

光电信息简报

编号：2019-04 总第 421 期 2019-2-20

本期目录

先进激光技术及应用

高性能硅量子点锁模激光器最新进展
环境稳定的激光器发出极其纯净的光线
光子芯片级低线宽激光器可发出“安静”光线
量子点激光器中的波长控制可以辅助感测和通信
超对称性提高了激光器阵列的光束质量
加速阿秒测量

量子光学

在芯片上实现“鬼影”成像

先进激光技术及应用

高性能硅量子点锁模激光器最新进展

最近，美国加州大学圣巴巴拉分校电子和计算机工程教授 John Bowers 和他的研究团队在硅上开发的锁模量子点激光器所取得了最新进展。Bowers 说，“世界上数据流量的增长非常非常快。”他解释说，一般情况下，最先进的电信基础设施的传输和数据容量必须大约每两年翻一番，才能保持高水平的性能。这意味着即使是现在，英特尔和思科等科技公司也必须将目光投向 2024 年及以后的硬件市场，以保持其竞争力。

进入 Bowers 小组的高通道数，20 千兆赫，被动锁模量子点激光器，直接生长在硅衬底上。并已被验证具有每秒 4.1 太比特的传输能力，它比目前的数据传输最佳商业标准（目前以太网的数据传输速度达到每秒 400 千兆位）提前了整整十年。

该技术是称为波分复用（WDM）的已知技术中最新的高性能候选技术，WDM 使用不同的波长（颜色）在单根光纤上传输大量并行信号。它使我们的通信、娱乐和商业所依赖的流媒体和快速数据传输成为可能。

Bowers 研究团队的新技术利用电子、光子学和材料方面的多项优势，利用其量子点激光器，一种微小的微米级光源，可以发射大量可以传输数据的光波长。

“我们希望在一個廉价的光源中产生更多的相干波长，” Bowers 研究组的博士后研究员，该论文的第一作者 Songtao Liu 说。“量子点可以提供宽增益谱，这就是我们可以实现多通道的原因。”他们的量子点激光器产生 64 个通道，间隔为 20 GHz，可用作发射器以提高系统容量。

激光器被动地“锁模”，一种产生固定通道间隔的相干光学“梳子”的技术，以防止激光腔中的波长竞争产生噪声并稳定数据传输。

该技术代表了硅电子和光子集成电路领域的重大进步，其主要目标是创建使用光（光子）和波导的组件——无与伦比的数据容量和传输速度以及能效，甚至代替电子和电线。硅是一种良好的材料，其可以引导和保存光的质量，并且易于低成本本地大规模生产制造。然而，它不太适合发光。

“如果你想要有效地产生光，你需要一个直接的带隙半导体，”刘说，他指的是发光固体的理想电子结构特性。“硅是一种间接带隙半导体。” Bowers 研究组的量子点激光器是在加州大学圣巴巴拉分校的纳米加工设施中逐个硅分子生长的，这种结构除了硅自身众所周知的光学和制造优势，还利用了几种半导体材料的电子特

性来提高性能和功能（包括它们的直接带隙）。

随着技术公司寻求提高数据容量和传输速度的方法，这种量子点激光器及其类似组件有望成为电信和数据处理的标准规范。

“数据中心现在正在购买大量的硅光子收发器，”鲍尔斯指出。“两年前，它一无所有。”

自从 Bowers 十年前展示了世界上第一款混合硅激光器（与英特尔合作）以来，硅光子世界不断创造更高效率、更高性能的技术，同时保持尽可能小的占地面积，着眼于大规模生产。Bowers 和 Liu 表示，硅量子点激光器是最先进的技术，可为未来的设备提供卓越的性能。

“我们的目标还很远，”拥有 Fred Kavli 纳米技术主席的鲍尔斯说，“这正是大学研究应该做的事情。”

参与该项目研究的还有加州大学圣塔芭芭拉分校 Xinru Wu、Jing Kenn、MJ Kennedy、Hon K. Tsang 和 Arthur C. Gossard。

威编译自：<https://www.sciencedaily.com/releases/2019/02/190213132205.htm>

环境稳定的激光器发出极其纯净的光线

稳固的窄线宽激光器可以为 GPS 和引力波观测提供便携式光源。来自美国麻省理工学院林肯实验室的研究人员在《Optica》——光学学会的高影响研究期刊中描述了他们的新激光器。研究人员开发出一种紧凑型激光器，它可以发出光谱纯度极高的光，这种光不会因环境条件而发生变化。这种新型便携式激光器可能会造福许多科学应用，例如改进全球定位（GPS）系统的时钟，推进空间引力波的探测，并对量子计算有一定作用。

即使激光器被设计成只发射单色光波长的光，温度和其他环境因素的变化通常会引入噪声，导致光发射光谱的改变或扩大。这种发射的光谱扩展范围称为激光线宽。研究人员采用了一种新方法制造光纤激光器，其光谱线宽比光纤或半导体激光器的光谱线宽要窄。这种激光器也提供了一种方法来感知和修正温度变化，这种变化小到 85 纳开尔文，或者说是 850 亿分之一度。

“今天，超低膨胀（ULE）腔体激光器具有最窄的线宽和最高的性能，但它们体积庞大且对环境噪声非常敏感，”该论文的第一作者 William Loh 说。“我们的目标是将 ULE 激光器替换为可携带且对环境噪声不敏感的激光器。”

