光学整流产生超强太赫兹波

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/28385.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！

光学整流产生超强太赫兹波。 导读

近日，韩国光州科学技术院Chul Kang课题组与美国马里兰大学Ki-Yong Kim课题组合作，通过15 THz的相位匹配光学整流，从大面积平面铌酸锂晶片中产生了高能量、高强度的THz波。研究团队通过能量、光束轮廓、脉冲持续时间等方面对生成的THz波进行了表征。对铌酸锂中THz波的产生进行了数值模拟，以准确再现THz脉冲形状和光谱。研究人员还通过将高功率的THz波聚焦到固体材料中，通过实验展示了THz诱导的电离。该成果以Ionizing terahertz waves with 260 MV/cm from scalable optical rectification为题发表在国际顶尖光学期刊《Light: Science Applications》。

研究背景

近期，在太赫兹（THz）领域的科研进展推动了对强THz场中的新奇现象的研究，诸如Thz驱动的非线性光谱学、相变、半导体的冲击电离等。由于这些应用都需要强THz源，为此，研究人员开发了多种方法来产生高能量、高强度的THz辐射，包括非线性晶体中的超快激光脉冲的差频产生（DFG）、光学整流（OR）、气体中的两色激光混合等。其中一些源已经产生超过100 MV/cm的THz电场强度，如图1所示。

