

2018 年国家技术发明奖提名 公示内容

项目名称：叠层有机发光二极管的材料、结构及其制备技术

主要完成人：廖良生（苏州大学）、丁磊（陕西科技大学）、周东营（苏州大学）、
王照奎（苏州大学）、蒋佐权（苏州大学）、武启飞（苏州方昇光电股份有限公司）

提名者：李述汤（苏州大学）、邱勇（清华大学）、黄乃正（香港中文大学）

提名该项目为国家技术发明奖二等奖

提名意见

提名人 1：李述汤（苏州大学，中科院院士，专业：材料学）

OLED 是一种优势明显的新型显示和照明技术，具有广阔的应用前景。推进我国 OLED 的产业化，对节约电能、保护环境、增进视觉健康、促进国民经济和社会发展具有重要意义。目前，虽然我国已进入 OLED 产业化的初期阶段，但其发展存在诸多挑战。例如，高亮度与长寿命的根本性矛盾成了阻碍 OLED 产业化进程的重要因素之一；我国 OLED 生产设备主要依赖进口，极大制约了产业化进程及未来的自主创新。由苏州大学廖良生教授牵头的“叠层有机发光二极管的材料、结构及其制备技术”项目，发明了叠层 OLED 器件结构，成功解决了 OLED 器件高亮度与长寿命的根本性矛盾，为大面积 OLED 电视屏和高亮度 OLED 照明面板提供了关键技术；进一步开发了叠层 OLED 器件的多种内部连接层材料与结构，解决了叠层 OLED 器件工艺不易兼容等难题；在装备方面，设计和制造了具有自主知识产权的用于制备叠层 OLED 的系列真空蒸镀装备，填补了国内高端真空蒸镀设备的空白。所研制的用于制备大面积 OLED 的线性蒸发源，其蒸镀均匀性误差

小于 3%，达到了国际先进水平。由该项目提供的关键技术使得国内外诸多大面积 OLED 电视屏或照明面板公司取得了巨大的经济效益。

总之，该项目提出的发明点具有十分明显的创造新和先进性，由此推动了 OLED 相关技术的发展，促进了国内外 OLED 大面积显示和照明技术的商业化进程。

提名人 2：邱勇（清华大学，中科院院士，专业：物理化学）

OLED 是新一代显示和照明技术，具有宽视角、响应快、可实现柔性显示、健康节能照明等优点，是中美日韩等国的竞争热点，同时也为我国显示产业和照明产业实现跨越式发展提供了难得的机遇。该项目首先抓住了 OLED 器件工作寿命与发光亮度两个关键问题，从器件结构入手，创造性地发明了叠层 OLED，使 OLED 能真正在大面积、高亮度场合下得到实际应用。虽然 OLED 的性能改善也可以通过使用新型发光材料以及进行界面调控等方法来实现，但器件工作寿命能以倍数方式进行增长的方法实属少见，尤其对有机光电器件而言，工作寿命的增长，绝非易事。其次，该项目进一步研究了叠层器件的内部连接层材料，首次将具有强氧化性的有机材料 HAT-CN 引入内部连接层，不仅大大提高了器件的电压稳定性，而且能使叠层 OLED 的制备工艺完全与常规工艺兼容。最后，该项目团队在有机光电领域率先迈开了装备国产化的步子，自主设计和生产可用于进行叠层 OLED 研究和生产的系列蒸镀设备，不仅取得了良好的经济效益，而且对最终形成从材料、装备到器件和照明光源的 OLED 照明技术自主产业化起到了重要的推进作用。

综上所述，该项目提出的发明点具有十分明显的创造性和先进性，项目已经取得明显的经济效益，并展示出广阔的应用前景。

提名人 3: 黄乃正 (香港中文大学, 中科院院士, 专业: 有机化学)

