和电镀成本。通常电镀填孔需要先在玻璃通孔壁上沉积金属粘附层如钛(Ti)、铬(Cr)等种子层，然后再进行Cu电镀，否则会出现脱落等现象。根据NSC日本株式会社官网，相比电镀填实工艺，通孔内电镀薄层的孔深和孔径适用范围都更大，应用范围更广。

图 35: 电镀填实工艺和通孔电镀薄层方案的对比（左为电镀薄层）



数据来源：NSC 官网，广发证券发展研究中心

表 7: TGV孔内镀膜方式对比

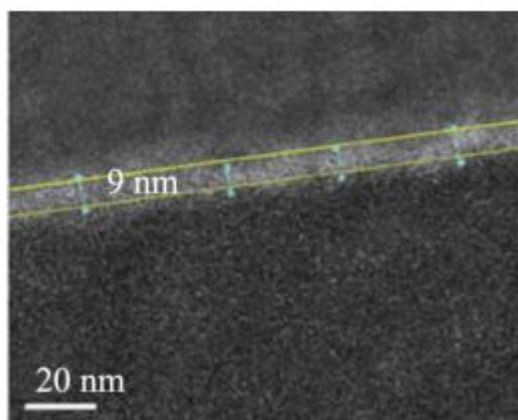
镀铜种类		孔洞内壁镀膜	孔洞填实镀膜
玻璃种类		无碱玻璃、碱玻璃、石英玻璃、耐热玻璃	
玻璃尺寸		50mm x 50mm ~ 400mm x 500mm	
孔类		贯通（实圆、椭圆）	贯通（实圆、椭圆）
孔形状		垂直型、沙漏型、逆圆锥型	垂直型、沙漏型、逆圆锥型
孔深	贯通	100μm ~ 800μm	100μm ~ 600μm
	非贯通	10μm ~ 100μm	50μm ~ 100μm
孔径	贯通	50μm ~	50μm ~ 100μm
	非贯通	10μm ~	50μm ~ 100μm
密着强度		8 N/cm	
交叉切割试验		JIS5600K 无剥落	

数据来源：NSC 官网，广发证券发展研究中心

但是对于高深宽比通孔来说，物理气相沉积的设备和工艺过于昂贵，因此近年来研发人员在开发采用化镀Cu种子层TGV低成本填充方案。根据《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），美国安美特公司报道了金属氧化物黏附增强方法，通过把玻璃基板浸入化学药液，覆盖纳米厚度的金属氧化物助黏剂形成黏附层提高化镀Cu层的黏附力，当黏附层的厚度增加至5~20nm时，Cu与玻璃之间的剥离强度达到6 N/cm以上。乔治亚理工学院研发人员将环氧聚合物干膜贴在玻璃表面，提高化镀Cu与玻璃之间的结合力，在薄玻璃衬底上层压介质层，在增强玻璃衬底机械强度的同时，可以作

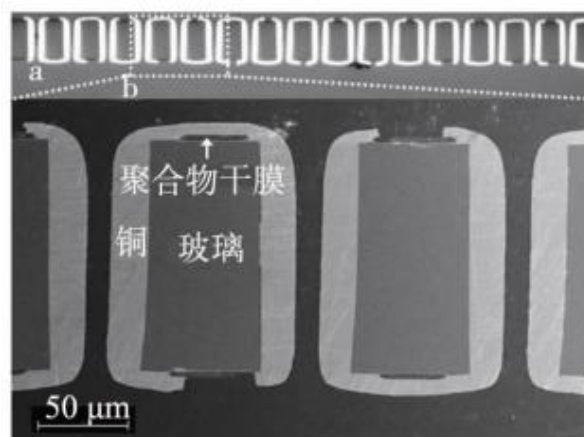
为表面RDL的黏附层，增强抗剥离强度。

图 36: 美国安美特公司可以制出9nm厚的金属氧化物粘附层以提高Cu黏附力



数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

图 37: 通过聚合物干膜方案来增强Cu的黏附力



数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

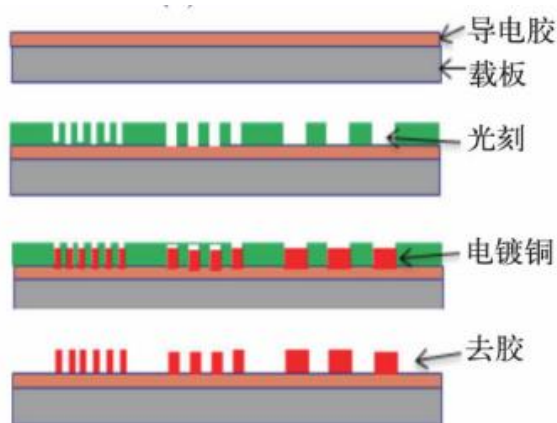
（三）玻璃基板高密度布线

在完成玻璃通孔的制备后，需要在玻璃基板表面进行布线来实现互联互通的电气连接，相对于有机衬底而言，玻璃表面的粗糙度小，所以在玻璃上可以进行高密度的布线操作。但由于半加成工艺法在线宽小于 $5\mu\text{m}$ 的时候会面临许多挑战，例如在窄间距内刻蚀种子层容易对铜走线造成损伤且窄间距里的种子层残留易造成漏电，因此针对玻璃基板的表面高密度布线，学界和业界也有不同工艺路线的探索。

