

## 分析测试科学奖专题

**编者按:** 中国分析测试协会分析测试科学奖(简称“分析测试科学奖”,原名“CAIA奖”)是我国分析测试领域唯一经国家科学技术奖励办公室批准设立的社会团体奖项,旨在表彰该领域在新发现、新原理、新技术及新方法研究与应用方面取得突出成就的单位和个人。自1993年设立以来,对加强分析测试领域的基础性和应用性研究、推动技术进步与成果转化、提高我国分析测试科技人员的积极性、创造性发挥了重要作用。中国分析测试协会2024、2025年度分别评出分析测试科学奖获奖项目25、43项,获奖成果涵盖前沿基础研究、关键技术突破及实际应用创新等多个方向,展现了我国分析测试科技的最新发展水平。为及时向学界和产业界推介优秀成果,本刊特别策划了“分析测试科学奖专题”系列,以促进学术交流与技术推广,助力分析测试领域高质量发展。本专题将陆续刊出,敬请广大读者关注!

# 有机发光晶体管:驱动发光一体化的新型显示技术

官少卿<sup>1,2</sup>, 秦正生<sup>1\*</sup>, 董焕丽<sup>1,2\*</sup>

(1. 中国科学院化学研究所有机固体实验室, 北京 100190; 2. 中国科学院大学 化学科学学院, 北京 100049)

**摘要:** 显示技术的持续创新对信息产业发展至关重要。有机发光晶体管(OLET)作为一种新兴的驱动发光一体化器件,因具有将有机场效应晶体管的开关放大功能与有机发光二极管的发光特性集成于单一器件架构而备受关注。该文概述了OLET技术在材料创制与器件设计方面的最新进展。在高迁移率发光有机半导体材料方面,通过分子结构设计和聚集态优化等策略,成功突破了高迁移率与强发光难以协同的瓶颈;在器件性能方面,利用OLET独特的开放式发光特性和栅压调控机制,实现了高偏振度发光(偏振度高达0.97)和超窄光谱发射(半峰宽达13 nm)。这些突破性进展为发展下一代高性能、多功能集成的新型显示技术提供了新的技术路径,展现了OLET在推动显示技术变革方面的巨大潜力。

**关键词:** 有机发光晶体管(OLET); 高迁移率发光有机半导体; 驱动发光一体化器件; 显示技术

**中图分类号:** O437.4; O471.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-4957(2026)05-0917-05

## Organic Light-Emitting Transistor: A Novel Display Technology Integrating Drive and Emission

GUAN Shao-qing<sup>1,2</sup>, QIN Zheng-sheng<sup>1\*</sup>, DONG Huan-li<sup>1,2\*</sup>

(1. Key Laboratory of Organic Solids, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. School of Chemical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The continuous innovation in display technology is crucial for the development of the information industry. As an emerging type of monolithic integrated driving and light-emitting device, organic light-emitting transistor(OLET) have attracted considerable attention due to their integration of the switching/amplification functions of organic field-effect transistors and the light-emitting characteristics of organic light-emitting diode within a single device architecture. This article reviews the latest advancements in OLET technology in terms of material innovation and device design. In the field of high mobility emissive organic semiconductors, the bottleneck of balancing high mobility with strong luminescence has been successfully overcome through strategies including molecular structure design and aggregation state optimization. In terms of the device performance, leveraging the unique open-plane light-emitting characteristics and gate-voltage modulation mechanism of OLET, highly polar-

**收稿日期:** 2025-12-17; **修回日期:** 2026-01-11

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(52233010, 52403342, T2441002)

\* **通讯作者:** 秦正生, 博士, 研究方向: 有机偏振发光晶体管显示材料与器件, E-mail: qinzs@iccas.ac.cn

董焕丽, 博士, 研究员, 研究方向: 有机高分子材料与器件, E-mail: dhl522@iccas.ac.cn

**网络首发日期:** 2026-02-02

ized emission (with a degree of polarization up to 0.97) and ultranarrow spectral emission (with a full width at half maximum as low as 13 nm) have been achieved. These breakthroughs provide a novel technological pathway for the development of next-generation high-performance, multifunctional integrated display technologies, demonstrating the significant potential of OLET in driving the evolution of display technology.