实现窄线宽

研究人员开发了一种基于短环（~2 米）光纤的激光器，配置为环形谐振器。光纤激光器结构紧凑，坚固耐用，并且对环境变化的反应相对较慢。研究人员将光纤

的优势与称为布里渊散射的非线性光学效应相结合，以获得线宽仅为 20 赫兹的激光器。为了比较，其他光纤激光器可以实现 1000 到 10,000 赫兹之间的线宽，现成的半导体激光器通常具有大约 100 万赫兹的线宽。

为了使激光器在长期和短期环境变化时非常稳定，研究人员开发出一种方法来参考激光信号来感知温度变化。与其他测量温度的方法相比，它们的方法非常灵敏，并且允许计算精确的校正信号，该信号可用于使激光回到原始温度的发射波长。

“温度是激光噪声的一个重要因素，” Loh 说。“高质量的激光器不仅需要具有窄的激光线宽，而且还需要一种能保持长期稳定发射的方法。”

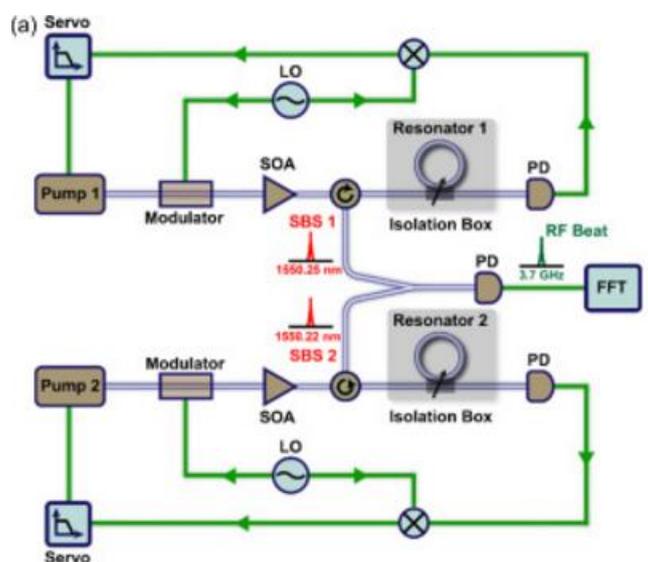


图 1. 相应的 SRS 激光器和激光表征系统示意图

改善 GPS

这种新型光源可用于改进用于支持 GPS 的设备的新一代光学原子钟。GPS 用户能够通过三角测量从包含高级原子钟的卫星网络接收的信号来确定它们在地球上的位置。每个卫星提供时间戳，系统根据这些时间之间的相对差异计算位置。

“我们认为基于我们稳定的窄线宽激光器的原子钟可用于更精确地确定信号的到达时间，从而提高当今 GPS 系统的定位精度，” Loh 说。“我们的激光器紧凑，这意味着它可以用在卫星上。”

激光对于干涉仪也是有益的，例如激光干涉仪引力波观测台（LIGO）用来检测来自碰撞黑洞或坍缩恒星的引力波。超稳定激光器对于这种应用是必需的，因为激光噪声阻止干涉仪能够检测到引力波的非常小的扰动。

“正在努力在太空中使用激光来制造更长的干涉仪臂以进行引力波观测，” Loh 说。“由于其紧凑的尺寸和坚固性，我们的激光器可能成为太空中引力波探测的候选者。”

研究人员表示，虽然他们的新型激光器非常稳固，但它目前是一种适合实验室

使用的台式系统。他们现在正致力于为激光器开发更小的封装结构，整合更小的光学元件，创造出一种可能和智能手机一样小的便携版本。

威编译自:<https://www.sciencedaily.com/releases/2019/01/190131101100.htm>

光子芯片级低线宽激光器可发出“安静”光线

光谱纯净的激光是精准的高端科学与商业应用的核心，因为它们能够生成近乎完美的单色光。激光的这项能力，是通过其线宽或者相干性来测量的，它表示了频率变化之前的特定时间内发出恒定频率光线的的能力。

在实践中，研究人员们竭尽全力为原子钟等高端系统，构建高度相干、接近单个频率的激光。可是，如今由于这些激光器非常庞大，实验室机架上会摆满各种台式设备，所以这种激光器的相关应用都离不开实验室。

目前，将高端激光器的性能转移到光子芯片中，并显著降其低成本和尺寸，已成为科学界追逐的一个目标。

创新

近日，美国加州大学圣芭芭拉分校以及霍尼韦尔公司、耶鲁大学、北亚利桑那大学的研究人员们合作开发出一种芯片级激光器，能发出基本线宽低于 1 赫兹的光线，这是一个足够“安静”（噪音少）的频率，足以将需要高度相干激光的科学应用转移到芯片级处理。

相关论文成为了 2019 年 1 月份的《自然光子学 (Nature Photonics)》期刊的封面文章。该项目由美国国防高级研究计划局 (DARPA) OwIG 计划资助。DARPA 有兴趣创建用于精确定位和导航的芯片级激光光学陀螺仪。