1. 线路转移（CTT）和光敏介质嵌入（PTE）

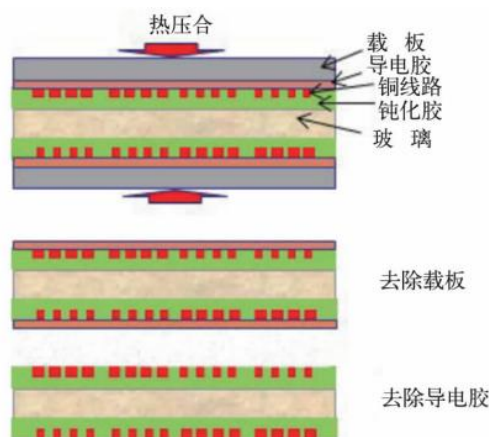
针对在玻璃表面直接进行窄距布线会造成缺陷的问题，刘富汉等人研究开发了线路转移（CTT）和光敏介质嵌入（PTE）。根据《Advances in Embedded Traces for $1.5\mu\text{m}$ RDL on 2.5D Glass Interposers》，CTT（Copper Trace Transfer，线路转移）主要包括两个过程：1. 预制RDL线路：首先在可移动载体上单独制造一层薄导电层，通过光刻、电镀和去胶制作出RDL线路，并在转移到基板上之前测试或检查细线成品率。2. RDL层集成：完成RDL层的制备后，先在玻璃中介层的两面利用钝化胶形成钝化层，随后使用热压合的方式将预制RDL层转移到钝化层上，最后去除载板和导电胶。

图 38: RDL线路预制工艺流程



数据来源:《Advances in Embedded Traces for 1.5 μ m RDL on 2.5D Glass Interposers》(Fuhan Liu 等), 广发证券发展研究中心

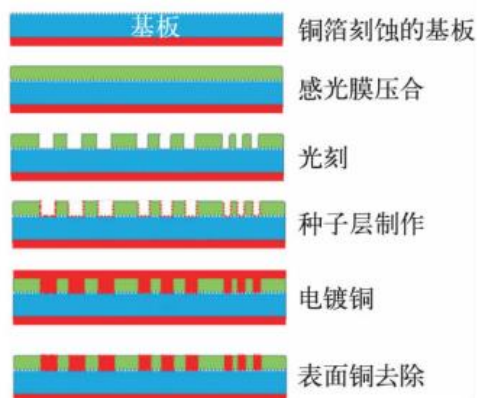
图 39: 双面RDL集成工艺流程



数据来源:《Advances in Embedded Traces for 1.5 μ m RDL on 2.5D Glass Interposers》(Fuhan Liu 等), 广发证券发展研究中心

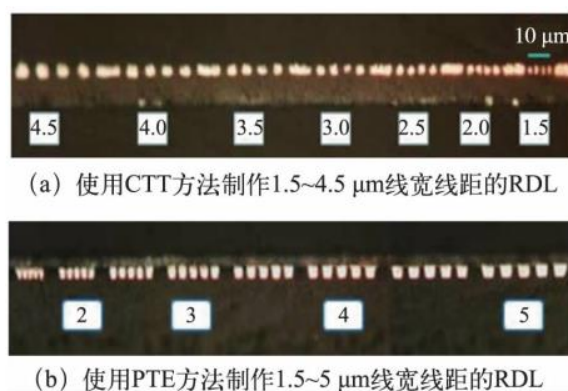
PTE (Photo Trench Embedding, 光敏介质嵌入) 的详细工艺流程包括: 1. 首先刻蚀基板下侧铜箔, 并使用真空压膜机在基板上侧压合感光膜; 2. 随后在光刻图案化后进行种子层沉积, 采用物理气相沉积 (PVD) 分别沉积Ti和Cu作为阻挡层和种子层, 接着采用电镀工艺填充沟槽; 3. 沟槽填充完后, 使用化学腐蚀剂刻蚀掉上表面的铜从而露出线路。

图 40: PTE工艺流程



数据来源:《Advances in Embedded Traces for 1.5 μ m RDL on 2.5D Glass Interposers》(Fuhan Liu 等), 广发证券发展研究中心

图 41: CTT与PTE制作RDL层相比



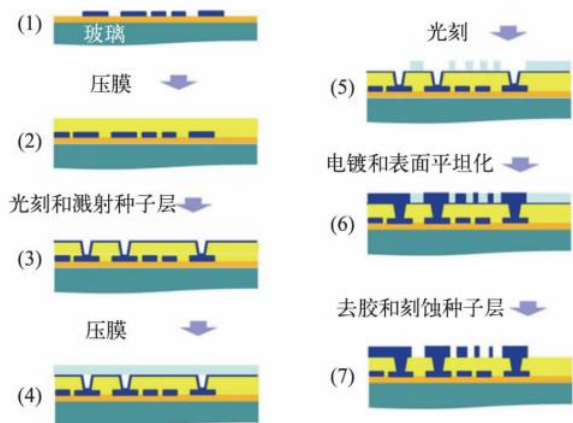
数据来源:《玻璃通孔技术研究进展》(陈力等), 广发证券发展研究中心

2. 多层RDL的2.5D玻璃转接板技术

在多层RDL制备领域, 乔治亚理工学院的LU等研究了多层RDL的2.5D玻璃转接板技术, 实现了面板级光刻后1.5~5 μ m的线条沟槽制备, 并提出改进式半加成工艺法 (SAP) 达到了5 μ m以下低成本的线宽制作工艺, 即用旋转金刚刀取代昂贵的CMP对层间RDL表面平坦化, 进而做到低成本多层RDL堆叠。其工艺步骤包括: 1. 在第一层RDL上进行压膜; 2. 通过光刻和溅射制作通孔并暴露出第一层 RDL的铜焊盘,

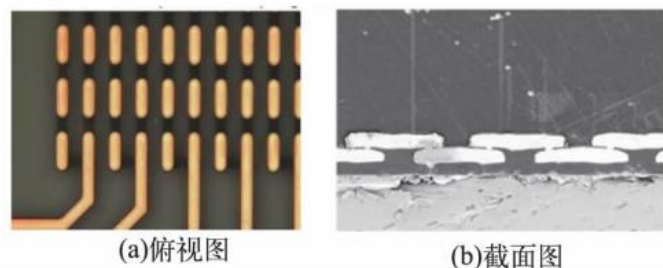
然后进行种子层溅射；3. 随后将高分辨率的光刻薄膜层压在基板，进行曝光显影来显露第二层的RDL图案；4. 随后采用电镀工艺填充通孔形成RDL线路，并用旋转金刚刀进行表面平坦化，去除光刻薄膜并完成种子层刻蚀。

