

行业研究

镓、钎、锡将显著受益于半导体复苏

——半导体金属深度报告

要点

半导体产业链涉及金属包括锗、镓、铟、钎、铜、钨、铬、钎、金、银、锡等。半导体材料可以分为前道制造材料与后道封装材料。其中前道制造材料的衬底、外延环节，涉及锗、镓、铟；靶材环节，涉及钎、铜；电子特气涉及钨；掩膜版涉及铬；电镀液涉及铜；高 K 材料涉及钎。后道封装材料中，键合丝环节涉及金属金、银、铜；引线框架环节涉及铜；封装焊料环节涉及金属锡；先进封装 GMC 环节涉及 Low- α 球硅/球铝。

砷化镓（二代半导体材料）、氮化镓（三代半导体材料）等化合物半导体材料未来市场占比持续提升。目前单晶硅晶圆为市场主流。根据我们的测算，出货量方面，2022 年晶圆总出货 1.30 亿片晶圆，2025 年晶圆总出货量增长到 1.38 亿片晶圆（折合 12 英寸）。其中硅 2022 年占比为 98.96%，2025 年略微下降为 98.52%；砷化镓占比排名第二，2022 年占比为 0.60%，2025 年上升至 0.72%；氮化镓外延晶圆排名第三，2022 年占比为 0.26%，2025 年上升至 0.48%。砷化镓与氮化镓的占比在未来 2 年内都有一定提升。

2025 年 Low- α 球硅/球铝在 GMC 领域的潜在市场空间分别为 2022 年的 1.66 倍/2.91 倍。Low- α 球铝/球硅约占 GMC 重量的 80%-90%。且 Low- α 球铝在其中的掺混比例与芯片的散热性能需求有关，越需要散热的场景对 Low- α 球铝的需求量越大。Low- α 球铝的主要应用场景为先进封装的 GMC 材料中，而 GMC 主要应用领域为 HBM 场景下的先进封装封装材料。

半导体市场对各金属用量占总供给比重从高到低，排序前三：锡、镓、钎。2022 年各金属占比的具体排序为锡（40.67%）>镓（34.63%）>钎（14.39%）>铜（8.80%）>钨（3.29%）>硅（3.22%）>金（3.14%）>铟（0.42%）>银（0.1%）。考虑各金属的平均用量以及对应半导体的不同下游市场规模，我们计算了半导体市场对各金属用量占总供给的比重。其中排名前三的金属为锡、镓、钎，用量占比超过 10%以上。

结合 2022 至 2025 年各金属材料在半导体市场用量的增长情况，我们认为镓、钎、锡三种金属为半导体领域最受益的金属品种。2022 至 2025 年各金属材料在半导体市场用量的增长幅度为：钎（49.52%）>钎（40.98%）>镓（26.37%）>银（7.38%）>钨（5.73%）>金（5.49%）>铜（5.28%）>锡（5.27%）=硅（5.27%）。综合考虑用量及未来增长性，我们认为镓、钎、锡为半导体领域最受益的三种金属。

弹性测算：我们对镓、钎、锡的相关企业，就 1%的半导体相关产品的价格上涨，计算会拉动各自多少净利润做弹性测算。业绩弹性由高至低排序为：东方钎业（钎相关制品，4.51%），壹石通（Low- α 球形氧化铝，3.87%），联瑞新材（Low- α 球形硅微粉，2.19%），锡业股份（锡金属，2.09%），兴业银锡（锡金属，0.87%），中金岭南（镓金属，0.016%），中国铝业（镓金属，0.015%），云南锗业（化合物半导体）。

投资建议：我们梳理了半导体全产业链涉及的金属后，认为镓、钎、锡三种金属为半导体领域最受益的金属品种。在相关上市公司中，建议关注东方钎业、壹石通、联瑞新材、锡业股份、兴业银锡、中金岭南、中国铝业、云南锗业等。

风险提示：数据测算误差风险；理论假设与现实不符风险；上游原材料价格波动风险；半导体技术路线更迭风险；政策变动风险等。

有色金属
增持（维持）

作者

分析师：王招华

执业证书编号：S0930515050001

021-52523811

wangzh@ebsecn.com

分析师：马俊

执业证书编号：S0930523070008

021-52523809

majun@ebsecn.com

分析师：方驭涛

执业证书编号：S0930521070003

021-52523823

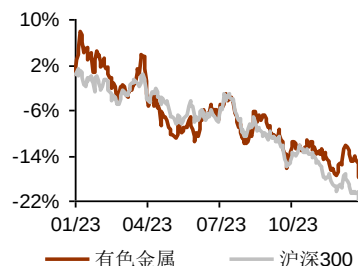
fangyutao@ebsecn.com

联系人：张寅帅

021-52523682

zhangyinsuai@ebsecn.com

行业与沪深 300 指数对比图



资料来源：

相关研报

Low- α 球铝球硅材料有望显著受益于先进封装大发展——HBM 概念股异动点评（2023-11-24）
锑银共振，钨待花开——光伏对金属材料需求测算报告（2023-09-12）

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

投资聚焦

近期，半导体概念在市场上受到了非常多的关注。一是 ChatGPT 横空出世而引发的 AIGC 浪潮不断催生算力以及更多高性能芯片的需求，二是我国在半导体制程方面逐步实现国产替代。本篇报告聚焦于半导体制作过程中需要使用金属原材料的环节以及对应的金属材料品种，并对各种金属材料用量进行测算，以便发现有色金属在半导体浪潮中的投资机会。

我们的创新之处

我们对半导体前道制造环节以及后道封装焊接过程中所涉及到的金属材料进行了全面、系统、深度的挖掘。

我们对各种金属的用量进行测算、排序，探究哪些金属材料最能从半导体中受益。

我们对相关上市公司就相关半导体材料的价格变化进行了弹性测算以及排序，探究哪些有色金属个股最能从半导体中受益。

股价上涨的催化因素

- (1) 锡金属、镓金属、锗金属、钽金属等金属价格走高。
- (2) 半导体国产替代重大技术突破等。

投资观点

我们梳理了半导体全产业链所涉及的金属后，认为镓、钽、锡三种金属为半导体领域最受益的金属品种，预计半导体行业未来的复苏与景气将带动这三种金属用量的增长，并带动相关公司的股价上涨。

我们就半导体相关材料的价格变动，对相关企业进行了净利润弹性测算，并对相关企业依弹性从高到低进行了排序。建议关注东方钽业、壹石通、联瑞新材、锡业股份、兴业银锡、中金岭南、中国铝业、云南锗业等。

目 录

1、 半导体制造工艺中涉及金属的材料梳理.....	7
1.1、 衬底&外延（前道制造）：三代半导体材料依次登场.....	9
1.2、 掩膜版（前道制造）：铬金属助力光刻技术.....	21
1.3、 电子特气（前道制造）：钨金属化身六氟化钨.....	22
1.4、 靶材（前道制造）：先进用铜钼，成熟用铝钛.....	24
1.5、 其他前道制造材料：电镀液与高 K 材料.....	25
1.6、 键合丝（后道封装）：金、银、铜皆有应用.....	27
1.7、 引线框架（后道封装）：铜基框架占主导地位.....	28
1.8、 焊料（后道封装）：锡金属大展身手.....	29
1.9、 其他后道封装材料：Low- α 材料.....	30
2、 半导体金属品种汇总与用量测算.....	32
2.1、 硅：最主流的半金属衬底材料.....	32
2.2、 镓金属：第二代半导体用量大，第三代半导体用量小.....	35
2.3、 铜金属：半导体中用途最广泛的金属.....	38
2.4、 钽金属：高纯溅射钽靶，用于阻挡层沉积.....	43
2.5、 铬金属：掩膜版使用核心金属材料.....	43
2.6、 钨金属：六氟化钨电子特气.....	45
2.7、 钨金属：栅极用高 K 材料.....	46
2.8、 贵金属：键合金丝、键合银丝.....	47
2.9、 锡金属：主要的后道封装焊料.....	48
2.10、 关注先进封装技术，Low- α 材料用量有望增长.....	50
2.11、 其他金属：百花齐放.....	50
3、 金属用量汇总与弹性测算.....	51
3.1、 金属用量汇总.....	51
3.2、 弹性测算.....	54
4、 投资建议.....	55
4.1、 东方钽业：国内唯一钽铌金属深加工龙头.....	55
4.2、 壹石通：Low- α 球形氧化铝产线扩张.....	55
4.3、 联瑞新材：Low- α 球形硅微粉国产化替代重要企业.....	56
4.4、 锡业股份：锡、铟双龙头.....	56
4.5、 兴业银锡：拥有雄厚矿产资源的有色金属采选与冶炼公司.....	57
4.6、 中金岭南：拥有镓金属储量 760 吨.....	57
4.7、 中国铝业：铝行业龙头，叠加镓金属生产.....	58
4.8、 云南锗业：布局锗全产业链的锗龙头.....	58
5、 风险提示.....	59

图目录

图 1：半导体主要制造材料及封装材料.....	7
图 2：2021 年半导体材料成本拆分	8
图 3：半导体全工艺流程涉及金属环节介绍	9
图 4：半导体衬底材料更新迭代.....	10
图 5：各种半导体衬底材料适用功率范围及频率范围.....	11
图 6：2022 年锗金属下游需求分布	12
图 7：2012~2022 年全球半导体硅晶圆营收及出货面积	13
图 8：2020~2025 硅晶圆出货面积预测（百万平方英寸）	13
图 9：2019~2025 年全球砷化镓衬底销量（折合 2 英寸，万片）	14
图 10：2019~2026 年全球磷化铟衬底销量预测（折合 2 英寸，万片）	15
图 11：2022 年铟金属下游需求量占比.....	15
图 12：2021~2025 年碳化硅 N 型衬底销量预测（折合 6 英寸，万片）	16
图 13：外延片图示.....	17
图 14：外延在芯片工艺中所处的位置及作用.....	17
图 15：SiC/Si 基 GaN HEMT 典型外延结构.....	20
图 16：2022~2027 年氮化镓晶圆出货量预测（折合 8 英寸，万片）	20
图 17：掩膜版工作原理示意图	22
图 18：金属铬、氧化铬在掩膜版中的结构示意图	22
图 19：六氟化钨工艺流程.....	23
图 20：半导体芯片常用金属靶材图示.....	24
图 21：2022 年先进制程（铜钽）与成熟制程（铝钛）晶圆占比	25
图 22：2025 年先进制程（铜钽）与成熟制程晶圆（铝钛）占比	25
图 23：大马士革工艺图示.....	26
图 24：2022~2025 年全球 DRAM 晶圆出货量预测（12 英寸，万片）	27
图 25：引线键合示意图 1.....	27
图 26：引线键合示意图 2.....	27
图 27：2005 年键合丝市场占比.....	28
图 28：2019 年键合丝市场占比.....	28
图 29：焊锡凸块图示	29
图 30：HBM 垂直堆叠示意图及性能展示	30
图 31：EMC 环氧塑封材料示意图	30
图 32：2022 年全球球形硅微粉国家地区占比（产量）	31
图 33：球形氧化铝企业全球排名情况.....	31
图 34：2020 年不同尺寸晶圆片出货量占比	32
图 35：2022 年硅下游需求量拆分	33
图 36：2022 年电子级多晶硅产量在多晶硅中的占比情况	33
图 37：2012-2022 年全球硅晶圆销售单价（美元/平方英寸）	34
图 38：2022 年金属镓下游需求量拆分.....	35
图 39：2022 年镓金属主要生产国家情况（产量）	35

图 40：2021 年镓金属全球市占率情况（产量）	35
图 41：硅基氮化镓外延器件结构图	37
图 42：2020 年铜下游需求拆分	38
图 43：芯片结构示意图	39
图 44：铝互连工艺流程图	40
图 45：铜互连（大马士革工艺）流程图	40
图 46：2021 年全球靶材市场各企业份额结构图	40
图 47：2022 年钽金属下游需求拆分	43
图 48：2022 年铬矿下游需求量拆分	44
图 49：2021 年钨下游消费结构	45
图 50：2022 年全球六氟化钨市场占比情况	46
图 51：钨金属市场概况	47
图 52：2021 年中国黄金需求占比	48
图 53：2020 年全球白银需求占比	48
图 54：2020 年全球锡需求量构成	49
图 55：2022 年全球锡焊料应用领域	49
图 56：2007 年 10 月-2023 年 10 月锡价与半导体销售额走势图	49
图 57：钴靶示意图	51
图 58：镀钯铜线及镀钯镀金铜线示意图	51

表目录

表 1：四代半导体参数对比	10
表 2：四代半导体材料应用领域	11
表 3：常用外延材料及工艺	18
表 4：碳化硅外延材料厚度情况	19
表 5：硅基氮化镓外延与碳化硅基氮化镓外延参数对比	19
表 6：各种衬底/外延晶圆年出货量统计（折合 12 英寸，万片）	21
表 7：2021 年全球市场规模排名前十的电子特种气体	23
表 8：半导体芯片行业用主要金属溅射靶材简介	24
表 9：常用的引线框架合金及其性能	29
表 10：环氧塑封料组成成分及主要作用	30
表 11：球形硅微粉主要生产企业介绍	31
表 12：2021 年全球前十大多晶硅生产企业产能情况	33
表 13：2017-2019 年半导体硅片价格情况	34
表 14：硅片单位耗硅情况测算	34
表 15：衬底金属材料平均用量测算	36
表 16：氮化镓不同外延层对比	37
表 17：全球排名前十铜企	38
表 18：国内靶材企业梳理	41
表 19：硫酸铜企业排名前十公司	41
表 20：半导体靶材平均金属用量测算	42
表 21：2021 年铬矿生产主要企业情况	44
表 22：2023 年钨精矿生产企业排名	45
表 23：2021 年我国六氟化钨主要生产企业及产能	46
表 24：键合丝金属用量计算	48
表 25：GMC 领域 Low- α 球铝/球硅材料需求空间测算	50
表 26：半导体金属平均用量汇总（包含硅材料）	51
表 27：半导体市场对所涉及材料的需求拉动幅度对比	52
表 28：2022~2025 年主要涉及金属（半金属）材料在半导体市场用量的增长幅度	53
表 29：半导体相关上市企业业绩弹性测算	54
表 30：相关上市公司盈利预测与估值	55
表 31：壹石通 Low- α 球形氧化铝产线规划进程及毛利润贡献预测	56
表 32：联瑞新材硅微粉产线规划进程及毛利润贡献预测	56

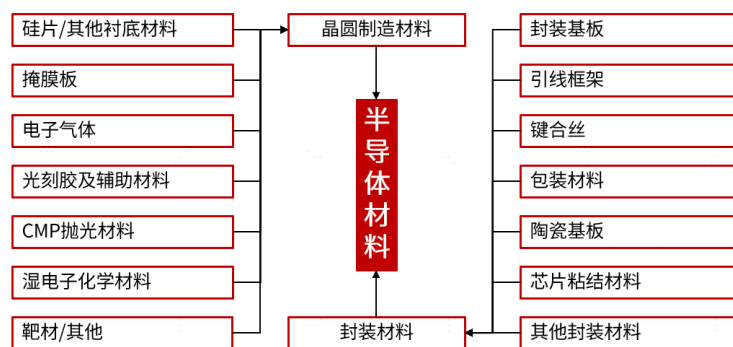
1、半导体制造过程中涉及金属的材料梳理

半导体即在常温下导电性能介于导体与绝缘体之间的材料，其在集成电路（最主要应用，即芯片）、消费电子、通信系统、光伏发电、照明应用、大功率电源转换等领域有着诸多应用。

材料和设备是半导体产业的基石，一代技术依赖于代工艺，一代工艺依赖于代材料和设备来实现。半导体材料处于整个半导体产业链的上游环节，对半导体产业发展起着重要支撑作用，具有产业规模大、技术门槛高、研发投入大、研发周期长等特点。

同时，半导体材料行业是半导体产业链中细分领域最多的产业链环节，根据 SEMI 的分类与数据，晶圆制造材料包括硅片、光掩膜、光刻胶及辅助材料、工艺化学品、电子特气、抛光液和抛光垫、靶材及其他材料，封装材料包括引线框架、封装基板、陶瓷基板、键合丝、包装材料、芯片粘结材料及其他封装材料，每一大类材料又包括几十种甚至上百种具体产品，细分子行业多达上百个。

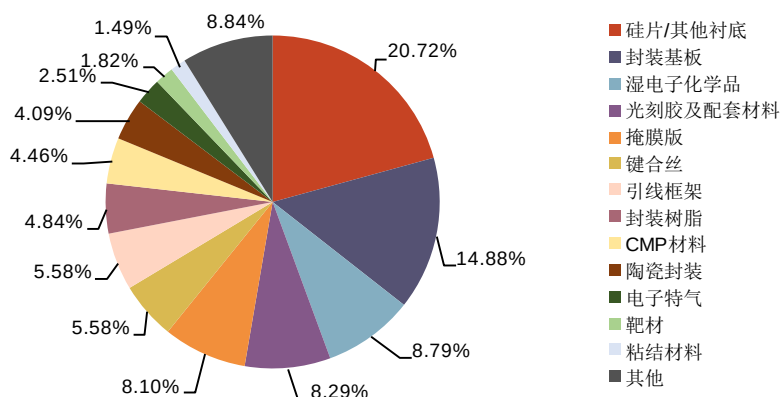
图 1：半导体主要制造材料及封装材料



资料来源：安集科技公司公告，光大证券研究所

根据 SEMI 的数据，2021 年半导体前道制造材料的成本占比为 62.8%，后道封装材料成本占比为 37.2%。进一步对前道制造材料成本以及后道封装材料成本进行拆分，其中成本占比最大的为硅片/其他衬底成本（20.72%）；其余材料成本占比从大至小排序分别为封装基板（14.88%）、湿电子化学品（8.79%）、光刻胶及配套材料（8.29%）、掩膜版（8.10%）、键合丝（5.58%）、引线框架（5.58%）、封装树脂（4.84%）、CMP 材料（4.46%）、陶瓷封装（4.09%）、电子特气（2.51%）、靶材（1.82%）、芯片粘结材料（1.49%）。

图 2：2021 年半导体材料成本拆分



资料来源：SEMI，付斌《从砂到芯：芯片的一生》，未来半导体网，光大证券研究所

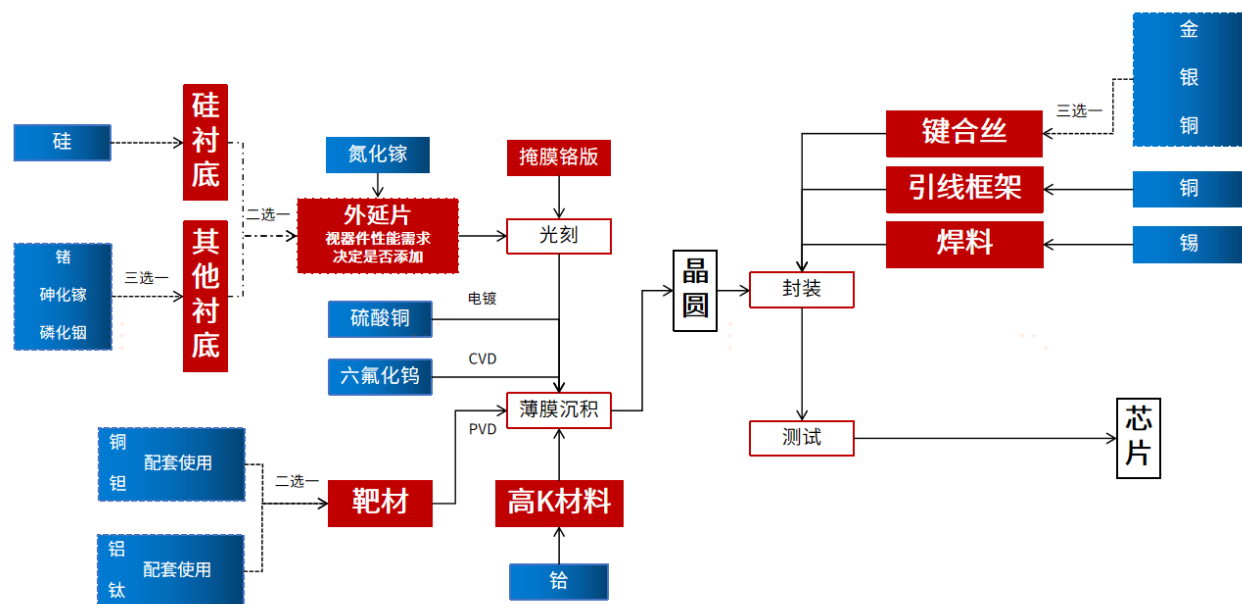
硅片及其他衬底材料是半导体芯片的关键底层材料。从芯片的制造流程来看，需要的步骤包括生产晶圆、氧化、光刻、刻蚀、薄膜沉积、互连、测试、封装等。以硅片半导体为例，自然界中硅砂很多，但硅砂中包含的杂质太多，需要进行提炼后使用。将提炼后得到的高纯硅熔化成液体，再利用提拉法得到原子排列整齐的晶锭，再将其切割成一定厚度的薄片，切割后获得的薄片便是未经加工的“原料晶圆”。

第二步即为氧化过程，其作用是在晶圆表面形成保护膜，保护晶圆不受化学杂质影响、避免漏电流进入电路、预防离子植入过程中的扩散以及防止晶圆在刻蚀时滑脱；第三步为光刻，即使用光线将电路图案“印刷”到晶圆上。

第四步为刻蚀，在晶圆上完成电路图的光刻后，用该工艺来去除任何多余的氧化膜且只留下半导体电路图；在刻蚀的同时，也需要进行第五步薄膜沉积/离子注入：通过不断沉积薄膜以及刻蚀去除掉器件中多余的部分，同时添加一些材料将不同的器件分离开来，每个晶体管或存储单元就是在这个过程中构建起来的；在上述过程完成后，需要将器件互连并进行测试，测试无误后才能进行最后的封装，得到最后的半导体芯片。

由于半导体（集成电路）制造的过程十分复杂，涉及的金属材料品种包罗万象，本节中我们以 SEMI 对半导体材料的分类为脉络，逐个分析涉及金属的半导体材料，主要包括衬底及外延、掩模版、电子特气、靶材、其他材料（高 K 材料及电镀液）、键合丝、引线框架、焊料，下文将分别对这些半导体材料涉及的金属做进一步阐述。

图 3：半导体全工艺流程涉及金属环节介绍



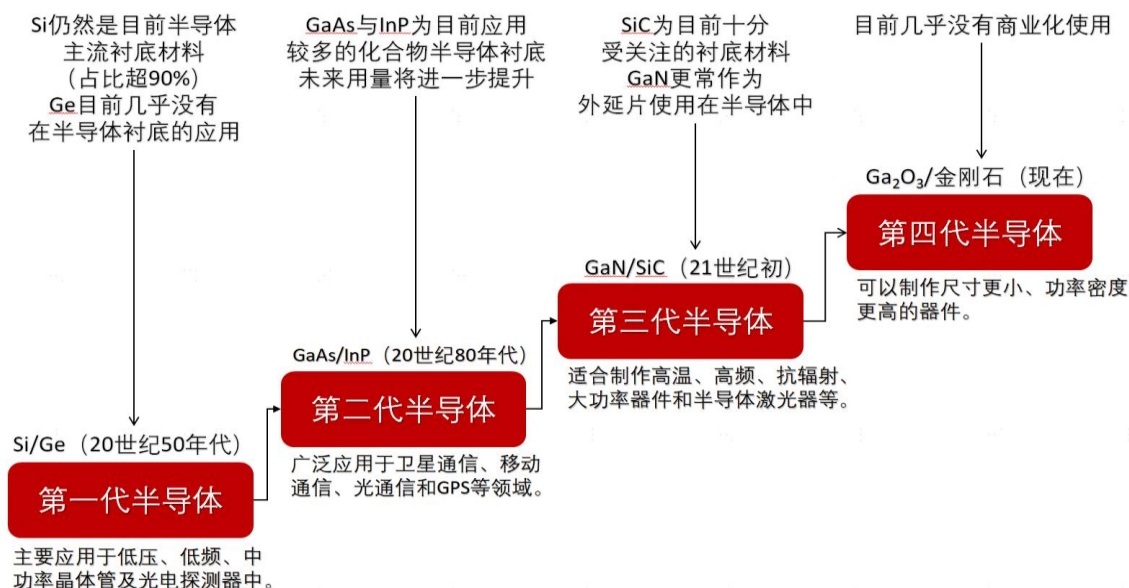
资料来源：ifind，光大证券研究所整理（蓝底色为涉及金属材料，红底色为半导体材料，白底色为半导体工艺环节）

1.1、 衬底&外延（前道制造）：三代半导体材料依次登场

衬底环节是金属材料在半导体器件中的关键环节，所谓衬底即是一种用于制造半导体器件的材料基底，常见的衬底包括硅、锗、碳化硅等。在生产半导体芯片的工艺流程中，晶圆生产通常为第一道工序，而晶圆便是由衬底材料切割而来。