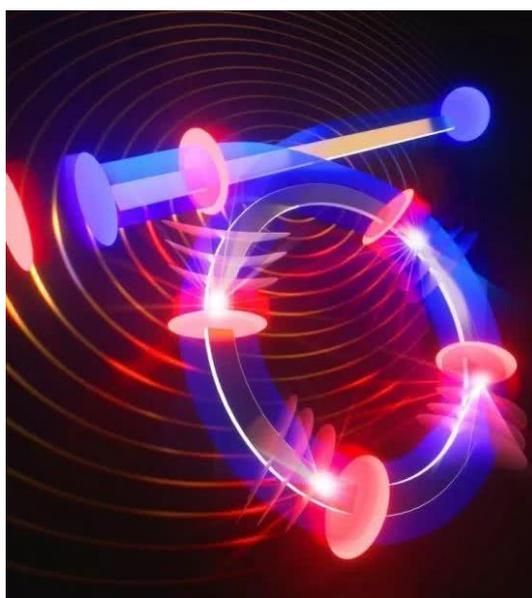


图 2. 科学家对新型布里渊激光器激光环形腔内光学动力学的艺术诠释

技术

这些窄线宽激光器要施展影响力，就必须集成到光子集成电路（PICs）中。光子集成电路，相当于计算机的光芯片，可在商用芯片制造厂进行晶圆级制造。论文合著者之一、团队领头人、加州大学圣芭芭拉分校电气与计算机工程系教授 Dan Blumenthal 表示：“迄今为止，在光子芯片级别，制造具有这种程度的相干性和窄线宽的安静激光器，科学家们一直没有找到办法。”目前这一代的芯片级激光器具有固有的噪声，以及相对较大的线宽。所以，我们需要在基础物理范畴起作用的创新，而这些基础物理知识与高质量激光器的小型化息息相关。

DARPA 对于创造芯片级的激光光学陀螺仪特别感兴趣。在没有 GPS 的情况下，光学陀螺仪具有获取位置信息的能力。这种重要的能力使得光学陀螺仪可用于精准定位和导航，例如大多数商用客机中所采用的。

激光光学陀螺仪的长度尺度上的灵敏度，与引力波探测器（目前为止发明的最精准的测量仪器之一）不相上下。但是，目前达到这种灵敏度的系统含有体积庞大的光纤线圈。OwlG 项目的目标是在芯片上开发窄线宽激光器，以取代庞大的光纤作为旋转传感元件，并允许进一步与光学陀螺仪的其他组件集成。

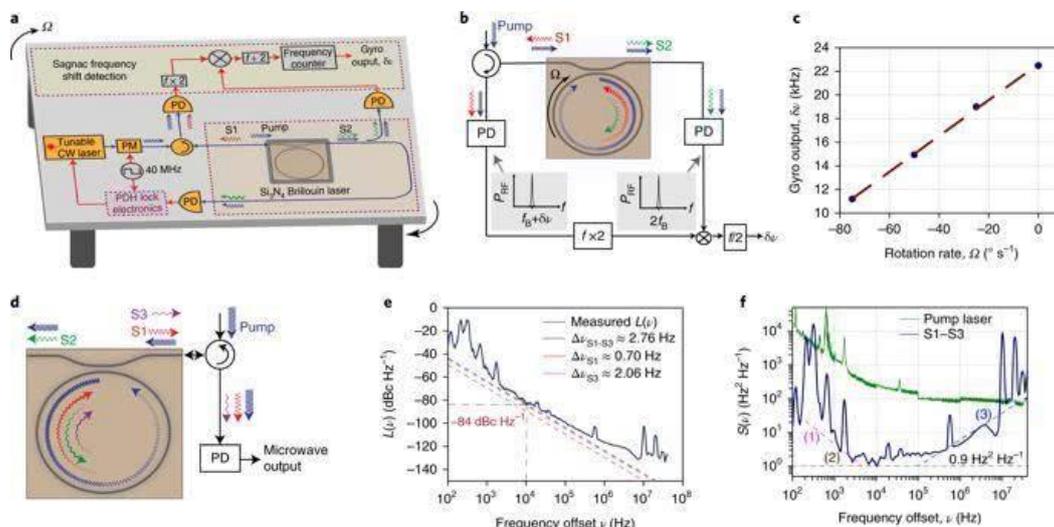


图 3. 集成的激光光学陀螺仪和光子微波合成器的演示

据 Blumenthal 称，构造这种激光器有两种可能的方案。一种是将激光器与光学参考系“绑”在一起，这种光学参考系必须是环境隔离的，并处于真空之中，如同目前的原子钟一样。参考腔和电子反馈回路一起充当安静激光器的锚。然而，这种系统庞大、昂贵、耗电且对环境干扰敏感。

另一个方案就是制造一个外腔式的激光器，其腔体满足窄线宽激光器的基本物理要求，包括能够长时间容纳几十亿个光子，并且支持非常高的内部光功率级别。

传统意义上说，这种腔体非常庞大（为了容纳足够多的光子），尽管它们一直被用于实现高性能，但是以接近参考腔体稳定的激光器的线宽，将其集成到芯片上，还是很难实现的。

为了克服这些限制，研究团队利用了一种称为“受激布里渊散射”的物理现象，来构造这些激光器。布里渊散射起源于激光电场与分子或固体中的声波场的相互作用，也就是光子与声子的相互作用，又称声子散射。强入射激光场在介质中感应出强声波场，并被它散射的一种非线性光效应。与自发布里渊散射不同，受激布里渊散射的产生过程是：在激光的电场作用下，通过电致伸缩效应，使介质发生周期性密度和介电常数的变化，感生声波场，而导致入射光与声波场间发生相干散射过程。

Blumenthal 表示：“我们的方案利用了这种光与物质相互作用过程。在这个过程中，光线实际上在材料内部产生了声音，或者说声波。布里渊激光器以制造极度安静的光线而闻名。它们通过利用来自吵闹的‘泵浦’激光的光子，产生声波。然后，这些声波又生成新的安静的窄线宽输出光线。这种布里渊过程是非常高效的，它能将入射泵浦激光的线宽减少至百万分之一。”