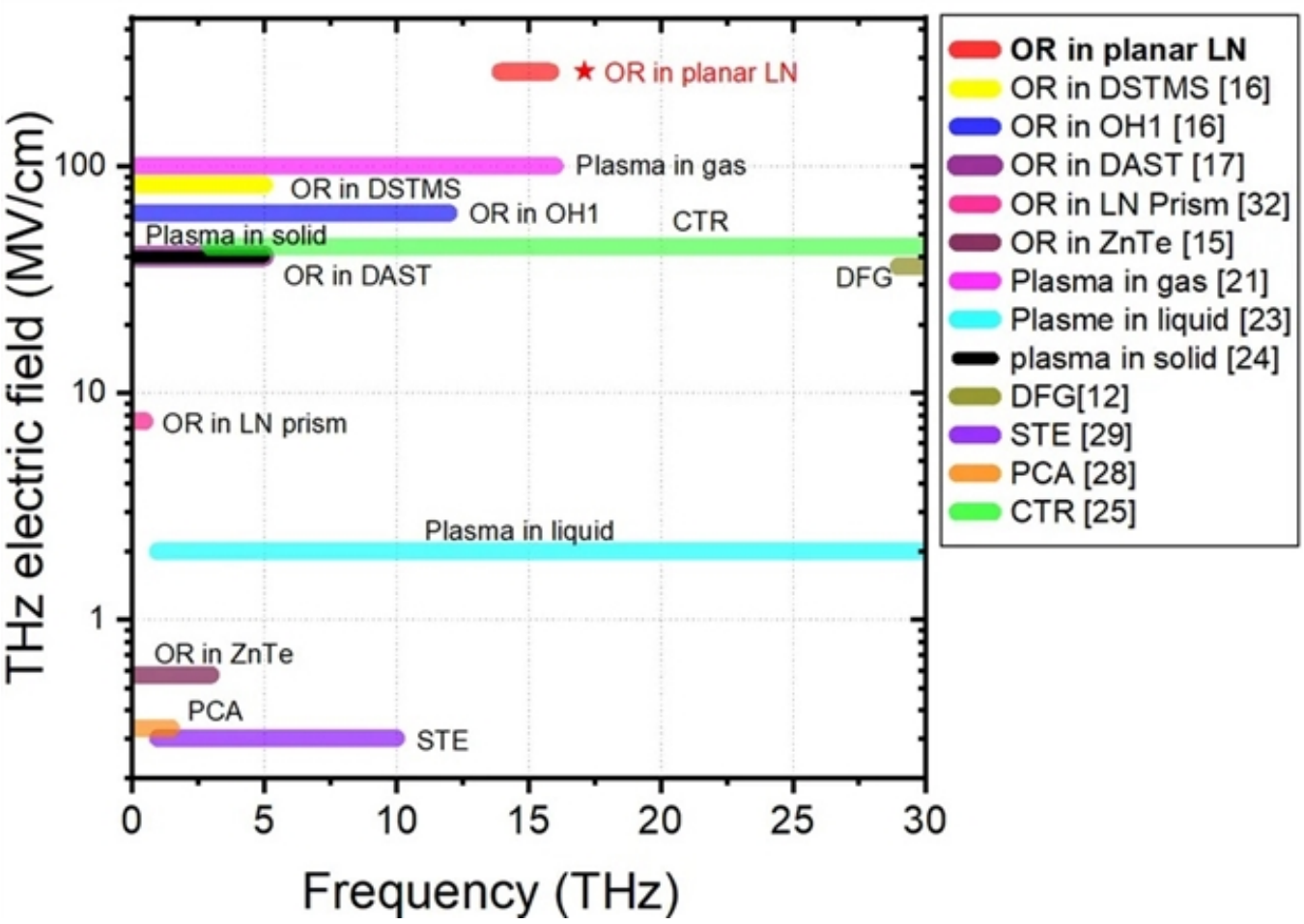


图1 强场THz源的研究工作汇总

由于具有非线性和高损伤阈值，铌酸锂（LN）中的光学整流被广泛应用于产生高能THz辐射。通常，人们采用倾斜脉冲前沿方案来实现铌酸锂棱镜形状中的相位匹配。在该方案中，生成的THz波以与铌酸锂内倾斜的激光脉冲前沿相同的速度传播，使得THz能量可以随着传播距离持续增长。然而，从铌酸锂棱镜产生的辐射频率大多在0.5THz以下，导致了较大的焦点尺寸，因此峰值THz场强最多只能达到7.5 MV/cm。

最近，研究人员在铌酸锂中发现了一种新的相位匹配条件，不需要任何脉冲前沿倾斜。由于THz波的速度通常是与频率有关的，并且在两个声子共振频率之间变化很大，以至于存在一个频率，在该频率下THz波和驱动光学整流的激光脉冲以相同的速度传播。对于800-nm的光学脉冲，这种情况发生在15THz左右。

研究亮点

1.产生THz波的实验装置

实验装置示意图如图2所示，在该实验中，研究人员使用150-TW的钛宝石激光器，波长为807nm，半高全宽为60nm。激光脉冲经过脉冲压缩器后，通过一系列真空管道导向实验用的真空室，以避免空气引起的自身非线性效应。在真空室中，光束通过一个虹膜光阑，入射到一个铌酸锂晶片上，通过光学整流产生THz波。

