

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 3 期

(总第 71 期)

华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室编 2021 年 6 月 10 日

实验室一项成果荣获 2020 年度广东省自然科学奖一等奖	1
实验室董国平教授团队一项成果入选“2020 年中国光学十大进展”	2
国家知识产权局赵刚副局长一行来实验室参观调研	4
广西师范师范大学副校长苏桂发一行来实验室参观调研	5
发光材料与器件国家重点实验室举办第十二期“发光明师讲堂” .	7
“光电学术讲座”第四十七讲开讲	8
发光材料与器件国家重点实验室主要研究进展介绍	9
I . 基于合金电极辅助调控载流子输运行为的策略实现高迁移率 增强型 TFT 制备	9
II . 新兴晶体多孔材料的杂化：合成维度和电化学储能应用 .	13
5 月份境内外学者来国重室访问交流情况.....	21

实验室一项成果荣获 2020 年度广东省自然科学奖一等奖

5 月 20 日上午，广东省科技创新大会在广州召开。大会颁发了 2020 年度广东省科学技术奖，华南理工大学共有 28 项成果获奖。其中，材料科学与工程学院发光材料与器件国家重点实验室/物理与光电学院张勤远教授团队完成的成果“玻璃相图结构模型及高增益玻璃光纤”获得广东省自然科学奖一等奖。



高松校长与获奖代表（部分）合影

据悉，2020 年度广东省科学技术奖共颁奖 176 项，其中特等奖 1 项、一等奖 50 项、二等奖 125 项。

序号	项目名称	学校完成人	奖种	单位
1	玻璃相图结构模型及高增益玻璃光纤	张勤远（1）杨中民（2）徐番辉（3）禹德朝（4）姜中宏（5）	自然科学奖 一等	材料科学与工程学院/物理与光电学院

附：张勤远教授团队主持获得一等奖项目简介

玻璃相图结构模型及高增益玻璃光纤

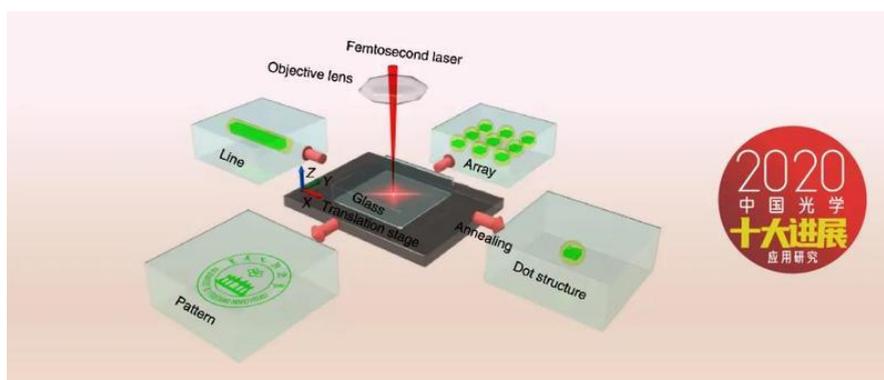
单频激光具有激光线宽非常狭窄、相干特性极其优异等优点，是超高精度和超远距离激光雷达、精密传感及超大容量光纤通信等战略新兴技术发展的迫切需求。高增益光纤是单频光纤激光器的核心工作介质和关键科学难题。本成果首次提出了玻璃相图结构模型，揭示了玻璃成分-结构-性质的内在关联；发现了红外量子剪裁多光子过程，阐明了稀土离子高效发光和调控机制；研制了高增益光纤与单频光纤激光器。相关成果在科学出版社出版专著三部，并已应用于某大功率激光系统等工程。

实验室董国平教授团队一项成果入选“2020年中国光学十大进展”

2021年4月25日，首届光学前沿高峰论坛暨2020年度中国光学十大进展颁奖典礼在杭州市举行。华南理工大学材料科学与工程学院/发光材料与器件国家重点实验室董国平教授课题组发表在Nature Photonics上的成果“Reversible 3D laser printing of perovskite quantum dots inside a transparent medium”成功入选“2020年度中国光学十大进展-应用研究类”。该项研究基于钙钛矿材料本征的离子晶体结构和其较低的形成能，利用飞秒激光辐照和热处理实现了钙钛矿量子点在透明玻璃内部任意位置的可控生长，并实现了利用飞秒激光和热处理操控钙钛矿量子点在玻璃基质中的可逆发光性能，拓展了量子点在三维显示、信息防伪以及可擦重写信息存储领域的潜在应用。



董国平教授参加颁奖典礼



董国平教授团队获奖成果示意图

“中国光学十大进展”评选活动由中国激光杂志社发起，至今已成功举办 15 届，旨在促进中国优秀光学研究成果的广泛传播，推动中国光学事业的发展。凭借高学术水平的候选成果，以及严格公正的评审机制，这一奖项备受业界认可，具有高度的公信力和影响力。本年度评选活动经过首轮推荐、初评、终评三个环节，48 位评审专家综合考虑候选成果的学术价值和应用价值，并以无记名投票方式选出