**Key words:** organic light-emitting transistor (OLET); high mobility emissive organic semiconductor; monolithically integrated driving and light-emitting device; display technology

显示技术作为信息产业的重要基石,正以前所未有的速度向柔性化、智能化与集成化方向演进。当前,基于有机发光二极管(OLED)的显示技术凭借自发光、轻柔薄、高对比度和快速响应等优异特性<sup>[1-7]</sup>,已在智能手机、电视、车载显示乃至航空航天等高端领域确立了主流地位。未来的显示应用对器件集成度、功耗表现与功能集成提出了更为严苛的要求。这些发展趋势共同指向了一个核心技术需求——实现驱动与发光功能在更深层次上的一体化融合。在此背景下,驱动发光一体化显示技术应运而生,其核心在于突破传统分立式架构的限制,将有机场效应晶体管(OFET)的开关放大功能与OLED的发光功能在单一器件结构中实现一体化集成<sup>[8-10]</sup>。这种架构革新不仅能够显著提升器件集成密度,降低互联与寄生损耗,还为实现多场调控、智能像素管理和新型人机交互创造了条件,有望成为推动显示技术向下一代演进的关键突破口。有机发光晶体管(OLET)正是实现驱动发光一体化显示技术的理想载体。

## 1 OLET的结构与特性

作为一种三端电致发光器件,OLET集OFET的开关与放大功能与OLED的发光功能于一体<sup>[11-15]</sup>,如图1所示。OLET通过栅极电压直接调控沟道内载流子的注入、传输与复合过程,不仅从原理上简化器件结构,降低了互联寄生功耗,还为实现主动矩阵式显示提供了一种高度集成化的技术方案。此外,其独特的开放式发光结构,尤其有利于实现本征偏振发光。例如,通过利用高迁移率发光材料固有的结构各向异性,并结合角分辨偏振光谱技术,可获得高达0.97的偏振度,与完全线偏振光相当,这为高对比度偏振成像、光学防伪和安全信息显示提供了新的技术路径<sup>[16]</sup>。同时,OLET特有的平面或垂直器件构型使其易于构建本征的光学微腔。通过精准设计腔长(如调控有机层厚度)与选择反射电极材料,能够有效调制光子的出射,从而实现窄发光,为高清广色域显示技术提供支撑<sup>[17]</sup>。

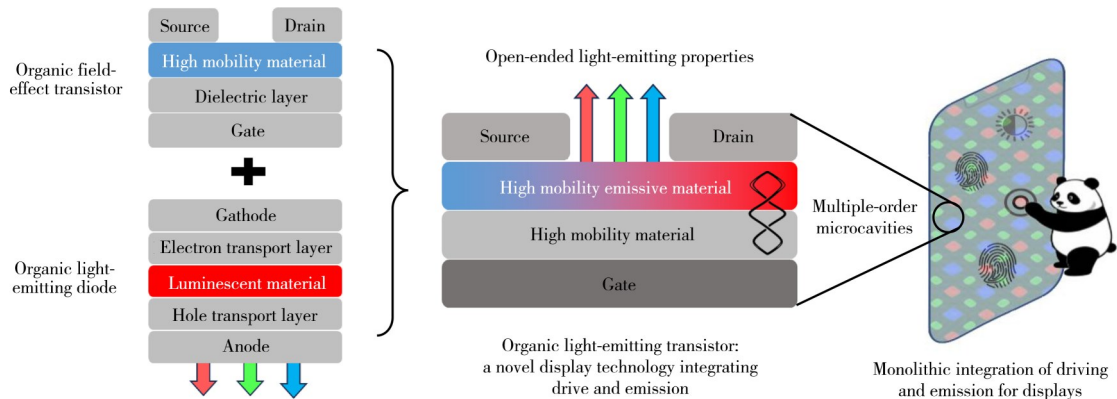


图1 有机发光晶体管(OLET)的驱动发光一体化器件结构

Fig. 1 Device structure of an organic light-emitting transistor(OLET) featuring unified driving and light-emission

## 2 关键材料创制与OLET器件结构设计的研究进展

发展高性能OLET器件的关键在于创制兼具高迁移率与强发光特性的有机半导体材料<sup>[18]</sup>。这一挑战长期制约着该领域的发展,因为高载流子迁移率通常要求优异的分子平面性、紧密的分子堆积以形成高效的载流子传输通道,而强发光则往往需要抑制分子间紧密堆积带来的荧光猝灭效应,二者在分子设计与聚集态结构上存在内在矛盾<sup>[19]</sup>。近年来,通过深入的构效关系研究,一系列创新的分子材料设计策略被提出并成功实践。首先,在分子设计上,研究人员提出了“扭曲构象”与“分段共轭”的

