电控可编程多态非易失性光子存储器

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/25490.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！

电控可编程多态非易失性光子存储器。
近日，来自华盛顿特区乔治华盛顿大学电气与计算机工程系的Volker J. Sorger教授团队提出了一种基于宽带透明相变材料Ge2Sb2Se5的多态低损耗非易失性光子存储器，该存储器在非晶态下具有超低光学损耗，并通过电信波长的宽带区域提供高消光比。

研究背景

光子计算是人工智能和机器学习中呈指数增长的数据处理的主要解决方案。虽然光信号固有的电磁特性作为一种传输信息的节能方式所带来的好处是显而易见的，但可能会受到光电和光电转导以及对数字和非易失性存储器重复访问的阻碍，从而影响了整体的运行速度，产生了相当大的额外能量损失。基于这些原因，具有以非易失性方式保留信息的异构集成优化光子存储器具有很大的优势，尤其是当执行神经网络（NN）运算时，其中训练的权重很少更新。

对于光子计算，光子存储器是与光子集成电路（PIC）兼容的最重要也是最难实现的基本器件。传统的基于光子晶体、微环或其他主动调谐电光调制器的研究无法实现非易失性的特征，这是实现低成本、长期稳定的光子存储器的关键，研究者们又提出了基于相变材料（PCM）的光子存储器，相变材料可以在两种结构状态之间切换，即非晶态和晶态，具有不同的光学和电学性质。这些状态可以在适当的热或光刺激下可逆循环，并具有长期稳定性。GST（Ge-Sb-Te）是一种常用的光子存储材料，当在非晶态和晶态之间切换时，GST表现出相对较大的折射率（Δn）和光学损耗（Δk）对比度。

然而，GST的特征在于即使在非晶状态下也具有高吸收系数，而光子随机存取存储器被设置为擦除状态时，其吸收系数远高于GSSe的非晶状态。基于GSSe 光子随机存储器的无源插入损耗将远低于基于GST的光子存储器。因此，对于诸如实现深度神经网络的大型光子网络，要求其内核光子存储器具有非常低的损耗，这是基于gst的光子存储器由于其高被动吸收系数而无法满足的。

创新研究

光子随机存储器（P-RAM）通过消除数据链路中的光电转换损耗，是片上非冯诺依曼光子计算的重要组成部分。新兴的相变材料已经显示出多级存储能力，但仍然产生相对较高的光学损耗，并且需要繁琐的写入-擦除方法，这增加了功耗和系统封装的挑战性。Volker J. Sorger教授等针对这一问题，展示了一种基于宽带透明相变材料（Ge2Sb2Se5，GSSe）的多态低损耗非易失性电控光子存储器，该材料在非晶状态下具有超低吸收。