从半导体的发展历史看，半导体衬底材料经历了三代的更新迭代，并正在向着第四代材料稳步迈进。其中第一代半导体材料以锗（Ge）和硅（Si）为主，其中锗目前半导体应用较少，而硅仍是目前最主流的半导体衬底材料；第二代半导体材料以砷化镓（GaAs）、磷化铟（InP）、 锑化铟（InSb） 和硫化镉（CdS） 等 I-V 族化合物材料为主，由于化合物半导体的宽禁带优势以及下游应用领域的进一步发展，砷化镓与磷化铟未来的使用量将提升；第三代半导体材料则是以碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、氧化锌（ZnO）和氮化铝（AlN） 等为代表的宽禁带（禁带宽度大于 2.2eV）半导体材料，其中碳化硅与氮化镓备受关注；而第四代半导体材料主要包括氮化铝（AlN）、金刚石、氧化镓（Ga₂O₃），它们被称为超宽禁带半导体材料，目前尚处于起步阶段。

图 4：半导体衬底材料更新迭代



资料来源：微信公众号：GaN 世界，21 世纪经济报道，光大证券研究所

从四代半导体的性能参数对比看，**第一代半导体**表现出较低的禁带宽度、介电常数以及击穿电场，其优势在于低廉的成本以及成熟的工艺，因此更加适应低压、低频、低温的工况。

第二代半导体材料具有发光效率高、电子迁移率高、适于在较高温度和其它条件恶劣的环境中工作等特点，同时工艺较第三代半导体材料更为成熟，主要被用来制作发光电子、高频、高速以及大功率器件，在制作高性能微波、毫米波器件方面是绝佳的材料。

第三代半导体材料随着智能时代的来临而备受青睐，禁带宽度明显增加，击穿电压较高，抗辐射性强，电子饱和速率、热导率都很高。基于上述特性第三代半导体材料不仅能够高压、高频的条件下稳定运行，还可在较高的温度环境下保持良好的运行状态，并且电能消耗更少，运行效率更高。

而**第四代半导体**材料显示出最大的优势便是其更宽的禁带宽度，因此其更适合应用于小尺寸、高功率密度的半导体器件。

半导体代际区分的关键指标为“巴利加优值”，它以 IEEE 荣誉勋章获得者 B.贾扬特·巴利加 (B.Jayant Baliga) 的名字命名。本质上，它表示的是器件的输出在高电压下对输入信号细节的再现程度，优值越高，再现程度越完整。我们假设第一代半导体硅基材料的优值为 1，第二代半导体材料优值需要达到其 10 倍以上，第三代半导体材料优值需要达到其 100 倍以上，第四代半导体材料优值需要达到其 1000 倍以上。

表 1：四代半导体参数对比

参数	第一代半导体 (Si)	第二代半导体 (GaAs)	第三代半导体 (SiC)	第三代半导体 (GaN)	第四代半导体 (金刚石)	备注
禁带宽度 eV	1.119	1.428	2.994	3.36	5.47	禁带宽度越宽，发光性能越好，工况温度越高
熔点°C	1420	1238	2830	1700	3550	/

热导率(W*cm-1*K-1)	1.4	0.54	4.9	1.5	22	/
电子迁移 (cm ² *V-1*s-1)	1350	8000	1000	900	4500	/
介电常数	11.9	13.18	9.7	8.9	5.5	介电常数越大,束缚电荷的能力就越强,材料的绝缘性能就越好
饱和速率(cm*s-1)	1*10 ⁷	2*10 ⁷	2*10 ⁷	2.5*10 ⁷	2.7*10 ⁷	饱和电子速率越大,工作频率越高,器件体积越小
击穿电场(V*cm-1)	3*10 ⁵	6*10 ⁵	20*10 ⁵	>10*10 ⁵	10 ⁷	材料在电场作用下,避免被破坏(击穿)所能承受最高的电场强度
优值倍数 (Si 为 1)	1	11	410	790	5330	本质为对输入信号细节的再现程度

资料来源：李嘉席等《第三代半导体材料生长与器件应用的研究》，林健《半导体材料现状与发展趋势》，胡超《金刚石肖特基二极管的研究》，单崇新《金刚石材料和器件》，常州鲲鱼铜铼有限公司官网，光大证券研究所

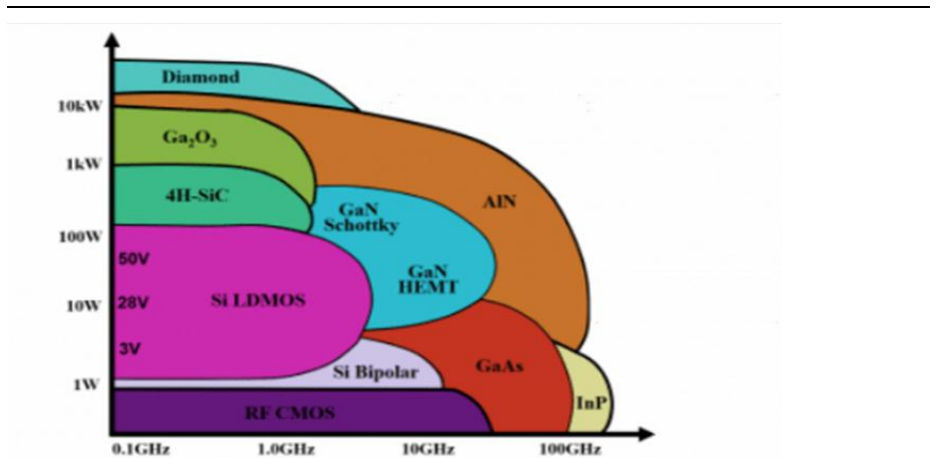
表 2：四代半导体材料应用领域

	第一代半导体 (Si)	第二代半导体 (GaAs)	第三代半导体 (GaN)	第四代半导体 (Ga ₂ O ₃)
光学应用	无	红外	蓝光/紫光	紫外
高频性能	差	好	好	好
高温性能	中	差	好	中
发展阶段	成熟	发展中	初期	起步
相对制造成本	低	高	高	高
制作器件	晶体管、二极管、集成电路、整流器、晶闸管、射线探测器、太阳能电池	各种微波管、激光管、红外发光管、霍尔元件、激光调制器、高速集成电路、太阳能电池	激光器件、发光二极管、集成电路	高功率电磁炮、高温宇航用电源、电网
主要应用领域	通讯、雷达、电视、广播、计算机、自动控制、仪表整流、设备自控、超声波振荡器、量子检测、原子能分析、太阳能发电	雷达、移动通讯、光纤通讯、小功率红外光源、磁场控制、激光通讯、高速计算机、太阳能发电	激光打印机、光学存储、视频显示、信号灯、移动电话、电子开关、内存、卫星、激光电路	电网、电力牵引、光伏、电动汽车、家用电器、医疗设备和消费类电子

资料来源：赵东华《国内半导体产业的发展研究》，维科网，腾讯网，光大证券研究所

下图为目前主要使用的半导体衬底材料所适用的功率范围及频率范围,可以较为清晰地比较各种半导体衬底材料的优劣势。虽然下图对各种半导体衬底材料的适用范围进行了区分,但是从目前的使用情况来看,仍未出现明显的替代现象,目前硅仍然是半导体器件最重要的材料。

图 5：各种半导体衬底材料适用功率范围及频率范围



资料来源：奥越光电网，搜狐网，光大证券研究所

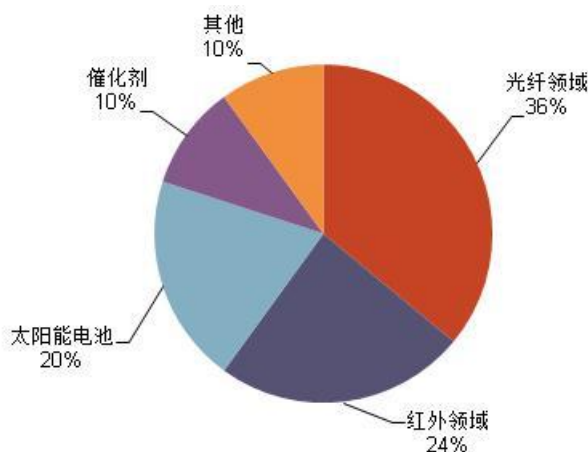
1.1.1、锗衬底：步入迟暮之年的半导体材料

锗是世界上第一个晶体管以及第一块集成电路芯片所用的半导体材料，在半导体发展的早期，晶体管市场的主流是锗，硅晶体管销量不及它的零头。而由于成本、稳定性以及工况温度的问题，硅逐渐取代了锗，成为了半导体行业最主要的衬底材料。

目前锗在电子/半导体领域的应用仅限于少数特殊的硅锗(SiGe)器件，尽管这种化合物的载流子迁移率能达到标准硅的两到三倍，但仍然不是主流工艺。目前仍然可以从部分供应商那里买到锗单晶的晶体管，但它们的量极少，远不是主流产品。

锗现在的主要应用是光学系统，因为它对 8 至 14 微米热波段的红外光是相对透明的，这使得它很适合用于镜头系统和热成像系统中的光学窗口。根据 Exactitude Consultancy 的数据，2022 年锗金属下游需求中，光纤领域和红外领域占比最大，分别达到 36%与 24%。

图 6：2022 年锗金属下游需求分布



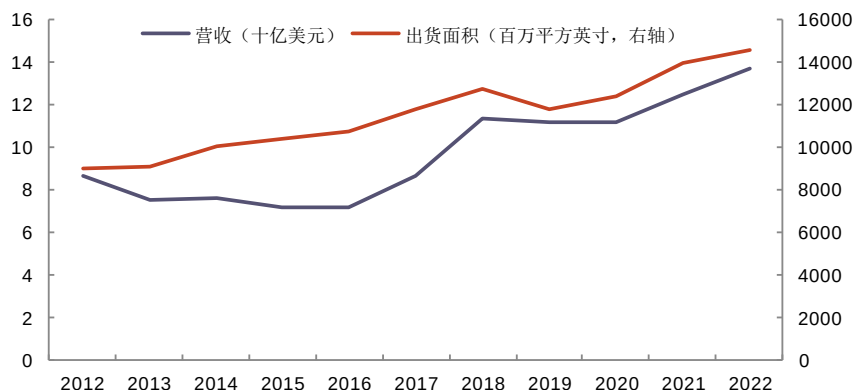
资料来源：Exactitude Consultancy，光大证券研究所

1.1.2、硅衬底：半导体的主流材料

与锗一样，单晶硅也是第一代半导体材料；不同于锗单晶的使用量逐年下降，硅可以说是半导体的中流砥柱，目前绝大部分的集成电路以及其他半导体器件都是以硅作为衬底材料制作的，这是由于硅具有以下优势：1) 安全无毒，对环境无害，属于清洁材料。2) 天然绝缘体，可通过加热形成二氧化硅绝缘层，防止半导体漏电现象，因此在晶圆制造时可以不用在器件表面沉积多层绝缘体，降低晶圆制造生产成本。3) 储量丰富，硅元素在地壳中占到 27.7%，价格低廉从而降低半导体的材料成本。4) 制作工艺成熟。

经过长时间的发展，与其他半导体材料相比较，硅材料的应用技术更加成熟且更具有规模效益，在这样的条件下，硅材料显得“物美价廉”，这样的特质给予了硅材料不可替代的行业地位。据 Yole 预测，硅基材料器件未来仍将占据半导体市场的主导地位，预计未来市场渗透率仍超过 80%（此前长期超过 90%）。

图 7：2012~2022 年全球半导体硅晶圆营收及出货面积



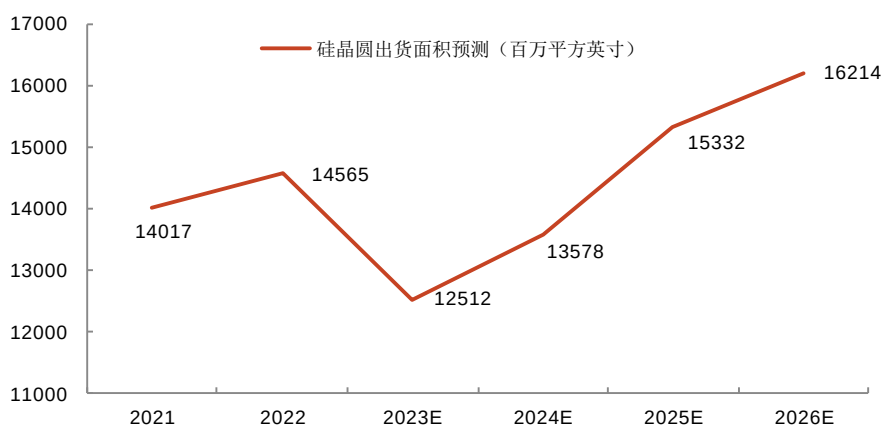
资料来源：SEMI，电子信息产业网，光大证券研究所

根据国际半导体产业协会（SEMI）统计，2022 年全球半导体硅晶圆出货面积达 145.65 亿平方英寸，较 2021 年增长 3.9%，超过了 2021 年创下的记录；总营收达 137 亿美元，增长 9.6%，同样创下历史新高。

随着汽车、工业、物联网以及 5G 建设的驱动下，半导体用硅在 2022 年需求均有增长。SEMI 于 2023 年 10 月最新预期，由于总体经济环境充满挑战，2023 年全球半导体硅晶圆出货面积将出现下滑，约 125 亿平方英寸，较 2022 年下降 14.10%。受通胀、升息等因素影响，个人电脑及智能手机等市场需求疲软，产业链库存问题严重，台积电此前在 2022 年预期，2023 年全球半导体业产值或将面临衰退窘境。联电也于同一时间预期 2023 年晶圆代工产值将负增长。

SEMI 预期，在 5G、汽车及工业应用对半导体的强劲需求驱动下，随后几年全球半导体硅晶圆出货面积将出现反弹，2024 年有望较 2023 年增加 8.52%，达 135.78 亿平方英寸，2025 年再增加 12.92%，达到 153.32 亿平方英寸。

图 8：2020~2025 硅晶圆出货面积预测（百万平方英寸）



资料来源：SEMI 统计及预测，光大证券研究所

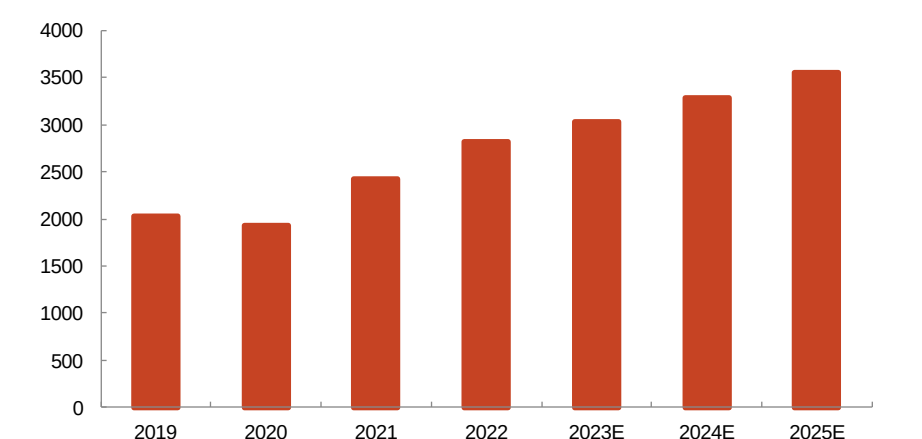
1.1.3、砷化镓衬底：崭露头角的第二代半导体之星

第二代半导体材料砷化镓是由金属镓与半金属砷按原子比 1:1 化合而成的化合物。砷化镓具有灰色的金属光泽，其晶体结构为闪锌矿型。砷化镓早在 1926

年就已经被合成出来了，1952 年确认了它的半导体性质。用砷化镓材料制作的器件频率响应好、速度快、工作温度高，能满足集成光电子的需要。砷化镓是目前最重要的光电子材料，也是继硅材料之后最重要的微电子材料，适合于制造高频、高速的器件和电路。

在人工智能、元宇宙产业的驱动下，催化了以 Mini/Micro LED 为主的新型显示技术的快速发展，这也让 LED 用半导体型砷化镓的市场需求得到进一步拓展。新型 LED 显示屏幕所需的红黄光 LED 制作工艺极其复杂，难度极高，然而砷化镓衬底在用来生产红黄光 LED 方面具有天然的优势。目前，砷化镓红黄光 LED 主要用于室内及室外显示屏、汽车刹车灯、家用电器、交通指示灯、MiniLED 显示屏等，是照明市场上的主要衬底材料。得益于下游新兴市场的壮大，砷化镓的年需求量也逐渐增多。据 Yole 数据显示，2019 年全球砷化镓衬底市场销量（折合 2 英寸）约为 2000 万片，全球砷化镓衬底市场规模约为 2 亿美元；预计到 2025 年全球砷化镓衬底市场销量（折合 2 英寸）将超过 3500 万片，年复合增长率为 9.72%。届时全球砷化镓衬底市场规模将达到 3.48 亿美元。

图 9：2019~2025 年全球砷化镓衬底销量（折合 2 英寸，万片）



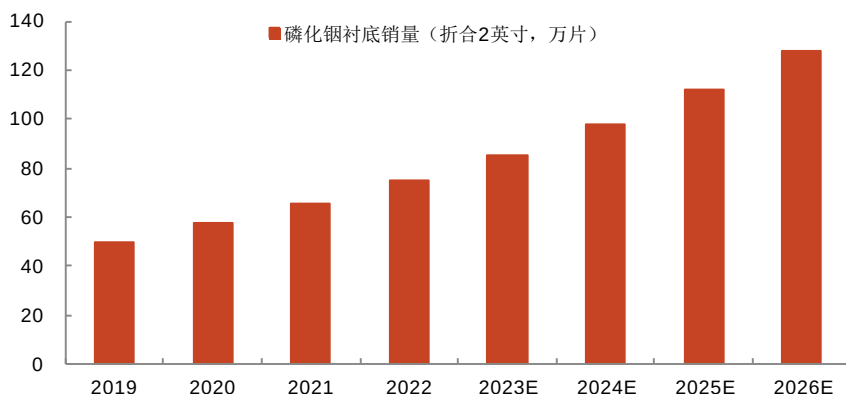
资料来源：Yole 统计及预测，维科网，光大证券研究所

1.1.4、磷化铟衬底：不可忽视的另一颗第二代半导体材料新星

磷化铟是磷和铟的化合物，磷化铟作为半导体材料具有优良特性。使用磷化铟衬底制造的半导体器件，具备饱和电子漂移速度高、发光波长适宜光纤低损通信、抗辐射能力强、导热性好、光电转换效率高、禁带宽度较高等特性，因此磷化铟衬底被广泛应用于制造光模块器件、传感器件、高端射频器件等。

20 世纪 90 年代以来，磷化铟技术得以迅速发展，并逐渐成为主流半导体材料之一。由于下游市场需求有限以及成本较高，磷化铟衬底市场规模相对较小。未来，在数据中心、5G 通信、可穿戴设备等新兴市场需求的带动下，磷化铟衬底市场规模将持续扩大，成本也将随着规模效应而降低，进一步促进下游应用领域的发展。根据 Yole 预测，2026 年全球磷化铟衬底（折合 2 英寸）预计销量为 128.19 万片，2019-2026 年复合增长率为 14.40%。

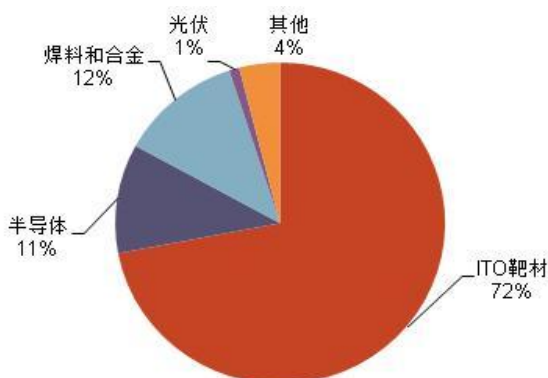
图 10：2019~2026 年全球磷化铟衬底销量预测（折合 2 英寸，万片）



资料来源：Yole 统计及预测，光大证券研究所

磷化铟衬底上游为铟金属，其大部分产量由我国提供。根据我们在 2023.9.12 外发的研报《铟银共振，铟待花开——光伏对金属材料需求测算报告》中的测算，2022 年铟的主要应用中，最大下游市场为 ITO 靶材，需求占比达到 72%；其次是焊料和合金、电子半导体领域，需求占比分别为 12%和 11%；光伏领域占比为 1%。我国是全球最大的消费电子生产国，全球平板显示器产能正在向国内转移，因此国内市场对铟的需求快速上升。

图 11：2022 年铟金属下游需求量占比



资料来源：SMM，光大证券研究所测算

1.1.5、碳化硅衬底：正在崛起的第三代半导体材料

以碳化硅为代表的第三代半导体大功率电力电子器件是目前在电力电子领域发展最快的功率半导体器件之一。碳化硅作为第三代半导体材料的典型代表，也是目前晶体生产技术和器件制造水平最成熟，应用最广泛的宽禁带半导体材料之一，目前已经形成了全球的材料、器件和应用产业链。碳化硅是高温、高频、抗辐射、大功率应用场合下极为理想的半导体材料。由于碳化硅功率器件可显著降低电子设备的能耗，因此碳化硅器件也被誉为带动“新能源革命”的“绿色能源器件”。另外，现在的宽禁带半导体器件几乎都做在外延层上，而碳化硅也是这些外延层生长的重要衬底。

半导体照明领域：采用碳化硅作为衬底的 LED 器件亮度更高、能耗更低、寿命更长、单位芯片面积更小，在大功率 LED 方面具有非常大的优势。

各类电机系统：在 5 千伏以上的高压应用领域，半导体碳化硅功率器件在开关损耗与浪涌电压上均有应用，最大可减少 92% 的开关损耗，半导体碳化硅功率器件功耗降低效果明显，设备的发热量大幅减少，使得设备的冷却结构进一步简化，设备体积小型化，大大减少散热用金属材料的消耗。

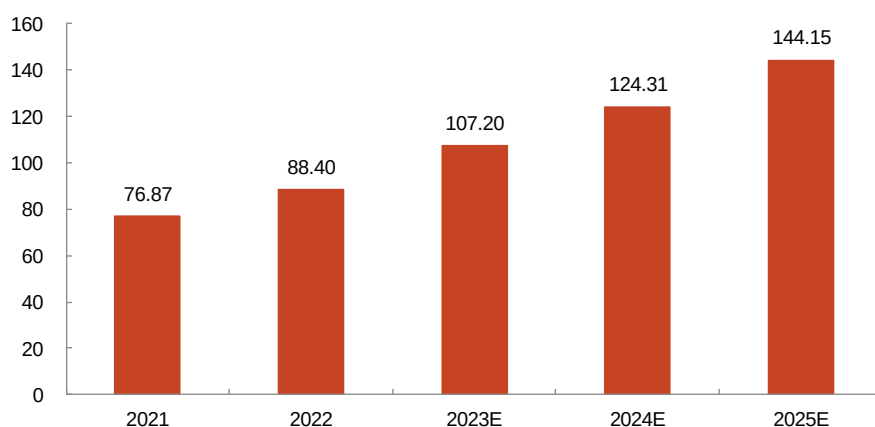
新能源汽车及不间断电源等电力电子领域：新能源汽车产业要求逆变器的半导体功率模块，在处理高强度电流时，具有远超出普通工业用途逆变器的可靠性；在大电流功率模块中，具有更好的散热性，高效、快速、耐高温、可靠性高的半导体碳化硅模块完全符合新能源汽车的要求。

半导体碳化硅功率模块小型化的特点可大幅降低新能源汽车的电力损失，使其在 200℃ 高温下仍能正常工作。更轻、更小的设备重量减轻，从而减少汽车自身重量带来的能耗。

半导体碳化硅材料除了在新能源汽车中占有重要地位外，在高铁、太阳能光伏、风能、电力输送、UPS 不间断电源等电力电子领域均起到了节能环保作用。

根据研究机构 TECHCET 的预测，尽管全球经济普遍放缓，但 2023 年碳化硅(SiC)衬底市场将持续强劲增长。2022 年，碳化硅 N 型衬底市场规模比 2021 年增长了约 15%，出货量达到总计 88.4 万片（等效 6 英寸），预计该市场将在 2023 年进一步增长，达到 107.2 万片晶圆（等效 6 英寸），比 2022 年进一步增长约 22%，2022-2027 年的整体复合年增长率估计约 17%。