策略<sup>[6]</sup>。以代表性分子2,6-二苯基蒽(DPA)为例<sup>[20]</sup>,在其单晶结构中,中心蒽核与外围苯环之间存在约20°的扭转角,且DPA单晶中分子中采用鱼骨状堆积模式形成J-聚集结构。这种结构有效地抑制了DPA在固态下的荧光猝灭效果,从而实现了高达41.2%的光致发光量子效率(PLQY)。在聚集态结构中,DPA单晶中的多重CH- $\pi$ 相互作用能够形成二维电荷输运网络以实现高迁移率(单晶迁移率 $> 30 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ),打破了以往研究中高迁移率与强发光难以协同的普遍认识。除了在代表性分子体系(如DPA及其衍生物)上取得突破之外,研究还可以延伸至聚合物及其他高迁移率发光材料体系。例如“介观聚合物”这一创新性概念的提出<sup>[21]</sup>,通过精准控制聚合度(分子量1~10 kDa)和保持窄分子量分布,巧妙平衡了材料的结构规整性与溶液加工性。这类材料不仅表现出平衡的双极性高迁移率,还保持了较高的荧光量子效率,为解决传统高分子半导体批次重现性差的问题提供了有效方案。此外,通过合理的分子结构设计,如引入强发光中心苝、萘等结构单元构建新型共轭分子,数十例高迁移率发光材料(迁移率 $> 17 \text{ cm}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ , PLQY $> 80\%$ )被成功开发<sup>[12,15,18-19,22-24]</sup>,其中部分材料体系通过优化实现双极性平衡输运特性,为实现高效率电光转化和高稳定性OLET器件奠定了坚实的材料基础。这些材料体系的突破,不仅丰富了高迁移率发光材料的选择,更建立了系统的分子构效关系,为后续材料设计提供了重要的理论指导。

在器件研究方面,随着核心材料的突破,OLET在实现多功能、高性能光电子器件方面取得了重要进展。在偏振发光OLET领域,研究已从简单的材料本征偏振特性利用,发展到通过双分子掺杂与栅压调控实现多色偏振发射的动态调控。例如,基于DPA单晶主体,在并四苯和并五苯双分子作为客体的掺杂体系下,本征白色偏振发光半导体单晶被成功制备,其光致发光的偏振度高达0.96,并以此为基础构筑了有机偏振发光晶体管(OPLETs),实现了栅压驱动下的宽范围发光颜色调控(色坐标从(0.569 1, 0.355 4)变化至(0.296 8, 0.223 3)),展现了其在智能可调偏振光源方面的应用潜力<sup>[25]</sup>。在窄光谱发射与高效率OLET领域,近期研究通过构建新型水平驱动-垂直发光集成的器件结构,将高迁移率C8-BTBT作为沟道层,与精确设计厚度的电荷传输层和发光层结合,并在全反射银镜与半透明顶电极之间形成本征多阶光学微腔。该结构不仅利用微腔的选模作用将蓝光发射的半峰宽窄化至创纪录的13 nm,还通过微腔效应增强了辐射跃迁速率,从而在实现超高色纯度的同时,将蓝光OLET的指数提升至72.6,绿光和红光OLET的电流效率也分别达到 $37.3 \text{ cd} \cdot \text{A}^{-1}$ 和 $26.3 \text{ cd} \cdot \text{A}^{-1}$ ,外量子效率超过10%<sup>[17]</sup>。尤为重要的是,这种器件结构展现了优异的栅极调控能力(开关比 $> 10^5$ ),证明了OLET在同时实现高分辨率寻址与高质量发光方面的独特优势<sup>[26-27]</sup>。

### 3 未来展望

展望未来,OLET作为新型驱动发光一体化技术,其发展正从实验室的原理验证迈向性能优化与功能集成的新阶段。它所展现的功能集成、光输出可调谐、本征偏振发射、窄发光等特性,有望推动显示技术从“分立集成”向“功能融合”的范式转变。随着材料体系的进一步多元化(如n型与双极性高迁移率发光材料、高激子利用率材料、本征柔性/可拉伸材料等)、器件物理的深入理解以及微纳加工技术的进步,OLET不仅在柔性、透明、可拉伸显示方面具有独特潜力,更有望成为片上光电集成、可视传感、光通信等新兴领域的核心器件单元。在片上光电集成中,它可作为高效率的片上光源或光调制单元,与硅基电路直接融合,为芯片内/芯片间的高速光互连与光子计算提供关键硬件;在可视传感领域,其集成的发光与探测能力,可将输入信号(如生物信号或环境光)直接转化为光学输出,实现传感与显示的硬件统一;在光通信方面,其固有的偏振与窄发光特性,有助于提升光信号的编码维度与抗干扰能力,为发展微型化、高密度的可见光通信开辟新路径,为我国在新型显示与信息光电技术的自主创新与国际引领提供持续而重要的支撑。

