Light 把光纤装进芯片

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43239.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！

Light 把光纤装进芯片。 导读

近日，加州理工学院 Kerry Vahala, 陈豪敬, Kellan Colburn 团队与英国南安普敦大学 James Gates 等合作，在 Light: Science Applications发表题为 Ultrahigh-Q integrated flame-hydrolysis-deposited germano-silicate resonators on silicon的研究论文。该工作将光纤制造中广泛使用的火焰水解沉积（名词解释）工艺拓展到集成光子学。南安普敦团队负责制备高质量火焰水解沉积锗硅酸盐晶圆，加州理工团队进一步完成器件设计、微纳加工、热回流处理与超高品质因子 (Q) 光学表征。双方将光纤材料工艺和芯片加工技术连接起来，制备出片上超高 Q 锗硅酸盐微腔。该平台利用热回流过程修复刻蚀缺陷、降低散射损耗，并在宽光谱范围实现超高 Q 性能，为片上高相干光源、精密测量、光通信和量子光子学提供了新的材料与制造基础。

研究背景

光纤之所以能支撑全球互联网，是因为光在其中传播时损耗极低。它像一条足够光滑的高速公路，让信息可以跨越城市、海洋和大陆。

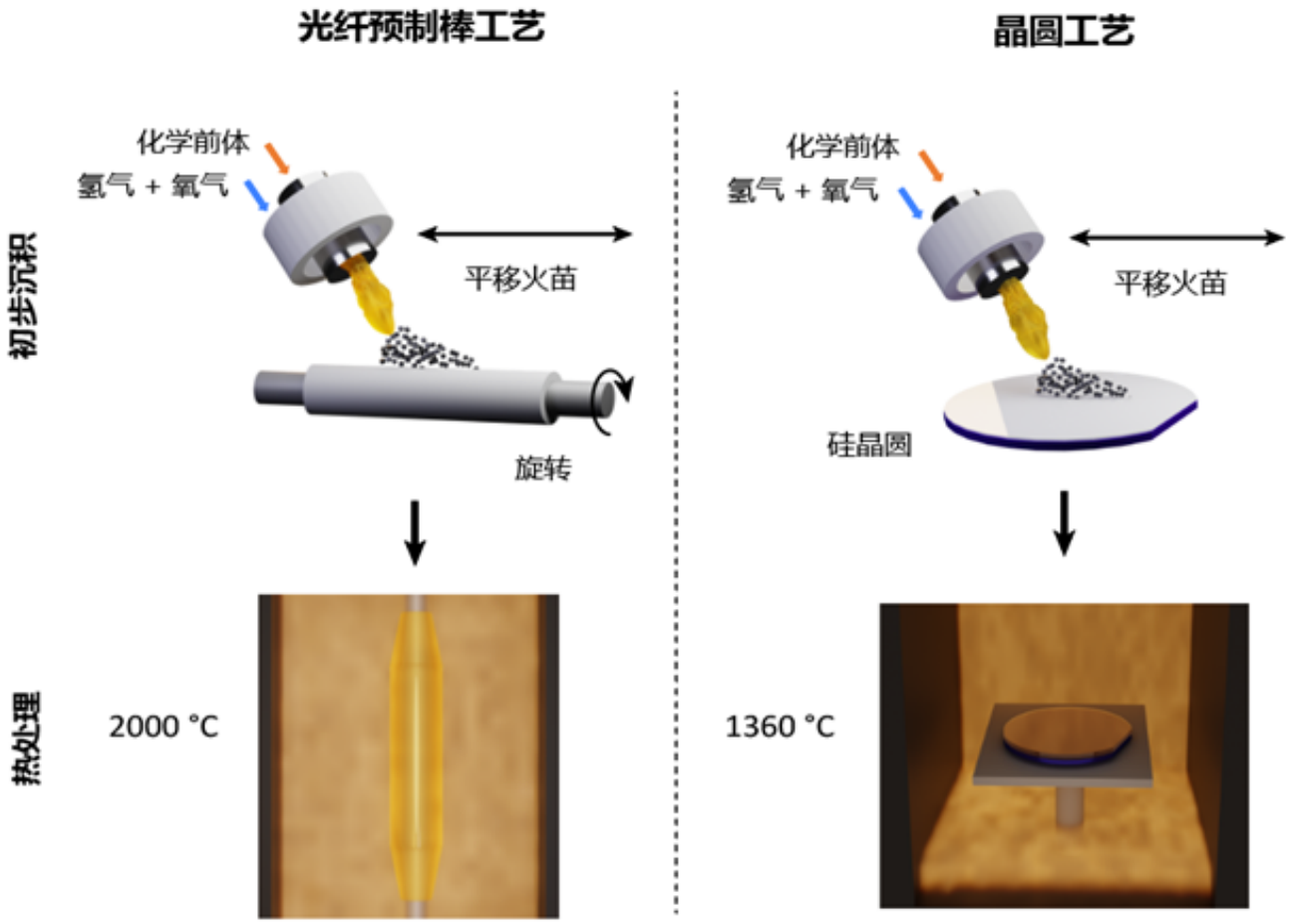
如今，人们希望把类似的光学能力压缩到一枚芯片上。光子芯片可以在微米尺度上引导、调控和存储光，有望服务于相干光通信、人工智能计算、精密测量和量子信息。然而，芯片中的光路越小，光就越容易受到加工缺陷、表面粗糙和材料吸收的影响。每一个损失的光子，都会带来更高功耗、更大噪声和更低相干性。

