“搭积木”法构建片上微腔耦合单光子源

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/33336.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

“搭积木”法构建片上微腔耦合单光子源。 导读

近日，中国科学院上海微系统与信息技术研究所异质集成课题组在片上集成微腔增强确定性单光源方面取得重要进展。研究人员通过类似搭积木方式实现III-V族半导体量子点和CMOS兼容的碳化硅光子芯片的混合集成，构建新型叠堆混合集成微环谐振腔，实现确定性单光子源的片上局域能量调谐和微腔Purcell增强产生。该工作创新片上腔量子电动力学微腔设计，有望为集成光量子芯片上确定性量子光源的大规模扩展提供新的思路。

该成果以A hybrid single quantum dot coupled cavity on a CMOS-compatible SiC photonic chip for Purcell-enhanced deterministic single-photon emission为题发表在Light: Science Applications。论文通讯作者为中国科学院上海微系统与信息技术研究所张加祥研究员和欧欣研究员、中国科学技术大学霍永恒教授，中国科学院上海微系统与信息技术研究所朱一帆博士生和伊艾伦副研究员、中国科学技术大学刘润泽博士为论文共同第一作者。

和传统微电子学的发展路径类似，光量子信息技术的应用正逐渐向小型化和芯片化方向发展。自2008年英国布里斯托大学首次演示石英基集成光量子芯片以来，集成光量子芯片在近几年发展迅速。受益于成熟的CMOS加工工艺，硅光子被认为是当前最为成熟和主流的集成光量子芯片应用平台，众多光量子信息技术如高维量子纠缠、量子通信、量子模拟以及量子计算等已在硅基光量子芯片上成功演示。然而，由于硅为间接带隙半导体材料，同时缺乏电光效应，硅基光量子芯片难以实现片上大规模量子光源制备以及高速低功耗重构光子回路。如何在光量子芯片上实现扩展化量子光源制备以及实现电光可重构光子回路是当前研究领域的一项重要课题。

混合集成技术能够将不同材料光子器件集成到不同材料光子芯片中，可有效提高光子线路集成度、功能复杂性和光源扩展性，为上述挑战提供重要解决方案。在当前众多混合集成方案中，III-V族量子点光源备受关注。量子点，又称人造原子，它易于微腔集成，能够产生效率近乎100%且具有高度全同性的确定性单光子信号，是量子通讯和计算的重要资源。迄今为止，量子点已被成功集成到微柱腔和布拉格环形腔中；然而，这些微腔具有面外光场局域模式，难以进行芯片集成。虽然量子点可以与光子晶体微腔耦合以实现片上集成，但光子晶体要求超精细微纳加工、局域光谱调谐和精确腔膜-量子点位置匹配。因此，量子点光源耦合微腔的片上集成和应用仍然是当前集成光量子领域的一项研究挑战，并且此类微腔在电光芯片上的混合集成研究更是一项空白。

针对上述挑战，研究团队提出类似‘搭积木’方式的片上量子点混合微腔构筑方法，即将含有量子点的GaAs波导通过微转印技术‘叠堆’集成至由4H-SiC电光材料制备的微环谐振器上（如图1）。低温共聚焦荧光光谱测量结果表明：由于GaAs和4H-SiC异质集成波导的高精度对准集成，

光场可以通过倏逝波耦合，在上、下‘叠堆’波导之间进行高效传输，形成‘回音壁’式的平面局域模式，其腔模品质因子相对转移波导前的微环谐振器仅下降了约一半数值（7.8×103）。