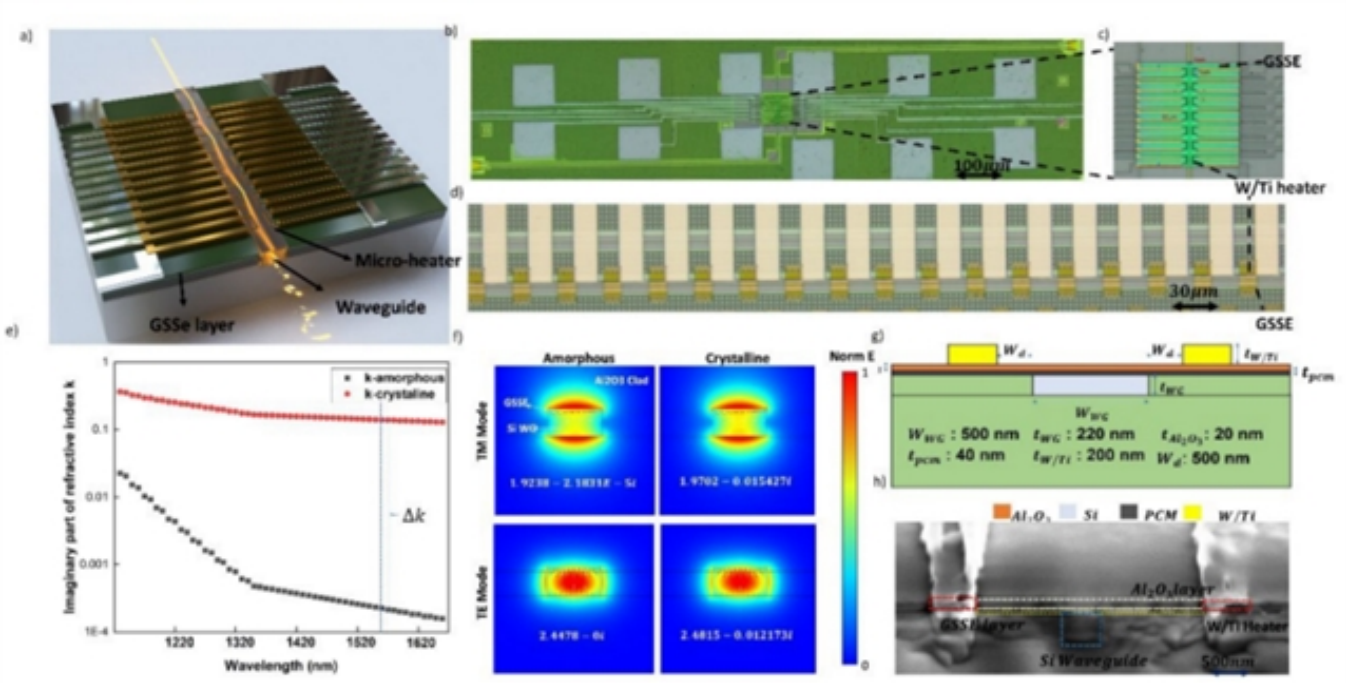


图1. 片上低损耗多位电驱动光子随机存储器（P-RAM）。（a） 在波导顶部具有30nm GSSe层的平坦化波导和多个平行的双面钨钛微加热器的3D示意图。（b） GSSe在具有离散双面加热器的波导光学图像（c）放大b中的图像，离散双面加热器沿着波导布置在GSSe膜上。（d）带单面加热器的GSSe条形阵列的光学图像，用于测量高阶位存储器。（e） 实验获得的（椭圆偏振法）GSSe薄膜的光学性质。GSSe在1550nm处的结晶态和非晶态的吸收系数对比度。（f） 非晶态和晶态之间吸收系数为0.54dB/um的TE和TM模式的混合Si-GSSe波导的归一化电场模式分布。这导致存储器的无源吸收非常小。（g） 横向热电开关配置的2D横截面示意图，用于优化加热器电阻以获得具有最小光学散射的最大加热效率。（h）设备的横截面SEM图像。

该光子存储器通过微加热器进行电编程，同时存储的信息保留在固态域中。读取是通过使信号穿过PCM覆盖的波导而实现的。该光子存储器选择GSSe作为PCM材料，在非晶态下具有最低光学损耗（IL），可通过电信波长的宽带区域提供高消光比（ER），同时，在1550 nm波长下具有非常低的吸收系数2.0×10－5，能够实现与PICs单片集成的近无损器件。这种低吸收系数比1550nm处的GST低两个数量级以上。同时，当处于结晶状态时，吸收系数增加到0.14，从而导致两种状态之间的高吸收对比度。

