

氧化锌：绿色照明的新希望

——浙江大学叶志镇教授及其团队自主创新纪实

2010年01月14日 来源：科技日报 本报记者 吴红月

原文链接：http://www.stdaily.com/kjrb/content/2010-01/14/content_145211.htm

经过改革开放 30 年的发展，我国的科技创新无论是从能力上还是体制上都有了很大的发展，例如：生物、纳米、航天等科技领域已跻身世界先进水平。然而，中国目前科技创新的整体现状仍然不容乐观，其主要原因是由于我国的基础研究较薄弱，一些前沿科技仍落后于发达国家。幸运的是有那么多优秀科学家在为国家的振兴而努力工作着、奉献着。即便他们碰到各种困难，甚至遭到严重挫折也绝不轻言放弃，浙江大学叶志镇教授就是其中的一位。

叶志镇——浙大 ZnO 团队带头人

叶志镇教授目前主要从事半导体薄膜科学与技术研究。20 多年来他一直在氧化锌(ZnO)材料物理、制备技术和光电应用领域积极探索，做了大量系统性的原创工作，成果已获得国家自然科学基金二等奖 1 项、省部科技一等奖 2 项、二等奖 3 项等，发表国际期刊（SCI 收录）论文 200 多篇，著作 2 本，授权中国发明专利 40 项。

在他研究生涯中曾经获得过多项关于 ZnO 材料的“首个项目和奖项”：国家“973”项目中首个有关 ZnO 光电材料课题、国家自然科学基金首个 ZnO 重点项目和首个 ZnO 重点项目群的项目、国家科技部首个 ZnO 产业化创新基金。叶志镇教授团队的“ZnO 基材料生长、p 型掺杂与室温电致发光”研究成果获 2007 年国家自然科学基金二等奖。

叶志镇提出了系列 ZnO p 型掺杂技术路线，学术论文被他人正面引用 2500 余次，有力地促进了国际 ZnO 研究的进展，为我国自主发展 ZnO 产业奠定了重要基础，是当今 ZnO 研究领域国际知名学者。

随着浙江大学在 ZnO 领域研究工作的深入与拓展，不断有优秀青年学者加入叶志镇团队。目前他所领导的研究团队有 11 位教师和 40 多位在读博士生、硕士生。

教师队伍中有 3 位教授、5 位副教授（副研究员）和 3 位博士后。他们中绝大部分是留学美国、英国和日本归来的年轻博士，围绕 ZnO 发光应用研究，他们有的负责材料制备与 p 型掺杂，有的负责物性表征和理论分析，有的负责器件设计与工艺。分工明确，合作无间，整个课题组高效运转。他们不断创新，成果迭出，成为了一个在国际 ZnO 材料研究界充满活力、颇具影响的研究团队。



叶志镇教授团队部分教师与学生照片

叶志镇教授是浙大求是特聘教授、浙江省特级专家。他是这个团队的学术带头人，带领大家在自主研发 ZnO 材料及光电器件的过程中付出了很多努力，也取得过不少成绩。笔者以前曾经报道过他们团队的工作，所以一直比较关注他们课题组的动态。最近我们抱着求实的态度再次走访浙江大学叶志镇教授，与他们团队人员进行座谈，并参观了他们工作的实验室。通过这次采访，我们了解到叶志镇教授带领着他的团队克服了近一年来网络上匿名文章带来的干扰，努力地把工作做得更加扎实，在研发 ZnO 光电材料及器件的自主创新方面又取得许多新的进展。为此，笔者也深受鼓舞。

ZnO——绿色照明新使者

氧化锌，已在许多领域有了广泛应用，但它作为宽带半导体发光用途，却是一种新型光电材料，有许多科学难题亟待深入研究解决。ZnO 的优势在于廉价、环保，它可发紫蓝光，并由此开发节能环保长寿命的固体发光器件。所以它有望成为下一代节能廉价的绿色照明核心材料。同时它又可研发透明导电薄膜，在太

阳电池透明电极等节能技术领域也将发挥重要作用。目前 ZnO 材料在光电领域的应用性越来越受到重视，尤其在能源、节能技术方面的应用前景被广泛看好。

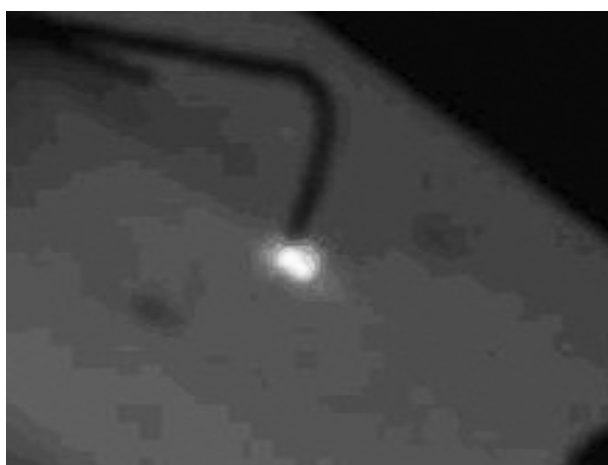
ZnO 发光二极管（LED）电发光的前提是形成半导体 pn 结。ZnO 需要通过掺杂实现 p、n 型导电类型的调控。这是最基础、也是最关键的工作。制备优质 n 型 ZnO 材料不是难题，难得是制备优质的 p 型 ZnO。也就是说，ZnO 实现发光应用的关键是稳定高效 ZnO 的 p 型掺杂，这一点却是长期以来一项公认的国际难题。