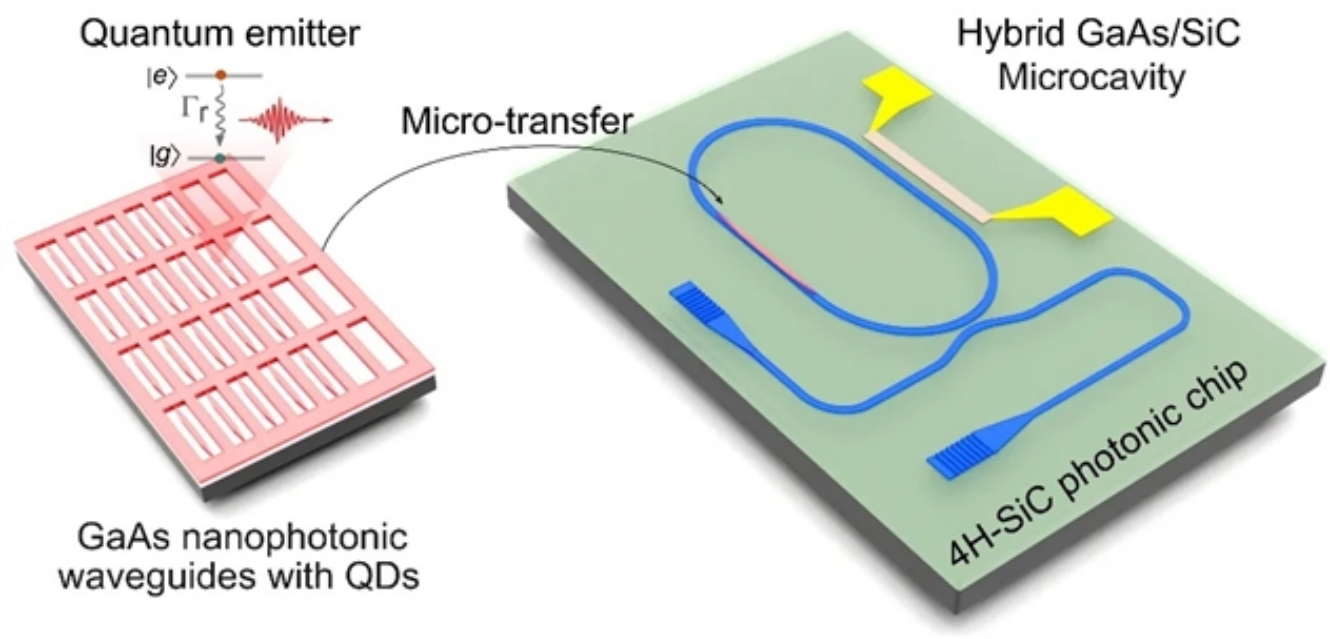


图1：基于III-V量子点和电光4H-SiC材料的混合集成量子点微腔

进一步，研究团队集成微加热器，对微腔耦合量子点实现约4 nm的大范围光谱调谐。这种片上热光光谱调谐能力促使了腔模与量子点激子态光信号的精准光谱匹配，实现了微腔增强片上确定性单光子信号产生，其珀塞尔增强因子为4.9，单光子纯度高达99.2%。