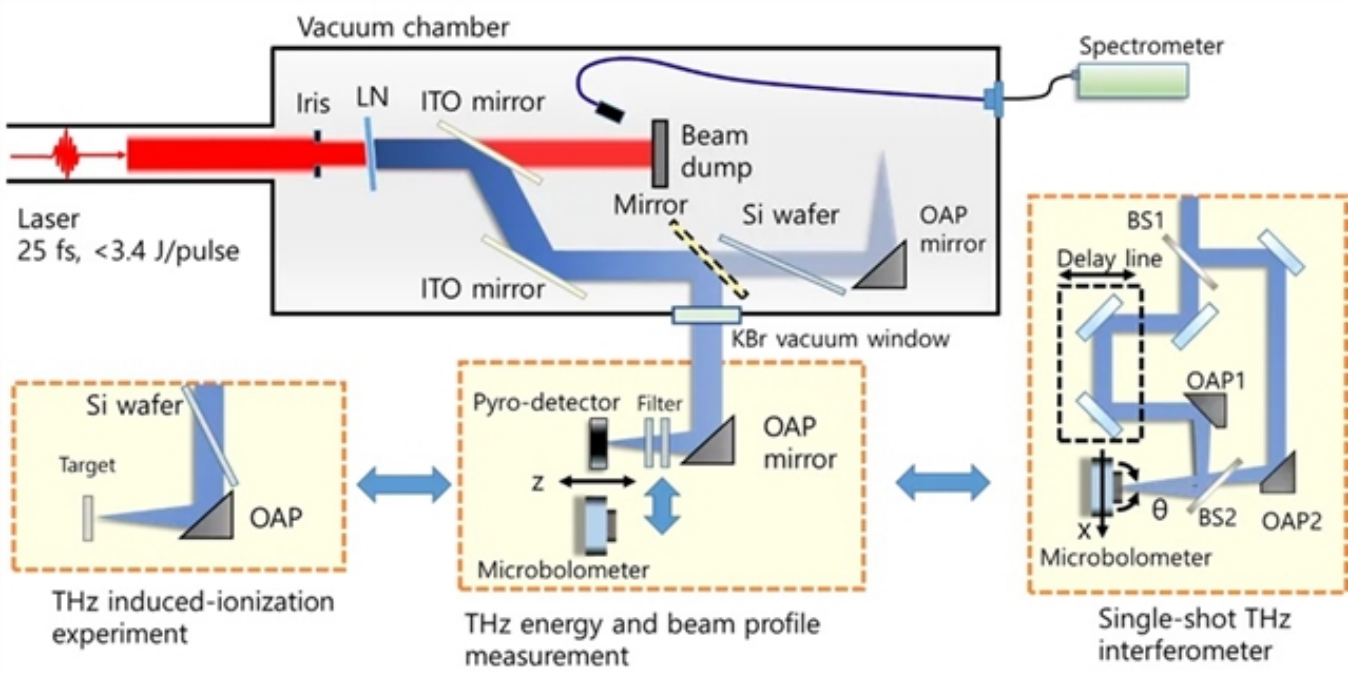


图2 表征和聚焦15THz波以诱导THz驱动电离的实验装置示意图

2.THz波的能量表征

从铌酸锂晶片中产生的THz能量是通过热释电探测器测量的，如图3所示。图3a和图3b分别绘制了掺杂氧化镁和未掺杂氧化镁的铌酸锂晶片产生的输出THz能量，作为入射激光脉冲的群延迟色散的函数。在群延迟色散接近零时，输出THz能量达到峰值，表明在固定的激光能量下，更短的激光脉冲产生更多的THz能量。

图3c和图3d展示了对于掺杂氧化镁和未掺杂氧化镁的三种厚度的铌酸锂晶片，输出THz能量随激光能量增加的情况。由于光整流是基于二阶非线性效应，输出THz能量应当与输入激光能量呈二次方关系。实验中，在相对低激光功率下观察到了这种二次方依赖关系。但随着激光功率的增加，这种依赖关系逐渐偏离。这主要是由于三激光光子吸收和铌酸锂中的级联效应所导致的。