最终入选的光学成果。

国家知识产权局赵刚副局长一行来实验室 参观调研

5月20日上午，国家知识产权局赵刚副局长一行来实验室参观，调研实验室平台建设和管理工作。实验室主任马於光教授为赵刚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。



马於光教授介绍实验室整体情况

随后，赵刚一行参观了成果展示室。在成果展示室，马於光主任向赵刚副局长一行详细介绍了柔性 AMOLED 显示屏、OLED 护眼台灯、半透明有机太阳能电池的等研究成果的研究背景及材料特点。宁洪龙研

究员向赵刚副局长一行详细介绍了新型氧化物材料、氧化物 TFT 背板的研究背景及应用。最后胡蓉博士向赵刚副局长一行介绍了聚集诱导发光的生物应用。赵刚副局长一行对实验室取得的原创性成果给予了很高的评价。

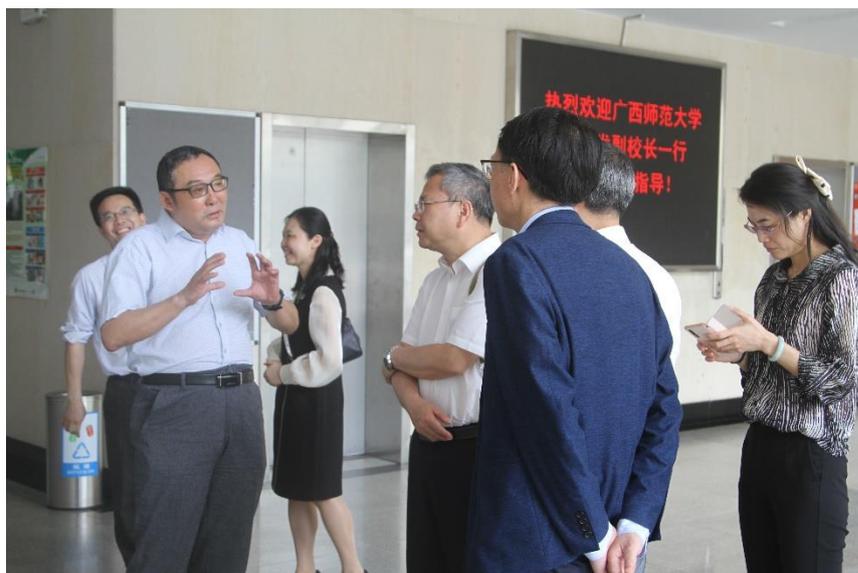


参观实验室

广西师范师范大学副校长苏桂发一行来实验室参观调研

5月8日上午，广西师范师范大学副校长苏桂发一行来实验室参观，调研实验室平台建设和管理工作。实验室主任马於光教授为苏桂发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。



马於光教授介绍实验室整体情况

苏桂发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。苏桂发副校长对发光材料与器件国家重点实验室的发展建设以及运行管理给予了高度评价，并表达了今后将与发光材料与器件国家重点实验室加强实验室学习交流的强烈愿望。



参观实验室

发光材料与器件国家重点实验室举办第十二期“发光明师讲堂”

5月11日下午16:00，发光材料与器件国家重点实验室举办第十二期“发光明师讲堂”，邀请华南理工大学自动化科学与工程学院副院长俞祝良教授，为师生做主题为“深度学习原理及其应用”的学术报告。



俞祝良教授作报告

此次报告由发光材料与器件国家重点实验室主任马於光教授主持，马於光教授对俞祝良教授的来访表示热烈的欢迎，简要介绍了俞祝良教授的成就荣誉。

在报告中，俞祝良教授从人工智能、机器学习、深度学习之间的关系出发，向师生讲解人工智能的基本概念、数学概念及发展要素，并详细介绍人工智能的基础研究应用。与会师生针对报告中各自关心

的学术问题积极提问，俞祝良教授耐心地回答了与会师生的问题。



马於光教授为俞祝良教授颁发纪念品

报告结束后，发光材料与器件国家重点实验室主任马於光教授为俞祝良教授颁发“发光明师讲堂”纪念品。

“光电学术讲座”第四十七讲开讲

5月28日（星期五）下午15:00，“光电学术讲座”第四十七讲在线上开讲。山东大学高珂教授、实验室李锦诗博士分别为师生作学术报告。

高珂教授作题为“有机太阳电池中的多维尺度形貌”的报告。在报告中，高珂教授从一系列材料的设计、开发与应用展开；重点介绍

多维尺度形貌在有机太阳能电池中的验证，及对器件优化的指导与广泛应用。聚集基于非平衡态相图的普适性理论模型，通过结合热力学与动力学，用于理解 OPV 中的形貌演变过程，为深入理解有机太阳能电池中形貌生成过程与器件优化提供理论支撑。高珂教授还在报告中与师生们分享他的个人成长经历。

李锦诗博士作题为“折叠型空间共轭分子的电输运性质和机制研究”的报告。在报告中，李锦诗博士从测试方法原理入手，介绍其课题组新搭建的单分子电导测试平台，并以折叠型空间共轭分子为例，介绍分子电输运的性质及其多通道电输运机制，提出对单分子输运调控的新策略，讨论低维、介观层面的分子性质与材料宏观性质的相关性，以此展望对宏观材料性质的理解和高性能材料的设计。

