高效量子光源：分层极化铌酸锂波导

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/31016.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！

高效量子光源：分层极化铌酸锂波导。 导读

近日，来自新加坡国立大学和新加坡科技研究局的朱迪教授团队研发了一种分层极化铌酸锂（LPLN）纳米光子波导。这种新型LPLN波导通过电极化技术在铌酸锂波导的垂直方向上形成层级反转极化区域。该层级反转极化结构有效打破了材料的空间对称性，结合模式相位匹配，可显著提高非线性模式重叠度，进而极大地增强了非线性相互作用。

该研究工作以Efficient photon-pair generation in layer-poled lithium niobate nanophotonic waveguides为题发表在Light: Science Applications。

在高速发展的量子通信技术中，高品质量子光源是一个关键的要素。而纠缠光子对则在其中发挥着重要的作用，是构建安全高效量子信息网络的基础。在集成光子芯片中实现高效且高品质的纠缠光子对，仍然是光子学领域中的一项重大挑战。

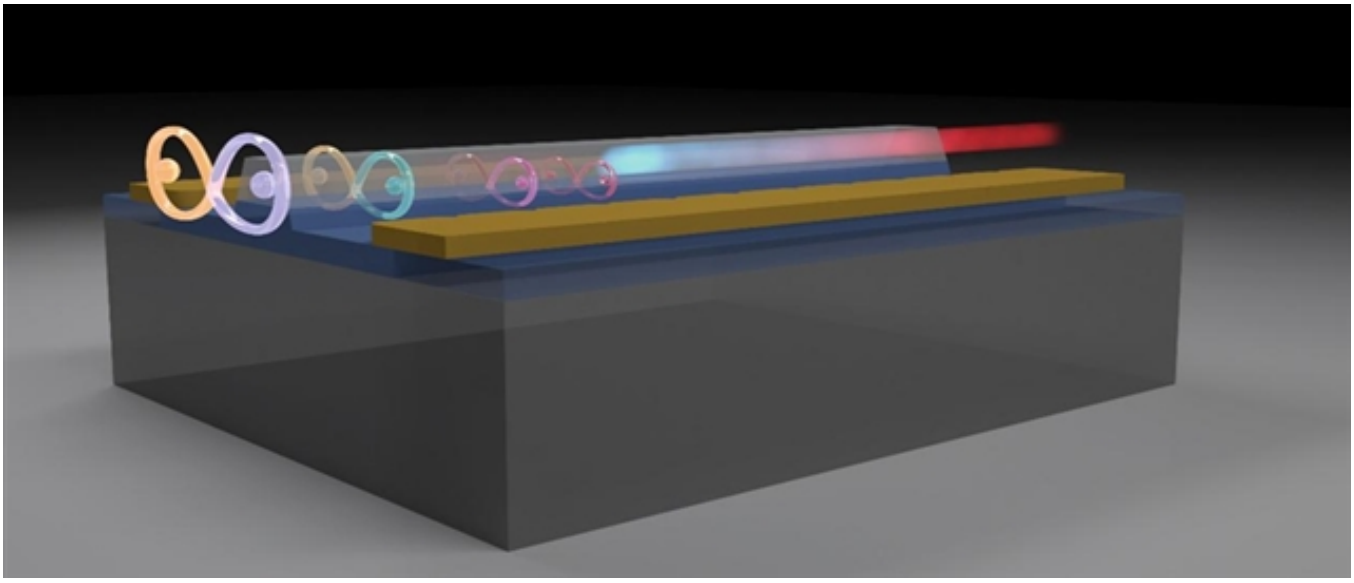


图1：分层极化铌酸锂（LPLN）波导产生宽带纠缠光子对(CREDIT: Merlot)

铌酸锂是一种具备高二阶非线性的材料，可通过自发参量下转换（SPDC）过程产生纠缠光子对。然而，在二阶非线性波长转换过程中光子的波长间隔较大，例如需要可见光泵浦产生通信波段

的光子对，这使得在纳米光子波导中实现相位匹配变得更加困难。在铌酸锂集成光子平台上，可以利用模式相位匹配和准相位匹配实现波长转换。然而传统模式相位匹配的非线性模式重合度极低，导致波长转换效率也极低。基于准相位匹配的周期极化铌酸锂（PPLN）波导可实现较高效率的波长转换过程，目前被广泛使用。然而其波长转换效率仍然要低于完美相位匹配条件下的效率，而且PPLN的电极化条件相对苛刻，对波导结构尺寸和温度较为敏感。这些因素增加了加工的难度，并会导致器件性能的不稳定。