然而缺点是，庞大的光纤或者小型的光学谐振器，通常都是用于制造对环境条件敏感的布里渊激光器，并且难以通过生产芯片的方法制造。

Blumenthal 解释道：“我们在光子集成芯片上制造这种亚赫兹的布里渊激光器，采用了加州大学圣巴巴拉分校开发的一项技术，即通过损耗极低的波导（与光纤差不多）构造光子集成电路。这些低损耗的波导，在芯片上形成了布里渊激光环形腔，从而具备了成功的所有要素。它们可以在芯片上存储极大数量的光子，在光学腔中处理极高的光学功率，并且沿着波导引导光子，就像铁轨引导单轨列车一样。”

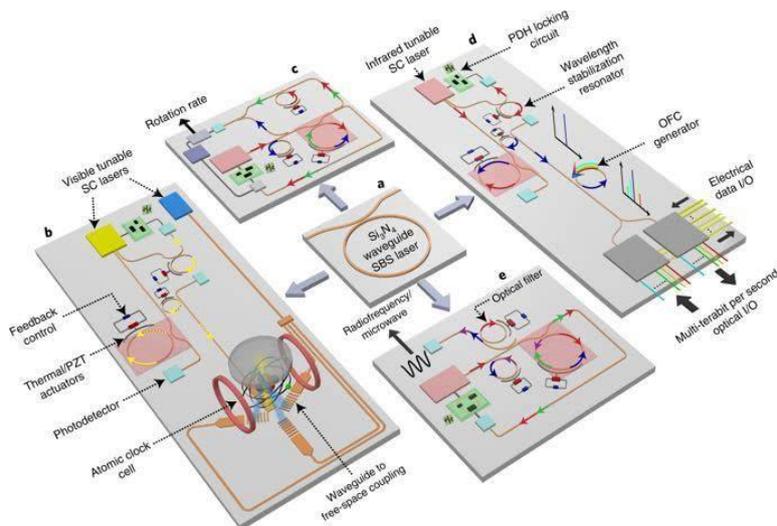


图 4. Si₃N₄ 波导布里渊激光器与应用的片上系统示例

低损耗光波导与迅速衰减的声波相结合，就无需再引导声波。这一创新是该方案成功的关键。从完成的那一刻起，这项研究为 Blumenthal 课题组及其合作伙伴们

带来了多个受资助的新项目。

价值

将高端激光器的性能转移到光子微芯片上可以降低这种激光技术的成本和尺寸，使其可得到广泛的应用，包括光谱学、导航、量子计算和光学通信。在芯片规模上实现这样的性能还有助于应对互联网爆炸式数据容量需求带来的挑战，以及由此导致的数据中心及其光纤互连的全球能耗增加。

威编译自:<https://www.news.ucsb.edu/2019/019332/quiet-light>

量子点激光器中的波长控制可以辅助感测和通信

犹他大学物理学家领导的一个小组发现了如何解决由一种叫做量子点的新型材料制成的激光器中出现的一个主要问题。这一前所未有的现象将对光子学研究的一个新兴领域产生重要影响，其中包括未来利用光而不是电子来制造编码信息的微芯片，该研究于 2019 年 2 月 4 日发表在《自然通讯》上。

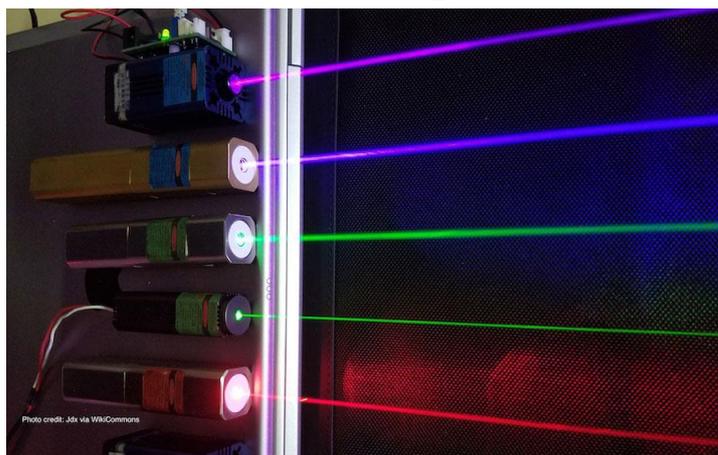


图 5. 量子点激光器结构的缺陷会导致发射波长的不必要的扩散，但将一对耦合在一起可能有所帮助。

激光器是一种放大光的装置，通常只产生一束狭窄的光。光束的强度取决于制造激光的材料，光通过这种材料，产生一种由波长相似光波构成的光束，将大量能量集中到一个小区域。这种能够放大光束能量的材料特性被称为“增益”。许多科学家正在用量子点制造激光，量子点是由半导体材料制成的微小晶体，直径仅为 100 个原子。

晶体的大小决定了光束的波长，从蓝光到红光，甚至到红外线。人们之所以对量子点激光器感兴趣，是因为他们可以通过使用不同的半导体材料，选择不同形状和尺寸的激光器，使晶体生长到不同的尺寸，从而调整其性能。缺点是量子点激光器通常含有微小的缺陷，这些缺陷会将光分裂成多个波长，从而分散光束的能量，降低光束的功率。理想情况下，你希望激光把能量集中到一个波长。这项新研究试

图纠正这一缺陷。首先乔治亚理工学院的合作者用硒化镉制造了 50 个微型圆盘状量子点激光器。团队随后证明,几乎所有的单个激光器都存在分裂光束波长的缺陷。

“有人可以使用量子点制作无缺陷的激光并非不可能,但这将是昂贵且耗时的,”该研究的主要作者、犹他大学的 Evan Lafalce 说。“相比之下,耦合是一种更快、更灵活、更具成本效益的方法来纠正问题。这是一个技巧,因此我们不必制作完美的量子点激光器。”