图 12：2021~2025 年碳化硅 N 型衬底销量预测（折合 6 英寸，万片）

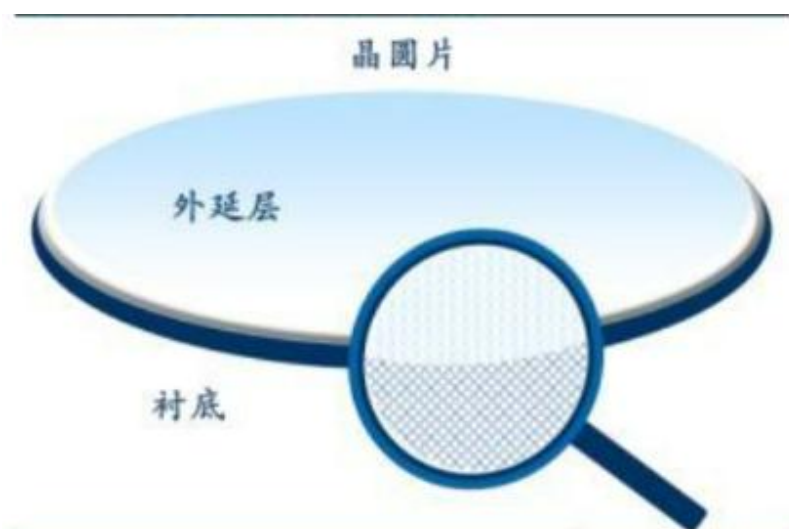


资料来源：集微网，TEHCET 预测，光大证券研究所

1.1.6、碳化硅外延：碳化硅衬底功能发挥的关键

外延（epitaxy）生长是指在经过切、磨、抛等仔细加工的单晶衬底（基片）上生长一层有一定要求的、与衬底晶向相同的单晶层，犹如原来的晶体向外延伸了一段。新单晶可以与衬底为同一材料，也可以是不同材料（同质外延或者是异质外延）。由于新生单晶层按衬底晶相延伸生长，从而被称之为外延层（厚度通常为几微米），而长了外延层的衬底称为外延片（外延片=外延层+衬底）

图 13：外延片图示



资料来源：微信公众号《宽禁带半导体技术创新联盟》，光大证券研究所

外延片作为半导体原材料，位于半导体产业链上游，是半导体制造产业的支撑性行业。外延片制造商在衬底材料上通过 CVD（Chemical Vapor Deposition，化学气相沉积）设备、MBE（Molecular Beam Epitaxy，分子束外延）设备等进行晶体外延生长、制成外延片。外延片再通过光刻、薄膜沉积、刻蚀等制造环节制成晶圆。

图 14：外延在芯片工艺中所处的位置及作用



资料来源：微信公众号《宽禁带半导体技术创新联盟》，光大证券研究所

外延生长技术发展于 50 年代末 60 年代初，当时为了制造高频大功率器件，需要减小集电极串联电阻，又要求材料能耐高温和大电流，因此需要在低阻值衬底上生长一层薄的高阻外延层。外延生长的新单晶层可在导电类型、电阻率等方面与衬底不同，还可以生长不同厚度和不同要求的多层单晶，从而大大提高器件设计的灵活性和器件的性能。外延技术作用主要体现在：

- 1.可以在低（高）阻衬底上外延生长高（低）阻外延层。
- 2.可以在 P（N）型衬底上外延生长 N（P）型外延层，直接形成 PN 结，不存在用扩散法在单晶基片上制作 PN 结时的补偿的问题。

3.与掩膜技术结合，在指定的区域进行选择外延生长，为集成电路和结构特殊的器件的制作创造了条件。

4.可以在外延生长过程中根据需要改变掺杂的种类及浓度，浓度的变化可以是陡变的，也可以是缓变的。

5.可以生长异质、多层、多组分化合物且组分可变的超薄层。

6.可在低于材料熔点温度下进行外延生长，生长速率可控，可以实现原子级尺寸厚度的外延生长。

7.可以生长不能拉制单晶材料，如 GaN，三、四元系化合物的单晶层等。

表 3：常用外延材料及工艺

外延性质	衬底材料	外延层组成	外延工艺	外延介质
硅同质外延	Si	Si	气相外延 (VPE)	SiCl ₄ +H ₂
				SiH ₂ Cl ₂
				SiHCl ₃ +H ₂
				SiH ₄
硅异质外延	蓝宝石或尖晶石	Si	气相外延 (VPE)	SiH ₄ +H ₂
砷化镓同质外延	GaAs	GaAs	气相外延 (VPE)	AsCl ₃ +Ga+H ₂ (Ar)
			MOVCD	GaR ₃ +AsH ₃ +H ₂
	GaAs	GaAs	分子束外延(VPE)	Ga+As
			液相外延(LPE)	Ga+GaAs+H ₂
砷化镓异质外延	GaAs	GaAlAs/GaAs	液相外延(LPE)	Ga+Al+GaAs+H ₂
	GaAs	GaAsP	气相外延 (VPE)	Ga+AsH ₃ +PH ₃ +HCl+H ₂
磷化镓同质外延	GaP	GaP(Ga:P:N)	液相外延(LPE)	Ga+GaP+H ₂ +NH ₃
磷化镓异质外延	GaP	GaAsP	液相外延(LPE)	Ga+GaAs+GaP+NH ₃
超晶格	GaAs	GaAlAs/GaAs	分子束外延 (MBE)	Ga As Al
		(周期)	MOVCD	GaR ₃ +AlR ₃ +AsH ₃ +H ₂
磷化铟同质外延	InP	InP	气相外延 (VPE)	PCl ₃ +In+H ₂
磷化铟异质外延	InP	InGaAsP	液相外延(LPE)	In+InAs+GaAs+InP+H ₂
Si/GaAs 外延	Si	GaAs	分子束外延 (MBE)	Ga As
	Si	GaAs	MOVCD	GaR ₃ +AsH ₃ +H ₂

资料来源：微信公众号《粉体圈》，光大证券研究所

除表 3 中的外延材料之外，前文提到的碳化硅及氮化镓材料同样也是极为常用的外延材料。

由于 SiC 材料的质量及其表面特性不能满足直接制造器件的要求，制作 SiC 的高压、大功率、高频器件需要较厚的外延层及较低的掺杂浓度。

而早在 1959 年就开发出来的薄层单晶材料生长工艺，即外延生长，可以很好地解决高压大电流制作的需求，在电阻极低的衬底上生长一层高电阻率的外延层，器件制作在外延层上。外延层的电阻率很高，可以保证器件具有高的击穿电压，而低阻的衬底又可以确保器件具有低的串联电阻。

总的说来，通过外延层，可以获得比衬底材料更完美可控的晶体结构，有利于基于材料的应用开发。而外延的生长可以消除许多缺陷，使晶格排列整齐，表面形貌得到改观。

SiC 的外延片通常以 SiC 的同质外延为主，要想制成功率器件，需要在 SiC 衬底上生长 1 层或几层 SiC 薄膜，在碳化硅外延材料的用量方面，SiC 功率器件中，在外延的 SiC 漂移层中平衡外延层厚度及掺杂浓度是获得高耐压器件的关键。一般低压在 600 伏，需要的外延厚度大概在 6 个 μm 左右，中压 1200~1700 伏，厚度就是 10~15 个 μm。高压 1 万伏以上，大概需要 100 个 μm 以上，所以随着耐高压能力的增加，外延厚度随之增加。

表 4：碳化硅外延材料厚度情况

额定截止电压 (V)	漂移区掺杂浓度 (cm ⁻³)	漂移区厚度 (μm)
600	2.6*10 ¹⁶	4.1
1200	1.1*10 ¹⁶	9
3300	3.0*10 ¹⁵	28
6500	1.3*10 ¹⁵	60
13000	5.3*10 ¹⁴	130

资料来源：微信公众号《宽禁带半导体技术创新联盟》，光大证券研究所

1.1.7、氮化镓外延：氮化镓材料真正发光发热之处

氮化镓材料具有较宽的禁带以及较好的物理化学性质与热稳定，可以更好地满足 5G 技术、新能源汽车以及军事探测等领域对高功率耐高温、高频耐高压器件的需求，有着不错的市场前景。

从氮化镓材料自身的性质来看，其在高温下会分解，不能使用单晶硅生产工艺的传统直拉法拉出单晶，需要纯靠气体反应合成，而氮气性质非常稳定，镓又是非常稀有的金属，两者反应时间长，速度慢，反应产生的副产物多，因此生产 GaN 对设备要求苛刻，技术复杂，产能极低。在衬底方面，生产氮化镓衬底依然存在着严重的技术困难，一片 2 英寸的氮化镓晶片，在国际市场上的售价高达 5000 美元，而且一片难求。

由于 GaN 在常压下无法熔化，且在高温下分解为 Ga 和 N₂，在其熔点(2300℃)时的分解压高达 6GPa，当前的生长装备很难在 GaN 熔点时承受如此高的压力，因此传统熔体法无法用于 GaN 单晶的生长，只能选择在其他衬底上进行异质外延生长。当前的 GaN 基器件主要基于异质衬底(硅、碳化硅、蓝宝石等)制作而成，使得 GaN 单晶衬底及同质外延器件的发展落后于基于异质外延器件的应用。目前常见的氮化镓芯片基本是指硅基氮化镓外延片/碳化硅基氮化镓外延片。

目前，GaN 外延生长方法包括氢化物气相外延 (HVPE)、分子束外延 (MBE)、金属有机化合物化学气相沉淀 (MOCVD) 等。大多数商用器件都是基于 GaN 异质外延得到的，主要衬底包括碳化硅 (SiC)、硅 (Si) 和蓝宝石 (Sapphire)。

1.GaN on SiC HEMT 外延：该外延材料结合了 SiC 优异的导热性能和 GaN 高频和低损耗性能，所以 GaN on SiC 热导率高，使得器件可以在高电压和高漏电流下工作，是射频器件的理想材料。目前，GaN-on-SiC 外延片主要应用于 5G 基站、国防领域射频前端的功率放大器 (PA)。

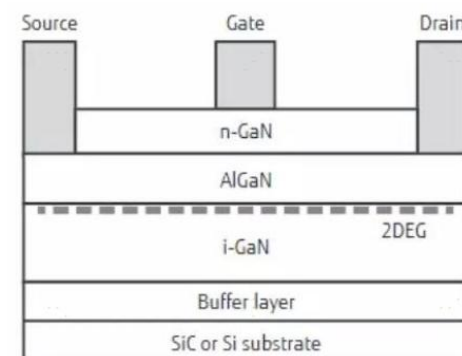
2.GaN-on-Si HEMT 外延：由于使用 Si 衬底材料，可在大直径硅晶圆上外延 GaN 且具有与传统 Si 工艺兼容等优势，成为功率半导体技术发展的理想选择。GaN on Si HEMT 外延有常开型(即耗尽型、D 型)和常关型(即增强型、E 型)两种。

表 5：硅基氮化镓外延与碳化硅基氮化镓外延参数对比

项目	GaN on SiC	GaN on Si
晶格失配	3.50%	16.90%
热膨胀系数	25%	56%
缺陷密度	5E+8/cm ²	1E+9/cm ²
漏电流	大	大
集成可能性	中等	高

资料来源：厦门中芯晶圆网，光大证券研究所

图 15: SiC/Si 基 GaN HEMT 典型外延结构



SiC/Si基GaN HEMT典型外延结构

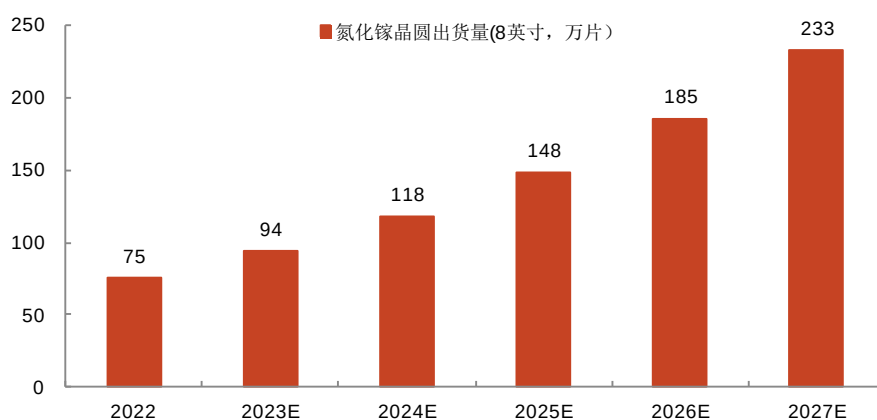
资料来源: 厦门中芯晶圆网, 光大证券研究所

3. GaN-on-Sapphire HEMT 外延: 该外延结构具有良好的均匀性、高击穿电压、极低的缓冲区泄露电流、高电子浓度、高电子迁移率和低方块电阻, 用于射频和功率半导体器件。在蓝宝石衬底上生长的 GaN HEMT 可以通过将器件倒装芯片键合到导热和电绝缘的衬底 (例如氮化铝陶瓷) 上来实现热管理。

根据 Grand View Research 的数据, 2021 年全球氮化镓半导体器件市场规模为 18.8 亿美元, 2022 年为 21.7 亿美元, 预计从 2022 年到 2030 年氮化镓半导体器件的市场规模将以 25.4% 的年复合增速增长。市场增长的原因主要是 GaN 半导体器件的卓越性能优于硅器件。与硅器件相比, GaN 的优势包括更高的能效、更低的成本和更快的器件速度等。

根据 TrendForce 的数据, 2022 年氮化镓市场中英诺赛科的市占率排名第三, 为 16%。而根据英诺赛科官网披露的数据, 2022 年英诺赛科的 8 英寸硅基氮化镓产量超过了 10000 片/月, 年产量超过 120000 片; 结合市占率数据, 我们可以推算得出 2022 年全球氮化镓晶圆片的产量大约为 75 万片左右, 结合前文中氮化镓半导体器件市场规模的增速, 我们可以大致预测出氮化镓晶圆 2025 年全球产量将达到 148 万片左右。

图 16: 2022~2027 年氮化镓晶圆出货量预测 (折合 8 英寸, 万片)



资料来源: 英诺赛科官网, 集邦咨询, Grand View Research 预测, 光大证券研究所测算

1.1.8、衬底&外延 总量以及结构的变化

在前文的叙述中，我们分别介绍了主要使用的衬底材料（第一代硅单晶，第二代砷化镓，第三代碳化硅）以及主要的外延材料（第三代氮化镓），并给出了各种材料的市场规模。不同材料的市场规模差距较大，主要是由于氮化镓器件目前主要的商业化运用方式为在外延层上进行制作，而砷化镓器件则可以在衬底上进行制造，衬底与外延层的厚度差距导致了材料平均用量的差距。因此，考察各种半导体衬底&外延材料在半导体市场中的结构有着重要的价值。

首先我们基于 2022 年各种材料衬底的出货量数据，计算 2022 年的半导体市场结构情况。由于前文的统计中晶圆尺寸各不相同，我们需要先进行尺寸的统一。以 12 英寸晶圆为基准，折算时 2 英寸晶圆数量需要除以 36，6 英寸晶圆需要除以 4，8 英寸晶圆需要除以 2.25。

表 6：各种衬底/外延晶圆年出货量统计（折合 12 英寸，万片）

材 料	2022	2023E	2024E	2025E
硅	12884.82	11068.65	12011.68	13563.34
砷化镓	78.18	84.28	91.28	98.58
磷化铟	2.08	2.38	2.72	3.11
碳化硅	22.10	26.80	31.08	36.04
氮化镓	33.33	41.78	52.44	65.78
总计	13020.51	11223.88	12189.19	13766.84

资料来源：英诺赛科官网，集邦咨询，Grand View Research，SEMI，TECHCET,Vole，光大证券研究所测算

晶圆出货总量方面，2022 年晶圆总出货 1.30 亿片晶圆（折合 12 英寸），预计 2025 年晶圆总出货量增长到 1.38 亿片晶圆（折合 12 英寸）。

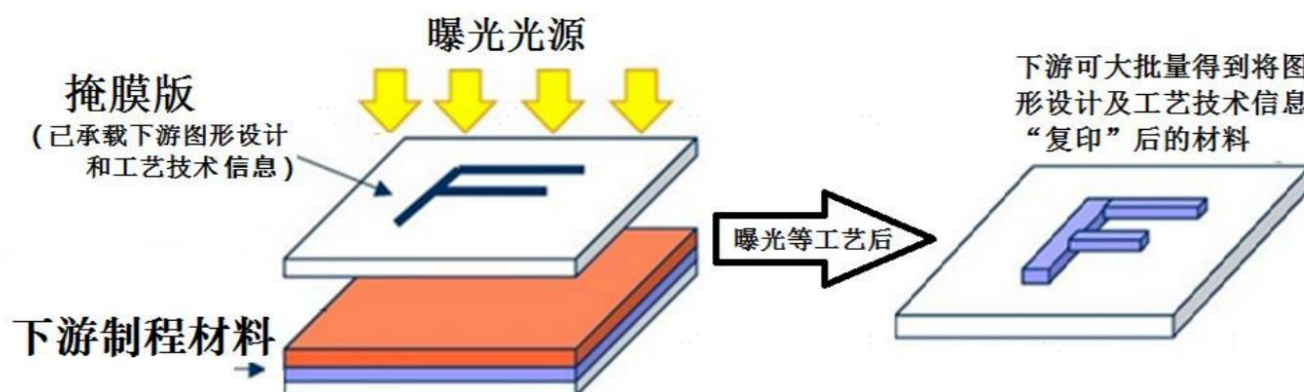
以目前全球晶圆出货量的口径对半导体市场结构进行测算，硅占绝对的主流，2022 年占比为 98.96%，2025 年略微下降为 98.52%；砷化镓排名第二，2022 年占比为 0.60%，2025 年上升至 0.72%；氮化镓外延晶圆排名第三，2022 年占比为 0.26%，2025 年上升至 0.48%；碳化硅排名第四，2022 年占比 0.17%，2025 年上升至 0.26%。从目前的市场结构情况看，砷化镓与氮化镓的占比到 2025 年都有一定提升。

1.2、掩膜版（前道制造）：铬金属助力光刻技术

掩膜版（Photomask），又称光罩、光掩膜、光刻掩膜版、掩膜版等，是下游行业产品制造过程中的图形“底片”转移用的高精密工具，是承载图形设计和工艺技术等知识产权信息的载体。掩膜版用于下游电子元器件制造业批量生产，是下游行业生产流程衔接的关键部分，是下游产品精度和质量的决定因素之一。

掩膜版的功能类似于传统照相机的“底片”，掩膜版工作原理如下图所示：

图 17：掩膜版工作原理示意图



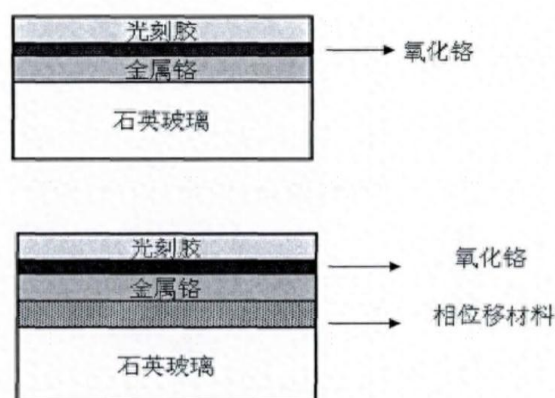
资料来源：清溢光电招股说明书，光大证券研究所

在掩膜版的生产中，铬为主要使用的金属材料。掩膜版的原材料是掩膜版基板，即涂有光刻胶和镀铬的玻璃基板。镀铬的作用是形成遮光膜材料，除了铬金属以外，也可以使用硅、氧化铁、乳胶遮光膜等；其中，铬相较于其他遮光膜材质能够形成更细微精确的图形，目前用于高精产品较多。

利用铬元素作为遮光材料的理由是，首先，铬不但可以镀出均一的厚度，并且在蚀刻制程中还能加工出精细的线路以实现更高分辨率的目标；其次，光掩膜版上的铬是一种无毒害无污染的元素，符合安全管控标准。目前还没有比金属铬更合适的掩膜版遮光材料。

除了金属铬之外，铬上还会有一层氧化铬作为抗反射层，用于吸收光刻过程中在晶片表面产生的额外光刻能量的增益。

图 18：金属铬、氧化铬在掩膜版中的结构示意图



资料来源：卡夫卡科技观察，光大证券研究所

1.3、 电子特气（前道制造）：钨金属化身六氟化钨

电子特气全名电子特种气体，是指应用于电子行业的气体，其质量直接影响电子器件的成品率和性能。目前半导体行业各个环节使用的特种气体有 114 种，常用的有 44 种，主要包含三氟化氮、六氟化钨、六氟丁二烯、氨气等，一般采用液态与瓶装气体生产模式。

其中重要电子特气材料六氟化钨的制备，需要氟气和钨粉在 350 至 400 °C 下反应得到。在半导体器件的制造过程中，通常用六氟化钨的化学气相沉积来形成钨膜。这一层膜用于低电阻率的金属互联。

表 7：2021 年全球市场规模排名前十的电子特种气体

编号	气体名称	市场规模 (亿美元)	市场规模 占电子特气比重	应用的工艺环节
1	三氟化氮 (NF ₃)	8.8	20%	清洗、刻蚀
2	六氟化钨 (WF ₆)	3.35	8%	成膜
3	六氟丁二烯 (C ₄ F ₆)	3.11	7%	刻蚀
4	氨气 (NH ₃)	1.85	4%	成膜
5	氙气 (Xe)	1.75	4%	离子注入、刻蚀
6	硅烷 (SiH ₄)	1.68	4%	成膜
7	一氧化二氮 (N ₂ O)	1.39	3%	成膜
8	磷烷 (PH ₃)	1.2	3%	离子注入、成膜
9	激光气 (混合气)	1.15	3%	光刻
10	三氟化氯 (ClF ₃)	1.09	2%	清洗

资料来源：Linx Consulting，中船特气招股说明书，光大证券研究所

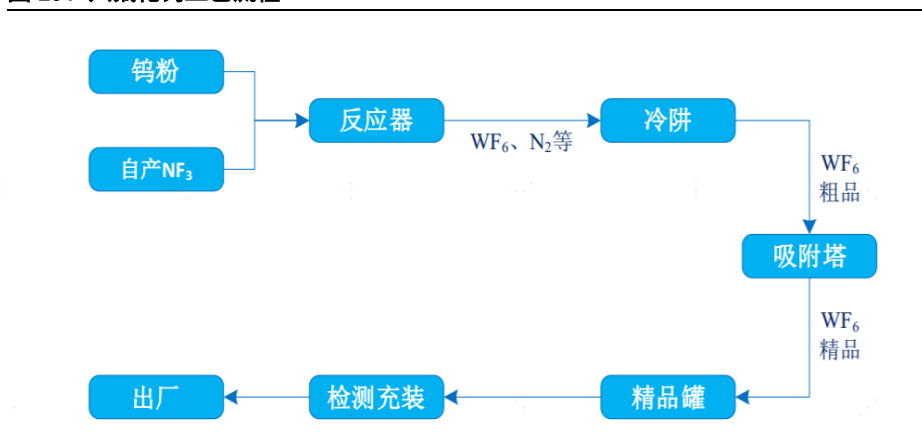
上表为 2021 年全球市场规模排名前十的电子特种气体及市场规模，根据 Linx Consulting 数据，2021 年电子特种气体市场规模为 44.23 亿美元。其中六氟化钨是集成电路领域使用量较大的成膜气体，在 2021 年全球电子特种气体市场中，六氟化钨市场规模排名第二，占比约 8%，市场规模为 3.35 亿美元。

六氟化钨为成膜气体，通过还原反应： $WF_6 + 3H_2 \rightarrow W + 6HF$ 使六氟化钨在高温下被氢气或者其他还原性气体（如 GeH₄、SiH₂F₂ 和二乙基硅烷等）还原为金属钨和 HF，因此六氟化钨作为原材料广泛应用于电子工业中金属钨化学气相沉积（CVD）工艺技术的基础。比如用 WF₆ 制成的 WSi₂ 可用作大规模集成电路中的配线材料。

纯度是电子特种气体重要指标之一，直接影响芯片的良品率和可靠性。通常情况下，气体纯度用百分数表示，如 99.99% (4N)、99.999% (5N)、99.9995% (5N5) 等。随着集成电路制造工艺的迭代升级，线宽越来越窄，晶体管密度越来越大，对电子特气的纯度、稳定性等指标的要求也越来越高，部分气体纯度需要达到 6N 或以上，中船特气所生产的六氟化钨纯度均达到 6N 以上。

六氟化钨工艺流程：将三氟化氮与钨粉在反应器裂解生成六氟化钨粗品，粗品气通过冷阱进行收集，经过吸附塔进行纯化，纯化后的产品由精品罐收集，经检测合格后进行充装。

图 19：六氟化钨工艺流程



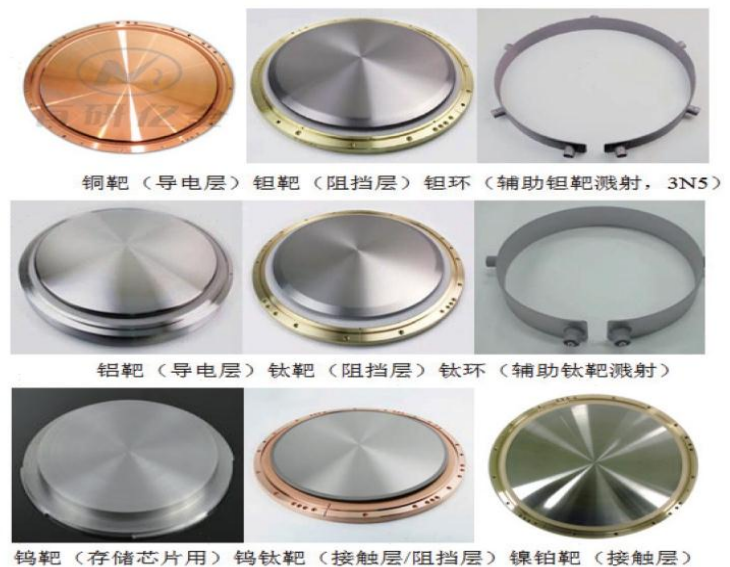
资料来源：中船特气招股说明书，光大证券研究所

1.4、靶材（前道制造）：先进用铜钽，成熟用铝钛

超高纯溅射靶材主要用于晶圆制造环节，其为通过磁控溅射、多弧离子镀或其他类型的镀膜系，在适当工艺条件下溅射在基板上形成各种功能薄膜的溅射源。半导体领域靶材具有多品种、高门槛、定制化的特点，其对于溅射靶材的技术要求高，对金属材料纯度、内部微观结构等均有严苛的标准。近年来半导体芯片的集成度越来越高，半导体芯片尺寸不断缩小，对超高纯溅射靶材提出了新的技术挑战。

