

【专访】

陈小明院士、张杰鹏教授研究团队：

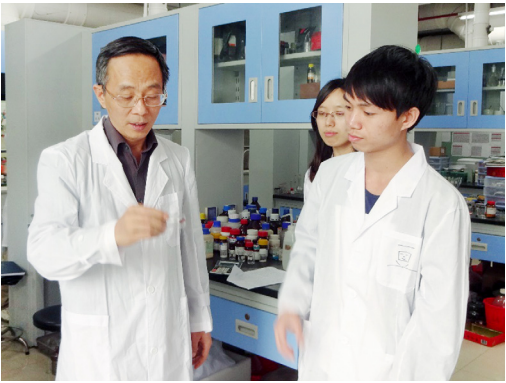
配位聚合物多孔材料在化工吸附分离领域的研究与应用

编者按

本篇报道为“中山大学科研成果系列报道”的第四篇,介绍我校陈小明院士、张杰鹏教授研究团队关于配位聚合物多孔材料在化工吸附分离领域的研究与应用。



▲ 陈小明院士团队合影。



▲ 陈小明院士指导研究生实验工作。

陈小明院士、张杰鹏教授研究团队长期从事功能配位化学和配位聚合物晶体工程研究,在化工分离与吸附等领域取得重要突破。该团队在 Science, Nature Commun., J. Am. Chem. Soc., Angew. Chem. Int. Ed., Chem. Sci., Adv. Mater., Acc. Chem. Res., Chem. Rev., Chem. Soc. Rev. 等期刊发表论文 400 余篇(含 73 篇《科学》、《美国化学会志》和德国《应用化学》等 IF > 8.6 期刊论文),SCI 他引累计超过 3 万次,获授权专利 8 项。陈小明院士于 1996 年获国家自然科学基金杰出青年科学基金资助,1999 年获聘“长江学者”特聘教授,2009 年当选中国科学院院士;张杰鹏教授于 2012 年获国家自然科学基金杰出青年科学基金资助,2015 年获聘“长江学者”特聘教授;张伟雄副教授于 2017 年获国家自然科学基金优秀青年科学基金资助。

近日,记者采访了化学学院陈小明院士、张杰鹏教授团队,并请该团队就配位聚合物多孔材料设计、合成、气体吸附和相关机理的研究成果作相关介绍。

记者(以下简称“记”):“通过控制气体分子构型实现反常而且最优的 C4 碳氢化合物吸附分离顺序”的思路是如何提出的?

陈小明院士、张杰鹏教授研究团队(以下简称“团”):丁二烯是产量最大的化工产品之一,其生产过程中需要耗费大量的能量和有机溶剂对成分复杂的 C4 烃类混合物进行蒸馏分离。利用多孔材料进行吸附分离是一种潜在的高效分离提纯方法,但分子较小、极性较大的丁二烯容易被吸附,在脱附过程中不但容易被残留的其它 C4 烃类污染,而且容易受热聚合。我们前期已经发现可以利用合理设计的超微孔亲水多孔材料对 C2 烃类实现反常的极性选择。针对丁二烯分子柔性显著小于其它链状 C4 烃类的特点,我们希望能进一步通过特殊的孔道形状控制这些柔性客体分子的构型,利用构型变化的能量差获得反常的吸附选择性和最优的 C4 烃类吸附分离顺序。

记:能否介绍团队的主要研究成果及其应用价值或学术影响?

团:研究团队对 10 例代表性配位聚合物多孔材料的计算机模拟和实验结果证实,形状尺寸合

适的离散孔洞最有利于控制柔性客体分子的构型和并反转吸附选择性,而连续的孔道对客体分子的吸附扩散又是必须的。通过模拟计算,发现具有准离散孔洞的柔性多孔材料 MAF-23 在两种要求中取得平衡,实现了反常而且最优的 C4 烃类混合物吸附分离顺序。常温常压下将丁二烯、丁烯、异丁烯和丁烷混合物通过 MAF-23 填充的固定床吸附装置后,吸附最弱的丁二烯最先流出而且纯度很容易达到 99.9%,同时可避免常规纯化方法中因加热而产生的丁二烯自聚问题。相关工作发表于国际权威杂志《科学》上,受到了广泛的关注。

记:可否谈谈对配位聚合物多孔材料应用于化工分离的体会与展望?