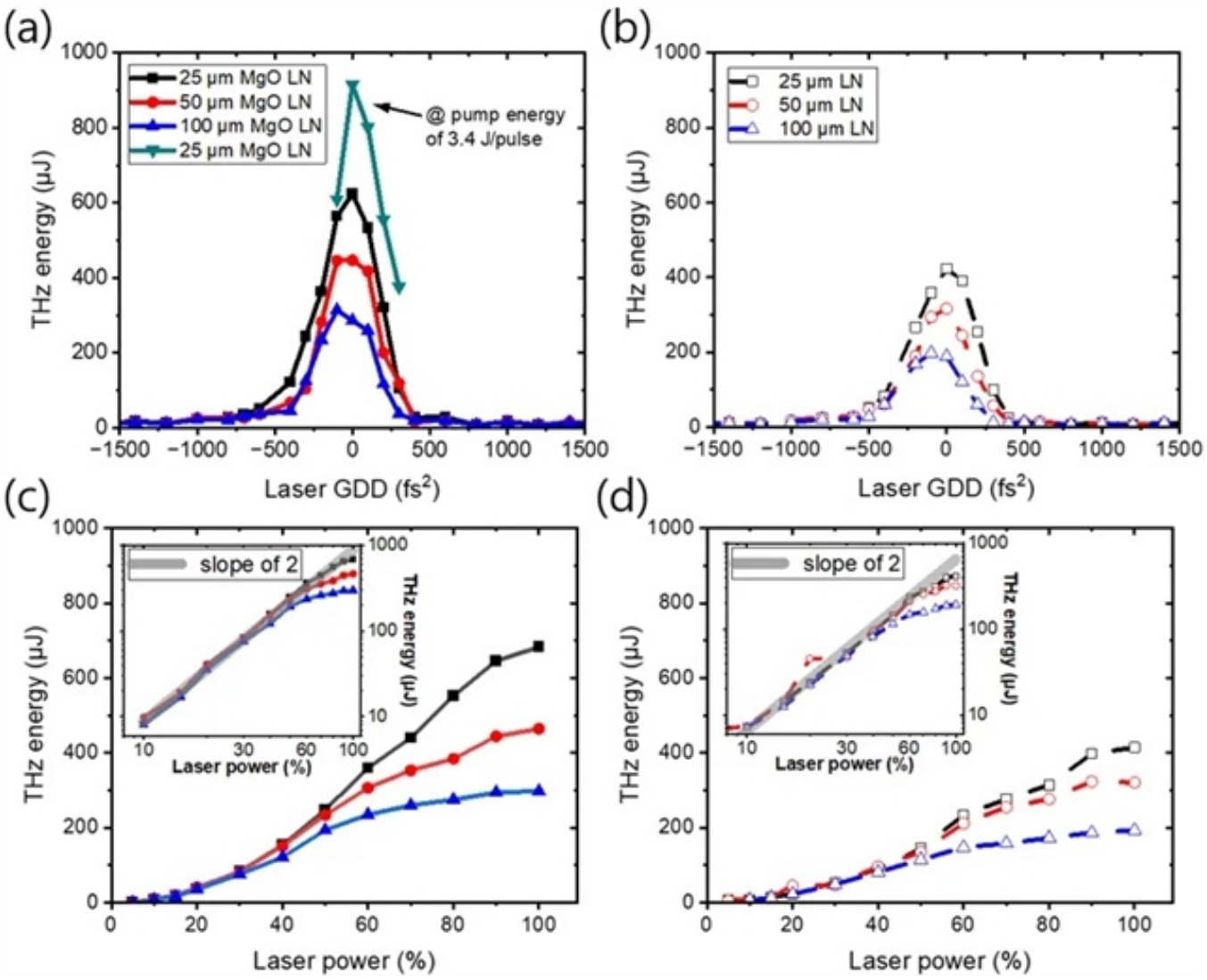


图3 THz输出能量标度

3.THz波的光束能量表征

为进行空间特性表征，生成的THz波通过离轴抛物面反射镜（OAP）聚焦到一个微测辐射热计相机上。图4a展示了沿传播方向以1mm 的增量距离捕获的THz波束轮廓的演变，随这相机位置接近焦点，波束直径几乎线性减小，同时保持圆形形状。图4b展示了焦点处的THz波束轮廓，水平和垂直的轮廓线可以利用高斯曲线拟合，如图4c所示。