半导体芯片行业用的金属溅射靶材，主要种类包括：铜、钽、铝、钛、钴和钨等高纯溅射靶材，以及镍铂、钨钛等合金类的溅射靶材。金属靶材一般要求超高纯度，杂质占比不能超过 0.01%。根据江丰电子公告，大规模集成电路芯片的制造对溅射靶材金属纯度的要求最高，通常要求达到 99.9995% (5N5) 以上，平板显示器、太阳能电池用铝靶的金属纯度略低，分别要求达到 99.999% (5N)、99.995% (4N5) 以上。

图 20：半导体芯片常用金属靶材图示



资料来源：张卫刚等《半导体芯片行业用金属溅射靶材市场分析》，光大证券研究所

表 8：半导体芯片行业用主要金属溅射靶材简介

材料	性质	应用说明	备注
铜靶	导电层	高纯铜材料因其电阻很低，对芯片集成度的提高非常有效，因此在 110nm 以下技术节点中被大量用作布线材料	铜靶和钽靶通常配合起来使用。晶圆制造技术，目前正在朝着更小的制程方向发展，铜导线工艺的应用量在逐步增大，因此铜和钽靶材的需求将有望持续增长。
钽靶	阻挡层	高纯钽靶主要用在 12 英寸晶圆片 90nm 以下的高端半导体芯片上	
铝靶	导电层	高纯铝箔在制作半导体芯片导电层方面应用甚广，但因其响应速度方面的原因，而在 110nm 以下技术节点中很少应用	铝靶和钛靶通常配合起来使用。目前，在汽车电子芯片等需要 110nm 以上技术节点来保证其稳定性与抗干扰性的领域，仍需大量使用铝、钛靶材。
钛靶	阻挡层	高纯钛靶主要用在 8 英寸晶圆片 130 和 180nm 技术节点上	
镍铂合金靶	接触层	可与芯片表面的硅层生成一层薄膜，起到接触作用	/
钴靶	接触层	可与芯片表面的硅层生成一层薄膜，起到接触作用	/
钨钛合金靶	接触层	钨钛合金，由于其电子迁移率低等优点，可作为接触层材料用在芯片的门电路中	/
钨靶	/	主要用于半导体芯片存储器领域	/

资料来源：张卫刚等《半导体芯片行业用金属溅射靶材市场分析》，光大证券研究所

铝靶早已被用来作为集成电路互连和触点。铝的问题是电迁移和电阻高。由于半导体领域的进步，大规模集成电路向超大规模集成电路转移，信号处理速度加快，要求传递信号的配线更细，这就要求更低电阻电容的靶材，因此用导电性好的金属铜代替铝为普遍做法。一般认为“丝”径（宽度）小于 $0.25\mu\text{m}$ 就必须使用铜靶。

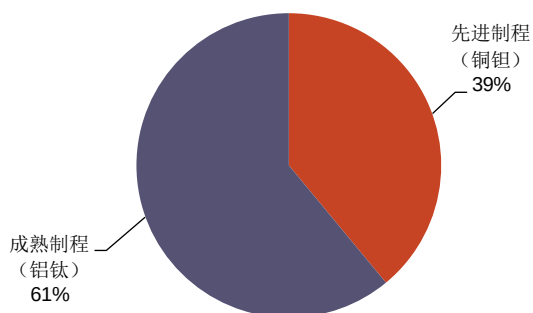
但是铜与硅有很高的化学活性和很快的扩散速度，在低温下就可以形成铜硅合金（Cu-Si）通过氧化硅的电迁移，使得铜在硅中形成深的空穴，影响设备性能，针对这一问题，一般使用铜靶与钽靶配套的方法进行处理。

金属钽和钽的化合物有高导电性、高热稳定性和对外来原子的阻挡作用。钽和氮化钽对铜的惰性，Cu 和 Ta、以及 Cu 和 N 之间也不形成化合物，因此钽和钽基膜常用来作为防止铜扩散的阻挡层。

随着制程工艺的慢慢提高，铜作为导电层、钽作为阻挡层的搭配将越来越普遍。导电用铜、阻挡用钽基本上以物理溅射沉积的方式在晶圆片上制膜，因此铜靶与钽靶的使用量将会慢慢提升。目前市场上成熟制程（28nm 及以上）的晶圆片所使用的靶材以铝靶和钛靶的配套为主，而在先进制程（28nm 以下）的晶圆片中，金属靶材的选择则以铜靶与钽靶的配套为主。

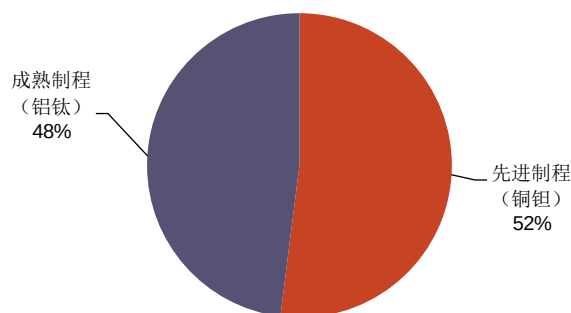
据 IC Insights 数据，2022 年先进制程晶圆占比约为 39%，成熟制程晶圆占比为 61%；而根据 IHS Markit 的预测，2025 年成熟制程晶圆市场占比为 48%，先进制程晶圆占比为 52%。

图 21：2022 年先进制程（铜钽）与成熟制程（铝钛）晶圆占比



资料来源：IC Insights 预测，世展网，光大证券研究所

图 22：2025 年先进制程（铜钽）与成熟制程晶圆（铝钛）占比



资料来源：IHS Markit 预测，维科网，光大证券研究所

1.5、其他前道制造材料：电镀液与高 K 材料

除了上述衬底、外延、掩模版、电子特气与靶材以外，在晶圆的前道制造材料中还有其他涉及金属的重要环节，在这里我们重点介绍电镀液与高 K 材料中所涉及的金属材料。

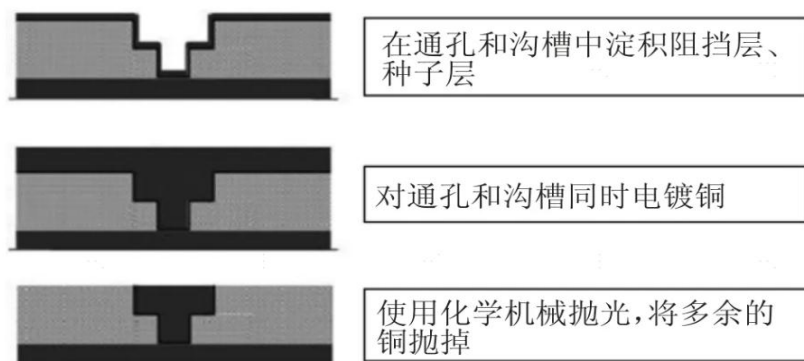
1.5.1、电镀铜：大马士革工艺

各元件之间的互连是集成电路工艺中的关键技术。早期使用铝作为互连线材料，它容易刻蚀，且与 SiO_2 的结合性好。但随着集成电路特征尺寸的减小，由微米到亚微米再到深亚微米级，以及互连层数的增加，互连线的 RC 延迟成为制约超大规模集成电路发展的关键。因此，低电阻率的铜成为新一代的互连线材料。但铜不宜刻蚀，因而在集成电路的互连技术中引入了新的互连工艺，即铜的大马士革工艺。

电镀的费用低、速度快、温度要求不高。电镀是大马士革工艺中的重要环节，通过电镀可以将铜填充在沟槽和孔洞中，获得具有良好形貌和性能的铜镀层，从而得到可靠的铜互连线。

大马士革一词源自中世纪中东地区的金属镶嵌技术，大马士革工艺的本质是用化学机械抛光（CMP）工艺代替刻蚀工艺，解决 Cu 难以产生挥发性物质因而难以刻蚀的问题，我们将在后文进一步介绍该工艺。

图 23：大马士革工艺图示



资料来源：中国电子科技集团公司第四十五研究所，光大证券研究所

1.5.2、高 K 材料新贵：钪金属

所谓高 k 材料，即介电常数 K 值很高的材料，真空 K 值为 1，在所有材料中最低；空气 K 值为 1.0006；橡胶 K 值为 2.5~3.5；纯净水 K 值为 81。工程上根据 K 值的不同，将电介质分为高 K 和低 K 介质两类：K>3.9（二氧化硅的介电常数）的为高 K 材料，K≤3.9 的为低 K 材料。

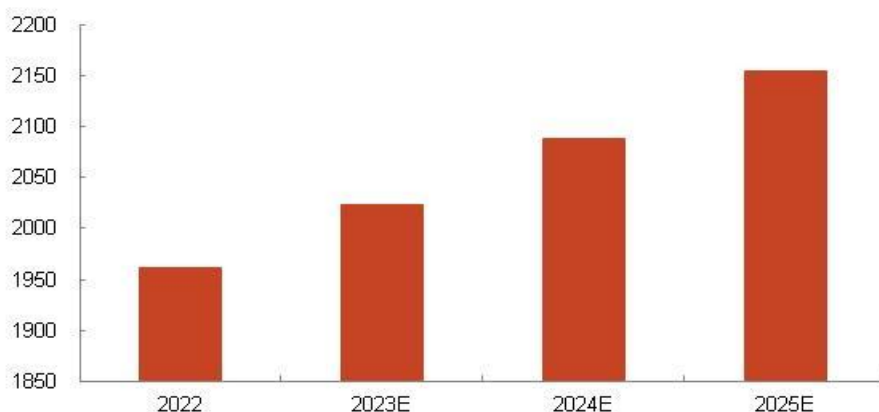
上个世纪末集成电路特征尺寸缩小到 130nm 时，摩尔定律遇到一个很重要的挑战就是栅极的漏电流问题。当特征尺寸为 130nm 时，为了正常地驱动 MOSFET，对应的 SiO₂ 栅极层物理厚度必须降低到 3 nm 以下，这会导致电子的直接隧穿效应变得非常明显，从栅极过来的隧穿电流将急剧增加，栅极漏电流可能与沟道电流相比更大，导致器件不稳定，同时产生大量焦耳热等一系列的问题，最终导致器件失效。

2007 年，Intel 公司宣布在其 45nm 技术工艺中成功采用了一种基于 HfO₂ 的高 K 材料，即二氧化钪。HfO₂ 由于具有合适的 K 值、带隙、势垒与较优的材料热稳定性、界面特性及工艺简单等众多优势，在高级晶体管集成电路量产工艺中广泛和长期使用。生长高 K 材料的方法有物理气相沉积(physical vapor deposition, PVD)、化学气相沉积 (chemical vapor deposition, CVD) 与原子层积 (atomic layer deposition, ALD) 等，其中 ALD 是主要方法。

目前，在 DRAM 储存芯片的使用上广泛使用钪，三星电子、SK 海力士等存储芯片大厂在生产最先进 DRAM 时增加钪的用量。2022 年前三季度，三星每月的 DRAM 晶圆总产量为 66.5 万片（折合 12 英寸）。结合国家发改委披露的数据，2022 年第三季度全球 DRAM 产业中三星市占率大约为 40.7%，我们可以测算 2022 年全球共生产 DRAM 晶圆约 1961 万片。

根据 Mordor Intelligence 的预测，DRAM 市场规模预计从 2022 年到 2027 年将以约 3.18% 的年复合增长率持续增长，我们以此年复合增长率作为 DRAM 出货量的增长速度，可以测算得到 2025 年全球 DRAM 晶圆出货量将达到 2154 万片。

图 24：2022~2025 年全球 DRAM 晶圆出货量预测（12 英寸，万片）



资料来源：Mordor Intelligence，界面新闻，国家发改委，光大证券研究所测算

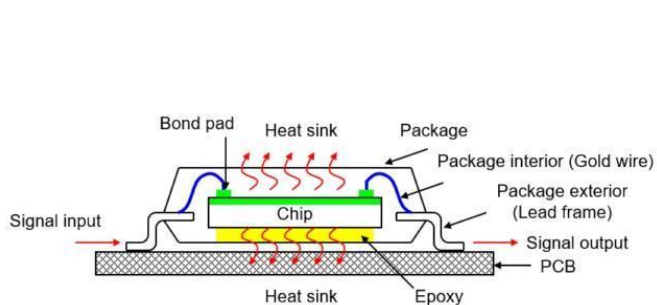
1.6、键合丝（后道封装）：金、银、铜皆有应用

在成功完成前道制造工艺流程后，晶圆已经升级成了“IC”，还需要进行后道的“测试”和“封装”。在测试流程中需要将晶圆上的 IC 切割变成晶粒再进行测试，通过测试后以金属材料 and 树脂材料制作器件的外壳将晶粒进行封装，成为最终的成品“芯片”。

在 IC 封装中，需要用到金属材料的两个环节主要包括引线框架以及键合丝。芯片和引线框架（基板）的连接为电源和信号的分配提供了电路连接。就目前的封装工艺看，有两种主流方式实现内部连接：引线键合/打线封装（Wire Bonding）、覆晶封装（Flip Chip）。

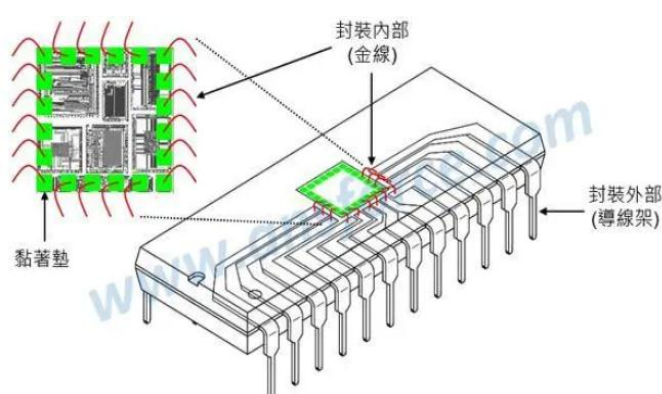
所谓引线键合即是透过“键合丝”把 IC 上的连接点跟 IC 载版或引线框架连接起来。如果是以引线框架封装，芯片内部的 IC 便是藉由引线框架，从内部直接连接到外部的 PCB 上。而覆晶封装是在 IC 的连接点上接合“金属凸块”（Solder Bump），再把 IC 翻覆，让 IC 上的凸块与 IC 导线基板连接起来。

图 25：引线键合示意图 1



资料来源：知识力，光大证券研究所

图 26：引线键合示意图 2



资料来源：知识力，光大证券研究所

虽然目前 90%以上的连接方式仍是引线键合，但是随着人们对于半导体芯片的要求越来越高，脚线数量越来越多，传统引线键合的方式将不能满足芯片的需求。

键合丝涉及到的金属材料主要包括金、银、铜、铝、锡。键合用的引线对焊接的质量有很大的影响，尤其对器件的可靠性和稳定性影响更大。理想键合丝材料具有以下特点：能与半导体材料形成低电阻欧姆接触；化学性能稳定，不会形成有害的金属间化合物；与半导体材料接合力强；可塑性好，容易实现键合；弹性小，在键合过程中能保持一定的几何形状。

金丝和铝丝在 2010 年以前是使用最普遍的焊线材料，目前铜线异军突起，有望成为最主流的键合线。金性能稳定，做出来的产品良率高，但是价格昂贵。铝虽然便宜，但不稳定，良率低。几种主要的焊线对比如下：

(1) 金丝：使用最广泛，传导效率最好，但是价格也最贵，近年来已有被铜线取代的趋势。

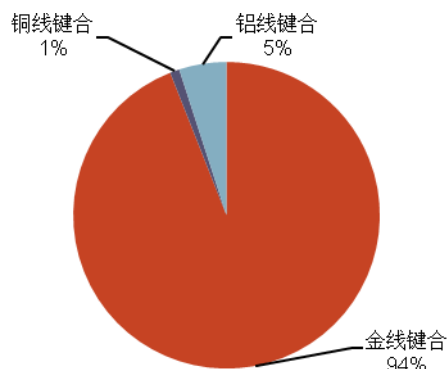
(2) 铝丝：多用在功率型组件的封装。

(3) 铜丝：由于金价飞涨，近年来大多数封装厂积极开发铜线制程以降低成本。铜线对目前国内的部分封装厂来说，在中低端产品上还是比较经济的，但是需加保护气体，刚性较强。

(4) 银丝：特殊组件所使用，在封装工艺中不使用纯银线，常采用银的合金线，其性能较铜线好，价格比金线要低，也需要用保护气体，对于中高端封装来说不失为一个好选择。

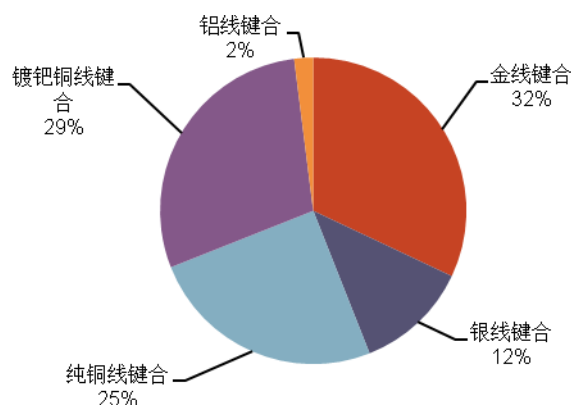
根据《铜键合线的发展与面临的挑战》，2005 年的集成电路封装中，金线键合占绝大部分，铝线键合封装只占总封装的 5%，而铜线键合大概也只有 1%；而 2019 年，键合丝市场结构已经发生了巨大变化，金线键合仍然占比最高，但是已经大幅下降至 32%，纯铜丝键合与镀靶铜丝键合占比分别为 25% 以及 29%，预计未来铜将成为主流键合丝原材料。

图 27：2005 年键合丝市场占比



资料来源：吴建得《铜键合线的发展与面临的挑战》，光大证券研究所

图 28：2019 年键合丝市场占比



资料来源：华经产业研究院，光大证券研究所

1.7、引线框架（后道封装）：铜基框架占主导地位

引线框架提供封装组件电、热传导的途径，也是所有封装材料中的重要一环。引线框架材料主要为铜合金，其大致分为铜—铁系、铜—镍—硅系、铜—铬系、铜—镍—锡系（JK--2 合金）等，三元、四元等多元系铜合金能够取得比传统二元合金更优的性能和更低的成本。

由于引线框架制作及封装应用的需要，除高强度、高导热性能外，对材料还要求有良好的钎焊性能、工艺性能、蚀刻性能、氧化膜粘接性能等。目前引线框架材料在向高强、高导电、低成本方向发展，在铜中加入少量的多种元素，在不明显降低导电率的原则下，提高合金强度（使引线框架不易发生变形）和综合性

能。另外，铜带材持续向高表面一致性、精确板型、性能均匀、带材厚度不断变薄的方向发展，从 0.25mm 向 0.15mm、0.1mm 逐步减薄。

表 9：常用的引线框架合金及其性能

合金系列	合金牌号	化学成分 (%)	抗拉强度 (Mpa)	延伸率 (%)	电导率 (%)	热膨胀系数 (25-300°C) $\times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$	导热率 (w/m*k)
Cu-Fe	C19400	Cu-2.35Fe-0.12Zn-0.03F	362-568	4-5	55-65	17.4	262
	C19700	Cu-0.6Fe-0.2P-0.04Mg	380-500	2-10	80	16.7	173
	C19210	Cu-0.10Fe-0.034P	294-412	5-10	90	17.7	364
Cu-Cr	OMCL-1	Cu-0.3Cr-0.1Zr-0.05Mg	590	8	82	17	301
	EFTEC64T	Cu-0.3Cr-0.25Sn-0.2Zn	560	13	75	/	/
Cu-Ni-Si	C64710	Cu-3.2Ni-0.7Si-0.3Zn	490-588	8-15	40	17.2	220
	KLF-125	Cu-3.2Ni-0.7Si-1.25Sn-0.3Zn	667	9	35	17	/
	C70250	Cu-3.0Ni-0.6Si-0.1Mg	585-690	2-6	35-40	17.6	147-190
Cu-Sn	C50710	Cu-2Sn-0.2Ni-0.05P	490-588	9	35	17.8	155
其他	C15100	Cu-0.1Zr	294-490	3-21	95	17.6	360
	C15500	Cu-0.11Ag-0.06P	275-550	3-40	86	17.7	/
Fe-Ni	Alloy42	42Ni-58Fe	650	/	2.7	4.0~4.7	0.04

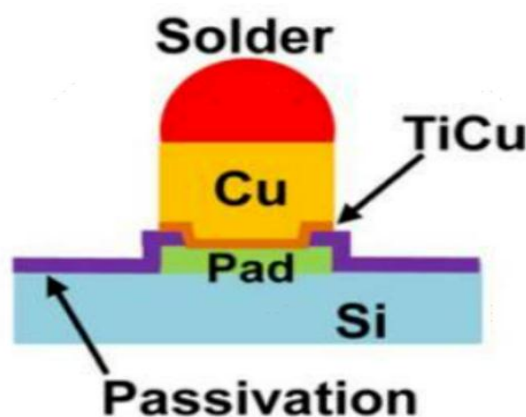
资料来源：微信公众号《艾邦半导体》，光大证券研究所

1.8、焊料（后道封装）：锡金属大展身手

除引线框架及键合丝所涉及金属金、铜之外，锡同样也是重要的半导体封装材料。在半导体封装流程中，为了便于芯片与封装基板的键合，会在芯片上留出凸块接点，然后在表面上锡处理。由于锡具有较低的熔点和良好的机械性能，因此被广泛用于制作焊点。焊点是半导体器件与电路板之间的连接点。焊点需要具有良好的连接强度、高温稳定性和电学性能。锡的熔点低，使得它可以快速固化，从而稳定焊点的位置。此外，锡还可以在高温下形成一层氧化层，起到保护电路的作用。

焊锡凸块（Solder Bump）在覆晶封装以及未来可能的封装工艺中频繁使用。覆晶封装及前沿封装工艺都是采用焊锡球凸块(solder bump)或微凸块（Micro bump）来实现芯片与基板、芯片与中介层(interposer)、芯片与芯片间的电连接。Solder bump/micro bump 在制备工艺中都有植球的步骤，所植的球就是焊锡凸块（Solder bump），也就是说芯片间的连接都是靠焊锡凸块进行连接。

图 29：焊锡凸块图示



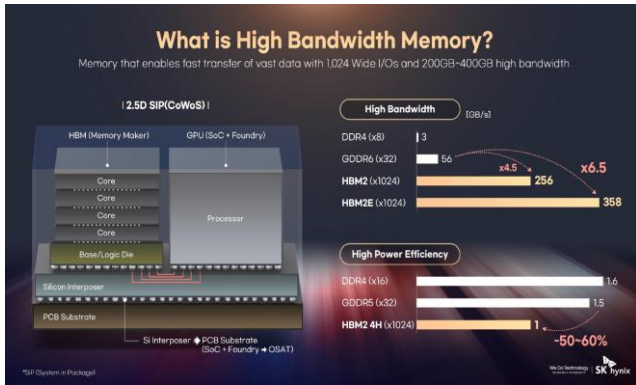
资料来源：微信公众号《艾邦半导体》，光大证券研究所

1.9、其他后道封装材料：Low- α 材料

随着芯片制程工艺的发展，“摩尔定律”迭代速度放缓、芯片成本攀升问题逐步显露。“后摩尔时代”以系统应用为出发点，不执着于晶体管的制程缩小，而将各种技术进行异质整合的先进封装技术作为“超越摩尔定律”的重要路径。先进封装正成为助力系统性能持续提升的重要保障，并满足“轻、薄、短、小”和系统集成化的需求。