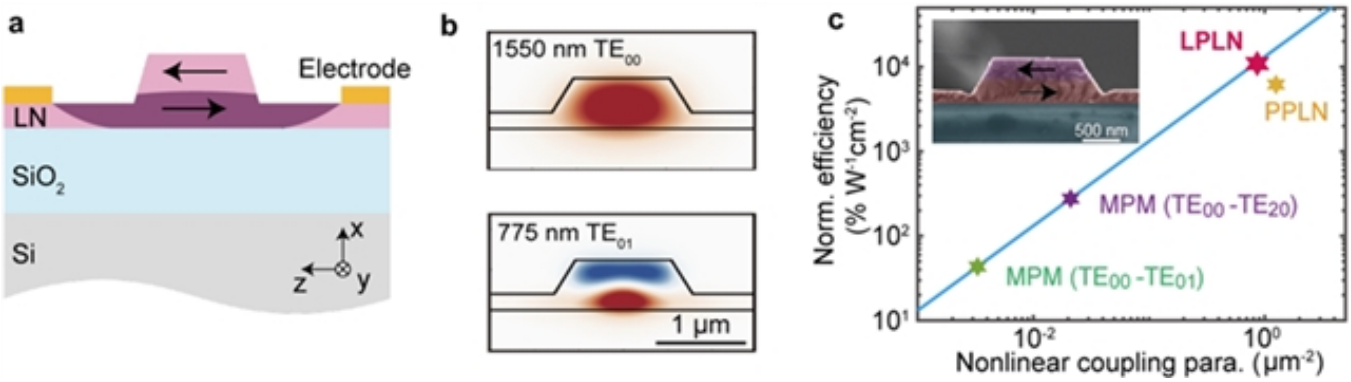


图2：高非线性LPLN纳米光子波导

针对以上挑战，来自新加坡国立大学和新加坡科技研究局的朱迪教授团队研发了一种分层极化铌酸锂（LPLN）纳米光子波导。这种新型LPLN波导通过电极化技术在铌酸锂波导的垂直方向上形成层级反转极化区域。该层级反转极化结构有效打破了材料的空间对称性，结合模式相位匹配，可显著提高非线性模式重叠度，进而极大地增强了非线性相互作用。理论上，LPLN波导相比于传统模式相位匹配的波导，其非线性波长转换效率提升了近两个数量级；是同等条件下PPLN波导效率的两倍。实验结果显示LPLN波导实现了高达4615%W-1cm-2的归一化二次谐波（SHG）转换效率。更为重要的是，与PPLN波导相比，LPLN波导展现了更高的制备可靠性和工艺可重复性。在制备过程中，LPLN波导的极化深度可以通过电极化参数（如电压、脉冲数量等）精确控制，避免了由于制备条件波动导致的性能不稳定问题。此外，LPLN波导在几何结构和温度变化方面表现出更低的敏感性，显著提升了器件的实用性和可靠性。