叶志镇教授课题组是国际上较早开展 ZnO 的 p 型掺杂研究的小组。前期的工作主要是研究如何把氮（N）元素有效掺入 ZnO 中。根据半导体理论，如果能把外层 5 个价电子的 N 替代 ZnO 中有 6 个价电子的 O，就能产生 1 个空穴从而使 ZnO 实现 p 型导电。但 N 在 ZnO 中固溶度很低。为了提高 N 在 ZnO 中的固溶度，获得性能较好的 p 型 ZnO，在国家“973”、国家自然科学基金重点等项目的支持下，他们数次研制、改进材料生长设备，不断摸索材料生长条件，先后提出了多种创新的方法。2005 年课题组于国际上首次报道采用金属有机化学气相沉积（MOCVD）结合混合源 N 掺杂技术研制出 ZnO 的 LED 原型器件，实现了室温电致发光，发光性能优于同期日本分子束外延（MBE）掺 N 法。2006 年叶教授应邀在美国 MRS 秋季大会首届 ZnO 专题会议上作报告，当时受到邀请，从事 p 型掺杂研究的国际学者有 2 个，叶教授被安排作第一个发言。叶教授课题组关于 N 掺杂系列的基础研究工作具有原创性，使得实现 ZnO 光电应用的前景进一步明朗，对当时国际 ZnO 研究产生重要影响，有推进作用。也因此获得了 2007 年度国家自然科学二等奖。

希望——在不断前进中长成

在这次采访中我们了解到，在获得国家奖之后叶志镇课题组又研究出了一种新的制备 p 型 ZnO 的方法，国际上第一个用外层 1 个电子的 Na 替代 ZnO 中 2 个电子的 Zn 产生空穴、实现 p 型导电的掺杂方法。经过他们的理论研究和实验结果都表明 Na 掺杂的 p 型 ZnO 的空穴浓度和电学稳定性比先前由 N 掺杂的 p 型 ZnO 在性能上更具优势，并且已经制备出性能良好的 p 型 ZnO。4 批 22 个样品经信息产业部专用材料质量检验中心（CMA，国家检测法定单位）和美国从

事 ZnO 研究的 DC Look 教授检测，测得 p 型 ZnO 薄膜的空穴浓度为 10^{17} — $10^{18}/\text{cm}^3$ ，最高为 $1.26 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ，指标为国际先进；同时他们的样品也经上海中科院微系统和信息技术研究所测得了 p 型 ZnO 薄膜有关数据。而这一技术路线为获得性能更好 p 型 ZnO 开辟了一条新路，这是对 ZnO 的 p 型掺杂技术的新突破。在此基础上，课题组于 2008 年 6 月在美国电子材料 50 周年国际大会上第一个报道由 Na 掺杂制备硅基 ZnO/ZnMgO 多量子阱 LED 并发出了紫蓝光。而且通过对 LED 电极、器件工艺的不断完善，在 2009 年又取得了 Na 掺杂 ZnO 同质 pn 结 LED 在室温下电注入长时间、大面积发出高亮度类白光的实验结果



ZnO-LED 原型器件电发光照片

这些最新研究进展不仅得到了国内外同行的关注和响应，促进了国际 ZnO 研究的进展，而且离叶教授和他的团队定下的要研发成功一种下一代节能环保廉价 ZnO 白光照明新材料，为我国节能照明提供新的技术的目标也越来越近了。

ZnO“蓝图”——就在不远处

在这次采访中笔者还了解到，叶教授已着手把 ZnO 研究向产业推进的计划；他们已经踏上从研究向产业化迈进的征程，向着 ZnO“蓝光宏图”迈进。目前，他们利用发明核心专利与知名企业合作，建立杭州兰源光电材料有限公司。这是一家从事 ZnO 掺杂关键技术和器件设计研发的科技开发公司，2009 年获得了国家科技部支持，承担我国第一个 ZnO 材料发光应用的产业化创新基金。公司计划把 ZnO 光电材料的基础科学和技术科学结合起来，在原有技术支撑的基础上取