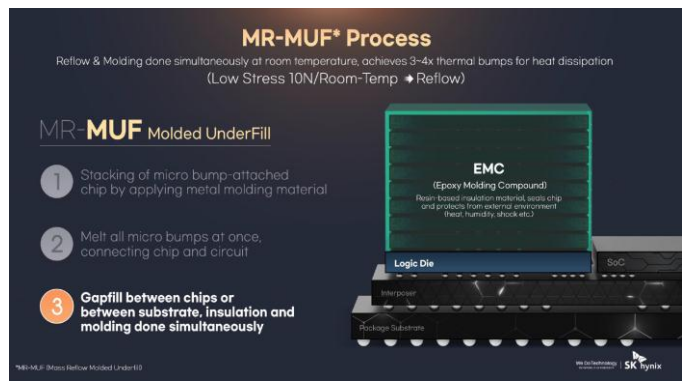
HBM 采用先进封装技术，相比传统封装芯片最高带宽提升接近 11 倍。HBM（High Bandwidth Memory）是一款新型的 CPU/GPU 内存芯片，HBM 利用先进封装工艺将 DDR 芯片垂直堆叠在一起并和 GPU 封装在一起（传统封装是采用平面分布 DDR 芯片），缩短信息传输距离的同时实现大容量、高带宽。根据海力士官网披露数据，最新代际 HBM 最高带宽可达 665GB/s，相比于传统封装工艺的 GDDR6 的最高带宽 56GB/s，提升约 10.9 倍。

图 30：HBM 垂直堆叠示意图及性能展示



资料来源：海力士官网，光大证券研究所

图 31：EMC 环氧塑封材料示意图



资料来源：海力士官网，光大证券研究所

Low- α 球形硅微粉及球形氧化铝为 HBM 封装关键材料。对于垂直堆叠的 DDR 芯片需要使用 GMC（颗粒状环氧塑封料）对其整体进行封装。由于导体器件中存在天然放射性元素铀所携带的 α 粒子，当它们被射入微电子器件的灵敏区时，会引起半导体器件发生单粒子效应，导致 CPU 运行错误，因此控制 α 粒子的含量高低在封装环节使用的 GMC 中显得至关重要。Low- α 球形硅微粉及球形氧化铝兼具强度高、散热性能好、 α 粒子含量低等特点，为 HBM 封装材料中必不可少的关键材料。

Low- α 球铝/球硅占 GMC 重量的 80%-90%左右。目前球形氧化铝的需求与芯片的性能要求成正比，芯片性能要求越高，掺混的球形氧化铝越多，球铝与球硅的总重量占 GMC 重量的 80%-90%左右。

表 10：环氧塑封料组成成分及主要作用

主要成分	常用材料	含量 (%)	主要功能
环氧树脂	多功能树脂	5-10	与硬化剂反应后提供交联结构
固化剂	酚醛型树脂	5-10	与环氧树脂反应提供交联结构
填充剂	二氧化硅、氧化铝等	70-90	提高塑封料的强度、减少吸水性
阻燃剂	环保材料：金属氢氧化物等	<10	提高塑封料的安全性能
脱模剂	天然蜡，合成蜡等	<1	增强环氧树脂连续成型能力
催化劑	胺化物，磷化物	<1	加速环氧树脂与硬化剂的反应

偶联剂 硅氧烷, 胺基硅油等 <1 增强填料与环氧树脂的结合

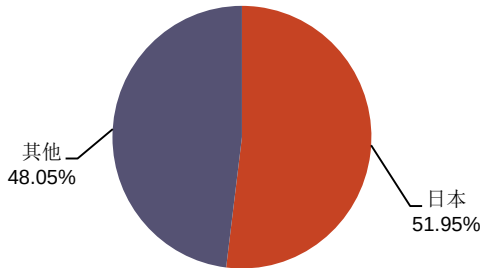
资料来源: 高佳齐等《环氧密封胶用硅微粉的超细粉碎及改性研究》, 光大证券研究所

Low- α 球铝技术门槛高, 生产难度大, 2022 年全球需求量约为 1000 吨, 单价约为 300 万元/吨。由于球形氧化铝粉末中的天然放射性元素铀的含量取决于原料中的铀含量, 因此重要的是使用铀/钍含量尽可能低以制备具有低铀含量的球形氧化铝粉末, 这导致了 Low- α 球铝的高技术门槛与生产难度。目前 Low- α 球形氧化铝全球范围内的主要供应商为日本雅都玛, 国内企业方面, 联瑞新材与壹石通有望实现国产化替代。

球硅竞争情况: 目前, 球形二氧化硅的主要生产商集中在 Tatsumori (日本龙森公司)、Admatechs (日本雅都玛公司)、Denka (日本电化株式会社)、Micron (美光) 等, Denka 处于世界领先地位, 2022 年产量市场份额为 24.05%。随着近年来国内产能不断扩大, 中国产品的市场份额有望扩大。2021 年联瑞新材、华飞电子的销量市占率分别为 12%和 6%, 已在一定程度上对日本等发达国家高端硅微粉形成进口替代, 且进口替代率有望随着国内厂商产能扩建进一步提升。然而, 对于以 Admatechs 为主的高端材料——0.01 μ m-10 μ m, 竞争格局短期内不会改变。

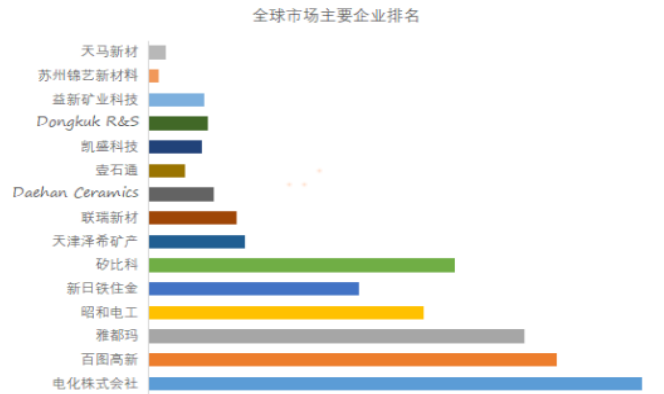
球铝竞争情况: 全球范围内, 球形氧化铝填料主要生产商包括日本电化株式会社、百图高新、日本雅都玛、昭和电工、新日铁住金、矽比科、天津泽希矿产、联瑞新材、Daehan Ceramics、壹石通、凯盛科技、Dongkuk R&S、益新矿业科技和苏州锦艺新材料等。目前, 全球核心厂商主要分布在日本、韩国和中国。

图 32: 2022 年全球球形硅微粉国家地区占比 (产量)



资料来源: 恒州诚思 YH 报告《2023 年全球及中国球形二氧化硅填料行业头部企业市场占有率及排名调研报告》, 光大证券研究所

图 33: 球形氧化铝企业全球排名情况



资料来源: QYResearch, 光大证券研究所

表 11: 球形硅微粉主要生产企业的介绍

公司名称	主要产品	市场地位
日本龙森公司 Tatsumori	高纯度结晶石英粉、高纯度熔融石英粉、高纯度球状石英粉	占全球球形硅微粉市场份额 70%以上
日本电化株式会社 Denka	熔融球状型硅石、超微粒子球状硅石	
日本新日铁住金	真球状微粒子制造技术工业化应用	
日本雅都玛公司 Admatechs	纳米球形硅胶颗粒、显微球面氧化物颗粒、球形氧化微粒	垄断 1 微米以下的球形硅微粉市场
联瑞新材	结晶硅微粉、熔融硅微粉、球形硅微粉	国内规模领先的电子级硅微粉生产商

资料来源: 联瑞新材招股说明书, 光大证券研究所

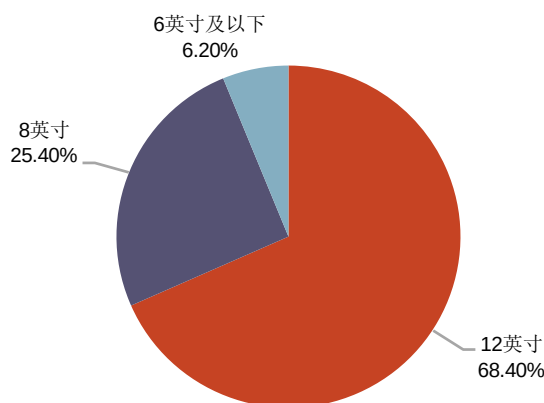
2、半导体金属品种汇总与用量测算

集成电路的制作流程远比上文介绍的要更加复杂，涉及的金属材料也更多。在本节中，我们将对半导体制造流程中所涉及的主要金属种类汇总并进行用量的测算。

基于半导体在制造流程中的重要形态是晶圆片，而其最终的产品形态为芯片，我们将以这两种形态作为基本单位进行测算，即测算一片晶圆片所消耗金属材料/一片芯片所消耗金属材料。

目前市场上的硅晶圆片根据尺寸分类可以分成 12 英寸、8 英寸、6 英寸及以下等种类，而其中 12 英寸晶圆片占据了最大量的晶圆片出货量。根据 SEMI 的数据，2020 年 12 英寸晶圆片占比达到 68.40%；8 英寸晶圆片占比为 25.40%；6 英寸及以下占比仅为 6.20%。预计未来一段时间内，晶圆片市场仍将以 12 英寸为主要尺寸，因此后文的测算中也将晶圆折算为 12 英寸尺寸。

图 34：2020 年不同尺寸晶圆片出货量占比



资料来源：SEMI，前瞻产业研究院，光大证券研究所

2.1、硅：最主流的半金属衬底材料

2.1.1、上游工业硅情况介绍

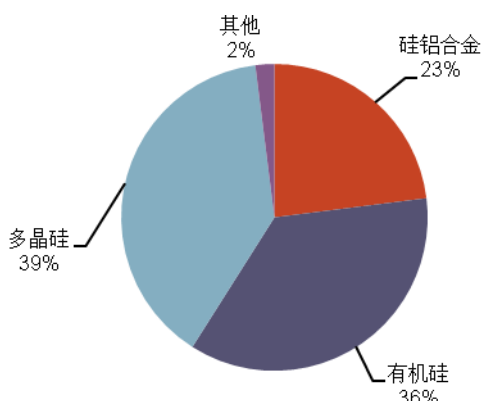
从工业硅的整体需求量角度看，半导体用硅量较少。工业硅主要用于生产有机硅、制取高纯度的晶体硅材料、以及配置有特殊用途的硅铝合金，三者呈鼎足之势。硅铝合金、有机硅、多晶硅三大领域 2022 年消费量占比分别为 23%、36%、39%，多晶硅是工业硅最大的消费领域，同时多晶硅也是半导体用硅的来源。

按纯度要求及用途不同，可以将多晶硅分为太阳能级多晶硅和电子级多晶硅。半导体和光伏是晶硅原材料生产制造的下stream应用领域。目前，光伏行业是多晶硅使用量最大的行业，太阳能级多晶硅对杂质有严格的要求，通常要求多晶硅的纯度需达到 99.9999% 以上；电子级多晶硅对于产品纯度要求更高，一般要求 9N 以上（99.9999999%）。半导体芯片所用硅晶圆一般由硅单晶制成，而硅单晶则需以多晶硅直拉或是区熔得到。

2022 年，全球多晶硅产量为 100.1 万吨，同比增加 55.9%，中国占据全球多晶硅产量 85% 以上。其中，电子级多晶硅产量约为 3.92 万吨、太阳能级块状硅约为 90 万吨、颗粒硅为 6.16 万吨，在全球多晶硅总产量中的占比分别为 3.9%、

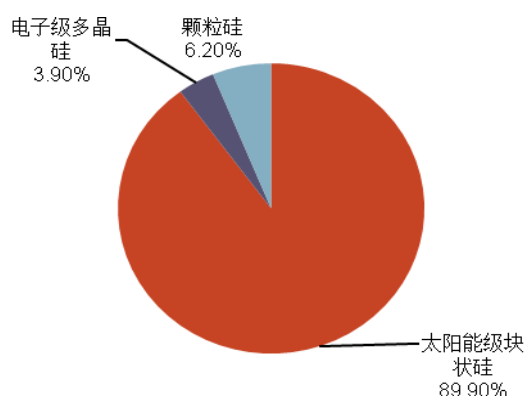
89.9%和 6.2%。从整体需求角度看，半导体用硅，即电子级多晶硅在 2022 年仅占硅整体需求量的 1.52%。

图 35：2022 年硅下游需求量拆分



资料来源：中商情报网，光大证券研究所

图 36：2022 年电子级多晶硅产量在多晶硅中的占比情况



资料来源：北京日报，光大证券研究所

在多晶硅市场上，中国企业处于绝对的领先地位，根据 Bernreuter Research 的调研数据，2021 年全球前四的多晶硅企业都来自中国，且产能均超过 10 万吨/年。其中前两大生产商通威股份和协鑫科技，产能分别为 20.5 万吨/年、14 万吨/年。根据通威股份 2023 年半年报，通威股份的硅产能已经扩大至 42 万吨。

表 12：2021 年全球前十大多晶硅生产企业产能情况

排序	企业	所属国家/地区	多晶硅年产能（吨）
1	通威股份	中国	205000
2	协鑫科技	中国	140000
3	大全新能源	中国	140000
4	新特能源股份	中国	100000
5	瓦克化学股份	德国/美国	85000
6	新疆东方希望	中国	70000
7	亚洲硅业	中国	52000
8	奥瑟亚化工	韩国/马来西亚	36500
9	赫姆洛克半导体	美国	20000
10	天宏瑞科	中国	19300

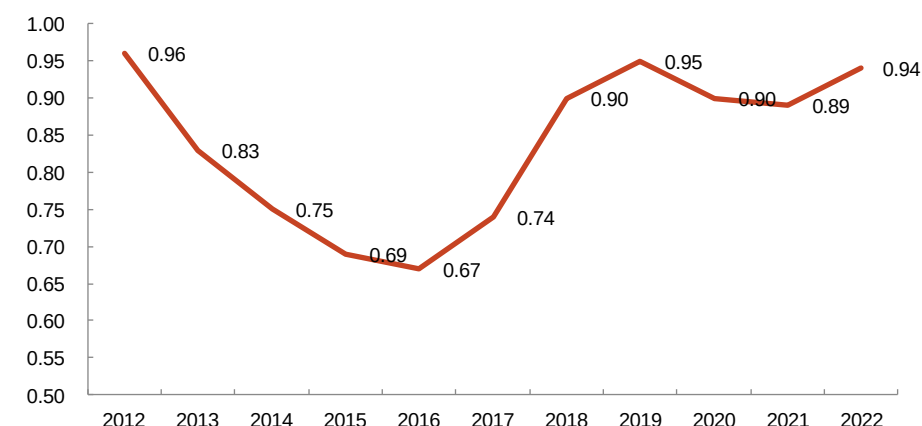
资料来源：Bernreuter Research，光大证券研究所

2.1.2、半导体用硅用量测算

根据前文所述，半导体衬底可以划分为四代，但是目前硅仍然是半导体器件最重要的材料，占比超过 90%，测算第一代硅衬底材料的用量同样是我们测算的起点。

我们先看看硅晶圆的价格情况。自从 2016 年硅晶圆价格探底之后，由于通讯、计算机、汽车、消费电子、医疗电子等传统应用领域需求的稳定带动，叠加光伏、智能电网、人工智能、物联网等新兴产业的崛起，近些年半导体硅晶圆价格回到高位水平。根据 SEMI 公布的数据，半导体硅晶圆价格从 2016 年 0.67 美元/平方英寸上涨至 2022 年价格 0.94 美元/平方英寸。

图 37：2012-2022 年全球硅晶圆销售单价（美元/平方英寸）



资料来源：SEMI，光大证券研究所

硅片作为硅晶圆的重要上游原材料，其价格与硅晶圆的销售价格有着较强的相关性。下表所列为华润微、中芯国际、沪硅产业、上海合晶招股说明书中所披露 2017~2019 的半导体硅片价格水平。为了得到较新的硅片原材料价格，我们假设硅片价格与硅晶圆价格同比例变化。

表 13：2017-2019 年半导体硅片价格情况

企业名称	尺寸	2017 年价格 (元/片)	2018 年价格 (元/片)	2019 年价格 (元/片)	尺寸	2017 年价格 (元/片)	2018 年价格 (元/片)	2019 年价格 (元/片)
华润微	8 英寸	288.66	317.28	313.92	12 英寸	649.49	713.88	706.32
中芯国际	8 英寸	230.98	287.59	322.72	12 英寸	519.71	647.08	726.12
沪硅产业	8 英寸	179.99	220.66	283.03	12 英寸	404.98	496.49	636.82
上海合晶	8 英寸	234.89	299.35	351.81	12 英寸	528.50	673.54	791.57
平均价格	8 英寸	231.38	281.22	317.87	12 英寸	525.67	632.75	715.21

资料来源：各公司招股说明书，光大证券研究所（备注：2019 年沪硅产业价格数据为 1-9 月，华润微价格数据为 1-6 月）

在各公司招股说明书中，只对历年的 8 英寸半导体硅片价格进行披露，表格中的 12 英寸硅片价格为根据晶圆面积进行同比例调整后得到的结果。据此测算后的结果显示 2017/2018/2019 年 12 英寸硅片价格分别为 525.67/632.75/715.21 元/片。2022 年，硅晶圆销售单价为 0.94 元/平方英寸，而在 2019 年这一数字为 0.95 元/平方英寸，再根据这两个数据进行测算，2022 年半导体硅片原材料的价格为 $715.21 \times 0.94 / 0.95 = 707.68$ 元/片。

硅片的上游为电子级多晶硅，冶炼得到高纯度多晶硅后，经过拉伸、长晶、切割等步骤得到硅片。根据立昂微招股说明书中所披露的数据，其 6 英寸硅片的硅用量为 58.34g~68.90g。

12 英寸的硅晶圆片面积为 6 英寸硅晶圆片面积的四倍，因此将 6 英寸硅片硅用量*4，测算得到一个 12 英寸的硅片约需要 233.37~275.59g 的多晶硅材料，平均用量为 250g 左右。

表 14：硅片单位耗硅情况测算

	2017	2018	2019	2020.1-2020.3
6 英寸多晶硅消耗量（千克）	291140	347571	308570	102030
6 英寸硅片产量（万片）	469.21	569.13	528.89	148.09
6 英寸硅片单位耗硅（g/片）	62.05	61.07	58.34	68.90
12 英寸硅片单位耗硅（g/片）	248.20	244.28	233.37	275.59

资料来源：立昂微招股说明书，光大证券研究所

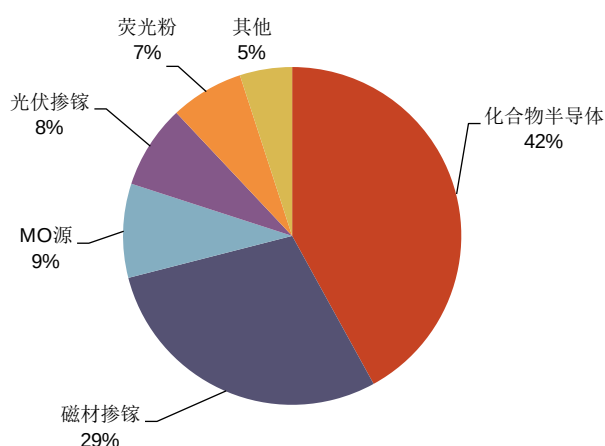
2.2、 镓金属：第二代半导体用量大，第三代半导体用量小

2.2.1、上游镓金属市场情况

镓金属是在半导体中应用量最大的金属，其主要表现形式为第二代砷化镓衬底以及第三代氮化镓外延。

镓属于稀散金属，目前主要以化合物的形式被用于生产半导体、磁材、MO 源、光伏材料及荧光粉等，并最终广泛应用于无线通信、化学工业、医疗设备、太阳能电池和航空航天等众多领域。从下游应用情况来看，镓在半导体、磁材、MO 源、光伏材料及荧光粉等领域的应用占比分别为 42%、29%、9%、8%、7%。

图 38：2022 年金属镓下游需求量拆分

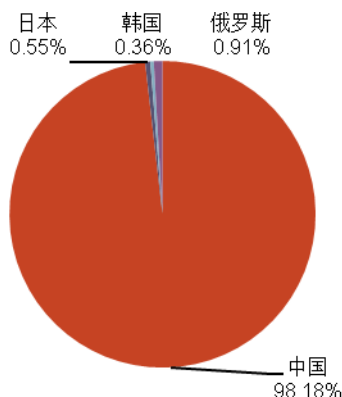


资料来源：安泰科，中商产业研究院，光大证券研究所

从金属镓的产量分布来看，中国处于绝对的领先地位。根据 USGS 的调研数据，2022 年全球共生产金属镓 550 吨，其中中国生产 540 吨，占比超过 98%，其余生产镓金属的国家包含日本、韩国、俄罗斯，合计生产镓金属仅 10 吨左右。

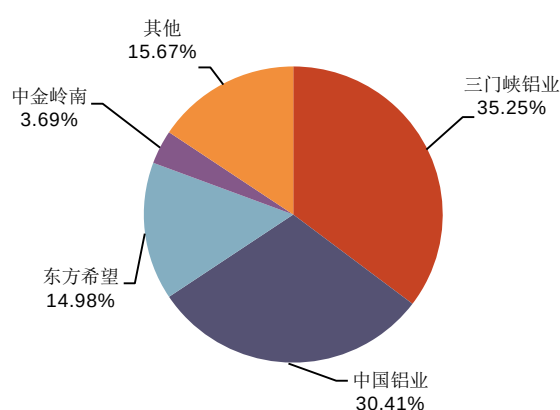
从镓金属生产公司的情况来看，2021 年三门峡铝业、中国铝业、东方希望的全球市占率排名前三，分别为 35.25%、30.41%以及 14.98%，CR3 超过 80%，镓金属的生产集中度较高。

图 39：2022 年镓金属主要生产国家情况（产量）



资料来源：USGS，光大证券研究所

图 40：2021 年镓金属全球市占率情况（产量）



资料来源：福达合金公司公告，USGS，光大证券研究所

2.2.2、镓金属用量测算

砷化镓衬底用量测算：

由于镓金属在半导体中的出现形式主要为砷化镓衬底以及氮化镓外延，我们先对砷化镓的衬底用量计算。衬底材料中主要包括：第一代硅单晶衬底、第一代锗单晶衬底、第二代砷化镓衬底、第二代磷化铟衬底、第三代碳化硅衬底。我们仍以 12 英寸晶圆片作为测算单位，并假设其厚度不变，将各种材料密度代入计算，可以测算得到不同衬底所消耗的金属量。

表 15：衬底金属材料平均用量测算

代际	衬底材料	密度 (g/cm³)	12 英寸晶圆用量 (g)	未来发展趋势
第一代半导体	硅	2.32	250.00	目前的主流衬底，未来仍是最主要的衬底材料
	锗	5.35	576.51	目前不是主流半导体衬底，未来产量也不会有提升
第二代半导体	砷化镓	5.31	572.20	未来占比将逐步提高
	磷化铟	4.79	516.16	未来占比将逐步提高
第三代半导体	碳化硅	3.22	346.98	未来占比将逐步提高

资料来源：化源网，光大证券研究所测算

根据上表测算结果，一片 12 英寸晶圆片所消耗的衬底材料中，砷化镓的平均用量为 572.20g。由于砷化镓为化合物半导体，并不是单纯的镓金属，因此我们需要根据砷化镓的化学式 GaAs，以及砷元素、镓元素的相对分子质量按比例折算出一片 12 英寸晶圆衬底需要多少镓金属。

镓的相对分子质量约为 70，砷的相对分子质量约为 75，因此镓金属的用量约为 $572.20 \times 70 / (70 + 75) \approx 276.23\text{g}$ 。因此，一片 12 英寸晶圆平均需要消耗 276.23g 镓金属。

氮化镓外延金属用量测算

外延金属材料通常存在的形式为衬底材料的延伸薄膜层，如前文所述，外延涉及同质外延与异质外延。目前来看，主要涉及金属材料的外延片为第三代半导体材料氮化镓，对于氮化镓而言这也是其在市场上的主要存在形式，大部分宽禁带半导体器件都是在氮化镓外延层上制作的，因此在本节中我们仅对氮化镓外延的用量进行测算。

氮化镓作为外延层，由于厚度较薄，用量较少。根据 IGaN 网站的产品介绍，GaN 外延层在硅衬底上的层数在 4 层左右，这 4 层的厚度最小为仅有 1nm 的 GaN 帽层，最厚可达 500~4000nm 的 GaN 缓冲层，具体结构见下图。

图 41：硅基氮化镓外延器件结构图



资料来源：IGaN 官网，光大证券研究所

表 16：氮化镓不同外延层对比

层	厚度(nm)
P*	5
P-GaN	40
P-AlGaIn	20
P-GaN	40
MQW	80
N-GaN	150
N-GaN	1000
U-GaN	500
AlGaIn	1500
AlN	150
硅衬底	975000

资料来源：universitywafer 网，光大证券研究所

用量测算上，我们将图 41 中涉及氮化镓的层数厚度求和，大约是 4400nm。而硅衬底的厚度为 975000nm，氮化镓外延厚度仅为衬底的 0.45%。结合氮化镓的密度 $6.1\text{g}/\text{cm}^3$ ，一片 12 英寸晶圆所涉及的氮化镓用量大约为 $250 \times 0.45\% / 2.32 \times 6.1 \approx 2.97\text{g}$ 。若氮化镓在衬底的应用上出现进一步的突破，使得高纯氮化镓衬底的商业制备困难大大降低，届时氮化镓的用量或将出现大幅度的提升。

与砷化镓衬底的计算一样，我们同样需要根据氮元素与镓元素的相对分子质量比例计算在外延部分镓的使用量。镓的相对分子质量为 70，氮的相对分子质量为 14，因此一片 12 英寸晶圆（氮化镓外延）需要的用镓量为： $2.97 \times 70 / 84 \approx 2.48\text{g}$ 。