发光材料与器件国家重点实验室主要研究进展介绍

I. 基于合金电极辅助调控载流子输运行为的策略实现高迁移率增强型 TFT 制备

在薄膜晶体管（Thin Film Transistor, TFT）技术领域，开发高导电材料和高迁移率半导体材料是实现高分辨、低延迟和大尺寸显示的关键。目前看来，高性能铜合金电极非晶氧化物（Amorphous Oxide Semiconductor, AOS）TFT 有望成为下一代显示的主流驱动器

件。但是，铜合金电极高导布线技术面临着低电阻率和高界面结合强度难以兼得的矛盾点。另外，提升单元 TFT 电学性能的常规手段是从 AOS 材料的类型、成分和掺杂出发，通过叠层、退火等手段改善载流子在沟道中的传输。AOS 接触电极（源漏电极）的研究仅限于导电性的优化、功函数的匹配（形成欧姆接触）和界面元素扩散的影响，而对于接触界面载流子的注入和输运行为的调控缺乏深入的研究和有效的干预手段。虽然导电性好的 AOS 层利于提高器件迁移率，但沟道过量载流子导致 TFT 器件阈值电压小于 0 V，表现为耗尽型，不利于降低驱动电路的能耗。如何通过电极接触界面的修饰增强对载流子的调控是实现 TFT 高迁移率和阈值电压补偿的关键。

近期，华南理工大学发光材料与器件国家重点实验室彭俊彪教授团队为解决铜电极低电阻和高结合强度难以兼得的矛盾，研制了 Cr、Zr 共掺杂下的三元铜合金（CCZ）薄膜。通过多元合金元素的交互作用，显著降低了单一元素对 Cu 结构的影响，且利用合金元素的界面偏聚和氧化作用，在保证 Cu 合金电极电阻率明显降低的同时，提升了与基板的结合强度，实现了柔性基板上高导高结合强度 Cu 合金电极。最终，将开发的电极用于稀土钕掺杂氧化铟锌（NdIZO）为有源层的 TFT 源漏电极（图 1）。

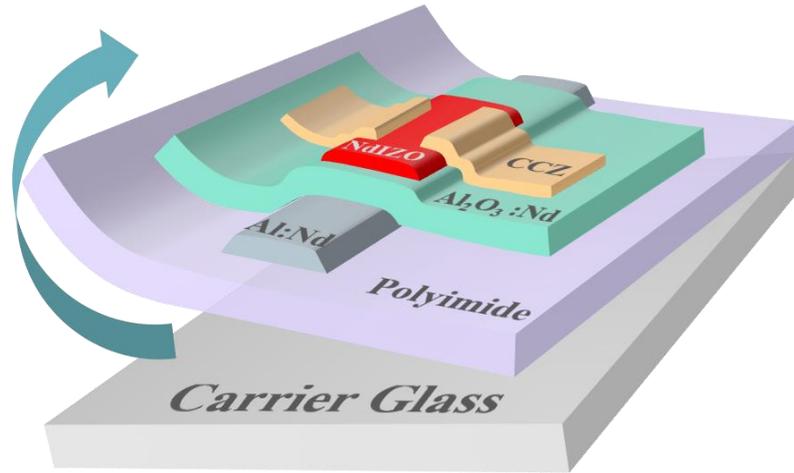


图 1 以 CCZ 为源漏电极的柔性 NdIZO-TFT 器件结构

如何控制高浓度自由载流子在沟道中的输运是实现 TFT 器件高迁移率和阈值电压补偿的核心。对于常规的纯铝 (Al) 或纯铜 (Cu) 源漏电极, 由于与有源层形成单纯的欧姆接触, 载流子的注入仅依赖于有源层势垒的调节, 因此虽然可以实现器件的高迁移, 但功函数匹配关系下, 阈值电压为负值, 表现为耗尽型。该研究团队提出了一种通过多元铜合金电极接触界面自组装可隧穿势垒层增强对高导电性有源层载流子输运行为调控的策略, 以实现高性能增强型 TFT 制备。通过 CCZ 电极的成分偏聚和界面反应, 在接触界面形成了自组装界面层 (图 2)。该界面同时受到栅极电压和源漏电压的调控, 当栅压低于 0 V 时, 该界面层作为势垒可以有效阻挡自由载流子的注入, 实现器件沟道的关断; 当栅压为正时, 该界面由于两侧的能垒差而实现载流子的隧穿传输, 实现器件载流子的高迁移率传输 (图 3)。这种通过合金成分再分布形成界面自组装可隧穿修饰层的策略, 打破了 TFT 电极仅参与导电的传统印象, 为实现高浓度载流子注入和输运的有效调控提供了全新思路。有望从电极自组装修饰界面的角度, 而非单纯的半导体材料开发角度, 实现非晶氧化物半导体器件的高迁移率和阈值