团:乙烯、丙烯和 1,3-丁二烯等小分子烯烃是世界上最大宗几种化工产品/原料。为了将它们和其它相似饱和/不饱和烃类副产品分离,需要使用高能耗和环境不友好的低温高压或溶剂萃取精馏技术。

基于分子几何和物理性质差别,多孔材料可以对混合物中各组分产生差异性吸附,但常规多



▲ 张杰鹏教授。

▲ 张伟雄副教授。

孔材料对分子量相似的烃类分子缺乏识别机制,吸附选择性通常很低。配位聚合物是一种新型多孔材料,具有结构多样、可设计、易修饰等优势,可以利用氢键、配位键等识别机制增强对不饱和烃的吸附作用,或利用精确控制的孔径排除对较大的饱和烃的吸附。近年来,配位聚合物多孔材料已经在小分子烃类混合物分离领域取得了系列令人瞩目成果。

虽然亲水性多孔材料都选择性吸附极性更大的不饱和烃类,利用超微孔表面精确排列的氢键受体,有可能高效识别并结合极性较低的烷烃而非极性较大的烯烃,即实现选择性的反转。目前我们团队的研究结果表明,主客体超分子作用、主体柔性和客体柔性都对反转吸附选择性至关重要。这些策略有望用于设计合成具有更理想吸附分离效果的新型多孔材料。

记:请谈谈团队的未来目标?

团:团队未来将继续瞄准配位聚合物多孔材料化学与晶体工程国际前沿与国家重大需求,充分发挥团队的研究特色与整体优势,与国外广泛合作,围绕新型化工吸附分离材料、新型绿色产能材料等方面的基础及应用基础研究,来满足我国经济社会高速发展对清洁能源的需求,以及广大人民群众对环境和健康的更高要求等。我们将继续努力,培养一批优秀的科技人才,形成一批国际一流的科研成果。

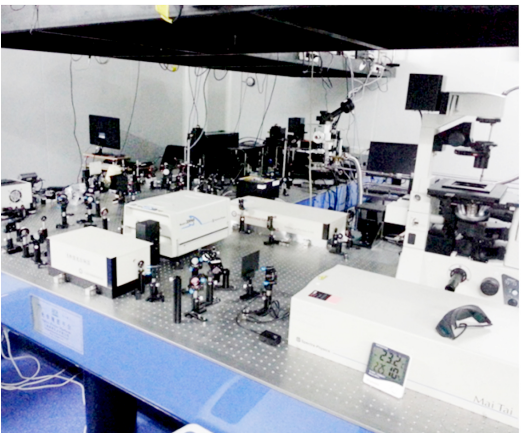
【专访】

王雪华教授研究团队：

在光子-激子强耦合相互作用研究领域取得的重大进展

编者按

本篇报道为“中山大学科研成果系列报道”的第五篇,介绍我校王雪华教授研究团队在光子-激子强耦合相互作用研究领域取得的重大进展。



▲ 实验室部分光学测量系统。

由教育部“长江学者”特聘教授、国家杰出青年基金获得者、国家 973 计划(含重大科学研究计划)项目首席科学家王雪华教授领导的研究团队主要从事新型光学功能材料的设计及其量子光电子器件光学性能的剪裁,纳米光学,量子光学,固态量子计算,非线性光学等方面的研究。王雪华教授研究团队目前有一名中组部“青年千人”计划入选者,两名副教授(其中一人获广东省自然科学基金杰出青年项目),三名特聘研究员。该团队有光学实验室近 200 平米,拥有飞秒啁啾微腔泵浦探测系统,单光子级荧光动力学测量系统,氦循环制冷的变温微纳光学测量系统(无需液氮制冷变温范围 3-350K)等光学测量平台。近 5 年该团队成员在微纳光学和量子光学的研究中取得了系列重要研究成果,在 JCR 一区 SCI 期刊发表论文 15 篇,其中包括 Nat. Nanotech.1 篇, Nat. Commun.3 篇, Phys. Rev. Lett.3 篇, Light: science & application 1 篇, Adv. Funct. Mater.1 篇等。