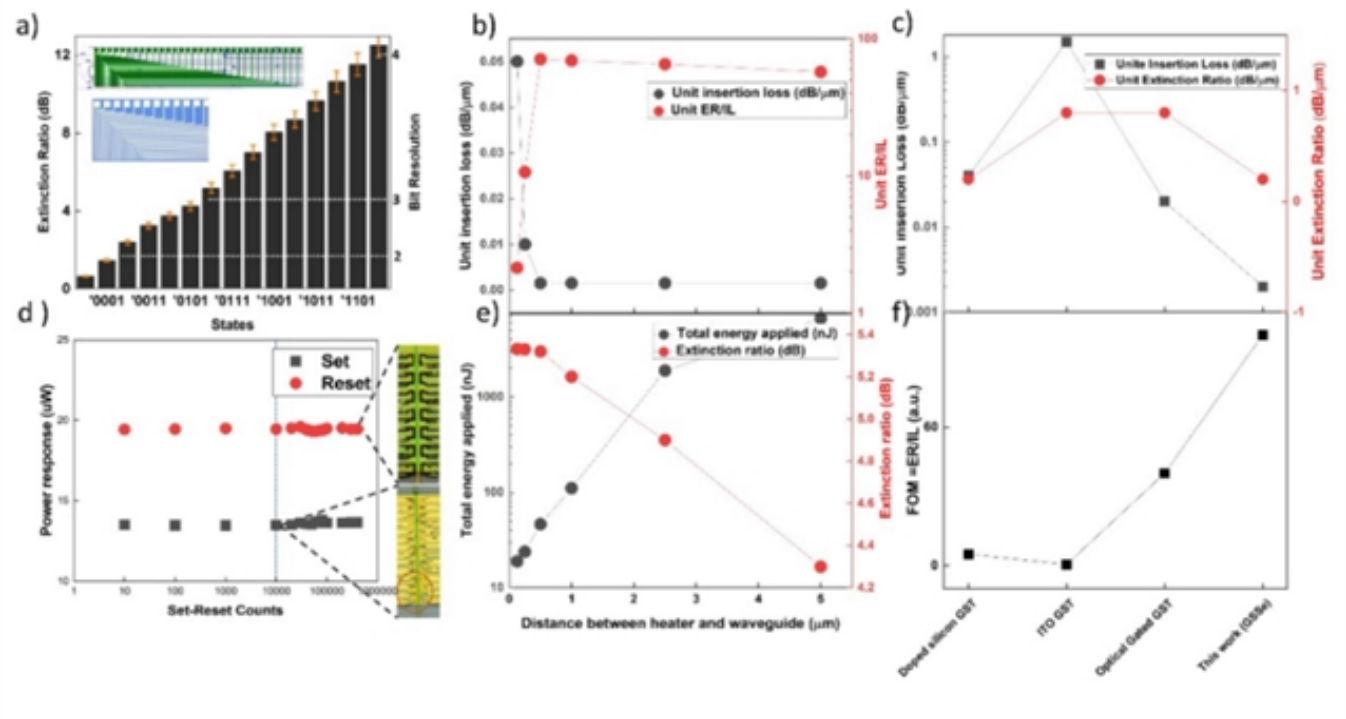


图2. 通过1550nm探针激光器的位分辨率、能量、可循环性的P-RAM性能。（a）4位光子存储器的光功率响应，对于越来越多的晶体线、消光比（ER）均匀地线性增加。（b）单位插入损耗（IL）和每单位插入损耗与加热器位置的消光比（ER）。（c）
基于PCM的光子存储器之间的单位插入损耗和单位消光比比较。（d）双态光学响应变化超过500000个切换周期。对于暴露在没有Al2O3层保护的空气中的加热器，实现的最大写入重置循环为10000次，加热器由于严重氧化或物理变形而损坏。（e）加热器性能与加热器位置。波导的边缘和双加热器之间的距离从125nm扫过到5000nm。（f）不同的非易失性光子存储器的优缺点比较。

研究人员进一步开展了一系列实验，在绝缘体硅平台上演示了零静态功率和电编程下的多位P-RAM，其特点是4位存储器具有高达0.2 dB/μm的有效幅度调制和总计0.12 dB的超低插入损耗，与其他基于相变材料的光子存储器相比，信损比提高了100倍。研究者进行了50万次可循环性测试，展示了这种材料和设备的稳定性。低损耗光子状态保持为光子功能和可编程电路增加了一个关键特征，在神经网络、激光雷达和传感器等领域具有非常广阔的应用前景。

