

# 华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室

## 工作简报

2021 年第 1 期

(总第 69 期)

华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室编 2021 年 4 月 12 日

---

发光材料与器件国家重点实验室召开第三届学术委员会第三次会议	1
南光集团副总经理罗群一行来实验室参观调研 .....	4
番禺区委常委唐开明一行来实验室参观调研 .....	6
京东方科技集团执行副总裁高文宝一行来实验室参观调研 .....	8
发光材料与器件国家重点实验室主要研究进展介绍 .....	10
I. Chem Soc Rev -有机光电材料在光控疾病诊疗中的研究进展	10
II. 有机片层单晶的光谱增益与高性能场效应发光晶体管外量子效率突破 3.6% .....	13
III. B-N 共价键单元构筑高效有机太阳能电池聚合物给体材料 .....	17
1-3 月份境内外学者来国重室访问交流情况 .....	21

# 发光材料与器件国家重点实验室召开第三届学术委员会第三次会议

2021年1月3日，“发光材料与器件国家重点实验室”在广州召开了第三届学术委员会第三次会议。

本次会议线上线下同时进行，华南理工大学高松校长和朱敏副校长出席会议并代表学校领导致辞。实验室学术委员会主任唐本忠院士、副主任田禾院士、南策文院士、委员祝世宁院士、李永舫院士、张洪杰院士、刘云圻院士、曹镛院士、欧阳世翕教授、杨柏教授、邱建荣教授、段炼教授、马於光教授、彭俊彪教授出席了会议，出席学委会的委员共14位，符合法定程序。学校科技处领导、实验室骨干成员列席本次会议。



线上线下同时进行

首先，华南理工大学朱敏副校长代表学校领导致辞，热烈祝贺本

次会议的召开，对各位委员莅临会议表示诚挚谢意。他希望各位学术委员会委员能够一如既往地支持本实验室的建设工作，并对实验室的发展提出宝贵意见。



### 主任报告

学术委员会主任唐本忠院士主持了本次会议，委员们认真听取了实验室主任马於光教授所做的 2020 年度实验室的工作总结和下一步实验室重组建设计划报告，以及实验室蒋尚达教授、周博教授、兰林锋研究员、张凯助理研究员、胡蓉博士等五位成员所做的研究进展报告，审查了实验室 2020 年度开放课题立项工作。

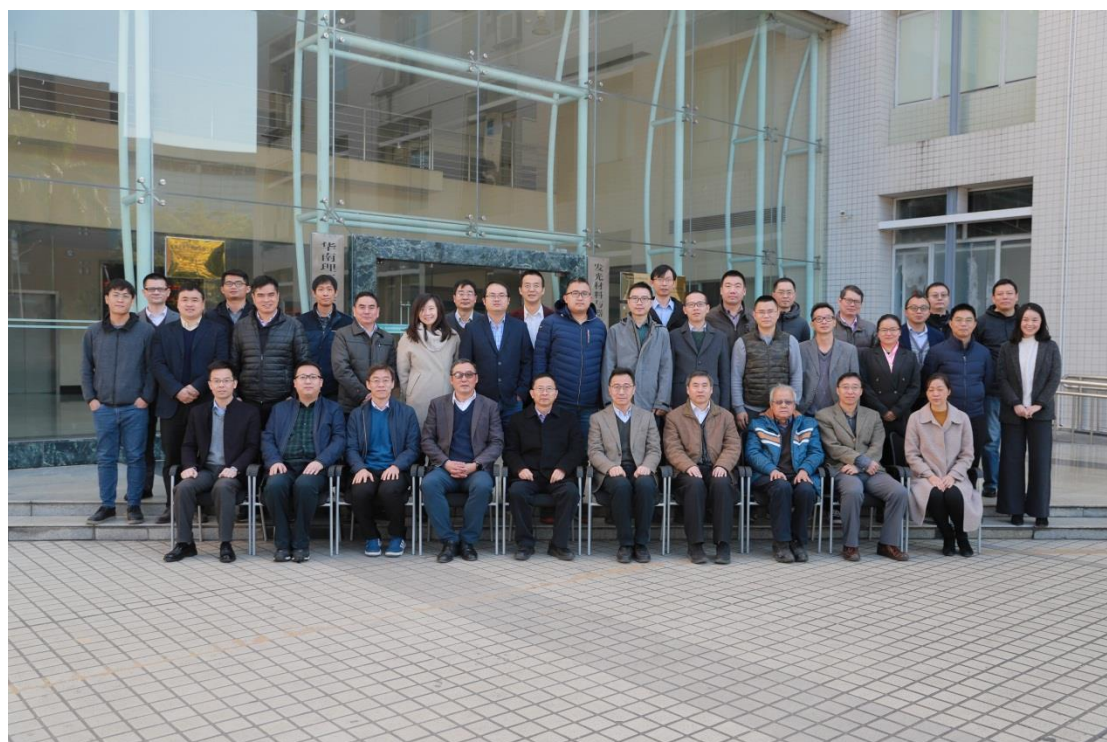
主任报告对 2020 年度，实验室在研究基地建设、科学研究、创新团队建设与人才培养等方面取得了重大进展进行了详细汇报，并对下一步实验室建设计划进行了详细的规划，不断探索新的研究方向及提高管理水平，努力营造有利于创新的环境和文化，加强探索性、原创性研究方向和变革性技术研究，为我国光电领域的发展做出更大贡献