电压的有效补偿。

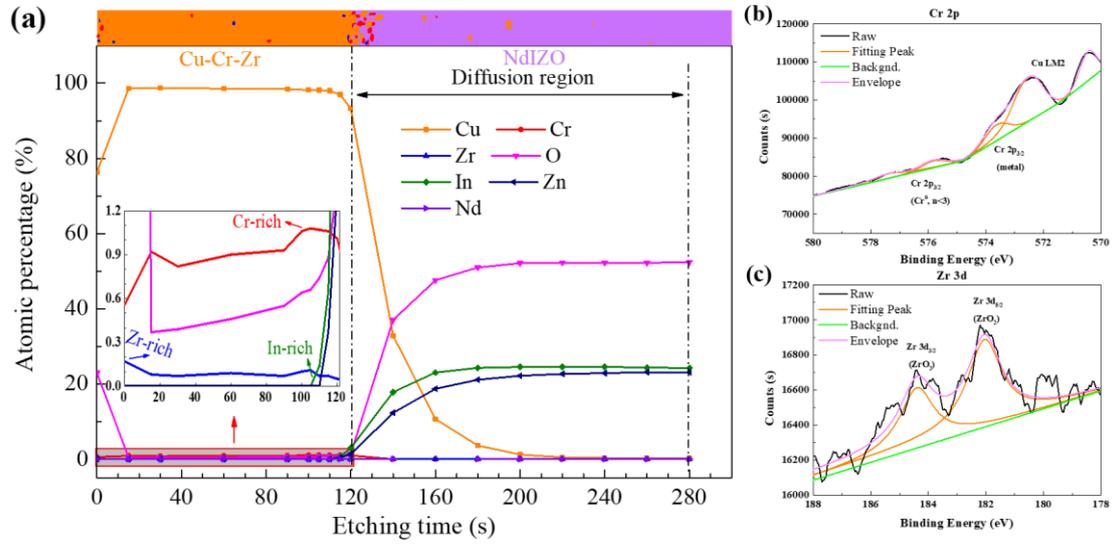


图 2 合金电极成分再分布下形成自组装界面层

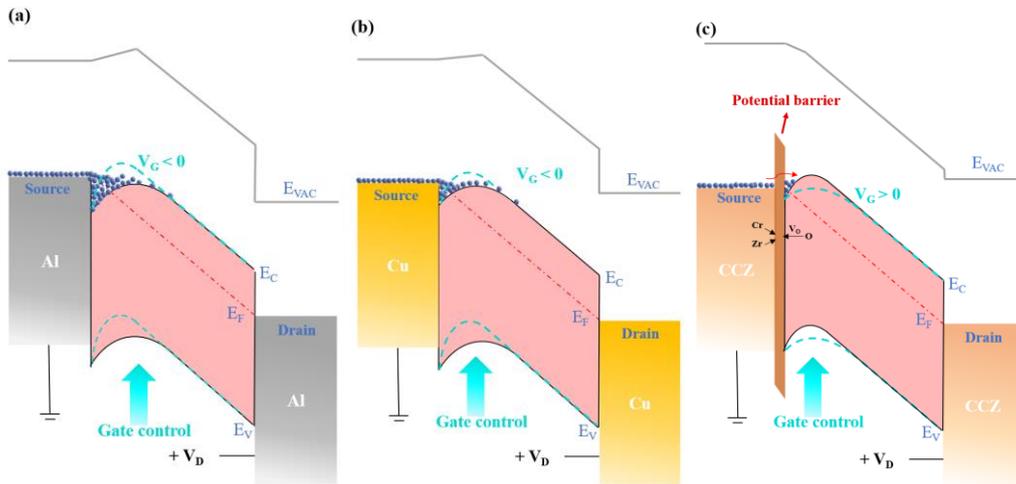


图 3 可隧穿修饰层参与载流子的输运调控

合金电极由于含有多种合金元素，且不同合金元素的性质存在差异，通过合理地控制合金元素在电极界面处的偏聚和反应，可以起到界面修饰的作用。目前，该团队利用自组装的修饰界面成功实现了对高导电性有源层材料载流子注入和输运的调控功能，通过调节合金成分及含量，有望实现更多的界面行为调控，使电极和半导体层的联系更加紧密，具有重要的研究前景。

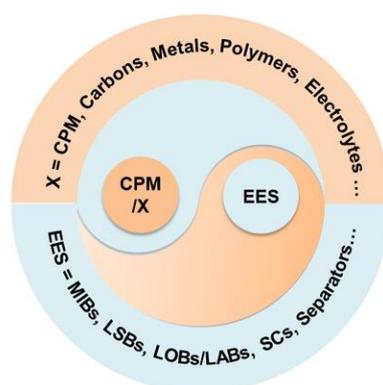
该策略由彭俊彪教授团队的宁洪龙研究员、姚日晖副教授等人提

出。相关成果以《Alloy-Electrode-Assisted High-Performance Enhancement-Type Neodymium-Doped Indium-Zinc-Oxide Thin-Film Transistors on Polyimide Flexible Substrate》为题，发表在 *Research* 上（*Research*, 2021, 5758435, DOI : 10.34133/2021/5758435），其中通讯作者为彭俊彪教授和宁洪龙研究员，第一作者为卢宽宽博士，第二作者为姚日晖副教授。相关工作得到了国家自然科学基金、广东基础研究重点项目和广东自然科学基金项目支持。