犹他州项目使用胶体量子点(CQD)微盘激光器测试其理论,该激光器由硒化镉材料制成,每个尺寸约为 7.5 纳米。与一些其他无机量子点源所需的高真空膜处理方法相比,CQD 是一种有前途的光子组件,其使用标准光刻技术和各种基板相对容易制造。

由于制造缺陷充当不对称散射中心,每个单独的 CQD 激光器产生不完美的输出,所得到的发射光谱在预期的波长范围内分开。但是,当团队将两个 CQD 激光器连接在一起时,发生了令人惊奇的故事。

微调发射光谱

第一个由绿色辐射泵浦的 CQD 正常工作并发出一束红光,其全增益功率取决于泵浦照明的功率。然后泵送并且也开始发射第二个渐逝耦合的 CQD,其位于约 400 纳米处。第二个激光器的增益增加,当两个激光器之间的相互作用纠正了分裂并将能量集中到一个波长时,两个激光器之间的增益差异缩小,直到相似。

犹他大学团队评论道。“这是有史以来第一次观察到这种现象。”

激光光谱净化背后的原因似乎在于磁盘间和磁盘内耦合的模式,但这种量子效应可能具有重要的实际应用。微调发射光谱质量的能力有助于一般接受 CQD,减轻其处理优势与其输出质量之间的正常折衷,纳米粒子传感和光通信都将受益。

研究人员说:“在过去的 30 年里,研究人员一直在尝试使用光来传输信息,而不是传统电子产品中使用的电子。例如与其把大量的电子放在微芯片上让计算机运行,还不如用光来代替。激光将是其中的一个重要组成部分,正确的波长分裂可以提供一个重要的好处,通过光控制信息。在这个领域使用量子点等材料也可能是一个主要优势。有人能用量子点制造出一种无缺陷的激光并非不可能,但这既昂贵又耗时。相比之下,耦合是一种更快、更灵活、更划算的解决问题的方法,这是一个小技巧,这样我们就不必制造出完美的量子点激光器。”

威编译自: <http://optics.org/news/10/2/7>

超对称性提高了激光器阵列的光束质量

有许多物理应用需要使用同样具有高输出功率要求的紧凑激光系统。为了满足

这一需求，许多物理学家开始将多个激光器组合成一个阵列。不幸的是，这种方法会产生质量较差的光束。克服这个问题的一种方法是使用单一模式的选择性放大，但是这样做有它自己的缺点。

来自中佛罗里达大学和密歇根科技大学一组研究人员开发了一种基于超对称原理的激光系统概念。在他们发表在《科学》上的论文中，该研究小组的系统旨在解决使用紧凑激光系统产生更多光的问题。这项工作由美国中佛罗里达大学 Mercedeh Khajavikhan 领导。她的团队使用支撑粒子物理学的推测超对称理论的思想来抑制阵列中不需要的高频模式。结果使聚焦光束强度是传统激光器阵列的四倍以上。

高频超模

增加激光束的功率通常需要增加激光腔的横截面积。这是一个问题，因为较宽的空腔可以支持多种横向模式，这会产生湍流，从而降低光束质量。

为了避免这个问题，可以将窄的固态激光腔放置在平行阵列中。如果空腔彼此靠近，则每个空腔中的模式可以通过在空腔之间“泄漏”的渐逝电场耦合在一起。理论上，这允许所有腔体逐步振荡，这意味着可以放大功率而没有与更宽的激光腔相关联的不稳定性。问题是这样的阵列可以支持几种高频“超模”，这会降低激光的光度并使光束难以聚焦到一个小点。



图 6. 超对称可以带来更好的高功率集成激光阵列

乍一看，超对称性与固态激光器几乎没有关系。它最初是在 20 世纪 70 年代后期提出的，它试图用粒子物理学的标准模型来解决长期存在的问题。这些包括“等级问题”，这是我们缺乏对弱力比重力强大得多的理解。超对称试图通过为每个已知粒子引入高能“超级共聚物”来解决这些问题。

佛罗里达大学的 Khajavikhan 同事意识到可以借用超对称的思想来制造更好的激光器。他们推断，如果除基本模式之外的每种模式都消失地耦合到高能“超级超模”，那么可能会抑制困扰腔阵列的超模。这些超级超模将被设计成具有低质量因子并因此具有高损耗，这将阻止超模达到激光阈值。然后激光器可以产生比标准激光

器阵列高得多的能量激光束，同时仍然仅在基频下发光。

创造力和独创性

现在，在 Khajavikhan 所描述的“我们的博士后穆罕默德·霍克马巴迪实施和验证这些抽象概念的许多创造力和独创性”之后，佛罗里达州大学的研究人员已经建立了一个超对称激光阵列。

它包括蚀刻在晶片上的九个渐逝耦合的量子阱腔。五个量子阱形成激光器本身，另外四个量子阱起到有损超级配对器的作用。研究人员将该装置的远场光输出与仅包含一个量子阱的激光器的输出以及包含五个活动腔但没有超级分配器的标准激光器阵列的输出进行了比较。单量子阱激光器产生的光束具有大约 24° 的扩展和相对低的输出功率。对于相同的泵浦强度，标准激光器阵列产生的输出功率是单量子阱激光器的 10 倍。然而，超模导致光束质量下降，扩展到 38° 扩展。

