4 英寸扛量、6 英寸爬坡、3 英寸独立细分
——磷化铟衬底需求结构研究

中国金属矿业经济研究院（五矿产业金融研究院） 曲双石、王祎萌

AI 数据中心扩建正在重塑磷化铟衬底的需求曲线。基于厂商口径、交付结构、价格信号与供给动态的综合梳理，本文的判断是：磷化铟衬底需求正由“2/3 英寸为主”转向“4 英寸为主”，国内处于 2/3 英寸向 4 英寸的过渡阶段，海外处于 4 英寸向 6 英寸的过渡阶段。4 英寸已是当前交付主力与扩产供给的主战场；6 英寸凭借订单、价格与需求占比等前瞻信号进入卡位与产业化爬坡阶段，但受良率、产能与客户认证约束，主流商业化窗口预计在 2028—2030 年。3 英寸将长期作为射频、探测等细分专用市场独立存在，而非“过渡态”；硅光异质集成是需要纳入视野的外生路线变量，暂不改变 2028—2030 年的 6 英寸爬坡判断。磷化铟衬底市场竞争焦点正从“有没有产能”转向“能不能稳定产出合格的大尺寸衬底”。

一、光之基石：磷化铟衬底为何是 AI 光模块刚需

磷化铟（InP）是III-Ⅴ族化合物半导体材料，凭借直接带隙带来的高效发光特性，成为 800G 及以上高速光模块中激光器（EML、DFB、CW 光源）与探测器（PIN/APD）芯片的唯一成熟量产衬底。通过对衬底上的外延合金进行带隙工程，发光波长可精准覆盖光纤通信的 1310nm 与 1550nm 两个低损耗窗口。在主流高速 EML 方案中，磷化铟是制造 DFB/EML 激

光器外延片唯一经过商业化验证的量产衬底。

产业链上，从上游高纯铟、高纯红磷，到中游多晶合成、单晶生长（LEC/VGF 法）、衬底加工与外延生长（MOCVD/MBE），再到下游光芯片与光模块，技术壁垒最高、价值最集中的环节之一正是中游衬底制造。

历史上，磷化铟需求长期跟随电信网络建设周期波动。至 2023 年，它仍是“年需求百万片量级、市场规模以亿美元计”的小行业。2023 年之后，AI 数据中心扩建改变了这条需求曲线。

二、需求迁移：4 英寸当前为主，6 英寸演进可期

（一）厂商口径：国内“2/3 英寸→4 英寸”与海外“4 英寸→6 英寸”并行

2026 年 11 月 2 日，光智科技在互动平台明确表示，当前国内客户需求处于 2/3 英寸向 4 英寸过渡阶段，海外客户处于 4 英寸向 6 英寸过渡阶段；考虑到大尺寸片需求有望迎来爆发式增长，公司提前布局 6 英寸衬底产能，6 英寸磷化铟衬底已获得某全球头部客户订单。

这一口径揭示了两个并行的尺寸迁移，即国内走“2/3 英寸→4 英寸”、海外走“4 英寸→6 英寸”。两场迁移叠加，意味着磷化铟衬底的需求结构正从“小尺寸为主”加速转向“大尺寸为主”。

（二）4 英寸“当前为主”：交付结构与价格结构双重印证

交付结构方面，云南锗业控股子公司鑫耀半导体的磷化

铟晶片已批量生产多年：4 英寸晶片正常批量交付、6 英寸晶片小批量供货，在手订单规格覆盖 2 至 6 英寸；4 英寸导电型衬底服务于 800G、1.6T 光模块的激光器、探测器芯片，是当前的交付主力。光智科技 4 英寸及以下规格亦已实现批量交付。

价格结构方面，2026 年以来各尺寸价格全面上行（现货挂牌口径），4 英寸年内涨幅约 64.9%。上海有色网数据显示，4 英寸均价从 7 月 22 日的 5800 元/片（较年初+34.7%）升至 8 月的 6250 元/片（较年初约+45%），10 月中旬进一步升至约 6500 元/片，11 月 SMM 口径均价进一步上行至约 7100 元/片。

（三）6 英寸“演进中”：订单、占比与价格三重前瞻信号

订单信号方面，光智科技 6 英寸磷化铟衬底在手订单近万片；6 英寸海外在手订单销售金额约占海外在手订单总销售额的 63%，订单价值结构已明显向大尺寸倾斜。

占比信号方面，Yole 数据显示，2026 年 6 英寸高端衬底需求占比突破 62%，未来三年有望提升至 80%以上。

价格信号方面，6 英寸衬底价格由 2025 年初的约 1400 美元/片上涨至 2026 年 10 月的约 5000 美元/片，涨幅超 250%，为各尺寸中最高。

