

磷化铟光芯片衬底材料产业链分析：AI 时代的“光学基石”

汉鼎智库咨询 2026-10-30

磷化铟 (InP, Indium Phosphide) 作为典型的 III-V 族化合物半导体材料, 凭借其直接带隙、高电子迁移率以及在 1.3—1.55 μm 光纤通信窗口优异的光电转换效率, 成为制备 DFB/EML 激光器、高速探测器等光芯片不可替代的基底材料。在 AI 算力集群扩容和 800G/1.6T 光模块加速部署的推动下, 磷化铟的战略地位已从“光通信衬底”跃升为“AI 基础设施卡脖子环节”。

2026 年以来, 受全球 AI 算力需求爆发式增长的驱动, 磷化铟产业链经历了从供需平衡到严重失衡的深刻转变。英伟达预测 2026 年至 2030 年全球磷化铟晶圆整体需求将激增 20 倍左右。本文将磷化铟衬底材料产业链进行详细分析。

一、材料特性与战略地位

磷化铟在 300K 下的带隙约为 1.344 eV, 电子迁移率最高可达 5400 $\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 击穿场约为 5×10^5 V/cm, 兼具较高载流子输运能力和较强电场承受能力。磷化铟衬底是目前唯一可量产、适配光纤通信 1310nm、1550nm 两大主流通信波段的材料。

在技术迭代路径上, 从传统 EML 方案到硅光方案, 再到共封装光学 (CPO) 技术, 磷化铟始终承担核心发光功能。硅光方案虽将信号调制转移至硅光芯片完成, 但磷化铟器件简化为纯发光的 CW 激光器, 专注稳定光源输出。硅光渗透率越高, 磷化铟越聚焦于光源这一最核心、最难替代的环节。

二、市场规模与供需格局

从市场来看，据 Yole 预测，2026 年全球磷化铟衬底（折合二英寸）预计销量为 128 万片，2019—2026 年复合增长率为 14.4%；对应市场规模约 2 亿美元，同期复合增长率为 12.4%。LightCounting 统计显示，依托磷化铟衬底制备的光芯片是光电子行业规模最大的细分赛道，2025 年该品类占行业整体市场规模 58%，预计 2031 年占比仍可达 46%，对应市场规模约 69 亿美元。

需求端的爆发式增长与供给端的极度刚性形成鲜明对比。据 Omdia、Yole 数据，2025 年全球磷化铟衬底（2 英寸当量）总需求约 200 万—210 万片，全球有效合规产能仅 60 万—70 万片，接近 70% 的供需缺口。2026 年全球需求飙升至 260 万—300 万片，有效产能仅提升至 75 万片左右，缺口仍在 70% 以上。2027 年后，行业预测需求将进一步突破 400 万片，年增幅超过 50%。

光模块头部企业对于磷化铟衬底订单已排至 2028 年，长期协议锁定未来数年产能。Coherent 预测，磷化铟供需失衡至少将持续整个 2026 和 2027 年。

三、产业链全景分析

（1）上游：高纯铟与高纯红磷

上游环节是整条产业链壁垒最高、供给最刚性的部分。

铟资源：铟属于稀散型有色金属，自然界不存在独立富矿资源，约 90% 原生铟来自锌冶炼流程的副产品，铟产能无法随市场需求单独扩张。我国铟储量约 2 万吨，占全球可开采储量的 75%，资源优势突出。中国原生铟产量占全球总量七成左右。

然而，磷化铟生产需要 7N 级以上高纯铟，需经过电解、真空蒸馏、区域熔炼等多道精密提纯工序。我国 7N 级高纯铟仍需要通过国外再加工反向输入，进口依赖度达 68%。法国 Recylex、美国铟泰公司、日本同和集团和三菱株式会社

等拥有较为成熟的 6N、7N 级高纯铟生产技术。

受 AI 需求拉动，国内精铟价格自 2024 年初至 2026 年 7 月累计涨幅约 180%。

高纯红磷：作为另一核心磷源，电子级高纯红磷（6N—7N 级）长期被日本 NCI 等少数企业垄断，2026 年日企收紧对华配额导致阶段性断供风险。全球半导体级红磷市场 2025 年估值约 2.11 亿美元，预计 2032 年达 3.44 亿美元。

出口管制：2025 年 2 月，中国将磷化铟正式纳入出口管制清单。2026 年进一步收紧铟出口审查，高纯铟（纯度 $\geq 6N$ ）特批更加严格。中日两国磷化铟占全球供给 85%，出口管制对全球供应链产生深远影响。