献。

实验室依据国家新时代“四个面向”的要求，提出做实、做强、做优国家重点实验室的重组方案，形成产学研紧密结合的全链条研究布局。

学术委员会委员充分肯定了实验室在研究基地建设、科学研究、创新团队建设与人才培养等方面取得的重大进展，对实验室未来发展提出建设性意见。建议实验室进一步凝练科学研究方向并加强有组织的计划实施，突出特色，进一步集中于重大科学与技术问题。建议依托单位落实科技部做实、做强国家重点实验的部署，配套实验室完成实验室重组需要的人力、经费、实验空间等。

学术委员会委员还审批通过重点实验室 2021 年度拟资助的开放基金课题 15 项，并讨论通过了本次会议纪要。



线下与会人员合影

# 南光集团副总经理罗群一行来实验室参观调研

2月1日下午，南光（集团）有限公司常务董事、副总经理罗群校友一行来实验室参观调研科技合作事宜。华南理工大学副校长朱敏陪同调研。



马於光教授介绍实验室整体情况

发光材料与器件国家重点实验室主任马於光教授向罗群一行详细介绍了实验室的整体情况，近年来在科研创新、人才培养和队伍建设及承担科研项目等方面取得的成绩。罗群一行参观了发光材料与器件国家重点实验室的超净室、超快光学平台、核磁室、小角度 x 射线散射式等仪器测试平台，并重点参观了成果展示室。



参观实验室

在成果展示室，马於光教授向罗群一行详细介绍了柔性 AMOLED 显示屏、OLED 护眼台灯、半透明有机太阳电池等研究成果的研究背景及材料特点。胡蓉博士向罗群一行介绍了聚集诱导发光的生物应用。

罗群充分肯定了实验室取得的成绩，并表示此次来华南理工大学，是为了更好地落实习近平主席对澳门工作的系列指示和要求，在企业发展进入新的阶段后，全方位推进与华南理工大学在人才培养、人员培训、科技成果转化等领域的合作。

学校党委办公室（学校办公室）、科学技术处、科技成果转化办公室、以及材料科学与工程学院相关负责人参加了调研。

# 番禺区委常委唐开明一行来实验室参观调研

3月11日上午，番禺区委常委唐开明一行来实验室参观调研校地产学研合作事项，华南理工大学副校长朱敏陪同调研。



黄飞教授介绍实验室整体情况

发光材料与器件国家重点实验室副主任黄飞教授向唐开明一行详细介绍了实验室的整体情况，近年来在科研创新、人才培养和队伍建设及承担科研项目等方面取得的成绩。唐开明一行参观了发光材料与器件国家重点实验室的超净室、超快光学平台、小角度 x 射线散射式等仪器测试平台，并重点参观了成果展示室。



参观实验室

在成果展示室，黄飞教授向唐开明一行详细介绍了柔性 AMOLED 显示屏、热激子发光材料、OLED 护眼台灯、半透明有机太阳电池、有缘玻璃光纤等研究成果的研究背景及材料特点。



座谈交流

在座谈会上，唐开明介绍了番禺区的基本情况、产业发展优势和重点发展领域。他表示，番禺区政府对科技成果转化工作非常重视，准备出台一系列人才政策，推动科技成果转化工作。番禺区非常重视与华南理工大学的合作，希望与学校建立常态化交流机制，定期举办对接座谈会，加大双方信息之间的互通，促进人才的互动与交流。

科学技术处、科技成果转化办公室、机械与汽车工程学院、食品科学与工程学院、发光材料与器件国家重点实验室、国家金属材料近净成形工程技术研究中心负责人参加了调研。

## 京东方科技集团执行副总裁高文宝一行来实验室参观调研

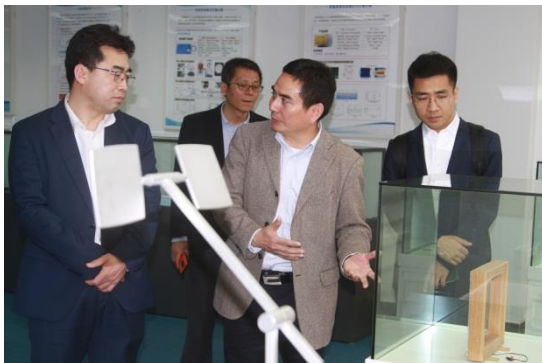
3月10日下午，京东方执行副总裁高文宝一行来实验室参观调研。

发光材料与器件国家重点实验室苏仕健教授向高文宝一行详细介绍了实验室的整体情况，近年来在科研创新、人才培养和队伍建设及承担科研项目等方面取得的成绩。



苏仕健教授介绍实验室基本情况

高文宝一行参观了发光材料与器件国家重点实验室的超净室、超快光学平台、核磁室、小角度 x 射线散射式等仪器测试平台，并重点参观了成果展示室。随后，高文宝一行还参观了化学合成室。