单辐射子(如原子、分子、激子)与光子的强相互作用不仅是量子光学基本问题的一个理想检验平台,而且在量子器件、光电子集成、超灵敏和精密测量、量子计算与量子通讯等方面有巨大的应用,因此,它一直是国际学术前沿与热点研究领域之一。

在极低温和高真空的极端条件下,科学家们已在各种固态光学微腔系统中实现了单激子与光子的强耦合相互作用以及量子态的调控。但在常温常压下,单激子与光子的强耦合相互作用(即量子光学极限水平上的光与物质强耦合相互作用)的实现和调控一直是一个巨大的挑战,是该研究领域从未攻克的世界级难题。

为攻克这一难题,世界多个研究组为此竞相开展研究:法国里昂第一大学的 Bellessa 研究组于 2004 年、美国 Rice 大学的 Halas 研究组于 2008 年、德国 Oldenburg 大学的 Lienau 研究组于 2013 年先后在室温下观测到大量的激子与不同表面等离激元的强相互作用 [Phys. Rev. Lett. 93, 036404 (2004), Nano Lett 8, 3481 (2008), Nat. Photonics 7, 128 (2013)];直到 2015 年,瑞典 Chalmers 理工大学 Shegai 研究组才把与表面等离激元强相互作用的激子数降到了 80 个左右 [Phys. Rev. Lett. 114, 157401 (2015)];2016 年,英国剑桥大学 Baumberg 研究组实现了表面等离激元与 2.5 个激子(统计平均意义上的激子数)的强相互作用 [Nature 535, 127 (2016)]。虽然世界上各个课题组都做了很多努力,但是目前为止还没有在室温实现单激子与光子的强耦合相互作用。攻克这个巨大的挑战,就成为我们当初提出这个“光子-激子强耦合相互作用研究”的研究动机。

王:我们的主要科学发现就是,经过团队近 5 年的攻关研究,终于在常温常压下实现了 1.38 个激子(统计平均意义上的激子数)与单个纳米颗粒表面等离激元的强耦合相互作用,是到目前为此该研究领域国际上的最好研究记录。因此,该工作被审稿人高度评价为 “I believe these results are very great”。

在研究中,我们首先构建了多激子与单个表面等离激元模式耦合相互作用的全量子理论,给出了简洁的实现强耦合作用的“量子光学极限条件”。依据该理论,研究团队精心设计和制备出方形银包金纳米棒结构,实现了将光子局域在 71 nm³ 的超小模体内积,同时,巧妙地实现了单激子偶联以及小于 0.9 nm 的超短作用距离的精确控制,最终实现了单个 J-aggregate 激子与单根纳米方棒之间高达~41.6 meV 的耦合作用强度,在室温下成功观测到 1-7 个激子与单个等离激元纳米方棒的强耦合相互作用。

记:请谈一谈对微纳量子光学发展的体会与展望?

王:微纳量子光学是微纳光子学与量子光学交叉而成的前沿研究领域,它探索微纳结构中局域光场与量子辐射子的耦合相互作用理论,以及耦合系统的量子光吸收、光辐射和光传播特性。它不仅丰富和发展了局域量子光学理论、甚至有可能因为超小模体积分光场和新型空间光场的产生带来量子光学理论新的突破,而且它已显示出在量子计算、量子通讯、超高灵敏探测、生物医药及军事等领域有非常重要的应用。正因为如此,微纳量子光学是目前国际上非常活跃和极具发展前景的研究领域之一。

记:请介绍一下团队未来的目标?