自 1987 年 Ching W. Tang 博士发明有机发光二极管 (OLED) 以来, OLED 技术因其具有自发光、快响应、高效率、低能耗、可卷曲等优点, 在显示和照明两大领域展现了巨大的商业前景。该项目从新颖器件结构、特殊电荷传输材料以及自主装备技术三个方面入手, 通过努力攻关, 并在科技部 863 计划、国家重点研发计划和国家自然科学基金等项目的支持下, 不断从基础研究向产业应用方向推进, 取得了突破性成果。该项目首先针对 OLED 亮度与寿命的平衡问题, 特别是大面积 OLED 制备中的关键技术问题, 发明了叠层 OLED 器件结构, 通过在器件内部将 N 个发光单元串联, 可以获得 N 倍于常规器件的发光亮度, 或者在保持相同亮度条件下获得 N 倍于常规器件的工作寿命, 从而使大面积高亮度 OLED 显示和照明成为可能; 其次, 进一步针对叠层 OLED 内部连接层中的载流子产生和传输问题, 设计发明了多种内部连接层材料与结构, 确保叠层 OLED 的优势能够得到体现, 且在制备工艺上能与常规 OLED 的工艺完全兼容; 再次, 针对我国 OLED 生产设备受制于国外厂商及知识产权等问题, 设计和制造了具有自主知识产权且可用于制备叠层 OLED 的系列真空蒸镀装备, 以及用于制备大面积 OLED 的线性蒸发源, 实现了高真空热蒸镀设备的国产化。该项目中叠层 OLED 核心技术已被国内外多家知名 OLED 显示器厂家和固态照明厂家所采用, 为全球 OLED 的产业化发展做出了重要贡献。

项目简介:

该项目属于有机光电材料和电子信息产品制造交叉领域。

有机发光二极管 (OLED) 技术是一种优势明显、美日韩等国竞相发展的新型显示和照明技术。《国家中长期科学和技术发展规划纲要 (2006-2020 年)》

明确将“开发有机发光显示等显示技术”列为优先主题；国家《半导体照明产业“十三五”发展规划》提出要“推动 OLED 照明产品实现一定规模应用”。然而，OLED 存在“长寿命”与“高亮度”之间难以调和且人们一直致力于解决的内在矛盾。从器件结构、材料与制备技术上入手来解决这一矛盾，对 OLED 的产业化发展具有重要意义。

该项目历经十多年努力，且在国家 863 计划、国家重点研发计划和国家自然科学基金重点项目的支持下，取得了关键技术和实际应用的重大突破。获授权专利 37 项（其中美国专利 30 项）；参与制定 OLED 测试方法行业标准 1 项、OLED 名词术语行业标准 1 项，并正在参与《OLED 照明术语和文字符号》国家标准的制定；发表 OLED 相关 SCI 论文 150 余篇。

主要发明点如下：

1. 发明了叠层（Tandem）OLED。在器件内部将 N 个（ $N \geq 2$ ）发光单元进行串联，使器件在通常电流情况下，发光亮度可成 N 倍地增强；或者在通常亮度情况下，工作电流可减至原来的 $1/N$ ，使器件寿命成 N 倍地增加。从而为大面积高亮度 OLED 电视屏和照明光源的产品设计，提供了实用创新技术方案，促进了国内外 OLED 显示和照明技术的商业化。

2. 开发了叠层 OLED 的关键部分--内部连接层，并首次选择将具有强氧化性的 HAT-CN 作为全有机连接层材料之一，解决了叠层 OLED 工艺不易兼容、金属易扩散等问题，简化了制备工艺，提高了产品性能。唯有兼具导电性和透光性的内部连接层，才能使得叠层 OLED 具备发光亮度成 N 倍增强或工作寿命成 N 倍增加的优势。

3. 设计和制造了用于制备叠层 OLED 的系列真空蒸镀装备,使之具备三源同时蒸发、模板自动切换功能,并具备蒸镀速率精确可控、自动化程度高等优点,填补了国内高端真空蒸镀设备的空白;研制了制备大面积 OLED 所需的线性蒸镀源,并使蒸镀均匀性误差达到小于 3%的国际先进水平。同时,采用自主装备成功制备出国内发光面积最大(270 mm × 270 mm)的 OLED 照明面板。