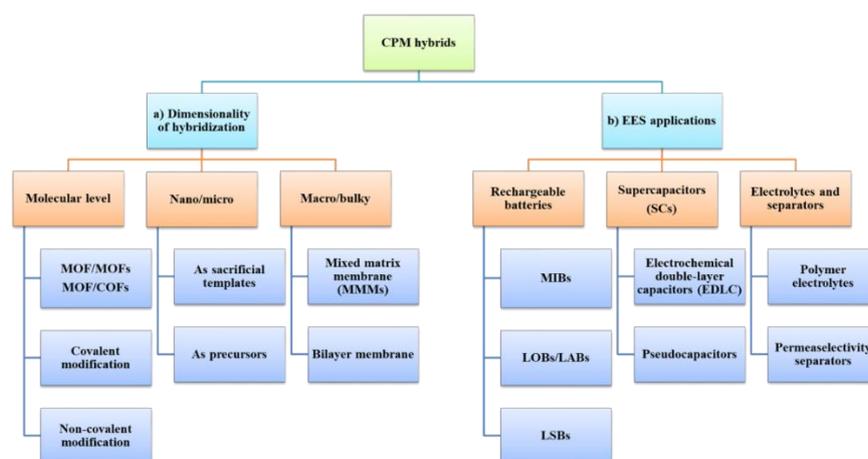
II. 新兴晶体多孔材料的杂化：合成维度和电化学储能应用

近年来，作为晶态多孔材料（CPMs）的两个新兴成员，金属有机骨架（MOFs）和共价有机骨架（COFs）的研究呈现出井喷式的发展。丰富的结构设计和众多功能使它们成为展示能量存储和转换、催化、传感等各种应用的平台。有机材料的多样性和晶体材料的有序度使这两种材料具有许多令人着迷的特性，例如超高的比表面积和丰富的孔结构。近年来，两种材料与其他材料的杂化已成为一种新的研究趋势，两种材料丰富的比表面积和反应位点为杂化提供了无限的可能性。杂化的进行主要出于以下两点考虑：一方面，杂化可以集合并增强各自的优势，形成协同效应。另一方面，可以避免两种材料本身的局限性，如普遍存在的导电性差，加工困难等问题对性能产生不利的影响。将

两种材料与其他材料的有目的地杂化成为一种有效的解决方案。杂化的对象包括但不限于碳基材料，导电聚合物，有机小分子，电解质盐等。这篇综述将从分子水平、微观到宏观杂化三个维度，分层次地介绍多种杂化手段以及杂化效果，并阐明了指导杂化的基本原理和机制。



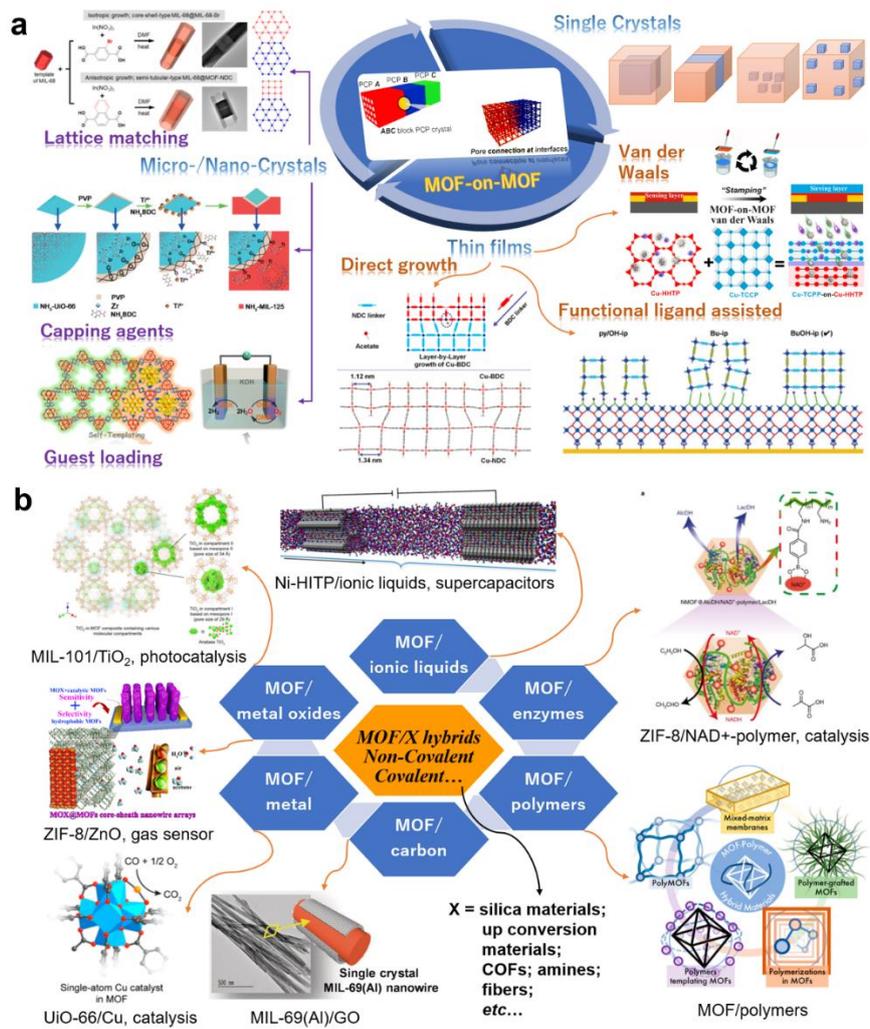
华南理工大学顾成课题组和日本京都大学 Susumu Kitagawa 课题组从分子水平到微观以及宏观三种维度总结了金属有机骨架（MOFs）和共价有机骨架（COFs）的杂化技术，阐述了它们在电化学储能领域如可充电电池，超级电容器，电解质和隔膜等的代表性应用。