然而，超对称激光器发射的功率几乎与标准激光器阵列一样多，但仅在基本模式下发射，产生的光束腰部仅为 11.6° 。这使得焦点处的强度是标准激光器阵列的 4.2 倍。“我们预见到超对称激光阵列在医学、军事、工业和通信领域的应用很多，” Khajavikhan 说：“无论何时需要高功率集成激光器阵列都具有高光束质量。”

帝国理工学院的 Ortwin Hess 去年帮助设计了一种完全采用相反方法并通过最大化激光模式数量来抑制湍流的激光器，他对 Christodoulides 及其同事的工作印象深刻：“我认为他们的方法是非常好，”他说。赫斯补充说，他非常高兴研究人员成功地采用了两种不同的方法来解决同样的问题。

美国密苏里州圣路易斯华盛顿大学的光学物理学家兰扬对此表示赞同：“理论与实验的结合是相当新颖的。这是一项精彩的协作工作，”她说。”她说现在需要做更多的工作来检查激光强度的稳定性：“如果他们能找到操纵激光轮廓的策略，那就更好了。”

威编译自：<https://physicsworld.com/a/supersymmetry-boosts-beam-quality-of-laser-arrays/>

加速阿秒测量

近年来，通过时间和角度——分辨光电子能谱 (PES) 产生宽度大约为阿秒 (10-18 秒) 的极紫外 (XUV) 光脉冲的技术已经开启了对原子级电子运动的无法形容的快速动态的观察。但是 PES 实验本身通常很难实施，尤其是人们观察到不可思议的短时间尺度时。

究其原因是因为需要仔细控制脉冲产生的光电子通量。每个脉冲产生的光电子太少会降低信噪比，需要数天或数周的实验时间来累积足够大的数据集。但太多的人会将电子聚集到它们之间的库仑排斥将使 PES 需要的精确的角度测量结果化的

点，这种现象称为空间电荷效应。

现在，德国的研究人员设计了一种激光装置，他们认为可以解决这些问题 - 并且可以将 PES 数据采集时间缩短一千倍 (Nat.Comm., doi: 10.1038/s41467-019-08367-Y)。具体来说，该团队已经将光纤激光技术、非线性脉冲压缩和腔体增强技术结合在一起，创造了一个能够以每秒 1840 万个脉冲的炽热重复率泵出阿秒脉冲的光源，并且利用正确的能量和光子通量来产生大量的脉冲。光电子是为了获得良好的信号，但仍然避免了空间电荷效应。

研究人员认为，这项工作不仅可能对原子级电子动力学的研究产生影响，而且对 XUV 频率梳光谱、纳米等离子体和其他领域也有影响。

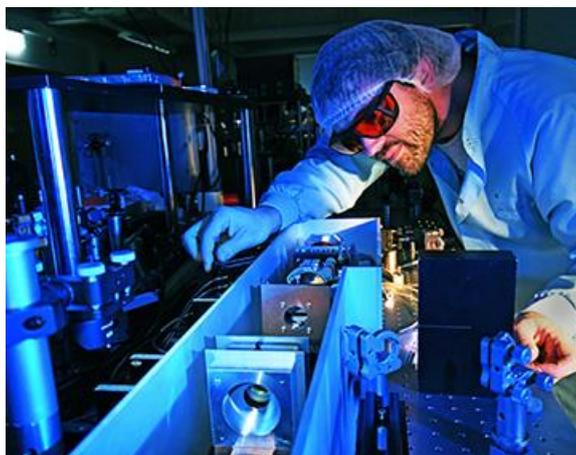


图 7 研究人员正在调试激光设备

快速扭动的电子，缓慢的实验

阿秒 PES 依赖于使用高次谐波产生 (HHG) 的非线性现象的 XUV 源。可见光/近红外线中的强脉冲激光场被射入气体中，该气体使电子电离并使它们在振荡激光场中以所谓的有质动能“摆动”。当这些快速摆动的电子重新回到基态时，它们会发出包含紫外波长的阿秒光脉冲 (参见“阿秒光源和科学”，OPN，2015 年 5 月)。

阻碍这些超快实验的一个因素在于其驱动激光器的相对低的、kHz 级重复率的组合，以及避免空间电荷效应的需要。后一种效应可能会扭曲或降低 PES 实验所依赖的电子动能和角度轨迹的精确测量，这要求实验者将 HHG 光子的输出节流回库仑排斥效应可控的点。这一要求加上激光器的低重复率，意味着在一次实验运行中可能需要数小时或数十小时的收集时间才能积累足够的数据库。

这些漫长的实验时间尺度不仅仅是一个不便之处。这项新研究的作者表示，它们的长度足以使激光不稳定和样品污染问题蔓延到实验中，从而产生“严峻的技术挑战”。

找到合适的平衡点

由 Max-Planck-Institut für Tongtenoptik 的 Joachim Pupeza 领导的德国研究团队，

包括参与 MEGAS 项目的科学家，Max-Planck，Ludwig-Maximilians-Universität München 和两个弗劳恩霍夫研究所之间的合作解决这些问题。为此，研究人员寻找一种可以大大提高重复率的激光装置，以加速 PES 实验，光子能量和通量刚好足以产生大量光电子而不会产生空间电荷效应。

该团队的实验设置为 HHG 以 18.4MHz 的重复频率创建阿秒脉冲。在脉冲压缩、放大和腔增强（红线）之后，近红外波长的种子激光击中氩气池以驱动高次谐波产生的 XUV 阿秒脉冲（蓝线），其激发钨靶并启用通过飞行时间检测器设置的角度分辨光电子能谱。

