

## 氧化锌节能技术的自主创新与可持续发展



### 叶志镇

材料物理化学专家，浙江省特级专家。从事氧化锌薄膜制备、物性调控与光电应用研究 25 年，在我国率先开展氧化锌 p 型掺杂研究，发明了可工业化制备技术并做出原创性工作，为自主发展我国 LED 产业奠定基础。

获国家自然科学基金二等奖 1 项，浙江省科技奖一等奖 2 项，省部级科技奖二等奖 2 项；发明专利 49 项，实施 12 项；著作两部。发表主要论文 292 篇，SCI 收录 252 篇。2010 年担任浙江省政府“十二五”战略性新兴产业材料专家组组

长，起草《浙江省新材料产业发展规划》。选为浙江省“LED技术和半导体照明”重点创新团队负责人，参与制定《国家半导体照明杭州基地发展规划》。

《国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要》提出，到2010年，实现国内生产总值能耗比2005年降低20%左右的约束性目标。2010年作为“十一五规划”的最后一年，也作为各省份接受国家“大考”的关键一年，为了全力推进节能降耗指标如期完成，一些省份对工业企业采取限电、停产等措施，更有个别地区限制居民生活用电……

节能减排是重大国策，深入人心，也是热门话题。而为了达到减排指标进行盲目行政干预的后果，则是严重影响了企业的生产经营和居民的正常生活。事实上，要实现节能减排，只依靠行政强制措施是远远不够的，而必须从源头上推动新材料、新技术、新装备的研发与应用，找到节能减排新出路。

在“十二五”开局之年、两会召开之际，走访浙江大学，人们非常关心具有我国自主知识产权的氧化锌材料及节能应用研究新进展。

叶志镇教授及团队始终围绕“一个中心、两个基本点”开展工作，中心工作是氧化锌材料研究；两个基本点是p型掺杂与LED应用，及透明导电膜的节能应用。叶志镇长期立足于自主创新与可持续发展的科研宗旨，一以贯之的工作目标则是发展节能新材料技术。当谈到节能技术时，他反复强调了自主创新和可持续性的重要性。

### **扬长避短 求创新另辟蹊径**

说到节能新材料，就不能不提半导体发光二极管（LED）。LED是一种能够将电能转化为可见光的半导体，具有耗电量低、寿命长、高亮度等众多优点，并被广泛应用到显示屏、汽车灯、电子产品等众多行业领域。经过多年发展，LED已经逐渐形成产业化规模，并成为重要的节能应用。

目前广泛应用的蓝光 LED，其芯片材料是氮化镓，但氮化镓 LED 发光层中的阱层是铟镓氮，其中铟是一种极其稀缺的金属，地球表面存量很少，没有单独的矿藏，是附在别的金属矿中，探明储量约为 13 万吨，年采集量很有限。而目前广泛使用的氮化镓蓝光 LED、氧化铟锡（ITO）透明导电膜和铟磷绿光 LED 等需要大量的铟。美国、英国等有关部门预测，10 年内，金属铟将会使用殆尽。资源短缺制约了 LED 半导体照明技术，可持续发展受到了严重挑战。因此急需发展一种自主创新的新型 LED 发光材料与技术。

很快，氧化锌进入了国际科技界和企业界的视线，而叶志镇对其情有独钟。

氧化锌室温下可发紫蓝光，在紫蓝光 LED 及半导体白光照明等领域将有巨大的应用前景；它已有大直径单晶材料，同质衬底外延有利高质量单晶薄膜生长，这对高品质 LED 器件制备至关重要；制备能耗低，节能生产意义很大；而且无毒性，生物兼容，对环境污染少。且从资源角度来说，氧化锌物丰价廉、环境友好，是一种可持续发展的新型光电子工业材料。锌的地表丰度达万分之一，年产 1200 万吨，价格 1 公斤只有几元钱。氧化锌存在诸多优势，研究它在节能技术领域的应用具有十分重要的意义。氧化锌是一种多功能材料，不仅在 LED 方面有潜在应用，而且在太阳能电池透明电极等节能技术领域发挥着重要作用；研发氧化锌纳米材料，将推动纳米材料科学与应用研究的不断发展。氧化锌将逐渐渗透到许多新兴领域，在发展节能减排、低碳经济方面有着良好的应用前景。