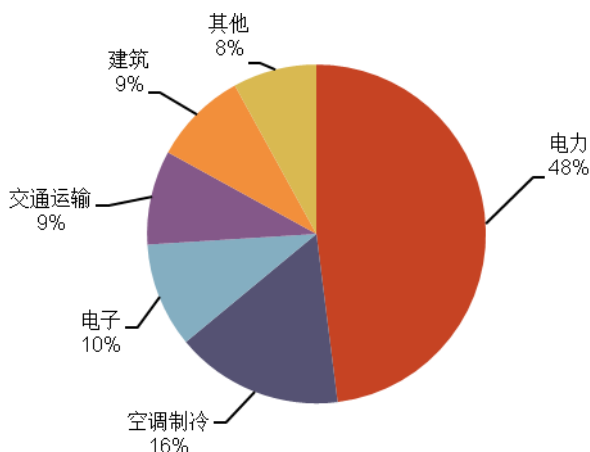
结合前文计算的 12 英寸晶圆砷化镓平均用量，276.23g/12 英寸晶圆，我们可以很明显地发现同样是 12 英寸晶圆，第二代半导体耗镓量（砷化镓衬底）远远大于第三代半导体耗镓量（氮化镓外延），其中的巨大差别是衬底与外延的巨大厚度差距所导致的。

2.3、铜金属：半导体中用途最广泛的金属

2.3.1、上游铜市场情况介绍

铜是使用量十分庞大的有色金属，根据国家统计局数据显示，我国电解铜产量自 2015 年快速增长，2020 年超千万吨，2022 年产量达到近年高点 1106.30 万吨。在铜的下游需求方面，半导体（电子）需求并不是最大的，根据安泰科的数据，2020 年电子用铜需求占铜整体需求的 10%。

图 42：2020 年铜下游需求拆分



资料来源：安泰科，光大证券研究所

在全球铜市场的主要企业中，以今年上半年权益铜产量为衡量标准，行业媒体 Kitco 对全球主要铜矿公司进行了排名。其中，智利国家铜业公司、自由港麦克莫兰和必和必拓继续稳居前三。值得一提的是，紫金矿业铜产量同比增加 7.9 万吨，增幅达 19.1%，超越嘉能可和南方铜业，成为世界第四大铜矿公司。

表 17：全球排名前十铜企

排序	企业英文名	企业中文名	总部所在地	2023H1 产量 (万吨)
1	Codelco	智利国家铜业	智利	68.4
2	Freeport-McMoRan	自由港麦克莫兰	美国	62.1
3	BHP	必和必拓	澳大利亚	60.7
4	Zijin Mining	紫金矿业	中国	49.2
5	Glencore	嘉能可	瑞士	48.8
6	Southern Copper	南方铜业	美国	45.1
7	First Quantum	第一量子	加拿大	32.6
8	KGHM	波兰铜业	波兰	30.7
9	Anglo American	英美资源	英国	26.5
10	Rio Tinto	力拓	英国	26.2

资料来源：各公司公告，Kitco，光大证券研究所

2.3.2、大马士革工艺介绍

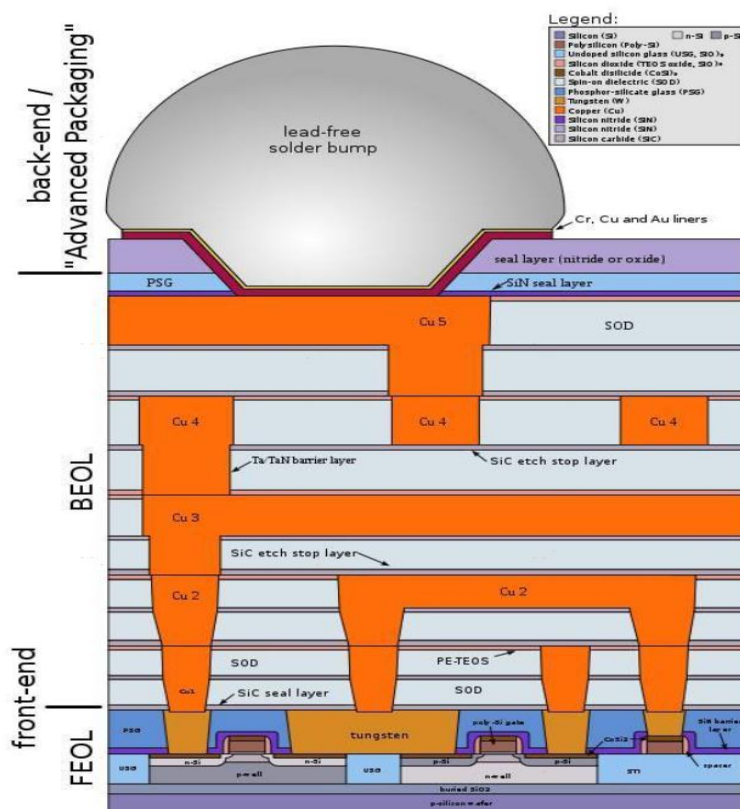
一块性能优秀的半导体芯片，不仅仅只需要性质优异的衬底材料，还需要更加精细的工艺在衬底上“绘制”电路并连接，以达到芯片所设计的性能。

铜金属为芯片中目前使用较广泛、也是使用量较大的一种金属材料，其在芯片结构中的主要表现形式为金属布线。所谓金属布线，即根据半导体电路图连接电路的过程。晶圆上的晶体管若没有相互连接起来，起不了任何作用。只有把晶体管与外部电源连接起来，它们才能各司其职，正常执行数据传输等各种工作。可见，晶圆上的元器件与电源以及其他元器件之间的连接是必要的。

下图为芯片的内部结构示意图，可以看出芯片并非单独衬底（晶圆）一层，而是需要在衬底之上进行多层薄膜堆积以实现各种各样的作用与性能。其中需要的金属包括铜、钨、钽等。铜金属布线是目前最主要的互连工艺，在此之前的互连以铝为主。如下图所示，橙色的金属铜在芯片中扮演着重要的角色。

在构成同步线的工艺过程中，主要使用了 PVD（靶材）、电镀（大马士革工艺）两种方法，以完成铜金属在芯片中的沉积。

图 43：芯片结构示意图

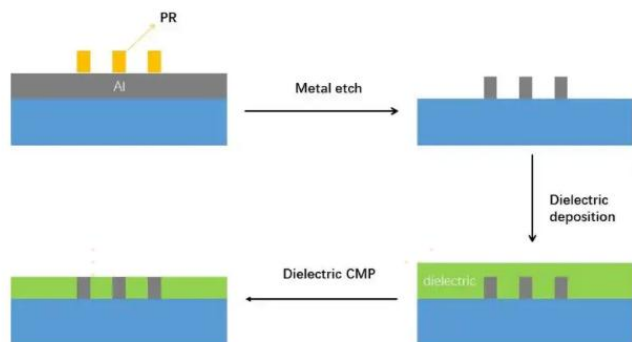


资料来源：搜狐网，光大证券研究所

传统的铝线互连工艺中，一般采用先沉积铝薄膜，再对其进行光刻、刻蚀，留下需要连接的金属铝部分，再积淀二氧化硅和抛光，完成铝线互连。由于铜无法像铝一样进行干法刻蚀，等离子体难以与铜发生反应并形成易挥发的副产物，因此在铜线互连工艺中必须对步骤进行调整，大马士革工艺应运而生。

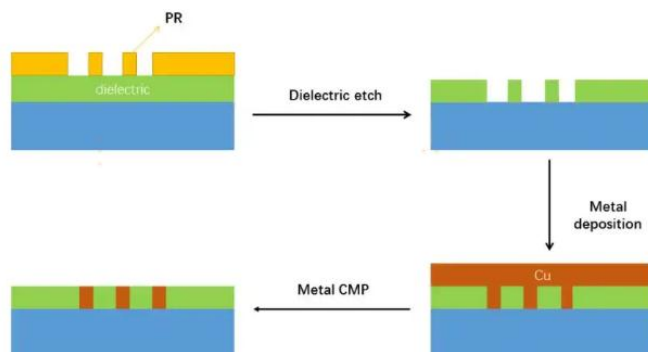
大马士革工艺流程如图 45 所示，首先沉积二氧化硅，直接对其进行光刻、刻蚀，给铜金属留出其需要填充的槽，随后使用物理气相的方法沉积薄的 TaN 阻挡层用以防止铜的扩散以及薄的 Cu 种子层，为后续步骤的电镀做准备；随后电镀铜填充铜布线，抛光抛去多余的部分，完成铜互连。

图 44：铝互连工艺流程图



资料来源：博客园《大马士革工艺介绍》，光大证券研究所

图 45：铜互连（大马士革工艺）流程图

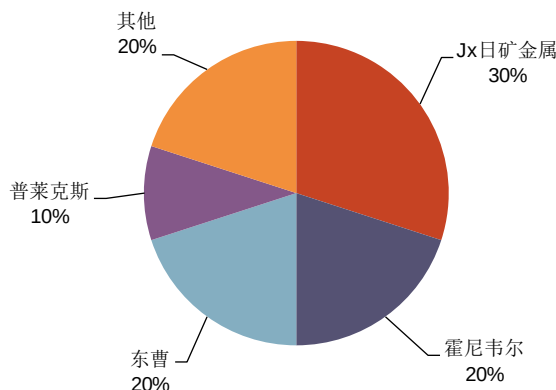


资料来源：博客园《大马士革工艺介绍》，光大证券研究所

铜靶市场情况：

芯片中的铜材主要以靶材（物理气相沉积 PVD）的方式进行薄膜制造。靶材方面，我国起步较晚，相较于国外的成熟企业有着一定差距。目前具有规模化生产能力的企业数量相对较少，产业集中度较高。美国、日本跨国集团产业链完整，JX 日矿金属、霍尼韦尔、东曹和普莱克斯四家企业竞争力较强，2021 年四家企业的市场份额分别为 30%、20%、20%和 10%，合计垄断了全球 80%的市场份额。

图 46：2021 年全球靶材市场各企业份额结构图



资料来源：前瞻产业研究院，光大证券研究所

目前，国内外企业技术差距正逐步缩小。国内高纯金属靶材生产企业已经逐渐突破关键技术门槛，打破了金属靶材核心技术由国外垄断、产品供应完全需要进口的不利局面。我国靶材行业主要公司有江丰电子、有研新材、阿石创、隆华科技等。

表 18：国内靶材企业梳理

企业	靶材相关优势
江丰电子	公司研发生产的超高纯金属靶材成功获得了国际一流芯片制造厂商的认证，并在世界尖端工艺制程中实现批量供货
有研新材	公司研发生产的高纯金属溅射靶材、蒸发镀膜材料等应用于半导体器件的生产
阿石创	公司已具备高密度 ITO 靶材的全套制备技术，纳米陶瓷粉末制备，高压注浆成型，富氧烧结等高新技术含量生产技术
隆华科技	子公司四丰电子实现完全替代进口、已量产供应高端钼靶材；晶联光电率先实现 TFT-LCD 行业高档显示面板用 ITO 靶材的技术突破

资料来源：前瞻产业研究院，各公司公告，光大证券研究所

硫酸铜市场情况：

硫酸铜为半导体大马士革电镀工艺的重要上游原材料，也是重要的无机原料，广泛应用于农业、饲料、水处理、电镀、催化剂、油漆、选矿等行业。

目前生产硫酸铜的原料主要有金属铜、铜精矿、氧化矿以及铜镍废渣等。硫酸铜的市场壁垒较低，生产硫酸铜的企业众多，根据 Expert Market Research 的排名，目前全球生产硫酸铜的企业排名前五的分别是 Wego Chemical Group、艾伦化学公司、安美特、Noah Technologies Corporation 及 Old Bridge Chemicals Inc。

表 19：硫酸铜企业排名前十公司

排名	企业
1	Wego Chemical Group
2	艾伦化学公司
3	安美特
4	Noah Technologies Corporation
5	Old Bridge Chemicals Inc

资料来源：Expert Market Research，光大证券研究所

2.3.3、前道制造铜金属用量测算

铜靶用铜测算

靶材作为芯片生产的核心耗材之一，需要高纯度的金属。如前文所述，目前半导体金属靶材的使用种类以铜靶配套钽靶、钛靶配套铝靶为主。而一块金属靶材可以溅射八千到一万片晶圆，我们对此求平均值，即每一块晶圆需要消耗 1/9000 块金属靶材。

由于靶材金属纯度一般高达 99%以上，且形状为圆形，我们只需要计算靶材的体积，搭配该金属材料的密度即可得出每一块靶材的质量。根据有研新材公司公告，有研亿金的铜系列高端靶材产品全面实现技术突破，12 英寸高纯铜及铜合金靶材、高纯镍铂靶材和高纯钴靶材的多款产品已经通过多家集成电路高端客户认证；另外，根据 Ronald A. Powell Director 等人所编著的《PVD for Microelectronics Sputter Deposition Applied to Semiconductor Manufacturing》，通常 12 英寸靶材厚度为 0.5 英寸，则 12 英寸靶材的体积约为 $3.14 \times 15.24 \times 15.24 \times 1.27 \approx 926.20$ 立方厘米，同时其密度为 8.92g/立方厘米，因此一块铜靶材的质量大约为 8261.70g。由于每一块晶圆需要消耗 1/9000 块金属靶材，一片 12 英寸晶圆的靶材用铜量约为 0.918g。

钽密度为 16.68g/立方厘米，因此一块钽靶材的质量大约为 15449.01g，一片 12 英寸晶圆的靶材用钽量约为 1.717g。

我们用同样的方法对铝靶和钛靶进行测算，若一片 12 英寸晶圆使用铝/钛靶材，则需要 0.278g 铝以及 0.463g 钛。

表 20：半导体靶材平均金属用量测算

	靶材金属	密度(g/cm ³)	靶材质量 (g)	12 英寸晶圆用量 (g)
配套使用	铜	8.92	8261.70	0.918
	钽	16.68	15449.01	1.717
配套使用	铝	2.7	2500.74	0.278
	钛	4.54	4167.90	0.463

资料来源：SEMI，中芯国际招股说明书，化源网，华经产业研究院，光大证券研究所测算

电镀铜测算

在大马士革工艺中，除了电镀铜之外，还需要使用物理气相沉积的方法沉积阻挡层（钽金属）以及种子层（铜金属），即对应前文中钽靶以及铜靶的使用量。从图 43 的芯片结构示意图中我们可以看出，种子层与电镀层的形状基本保持一致，因此我们只需要知晓两者的厚度差距，就可以折算出电镀铜的用铜量。

一般铜种子层厚度为 1.0~2.0 微米，我们取其上限 2 微米；而采用电镀铜工艺的再布线层厚度可以达到 10 微米。电镀层的厚度是种子层厚度的 5 倍左右，电镀用铜量也应该是铜靶用铜量的 5 倍左右，因此一片 12 英寸晶圆的电镀用铜量为 $0.918 \times 5 \approx 4.59\text{g}$ 。

2.3.4、后道封装用铜量测算

键合丝平均金属用量测算

由于后道封装主要是对晶圆切割之后得到的芯片进行的，因此继续以晶圆作为考察金属的平均用量是不合理的，应该以芯片作为考察金属平均用量的基本单位。

在后道封装中涉及到金属材料的环节主要为键合丝、引线框架以及锡焊料。我们先看键合丝的金属平均用量情况：根据前文所述，键合丝市场中有铜逐渐取代金的趋势，且现在铜键合丝的市场占比越来越大。

根据烟台一诺电子材料有限公司在《中国半导体封装测试产业调研报告（2020 年版）》中所披露的数据，2019 年中国集成电路封装规模数量达 1600 亿块，键合丝需求总量约为 85 亿米。因此我们可以计算出每一块集成电路，也就是芯片，所消耗的键合丝长度大约为 $85/1600 \approx 0.053\text{m} = 53\text{mm}$ 。近年来，随着半导体零件的小型化，键合丝的线径也逐渐变细，现在的主流是 15~25 微米，我们取其平均线径 20 微米，那么可以计算得到每一块芯片需要键合丝体积大约为 1.66×10^{-5} 立方厘米，结合铜的密度 8.96g/cm^3 ，我们可以计算出一块芯片所需铜键合丝质量约为 0.0001g。

引线框架平均金属用量测算

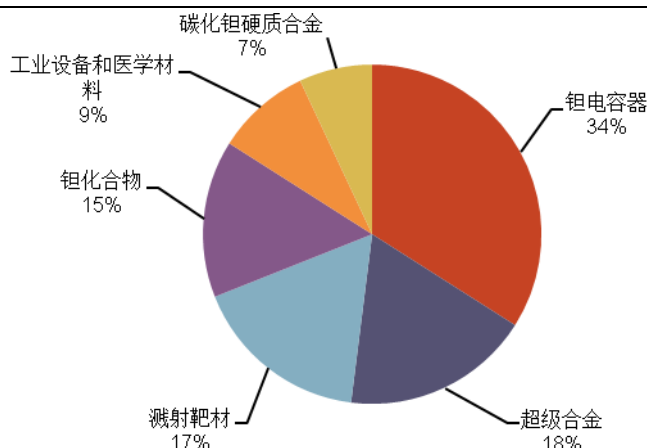
引线框架方面，根据立鼎产业研究中心发布的《2019 年版中国铜板带材行业供需现状及市场前景研究报告》，2018 年我国集成电路产量 1740 亿块，同年我国引线框架用铜材需求量为 28 万吨，全球集成电路产量约为 6400 亿块，全球引线框架用铜量约为 104 万吨，可以测算得到我国每一块集成电路的引线框架用铜量约为 1.61g，而全球每一块集成电路的引线框架用铜量约为 1.625g，我们对其求平均值，那么每一块芯片的引线框架用铜量大约为 1.62g。

2.4、 钽金属：高纯溅射钽靶，用于阻挡层沉积

2.4.1、 钽金属市场情况

金属钽在电子、冶金、化工、原子能、超导技术、汽车、航空航天、医疗卫生等许多领域均有重要应用，2021年钽金属需求量达到112.4吨，较2020年增长4.7吨。钽电容是钽金属下游应用占比最高的产品，2022年钽电容的市场占比为34%，钽以电容器级钽粉和钽丝的形式用于制作钽电容器；钽在溅射靶材领域的用量占比为17%，仅次于钽电容器以及超级合金。

图 47：2022 年钽金属下游需求拆分



资料来源：华经产业研究院，光大证券研究所

我国从事钽相关制品的上市公司为东方钽业。2023 年 9 月 26 日东方钽业披露，近年来公司不断加大关键核心技术攻关力度，重点推进半导体用钽靶坯等产品的产业化，目前半导体用大尺寸钽靶坯已实现批量销售。

2.4.2、 钽金属使用量测算

钽金属主要以阻挡层的形式出现在芯片之中，其沉积方式与前文描述的种子层铜类似，以 PVD 的方法，使用溅射靶材沉积在芯片之中。因此，钽靶材的使用量即为芯片中钽金属的使用量，其计算方法与计算结果如表 20 中所示。值得一提的是，目前先进制程芯片大多使用铜靶与钽靶的配套，而成熟制程的芯片仍使用铝靶与钛靶的配套。

根据表 20 的计算结果，一片 12 英寸的晶圆平均消耗钽金属 1.717g。

2.5、 铬金属：掩膜版使用核心金属材料

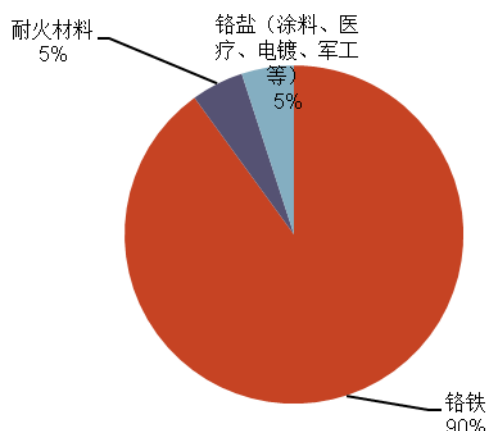
2.5.1、 铬金属市场介绍

用于半导体行业的铬金属较少，目前 90%的铬矿被加工成铬铁合金，5%的铬矿被加工成化工铬盐，5%的铬矿被用作耐火材料。半导体用的铬属于化工级铬矿。

具体来看，冶金级铬铁矿被冶炼成铬铁合金添加到不锈钢、特钢等钢材中，化工级铬矿则加工成重铬酸盐、铬的氧化物及铬的硫酸盐等铬盐，用于颜料、涂料、皮革、新能源等众多行业。约 5%的铬矿被加工成化工铬盐，用量较小，整体市场规模也较小，中国市场整体需求约 40-50 万吨，加之铬盐属于高污染化学

制品，政府管控较严，市场集中度极高。5%的铬矿被用作生产耐火材料，主要用于制造铬砖、铬镁砖和其他特殊耐火材料。

图 48：2022 年铬矿下游需求量拆分



资料来源：华经产业研究院，光大证券研究所

铬矿生产企业目前以国外企业为主，欧亚资源（ENRC）、嘉能可、萨曼可（Samancor）是全球最大的三家铬矿生产企业，2021 年三家企业合计产能近 1500 万吨，占全球的比重为 35%。目前中资企业中钢、五矿在非洲投资布局铬矿资源，但整体产能较小。中钢集团是国内最早投资铬矿的企业，在非洲拥有近 2.6 亿吨铬矿资源量，中国五矿集团在南非拥有 2.36 亿吨铬资源量。

表 21：2021 年铬矿生产主要企业情况

公司名称	国家	矿山所在地区及名称	储量（百万吨）	铬矿产能（万吨）
ENRC	英国	哈萨克斯坦（Donkskoy）	225.8	600
嘉能可	瑞士	南非 waterval, Thorncliffe, Kroondal 等十几座矿山	58	550
Samancor	南非	南非 Samancor	40	350
Yildirim	土耳其	土耳其 ETIKROM, 哈萨克斯坦 Vokhod	/	250
Outokumpu	芬兰	芬兰 Kemi	/	120
中钢集团	中国	津巴布韦 Zimasco, 南非 ASA Metal	104	200
Assmang	南非	南非 Dwarsivier	39	100
Afark	芬兰	南非 Stellite, Mecklenburg, 土耳其 KMS	14.7	50
Ferbase	巴西	巴西 Coitezeiro	41	45

资料来源：华经产业研究院，光大证券研究所

2.5.2、铬金属用量测算

铬金属在半导体芯片的制造过程中主要作为掩膜版的遮光层使用，掩膜版为耗材，用于遮挡光刻激光，因此铬金属并没有直接出现在芯片内部的结构中。如要计算出一片 12 英寸晶圆的铬金属消耗量，则需了解以下参数：

1. 掩膜版中的遮光铬层厚度；
2. 12 英寸晶圆常用的掩膜版尺寸；
3. 12 英寸晶圆对于掩膜版的平均消耗量。

根据周文等《掩膜版缺陷分析与消除》一文，掩膜版遮光层一般为铬层，厚度为 100nm 左右；而掩膜版尺寸众多，常见尺寸为 6*6 英寸。

根据清溢光电的公司公告，一颗普通芯片需要 10-30 层掩膜版，但这并不意味着一颗芯片就会消耗这么多数量的掩膜版，因为同批次芯片使用相同的线路，掩膜版可以重复使用。根据 Semi 统计，2019 年全球硅晶圆出货面积 118.1 亿平方英寸，以及 2019 年全球光掩膜版出货量 55.9 万片，据此测算，每一片 12 英寸硅晶圆约消耗 0.005 片掩膜版。

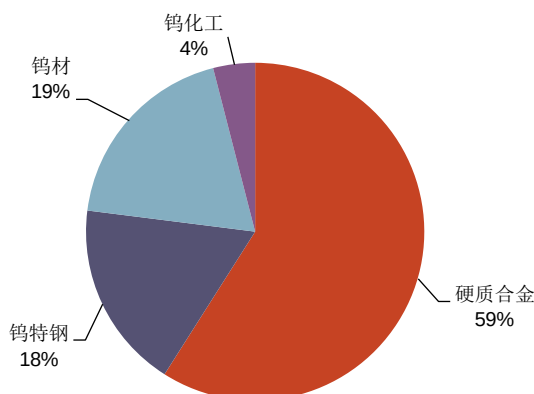
铬金属的密度为 7.19g/cm^3 ，因此每一片 12 英寸硅晶圆约消耗铬金属 0.00008g。

2.6、钨金属：六氟化钨电子特气

2.6.1、钨市场情况介绍

我国钨下游领域包括硬质合金、钨材、钨特钢以及钨化工，根据华经产业研究院的数据，2021 年钨下游领域中消费占比最大的是硬质合金行业，占比为 59%，其次是钨材、钨特钢以及钨化工，占比分别是 19%、18%、4%。半导体用钨为六氟化钨，属于钨化工部分，占比较小，仅为 4%。

图 49：2021 年钨下游消费结构



资料来源：华经产业研究院，安泰科，光大证券研究所

目前我国钨精矿的主要生产厂商包括中钨高新、江钨集团、章源钨业等，根据百川盈孚 2023 年 12 月披露的数据，中钨高新年有效钨精矿产能达到 26500 吨，排名第一，占我国钨精矿整体产能的 16.64%。江钨集团、洛阳豫鹭矿业分列二三位，产能占比分别为 10.67%、8.47%。

