

面向未来信息与生物技术的纳米光电研究

微尺度国家实验室-单分子光电子学研究组简介

按照摩尔定律发展的半导体微电子技术，随着元件尺寸越来越小，其运作性能将因为量子涨落、RC 延迟、器件散热等问题而在不久的将来达到物理极限。基于单分子光电效应的研究是未来分子光电器件研发的科学基础，对信息技术、能源技术、以及量子信息处理都具有重要的影响。近年来，随着微纳加工技术的日臻成熟，探索基于金属纳米结构表面等离激元器件的纳米光电集成技术正成为研究热点和前沿，其目的在于突破纳米级电子元件与微米级光子元件集成时尺寸上的不匹配制约，将电子学的高集成度高可控与光子学的高速大容量二者的优势在纳米尺度上加以融合。这其中除了利用等离激元波导作为光子互连元件外，如何在纳米尺度上利用金属等离激元与分子激子的有效调控，增强单分子光电效应，实现电泵纳米光源，探索光学信息的产生、转移、放大、以及高分辨高灵敏检测，也是极富挑战性但又急需解决的科学技术问题。另一方面，随着生物技术的进步，人类对生命现象的认识已经从器官层次发展到了细胞层次、分子层次。如果能够通过等离激元与分子激子之间的有效调控，发展出具有单分子灵敏度的化学识别与空间定位技术，那么将对疾病（比如肿瘤细胞等）的早期诊断、药物设计、以及微观定位治疗具有重要的科学意义和实用价值。

本研究组在科技部重大科学研究计划、国家自然科学基金、中国科学院量子先导、教育部量子协同中心等项目的资助下，通过研制融合高分辨扫描隧道显微技术（STM）和单光子光学检测技术于一体的联用系统，对纳米光子学的这些崭新的前沿领域进行了卓有成效的探索。2010 年我们利用 STM 金属探针与衬底之间的纳米腔室作为荧光发射的共振腔，巧妙地通过纳腔等离激元共振模式的频谱调控，实现了分子发光通道的选择性开启与增强，发现了突破 Kasha 规则和 Franck-Condon 分布的、被媒体称为“禁阻之光”的新奇分子电光效应 [Nature Photonics 4 (2010) 50-54]。2013 年，我们又又在高分辨化学识别与成像方面取得里程碑进展，通过频谱匹配调控将非线性效应融入到针尖增强拉曼散射技术中，在单分子拉曼成像方面取得重大突破，首次实现了亚分子、亚纳米分辨拉曼成像，将具有化学识别能力的空间分辨率提高到前所未有的 0.5nm 水平，真正使得单分子尺度上的化学识别成为可能。这项研究对了解微观世界，特别是微观催化反应机制、分子纳米器件的微观构造和高分辨生物分子成像，具有极其重要的科学意义和实用价值，也为研究单分子非线性光学和光化学过程开辟了新的途径。国际权威学术期刊《自然》杂志于 2013 年 6 月 6 日在线发表了这项成果 [Nature 498 (2013) 82-86]。《自然》三位审稿人盛赞这项工作“打破了所有的记录，是该领域创建以来的最大进展”，“是该领域迄今质量最高的顶级工作，开辟了该领域的一片新天地”，“是一项设计精妙的实验观测与理论模拟相结合的意义重大的工作。”这一工作发表后立即引起国际科技界的广泛关注，Nature 同期的《News and Views》栏目、美国《C&EN》和《Physics Today》、德国《Angew Chem》、英国《Chemistry World》、Wiley 的《Microscopy and Analysis》等国际知名杂志和媒体纷纷撰文评价和介绍这一重大研究进展，同年入选两院院士评选的中国十大科技进展。本研究组的这些具有国际影响力的标志性研究成果，不仅从基础科学的角度极大提升了人们对纳米环境下单分子光电行为的认识，揭示了微观尺度上电子、激子、等离激元、声子、光子等量子态之间的耦合与演化动力学机制与规律，而且从应用科学的角度上也为纳米光电器件（特别是分子光电器件和分子等离激元器件）、以及包括 DNA 测序在内的生物分子高分辨成像技术的研发提供了重要的科学信息和依据。

本研究组是侯建国院士领衔的单分子科学研究团队的重要组成部分。研究组由微尺度国家实验室原子分子科学研究部主任董振超教授主持，研究生将由侯建国院士和董振超教授等团队成员共同指导。研究组师资雄厚、经费充足、设备引领世界潮流。目前已经拥有 5 套先进的单分子光电现象综合研究系统。围绕单分子光电子学和单分子等离激元光子学方面的纳

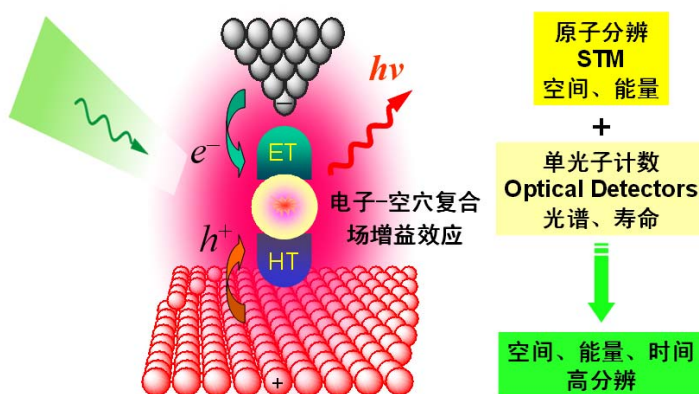
米光电领域，主要开展以下三个方向的研究工作：

- (1) **单分子电光转化**，重点研究电致单分子发光、单分子超辐射、单分子等离激元激射、以及包括单光子光源在内的电泵单分子点光源和单分子量子光源的实现途径与物理机制，探索单分子光源在纳米光电集成和量子信息处理技术中的应用潜力；
- (2) **单分子拉曼散射**，重点研究基于单分子非线性光学的针尖增强拉曼散射效应及其在表面化学反应、异相催化、分子器件、以及包括 DNA 和蛋白质测序在内的生物分子高分辨识别与成像技术中的应用前景；
- (3) **纳米尺度上的能量转移**，重点研究分子间的相干激子耦合、分子供体-受体之间的共振能量转移的微观图像与机制及其在能源科学、量子信息中的潜在应用；研究这些能量转移现象以及等离激元辅助的荧光共振能量转移在纳米光电集成技术中的应用前景与科学依据。

本研究组的课题研究具有强烈的多学科交叉特征，招生专业包括凝聚态物理和单分子科学。今年计划招收 1 至 2 名具有物理背景、品学兼优且富有团队合作精神的研究生。欢迎有志于探索纳米光电前沿领域的同学加盟团队，共同攻克科技难关，为开创包括纳米光电集成和高分辨生物分子成像在内的量子时代添砖加瓦。

本课题组学生在读期间待遇丰厚，毕业后要么到国外著名研究小组做博士后，要么直接到国内著名院校或研究所工作，就业前景极佳。另外，课题组与国际上该领域的许多顶尖研究小组有良好的合作关系，有许多机会到国外进行短期进修、联合培养和深造。

世界上该领域具备这种研究实力的研究组并不多，如果你对微观世界的光电效应和基于量子调控的纳米光电研究感兴趣，请与董振超教授联系。他的电子邮箱是：zcdong@ustc.edu.cn；办公室电话：0551-63600103。



图注：高分辨高灵敏单分子光电量子特性测量系统原理示意图