（四）历史坐标：2 英寸主力退场、2/3 英寸逐步让位

国内厂商过去的主力战场在 2 英寸。很长一段时间内，国内磷化铟衬底以 2 英寸、3 英寸为主，主要服务射频器件、

探测器与部分光通信芯片。2025 年，云南锗业磷化铟晶片实际生产 10.01 万片，规格仍以 2—4 英寸为主；2026 年计划生产 18 万片，规格扩展至 2—6 英寸。随着 AI 光模块在国内头部光芯片厂放量，增量需求集中投向导电型衬底，而 4 英寸恰是导电型衬底中单片产出与良率成本平衡最优的尺寸，因而成为承接这轮扩产的主力规格。2/3 英寸的“退场”并非需求消失，而是供给端投资方向的单方面锁定。新增产能与资本开支不再流向该尺寸，存量产能在完成既有订单后逐步收缩，这一迁移因此不可逆。

表 1 磷化铟衬底尺寸迁移三阶段

阶段	需求主力	关键特征
2023 年以前（电信周期）	2 英寸为主（辅以 3 英寸）	年需求百万片量级；服务射频、探测、电信光通信
2023 年至今（AI 放量）	国内：2/3 英寸→4 英寸；海外：4 英寸→6 英寸	AI 光模块驱动；4 英寸成为交付主力；6 英寸获订单、进入卡位
2027—2030 年（演进）	4 英寸为主、6 英寸逐步上量	2027 年 4 英寸占比预计五成以上；6 英寸预计 2028—2030 年成为主流商业化尺寸

三、大尺寸逻辑：产出、成本、一致性与适配性

尺寸升级的本质，是下游光通信产业从“小批量、多品种”走向“大批量、标准化”的必然结果。

产出与成本方面，衬底尺寸越大，单片晶圆可布局的芯片数量越多、单位成本越低。按面积口径，6 英寸晶圆面积约为 4 英寸的 2.25 倍，单片可布局芯片数量相应提升，实际产出倍数则还受边缘损失、良率与芯片设计兼容性约束。更大的跨越发生在 3 英寸到 6 英寸之间，据 Coherent 测算，6 英寸相对 3 英寸光芯片产量提升 4 倍以上、成本降低一半

以上，芯片综合成本降幅超 60%。

一致性方面，大尺寸衬底的价值在于单片可产出更多芯片，使下游能在同一工艺窗口内完成更多器件的制造与筛选，减少跨片、跨批差异，更有利于规模化与高良率生产；但大尺寸单晶与外延的片内均匀性控制难度更高，只有将片内与批间离散度稳定压住，这一优势才能真正兑现。AI 数据中心对激光器的波长、功率、阈值及长期可靠性一致性要求极高，衬底一致性因此成为量产门槛。

适配性方面，1.6T、3.2T 光模块所需的激光器正由“分立器件”转向“高密度阵列”，CPO 架构下的外置光源同样要求单片衬底承载更多激光器单元并保证供应连续性。6 英寸在单片可布局的激光器数量与规模化供应上，比 4 英寸更匹配这类需求，因而成为下一代高密度激光器阵列和 CPO 集成光源量产的主要尺寸方向。据 Coherent 在 2026 财年财报电话会上披露的信息，其 6 英寸 InP 产线良率已高于 3 英寸。

四、节奏与边界：6 英寸爬坡、硅光变量与 3 英寸独立市场

（一）6 英寸爬坡：产业化拐点、时间窗口与外生路线限定

全球 6 英寸衬底月产能仍在千片量级，其中住友约 1000 片出头，北京通美仅数百片。目前全球仅 Coherent 一家实现以可接受成本与良率批量供货，其于 2024 年 3 月建成全球首个 6 英寸制造平台，但属自用垂直整合，不对外供货。行业共识为，6 英寸距大规模放量还需 1—2 年。

产业化拐点需三件事同时发生:一是6英寸单晶的孪晶、位错良率从“实验室指标”变为“产线良率”；二是6英寸外延均匀性得到解决，外延良率稳定超过 75%；三是200G/400G EML和高功率CW光源在6英寸平台通过器件厂验证。以2—3年验证周期推算，6英寸成为主流商业化尺寸的时间窗口大致在2028—2030年。在此之前，4英寸是扩产与供给主战场，6英寸是成本曲线的终局答案。