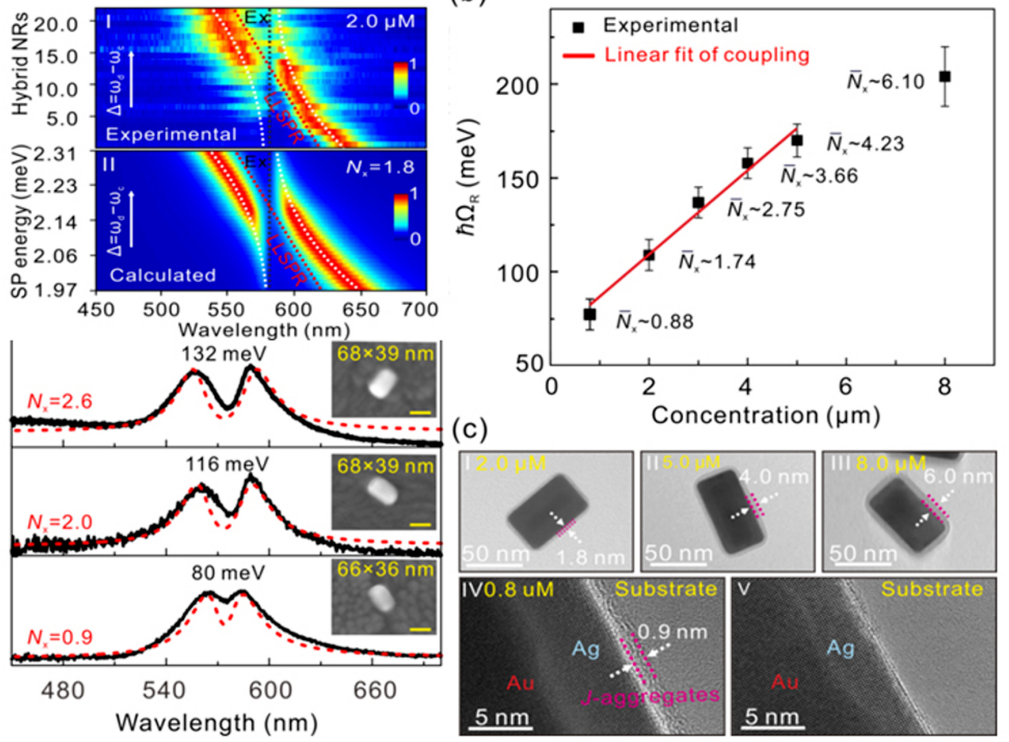
王:我们团队的目标是希望在微纳量子光学的理论探索、量子器件及集成量子芯片的研究中取得具有世界领先水平的研究成果。我们主要聚焦于三个研究方向:

一是超小模体积分光场与辐射子的强相互作用。探索强相互作用的调控及其新颖的量子光学现象,比如单光子量级的非线性光学效应。前面我们提到,虽然我们已在统计意义上实现了 1.38 个激子与光子的强耦合,但离最终实现确定性单激子与表面等离激元强耦合相互作用尚有一步之遥,这“一步之遥”仍是一个巨大的挑战,已成为目前国际上各相关研究组竞相攻关的下一目标,我们也正在为此作进一步的努力,我们希望能成为国际上第一个攻克这一挑战的研究组。

二是量子光源和量子存储器。按需的单光子源和纠缠光子源,以及长时间的量子相干存储器是量子通讯不可或缺的关键性量子器件,也是目

前世界性的难题。我们希望提出新颖的实现方案来取得突破,攻克这一世界性难题。

三是固态集成量子芯片。集成量子芯片是实现量子计算的基础。多量子比特和量子器件的集成到目前为止一直未能取得突破,各国竞相探索在不同的物理系统中实现多量子比特和量子器件的集成。我们希望利用现有半导体技术的集成优势,研制出集成高的固态量子芯片。



▲ 单个等离激元微腔与单激子的强耦合作用。



▲ 实验室成员合影。