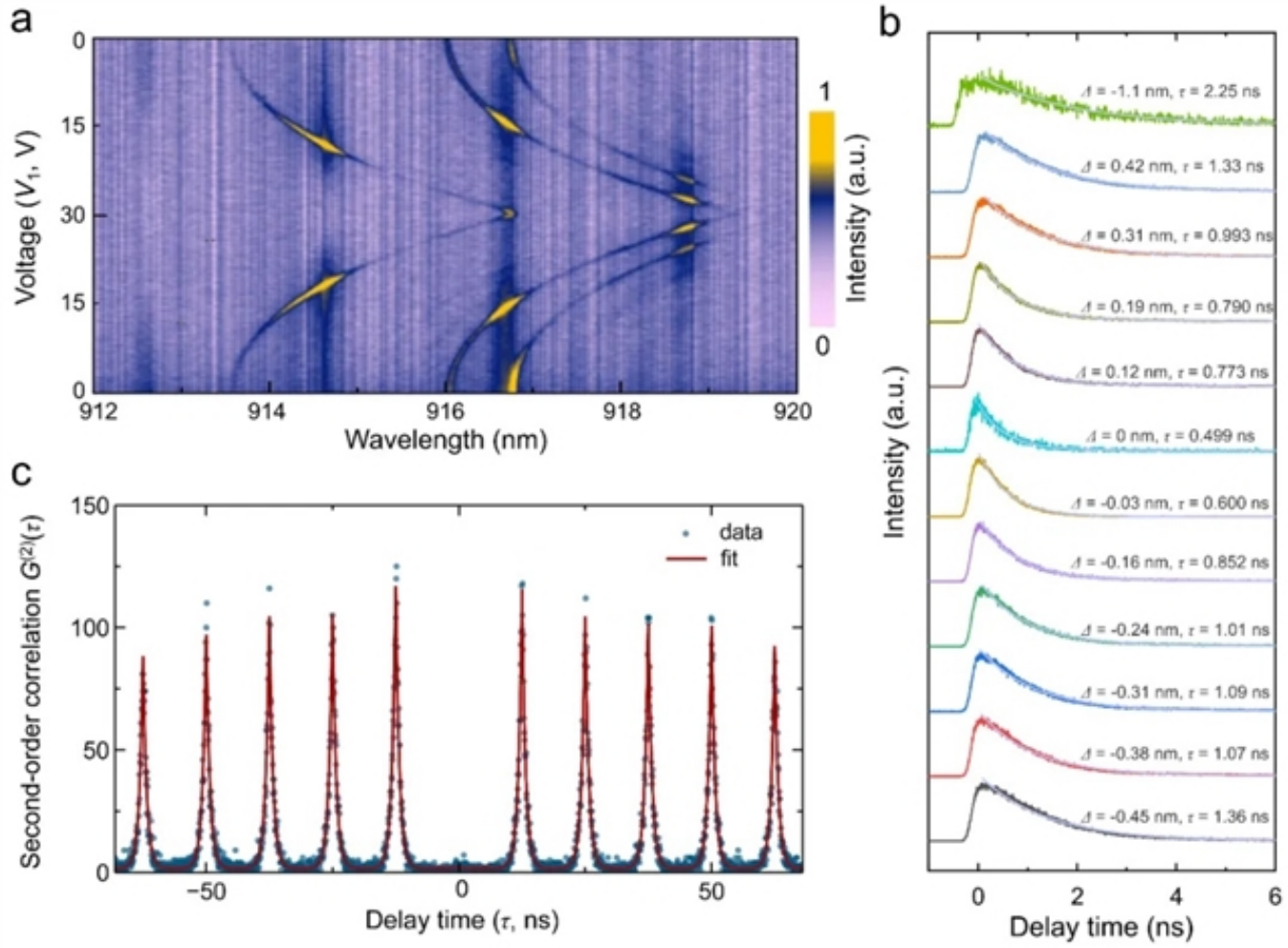


图2：（a）片上调控微腔耦合量子点单光子信号；（b）量子点荧光增强；（c）片上微腔增强量子点单光子纯度测试

为展示该混合微腔增强确定性单光子源的片上扩展能力，研究团队在4H-SiC光子芯片上制备了两个量子点混合微腔，二者相距250 μm距离。为消除量子点由于生长导致的固有频率差异，研究团队分别对量子进行局域调谐，不仅实现了量子点与微腔模式的耦合，同时实现了不同微腔增强量子点单光子信号的频率匹配，为下一步实现片上不同节点的确定性单光子干涉，进而实现片上光量子比特互联奠定前期研究基础。

