上海微系统所实现基于III-V族量子点确定性量子光源和CMOS兼容碳化硅的混合集成光量子学芯片

作者：writer 来源：中国科学院

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/19237.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！

近日，中国科学院上海微系统与信息技术研究所、中科院物理研究所研究人员合作，实现基于III-V族量子点确定性量子光源和CMOS兼容碳化硅的混合集成光量子学芯片。通过设计双层波导耦合器和1×2多模干涉仪（Multimode interferometer, MMI），研究团队实现了混合量子光子芯片中确定性单光子的高效路由，以及对确定性单光子二阶关联函数的片上实验测量。相关研究成果于近日以*Hybrid integration of deterministic quantum dots-based single-photon sources with CMOS-compatible silicon carbide photonics*为题在线发表在*Laser Photonics Reviews*上。

集成光量子芯片提供了一个片上光量子态的产生、传输、调控及探测的综合平台，由于其具有集成度高、稳定性好、便于操纵等优势，在量子通信、量子传感和量子计算等光量子信息应用领域引起广泛关注。近期研究人员在硅、高折射率玻璃、氮化硅和氮化铝等各种CMOS工艺兼容的光子学材料平台上成功实现自组装量子点单光子源的混合集成，掀起该领域的研究热潮。然而，目前所有已开发的光子学平台均无法同时具备大带隙、高折射率、高二阶和三阶非线性光学系数。第三代半导体材料碳化硅（SiC），尤其是具有六方晶相结构的4H-SiC，其具有CMOS技术兼容性和大的光学非线性，是实现大规模光学量子回路的有力竞争者。同时，4H-SiC在较宽的波长范围内具有2.4~3.2 eV的大带隙和n~2.6的大折射率，其优异的综合特性为集成光量子芯片的应用带来巨大优势，包括制造大规模、低成本和高可靠性集成光子回路，以及利用线性电光效应实现超快速度调制功能的可重构光子回路。然而，利用离子束注入剥离制备的4H-SiCOI在芯片上创建高效的单光子源是具有挑战性的。这是因为，虽然4H-SiC拥有丰富的自旋缺陷二能级系统，但由于离子注入带来的高离子损伤缺陷，制备空间可分辨的单个缺陷极其困难。因此，如何突破这一限制，在CMOS兼容的4H-SiC光波导上集成量子光源从而构建综合性能优异的集成光量子芯片成为量子光学材料和器件的研究热点之一。

研究团队开发混合集成方法，成功将基于自组装量子点的确定性单光子源转移至基于离子注入剥离与转移技术制备的4英寸晶圆级4H-SiCOI光子芯片上（图1a）。通过采用电子束曝光和干法蚀刻方法，研究实现了4H-SiC光子芯片和含有铟镓砷量子点（QD）的砷化镓纳米光子波导的高产率制备；同时开发亚微米精度薄膜器件转移技术，实现砷化镓纳米光波导与4H-SiCOI光子芯片上光子学结构的混合集成。研究人员采用由锥形波导组成的双层垂直耦合器来实现了QD光子发射到4H-SiC光波导的高效耦合（图1b和c）。

此外，研究团队设计和制备了分束比为50:50的4H-SiC 1×2 MMI器件（图1d和e），通过光纤分别收集两个光栅耦合器的光致发光谱信号并传输到光谱仪中，上下光栅相同的计数率显示了MMI器件50/50功率分束比（图2a和b）。在对确定性单光子二阶关联函数的片上实验测量中，研究人

员分别通过连续波激光器和脉冲激光器激励，在零延时处测得了$g^{(2)}(0) = 0.20 \pm 0.03$和$g^{(2)}(0) = 0.12 \pm 0.02$，低于经典极限（0.5），表明了光子的反聚束现象（图2c和d）。该工作成功地在晶圆级4H-SiC光子芯片上实现QD确定性单光子源的混合集成，并实现了对确定性单光子二阶关联函数的片上实验测量，为实现同时具有确定性单光子源的CMOS兼容的快速可重构量子光子电路提供了一种新的解决方案和研究思路。