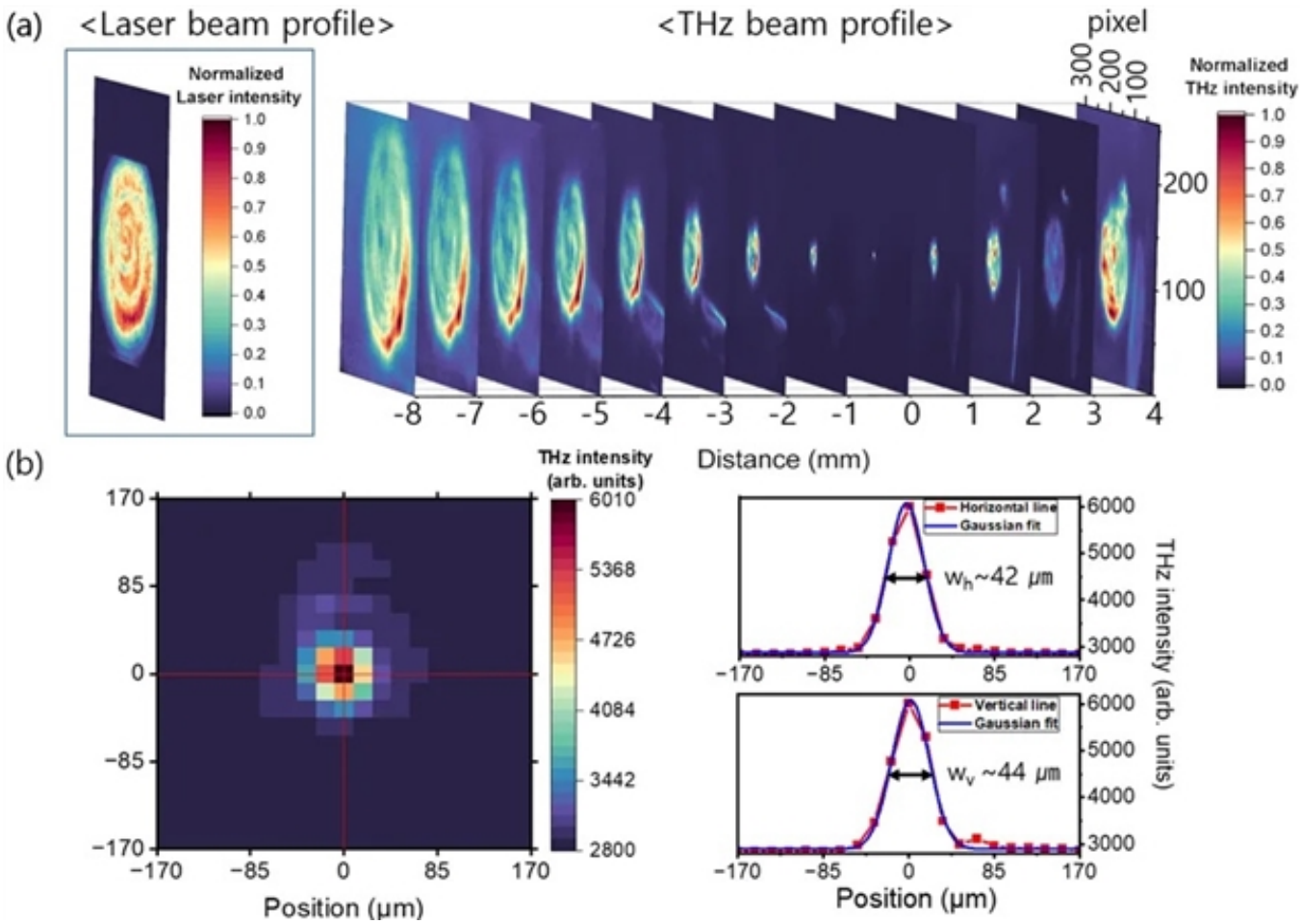


图4 THz波束轮廓

4.THz诱导的电离和损伤

图5a展示了铝目标的照片和通过电荷耦合器件（CCD）相机捕获的等离子体荧光闪光。图5b展示了暴露在强THz脉冲下的黑色铝箔及其结果产生的等离子体发射。图5c展示了一个锑化铟晶片及其等离子体发射。在这些样品中，聚焦的THz场足够高，可以通过遂穿离子化使目标离子化，并在目标表面产生等离子体。而一个聚合物（PET）薄膜暴露在焦点处的强THz下，将导致不可逆的损伤，如图5d所示，显示了暴露后在PET薄膜上钻出的清晰的孔洞。图5e和图5f展示了在5次连续的THz辐射后，砷化镓和锑化铟晶片表面产生的THz诱导损伤。