参观实验室

在成果展示室，苏仕健教授向高文宝一行介绍了柔性 AMOLED 显示屏、OLED 护眼台灯、半透明有机太阳电池等研究成果。高文宝表示希望有更多优秀的华南理工学子能够加入京东方科技集团，与集团一起奋斗，共同成长。

### 【集团介绍】

京东方科技集团股份有限公司（BOE）创立于 1993 年 4 月，是一家为信息交互和人类健康提供智慧端口产品和服务的物联网公司，构建以半导体显示事业为核心，Mini LED、传感器及解决方案、智慧系统创新、智慧医工事业融合发展的 BOE（京东方）航母事业群。

作为全球半导体显示产业龙头企业，BOE（京东方）带领中国显示产业实现了从无到有、从有到大、从大到强。目前全球有超过四分之一的显示屏来自 BOE（京东方），其超高清、柔性、微显示等解决方案已广泛应用于国内外知名品牌。

## 发光材料与器件国家重点实验室主要研究进展介绍

### I. Chem Soc Rev -有机光电材料在光控疾病诊疗中的研究进展

近年来，光诊疗（phototheranostics）已成为现代精准医学领域中的一个重要研究方向，引起了研究人员的极大兴趣。光诊疗材料，尤其是有机光电材料的不断推进创新更是带动了光诊疗技术的日新月异。在过去的几十年，有机光电材料已经发展成了包括小分子荧光

染料、半导体/共轭聚合物、聚集诱导发光材料在内的庞大家族，在生物医学研究和临床应用中发挥着越来越重要的作用。

最近，华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室冯光雪教授课题组联合南开大学丁丹教授课题组在国际著名期刊 *Chem. Soc. Rev.* 发表了题为“Design of superior phototheranostic agents guided by Jablonski diagrams”的综述，系统阐述了如何在雅布伦斯基图（Jablonski diagram）指导下设计和优化有机光电材料的各种能量利用途径，从而实现更优越的光诊疗生物医学应用。

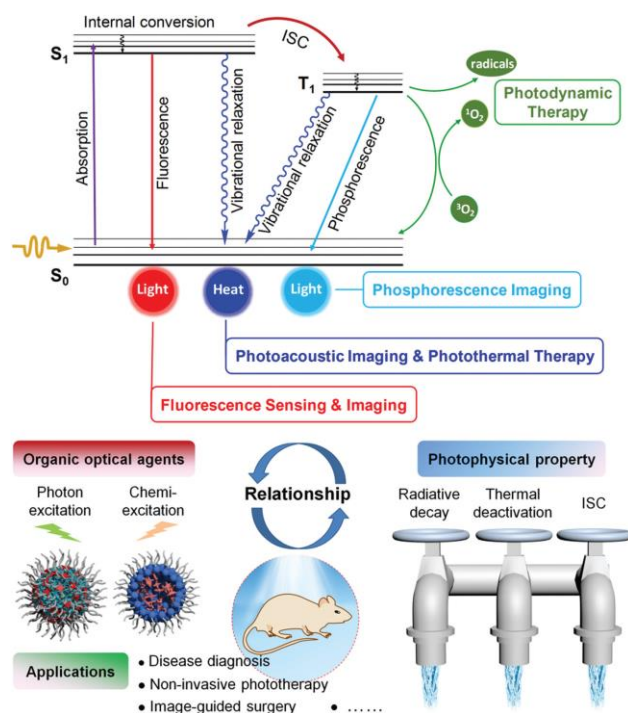


图 1. Jablonski diagram 以及它在设计有机光诊疗材料中的指导作用。

该文章首先以从激发单重态到基态的辐射跃迁产生荧光为例，从分子设计的角度探讨了如何利用电子推拉体系、扭曲分子内电荷转移（TICT）、空间位阻、聚集诱导发光等机制实现对荧光发射波长和亮度的调控；接着讨论了如何通过纳米工程调控纳米颗粒尺寸、微环境、