该项目的叠层 OLED 技术解决了大面积 OLED 生产中的关键技术问题,使韩国 LG 公司、美国 OLED Works 公司、日本 Panasonic 公司、南京第壹有机光电有限公司等的大面积 OLED 电视屏或照明面板的生产取得了巨大的经济效益。自主设计和生产的 OLED 系列真空蒸镀装备 2012 年开始销往内地和香港高校,产生直接经济效益逾 3600 万元;自主设计和制造的、可用于制备大面积叠层 OLED 的研发型真空蒸镀装备,虽价格低廉(250 多万元),却达到了价格为 5000 万元以上的国外引进装备所具备的主要功能。利用上述研究结果,该项目正在自主设计和制造国内首条 OLED 白光照明生产线,以期实现从材料、装备、到器件和灯具的 OLED 照明全链条自主产业化。

客观评价:

第三方评价

该项目共申请国内外发明专利 50 多项,已授权 37 项;参与完成了两项 OLED 行业标准的制定;发表 SCI 论文逾 150 篇。项目主要完成单位之一的苏州方昇光电股份有限公司,近年来,其 OLED 蒸镀装备等相关产品的销售额已超过 3700 万元。依托本项目的研究,申请人团队先后在“十二五”和“十三五”期间共获得国拨经费约 6000 万元的支持。2016 年,以 OLED 产学研一体化为目标而成立的江苏省产

业技术研究院有机光电技术研究所得到了苏州市吴江区政府和江苏省产业研究院超过 3.5 亿元的资金支持。

产品检测报告:

2013 年, 申请人团队制备的 150 mm × 150 mm 大面积 OLED 照明面板经江苏省信息电子产品质量监督检验研究院 (江苏省信息安全测评中心) 检测: 在亮度为 1000 cd/m² 条件下, 功率效率为 42.9 lm/W, 显色指数为 83.6, 工作寿命 (T₅₀) 达到 6656 h。

鉴定、验收意见:

2014 年通过了 863 专家组的验收, 以中科院半导体所前所长李晋闽研究员为组长的验收委员会, 对申请人承担的 863 计划“大面积高效长寿命的白光 OLED 器件及照明器具研究”项目进行了验收, 结论为: 项目研制了 30 余种具有自主知识产权的有机发光客体材料和主体材料, 所制备的白光 OLED 器件在 1000 cd/m² 亮度下, 光效为 99 lm/W, 寿命大于 10000 h, 显色指数为 99; 采用自主开发的装备制备了 270×270 mm² 的发光展示样品; 150×150 mm² 照明面板……, 该课题全面完成了任务书中的研发内容, 超额完成了任务指标, 专家组一致同意该课题通过验收。

学术评价:

材料类著名国际期刊 MRS BULLETIN 专门出评论文章对申请人发明的叠层 OLED 器件结构作亮点介绍; Opto & Laser Europe 编辑 Sian Harris 对申请人发明的叠层 OLED 器件结构作了专门评论介绍;

叠层有机发光二极管技术已被业内众多研究者所认同和采纳，如国际知名 OLED 专家 Prof. Francy So、Prof. Junji Kido、Prof. Stephen R. Forrest、Prof. Jang-Joo Kim 等对申请人发明的叠层 OLED 器件作出了高度评价和引用。

业界评价：

目前，国际上多家 OLED 显示器厂家和固态照明厂家，正在采用申请人发明的叠层结构来制备 OLED 器件，例如 LG 生产的 55 英寸 OLED 电视、LG 和日本 Panasonic 等外国公司生产的 OLED 照明面板等（申请人之前所在的柯达公司已将相关专利转让给 LG 公司）。同时申请人团队自主开发的 OLED 制造设备，因其性能参数稳定，工艺上能很好的实现叠层研究的要求，目前已有众多行业内的研究机构订购此种设备来进行进一步的研究，加快了行业内 OLED 的研究进程，同时也为完成单位带来了一定的经济效益。

推广应用情况：

通过与产业界积极合作，联合攻关，本项目涉及的叠层 OLED 技术已应用于韩国 LG 公司、美国 OLED Works 公司、日本 Panasonic 公司、南京第壹有机光电有限公司等国内外大面积 OLED 电视屏或照明面板的生产。例如，仅就 OLED 照明光源而言，LG 公司采用叠层 OLED 结构的照明产品在全球的销售额已超过 1000 万美元，在中国的销售额已达 500 万元。自主设计、发明和生产的 OLED 系列真空蒸镀装备 2012 年开始销往内地和香港高校，产生直接经济效益逾 3700 余万元；并且由此而进一步发展的面积 OLED 照明面板（300 mm × 300 mm）制造设备，太阳能电池（OPV）制造设备、有机场效应晶体管（OTFT）制造设备也正在服务于行业内的多数科研机构及大专院校。