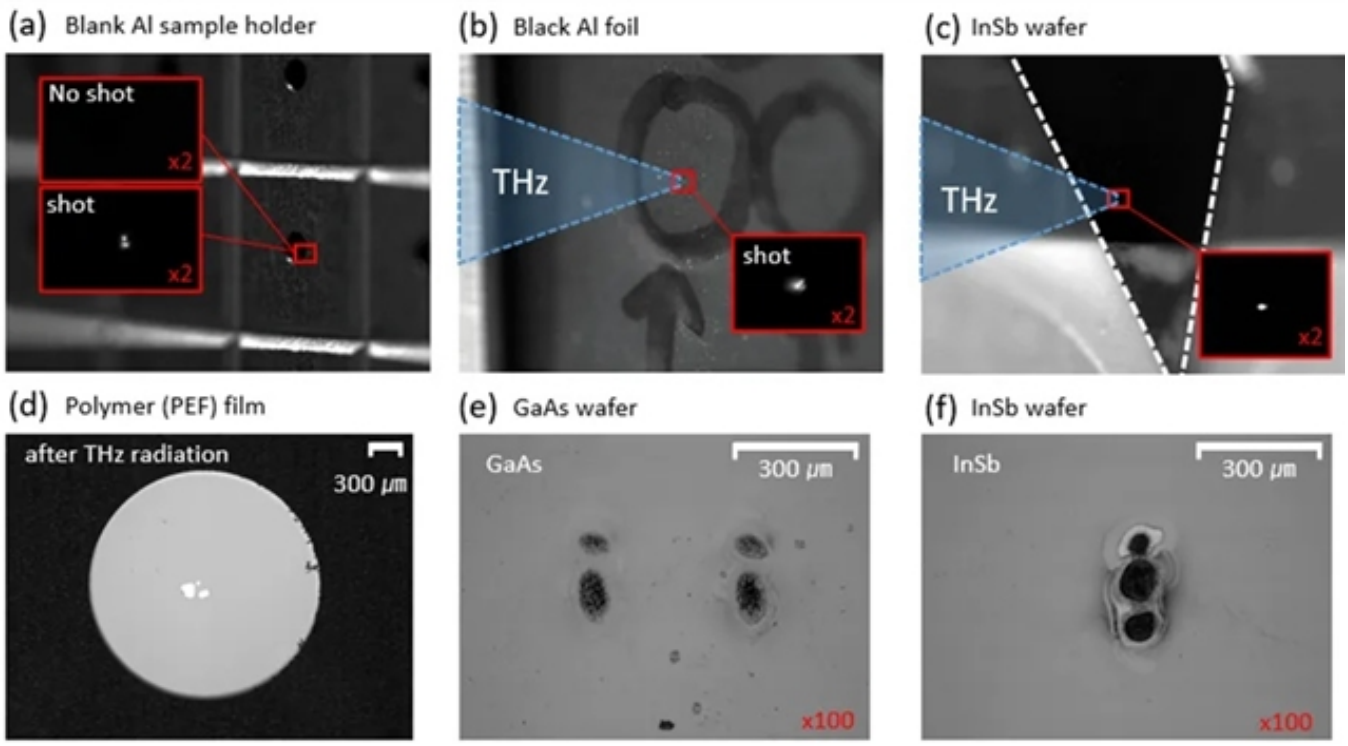


图5 对固体的THz诱导电离

总结及展望

研究人员使用150-TW的钛宝石激光器，在铌酸锂中通过大面积的光整流技术产生和表征了近260 MV/cm的THz场。通过测试不同厚度的铌酸锂晶片，发现最薄的铌酸锂晶片由于THz的线性吸收和铌酸锂中的级联效应，产生了最大的THz能量。

此外，该场强仍有进一步增强的空间。通过铌酸锂晶片的低温冷却、使用更有效的THz解耦器、焦距更小的OAP镜，以及更大的平面铌酸锂晶片等，可以帮助在焦点处产生更强的THz场强。这种强度的THz场不仅可以用于等离子体中非线性效应的研究，还可以利用THz场驱动的有质动力（ponderomotive
forces）实现各种应用，包括THz辅助的谐波和阿秒脉冲在光学范围内的产生、多-keV THz谐波的产生，甚至可以通过THz加速的电子研究相对论效应。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41377-024-01462-w

作者：Chul Kang 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