分子有序排列（J-聚集体、纳米晶体）以及染料-蛋白质组装等策略实现有机发光聚集体的光学性能的进一步优化。文章进而从给体-受体选择、共轭长度调控、光致电子转移（PET）、荧光猝灭、 $\pi-\pi$ 堆积效应、超分子组装等角度系统参数阐述了如何通过抑制其他能量跃迁途径从而实现对其热失活途径的最大化利用，从而显著提高光热治疗和光声成像的效果。此外，激发态能量的系间穿越（ISC）为室温磷光成像和光动力治疗提供了动力来源，然而 ISC 是一个电子自旋禁阻过程，因此，文章探讨了包括杂原子取代、H-聚集体、晶体化、主客体掺杂等巧妙设计从而实现室温磷光的策略，进而介绍了室温磷光在高灵敏生物成像中的巨大优势和潜力。作者接着从提高活性氧产生效率和调控活性氧类型两个方面重点讨论了提高光动力治疗的策略。

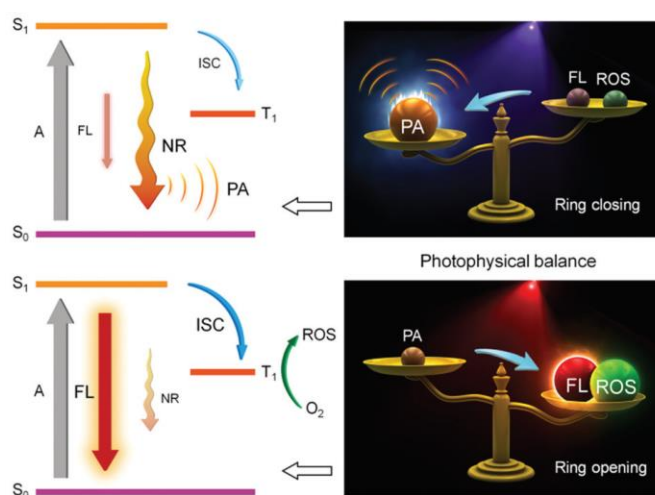


图 2.光控荧光/光声双模式可逆探针机理示意图。

文章还进一步介绍了在 Jablonski Diagram 指导下设计响应性诊疗探针实现动态监测、手术导航、精准诊疗等的策略。响应性探针主要利用分子内电荷转移、能量转移、PET、聚集与解聚集、组装与解组装、改变共轭结构等方式，通过探针在不同环境下的能量跃迁途径

的改变从而实现。最后，作者还探讨了以化学能替换光能来激活光诊疗效果的近期发展，该方法有效避免了激发光源的使用所带来的背景干扰和诊疗深度不足等问题，实现了灵敏的肝病诊断、肿瘤检测、成像引导手术导航、以及特异性光动力治疗等。

文章最后总结了有机光诊疗材料所面临的问题并展望了其在精准诊疗等生物学应用等领域的巨大前景，并从临床转化、机理探究、聚集体科学、机器学习等角度讨论了如何进一步推进有机光电材料在光诊疗等生物学领域的研究和发展。

论文第一作者是华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室的冯光雪教授，通讯作者为南开大学丁丹教授，华南理工大学为第一作者单位。

## **II. 有机片层单晶的光谱增益与高性能场效应发光晶体管外量子效率突破 3.6%**

时至今日，有机电泵激光仍是一个悬而未决的重要科学问题。有机单晶因其高稳定性，规律的分子取向与天然的谐振腔效应一直以来都被寄予厚望。寻求高发光且具有双极性质的有机晶体非常缺乏且重要。

近日，华南理工大学邓剑博士等设计合成了一种具有高发光效率，低增益阈值的有机片状晶体；基于该晶体的场效应的发光晶体管的量子效率获得了进一步突破。测试结果表明，该晶体的荧光效率为82%，

在光泵条件下的放大自发射的泵浦阈值为  $21 \mu\text{J cm}^{-2}$ 。基于该晶体的场效应晶体管获得了高达 3.63% 的最大外量子效率，达到该领域当前最高水平。