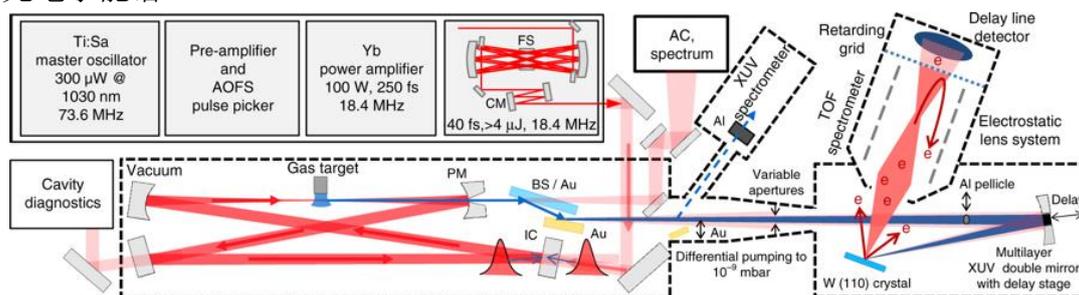


图 8 该团队的实验设置为 HHG 以 18.4MHz 的重复频率创建阿秒脉冲。在脉冲压缩，放大和腔增强（红线）之后，近红外波长的种子激光击中氩气池以驱动高次谐波产生的 XUV 阿秒脉冲（蓝线），其激发钨靶并启用通过飞行时间检测器设置的角度分辨光电子能谱。

设置从 Ti: 蓝宝石主振荡器开始，该振荡器充当种子激光器，以每秒 7360 万个脉冲的速率产生一系列 300-μW, 1030-nm 脉冲。在前置放大器和脉冲拾取阶段之后，种子脉冲通过 Yb 掺杂光纤放大器中的三个啁啾脉冲放大级，以产生 18.4MHz 的 5.4-μJ, 250-fs 脉冲序列。非线性光谱展宽和啁啾去除的下一步将脉冲压缩到低于 40-fs 的长度。最后，脉冲序列进入蝴蝶结形状的增强腔，用于 35 倍的功率提升，并且撞击氩气室以获得 XUV 阿秒光脉冲的 HHG。

PES 测试

该团队在 PES 实验中测试了这个 XUV 光源，在钨靶上的 10μm 直径光斑中发射来自 HHG 光源的脉冲，并在飞行时间 (ToF) 光谱仪设置中测量光电子光谱。ToF 设置允许同时拾取电子动量（或空间分布）和动能，并且根据研究人员的说法，即使在光源高，18.4-MHz，也可以支持高达 100% 的占空比脉冲重复率。

研究小组发现，实验中产生的每个 XUV 阿秒脉冲包含大约 105 个光子，足以在每个脉冲产生大约 104 个光电子，并使空间电荷畸变保持在几十 meV 的可控水平。此外，高脉冲重复率意味着目标每秒释放一些 1010 个光电子。

重复脉冲上的高电子通量与 ToF 光谱仪设置相结合，指出“在相同的空间电荷条件下，相对于最先进的阿秒光电子能谱实验，计数率提高了两到三个数量级”，根据团队。而且，研究人员认为，它可以通过相同的千倍因子在一些电子动力学实验

中减少所需的测量时间。

“这一进展对凝聚态物质系统的研究具有重要意义，”团队负责人 Pupeza 在随同研究的新闻稿中指出。“它还研究纳米结构中的局部电场开辟了新的机会，这对于未来光波信息处理的应用具有重要意义。”

编译自:https://www.osa-opn.org/home/newsroom/2019/february/speeding_up_attosecond_metrology/

量子光学

在芯片上实现“鬼影”成像

鬼影成像是一项尖端的成像技术，在实验室中，通常需要庞大的空间光调制器和其他光学元件完成其装配。近日，日本东京大学的一个研究小组已经找到了一种方法，可以在 4×4 毫米硅光子芯片上装配所谓的鬼影成像设备 (Opt.Express, doi: 10.1364/OE.27.003817)。研究人员认为，如果这一技术可以在商业上扩大发展，那么这种设置可以用于激光雷达、智能手机成像等低成本、快速成像系统。

在经典“鬼影”成像中，使用从未与物体进行物理交互的光对物体进行成像，因此名称中有“鬼”字（参见“Ghost Imaging”，OPN，2016年10月）。相反，一系列随机光学图案被分割并照射在物体和成像相机上，并且在单像素检测器中拾取来自物体的透射或反射光的模拟强度水平。

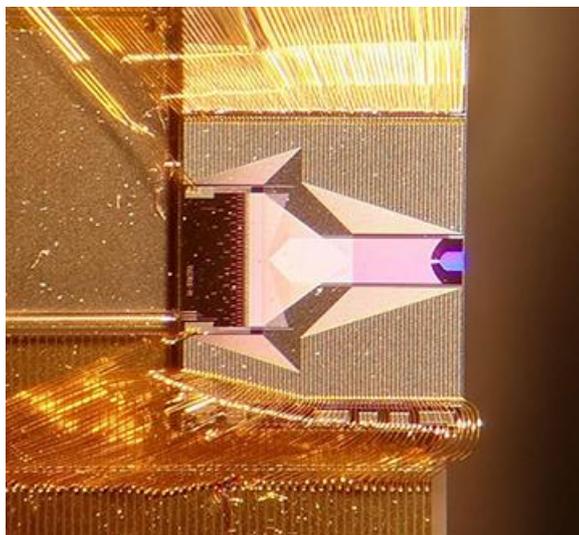


图 9. 光学相控阵包括 128 个电控移相器，封装在 4×4 mm 硅光子芯片上，可以为激光雷达和智能手机成像等应用提供一种快速，低开销的鬼影成像技术。

对于在物体上连续照射的每个随机图案，单像素检测器中的强度水平基本上整合了随机图案和来自成像物体的光之间的重叠。因此，通过用强度等级信号对相机端的每个相关随机图案进行加权，并且对加权的随机图案进行计算求和，对象的图