（二）中游：衬底制造与外延

衬底制造：衬底制造是从 0 到 1 的结晶过程，核心难点在于：一是严重依赖 6N 级以上超高纯铟；二是 InP 单晶生长需在高温高压下进行极端环境控制，扩产周期长、良率爬坡极慢。完整磷化铟产线落地周期需 18—36 个月，设备到货、工艺良率爬坡还要额外耗费 8—12 个月。单条产线投资超 12 亿元，扩产周期长达 3—5 年。

市场格局：全球磷化铟衬底市场高度集中，呈现寡头垄断格局。据 Yole 统计，2020 年三家厂商占据全球市场 90% 以上份额：日本住友电气 (Sumitomo) 全球占有率 42%，AXT（含控股子公司北京通美）全球占有率 36%，日本 JX 日矿全球占有率 13%。三大企业合计占据全球 91% 的市场份额。

国内进展：云南锗业控股子公司云南鑫耀半导体是国内唯一实现 2—6 英寸磷化铟衬底规模化量产的企业。截至 2025 年末，公司磷化铟晶片产能为 15 万片/年（2—4 英寸）。2026 年 4 月启动“高品质磷化铟单晶片建设项目”，计

划扩建年产 30 万片生产线，最终达到年产 45 万片（折合 4 英寸）产能。2026 年计划生产磷化铟晶片 18 万片。

云南鑫耀在国内磷化铟衬底市场占有率达 80%，全球排名第三。2026 年已签订华为 12 万片、中际旭创 5 万片、光迅科技 3 万片、新易盛 2 万片等合计 22 万片订单。

6 英寸技术突破：2025 年，九峰山实验室依托国产 MOCVD 设备与云南鑫耀的 6 英寸磷化铟衬底技术，成功开发出 6 英寸磷化铟基 PIN 结构探测器和 FP 结构激光器的外延生长工艺。6 英寸工艺有望推动国产光芯片成本降至 3 英寸工艺的 60%—70%。

（三）下游：光芯片与光模块

磷化铟衬底主要应用于光模块器件、传感器件、射频器件，对应终端领域包括 5G 通信、数据中心、人工智能、无人驾驶、可穿戴设备等。其中约 78% 的磷化铟用于光模块器件。

在光模块应用方面，磷化铟衬底主要用于制备边发射激光器芯片（如 DFB、EML）与探测器芯片（如 PIN、APD），是实现光信号发射与接收的核心载体，更是 800G、1.6T 及以上超高速光模块不可或缺的基础材料。

单颗 800G 光模块需要 4 至 8 颗磷化铟激光器芯片，而 1.6T 光模块对磷化铟衬底的需求是 800G 的 2.7 倍至 3 倍。从 800G 光模块向 1.6T、3.2T 迭代过程中，单通道速度加快叠加并行光通道数量持续增加，单台模块消耗的磷化铟芯片成倍提升。Lumentum 预测，到 2030 年 AI 数据中心对磷化铟的需求年复合增长率将达到 85%。

四、国产化进程与政策环境

在 AI 算力建设持续推进的背景下，磷化铟衬底产业链有望迎来需求扩容与国产替代双重催化。

政策层面：2025 年 2 月中国对磷化铟实施出口管制后，东西铟价脱钩。2026 年将铟出口总量锁定在年产量的 30% 以内。出口管制既限制了海外竞争对手的原料供给，也为国内全产业链自主可控创造了窗口期。

国产化进展：磷化铟单晶生长设备和技术方面存在较高技术壁垒，市场参与者较少且以国外厂商为主，但近年来国产化进程加速。云南锗业已率先实现 6 英寸磷化铟衬底的规模化量产。九峰山实验室的 6 英寸外延工艺突破为实现国产光芯片规模化制备打下基础。河南铭镓半导体二期产线达产后，年产磷化铟将接近 30 吨，可满足国内近半市场需求。

但需注意，高端产品进口依赖度仍然较高。7N 级高纯铟进口依赖度达 68%，7N 级以上高纯红磷长期依赖进口。

磷化铟作为 AI 光互联时代的“底层硬材料”，正处于产业高景气周期。展望未来，随着 AI 算力建设持续推进、800G/1.6T 光模块加速部署以及 CPO 等新技术落地，磷化铟需求有望持续高增。