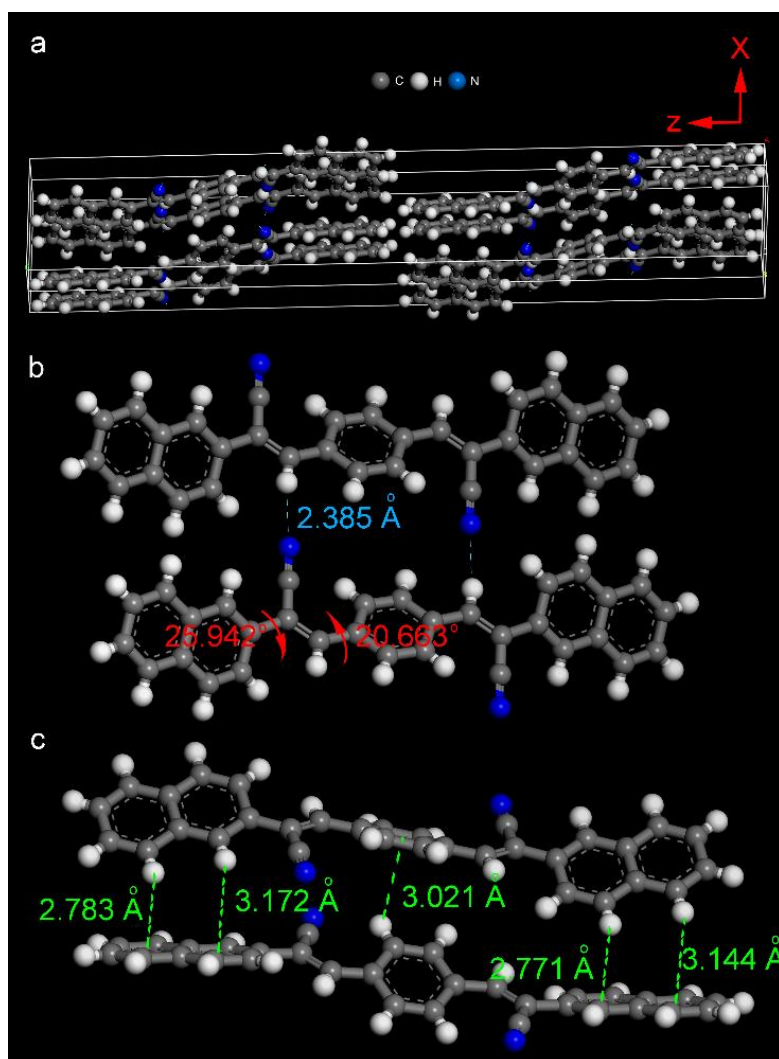


图 1 (2Z, 2'Z)-3,3'-(1,4-phenylene)bis(2-(naphthalen-2-yl)acrylonitrile) (PBNA) 二维单晶晶体结构。

研究者通过合理的分子设计，在分子主链两侧引入强吸电性质的氰基以构造出分子间的多重氢键。分子外围通过萘环的空间位阻效应以达到孤立单个分子激发态，保持其发光性能的目的。在物理气相传输生长有机单晶的过程中，多重氢键、萘环间的 C-H $\cdots$  $\pi$  与芳香环间的  $\pi$ - $\pi$  相互作用明显强于其他方向的作用力，成为该过程中的优势

方向，得到片状的有机晶体。

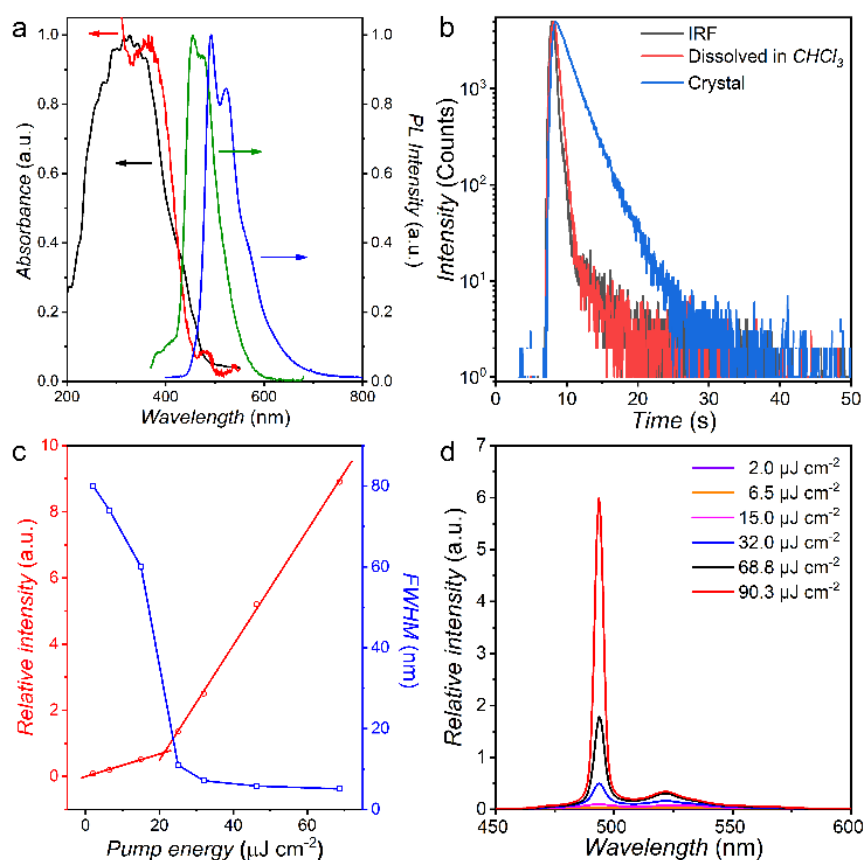


图 2. PBNA 材料的 a) 发光光谱特性, b) 荧光寿命, 及 c、d) 其晶体在光泵实验结果。

PBNA 材料晶体的荧光光谱与 THF 溶液中的荧光光谱相比，基本维持了相似的峰型特征，光谱红移较小，说明晶体的发光大体保留了单分子的特点。得益于其外围萘环的空间位阻效应，材料在晶态下的荧光效率达到 82%。使用皮秒激光进行光泵实验，发现材料具有明显的放大自发发射现象，发生放大的阈值泵浦能量仅为  $21 \mu J cm^{-2}$ 。当泵浦能量达到  $90.3 \mu J cm^{-2}$  时，其发光光谱的半峰宽从原本的 80 nm 降低到 5.1 nm。

