

# 突破铟材料技术瓶颈 构建高端应用与价值提升新格局

中国金属矿业经济研究院（五矿产业金融研究院） 王  
祎萌

## 一、铟是关键战略矿产，我国高度重视铟产业发展

铟是关乎国家安全与科技竞争力的关键战略矿产，美国、欧盟、日本及中国均已将铟列入战略性矿产清单。铟在显示面板、半导体通信、新能源等多个关键领域缺乏成熟替代品。我国高度重视铟的出口管制与产业升级，在出口管控与产业支持两个层面出台了支持政策。

表 1：近两年金属铟相关政策汇总

政策类别	发布时间	政策名称	核心内容与影响
出口管制	2026 年 1 月 实施	《出口许可证管理 货物目录(2026 年)》	稀土、锡、钨、钼、锑、 <b>铟</b> 等金属及其制品，需申领出口许可证。
	2025 年 2 月 实施	商务部、海关总署 2025 年第 10 号公告	对磷化铟（半导体材料）、三甲基铟/三乙基铟（关键前驱体）等物项实施出口管制，相关技术资料也在管制之列。
产业扶持	2025 年 8 月 印发	《有色金属行业稳 增长工作方案 (2025-2026 年)》	要求促进高端产品（含高纯金属）攻关、提升稀有金属应用水平，为铟产业提供宏观发展指引。
	2025 年 7 月 发布	云南省工业和信息 化厅项目征集通知	明确将“以铟锗铂为主的稀贵金属新材料产业”列为 5 大重点产业之一，设立专项资金，支持延链补链强链。

资料来源：五矿经研院

## 二、铟资源兼具稀缺性与伴生性，我国铟资源储量全球第一

铟（In）为银白色金属，略带淡蓝色光泽，具有良好的延展性、可塑性和导电性，以及极佳的光渗透率。铟为镓、锗、硒、镉、砷、铋、铊等八种稀散金属之一，具有显著的伴生性。全球尚未发现独立铟矿床，主要以类质同象形式伴生于闪锌矿（约 95%）及方铅矿等硫化物矿中，其生产完全依赖于锌、铅、锡等主金属的采选与冶炼。铟资源总量稀缺，全球探明资源量约 35.6 万吨，其中储量约 5 万吨，仅占资源量的 14% 左右，具备经济可采条件的约占储量的一半。

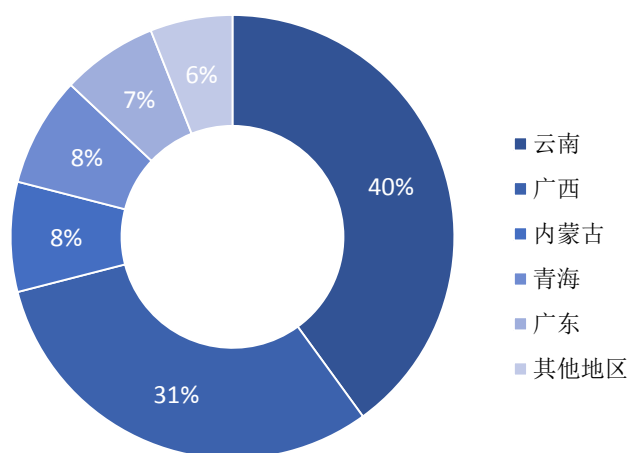
表 2：全球主要国家铟储量分布

国家	探明储量		储量基础	
	数量（吨）	百分比	数量（吨）	百分比
中国	8000	72.70%	10000	62.50%
秘鲁	360	3.30%	580	3.60%
美国	280	2.50%	450	2.80%
加拿大	150	1.40%	560	3.50%
俄罗斯	80	0.70%	250	1.60%
其他国家	2130	19.40%	4160	26%
全球合计	11000	100%	16000	100%

数据来源：亚洲金属网

我国铟储量居世界首位，保有储量约 1.3 万吨，主要集中在云南（约 40%）、广西（31.4%）、内蒙古（8.2%）和青海（7.8%）。国内工业富铟矿床以锡石硫化物矿床和岩浆热液铅锌矿床为主，代表矿床包括广西大厂锡矿床和云南都龙锡锌矿床，二者分别为全球铟资源量第二和第三大矿床。