图一，本综述的行文结构：(a) 杂化的不同维度 (b) 电化学储能应用

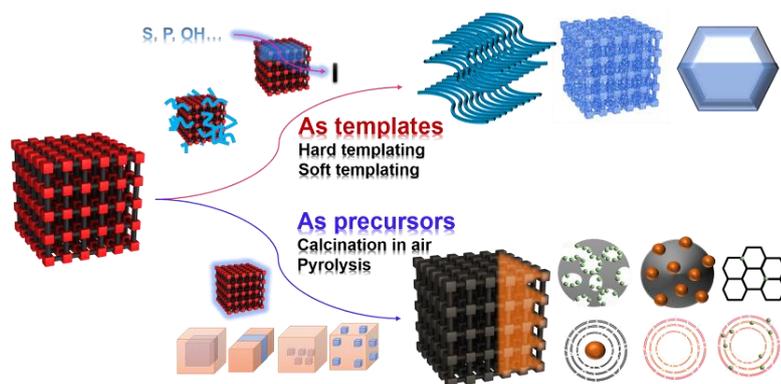
首先，作者从不同维度介绍了 CPMs 的杂化。根据杂化组分之间的相互作用强度，即共价键、非共价相互作用（例如氢键、配位键、 $\pi-\pi$ 堆积、静电力、范德华力）和具有明显相界的机械混合，杂化可分为分子水平、纳米/微观水平和宏观水平三个层次。在分子水平发生的杂化可分为三个部分：MOF-on-MOF 和 MOF/COF、共价和非共价修饰。（图二）在这一领域，化学键和分子间作用力起着主导作用。CPM 的共价修饰则是通过在其有机部分与外来官能团之间形成共价键时实现的。尽管用相对较弱的配位键破坏和重塑 MOF 上的共价键面临着巨大挑战，共价修饰的 MOFs 的第一个例子于 2000 年成功报道。COFs 的共价修饰通常通过合成后修饰（PSM）实现。有机键合中的反应部位可以通过 Click 反应，Suzuki-Miyaura 偶联，Knoevenagel 缩合等有机反应选择性激活。

除了采用共价修饰的 MOF-on-MOF 和基于 MOF 的杂化材料外，非共价相互作用以及其他类型的弱力也是用于构建各种 CPM 杂化材料的常用工具，包括 CPM/金属氧化物、CPM/金属、CPM/碳、CPM/聚合物、CPM/二氧化硅材料等。具有共轭部分的 COF 杂化材料则通过 $\pi-\pi$ 相互作用被广泛构建。在这些 COF 杂化材料中，碳质材料如还原氧化石墨烯（rGO），碳纳米管（CNT），碳纳米片等是最受欢迎的选择。



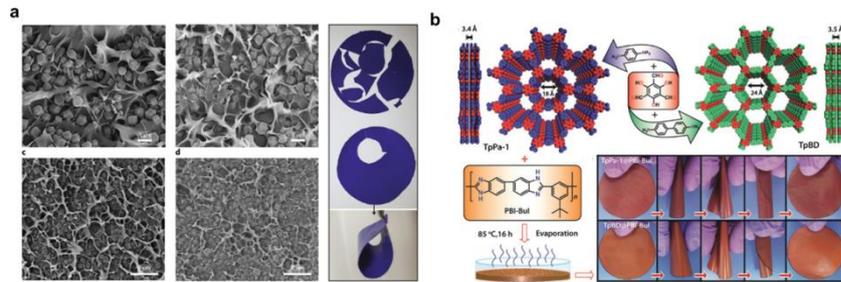
图二 分子水平上 MOF 的杂化 (a) MOF-on-MOF (b) MOF/X

由于其高度有序和多孔框架结构，CPMs 既可以用作牺牲模板，也可以用作杂化纳米/微米结构的前体（图三）。这些 CPMs 的衍生物结构独特，可用于实现多功能材料和高性能储能装置，因此在基础研究和实际应用中都非常具有吸引力。（图三）