图 42：采用改进式SAP制作多层RDL的工艺流程



数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

图 43：TGV金属化后的多层RDL堆叠结果



数据来源：《玻璃通孔技术研究进展》（陈力等），广发证券发展研究中心

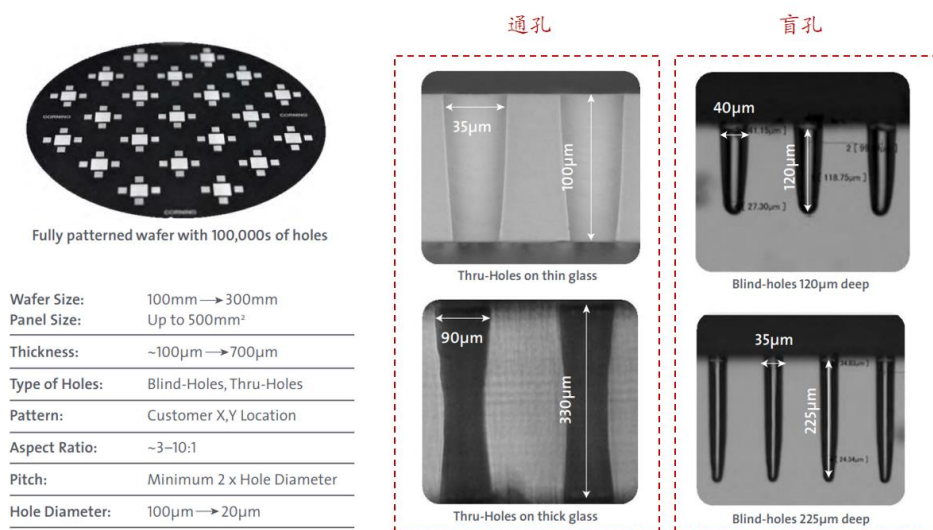
三、玻璃基板产业链重点公司梳理

由于海外公司在玻璃基板领域布局较久，因此海外公司相对领先，但是国内公司也在迎头赶上。根据未来半导体援引News Channel Nebraska Central数据，2022年美国是最大的玻璃通孔（TGV）晶圆市场，拥有约46%的市场份额；欧洲紧随其后约占25%的市场份额。在玻璃通孔（TGV）晶圆市场的主要参与者中，康宁保持了排名第一的位置，占据全球TGV晶圆产值市场份额的26%；紧随其后的LPKF、Samtec、Kiso Micro Co.LTD和Tecnisco全球前五名厂商占有率超过70%。

（一）玻璃基板供应商

美国康宁是玻璃基板全球龙头。康宁成立约170余年，主要围绕玻璃技术提供全球先进的光学显示玻璃产品，在玻璃科学、陶瓷科学和光学物理领域拥有精湛的专业知识与深厚的生产和工程能力。根据公司官网，公司拥有成熟的玻璃基板和TGV技术，能够为下游IC生产商提供4-12英寸、厚度100-700 μm 的玻璃晶圆基板。TGV孔径范围在20-100 μm ，深宽比可以达到10: 1。盲孔填满金属化用于100-300mm的玻璃晶圆，而通孔金属化用于超500X500mm的玻璃面板。

图 44：美国康宁公司提供的TGV晶圆参数和类型



数据来源：康宁公司官网，广发证券发展研究中心

根据各公司官网，德国肖特公司可以提供Hermes玻璃晶圆基板，采用TGV技术，可实现晶圆级芯片尺寸（WLCSP）的超小型化、全密封传感器和MEMS器件的封装，应用于消费电子、大型工业、汽车传感器以及医疗设备等领域；Mosaic Microsystems公司是一家致力于微电子和光子封装的TGV玻璃厂商，公司可在厚度小于100 μm 玻璃上实现直径15-35 μm 的定制TGV图案、填充、过孔和金属化，可以满足下一代半导体封装、RF、MEMs和微流控的需求；日本印刷株式会社（DNP）针对下一代半导体封装开发出了玻璃芯基板产品（GCS），通过使用高密度玻璃通孔，可以提供比现有技术更高性能的半导体封装性能。

表 8: 海外主要TGV玻璃基板厂商梳理

公司名称	国家	TGV 领域布局情况
康宁	美国	提供 4-12 英寸、厚度 100-700 μ m 的玻璃晶圆基板以及最大面积 500mm ² 的玻璃显示基板。玻璃基板厚度为 100-700 微米，提供盲孔和通孔加工，TGV 深宽比 3-10:1，TGV 孔洞直径 20-100 微米。
肖特	德国	提供 4-8 英寸的 Hermes 玻璃晶圆，可实现晶圆级芯片尺寸（WLCSP）的超小型化、全密封传感器和 MEMS 器件的封装。玻璃晶圆厚度 280-500 微米，TGV 孔洞直径 50-100 微米。
Mosaic Microsystems	美国	提供玻璃晶圆材料、TGV 打孔、TGV 填充到 RDL 布线的全流程玻璃晶圆加工服务和产品，可在厚度小于 100 μ m 玻璃上实现直径 15-35 μ 的 TGV 加工。175 微米厚度的玻璃晶圆加工正在研发中。
日本印刷株式会社 (DNP)	日本	提议提供 TGV 深宽比为 9:1 的玻璃基板，广泛应用于半导体光掩模和微机电系统（MEMS）中。同时公司还在推进新开发的 Conformal 玻璃基板的可扩展性，使其面板尺寸达到 510 x 515 毫米。