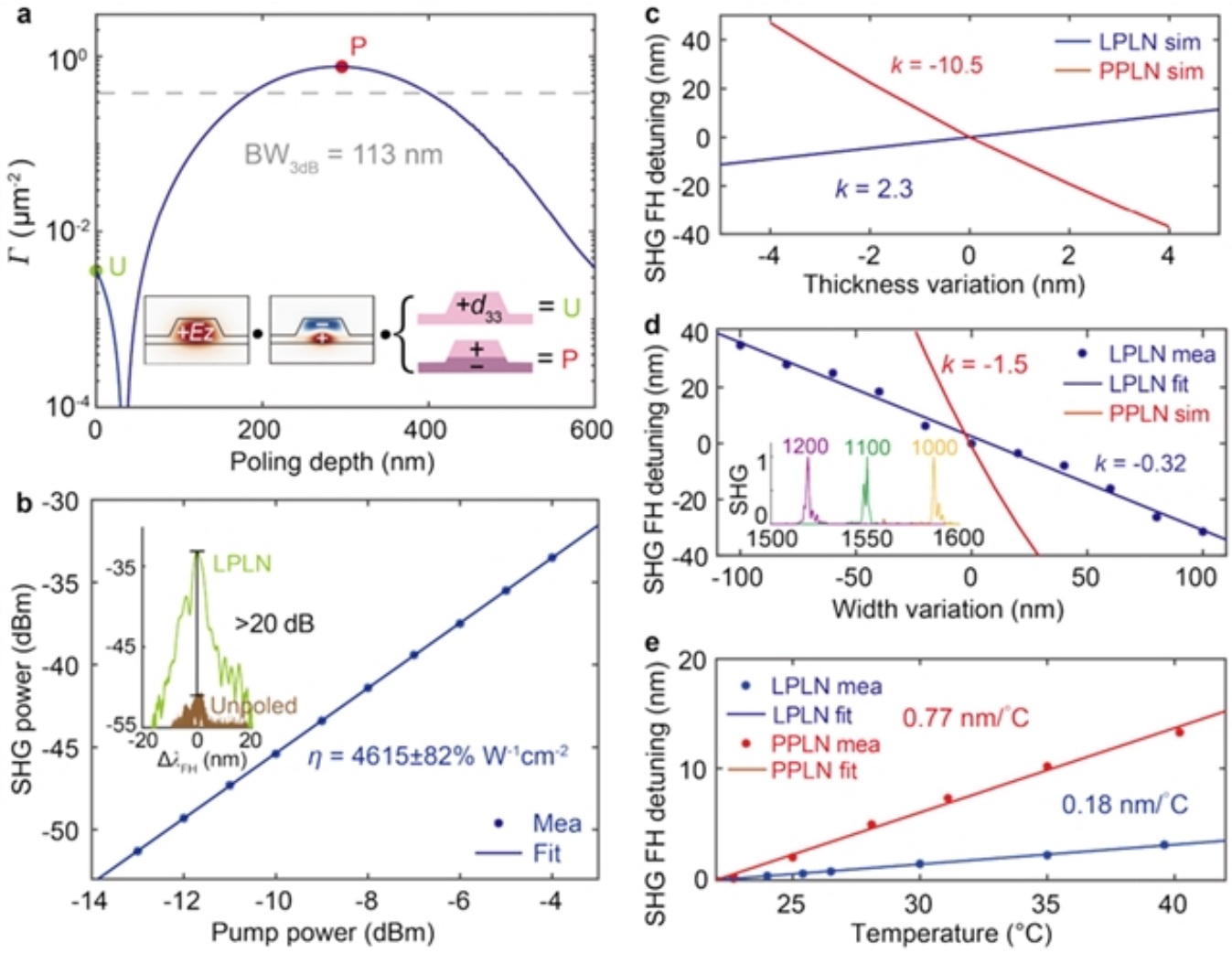


图3. LPLN波导非线性强度分析，SHG实验结果，在结构尺寸和温度敏感性上与PPLN进行对比

应用与展望

利用LPLN，该研究团队成功实现了在单一LPLN波导中基于级联SHG-SPDC过程产生纠缠光子对。该方法利用通信波段激光器产生通信波段纠缠光子对，消除了对可见光泵浦激光器和额外SHG模块的需求，有效简化了实验装置。并且相比于具有相同实验配置的基于三阶非线性过程产生纠缠光子对的方法，级联SHG-SPDC的效率更高。利用该过程产生的光子对具有极强的频率相关性和宽带特性，可覆盖S、C和L通信波段。这一成果使得LPLN波导在非线性和量子光子学领域展示出极大的应用潜力，尤其是在需要高效、宽带纠缠光子对生成的量子通信和量子网络中。

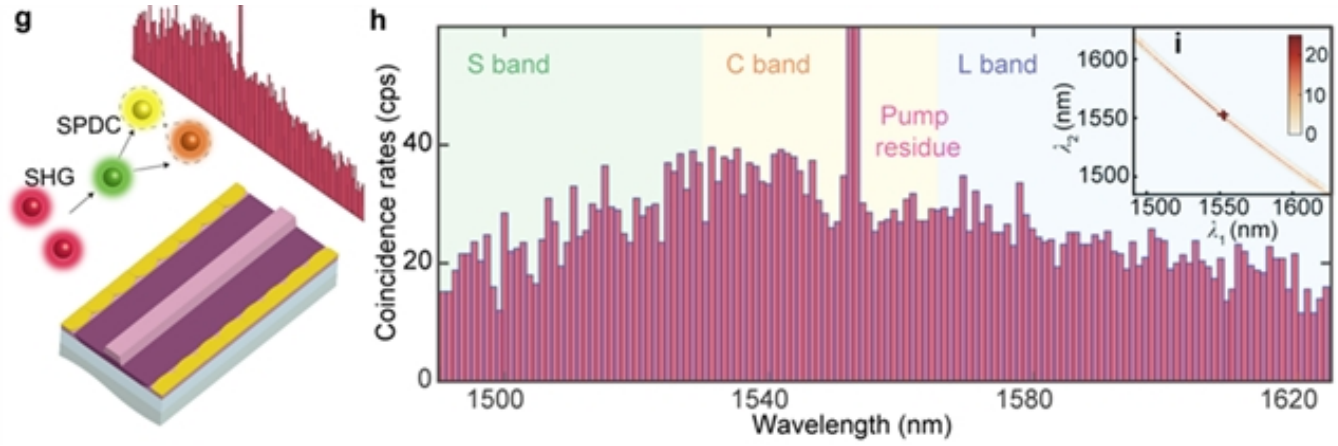


图4：LPLN波导级联SHG-SPDC产生纠缠光子对，具备极强的频率相关性和宽带特性

未来，研究团队计划进一步优化LPLN波导的制备工艺，提升其在实际量子信息处理系统中的稳定性和应用能力。同时，该技术也为开发新型光子学器件提供了新的思路，如片上集成的非经典光源、片上压缩光的产生、量子传感器等。随着技术的不断成熟，LPLN有望成为下一代非线性和量子光学网络的波导平台。（来源：中国光学微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-024-01645-5

作者：朱迪等 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