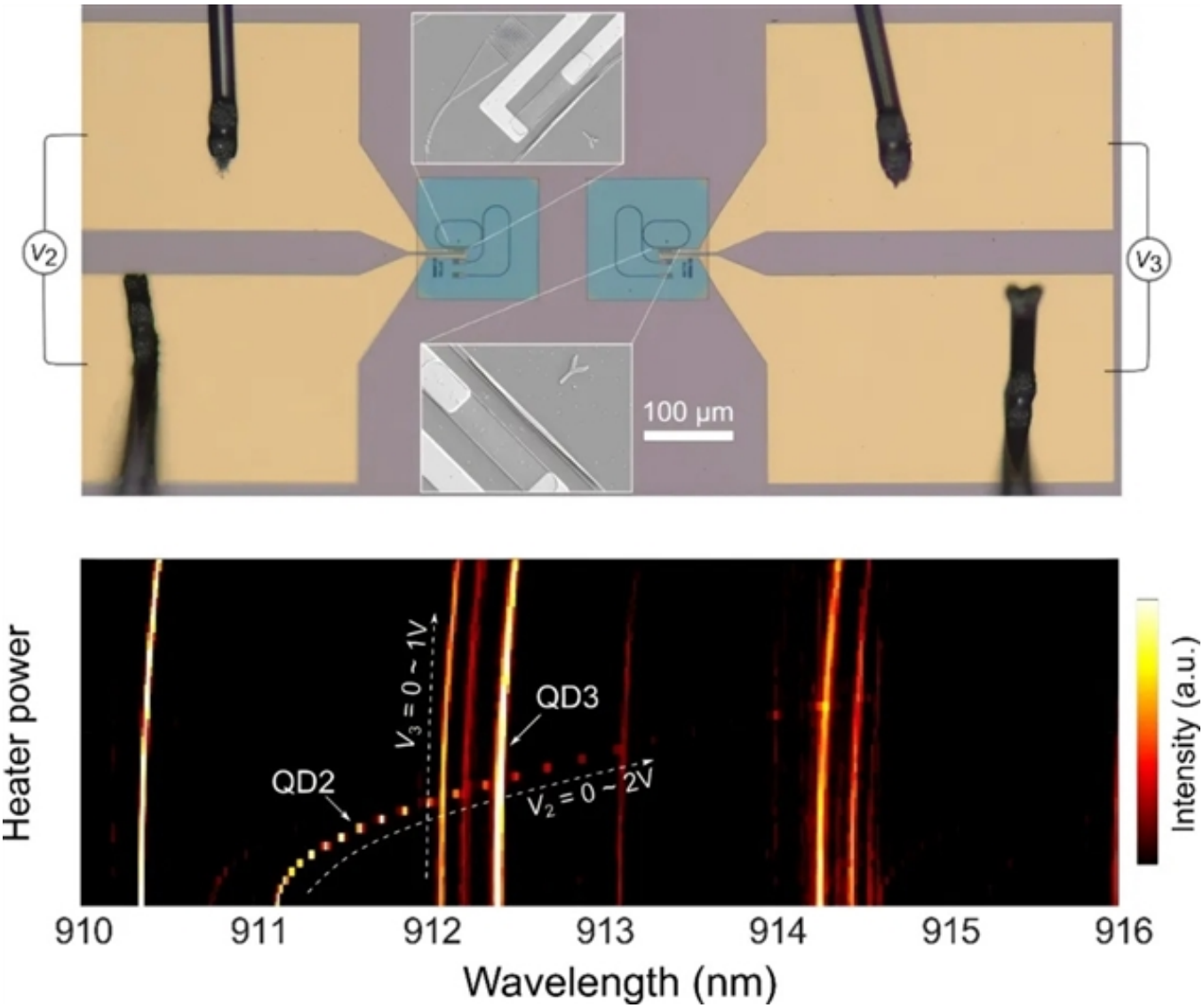


图3：片上可扩展微腔耦合量子点光源

与其他类型片上微腔相比，本工作开发类似‘搭积木’式的高精度微转印器件混合芯片集成技术，成功在4H-SiC电光材料芯片上，构建同时具有局域调谐能力、珀塞尔增强、高单光子纯度和扩展能力的片上确定性量子光源。结合4H-SiC材料的CMOS工艺兼容特性及其电光调制能力，本工作为解决光量子网络应用中不同量子节点处的扩展性挑战难题提供了重要研究思路和技术方案。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-024-01676-y

作者：张加祥等 来源：《光：科学与应用》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发