数据来源：康宁官网，肖特官网，Mosaic Microsystems 官网，日本印刷株式会社官网，广发证券发展研究中心

国内厂商奋起直追。根据云天半导体官网，公司成立于2018年，目前已经突破了4-12寸全系列晶圆级系统封装和精密制造能力，是国内领先的TGV玩家。在TGV成孔技术方面，公司利用超快激光技术，可以实现深宽比50:1的玻璃通孔，并以此为基础可以提供参数领先的2.5D TGV Interposer产品，目前公司的玻璃晶圆厚度为100微米，TGV孔洞直径最小可达到10微米，深宽比10:1，并可最大附着7层的RDL线层，在关键指标上已经可以对标康宁做到了国际领先的水准。此外在3D封装领域，公司也推出了eMFO工艺，相比现有3D封装工艺，流程更简单，机械稳定性更强，低成本高质量的同时还可以保持优良的电学特性。

图 45: 云天半导体2.5D TGV Interposer产品参数

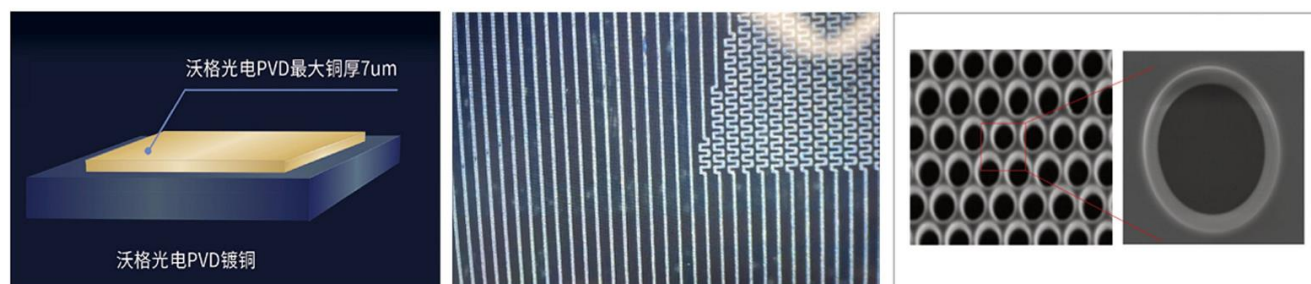
Parameters	2021	2022	2023	2024
Wafer size	6'	8'	12'	
Metal		Cu		Al
Glass thickness	200 μ m	150 μ m	100 μ m	
Min. Via diameter	60 μ m	55 μ m	20 μ m	15 μ m
Via pitch/Diameter	3:1	2:1		
Thickness/Diameter	3:1	5:1		10:1
RDL thickness	5 μ m	10 μ m		
Max. RDL Layer	4(3+1)		5 (3+2)	7 (4+3)
Min. RDL L/S	$\geq 15/15\mu$ m	$\geq 10/10\mu$ m	$\geq 5/5\mu$ m	$\geq 2/2\mu$ m

数据来源：云天半导体官网，广发证券发展研究中心

沃格光电是国内玻璃基板领先企业。根据沃格光电的2023年年报，公司是全球少数同时掌握TGV技术的厂家之一，具备行业领先的玻璃薄化、TGV（玻璃基巨量互通技术）、溅射铜以及微电路图形化技术，拥有玻璃基巨量微米级通孔的能力，最小孔径可至10 μ m，厚度最薄0.09-0.2mm实现轻薄化。

在玻璃基显示领域，公司玻璃基Mini LED背光产品已进入量产阶段，同时公司年产500万平米玻璃基Mini/Micro LED基板项目已完成厂房封顶，第一期年产100万平米玻璃基板全自动化智能制造线已于2023年10月份正式拉通，正式投入生产。在半导体领域，公司TGV载板以及光学器件等多款产品已通过行业知名客户验证通过，整体TGV技术能力和产能布局均位于全球领先地位。

图 46：沃格光电TGV核心工艺



玻璃基厚铜技术

玻璃基真空磁控溅射镀铜,铜膜纯度高,可对应G5尺寸,附着力5B,方阻0.1~0.003Ω。最大镀铜铜厚可达7um,,可过大电流。

玻璃基光刻技术

拥有较先进的光刻技术,线宽线距精度可达10微米,可兼容不同尺寸的超薄玻璃基板和液晶面板,产线尺寸覆盖性强,可在500mm*600mm-730mm*920mm之间切换不同尺寸进行生产。

玻璃基微米级巨量通孔技术

玻璃基板两面分别制备导电线路,通过微米级巨量通孔技术实现不同导电层的电气连接。玻璃基巨量微米级通孔最小孔径可至10um。

数据来源：沃格光电官网，广发证券发展研究中心

根据森九电子官网，公司是一家专注于无源互连特殊工艺产品的集成电路高科技企业，主要通过TGV玻璃基板通孔加工能力，实现在IPD、MEMS微机电加工等专业领域的玻璃基板应用，目前公司可以提供4/6/8/12寸玻璃晶圆及面板，TGV孔径最小可以达到10微米。

三叠纪是成都迈科的全资子公司，是行业内率先提出TGV3.0，首次突破亚10微米通孔和填充技术，通孔尺寸、孔密度和深径比国际领先的TGV公司，2022年公司成功开发出深径比50:1的通孔实心铜填充技术，可以实现每平方厘米约100万孔的超高密度垂直互联，通孔良率超99.9%，并且可实现4层玻璃基板的三维堆叠，目前已经实现了在IPD、三维集成转接板、显示玻璃以及微结构玻璃等多个应用场景的导入。

赛微电子是全球领先的MEMS芯片专业制造，公司旗下瑞典代工厂Silex掌握国际领先的TSV和TGV工艺，用于生产高压和高频应用的低电阻器件，以更好地利用玻璃的物理特性，减小器件的电路损耗。