图 1：我国铟储量分布图



数据来源：亚洲金属网

### 三、我国铟产业链上游开采冶炼能力强，中游提纯与高端材料制备技术薄弱

铟产业链贯穿资源提取、材料提纯与终端应用。我国要从“资源大国”迈向“产业强国”，关键在于补强中游深加工与下游高端应用的技术短板。

## （一）从金属铟到高端材料的价值跃迁

### 1.上游：采矿与冶炼环节

在上游环节，矿石经过破碎、浮选等流程，获得主要金属锌、铅、锡的精矿，其中微量伴生的铟富集在这些精矿中。在冶炼锌、锡的过程中，铟进入烟灰、浸出渣或硬锌等中间物料，对这些中间物料进行溶解、萃取、置换等回收处理，产出纯度较低的粗铟。经过进一步电解精炼等工序，产出标准品级的精铟（纯度通常 $\geq 99.995\%$ ，即4N级）。我国拥有云南、广西、湖南等多个主要产区，冶炼产能世界领先。

### 2.中游：高纯铟提纯与高端材料制备

中游环节包括高纯铟提纯与高端材料制备，是技术核心与价值跃升的关键，也是我国产业链的主要短板。其中高纯铟提纯是将工业精铟进一步提纯至5N、6N，甚至7N等高纯度，涉及真空蒸馏、区域熔炼、电解精炼等尖端技术，是制造ITO靶材、磷化铟衬底等高端产品的必备原材料。

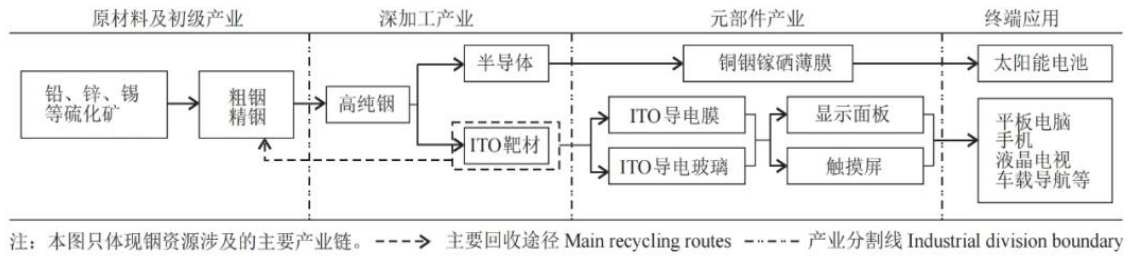
我国高端大尺寸ITO靶材严重依赖进口，国产靶材主要集中在低端市场。随着国产化率提升及政策支持，产业链正逐步向高端化发展。磷化铟衬底是光通信与AI领域的核心材料，主要通过将高纯铟源和高纯磷源在单晶炉内通过气相或溶液法生长出单晶棒，再经过切割、研磨、抛光等工艺，制成磷化铟单晶衬底。

### 3.下游：元件制造与终端应用

元件制造方面，ITO导电薄膜为通过磁控溅射等镀膜技术，将ITO靶材沉积在玻璃或柔性衬底上，制成用于显示屏、触摸屏的透明导电膜；化合物半导体外延片是在磷化铟衬底上，经MOCVD等技术外延生长多层材料，制成光通信芯片、射频芯片等。

终端应用方面，在显示领域，液晶显示器、发光二极管、触摸屏是铟最大消费市场；在光通信领域，磷化铟是制造800G/1.6T高速光模块中激光器芯片不可替代的材料；在光伏领域，铟是铜铟镓硒薄膜太阳能电池的核心元素。

图 3：钢生产产业链



资料来源：基于产业链分析的中国钢锗镓产业发展战略研究，陆挺等，2015

(二) 我国与日韩在钢产业发展路径对比

钢产业呈现“中国主导上游、日韩主导下游”格局。中国拥有资源与冶炼优势，但价值沉淀在上游；日韩资源匮乏，却凭借技术、回收和市场掌控高附加值环节。

再生钢回收是保障资源供应的重要路径。ITO 靶材溅射损耗率高达 70%，叠加电子产品快速更新，产生大量含钢废料。日本等国再生钢供应已能满足大部分国内需求，而我国在回收技术、规模上仍有差距，未来发展关键在于攻克提纯技术、构建高效循环体系。