图三 使用 CPMs 作为模板或前体制造的杂化微/纳米结构

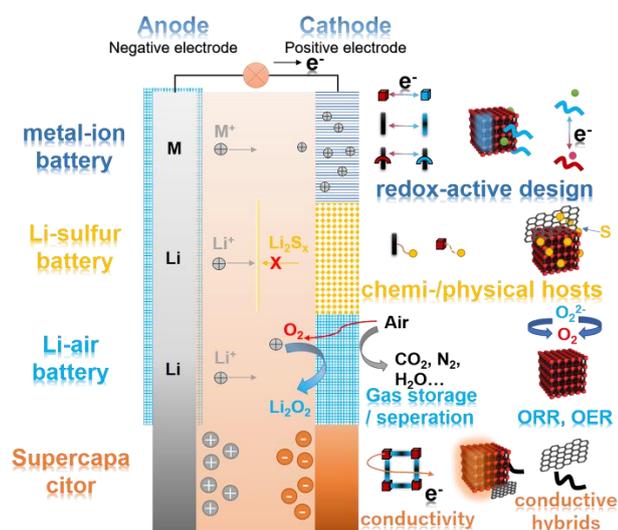
当杂化的尺寸扩大到宏观领域时,可将杂化材料称为复合材料。杂化之前,每种组分均可独立存在。与之前的杂化手段相比,宏观尺度杂化所需的手段相对简单。机械研磨和压制是两种典型的物理混合方法,杂化材料的终态呈现为分布均匀的混合物或膜的形式。通常,就离子可及性而言,该方法不如分子水平上的杂化。因此,具有选择性和可调节孔道的 Mix Matrix Membrane (MMM) 引起了人们的关注。例如,可以使用 N-杂环卡宾与 ZIF-67 外表面上的不饱和金属位点选择性反应,这有助于将其稳定地分散在大溶剂分子中以形成多孔液体。它可以与聚合物共加工,高 CPMs 负载的 MMM (最高 47.5 wt%),该杂化产物具有出色的机械性能和丙烯与丙烷分离性能;与 MOFs 相比,COFs 由纯有机元素构成,与聚合物基质完全相容,具有良好的分散性,因此,可以轻松实现 MMM 膜中高达 50 wt% 的负载。(图四)



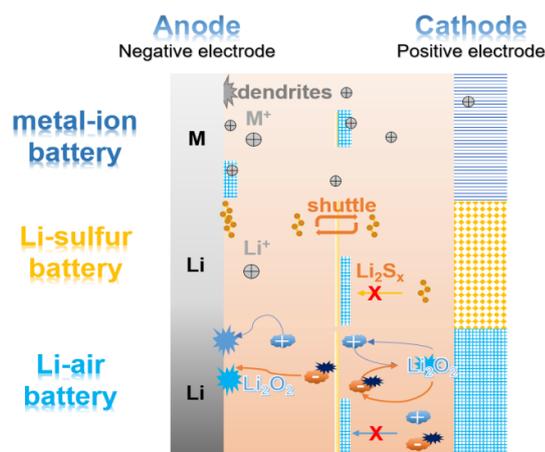
图四 基于 (a) MOFs 和 (b) COFs 的 MMM 膜

随着主流无机材料逐渐达到其性能极限,CPMs 迅速成为各种电化学储能 (EES) 应用的平台,这其中包括金属离子电池 (MIBs)、锂硫电池 (LSBs)、锂氧/空电池 (LOBs/LABs)、超级电容器 (SCs)、聚合物电解质和隔膜等。一方面,EES 应用面临的主要挑战,例如 MIBs 和 SCs 中的电容极限,LSBs 中的穿梭效应和稳定性问题,LOBs/LABs

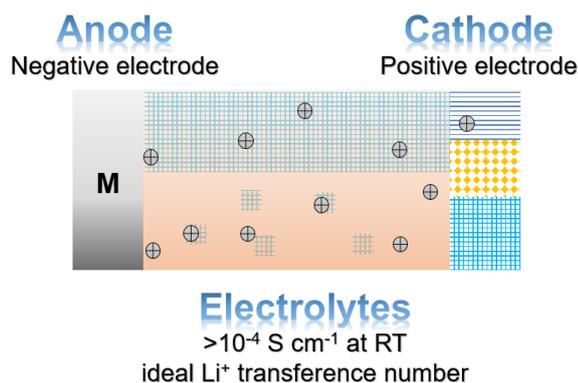
和隔膜中对催化效率和渗透性的要求以及聚合物电解质对电导率和温度范围的要求等。另一方面，本征 CPMs 材料电导率差，活性位点的低可及性，不可逆的结构退化，弱的机械强度以及随之而来的加工问题将阻碍它们的实际应用。这些问题或需求都有望通过 CPMs 的杂化来克服或满足。本综述接下来的内容逐一介绍了各个领域中具有里程碑意义的工作，非常详实的性能对比和汇总表格也一并写入该综述中供读者参考。