五方光电是从事半导体光学产品、精密光学元件及玻璃冷加工的研发、生产和销售的高新技术企业，核心技术包括、精密光学镀膜技术、光刻技术能力、TGV加工能力等。在TGV领域，公司的玻璃基板主要用于光学垫片和车载领域，晶圆尺寸覆盖4-8英寸，TGV孔径最小10微米。

蓝特光学是一家以玻璃精加工为核心的供应商。公司深加工玻璃晶圆产品主要包括

WLO玻璃晶圆、TGV玻璃晶圆和光刻玻璃晶圆等，主要应用于晶圆级镜头封装、AR/VR、汽车LOGO投影等领域。根据公司官网，公司可加工晶圆尺寸4-12英寸，TGV最小孔径20 μ m，最大深宽比可以达到10:1。

表 9：国内主要TGV玻璃基板厂商梳理

公司名称	TGV 领域布局情况
云天半导体*	可以提供 4-12 英寸的玻璃晶圆，厚度为 100 微米，TGV 孔洞直径最小可达到 10 微米，深宽比 10:1，并可最大附着 7 层的 RDL 线层。3D 封装领域布局 eMFO 工艺，各项关键指标均处于全球领先水平。
沃格光电	备行业领先的玻璃薄化、TGV（玻璃基巨量互通技术）、溅射铜以及微电路图形化技术，拥有玻璃基巨量微米级通孔的能力，最小孔径可至 10 μ m，厚度最薄 0.09-0.2mm 实现轻薄化。显示领域，公司玻璃基 MLED 面板项目已经逐步量产；半导体领域，晶圆载板已经通过了全球知名客户验证。
森九电子*	拥有 TGV 玻璃基板通孔加工能力，以此为基础主要提供 IPD 和 MEMS 微机电加工领域的玻璃基板应用，目前公司可以提供 4/6/8/12 寸玻璃晶圆及面板，TGV 孔径最小可以达到 10 微米。
三叠纪/成都迈科*	行业内率先提出 TGV3.0，首次突破亚 10 微米通孔和填充技术，通孔尺寸、孔密度和深径比国际领先的 TGV 公司。成功开发出深径比 50:1 的通孔实心铜填充技术，并且可实现 4 层玻璃基板的三维堆叠，目前已经实现了在 IPD、三维集成转接板、显示玻璃以及微结构玻璃等多个应用场景的导入
赛微电子	是全球领先的 MEMS 芯片专业制造公司，旗下瑞典子公司 Silex 掌握国际领先的 TSV 和 TGV 工艺，用于生产高压和高频应用的低电阻器件，以更好地利用玻璃的物理特性，减小器件的电路损耗。
五方光电	公司的玻璃基板主要用于光学垫片和车载领域，晶圆尺寸覆盖 4-8 英寸，TGV 孔径最小 10 微米。根据公司 23 年年报，公司 TGV 研发线已建设完成，正在持续送样生产中，量产线已架设完成，目前正在调试中。
蓝特光学	公司深加工玻璃晶圆产品主要包括 WLO 玻璃晶圆、TGV 玻璃晶圆和光刻玻璃晶圆等，主要应用于晶圆级镜头封装、AR/VR、汽车 LOGO 投影等领域。根据公司官网，公司可加工晶圆尺寸 4-12 英寸，TGV 最小孔径 20 μ m，最大深宽比可以达到 10:1。