像出现在相机处。

目前，人们从多光谱成像和显微镜到流式细胞术系统中的计数细胞，已经提出或实施了鬼影成像以提高各种应用领域中的成像速度。此外，由于它可以使用低成本、快速响应的单像素检测器进行操作，并且可以利用压缩发送技术来减少所需的测量数量，因此该方案在非可见波长范围内具有特殊的前景，其中传统的探测器阵列价格昂贵。

在一些研究人员看来，这些属性可以使鬼影成像特别适合激光雷达系统。然而，重影成像系统的缺点在于它们的一些部件的尺寸，特别是通常用于产生该技术中使用的所需系列的随机光学图像的庞大的、相对慢的空间光调制器（SLM）。

为了解决这个问题，由 OSA 成员 Takuo Tanemura 领导的东京大学的研究小组研究了 SLM 的替代方案，用于创建重影成像所需的随机光学图像：128 个微小移相器的相控阵，打包到一个 4×4 毫米的芯片上。该团队利用之前的工作开发了用于光束控制和投影的相控阵，这表明该设置可以很好地与 CMOS 制造工艺配合使用。

在芯片设置中，来自 1550nm 激光器的输入光通过透镜光纤耦合到阵列中，被分成 128 个波导并通过管道传输到阵列的相移元件中。每个单独的移相器都可以进行电气控制，允许快速创建一系列随机斑点图案，刷新速率比每秒几帧的 SLM 速率更快，例如最先进的数字微镜器件（DMD）。

随机图案被发送到计算机并照射在要成像的物体上，并且使用另一端的桶式光电探测器读取透射光强度。当计算机从多个相关随机图案重建对象图像时，发生重影成像，由来自光电二极管的强度信号加权。

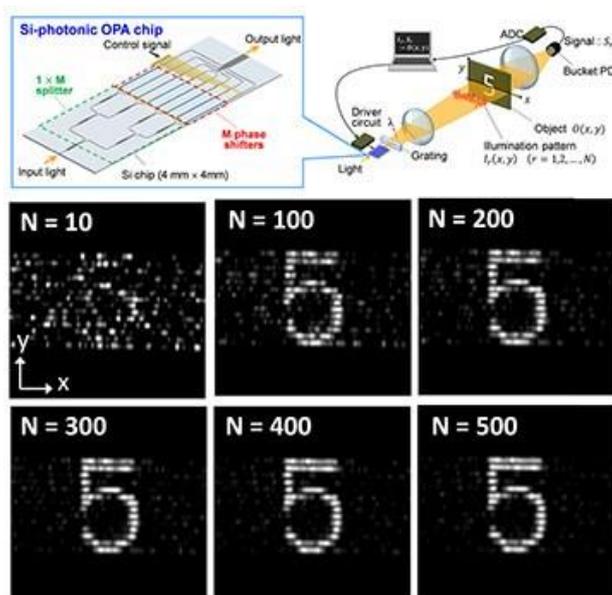


图 10. 上图：器件和设备原理图（简化为仅显示 8 个波导，而不是实际器件上的 128 个）。
 下图：通过扫描一系列波长，团队能够使用 200 个加权随机模式对二维物体进行成像。

这组作者说，使用该装置，该团队能够对“具有与传统光束控制相当的空间分辨率”的一维狭缝图案进行成像。研究人员还能够通过阵列扫描一系列 200 个随机图案，扫描可调谐激光的波长，从而对 2-D 模式（标准 1951 USAF 分辨率目标中的数字“5”）进行成像。

虽然概念验证设备的开关速率限制在大约每 20 微秒或 50 kHz，但团队认为在阵列中使用载波耗尽型电光移相器可以将其提升至超高开关速率，大约 10 GHz。该团队还指出，将有源器件（如激光二极管和光放大器）集成到硅芯片上的进展开启了完全集成的重影成像系统的可能性，即将光源、相移阵列和其他组件全部封装在单个芯片上。

“这种类型的成像设备对激光雷达特别有用，激光雷达目前使用笨重的机械镜来控制激光束产生三维图像，”团队负责人 Tanemura 在随同研究的新闻稿中指出。

“据估计，激光雷达的成本、尺寸和响应时间需要减少一到两个数量级才能广泛应用于非豪华大众汽车。芯片级鬼影成像设备可以实现这一目标。”

一若编译自：[https://www.osa-](https://www.osa-opn.org/home/newsroom/2019/february/toward_ghost_imaging_on_a_chip/)

[opn.org/home/newsroom/2019/february/toward_ghost_imaging_on_a_chip/](https://www.osa-opn.org/home/newsroom/2019/february/toward_ghost_imaging_on_a_chip/)



编印：上海光机所图书馆 联系地址：上海嘉定清河路390号

邮编：201800 电话：021-69918430, 69918197, 69918736

网址：<http://jb.optics.sh.cn>, <http://www.optics.org.cn>

电邮：lib@siom.ac.cn txl@siom.ac.cn lihaiyan@siom.ac.cn