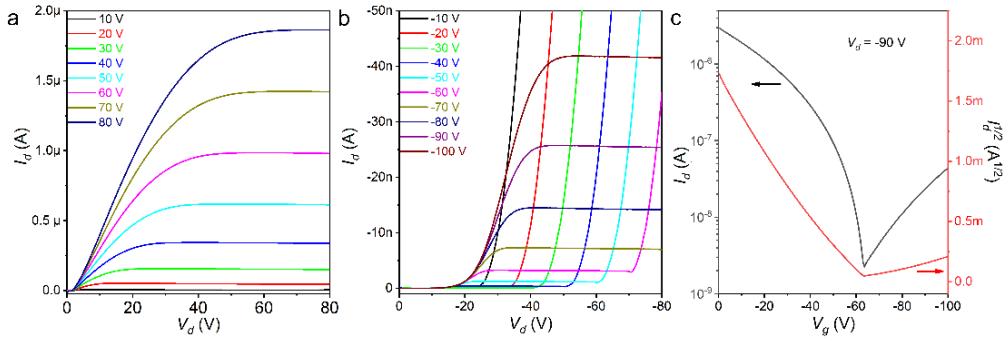


图3 基于  $\beta$ -PBNA 的场效应晶体管输出曲线和转移曲线。a) 场效应晶体管的 N 型输出曲线。

b) 场效应晶体管的 P 型输出曲线。c) 场效应晶体管转移曲线。

从其晶体管的输出曲线和转移曲线中可以清晰看到电子和空穴同时在器件注入和传输的信号。同时其 N 型输出电流明显高于 P 型输出电流，说明该材料为双极材料但显著偏 N 型性质。利用低电压下的转移曲线数据，我们计算了材料中电子和空穴的缺陷密度，分别为  $1.10 \times 10^{12}$  and  $1.38 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ ，处于相对较低的水平。

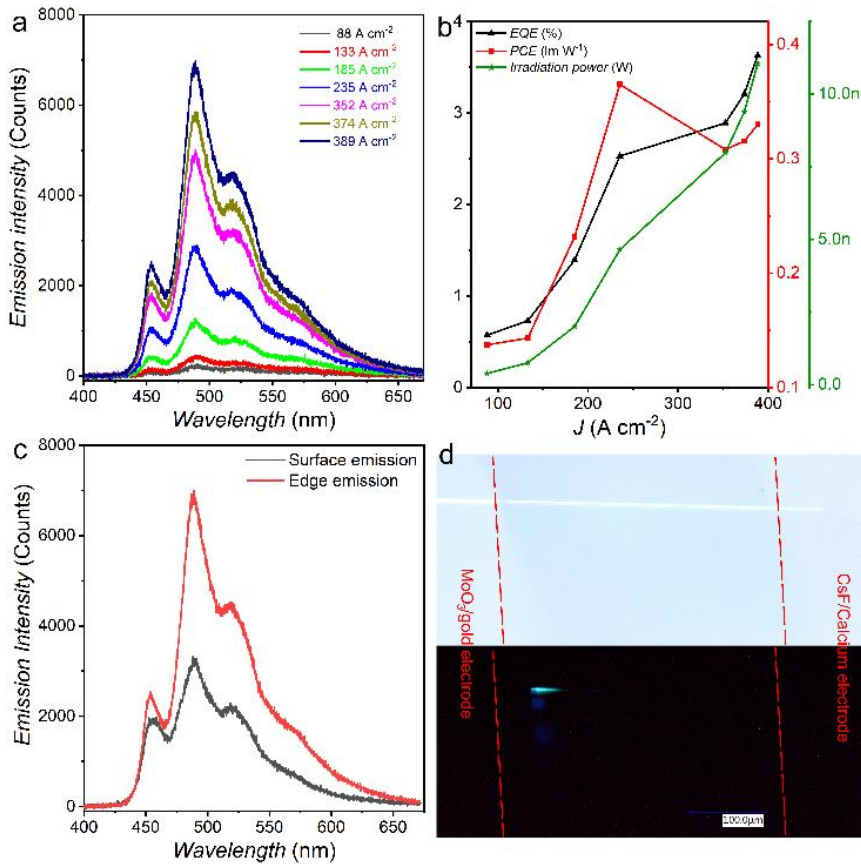


图4 PBNA 有机单晶场效应发光晶体管 a, c) 光谱及 b) 效率曲线。

器件的表现出典型的侧面发光特性。侧面光谱相较于正面光谱有一定程度的窄化。研究者将晶体转移到基板上，随后使用分步法在晶体的两端分别蒸镀上了钙电极和金电极。钙电极和金电极分别使用了氟化铯与氧化钼进行了界面修饰，提高器件的电子空穴注入能力。器件的最大外量子效率达到 3.63%，在有机单晶的场效应发光晶体管效率上获得了进一步突破。