表 22：2023 年钨精矿生产企业排名

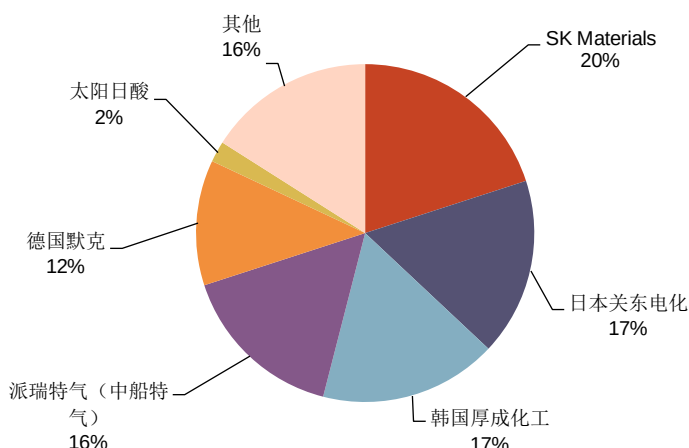
企业	省份	有效产能（吨）	市占率
中钨高新	海南	26500	16.64%
江西稀有稀土金属钨业集团	江西	17000	10.67%
洛阳豫鹭矿业有限责任公司	河南	13500	8.47%
洛阳栾川钼业集团股份有限公司	河南	13000	8.16%
宁化行洛坑钨矿有限公司	福建	10000	6.28%
章源钨业	江西	9000	5.65%

资料来源：百川盈孚，光大证券研究所（数据截至 2023 年 12 月）

钨金属需要制备成电子特气六氟化钨后才能在半导体中使用。本质上来说，钨金属与铜、钼等金属作用一致，皆为半导体衬底材料上面的薄膜材料，区别在于沉积方式的不同。如前文所述，铜金属多以物理气相沉积（溅射铜靶）、大马士革电镀的方式进行薄膜沉积，钼金属也以物理气相沉积（溅射钼靶）的方式为主；而钨金属则使用化学气相沉积（CVD），即通过产生化学反应以沉积金属的方式进行沉积，六氟化钨便是 CVD 的重要原材料。由于钨金属的导电性能较好，在半导体中多以电极、导电浆糊的形式发挥作用，六氟化钨结合 CVD 的方法，将使钨金属完成沉积。

全球六氟化钨市场中，2022 年 SK Materials、日本关东电化、韩国厚成化工市场份额较高，分别为 20%、17%、17%。派瑞特气、德国默克、大阳日酸市场份额分别为 16%、12%、2%。

图 50：2022 年全球六氟化钨市场占比情况



资料来源：中商情报网，光大证券研究所

在国内产能方面，2021 年除了派瑞特气（中船特气）的 2230 吨六氟化钨产能外，博瑞电子与中央硝子在境内的合资企业博瑞中硝建成 200 吨六氟化钨生产线，此外昊华科技子公司昊华气体也已建成年产 100 吨六氟化钨生产线。

表 23：2021 年我国六氟化钨主要生产企业及产能

企业	现有产能（吨）	规划产能（吨）	预计达产时间
派瑞特气（中船特气）	2230	/	/
博瑞中硝	200	/	2023 年
昊华气体	100	600	未披露
南大光电	/	500	未披露

资料来源：各公司公告，华经产业研究院，光大证券研究所

2.6.2、钨金属用量测算

半导体用钨主要以六氟化钨（ WF_6 ）电子特气的形式，沉积在芯片衬底上，六氟化钨的主要应用也是集成电路制造领域。而根据 TECHCET 数据，2021 年六氟化钨全球总需求 5675 吨，其中半导体市场对六氟化钨的需求量占比为 76%；另外，据 Semi 披露，2021 年全球硅晶圆出货面积为 141.7 亿平方英寸，折合 12 英寸硅晶圆 12535.3857 万片，因此我们可以计算得出每一片 12 英寸晶圆需要消耗六氟化钨 34.41g。

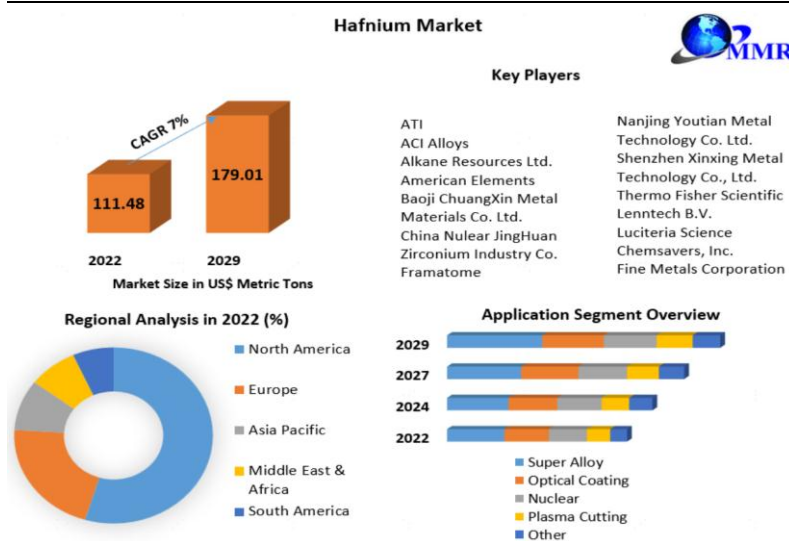
接下来我们再根据氟与钨的相对原子质量计算每一片 12 英寸硅晶圆消耗的钨金属量，氟相对原子质量为 19，而钨的相对原子质量为 184，因此折合计算一片 12 英寸晶圆平均消耗钨金属 21.24g 钨金属。

2.7、钼金属：栅极用高 K 材料

2.7.1、钼金属市场情况

根据 MMR 的统计，2022 年全球钼市场需求量为 111.48 公吨，预计到 2029 年全球钼需求量为 179.01 公吨，22-29 年的复合年增长率为 7%。由于其良好的性能，钼作为超级合金被广泛应用于航空航天工业，这也是钼的主要应用。航空航天业的增长以及技术进步预计将推动航空航天领域的钼市场需求。此外，钼在核、照相、半导体应用光学镀膜、等离子切割等也有应用。

图 51：钪金属市场概况



资料来源：MMR，光大证券研究所

2.7.2、钪金属用量测算

高 K 材料在半导体中常被用作二氧化硅的替代品，在半导体器件中作为金属栅极频繁使用。二氧化钪作为开始商业化使用的高 K 材料也自然跃入人们的视野。从本质来看，二氧化钪是一层镀在衬底材料上的薄膜。

半导体对钪的用量整体较小，IBM 的首席技术专家 Bernard Meyerson 就半导体用钪曾经说过：一立方厘米的钪足够用在相当于 10 个美式足球场面积大小的硅片上，并且这是假设二氧化钪薄膜的厚度在 50 个原子层厚度的水平下得出的结论，这是一个相对大胆的假设。

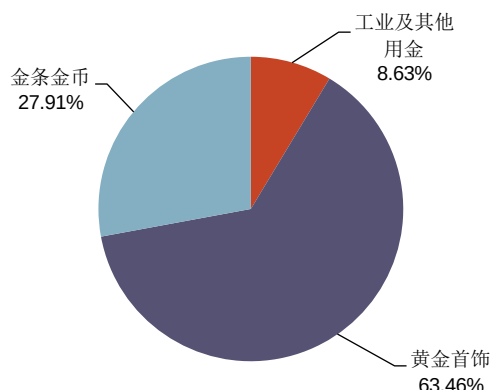
依据上面的假设，我们可以对 12 英寸晶圆片对钪金属的使用量做一个大致测算。一个美式足球场的面积大约为 5400 平方米，一块 12 英寸晶圆面积大约为 67887 平方毫米，因此十个美式足球场面积大约可以容纳 795440 块 12 英寸晶圆。钪金属密度为 $13.31\text{g}/\text{cm}^3$ ，计算得出一片 12 英寸晶圆耗钪金属约 0.000017g，消耗量较小。

2.8、 贵金属：键合金丝、键合银丝

2.8.1、金、银市场情况介绍

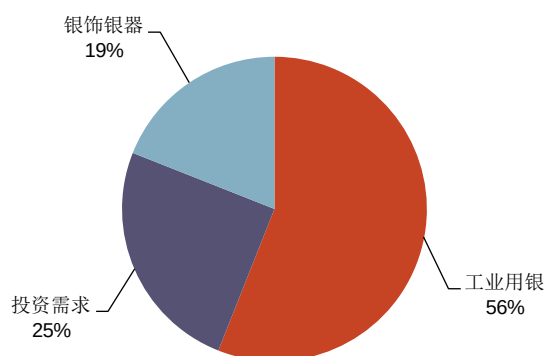
除了铜金属是键合丝的主要原材料之外，金线与银线同样也是重要的键合丝（后道封装）金属原材料。目前黄金的消费结构以投资需求以及首饰物品为主，工业用金的需求占比较小：2021 年，我国黄金消费量 1121 吨，其中黄金首饰占比 63.46%，金条金币占比 27.91%，工业及其他用金占比仅为 8.63%；而白银则以工业用银为主，2020 年全球白银消费量达到 948 百万盎司，其中工业用银占比 56%，投资需求占比 25%，银饰银器占比 19%。

图 52：2021 年中国黄金需求占比



资料来源：中国黄金协会 前瞻产业研究院，光大证券研究所（口径：吨）

图 53：2020 年全球白银需求占比



资料来源：世界白银协会 前瞻产业研究院，光大证券研究所（口径：百万盎司）

2.8.2、金、银用量测算

金和银在半导体芯片中的用量测算可以参考前文的键合铜丝用量测算部分，同样计算键合丝的体积，结合金属的密度算出金属用量。计算结果如下表所示：

表 24：键合丝金属用量计算

键合丝种类	单芯片键合丝体积用量	密度	单芯片金属用量 (g)
键合金丝	$1.66 \times 10^{-5} \text{cm}^3$	19.32g/cm^3	0.00032
键合银丝	$1.66 \times 10^{-5} \text{cm}^3$	10.49g/cm^3	0.00017
键合铜丝	$1.66 \times 10^{-5} \text{cm}^3$	8.96g/cm^3	0.00015

资料来源：烟台一诺电子材料有限公司，微信公众号《珠宝知识与终端管理》，光大证券研究所

根据上表测算，单芯片平均需要键合丝金/银/铜材料分别为 0.00032/0.00017/0.00015g。

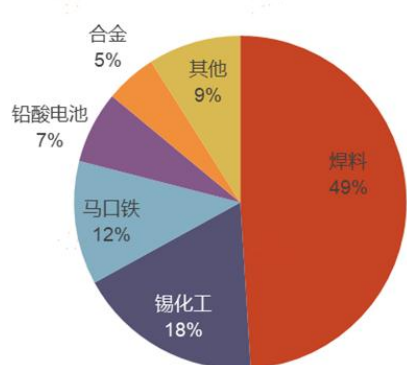
2.9、锡金属：主要的后道封装焊料

2.9.1、锡金属市场情况

纵观锡的下游需求，占比一半为锡焊料。根据 ITA 的数据，2020 年全球锡的下游需求构成中，占比最大的是锡焊料，比例为 49%，其次是锡化工和马口铁，占比分别为 18%、12%，铅酸电池和合金的需求量占比分别为 7%、5%。

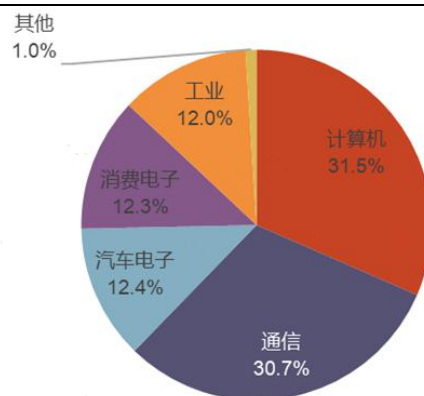
锡焊料的应用主要集中在电子领域。根据 SIA 的数据，2022 年全球锡焊料的应用领域中，有 31.5%用于计算机，30.7%用于通信，12.4%用于汽车电子，12.3%用于消费电子，12.0%用于工业。其中，前四个属于电子领域。

图 54：2020 年全球锡需求量构成



资料来源：ITA，光大证券研究所

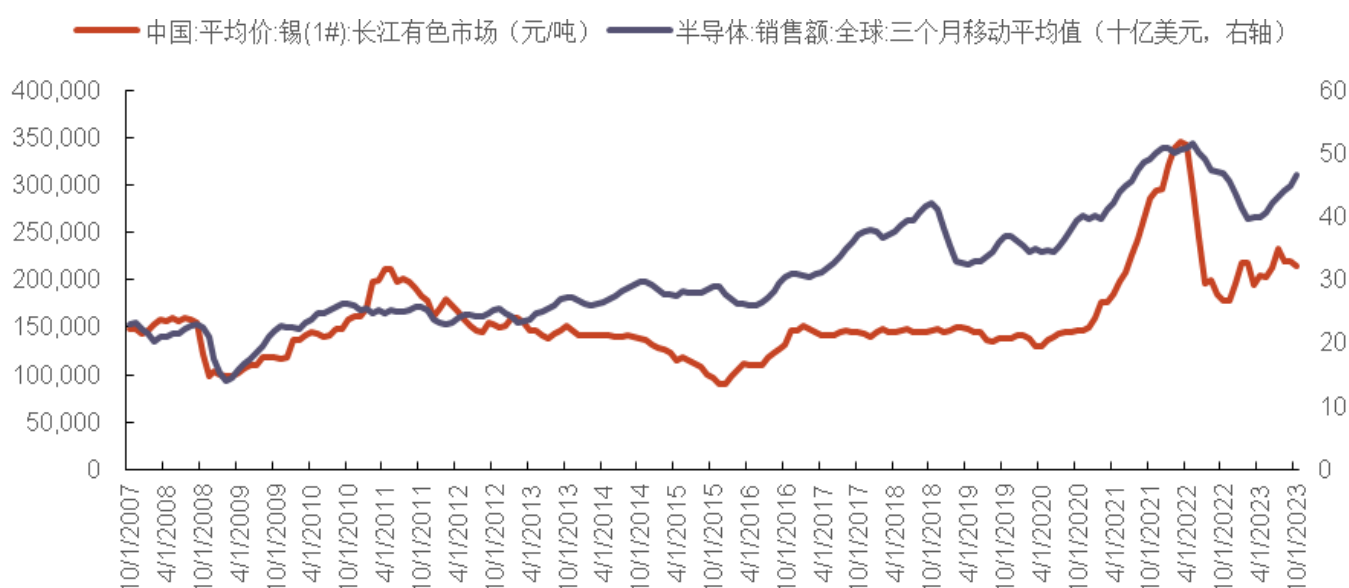
图 55：2022 年全球锡焊料应用领域



资料来源：SIA，光大证券研究所

集成电路半导体构成锡焊料消费基本盘。几乎所有电子元器件的连接均需要焊料，锡焊料具有熔点低、性价比高等特点，主要用于 PCB 板及半导体封装等，是最重要的焊料品类。半导体可以分为四类：集成电路、分立器件、传感器和光电子器件。其中，集成电路长期占据半导体总销售额的 80%以上。根据中国矿业报《锡资源定价是如何形成的》，集成电路半导体占锡焊料消费的比重超过 80%。

图 56：2007 年 10 月-2023 年 10 月锡价与半导体销售额走势图



资料来源：，光大证券研究所

2.9.2、锡金属用量测算

焊接工艺中的锡也是不可忽视的金属材料。锡金属通常以焊锡球、焊锡凸块的形式出现在芯片封装的过程中，起到固定并连接电路的作用，因此用晶圆作为基准单位去考察锡金属的平均用量是不够准确的，应该使用芯片作为基准单位以计算锡金属的平均用量。

对于半导体材料中的锡用量，我们先从宏观的角度进行测算。根据前文的描述，目前全球的锡需求中有 49% 为锡焊料需求，而锡焊料需求中有 80% 左右来源于集成电路半导体焊料，根据国际锡业协会统计，2021 年锡需求达到 39.1 万吨，那么用于集成电路半导体焊料的锡为 $39.1 \times 49\% \times 80\% = 15.3272$ 万吨。而美国半导体产业协会数据显示，2021 年全球芯片销售量达到了 1.15 万亿颗，那么每一颗芯片所消耗的锡金属量大约为 $15.3272 \text{ 万吨} / 1.15 \text{ 万亿} \approx 0.13\text{g}$ 。

我们再从微观角度进行测算，根据南华点金的数据，目前一台手机大致的锡用量为 5g 左右；根据 ifixit 对 iPhone 13 pro 完全拆解后的计算结果，有 49 颗芯片，那么我们可以大致测算得到一块芯片用锡量在 $5/49 \approx 0.10\text{g}$ ，与宏观方法计算的结果相近。

2.10、关注先进封装技术，Low- α 材料用量有望增长

根据我们的测算，Low- α 球硅/球铝 2025 年在 GMC 领域的潜在市场空间分别为 2022 年的 1.66 倍/2.91 倍。（详情请见光大证券研究所已外发研报《Low- α 球铝/球硅材料有望显著受益于先进封装大发展——HBM 概念股异动点评》）

表 25：GMC 领域 Low- α 球铝/球硅材料需求空间测算

年份	2022	2023E	2024E	2025E
Low- α 球铝与球硅占 GMC 总重量比	80%	85%	90%	90%
Low- α 球硅占 GMC 总重量比	52%	51%	50%	45%
Low- α 球铝占 GMC 总重量比	28%	34%	41%	45%
Low- α 球硅总需求量（吨）	1857.14	1913.23	2438.18	2910.31
Low- α 球铝总需求量（吨）	1000.00	1275.49	1994.88	2910.31
GMC 总需求量（吨）	2857.14	3751.43	4925.63	6467.35
GMC 增速	31.30%	31.30%	31.30%	31.30%
Low- α 球硅价格（元/吨）	100000	102000	104040	106120.8
Low- α 球铝价格（元/吨）	3000000	3000000	3000000	3000000
Low- α 球硅市场空间（亿元）	1.86	1.95	2.54	3.09
Low- α 球铝市场空间（亿元）	30.00	38.26	59.85	87.31

资料来源：海力士官网，高佳齐等《环氧塑封料用硅微粉的超细粉碎及改性研究》，中国粉体网，壹石通公司公告，光大证券研究所测算

2.11、其他金属：百花齐放

除了上述几种金属之外，还有其他金属在芯片制程中发挥着作用。进入 21 世纪后，芯片材料共增加了约 40 余种元素，其中约 90% 都是贵金属和过渡金属材料。

贵金属是芯片先进工艺的推手之一，英特尔引入了金属**铟**和**钌**做金属接触，让电容更小，突破了硅的限制。此前，英特尔在 10nm 工艺节点的部分互连层上率先导入**钌**材料，达到了 5~10 倍的电子迁移率改善，将通路电阻降低了两倍。

英特尔在互联材料的探索之路上并不孤单。应用材料公司是最早投入以**钌**作为导线材料取代传统铜和钨的半导体技术大厂之一；格罗方德在 7nm 制程工艺中同样用**钌**代替了钨。目前，三星和台积电等也在积极研发新型互联材料。预计在不远的将来，**钌合金**、**钌**和**铟**等新一代互联材料有望闪亮登场，为先进工艺芯片搭建桥梁。

此外，有研亿金新材料有限公司副总经理何金江对《中国电子报》记者表示，**钌**及**银钌合金**等是制备 MLCC 电容器、谐振器的重要材料；在半导体后道的封装环节，**钌合金**及**镀钌丝**主要用作电子封装的引线键合，用来替代金丝；此外，

钼可以用于元器件精密连接的**钼合金焊料**。基于钼的特性，新的材料和应用也在开发中。

图 57：钼靶示意图



资料来源：中科言诺官网，光大证券研究所

图 58：镀钼铜线及镀钼镀金铜线示意图



资料来源：长沙亚光经贸有限公司官网，光大证券研究所

3、金属用量汇总与弹性测算

3.1、金属用量汇总

在前两节中，我们对半导体制作流程与工艺进行了梳理，挖掘其中需要使用金属材料环节，并对金属材料的整体用量进行了测算，下表汇总了本文中主要的半导体金属及其用量，由于硅片在半导体材料中不可忽视的作用，下表也将硅这一半金属材料纳入其中：

表 26：半导体金属平均用量汇总（包含硅材料）

金属材料	使用环节	备注解释	平均金属用量
硅	第一代衬底材料	与其他衬底材料互为替代关系	250.00g/12 英寸晶圆
锗	第一代衬底材料	与其他衬底材料互为替代关系	576.51 g/12 英寸晶圆
镓	第二代衬底材料（GaAs）	与其他衬底材料互为替代关系	276.23g/12 英寸晶圆
	第三代外延材料（GaN）	未来若出现衬底应用，用量将大幅上升	2.48g/12 英寸晶圆
铟	第二代衬底材料（InP）	与其他衬底材料互为替代关系	406.56 g/12 英寸晶圆
钪	高 K 材料	/	0.000017g/12 英寸晶圆
钽	靶材	钽靶铜靶配套，与铝靶钛靶配套为替代关系	1.717g/12 英寸晶圆
钨	电子特气	六氟化钨	21.24 g/12 英寸晶圆
铬	掩膜版	掩膜版遮光层	0.00008g/12 英寸晶圆
铜	靶材	钽靶铜靶配套，与铝靶钛靶配套为替代关系	0.918 g/12 英寸晶圆
	电镀铜	大马士革电镀铜工艺	4.59g/12 英寸晶圆
	引线框架	/	1.62g/芯片
	键合丝	与金丝、银丝互为替代	0.00015g/芯片
金	键合丝	与铜丝、银丝互为替代	0.00032g/芯片
银	键合丝	与金丝、铜丝互为替代	0.00017g/芯片
锡	焊接	/	0.13g/芯片
Low-α球形硅微粉	先进封装 GMC	降低α射线含量	/
Low-α球形氧化铝	先进封装 GMC	降低α射线含量&提升散热性能	/

资料来源：SEMI，立昂微招股说明书，化源网，华经产业研究院，烟台一诺电子材料有限公司，海力士官网，光大证券研究所测算（备注：GaAs、GaN、InP 以分子相对质量比例测算 Ga、In 的单独用量）

在前文中，我们对各种金属材料所涉及的半导体市场规模做了测算，现在我们进一步测算半导体行业对所涉及的各种金属的全球总需求的可能拉动。在此，我们先将前文中提到过的除表 26 以外的重要假设进行梳理。

2022 年，12 英寸硅衬底出货量约为 145.65 亿平方英寸，折合 12884.82 万片；全球砷化镓衬底销量约为 2814.3 万片（折合 2 英寸），折合 12 英寸晶圆 78.18 万片；全球 8 英寸氮化镓出货量大约为 75 万片，折合 12 英寸氮化镓晶圆 33.33 万片；全球磷化铟晶圆销量为 74.84 万片（2 英寸），折合 12 英寸磷化铟晶圆销量 2.08 万片；2022 年碳化硅 N 型衬底出货量为 88.4 万片（等效 6 英寸），折合 12 英寸碳化硅晶圆出货量 22.1 万片。钎金属常使用在 DRAM 芯片中。2022 年全球共生产 DRAM 晶圆约 1961 万片。

由于铜靶与钽靶通常使用于先进制程的芯片之中，且据 IC Insights 数据及图 21，2022 年先进制程晶圆占比约为 39%，成熟制程晶圆占比达到 61%，因此我们假设使用铜靶与钽靶的晶圆数量为 $(12884.82+78.18+33.33+2.08+22.1) \times 39\% \approx 5078$ 万片 12 英寸晶圆；导电层中的铜以电镀的方式进行填充，因此使用电镀铜工艺的晶圆数量与使用铜靶与钽靶的晶圆数量相同，皆为 5078 万片 12 英寸晶圆。

掩模版（铬）、六氟化钨电子特气（钨）作为芯片生产制造中必不可少的光刻环节的核心耗材，所有晶圆均需要使用掩模版，共 $12884.82+78.18+33.33+2.08+22.1 \approx 13020.51$ 万片。

根据美国半导体行业协会（SIA）的数据，2021 年全球半导体芯片出货 1.15 万亿颗，2022 年全球半导体销售额增长了 3.2%，计算得出 2022 年全球半导体芯片出货量约为 1.19 万亿颗。引线框架中铜的使用不可或缺，因此铜引线框架的芯片市场规模为 1.19 万亿颗。同样在锡金属方面，由于锡焊料在半导体芯片封装中为不可或缺的材料，因此锡金属涉及的市场规模为 1.19 万亿颗芯片。

2019 年键合丝市场中金线键合占比为 32%，纯铜丝键合与镀靶铜丝键合占比分别为 25% 以及 29%，铜丝键合总计 54%，银键合丝占比为 12%。因此我们可以计算金丝键合的市场规模为 $1.19 \times 32\% \approx 0.38$ 万亿颗芯片；银丝键合的市场规模为 $1.19 \times 12\% \approx 0.14$ 万亿颗；铜丝键合的市场规模为 $1.19 \times 54\% \approx 0.64$ 万亿颗芯片。