#### 参考文献:

- [1] Joo W J, Kyoung J, Esfandyarpour M, Lee S H, Koo H, Song S J, Kwon Y N, Song S H, Bae J C, Jo A, Kwon M J, Han S H, Kim S H, Hwang S, Brongersma M L. *Science*, **2020**, 370(6515): 459-463.
- [2] Fan X C, Wang K, Shi Y Z, Sun D M, Chen J X, Huang F, Wang H, Yu J, Lee C S, Zhang X H. *SmartMat*, **2023**, 4: e1167.

- [3] Chan C Y, Tanaka M, Lee Y T, Wong Y W, Nakanotani H, Hatakeyama T, Adachi C. *Nat. Photonics*, **2021**, 15(3): 203–207.
- [4] Tu L J, Xie Y J, Li Z, Tang B Z. *SmartMat*, **2021**, 2(3): 326–346.
- [5] Yang J J, Hu D H, Zhu F, Ma Y G, Yan D H. *Sci. Adv.*, **2022**, 8(50): eadd1757.
- [6] Liao C Z, Xiong Y Y, Fu Y, Chen X F, Occhipinti L G. *Wearable Electron.*, **2025**, 2: 23–39.
- [7] Yin D, Jia S X, Zhang H Y, Li S H, Liu Y F, Feng J. *Wearable Electron.*, **2025**, 2: 215–236.
- [8] McCarthy M A, Liu B, Donoghue E P, Kravchenko I, Kim D Y, So F, Rinzler A G. *Science*, **2011**, 332(6029): 570–573.
- [9] Gao H K, Miao Z G, Qin Z S, Yang J X, Wang T Y, Gao C, Dong H L, Hu W P. *Adv. Mater.*, **2022**, 34(8): 2108795.
- [10] Muhieddine K, Ullah M, Maasoumi F, Burn P L, Namdas E B. *Adv. Mater.*, **2015**, 27(42): 6677–6682.
- [11] Hepp A, Heil H, Weise W, Ahles M, Schmechel R, Von Seggern H. *Phys. Rev. Lett.*, **2003**, 91(15): 157406.
- [12] Qin Z S, Gao H K, Dong H L, Hu W P. *Adv. Mater.*, **2021**, 33(31): 2170245.
- [13] Capelli R, Toffanin S, Generali G, Usta H, Facchetti A, Muccini M. *Nat. Mater.*, **2010**, 9(6): 496–503.
- [14] Liu C F, Liu X, Lai W Y, Huang W. *Adv. Mater.*, **2018**, 30(52): 802466.
- [15] Qin Z, Gao C, Dong H, Hu W. *Adv. Opt. Mater.*, **2023**, 11(13): 2201644.
- [16] Qin Z S, Wang T Y, Gao H K, Li Y, Dong H L, Hu W P. *Adv. Mater.*, **2023**, 35(40): 2301955.
- [17] Miao Z G, Gao C, Shen M L, Wang P, Gao H K, Wei J B, Deng J, Liu D, Qin Z S, Wang P, Lei Y N, Lo S C, Zhang X T, Yuan G C, Namdas E B, Ma Y G, Dong H L, Hu W F. *Nat. Mater.*, **2025**, 24(6): 917–924.
- [18] Xie Z Y, Liu D, Zhang Y, Liu Q, Dong H L, Hu W P. *Chem. J. Chin. Univ.*, **2020**, 41(6): 1179–1193.
- [19] Xie Z Y, Liu D, Gao C, Dong H L, Hu W P. *Nat. Rev. Mater.*, **2024**, 9(12): 837–839.
- [20] Liu J, Zhang H T, Dong H L, Meng L Q, Jiang L F, Jiang L, Wang Y, Yu J S, Sun Y M, Hu W P, Heeger A J. *Nat. Commun.*, **2015**, 6: 10032.
- [21] Guo X F, Zhang Y H, Hu Y X, Yang J X, Li Y, Ni Z J, Dong H L, Hu W P. *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2021**, 60(27): 14902–14908.
- [22] Zheng L, Li J F, Zhou K, Yu X X, Zhang X T, Dong H L, Hu W P. *Nano Res.*, **2020**, 13(7): 1976–1981.
- [23] Liu D, De J B, Gao H K, Ma S Q, Ou Q, Li S, Qin Z S, Dong H L, Liao Q, Xu B, Peng Q, Shuai Z G, Tian W J, Fu H B, Zhang X T, Zhen Y G, Hu W P. *J. Am. Chem. Soc.*, **2020**, 142(13): 6332–6339.
- [24] Wan Y J, Deng J, Wu W L, Zhou J D, Niu Q, Li H Y, Yu H K, Gu C, Ma Y G. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2020**, 12(39): 43976–43983.
- [25] Qin Z S, Zhang Y, Wang T Y, Gao H K, Gao C, Zhang X T, Dong H L, Hu W P. *Nat. Photon.*, **2025**, 19(4): 378–386.
- [26] Miao Z G, Shen M L, Gao H K, Liu Z L, Zhang B L, Wang P, Liu D, Qin Z S, Zhang X T, Gao C, Hu W P, Dong H L. *Adv. Mater.*, **2025**, e14652.
- [27] Li D H, Hou Y C, Wang J, Xing S, Shen Z H, Tao Y T, Liu Y, Yuan W B, Liu X W, Xu W D, Li X C, Leo K, Wu Z B, Tao Y T, Huang W. *Nat. Photon.*, **2026**, 20(1): 109–118.