数据来源：云天半导体官网，沃格光电官网，森九电子官网，三叠纪官网，赛微电子官网，五方光电官网，蓝特光学官网，广发证券发展研究中心

*为未上市公司

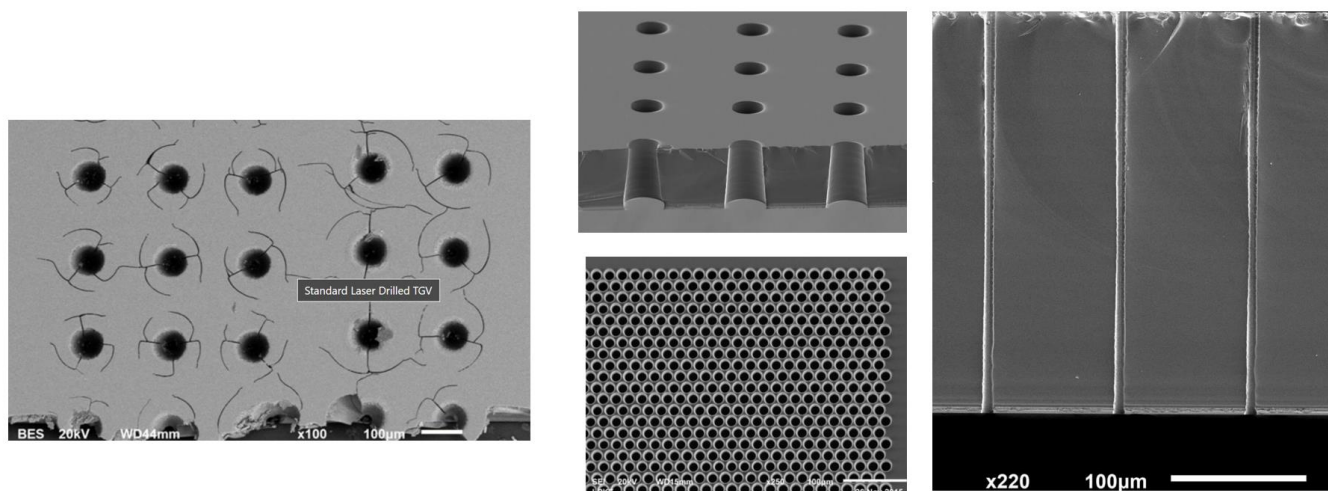
（二）TGV 设备厂商梳理

TGV的加工工艺难点主要在TGV开孔和高质量填充，因此激光开孔设备和电镀设备是TGV工艺较为核心的设备。

1. 激光开孔设备厂商

LPKF是目前全球激光加工解决方案的行业领导者。根据LPKF官网，公司研发的激光诱导深蚀刻技术(LIDE)是一项在微系统中广泛应用的新技术。在半导体领域，公司的Vitron S 5000系统，其高性能的激光系统可以实现加工玻璃晶圆的同时不会对玻璃产生任何微裂隙，适用于2.5D TGV玻璃通孔、嵌入式玻璃晶圆以及3D封装玻璃空腔、盖帽晶圆等解决方案。Vitron S 5000系统适配100mm-450mm大小、厚度小于0.9mm的玻璃晶圆片加工，TGV孔径最小10微米，深宽比10:1（部分材料可以做到最高50:1）。

图 47: LPKF公司研发的LIDE技术可以实现精确的TGV开孔加工



标准TGV激光开孔会存在玻璃裂痕

LIDE工艺可以制造无裂痕、高深宽比的TGV

数据来源: LPKF 官网, 广发证券发展研究中心

4JET Microtech同样提供TGV开孔激光设备。根据公司官网, 其与Plan Optik AG共同开发的VLIS (体积激光诱导结构) 工艺可以用于制造玻璃/石英晶圆或显示器基板的高精度TGV, 每分钟可制备10,000个孔, 然后在批量工艺中进行蚀刻、涂层, 大大提高了开孔效率的同时所制备的孔定位精度依然保持 $2\mu\text{m}$ 以内的误差, 基底无微裂纹, 通道内壁光滑, 可进行均匀的金属化处理。目前公司提供的TGV激光设备可以制作最小孔径为20微米的TGV, 最大衬底尺寸为 $1500\text{mm} \times 800\text{mm}$ 。

图 48: 4JET Microtech的VLIS方案可以提高TGV的生产效率



数据来源: 4JET Microtech 官网, 广发证券发展研究中心

表 10: 海外主要TGV激光开孔设备厂商梳理

公司名称	国家	TGV 领域布局情况
LPKF	德国	公司研发的激光诱导深蚀刻技术(LIDE) 是一项在微系统中广泛应用的新技术。半导体领域, Vitron S 5000 系统可以实现加工玻璃晶圆的同时不会对玻璃产生任何微裂隙, 适用于 2.5D TGV 玻璃通孔、嵌入式玻璃晶圆以及 3D 封装玻璃空腔、盖帽晶圆等解决方案。适配 100mm-450mm 大小、厚度小于 0.9mm 的玻璃晶圆片加工, TGV 孔径最小 10 微米, 深宽比 10:1 (部分材料可以做到最高 50:1)。
4JET Microtech	美国	VLIS (体积激光诱导结构) 工艺可以用于制造玻璃/石英晶圆或显示器基板的高精度 TGV, 每分钟可制备 10,000 个孔。TGV 激光设备可以制作最小孔径为 20 微米的 TGV, 最大衬底尺寸为 1500×800mm

数据来源: LPKF 官网, 4JET Microtech 官网, 广发证券发展研究中心

国内的TGV激光设备厂商包括帝尔激光、大族激光、德龙激光等。

帝尔激光是行业内少数能够提供全方位高效太阳能电池激光加工综合解决方案的企业。除了光伏组件端的激光设备外, 公司正在丰富产品版图, 积极开拓消费电子、集成电路等领域的激光加工设备应用。目前公司已经推出了TGV激光微孔设备, 通过精密控制系统及激光改质技术, 实现对不同材质的玻璃基板进行微孔、微槽加工, 为后续的金属化工艺实现提供条件。TGV激光微孔设备可根据需求在基板上实现圆孔、方孔、埋孔、通孔以及微槽等多形态工艺, TGV深宽比可以达到50:1, 最小孔径 $\leq 10\mu\text{m}$, 目前处于小批量论证阶段。

大族激光是激光基础器件、整机设备到工艺解决方案主要供应商, 拥有多年对玻璃的超快激光精密加工经验。结合飞秒激光电子动态调控基本原理与技术, 公司成功研制出激光诱导蚀刻快速成型技术 (LIERP) 并率先在国内客户验证并成功实现量产。DSI-G-STC-1001-A可以加工4-12英寸晶圆片, 深宽比可达到50:1, 最小孔径5微米。

德龙激光是高端工业应用精密激光加工设备及其核心器件激光器生产商, 专注于激光精细微加工领域。根据公司23年年报, 公司从2021年开始布局集成电路先进封装应用, 2023年在激光开槽 (low-k)、晶圆打标的基础上, 重点研发出玻璃通孔 (TGV)、模组钻孔 (TMV)、激光解键合等激光精细微加工设备, 目前相关新产品已获得订单并出货。

表 11: 国内主要TGV激光开孔设备厂商梳理

TGV 激光设备	设备性能	公司 TGV 领域布局
 帝尔激光 TGV 激光微孔设备	可加工尺寸: 4-12 英寸 可加工效率: 5000 个/s 最小孔径: 10 微米 TGV 深宽比: 10:1 (部分材质可达到 50:1)	推出了 TGV 激光微孔设备, 通过精密控制系统及激光改质技术, 实现对不同材质的玻璃基板进行微孔、微槽加工, 为后续的金属化工艺实现提供条件。TGV 激光微孔设备可根据需求在基板上实现圆孔、方孔、埋孔、通孔以及微槽等多形态工艺, TGV 深宽比可以达到 50:1, 最小孔径$\leq 10\mu\text{m}$。