因此，低损耗是光子芯片走向高性能系统应用的生命线。一个长期问题是：能否把光纤级的低损耗搬到芯片上？

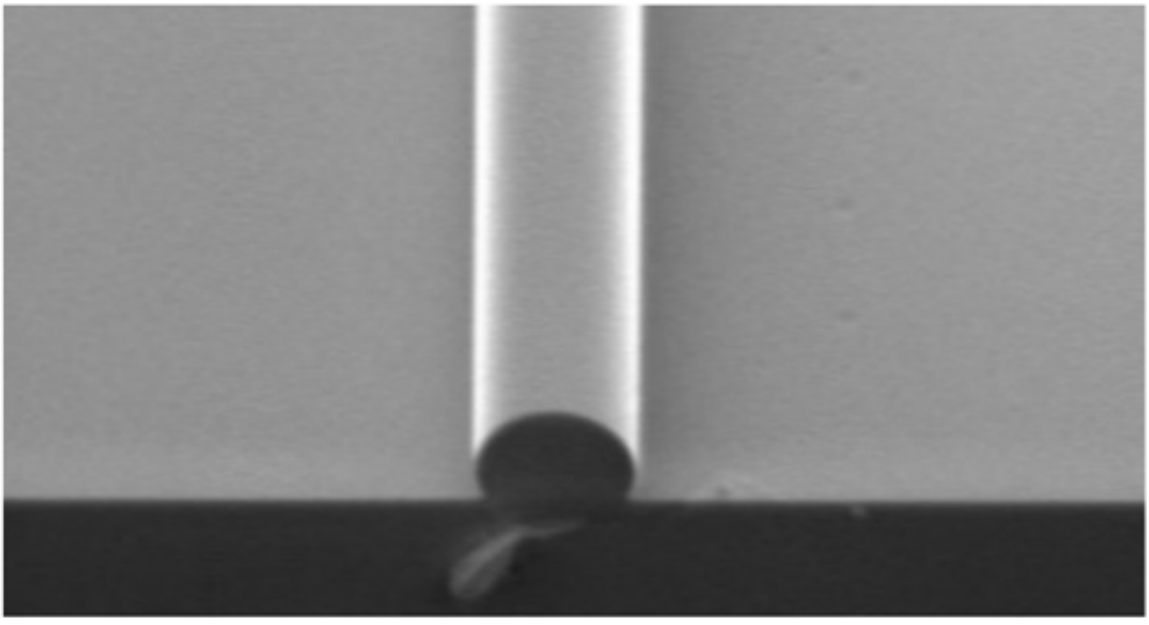
研究亮点

火焰水解沉积：从光纤制造到硅基晶圆

锗硅酸盐，即掺锗二氧化硅 (GeO_2-SiO_2)，是一种主流的光纤芯层材料。在光纤中，微量的锗掺杂（约3.5 mol% GeO_2）常用于调节玻璃折射率，使光被限制在纤芯中传播。该团队近期一项工作演示了基于25mol% 的集成器件。而在这项工作中，研究人员进一步采用更高浓度的锗掺杂（50mol%）。这样不仅提高了折射率对比，使光路可以更加紧凑，也降低了玻璃的软化温度，为后续热回流打开了新的工艺窗口。



火焰水解沉积工艺对比图



片上光纤示意图

给芯片光路重新抛光

对于超高 Q 微腔而言，微纳加工留下的侧壁粗糙是重要损耗来源。即使是很小的刻蚀缺陷，也会在微腔内多次循环时被不断放大，最终限制器件性能。

高锗掺杂带来的热回流能力，为解决这一问题提供了新的办法。在适当热处理下，刻蚀后的锗硅酸盐波导会发生受控黏性流动，原本较为方正、粗糙的截面在表面张力作用下逐渐变圆、变光滑。这个过程类似给芯片上的微型光路进行一次重新抛光，从物理机制上修复刻蚀引入的缺陷。

研究人员还专门验证了这种修复能力。即使初始刻蚀质量较差、微腔 Q 值较低，经过热回流后，器件性能也可以恢复近两个数量级。这说明该平台并不只是追求单个器件的极限性能，更重要的是显著放宽了超高 Q 微腔对刻蚀窗口的依赖，提高了加工容错性和晶圆级可重复性。

在实验中，该平台在 1064 nm 波长处实现了 5.66 亿的本征 Q 值，对应波导传输损耗低至 0.07 dB/m。同时，从通信波段到紫光波段，器件均表现出超过 1 亿的 Q 值。这表明它不是只服务于单一波长的特殊器件，而是一个宽光谱、低损耗、高相干的集成光子平台。

总结与展望

需要指出的是，本研究是将光纤制造工艺迁移到硅基光子芯片上的第一步，与商用光纤约 0.2 dB/km 的损耗极限相比，当前片上器件仍有两个多数量级的提升空间。未来，通过相关工艺的进一步优化，片上光路有望继续逼近光纤级性能，将千米级的光学波导集成于手掌大小的晶圆之上，充分释放大规模集成光学回路的优势。

与此同时，晶圆级热回流工艺显著提高了微纳加工的容错性。传统上，Q 值超过108的集成微腔往往依赖严苛的刻蚀窗口；而在该平台中，后续回流能够有效平滑侧壁并修复刻蚀缺陷。这意味着超高 Q 微腔有望不再只是少数实验室掌握的高门槛工艺，而是逐步走向更可重复、可扩展的晶圆级制造。

从光纤到芯片，不只是把器件做小。更深层的意义在于，把曾经支撑全球互联网的低损耗光学能力，带入可集成、可扩展、可部署的芯片系统中，并为下一代 AI 数据中心光互连、量子科技和精密测量提供新的光学基础设施。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-026-02353-y

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“ 来源 ”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们接洽。
作者：Kerry Vahala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