图五 CPMs 杂化材料用作可充电电池和电容器电极的示意图



图六 CPMs 杂化材料用作隔膜的原理示意图



图七. CPMs 杂化材料用作电池中的电解质

总而言之，作者从分子水平、微观和宏观三个维度对 CPMs 材料的杂化策略和方法进行了综述。结合 CPMs 在 EES 中的应用，介绍了杂化的意义和目的。通常，杂化主要涉及自下而上的化学结构演变和自上而下的形貌工程。前者旨在充分利用丰富的无机金属和有机结构单元以及多样化的合成后修饰策略来设计 CPMs 杂化材料，这些杂化材料在源头上具有多原子、异孔，核-壳结构和其他特征；而后者则针对 EES 的特定应用，可使用降维的解构方法（例如与 2D 碳材料杂化），或利用 CPMs 丰富的孔结构（来增加活性位点的可及性和可用性。这两个方面对于需要大量表面电荷转移和吸附反应以提高性能的可充电电池和电容器领域至关重要。另外，在这些领域中对材料电导率的要求也是杂化的重要驱动力。此外，由于 CPMs 固有的多孔性和绝缘性，它们在电解质和隔膜领域表现出了优势；CPMs 与这些杂化对象的兼容性和优化将是该领域的重要研究方向。

CPMs 的杂化仍然是一个面临巨大挑战的新兴研究主题。为了解决这些瓶颈问题，在以下涉及材料设计和设备集成方面需要有更多有指导价值的探索：

1) 控制界面状态

杂化的内核与界面科学密切相关。界面状态的控制以及后续的对界面的结构和功能的控制是研究重点。CPMs 的晶体性质阻碍了它们与设备中的电极和其他组件的界面连接,并引入了较大的接触电阻,该电阻远高于本征电阻。更重要的是,由于膜中的结晶材料取向通常不是最优取向,因此要求它们具有三维(3D)导电性。从微观到宏观,应适当解决 CPM 和引入的杂化对象之间的可加工性和兼容性,晶界和相分离将极大地阻碍电荷传输。在各种基板上制备厚度、结晶度和取向可控的薄膜状 CPM 杂化材料也是急需的研究方向,其可以改善界面接触和电荷传输以及与柔性电极的集成。

2) 结构与功能的关系

关于在分子水平上的杂化,MOF-on-MOF 和 MOF/COF 无疑使合成变得复杂,在 EES 应用中这种努力是否可以有效地转化为相应的性能是一个有待解决的问题。对 CPMs 孔结构的修饰将导致功能和孔可及性之间的权衡。对于特定的应用,需要特定的杂化方案。混合价金属节点和氧化还原活性配体对于 LIBs/SIBs 和 SCs 很有前途,而 Lewis 酸性开放金属位点和 Lewis 碱性配体更适合 LSBs 中硫元素的储存和多硫化物限制。敞开的金属位点也可用于增强 LABs 和 LOBs 的氧吸附。对于旨在改善电导率的混合情况,电导率和孔隙率的良好平衡对于高性能电极也是必不可少的。

3) 进一步的器件制备和优化

CPM 杂化材料在一些 EES 器件性能仍然需要反复验证,例如不

同应用条件下的机械强度和动力学稳定性：例如在 LOBs 和 LABs 的酸和碱电解质中的长期稳定性和化学稳定性。此外，高孔隙度带来的负面影响如低的体积能量密度和库仑效率也不容忽视。

其它有待解决的问题包括但不限于：CPMs 杂化材料参与能量存储的机制以及每个组件之间的相互作用是什么？通过原位测量和理论模拟进行系统和深入的调查将大大有助于加深理解；关于 CPMs 的两个特性，即结晶度和孔隙率，每种情况在不同情况下所起的作用仍然值得深入讨论。对于最终的商业应用，材料放大的成本和可持续性将是需要解决的重要问题。

该文章近期发表在 AEM 杂志 (doi: 10.1002/aenm.202100321)，文章的作者是张环环博士，姚明水博士，通讯作者为顾成研究员和日本京都大学北川进教授。该工作得到了日本学术振兴会（JSPS）、国家自然科学基金、广东省自然科学基金、广东省创新团队基金、中央高校基本科研业务费的资助。

5 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
俞祝良	华南理工大学自动化科学与工程学院	教授	深度学习原理及其应用	5 月 11 日
刘进	中山大学物理学院	教授	On-chip Light Sources by Integrating Low-dimensional Materials with Photonic	5 月 11 日

			Nanostructures	
刘飞龙	华南师范大学华南 先进光电子研究院	副研究员	OLED 三维全器件物理模型及其应用	5月17日
陈永华	南京工业大学先进 材料研究院	教授	离子液体钙钛矿光伏电池	5月21日
孙恒达	东华大学纤维材料 国家重点实验室	研究员	n 型有机半导体的掺杂及其器件应用	5月21日
吴忠彬	西北工业大学	教授	垂直有机薄膜晶体管及其光电集成	5月21日
解荣军	厦门大学	教授	新型氮化物发光材料的研制及新应用	5月20日
迟力峰	苏州大学功能纳米 与软物质材料研究 院	教授	表面碳-氢化学：正构烷烃的选择性脱氢、偶 联及转化	5月23日
高珂	山东大学	教授	有机太阳能电池中的多维尺度形貌	5月28日