

## 专题导读

人类对光的研究自古有之，早在公元前400年《墨经》中关于“小孔成像”的记述便代表了人类对光直线传播的直观感知，公元1015年阿拉伯物理学家伊本·海赛木出版*Book of Optics*，代表着对光学系统性研究的开始。随着惠更斯、牛顿、托马斯·杨、菲涅耳、麦克斯韦和爱因斯坦等众多科学家的卓越贡献，光学研究逐渐从几何光学、物理光学发展到量子光学。从一束光到一个光子，人类对光的认识与操控能力不断发展。伴随着量子力学及量子信息科学的诞生与发展，光子具有速度快、稳定性好等优点，成为承载量子信息技术的良好载体，随着人类对光子制备、操控及探测等能力的不断提升，也推动着量子信息科学技术的快速发展。

集成量子光学是一门集合了量子光学、量子信息、集成光学、微纳加工和材料科学的新兴交叉学科。基于集成光学的光量子芯片，通常被称为“光量子芯片”。光量子芯片利用半导体制造技术实现了高性能光量子器件的大规模集成，能够在片上产生光子并进行操控，进而实现片上光量子态的制备、操控、存储和探测等功能。光量子芯片可以克服传统体块量子光学系统在体积、稳定性、扩展性等方面的不足，具有高集成度、高稳定性、高精确性等优点。类似于超大规模集成电路的发展，光量子芯片可实现超大规模集成的量子光学系统，被认为是实现量子通信、量子计算、量子模拟、量子精密测量和量子网络等量子信息技术前沿应用的重要平台。

目前广泛采用的光量子芯片材料主要包括硅、铌酸锂、二氧化硅、砷化镓、磷化铟等，关键的光量子器件主要包括集成量子光源、量子纠缠操控线路、量子存储器以及波导集成单光子探测器等。在过去十五年，国际上实现了从几个到几千个量子元器件单片集成的突破，可处理的单光子数也从两个单光子推进到近二十个单光子，片上真量子纠缠比特数为八比特，同时呈现了多材料百花齐放、异质异构集成优势互补的发展趋势，光子、离子、原子和超导等混合集成的新型量子芯片体系开始涌现，发展出了一批可用于量子密钥分发、专用量子计算、量子化学模拟、量子存储、量子传感和量子网络的功能型光量子芯片。如何实现芯片上大尺度量子纠缠的高精度制备与量子操控，仍是发展实用化量子信息处理、计算、通信和网络等前沿应用的重要科学问题。

我国在集成量子光学领域的研究水平基本和国外齐平。在集成参量量子光源、量子点单光子源、集成纠缠光源的研究方面已经取得了一定成果，超导纳米线单光子探测器目前已有多家单位可以自主制备并积极推进芯片集成化，集成量子存储器的相关性能在不断优化，大规模集成光量子芯片制备和调控方面也取得了一些重要进展。我们在光量子纠缠态调控和量子密码系统技术方面已有很好的基础，但同时对高性能光量子芯片的加工技术不足，对光量子计算架构和量子算法研究尚未成熟，相关基础研究与量子技术实用化结合得不够紧密。近年来，我国在量子计算和量子通信技术研究、光电子集成芯片技术和产业化方面已经取得积极进展，为发展高性能光量子芯片创造了良好的条件。

本期集成量子光学专题邀约领域内知名科学家团队撰写了4篇综述文章，分别从量子芯片材料与量子信息应用等方面，介绍了当前集成量子光学领域的研究进展，包括：(1)基于互补金属氧化物半导体工艺的硅基绝缘体上光量子芯片及其量子信息处理和量子计算；(2)基于准相位匹配和畴工程技术的光学超晶格量子光源、铌酸锂光量子器件和量子芯片体系；(3)基于飞秒激光三维高精度直写技术的玻璃基集成光量子芯片及其量子模拟和计算；(4)基于飞秒激光微加工的稀土掺杂晶体波导成型量子存储器及其量子中继和通信网络。几篇代表性研究成果不仅展示了我国科学家在集成量子光学领域的重要贡献，也有助于读者了解该领域的最新研究动态。

(北京大学 王剑威、军事科学院 强晓刚 供稿)