相关研究工作得到国家重点研发计划、上海市科委启明星项目、中科院前沿科学重点资助项目等的支持。

论文链接

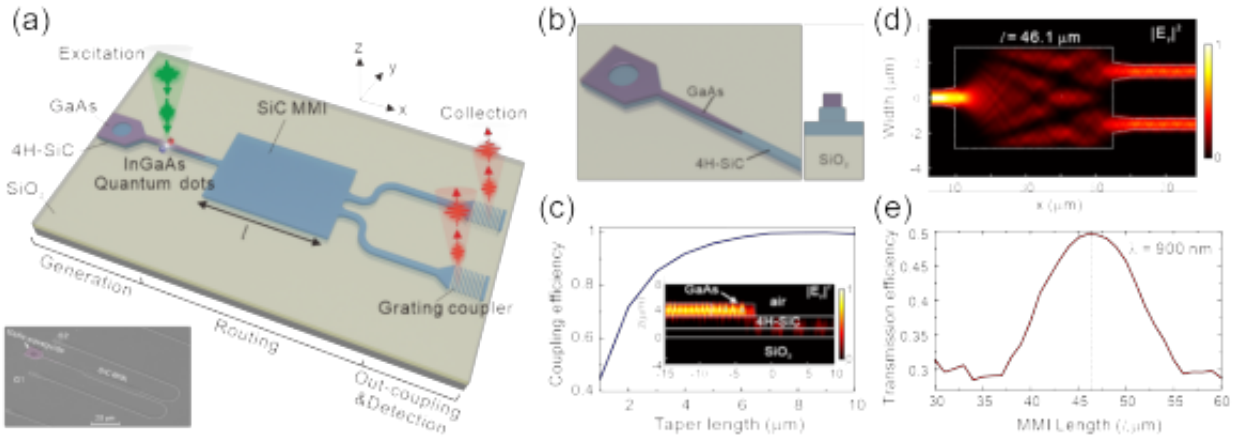


图1 (a) 在4H-SiCOI材料平台上设计的1×2 MMI器件示意图。在MMI器件的输入波导上集成了一个锥形GaAs纳米光子波导。两个输出端口端分别制备垂直光栅耦合器，左下插图为该结构的SEM图像；(b) 双层波导耦合器的结构示意图；(c) 波导耦合器的耦合效率随锥形长度的变化，插图显示了从顶部GaAs波导到下方4H-SiC波导的基本TE模场转移；(d)
MMI器件中的电场强度分布；(e) MMI器件输出端口传输效率与器件耦合长度的变化关系

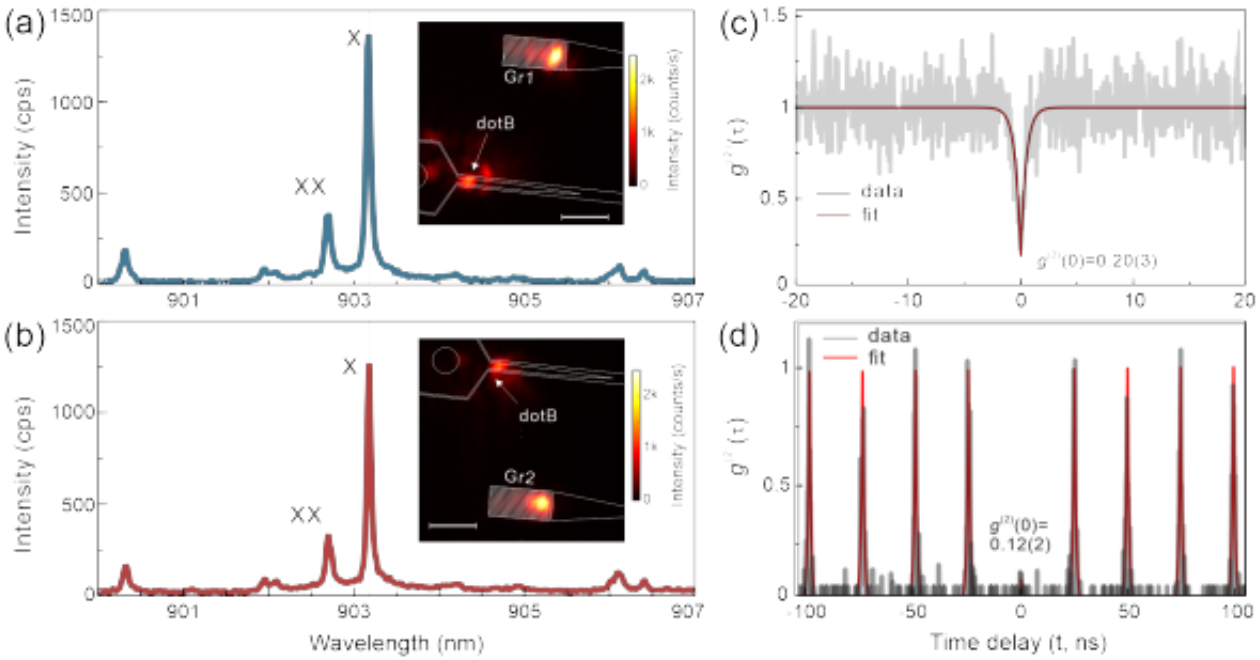


图2 (a)和(b)是分别从顶部和底部光栅耦合器上采集的量子点光致发光谱（PL），插图分别显示了MMI器件针对量子点激子发光峰（X）的二维PL扫描图，其中的标尺长度为8 μm；(c)和(d)为从分离的两个光栅耦合器中收集的激子光子的归一化二阶空间互相关函数，分别在连续波激光激励条件下(c)和脉冲激光激励条件下(d)测量

研究团队单位：上海微系统与信息技术研究所

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