(责任编辑: 龙秀芬)

## 本期“分析测试科学奖专题”获奖项目介绍

**获奖项目：**有机发光晶体管材料与器件综合测试平台及应用

**获奖人员：**董焕丽、胡文平、高灿、李立强、秦正生、高海阔、倪振杰、苗扎根、刘单、谢子仪

**项目简介：**有机发光晶体管(OLET)是一种集有机场效应晶体管驱动与有机发光二极管发光功能于一体的小型化光电集成器件，具备开关、信号放大和发光显示等多重功能，在可穿戴电子、新型显示、光通信等领域具有广阔应用前景。然而，OLET作为三端栅压调控器件，其微纳尺度、低亮度发光信号的精准测量、多功能原位测试及多形态器件的标准化表征一直是制约该领域发展的关键技术瓶颈。

针对上述挑战，本项目团队围绕OLET材料与器件的高精度、多功能、标准化测试开展系统研究，成功开发了具有自主知识产权的“高精度多功能原位电光转化测试技术与平台”。该平台集成了弱光信号增强、微纳尺度动态测试、栅压调控与角分辨偏振光谱联用等先进技术，实现了OLET光电特性的同步、精准、原位表征。主要创新成果包括：(1)在国际上首次揭示了OLET的本征双极性发光机制及其效率影响规律，推动了 $n$ 型与双极性有机半导体材料的设计范式创新；(2)通过栅压调控与偏振光谱技术结合，实现了各向异性发光与激发态的可控调节，成功开发出场效应调控的电致变色与高偏振度OLET器件；(3)建立并完善了适用于平面与非平面结构的多形态OLET标准化测试平台，并基于创新的电荷传输缓冲层结构的OLETs器件，开发出外量子效率达13.9%、开口率超过80%的创纪录性能器件，为全彩显示与面发射技术提供了新方案。

自2018年以来，团队在*Nat. Mater.*、*Nat. Chem.*、*Sci. Adv.*、*Adv. Mater.*等国际顶尖期刊发表代表性论文10篇，申请/授权国内外专利22项，成果获得国内外同行广泛引用与高度评价。项目第一完成人董焕丽研究员曾获国家自然科学二等奖(两次)、中国青年科学家奖、中国青年女科学家团队奖等多项荣誉。



### 团队介绍：

本项目团队由中国科学院化学研究所与天津大学理学院的科研骨干组成，长期致力于有机高分子半导体材料与器件的前沿研究，特别是在高迁移率有机半导体、高迁移率发光材料、有机场效应晶体管与有机发光晶体管等领域具有深厚积累。项目第一完成人董焕丽研究员为国家杰出青年科学基金获得者，担任*Wearable Electronics*期刊主编，在有机光电材料与器件领域发表论文300余篇，主持国家重点研发计划、国家自然科学基金重点项目等多项国家级科研任务。团队依托自主搭建的高精度测试平台，与国内外多家高校、科研机构及企业(如京东方)开展紧密合作，致力于推动OLET技术从基础研究向产业应用转化，为我国在新型显示与光电集成领域的自主创新与发展提供了关键技术支撑。