表 27：半导体市场对所涉及材料的需求拉动幅度对比

材料	材料用途	平均用量	2022 年 涉及该材料的半导体市场 整体规模	半导体市场对该材 料的整体用量 (吨)	2022 年全球年 总供给 (吨)	半导体用量 占总供给的比重
硅	硅单晶衬底	250.00g/12 英寸晶圆	12884.82 万片 12 英寸晶圆	32212.05	1001000	3.22%
锗	锗单晶衬底	576.51 g/12 英寸晶圆	0	0.00	182	0.00%
镓	砷化镓衬底	276.23 g/12 英寸晶圆	78.18 万片 12 英寸晶圆	215.96	/	/
	氮化镓外延	2.48 g/12 英寸晶圆	33.33 万片 12 英寸晶圆	0.83	/	/
镓合计	/	/	/	216.78	626	34.63%
铟	磷化铟衬底	406.56 g/12 英寸晶圆	2.08 万片 12 英寸晶圆	8.46	2000	0.42%
钽	钽靶	1.717 g/12 英寸晶圆	5078 万片 12 英寸晶圆	87.19	606	14.39%
钨	六氟化钨	21.24g/12 英寸晶圆	13020.51 万片 12 英寸晶圆	2765.56	84000	3.29%
铜	铜靶	0.918 g/12 英寸晶圆	5078 万片 12 英寸晶圆	46.62	/	/
铜合计	电镀铜	4.59g/12 英寸晶圆	5078 万片 12 英寸晶圆	233.08		
	引线框架	1.62g/芯片	1.19 万亿颗芯片	1927800.00	/	/
	键合铜丝	0.0001 g/芯片	0.64 万亿颗芯片	64.00	/	/
	/	/	/	1928143.70	21922000	8.80%
金	键合金丝	0.0003 g/芯片	0.38 万亿颗芯片	114.00	3628	3.14%

银	键合银丝	0.0002 g/芯片	0.14 万亿颗芯片	28.00	28435	0.10%
锡	锡焊料	0.13 g/芯片	1.19 万亿颗芯片	154700	380400	40.67%
铅	二氧化铅高 K 材料	0.000017g/12 寸晶圆	1961 万片 12 寸晶圆	0.00033	70	极小
铬	掩模版	0.00008g/12 寸晶圆	13020.51 万片 12 寸晶圆	0.01	9594000	极小

资料来源：华经产业研究，智研咨询，普华有策，中国有色金属工业协会，共研产业咨询，网易，恒州诚思调研，光大证券研究所测算（备注：钼靶、铜靶的市场规模为先进制程占比；铅金属市场规模为 DRAM 晶圆出货量）

上表列示了 2022 年半导体市场对各金属用量占其总供给的比重。就目前用量占比来看，锡（40.67%）> 镓（34.63%）> 钽（14.39%）> 铜（8.80%）> 钨（3.29%）> 硅（3.22%）> 金（3.14%）> 钼（0.42%）> 银（0.1%）。

在接下来的表 28 中，我们基于半导体整体市场的未来发展趋势，推算未来半导体市场的发展对各金属使用量的拉动幅度，同样，我们在此处重新梳理除表 23 以外、前文曾经提到过的重要假设。

预计 2025 年，全球硅衬底出货面积将达 153.32 亿平方英寸（比 2022 年增长 5.27%），折合 12 英寸晶圆数量约为 13563.34 万片；全球砷化镓衬底市场销量（折合 2 英寸）将超过 3500 万片，达到 3548.7 万片，折合 12 英寸晶圆 98.58 万片；全球氮化镓出货量将达到 148 万片（8 英寸），折合 12 英寸晶圆出货量 65.78 万片；全球磷化铟衬底销量约为 112.05 万片，折合 12 英寸晶圆数量为 3.11 万片；全球碳化硅 N 型衬底出货量将达到 144.15 万片，折合 12 英寸晶圆数量 36.04 万片。

铜靶与钼靶方面，据 IC Insights 数据及图 22，2025 年先进制程晶圆占比将达到 52%，成熟制程晶圆占比将下降到 48%，因此我们假设使用铜靶与钼靶的晶圆数量为 $(13563.34+98.58+65.78+3.11+36.04) \times 52\% \approx 7158.76$ 万片 12 英寸晶圆；电镀铜工艺的晶圆数量与使用铜靶与钼靶的晶圆数量相同，皆为 7158.76 万片 12 英寸晶圆。

掩模版（铬）、六氟化钨电子特气（钨）作为芯片生产制造中必不可少的光刻环节的核心耗材，所有晶圆均需要使用掩模版，共 $13563.34+98.58+65.78+3.11+36.04 \approx 13766.85$ 万片。

后道封装方面，我们假设芯片数量与晶圆数量保持同比增长，则 2025 年全球芯片产量大约为 $1.19 \times (1+5.27\%) \approx 1.25$ 万亿颗，键合金丝、银丝、铜丝的占比与 2022 年保持不变。

表 28：2022~2025 年主要涉及金属（半金属）材料在半导体市场用量的增长幅度

材料	材料用途	2022 年半导体市场 对该材料的整体用量（吨）	2025 年半导体市场 对该材料的整体用量（吨）	变化量（吨）	2022~2025 年该金属材料在 半导体市场用量的增长幅度
硅	硅单晶衬底	32212.05	33908.35	1696.30	5.27%
锗	锗单晶衬底	0.00	0.00	0.00	0.00%
镓	砷化镓衬底	215.96	272.31	56.36	/
	氮化镓外延	0.83	1.63	0.80	/
镓合计	/	216.78	273.94	57.16	26.37%
铟	磷化铟衬底	8.46	12.64	4.19	49.52%
钽	钽靶	87.19	122.92	35.73	40.98%
钨	六氟化钨	2765.56	2924.08	158.52	5.73%
铜	铜靶	46.62	65.72	19.10	/
	电镀铜	233.08	328.59	95.51	/
	引线框架	1927800.00	2029395.06	101595.06	/
	键合铜丝	64.00	67.65	3.65	/
铜合计	/	1928143.70	2029857.01	101713.31	5.28%
金	键合银丝	114.00	120.26	6.26	5.49%

银	键合银丝	28.00	30.07	2.07	7.38%
锡	锡焊料	154700	162852.69	8152.69	5.27%

资料来源：华经产业研究，智研咨询，普华有策，中国有色金属工业协会，共研产业咨询，网易，恒州诚思调研，光大证券研究所测算（备注：钨靶、铜靶的市场规模为先进制程占比；钨金属市场规模为 DRAM 晶圆出货量）

上表列示了 2022 至 2025 年，各金属材料在半导体市场用量的增长幅度。增长幅度由高到低排序分别为钨（49.52%）>钨（40.98%）>钨（26.37%）>银（7.38%）>钨（5.73%）>金（5.49%）>铜（5.28%）>锡（5.27%）=硅（5.27%）。

结合表 27 与表 28 的比较结果（将两者相乘进行排序），我们认为钨、钨、锡三种金属为半导体领域最受益的金属品种。

3.2、弹性测算

我们对钨、钨、锡的相关企业，就 1%的半导体相关产品的价格上涨，计算会拉动各自多少净利润做弹性测算。钨相关企业包含中国铝业、中金岭南；锡相关企业包括锡业股份、兴业银锡；钨相关企业包括东方钨业；以及其他参与半导体环节的有色金属上市企业云南锗业（化合物半导体衬底）、联瑞新材（Low- α 球形硅/球铝）、壹石通（Low- α 球形硅/球铝）。

业绩弹性由高至低排序为：东方钨业（钨相关制品，4.51%），壹石通（Low- α 球形氧化铝，3.87%），联瑞新材（Low- α 球形硅微粉，2.19%），锡业股份（锡金属，2.09%），兴业银锡（锡金属，0.87%），中金岭南（钨金属，0.016%），中国铝业（钨金属，0.015%），云南锗业（化合物半导体）。

表 29：半导体相关上市企业业绩弹性测算

代码	公司简称	半导体相关产品产量/产能	价格	$\Delta 1\%$ 价格变动引起 净利润提升（万元）	2023 前三季度 净利润（亿元）	2023 预计年度 净利润（亿元）	业绩弹性
000962	东方钨业	550 吨钨粉（2022）	2425084 元/吨	885.26	1.47	1.96	4.51%
688733	壹石通	40 吨 Low- α 球形氧化铝（2023E）	3000000 元/吨	79.65	0.15	0.21	3.87%
688300	联瑞新材	27468 吨球形硅微粉（2023E）	20000 元/吨	364.62	1.25	1.66	2.19%
000960	锡业股份	23586.74 吨锡金属（2022）	208300 元/吨	3259.54	11.72	15.62	2.09%
000426	兴业银锡	4480 吨锡金属（2022）	208300 元/吨	619.37	5.35	7.14	0.87%
000060	中金岭南	16.5 吨钨金属（2023E）	1925000 元/吨	21.08	9.85	13.14	0.016%
601600	中国铝业	146 吨钨金属（2022）	1925000 元/吨	186.54	92.01	122.67	0.015%
002428	云南锗业	70793 片化合物半导体（2022）	918.9 元/片	43.18	-0.03	-	-

资料来源：各公司公告，百川盈孚，光大证券研究所（备注：2023 年预计年度净利润为各企业前三季度净利润*4/3 得到。半导体相关产品产量/产能指公司控制产量/产能。锡企业仅考虑自产锡精矿的产量。兴业银锡 2019 年发生安全生产事故，此后 2020/2021/2022 年产量始终处于恢复过程中，故取 2018 年数据；东方钨业、锡业股份、兴业银锡、中国铝业、中金岭南相关产品价格数据截至 2023-12-14，取百川盈孚相关价格数据；云南锗业相关数据取 2022 年年报数据，由于云南锗业 2023 年前三季度净利润为负，表 29 不做业绩弹性测算；联瑞新材、壹石通相关价格数据详见光大证券研究所已外发研报《HBM 概念股异动点评：Low- α 球形硅/球铝材料有望显著受益于先进封装大发展》；增值税率按 13%计算，所得税率按 25%计算。）

4、投资建议

我们梳理了半导体全产业链所用到的金属后，认为镓、钨、锡三种金属为半导体领域最受益的金属品种。在相关上市公司中，建议关注东方钨业、壹石通、联瑞新材、锡业股份、兴业银锡、中金岭南、中国铝业、云南锗业等。

表 30：相关上市公司盈利预测与估值

代码	公司简称	股价 (元)	EPS (元)			PE (X)		
			22A	23E	24E	22A	23E	24E
000962	东方钨业	10.72	0.39	0.40	0.45	27.7	27.1	23.8
688733	壹石通	25.63	0.79	0.36	0.71	32.4	70.9	35.9
688300	联瑞新材	43.88	1.51	1.06	1.40	29.1	41.3	31.2
000960	锡业股份	13.42	0.82	1.02	1.35	16.4	13.1	10.0
000426	兴业银锡	9.13	0.09	0.52	0.95	96.4	17.4	9.6
000060	中金岭南	4.03	0.33	0.32	0.40	12.2	12.5	10.1
601600	中国铝业	5.29	0.24	0.41	0.51	22.13	12.8	10.3
002428	云南锗业	10.47	(0.10)	0.02	0.05	-	605.2	209.0

资料来源：，光大证券研究所（备注：公司股价均为 2024/1/18 收盘价，预测 EPS 为一致预期）

4.1、东方钨业：国内唯一钨钨金属深加工龙头

2023 年前三季度，东方钨业实现营业收入 7.81 亿元，同比增加 7.79%；归母净利润 1.46 亿元，同比增加 9.40%；扣非归母净利润 1.21 亿元，同比增加 16.59%。

钨钨金属龙头：公司目前是国内最大的钨、钨产品生产基地、科技先导型钨、钨研究中心。公司钨钨钨稀有金属新材料产业在行业内具有突出的地位。公司与全球大型电容器生产企业建立了长期稳定的合作关系，具有良好的信誉、稳定的供货、销售渠道和销售服务体系，在行业中企业品牌优势明显。

半导体用靶材需求旺盛：2022 年公司主导产品钨粉、钨丝产销两旺，分别同比增长 27%、24%，外销均创十年来最好水平。半导体靶材用超高纯冶金级钨粉销量实现“飞跃式”增长，进一步拓展了产品市场占有率。

钨市场空间巨大：钨钨在军工领域大有可为，公司生产钨超导腔产品在军工领域大有可为，公司生产的宝山牌钨粉及钨丝是中国名牌产品。钠还原钨粉获得“全国制造业单项冠军产品”称号。公司宝山牌熔炼钨、大规模集成电路用钨靶材、钨合金制品均被授予宁夏名牌产品，优异产品质量助力公司拓宽军工市场。

风险提示：钨价格波动风险，上游其他原材料价格波动风险等。

4.2、壹石通：Low-α球形氧化铝产线扩张

2023 年前三季度，壹石通实现营业收入 3.47 亿元，同比减少 23.49%；归母净利润 0.15 亿元，同比减少 86.78%；扣非归母净亏损 0.11 亿元，同比减少 110.91%。

布局 200 吨 Low-α球形氧化铝产能：根据公司公告，壹石通年产 200 吨高端芯片封装用 Low-α 射线球形氧化铝项目已进入产线调试阶段，公司做好了产能准备。相关产品在客户端测试验证进展顺利。

锂电池涂覆材料领域行业领先：公司的勃姆石产品处于行业领先地位，2022 年出货量约为 2.5 万吨，根据高工产研锂电研究所（GGII）统计数据，公司的锂电用勃姆石产品在 2022 年度全球市场占有率超过 50%，公司的行业地位和领先优势较为显著。

电子通信功能填充材料领域持续深入：公司已进入华为 5G 产品供应链体系，球形氧化铝产品凭借在导热界面材料领域的优良应用性能，已批量导入新能源汽车龙头企业，并在电子领域与行业知名企业建立了合作关系。公司同时也是全球少数能够生产 Low- α 球形氧化铝芯片封装材料并实现 α 射线控制、磁性异物控制、纳米级形貌控制的企业之一。

表 31：壹石通 Low- α 球形氧化铝产线规划进程及毛利润贡献预测

代码	公司	主营产品	2023 销量 E (吨)	2024 销量 E (吨)	2025 销量 E (吨)	总规划产能 (吨)	2025 年产品 价格 (万元/吨)	2025 预测 毛利率	预计 2025 毛利润贡献 (亿元)	2022 年公司归母 净利润 (亿元)
688733	壹石通	Low- α 球形氧化铝	40	140	200	200	300	50%	3.00	1.47

资料来源：公司公告，中国粉体网，光大证券研究所测算

风险提示：半导体封装技术路线更替风险，上游原材料价格波动风险，公司产能扩张不及预期风险等。

4.3、联瑞新材：Low- α 球形硅微粉国产化替代重要企业

2023 年前三季度，联瑞新材实现营业收入 5.11 亿元，同比增加 4.72%；归母净利润 1.25 亿元，同比减少 4.90%；扣非归母净利润 1.08 亿元，同比减少 8.65%。

球形硅微粉市场空间广阔：联瑞新材于 2023 年投资建设 25200 吨/年电子级功能粉体材料，且还有 15000 吨/年高端芯片封装用球形粉体生产线于 2022 年四季度顺利调试，球形硅微粉适用于半导体封装的芯片粘结环氧塑封料及填充材料，市场空间非常广阔。

功能性粉体填料龙头企业：公司是国内该行业龙头企业，自创建以来，始终专注于先进无机非金属粉体材料领域的研发、制造，拥有功能性陶瓷粉体填料领域近 40 年的研发经验和技術积累，拥有独立自主的系统化知识产权。公司是国家高新技术企业，被工信部认定为首批专精特新“小巨人”企业，成功入选国家制造业单项冠军示范企业。

表 32：联瑞新材硅微粉产线规划进程及毛利润贡献预测

代码	公司	主营产品	2023 销量 E (吨)	2024 销量 E (吨)	2025 销量 E (吨)	总规划产能 (吨)	2025 年产品 价格 (万元/吨)	2025 预测 毛利率	预计 2025 毛利润贡献 (亿元)	2022 年公司归母 净利润 (亿元)
688300	联瑞新材	球形硅微粉	27468.0	31362.2	39617.6	65942	2	45.90%	3.64	1.88

资料来源：公司公告，中国粉体网，光大证券研究所测算

风险提示：半导体封装技术路线更替风险，上游原材料价格波动风险，公司产能扩张不及预期风险等。

4.4、锡业股份：锡、铟双龙头

2023 年前三季度，锡业股份实现营业收入 336.58 亿元，同比减少 20.18%；归母净利润 10.95 亿元，同比减少 18.59%；扣非归母净利润 9.90 亿元，同比减少 18.61%。

锡金属行业龙头：自 2005 年以来公司锡产销量位居全球第一。公司根据自身产销量和行业协会公布的相关数据测算，2022 年公司国内锡市场占有率 47.78%，全球锡市场占有率 22.54%。根据国际锡业协会统计，公司位列 2022 年十大精锡生产商中第一位。

铟金属行业龙头：公司铟资源生产基地都龙矿区拥有丰富的铟资源储量，铟资源储量全球第一，是全国最大的原生铟生产基地。根据公司自身产销量和行业组织公布的相关数据测算，2022 年公司精铟产量全球市占率达到 3.63%，国内市占率达到 10.94%，其中原生铟全球市占率约 8.14%，国内市占率约 16.52%。

勘探、开采、选矿、冶炼、精深加工一体化企业：公司现有主要产品为锡锭、阴极铜、锌锭、压铸锌合金、铟锭、锡材和锡化工产品等 1100 多个规格品种，上至金属矿的开采，下至锡产品的精深加工。未来公司将继续开拓铟金属产品的精深加工。

风险提示：锡价格波动风险，铟价格波动风险，矿山开采进度不及预期风险等。

4.5、 兴业银锡：拥有雄厚矿产资源的有色金属采选与冶炼公司

2023 年前三季度，兴业银锡实现营业收入 24.25 亿元，同比增加 47.13%；归母净利润 5.43 亿元，同比增加 136.20%；扣非归母净利润 5.65 亿元，同比增加 131.50%。

矿产资源雄厚：公司所在的内蒙古自治区地域辽阔，资源丰富，成矿条件优越，矿产资源储量居全国之首，发现和已查明储量的矿种多，储量大，矿产分布广且相对集中，公司注册地赤峰市及重要矿产资源所在地锡林郭勒盟均拥有丰富的矿产资源储备，地勘市场旺盛，风险勘查活跃。得天独厚的区位优势保障公司增储潜力，更有利于公司积极参与地区及行业资源整合，凭借自身的规模优势和资本嫁接能力，通过招拍挂以及合作开发等多种方式取得资源勘探权和采矿权，增强持续盈利能力。

业务覆盖银、锡、锌、铅、铁、铜：公司控股股东兴业集团及其下属矿业公司拥有多项金属矿探矿权，覆盖金、银、铜、铅、锌、锡、铁等基本金属、稀贵金属种类。未来兴业集团下属的探矿权转为采矿权并置入上市公司将进一步丰富公司的产品种类，增加公司的资源储备从而提升公司的行业地位。同时，兴业集团通过二十多年的行业积淀，储备了雄厚的基本金属、稀贵金属资源，而上市公司利用其嫁接资本市场的资金、人才和管理等优势，进行优质矿产资源的开发和生产，使兴业集团和上市公司形成较好的互补态势，增强了上市公司的市场竞争能力和抗风险能力。

风险提示：金属价格波动，安全生产风险，矿山勘探进度不及预期风险等。

4.6、 中金岭南：拥有镓金属储量 760 吨

2023 年前三季度，中金岭南实现营业收入 528.11 亿元，同比增加 12.61%；归母净利润 7.16 亿元，同比减少 31.53%；扣非归母净利润 6.64 亿元，同比减少 33.76%。

铜锌铅采矿、选矿、冶炼和深加工一体化生产：目前公司已形成锌铅采选年产金属量 30 万吨生产能力，锌铅冶炼年产金属量 42 万吨生产能力。公司通过一系列收购兼并、资源整合，直接掌控的已探明的铜锌铅等有色金属资源总量近千万吨，逐步成长为具有一定影响力的跨国矿业企业。

公司拥有镓金属储量 760 吨：公司拥有国内的凡口矿拥有 760 吨的镓金属储量。2023 年公司生产经营计划中包含了电镓 16.5 吨。

镓锗金属管制政策刺激：2023 年 7 月商务部、海关总署发布的《关于对镓、锗相关物项实施出口管制的公告》，该公告宣称 2023 年 8 月 1 日起对镓锗金属实施出口管制，导致镓锗金属价格的阶段性上涨，截至 2023 年 1 月 2 日，中国高纯镓市场均价为 2400 元/千克，同比上涨 9.34%，镓金属价格上涨利好公司业绩的提升。

风险提示：镓价波动风险，公司生产经营计划不及预期风险，半导体行业整体波动风险等。

4.7、中国铝业：铝行业龙头，叠加镓金属生产

2023 年前三季度，中国铝业实现营业收入 1884.04 亿元，同比减少 17.23%；归母净利润 53.52 亿元，同比减少 0.85%；扣非归母净利润 49.30 亿元，同比增加 10.76%。

铝行业龙头企业：公司是中国有色金属行业的龙头企业，综合实力位居全球铝行业前列，是集铝土矿、煤炭等资源的勘探开采，氧化铝、原铝、铝合金及炭素产品的生产、销售、技术研发，国际贸易，物流产业，火力及新能源发电于一体的大型铝生产经营企业。

公司拥有 200 吨镓金属年产能：2022 年，公司金属镓项目建成投产。目前中国铝业镓金属年产能 200 吨，2022 年金属镓产量达到 146 吨。目前镓金属成为国家进口管制的战略级别金属，截至 2024 年 1 月 2 日，中国金属锗市场均价为 9360 元/千克，同比上涨 16.85%，锗价上行利好公司业绩增长。

风险提示：镓价波动风险，产能释放不及预期风险，半导体行业整体波动风险等。

4.8、云南锗业：布局锗全产业链的锗龙头

2023 年前三季度，云南锗业实现营业收入 4.71 亿元，同比增加 14.18%；归母净亏损 0.05 亿元，亏损同比缩窄 30.79%；扣非归母净亏损 0.26 亿元，亏损同比缩窄 0.98%。

布局锗全产业链：公司主要业务为锗矿开采、火法富集、湿法提纯、区熔精炼、精深加工及研究开发。公司目前材料级锗产品主要为区熔锗锭、二氧化锗；深加工方面，光伏级锗产品主要为太阳能锗晶片，红外级锗产品主要为红外级锗单晶（光学元件）、锗镜片、镜头、红外热像仪，光纤级锗产品为光纤用四氯化锗。

锗行业绝对龙头：公司材料级产品区熔锗锭产能为 47.60 吨/年，太阳能锗晶片产能为 30 万片/年（4 英寸）、20 万片/年（6 英寸），光纤用四氯化锗产能为 60 吨/年，红外光学锗镜头产能为 3.55 万套/年。目前公司矿山保有的锗金属产量大约为 633.29 吨。

化合物半导体开启全新空间：公司拥有砷化镓晶片产能为 80 万片/年（2—4 英寸），磷化铟晶片产能为 15 万片/年（2—4 英寸）。随着第二代半导体材料持续渗透，砷化镓与磷化铟将为公司业绩打开新的空间。

镓锗金属管制政策刺激：2023 年 7 月商务部、海关总署发布的《关于对镓、锗相关物项实施出口管制的公告》，该公告宣称 2023 年 8 月 1 日起对镓锗金属实施出口管制，此举导致镓锗金属价格的阶段性上涨，截至 2024 年 1 月 2 日，中国金属锗市场均价为 9360 元/千克，同比上涨 16.85%，锗价上行利好公司业绩增长。

风险提示：锗价下跌风险，数据测算风险，半导体材料产量下跌风险，地缘政治风险等。

5、风险提示

理论假设与现实不符风险：本报告以半导体产业链作为主要脉络，梳理了半导体产业中主要涉及的几种金属，并对它们可能的用量进行了测算。由于测算过程中包含多种假设，需要注意测算假设与实际情况之间的差距：

1. 晶圆/衬底用量测算环节，主要假设：晶圆/衬底厚度保持不变。
2. 靶材用量测算环节，主要假设：不同金属种类的靶材尺寸统一，且各种靶材溅射晶圆片数保持不变。
3. 掩膜版用量测算环节，主要假设：掩膜版尺寸、铬层厚度保持不变。
4. 电镀用铜用量测算环节，主要假设：电镀用铜面积与靶材溅射用铜面积保持一致。

数据测算误差风险：本报告包含大量数据测算，其中测算过程中产生的误差可能导致不同的结论。

上游原材料价格波动风险：原材料作为成本中关键一环，其原材料价格波动将导致风险增加。

半导体技术路线更迭风险：半导体各环节目前仍在技术更迭中，需要注意技术路线更迭而导致的风险，包括三代半导体之间的相互替代关系等。

政策变动风险：半导体产业与大国政治政策密切相关，需要注意政策变动所导致的行业变化风险。

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不曾与、不与、也将不会与本报告中的具体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