主要知识产权证明目录:

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明专利	Providing an Organic Electroluminescent Device Having Stacked Electroluminescent Units	美国	US6872472B2	2005年03月29日	美国专利无编号	Eastman Kodak Company	Liang-Sheng Liao; Ching W. Tang	有效专利
发明专利	Tandem OLED Having an Organic Intermediate Connector	美国	US7494722B2	2009年02月24日	美国专利无编号	Eastman Kodak Company	Liang-Sheng Liao; Tukaram K. Hatwar	有效专利
发明专利	具有N-型和P-型有机层的连接单元的级联有机电致发光器件	中国	ZL200410038794.7	2009年06月17日	509491	伊斯曼柯达公司	廖良生、K·P·克卢贝克、D·L·康福特、邓青云	有效专利
发明专利	White OLEDs With a Color-Compensated Electroluminescent Unit	美国	US7560862B2	2009年07月14日	美国专利无编号	Eastman Kodak Company	Liang-Sheng Liao; Tukaram K. Hatwar	有效专利
发明专利	Cascaded Organic Electroluminescent with Improved Voltage Stability	美国	US6717358B1	2004年04月06日	美国专利无编号	Eastman Kodak Company	Liang-Sheng Liao; Kevin P. Klubek	有效专利
发明专利	Tandem OLEDs Having Low Drive Voltage	美国	US7075231B1	2006年07月11日	美国专利无编号	Eastman Kodak Company	Liang-Sheng Liao; Tukaram K. Hatwar	有效专利
发明专利	蒸镀遮罩、蒸镀系统及材料的提纯方法	中国	ZL201310120171.3	2015年08月19日	1765065	苏州大学	廖良生、丁磊、周东营	有效专利
实用新型专利	蒸镀源喷嘴	中国	ZL201020561254.8	2011年05月18日	1797998	苏州方昇光电装备技术有限公司	廖良生、唐劭	有效专利
发明专利	一种白光有机电致发光器件及其制备方法	中国	ZL201010013668.1	2012年02月29日	915500	陕西科技大学	张方辉、蒋谦、阎洪刚、刘丁菡、丁磊	有效专利
发明专利	有机光电转换、照明和显示系统	中国	ZL201010013666.2	2013年02月13日	1137355	陕西科技大学	张方辉、蒋谦、阎洪刚、刘丁菡、丁磊	有效专利

主要完成人情况：

1. 姓名：廖良生

排名：1

行政职务：无

技术职务：教授

工作单位：苏州大学

完成项目时所在单位：苏州大学

为本项目主要贡献：项目期间，作为第一发明人，发明了叠层 OLED 新型器件结构，以及全有机内部连接层材料与结构；解决了高性能有机蒸镀源、三源共蒸、模板自动切换、成膜均匀等关键技术；创新性提出、设计和制造了适用于制备叠层 OLED 的一系列国产化研发设备。

曾获奖情况：2009 年入选国家“千人计划”；

2009 年入选江苏省“高层次创新创业人才引进计划”；

2007 年获美国柯达公司“杰出发明人”奖；

1998 年获江苏省科学技术进步一等奖（名列第六）；

2017 年获教育部高等学校科学研究优秀成果奖二等奖（名列第一）

2. 姓名：丁磊

排名：2

行政职务：无

技术职务：副教授

工作单位：陕西科技大学

完成项目时所在单位：苏州大学

为本项目主要贡献：项目期间，设计出线性蒸发源结构，对不同种类线源喷嘴结构进行测试、优化，利用自主设计开发的真空蒸镀设备制作大面积 OLED 面板，及表征 OLED 面板的性能。