上述“终局答案”建立在可插拔光模块架构持续主导的前提上。2026年，英特尔在OCP峰会宣布独家量产300mm（12英寸）InP-on-silicon硅光晶圆，累计出货超800万个光收发器和 3200 万个集成激光器，目标是将磷化铟光源以异质集成方式嵌入12英寸硅基CMOS制程，而非在InP衬底上继续扩大尺寸。该方案目前主要面向NPO/CPO近封装光学场景，可插拔光模块仍以InP衬底上的分立激光器为核心，短期内不构成对6英寸InP衬底路线的替代。但若CPO与硅光异质集成在 2028—2030 年后加速渗透，磷化铟的需求形态可能由“更大尺寸衬底”部分转向“更小面积的外置光源+硅光平台”。6 英寸的渗透曲线未必单调，其需求天花板也可能低于“全市场2英寸当量”口径下的线性外推。

（二）3英寸边界：独立细分市场而非“过渡态”

尺寸迁移有明确适用边界。3 英寸不会向更大尺寸大规模迁移，将长期维持细分专用赛道定位。原因如下：

应用场景差异。3 英寸的核心方向为射频微波器件（基站射频前端、相控阵雷达）与光电探测芯片（红外探测、激

光雷达、低轨卫星星载光接收组件）。

经济性差异。射频微波、光电探测等芯片面积大、单颗价值高，单片晶圆能切出的芯片数量本就有限，衬底成本在器件总成本中占比相对有限；即便改用更大尺寸衬底，节省的单位衬底成本也不足以抵消大尺寸单晶生长与均匀性控制的难度和成本，大尺寸的成本优势难以体现。同时，这类器件多采用半绝缘（掺铁）衬底，对高电阻率、低缺陷和晶体应力控制的要求，与发光激光器所用的导电型衬底并非同一套工艺逻辑，不能简单套用大尺寸发光衬底的扩径经验。

订单结构差异。卫星、军工射频订单以小批量、多规格、定制化为主，更适合在现货市场灵活采购，而非以长协锁定。全球 3 英寸衬底年需求仅十几万片级别，现货交易占比高、价格弹性大。2026 年 3 英寸年内涨幅 97%，高于 4 英寸的 64.9%，本质上是小批量现货在合规供给缺乏增量时的溢价，而非需求回归小尺寸的趋势信号。将三个尺寸并列观察更为清晰：2 英寸涨幅近 2 倍，3 英寸 97%，4 英寸 64.9%，涨幅排序为 2 英寸＞3 英寸＞4 英寸。这一排序反映的是“尺寸越小、现货交易占比越高、合规供给增量越少，价格越容易被现货博弈推高”的结构；而 4 英寸涨幅相对温和，恰恰因为其定价重心正从现货挂牌向多年期长协迁移，长协锁量锁价削弱了现货涨幅对加权售价的代表性。因此，涨幅排序反向印证的是大尺寸定价机制正在由现货博弈转向长协锁定，而非需求结构回摆。

面向 6G，磷化铟的主力产品是掺铁半绝缘衬底，规格以

3 英寸为主，部分 4 英寸样品已进入原型验证阶段。6G 产业化按“关键技术试验（已完成）→技术方案验证→2028 年前后外场组网与预商用测试→2030 年适时启动商用”的节奏推进，距大规模放量至少还有 4 年。2026—2028 年 6G 尚处于验证与预商用阶段，不会对磷化铟衬底形成规模化采购需求。

因此可以界定，尺寸迁移的主线属于 AI 光模块导电型衬底，4 英寸是过渡到 6 英寸的中间台阶，3 英寸则是独立、稳定的细分市场。

五、结论：4 英寸为主，6 英寸仍处早期，竞争回归良率与一致性

“从 2/3 英寸为主转向 4 英寸为主”成立。四重证据相互验证。厂商官方口径显示国内正由 2/3 英寸向 4 英寸过渡；交付结构显示 4 英寸批量交付、2/3 英寸逐步退场；总量推演显示 2027 年 4 英寸占比将超五成；价格结构显示 4 英寸年内上涨约 64.9%，且长协定价重心正在形成。

“向 6 英寸演进”仍处早期。前瞻信号已经出现。6 英寸已有订单金额占比约 63%、需求占比预测由 62%升至 80%、价格涨幅超 250%、排期至 2028 年；但国产化率不足 5%、月产能仅千片量级、放量尚需 1—2 年，主流商业化窗口预计在 2028—2030 年。硅光异质集成是需纳入视野的外生路线变量，但不改变 2028—2030 年的 6 英寸爬坡判断。

当前，磷化铟衬底市场竞争焦点已从“有没有产能”转向“能不能稳定产出合格的大尺寸衬底”，良率、批次一致性、客户认证与长期可靠性，将决定本轮扩产的胜负。