叶志镇及团队在上世纪 80 年代就积极开展氧化锌及节能应用研究，与国际同步，并拥有核心技术方面的自主知识产权。

### **氧化锌 p 型掺杂 为自主创新奠基**

氧化锌因在节能环保和绿色能源领域潜在应用价值巨大而备受国际科技界、企业界关注，开展氧化锌节能技术应用研究具有重要战略意义。

氧化锌光电应用的瓶颈是实现 p 型掺杂，但机理极为复杂，一直是国际研究的难点与热点。叶志镇科研团队通过长期研究发现，氧化锌中掺入氮替代氧，或掺入锂、钠替代锌，均可产生空穴，实现 p 型掺杂。2002 年，叶志镇等发表中国首篇氧化锌 p 型掺杂论文，开创了该领域的研究，并在该领域做出重要创新工作。他们发明了一系列氮掺杂技术，制备了 p 型氧化锌和 LED 发光原型器件，实现室温电致发光，向世人展示了氧化锌 LED 工业化可能性，在国际上产生了重要影响，2007 年获国家自然科学奖二等奖。

为了获得性能更好的 p 型氧化锌，研制实用氧化锌 LED，他们继续探索，首创了钠掺杂法，经研究发现钠掺杂技术优于氮掺杂。他们用钠掺杂法制备了 p 型氧化锌，获得更高空穴浓度，制备的 LED 原型器件室温电致发紫蓝光，发光强度更好，时间更长，工作也得到国际同行认可，这为研发实用氧化锌 LED 奠定基础。关于氧化锌 p 型掺杂与 LED 器件，他们拥有发明专利 36 项，为自主发展给力支撑。在国际氧化锌舞台上，我国关于 p 型掺杂的基础研究工作被公认为具有原创性。叶志镇团队的工作居国际前沿，对当前国际氧化锌研究具有很大推进作用。

最近氧化锌研究又取得新进展：他们正致力于氧化锌 LED 工业化探索，合作研发金属钠有机源、2 英寸单晶氧化锌和 MOCVD 工艺，在 LED 工业化关键技术方面已取得较大进展，我国自主发展氧化锌 LED 产业又前进了一大步。

### **蓝光宏图 从科研到产业化**

氧化锌是很神奇的材料，它掺入铟，或掺入铝和镓，变成对可见光透明的像玻璃，而导电性能像金属的材料，在太阳能电池透明电极、触摸透明显示屏等能源与信息技术领域具有广泛应用前景。这项高端技术一直被发达国家所垄断。目前部分市场上使用的这类产品是氧化铟锡，它面临的同样是金属铟资源短缺的严重问题，可持续发展受到挑战。

1988 年，叶志镇研发出氧化锌掺铟透明导电膜，因成果具有创新性而获得浙江省科技进步奖。因金属铟稀缺昂贵，他又发展掺铝、掺镓技术。

目前，叶志镇已着手实施将氧化锌研究向产业化推进，向着氧化锌“蓝光宏图”迈进。利用发明的核心专利，叶志镇课题组与知名企业进行合作。他把氧化锌透明导电膜应用于国内 LED 芯片龙头企业杭州士兰明芯公司 LED 产品上，功能同样是透明电极，因为挡光面积减少，LED 发光从 110 流明/瓦增加到 120 流明/瓦，出光率增加 9%，效果良好，意义很大。

叶志镇发明的氧化锌透明导电膜，同时也在一家晶硅太阳能电池公司的产品上应用探索。为了减少表面反射、提高电池效率，一般在表面镀上一层氮化硅减反膜；为了把光生电子及时导出，电池表面镀上叉指式银电极，银电极把部分太阳光挡住了，挡住面积占总面积的 5%。把氧化锌透明导电膜作为太阳电池的透明电极，它既替代了氮化硅减反膜，又替代了银电极；不仅减少了工序、节省了大量的银金属，而且提高了太阳能电池效率，降低了电池成本。

目前叶志镇又研发单层和多层掺镓氧化锌透明导电膜室温沉积在聚合物柔性衬底上的先进技术，这对未来有机发光二极管（OLED）具有重要的应用前景。

在产、学、研一体化的模式下，他们将从氧化锌 LED 开发过程中做到知识创新、技术创新和产品创新相结合，形成较完整的自主知识产权价值链，最终以实现科技成果产业化为目标，造福社会。叶志镇的氧化锌研究成果已对当前我国节能技术的进步作出了积极贡献。

叶志镇说：“氧化锌节能应用，只是国家节能减排大方针中的一个微小方面，我还必须时刻关注国家节能减排的重大战略，为国家节能技术发展多作我们的贡献。”

《科学时报》（2011-3-8 A6 专题）