大族激光



飞秒激光强化玻璃蚀
刻通孔设备

可加工尺寸：4-12 英寸
晶圆厚度：0.1-1mm
可加工效率：≥ 5000 个/s
TGV 深宽比：≥ 50:1
最小孔径：5 微米

结合飞秒激光电子动态调控基本原理与技术，公司成功研制出激光诱导蚀刻快速成型技术（LIERP）并率先在国内客户验证并成功实现量产，飞秒激光强化玻璃蚀刻通孔设备（FLEE-TGV）可以实现各种尺寸盲孔、异形孔、圆锥孔制备，在先进封装、显示制造、消费电子、生命科学等领域有巨大的应用潜力。

德龙激光



TGV 玻璃激光微孔
设备

晶圆厚度：0.1-1mm

公司从 2021 年开始布局集成电路先进封装应用，2023 年在激光开槽（low-k）、晶圆打标的基础上，重点研发出玻璃通孔（TGV）、模组钻孔（TMV）、激光解键合等激光精细微加工设备，目前相关新产品已获得订单并出货。

数据来源：帝尔激光官网，大族激光官网，德龙激光 23 年年报，广发证券发展研究中心

2. 电镀设备厂商

铜电镀是TGV填孔的关键步骤，因此电镀设备在TGV的制备流程中也具有重要地位。TGV电镀与TSV电镀类似，都属于前道电镀设备，根据立鼎产业研究数据，目前全球前道电镀设备基本被美国泛林公司（Lam Research）垄断，国内的主要电镀设备供应商为盛美上海。

美国泛林公司（Lam）是全球领先的半导体设备供应商，产品范围涵盖刻蚀设备、薄膜沉积设备、清洗设备、电镀设备等。目前在TGV领域公司已经推出了Kallisto和Phoenix两款系统化的解决方案，可以在凸、柱、垫、RDL、TGV、FLI 上电化学沉积铜、镍、锡银、金及其他金属。Kallisto产品系列适用于300×300毫米至5.1代（1100×1300毫米）基板的湿法化学处理，可在各种材料（包括有机玻璃和玻璃核心技术）上对小于10微米的结构进行精细线路电镀。Phoenix产品系列适用于510×515毫米的基板，可以提供全自动大批量面板加工。

表 12：Lam涉及TGV工艺的电镀设备

产品系列	Kallisto	Phoenix
图例		
适用材料	300 × 300mm 晶圆 或 1100 × 1300mm 基板	510 × 515mm 基板
适用工艺	凸、柱、垫、RDL、TGV、FLI	凸、柱、垫、RDL、TGV、FLI
可电镀材料	铜、镍、锡银、金及其他金属	铜、镍、锡银、金及其他金属

应用领域	先进封装，先进的基板材料，光电子学与光子学，分立与功率器件，模拟与混合信号，汽车，迷你/微型 LED，面板级扇出，高级内存	先进封装，先进的基板材料，光电子学与光子学，分立与功率器件，模拟与混合信号，汽车，迷你/微型 LED，面板级扇出，高级内存
工艺特点	薄玻璃加工能力低至 200 微米	

数据来源：Lam Research 官网，广发证券发展研究中心

盛美上海是国内前道电镀设备的领先企业。公司主要产品包括晶圆及槽式湿法清洗设备、电镀设备、无应力抛光设备、立式炉管设备、前道涂胶显影设备及PECVD设备等。在先进封装的电镀设备领域，盛美上海的电镀设备可应用于多通道先进封装的关键电镀步骤，包括pillar, bump和RDL等，也可运用于Fan-out, TSV (Through Silicon Via)和TMV (Through Molding Via)工艺。

表 13: 盛美上海涉及深孔加工工艺的电镀设备

产品系列	Ultra ECP AP	Ultra ECP GIII Cu-Ni-SnAg Plating
图例		
适用材料	兼容 8 寸和 12 寸	兼容 6 寸和 8 寸
适用工艺	Pillar, bump, RDL, fan-out, TSV, TMV 等	RDL, 凸点下金属化 (UBM), TSV
可电镀材料	Cu, Sn/Ag, Ni	Cu, Ni, SnAg
工艺性能	片内均一性: <5% (最大-最小/2 平均)	片内均匀性: <5% (3 sigma)
	片间均一性 <3%	片间均匀性: <3%
	重复性: <3%	重复性: <3%
	COP: < 10 μm	

数据来源：盛美上海官网，广发证券发展研究中心

四、风险提示

（一）玻璃基板推进不及预期

目前TGV和玻璃基板的应用主要集中在显示领域和低端半导体领域，在高端算力芯片领域仍处于研发验证阶段。如果后续玻璃基板由于技术成熟度不够、成本优势不足、产量受限等原因无法大规模量产商用，会对相关公司的经营造成影响。

（二）半导体行业波动风险

半导体行业具有较强的周期性，全球半导体行业在技术驱动和宏观经济的影响下呈周期波动发展。宏观经济波动、半导体下游行业产品生命周期变化、半导体产业技术升级、终端消费者消费习惯变化均可能导致半导体周期转换，对相关公司的经营业绩稳定性造成影响。