表 4：中国与日韩钢产业发展对比

对比维度	中国	国外（以日本、韩国为代表）
资源与上游	<b>资源与供给绝对主导：</b> 全球最大的原生钢供应国，储量与产量全球领先。近年通过技术攻关，综合回收率显著提升。	<b>资源匮乏，依赖进口：</b> 日、韩本土钢资源极少，主要从中国等国进口初级产品。但再生钢回收产业全球领先，再生钢供给已超过原生钢。
中游材料	<b>快速追赶，重点突破：</b> 已建成高纯钢等高端原料生产线，关键战略金属自给率提升至 70%以上。正积极向 ITO 靶材等深加工领域延伸。	<b>技术领先，掌控高端：</b> 长期垄断高纯钢、高端 ITO 靶材、磷化钢衬底等高端材料核心制备技术和市场。
下游应用	<b>消费市场增长迅速，但高端应用依赖性强：</b> 是全球最大初级产品出口国和高端应用进口国。在新型显示等终端产业快速扩张，但核心器件仍依赖进口。	<b>全球最大的消费与增值中心：</b> 日、韩是全球最大的钢资源消费国，消费量全球主导。拥有完整的下游产业（如显示面板、半导体），能将材料价值最大化。
政策与技术	<b>国家战略推动，技术攻关期：</b> 通过找矿突破等行动增储，并集中突破提取、高纯制备等“卡脖子”技术。	<b>成熟的战略储备与循环技术：</b> 建立完善的国家储备和社会存量回收体系，技术研发聚焦下一代材料和器件。

资料来源：五矿经研院

#### 四、ITO 靶材为主要应用，磷化铟半导体需求爆发式增长

##### （一）ITO 靶材：最主要消费领域，完美平衡高导电性与光透过率

ITO 靶材是铟占比最大的应用领域，约占全球铟消费量的 70%。ITO 靶材为黑灰色陶瓷半导体材料，由约 90%的氧化铟和 10%的氧化锡粉未经混合、成型与高温烧结而成。铟作为核心原料，占靶材成本的 70%-80%。由靶材制得的 ITO 薄膜兼具高导电性、高透光性等，是目前应用最广且短期难以替代的透明导电薄膜材料。

ITO 靶材主要应用于平板显示和光伏两大产业。平板显示是当前最大的应用领域，用于制造手机、电脑、车载导航、智能仪表等屏幕的透明导电电极。光伏电池为新兴增长点，尤其是 HJT 异质结电池，需在硅片两侧沉积透明导电薄膜。未来，ITO 靶材正向尺寸大型化、高密度化和高利用率方向发展。

图 5：HJT 电池结构

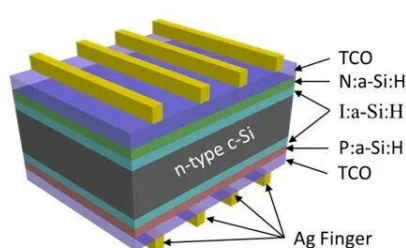


图1 电池结构

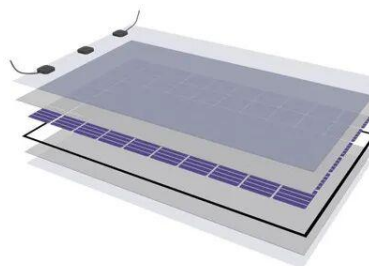


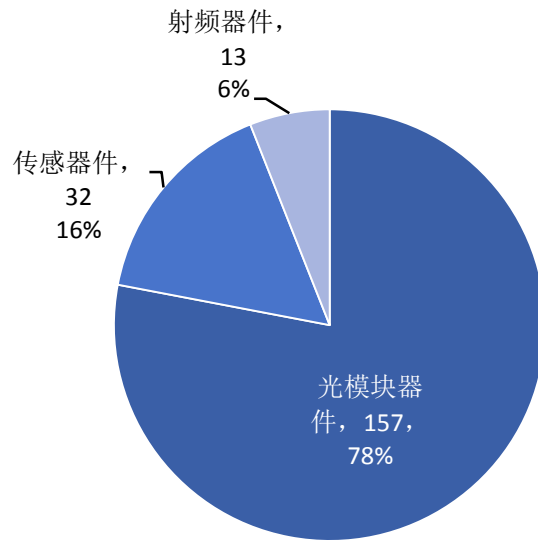
图2 组件结构

##### （二）化合物半导体：铟材料壁垒最高、战略价值最突出应用

##### 1.磷化铟：AI 算力爆发下光模块的基石材料

磷化铟（InP）是关键 III-V 族化合物半导体材料，具有卓越的光电转换效率与电子传输速度，在光通信与数据中心、激光雷达、微波射频与卫星通信、太空光伏等高端领域具有不可替代性。

图 6：2026 年全球磷化铟衬底下游器件市场规模及占比预测（百万美元）



数据来源：Yole，华泰证券

随着 AI 算力需求呈指数级增长，磷化铟的战略重要性愈发凸显。在数据中心内部，800G 及以上高速光模块需依赖磷化铟激光器芯片实现海量数据的高速传输。然而，高品质、大尺寸（尤其是 4 英寸及以上）磷化铟衬底的制备技术壁垒极高，全球产能扩张周期长达 18-24 个月，经过头部客户验证的高质量衬底产能难以快速响应需求增长，形成严重的结构性短缺。当前，磷化铟衬底市场已转变为卖方市场，厂商议价能力强。