上述文章发表在 *ACS Mater. Lett.*，通讯作者为华南理工大学的邓剑博士后、顾成研究员和马於光教授。相关工作得到了国家自然科学基金、中国博士后科学基金、广东省自然科学基金、中央高校基本科研业务费的资助。

### 文献链接

Lamellar Organic Light-Emitting Crystals Exhibiting Spectral Gain and 3.6% External Quantum Efficiency in Transistors, Liqun Liu, Chang Cai, Zejian Zhang, Shitong Zhang, Jian Deng\*, Bing Yang, Cheng Gu\* and Yuguang Ma\*, *ACS Materials Lett.* **2021**, *3*, 428-432; DOI: 10.1021/acsmaterialslett.1c00056

## III. B-N 共价键单元构筑高效有机太阳能电池聚合物给体材料

有机太阳能电池具有质轻、柔性、可进行卷对卷大面积加工等优点在新能源领域具有重大潜力，近年来得到广泛关注和研究。目前，高效聚合物给体材料多为“给电子单元-缺电子单元”交替

型共轭聚合物。相比于多样化的缺电子单元，给电子单元主要局限于苯并二噻吩（BDT）单元。

近日，华南理工大学的段春晖教授课题组，基于 B-N 共价键构筑了一种新型给电子单元 BNT，并设计合成了聚合物给体材料 PBNT-BDD，该聚合物不仅可以实现高效率有机太阳能电池器件，并且具有易于合成、能量损失小、单线态-三线态能级差  $\Delta E_{ST}$  极小等特点。

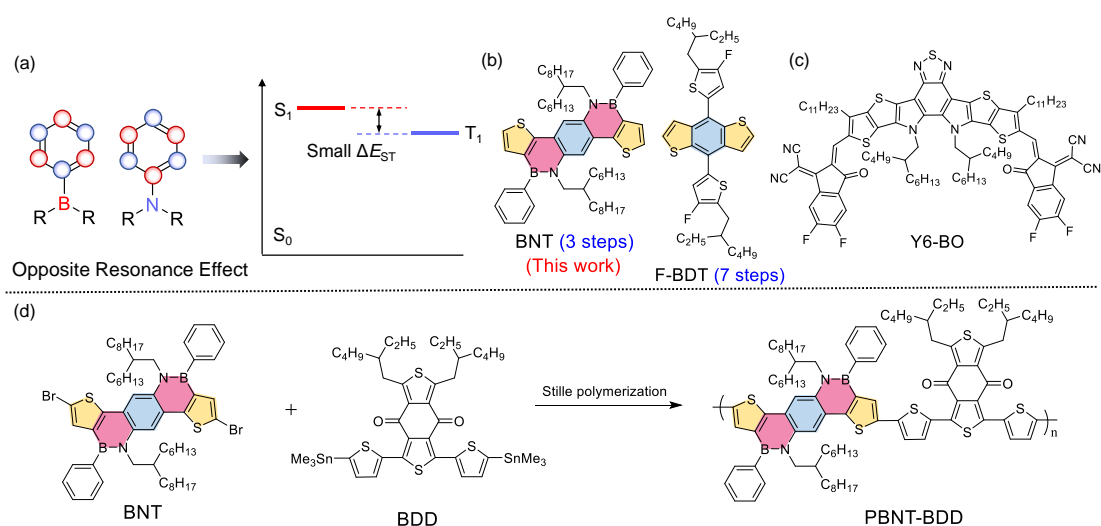


图 1. BNT 与 F-BDT 结构与合成对比，以及聚合物 PBNT-BDD 合成路线。

B-N 共价键单元（BNT）是以 2, 5-二溴对苯二胺为原料，通过 3 步高产率反应获得。相比 F-BDT 单元，BNT 单元的合成具有显著简便性。根据 BNT 单晶结构可知，BNT 单元具有良好平面性，其 B-N 键（B1-N1）键长小于 C-C 键（1.533 Å），与 C=C 键（1.415 Å）一致，说明 B、N 原子能够参与共轭体系，在保持共轭构型的同时，能通过 B、N 的杂原子效应实现能级调控。DFT 模拟计算验证了 BNT 单元的空间构型，以及确定了其为给电子单元。