（三）先进封装市场规模增长不达预期的风险

先进封装对工艺的要求较高，如果未能如预期实现高渗透率，市场规模将不及预期，从而影响产业链各厂商的业绩表现。

广发机械行业研究小组

代 川：首席分析师，中山大学数量经济学硕士，2015 年加入广发证券发展研究中心。

孙 柏 阳：联席首席分析师，南京大学金融工程硕士，2018 年加入广发证券发展研究中心。

朱 宇 航：资深分析师，上海交通大学机械电子工程硕士，2020 年加入广发证券发展研究中心。

汪 家 豪：资深分析师，美国约翰霍普金斯大学金融学硕士，2022 年加入广发证券发展研究中心。

范 方 舟：资深分析师，中国人民大学国际商务硕士，2021 年加入广发证券发展研究中心。

石 城：资深分析师，上海交通大学船舶与海洋工程硕士，2022 年加入广发证券发展研究中心。

王 宁：高级分析师，北京大学金融硕士，2021 年加入广发证券发展研究中心。

蒲 明 琪：高级研究员，纽约大学计量金融硕士，2022 年加入广发证券发展研究中心。

黄 晓 萍：研究员，复旦大学金融硕士，2023 年加入广发证券发展研究中心。

广发证券—行业投资评级说明

买入：预期未来 12 个月内，股价表现强于大盘 10%以上。

持有：预期未来 12 个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-10%~+10%。

卖出：预期未来 12 个月内，股价表现弱于大盘 10%以上。

广发证券—公司投资评级说明

买入：预期未来 12 个月内，股价表现强于大盘 15%以上。

增持：预期未来 12 个月内，股价表现强于大盘 5%-15%。

持有：预期未来 12 个月内，股价相对大盘的变动幅度介于-5%~+5%。

卖出：预期未来 12 个月内，股价表现弱于大盘 5%以上。

联系我们

	广州市	深圳市	北京市	上海市	香港
地址	广州市天河区马场路 26 号广发证券大厦 47 楼	深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大 厦 31 层	北京市西城区月坛北 街 2 号月坛大厦 18 层	上海市浦东新区南泉 北路 429 号泰康保险 大厦 37 楼	香港湾仔骆克道 81 号广发大厦 27 楼
邮政编码	510627	518026	100045	200120	-
客服邮箱	gfhqyf@gf.com.cn				

法律主体声明

本报告由广发证券股份有限公司或其关联机构制作，广发证券股份有限公司及其关联机构以下统称为“广发证券”。本报告的分销依据不同国家、地区的法律、法规和监管要求由广发证券于该国家或地区的具有相关合法合规经营资质的子公司/经营机构完成。

广发证券股份有限公司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，负责本报告于中国（港澳台地区除外）的分销。

广发证券（香港）经纪有限公司具备香港证监会批复的就证券提供意见（4 号牌照）的牌照，接受香港证监会监管，负责本报告于中国香港地区的分销。

本报告署名研究人员所持中国证券业协会注册分析师资质信息和香港证监会批复的牌照信息已于署名研究人员姓名处披露。

重要声明

广发证券股份有限公司及其关联机构可能与本报告中提及的公司寻求或正在建立业务关系，因此，投资者应当考虑广发证券股份有限公司及其关联机构因可能存在的潜在利益冲突而对本报告的独立性产生影响。投资者不应仅依据本报告内容作出任何投资决策。投资者应自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或者口头承诺均为无效。

本报告署名研究人员、联系人（以下均简称“研究人员”）针对本报告中相关公司或证券的研究分析内容，在此声明：（1）本报告的全部分析结论、研究观点均精确反映研究人员于本报告发出当日的关于相关公司或证券的所有个人观点，并不代表广发证券的立场；（2）研究人员的部分或全部的报酬无论在过去、现在还是将来均不会与本报告所述特定分析结论、研究观点具有直接或间接的联系。

研究人员制作本报告的报酬标准依据研究质量、客户评价、工作量等多种因素确定，其影响因素亦包括广发证券的整体经营收入，该等经营收入部分来源于广发证券的投资银行类业务。

本报告仅面向经广发证券授权使用的客户/特定合作机构发送，不对外公开发布，只有接收人才可以使用，且对于接收人而言具有保密义务。广发证券并不因相关人员通过其他途径收到或阅读本报告而视其为广发证券的客户。在特定国家或地区传播或者发布本报告可能违反当地法律，广发证券并未采取任何行动以允许于该等国家或地区传播或者分销本报告。

本报告所提及证券可能不被允许在某些国家或地区内出售。请注意，投资涉及风险，证券价格可能会波动，因此投资回报可能会有所变化，过去的业绩并不保证未来的表现。本报告的内容、观点或建议并未考虑任何个别客户的具体投资目标、财务状况和特殊需求，不应被视为对特定客户关于特定证券或金融工具的投资建议。本报告发送给某客户是基于该客户被认为有能力独立评估投资风险、独立行使投资决策并独立承担相应风险。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被广发证券认为可靠，但广发证券不对其准确性、完整性做出任何保证。报告内容仅供参考，报告中的信息或所表达观点不构成所涉证券买卖的出价或询价。广发证券不对因使用本报告的内容而引致的损失承担任何责任，除非法律法规有明确规定。客户不应以本报告取代其独立判断或仅根据本报告做出决策，如有需要，应先咨询专业意见。

广发证券可发出其它与本报告所载信息不一致及有不同结论的报告。本报告反映研究人员的不同观点、见解及分析方法，并不代表广发证券的立场。广发证券的销售人员、交易员或其他专业人士可能以书面或口头形式，向其客户或自营交易部门提供与本报告观点相反的市场评论或交易策略，广发证券的自营交易部门亦可能会有与本报告观点不一致，甚至相反的投资策略。报告所载资料、意见及推测仅反映研究人员于发出本报告当日的判断，可随时更改且无需另行通告。广发证券或其证券研究报告业务的相关董事、高级职员、分析师和员工可能拥有本报告所提及证券的权益。在阅读本报告时，收件人应了解相关的权益披露（若有）。

本研究报告可能包括和/或描述/呈列期货合约价格的事实历史信息（“信息”）。请注意此信息仅供用作组成我们的研究方法/分析中的部分论点/依据/证据，以支持我们对所述相关行业/公司的观点的结论。在任何情况下，它并不（明示或暗示）与香港证监会第5类受规管活动（就期货合约提供意见）有关联或构成此活动。

权益披露

(1) 广发证券（香港）跟本研究报告所述公司在过去12个月内并没有任何投资银行业务的关系。

版权声明

未经广发证券事先书面许可，任何机构或个人不得以任何形式翻版、复制、刊登、转载和引用，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、刊登、转载和引用者承担。