曾获奖情况：2017 年获教育部高等学校科学研究优秀成果奖二等奖（名列第三）

3. 姓名：周东营

排名：3

行政职务：讲师

技术职务：无

工作单位：苏州大学

完成项目时所在单位：苏州大学

为本项目主要贡献：项目期间，参与了叠层 OLED 的研究和蒸发源的设计创新，参与发明了均匀性蒸镀薄膜控制的线性蒸发源技术，提出了具有稳定性质的连接层材料，提出了实现低驱动电压的叠层器件结构。

曾获奖情况：无

4. 姓名：王照奎

排名：4

行政职务：无

技术职务：副教授

工作单位：苏州大学

完成项目时所在单位：苏州大学

为本项目主要贡献：项目期间，设计发明了多种叠层 OLED 器件的内部连接层材料与结构，参与解决了叠层 OLED 内部连接层中的载流子产生和注入问题，参与制备出目前国内最大面积的柔性 OLED 照明面板。

曾获奖情况：2017 年获教育部高等学校科学研究优秀成果奖二等奖（名列第四）

5. 姓名：蒋佐权

排名：5

行政职务：无

技术职务：副教授

工作单位：苏州大学

完成项目时所在单位：苏州大学

为本项目主要贡献：项目期间，发明了关键的主体材料来实现高效的 OLED 器件，特别是蓝光和白光器件，发明了双极主体材料使其能够应用在高效小面积和大面积白光 OLED 面板。

曾获奖情况：2010 年获湖北省优秀博士论文奖

2017 年获教育部高等学校科学研究优秀成果奖二等奖（名列第五）

6. 姓名：武启飞

排名：6

行政职务：副总经理

技术职务：助理工程师

工作单位：苏州方昇光电股份有限公司

完成项目时所在单位：苏州方昇光电股份有限公司

为本项目主要贡献：项目期间，参与完成高性能白光叠层 OLED 器件结构的设计与开发，开发设计了能够满足白光叠层 OLED 器件制备要求的真空蒸镀设备，承担蒸镀设备及其关键技术的推广应用。

曾获奖情况：无

完成人合作关系说明：

(1) 本项目第一完成人廖良生教授作为本项目负责人，是项目总体思路、理论研究和体系技术的提出者和组织者。项目期间，作为第一发明人，发明了叠层 OLED 新型器件结构，以及全有机内部连接层材料与结构；解决了高性能有机蒸镀源、三源共蒸、模板自动切换、成膜均匀等关键技术；创新性提出、设计和制造了适用于制备叠层 OLED 的一系列国产化研发设备。

(2) 本项目的第二完成人丁磊，自 2012 年在廖良生教授指导下攻读博士学位以来，参与本项目的研究。设计出线性蒸发源结构，对不同种类线源喷嘴结构进行测试、优化，利用自主设计开发的真空蒸镀设备制作大面积 OLED 面板，及表征 OLED 面板的性能。

(3) 本项目的第三完成人周东营，自 2010 年在廖良生教授指导下攻读硕士及博士学位以来，参与本项目的研究。参与了叠层 OLED 的研究和蒸发源的设计创新，参与发明了均匀性蒸镀薄膜控制的线性蒸发源技术，提出了具有稳定性质的连接层材料，提出了实现低驱动电压的叠层器件结构。

(4) 本项目的第四完成人王照奎，自 2012 年加入廖良生教授的课题组以来，参与本项目的研究。设计发明了多种叠层 OLED 器件的内部连接层材料与结构，参与解决了叠层 OLED 内部连接层中的载流子产生和注入问题，参与制备出目前国内最大面积的柔性 OLED 照明面板。

(5) 本项目的第五完成人蒋佐权，自 2011 年加入廖良生教授的课题组以来，参与本项目的研究。发明了关键的主体材料来实现高效的 OLED 器件，特别是蓝光和白光器件，发明了双极主体材料使其能够应用在高效小面积和大面积白光 OLED 面板。

(6) 本项目的第六完成人武启飞，自 2008 年苏州方昇光电装备技术有限公司成立以来，与廖良生教授的课题组紧密合作，参与本项目的研究。参与完成高性能白光叠层 OLED 器件结构的设计与开发，开发设计了能够满足白光叠层 OLED 器件制备要求的真空蒸镀设备，承担蒸镀设备及其关键技术的推广应用。