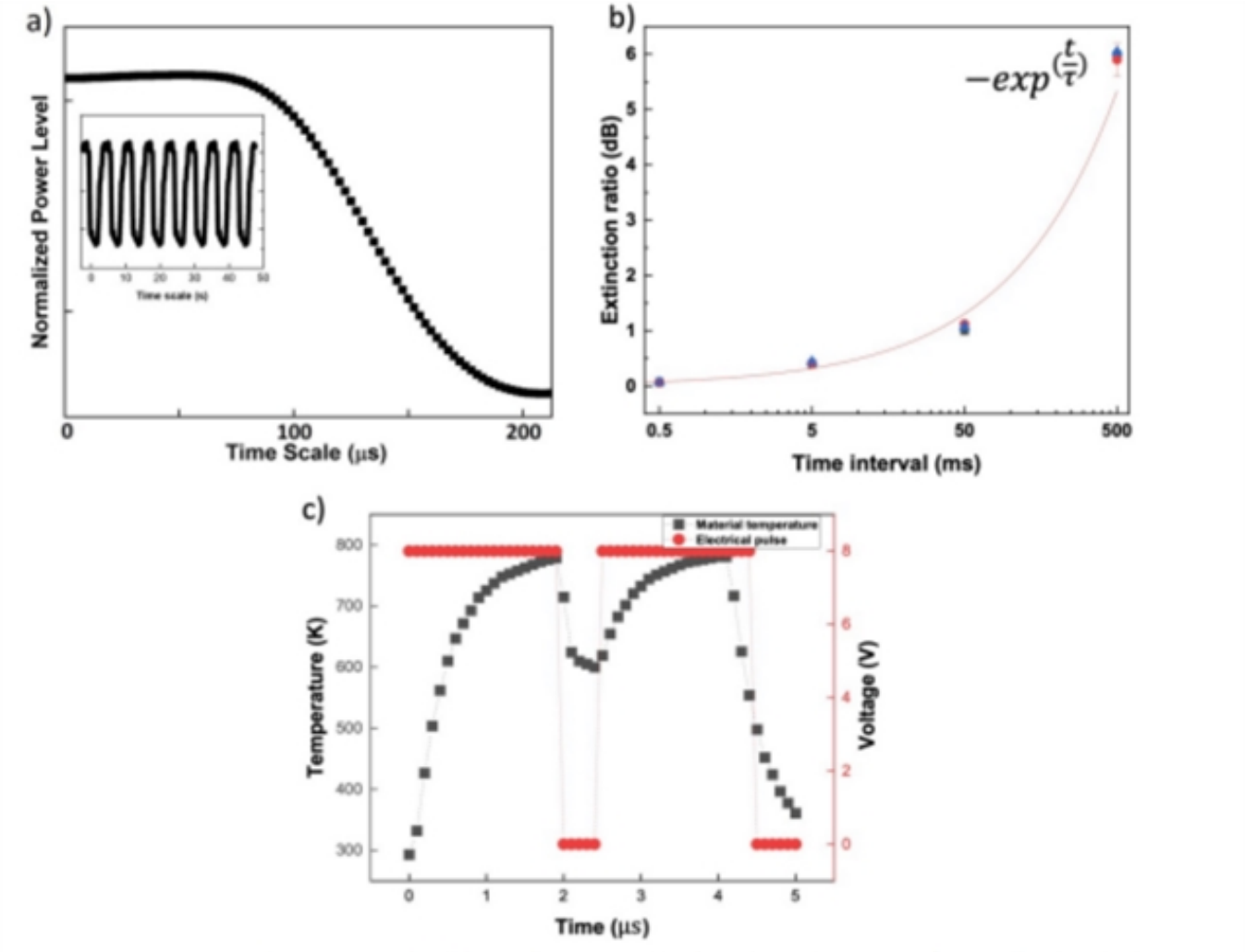


图3. P-RAM的速度响应和写入脉冲设置。（a）从晶体到非晶态的归一化光功率传输的随时间变化的轨迹，功率响应下降，单位为μs。（b）达到不同消光比水平所需的时间从0.5ms到500ms不等。（c）对每个加热器施加模拟的预编程电压脉冲，并且双面同时工作，使GSSe从非晶态过渡到晶态。

此外，研究人员还证明了当异构材料集成到硅光子中时，非晶态的光学吸收几乎为零。同时，每种状态下相对较低的吸收系数变化，使其有望成为非常稳定的高阶多态器件的材料，避免了使用高激光输入功率和极低噪声等效功率检测器。与用于PCM写入和复位的全激光加热相比，所提出的光子随机存取存储器通过微金属加热器的全电脉冲编程方法具有易于控制的显著优势，从封装的角度来看，电控制也是一种最好的选择，尤其是对于未来大规模光子计算电路中光子随机存储器的实现。

该文章发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》上，题目为Electrical programmable multilevel nonvolatile photonic random-access memory。Jiawei Meng为该论文的第一作者，Volker J. Sorger为该论文的通讯作者。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://www.nature.com/articles/s41377-023-01213-3

作者：Volker J. Sorger 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