我国磷化铟产业已构建起资源、技术与政策协同发展的坚实基础。国内拥有稳定的上游资源供应体系。技术攻坚层面，国内已在单晶制备、外延生长等核心环节实现突破。政策支持方面，磷化铟衬底被纳入《重点新材料首批次应用示范指导目录》，并享有相关进口税收优惠；科技部通过“战略性矿产资源开发利用”重点专项，支持 6N 级以上超高纯铟制备等关键技术研发。

表 6：磷化铟到光模块完整产业链情况

产业链环节	核心内容与价值	主要参与者	备注
上游原材料	提供高纯金属铟、红磷等基础材料，是产业链的起点	金属铟：锡业股份、株冶集团、华锡有色；高纯磷：兴发集团等磷化工企业	铟作为伴生金属，其供应受主金属（锌、锡）产量制约
中游衬底制造	将磷化铟多晶制成单晶衬底（晶圆），是技术壁垒最高、价值最集中的环节之一	国际龙头：日本住友、美国 AXT（北京通美）、日本 JX 金属；国内主要厂商：云南锗业（鑫耀半导体）、博杰股份（鼎泰芯源）	市场高度集中，2020 年前三大公司集中度超过 90%；大尺寸（如 6 英寸）衬底是降低成本的关键
中游外延片加工	在衬底上生长出多层半导体薄膜，形成发光或探测等功能结构，决定芯片性能	国际：IQE、台湾联亚光电；国内：三安光电、九峰山实验室（技术突破）	九峰山实验室已实现 6 英寸磷化铟外延片国产化突破，性能达国际先进
下游器件制造	在外延片上通过光刻、蚀刻等工艺制造出激光器芯片、探测器芯片等核心光电器件	国际：Lumentum（正大力扩产）、Coherent；国内：源杰科技、中石光芯、华工科技	Lumentum 等龙头扩产，直接反映下游需求旺盛；源杰科技是国内激光器芯片领先企业
下游封装与集成	将光芯片进行封装、测试，并与其他电子元件集成，制成光收发次模块或光引擎	各类光器件封装厂、以及采用异质集成（如磷化铟与硅光集成）技术的平台	异质集成是提升性能、降低成本的前沿方向
终端光模块制造	将光收发次模块、驱动电路等集成，制成最终的可插拔光模块（如 800G/1.6T）	中际旭创、新易盛、天孚通信、光迅科技，思科、华为、中兴等设备商	AI 算力需求直接驱动 800G/1.6T 高速光模块放量，拉动整个产业链
终端应用	光模块的最终应用场景，是产业链需求的源头	数据中心、5G/6G 基站、电信网络；以及激光雷达、无人驾驶等其他领域	数据中心内部互联是当前最核心的增长引擎

资料来源：五矿经研院

### （三）新型光伏：铜铟镓硒（CIGS）薄膜电池基数小但发展潜力大

CIGS 薄膜太阳能电池是在玻璃等基底上沉积 2-3 微米厚的 CIGS 化合物薄膜作为吸光层，具有光电转换效率高、性能稳定、弱光发电能力强、外观美观等特点。铟是 CIGS 电池最核心的材料之一，直接决定了电池的光电转换效率与产业发展潜力。铟的掺入赋予 CIGS 高光吸收系数，仅需 2-3 微米的厚度即可有效吸收阳光，且能通过调整铟/镓比例连续调节禁带宽度，以匹配太阳光谱。

**（四）特种合金与焊料：在电子封装、高端轴承等领域有独特价值**

铟在特种合金与焊料中扮演着不可或缺的“性能调节器”角色。凭借低熔点、高延展性和强耐腐蚀性，它成为解决航空航天、精密电子等高端制造领域关键连接与性能难题的核心材料。

具体应用方面，一是低熔点合金，与铋、锡、铅等形成低熔点材料，用于热敏元件、特殊焊料及保险装置；二是高性能轴承合金，添加铟能提升强度与耐磨性，用于航空发动机轴承等关键部件；三是耐腐蚀合金，在铜合金中掺入少量铟，显著增强海水耐腐蚀性，用于船舶制造；四是环保无铅焊料，作为铅的替代品，兼具抗磨与抗腐蚀性；五是其他特种用途，如牙科镶补材料（利用其延展性和生物相容性）、涡轮叶片涂层等。