作者通过 Stille 聚合反应获得了聚合物给体材料 PBNT-BDD，其

吸收与非富勒烯小分子受体 Y6-BO 吸收互补。在能级上，得益于 B、N 的杂原子效应，PBNT-BDD 具有较深的 HOMO 能级。

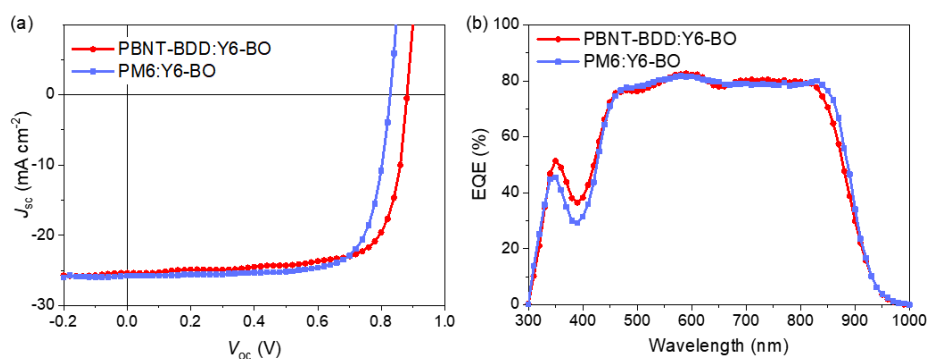


图 2. 基于 PBNT-BDD:Y6-BO 以及 PM6:Y6-BO 的器件  $J-V$  曲线与 EQE 响应图谱。

在器件方面，基于 PBNT-BDD:Y6-BO 的有机太阳能电池器件可获得 16.1% 的光电转化效率，与基于 BDT 单元构筑的 PM6 给体材料的器件效率相当。

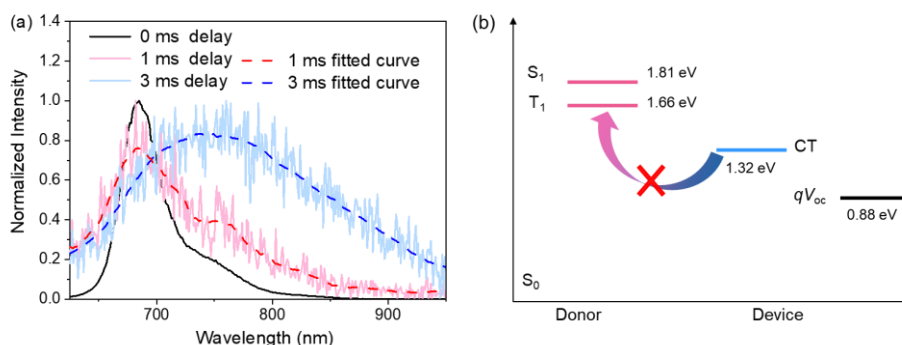


图 3. PBNT-BDD 溶液低温磷光测试以及材料与器件的 Jablonski 能级图。

另外，作者通过低温磷光表征，确定了 PBNT-BDD 的单线态-三线态能级差值 ( $\Delta E_{ST}$ ) 为 0.15 eV，远低于普通有机半导体材料的  $\Delta E_{ST}$  ( $\geq 0.6$  eV)。在能级上，PBNT-BDD 的三线态能级高于电荷转移态能级 ( $\Delta E(T_1) > \Delta E(CT)$ )，这将有效抑制有机太阳能电池的三线态的复合过程。

综上所述，B-N 共价键单元在制备高效有机太阳能电池材料方面具

有良好的前景。这一成果近期发表在 *Angewandte Chemie International Edition* 上，文章的第一作者是华南理工大学的博士后庞淑婷，通讯作者为华南理工大学的段春晖教授。该组在硼氮材料设计合成上已取得一些进展 (*Chem. Eur. J.* **2019**, *25*, 564; CN 108305944 B)。相关工作得到了国家自然科学基金和博士后基金的支持。

论文信息：

A Facile Synthesized Polymer Featuring B–N Covalent Bond and Small Singlet–Triplet Gap for High-Performance Organic Solar Cells

Shuting Pang, Zhiqiang Wang, Xiyue Yuan, Langheng Pan, Wanyuan Deng, Haoran Tang, Hongbin Wu, Shanshan Chen, Chunhui Duan, Fei Huang, Yong Cao

*Angewandte Chemie International Edition* **2021**, *60*, 8813–8817

## 1-3 月份境内外学者来国重室访问交流情况

报告人	工作单位	职称	报告题目	时间
谢涛	浙江大学	教授	Dynamic covalent polymer networks: new opportunities with old chemistry	1月14日
罗维	东华大学	教授	介孔材料的精准设计、界面构筑与低温烧结性能研究	1月15日
范宇驰	东华大学	教授	基于石墨烯的结构-功能一体化复相陶瓷	1月15日
顾辉	上海大学	教授	陶瓷固溶分相——烧结的热力学与动力学	3月23日
胡俊青	深圳技术大学	教授	基于近红外激光响应的新型光热转换材料的合成及其在癌症诊疗上的应用探索	3月26日