得更多与 ZnO 应用核心技术相关的原创性成果，形成较完整的自主知识产权价值链，尽快研发出若干种独有的具有实用价值的材料及其 LED 制备新技术。2010 年将加快研究步伐，最终将科技成果实现产业化，为国家和地方的经济建设发展作出贡献。也许这是一条艰难的路，但为了国家的自主创新，他们义无反顾。

对于未来的具体研究方案和目标，叶教授已做出了详尽的规划。首先深刻理解 ZnO 中杂质、缺陷行为并加以调控，继续推进高效稳定 ZnO p 型掺杂技术，努力获得实用化的 ZnO p 型掺杂技术。在此基础上，为了提高发光效率，需制备出优质的 ZnO/ZnMgO 多量子阱异质结构，设计 ZnO-LED 的芯片结构，提高其发光的量子效率。然后进行器件结构的设计，提高出光率，研制出高效 ZnO-LED，争取廉价、环保 ZnO-LED 产业化早日实现，在节能廉价环保固体白光照明中发挥重要作用。

尽管科学的理论是深奥的，但我们相信：经过叶志镇教授课题组和国内 ZnO 材料专家的共同努力，具有我国自主知识产权的节能环保廉价的 ZnO 发光照明器件在不久的将来有望走进千家万户。

创新——源自博学加勤奋

叶志镇教授时刻关注国家节能、减排重大战略，积极发展半导体材料在光电节能技术方面的应用。在笔者看来，他之所以能够取得一系列创新成果，除了思维开放、眼光敏锐、执着追求的个性外，还与他的光、电和材料多学科交叉的背景有关。叶志镇于“文革”结束后第一批考进浙江大学电机系，而后硕士、博士在浙江大学光仪系就读，并于 1987 年 12 月在光学薄膜方向获得博士学位。1988 年 1 月进入浙大材料系硅材料国家重点实验室工作，主要从事半导体薄膜光电材料技术教学、科研工作。本科电气和研究生光学的学科背景，对他现在从事半导体光电材料技术研究是很有益处的。

30 多年勤奋学习，努力工作。多少个夜晚、多少个周末，他与研究生在实验室度过的。叶教授不仅注重学习本专业专业知识，而且也十分关注其他学科知识；同时他也很喜欢学习哲学和历史等。他学识比较丰富，工作方式很注重创新。

叶志镇教授一直注重薄膜材料制备设备的自主研发。他认为只有在自行研制的设备上，才能使我国半导体薄膜材料的自由研究与自主创新得以实现。

1992年他从美国 MIT 留学回国后，针对我国纳米薄层晶体材料制备装置落后制约了材料发展的现状，开始与中科院沈阳科仪中心合作，致力于高真空 CVD 薄膜生长设备的研发，先后研发了结合反射高能电子衍射（RHEED）的超高真空 CVD、结合磁流体密封的高真空 MOCVD、结合原子发生器的高真空 MOCVD 等多台系列的薄膜材料生长设备。



与中科院沈阳科仪中心共同研发的生长 ZnO 薄膜的 MOCVD 设备

这些设备为制备纳米薄层的半导体薄膜材料可控生长提供了重要手段；既满足了自己科研需要，又向全国 50 多个单位同行提供了同类设备。

从提出设计思想，不断改进完善，直到投入使用，这其中包含了叶教授的无数心血，同时也凝聚了他的团队全体人员，以及合作者中科院沈阳科仪中心同仁的智慧和努力。而正是有了这些具有知识产权的设备，才能让他的团队在自主研发 ZnO 等多种光电薄膜材料的科学研究中不断取得新的进展。

叶教授及其课题组在开发 ZnO 发光应用方面，从薄膜材料制备设备到工艺，从 ZnO 的 p 型掺杂技术到 LED 发光器件的制备工艺的核心技术申请了 40 余项发明专利，已授权 30 项，其中 10 余项发明专利已被公司采用，为自主发展我国 ZnO 产业提供了知识产权保护。

后记：在整个采访过程中，笔者不仅为叶志镇教授崇高的理想和坚定的信念、勇于担当和百折不回的精神所感动，更被其宽广的心胸和淡定的气度所折服。

特别是当叶教授被问及某网站中某些别有用心人频发关于蓄意歪曲他们课

题组研究工作的匿名帖子时，叶教授淡然回答：“一直以来，对那些我始终不屑一顾，因我们还有许多要紧的事要做，再说，我们的工作获得国家权威和国外的机构检验的，获国家自然科学奖就是对我们团队前期工作的认可，证书和检验报告会让更多的人知道真相。”

事实胜于雄辩。科学这个东西真的假不了，假的也真不了，实验结果是最好的回答。

正是有了那么多默默地抛洒着汗水的科学家，才绘就了向世人展示中国科技不断进步的绚丽画卷。叶志镇教授及其团队目前致力的具有我国自主知识产权的 ZnO-LED 技术一旦研发成功，节能绿色照明最终得以实现，那将在人类照明史的画卷中留下浓墨重彩的一笔。