



## 太赫兹物理与应用专题·编者按

太赫兹(Terahertz, THz)波通常是指频率在100 GHz–10 THz, 相应波长在3 mm–30  $\mu\text{m}$ 范围内, 介于毫米波与红外光之间的电磁波。THz技术在物理学、材料科学、生命科学、天文学、信息科学以及国防安全等方面具有广泛的应用前景, 被誉为改变未来世界的十大技术之一。

《中国科学: 物理学 力学 天文学》特别组织“太赫兹物理与应用专题”, 邀请了国内外活跃在THz物理和应用研究领域的科研工作者撰写了10篇相关论文, 其中3篇为综述类论文, 反映了国内外关于THz相关研究的现状以及最新研究进展; 其他7篇为研究论文, 涵盖了THz物理、材料、辐射源、探测以及成像等研究领域。

THz单光子雷达探测技术将THz雷达技术与单光子探测技术相结合, 在THz频段开展单光子探测技术研究, 最大限度地利用THz波的高分辨特征和单光子雷达的极高灵敏度特征, 解决THz雷达在目标探测与远距离应用等方面的技术瓶颈。论文《太赫兹单光子雷达探测技术》详细阐述了THz单光子雷达探测的背景、原理以及现状, 并且讨论了未来的潜在应用。

由于THz光子能量低、传输损耗较大, THz单光子探测器的研制面临很大的技术挑战。论文《太赫兹单光子探测器》介绍了THz单光子探测器的基本原理, 对几种常见的THz单光子探测器(包括半导体量子点探测器、量子阱探测器以及超导量子电容探测器等)的发展历史和性能指标进行了概述和总结, 并对未来的发展趋势做了展望。

科研人员一直致力于提高THz量子级联激光器(QCL)的工作温度。通过研究不同材料的纵向光学声子在THz波发射过程中的作用, 科研人员正在寻找制备THz QCL的新材料体系, 以提高器件的工作温度。论文《基于新材料体系的太赫兹量子级联激光器研究展望》介绍了氮化镓和氧化锌基THz QCL的近期研究进展。

石墨烯材料在THz技术领域有重要的应用价值。论文《表面等离子体狭缝波导上的石墨烯光电探测器》介绍了表面等离子体狭缝波导与石墨烯结合的光电导探测器, 直接采用对称的狭缝波导金属作为微波电极, 实验上实现了高速信号的接收。该器件具备小尺寸、高速大带宽、工艺简单和与CMOS工艺兼容的特点, 可望在高速光互连、THz发射以及THz通信中得到应用。

几何相位, 又被称为Pancharatnam-Berry相位, 因设计简单、相位延迟可覆盖 $2\pi$ 范围且与频率无关等优势在光学超表面中被广泛应用于波前操控。论文《基于几何相位的亚太赫兹波宽带平面透镜》提出了一种几何相位超表面透镜。得益于其结构单元的高效率、宽频带的正交偏振变换能力, 该透镜可实现亚THz波束的宽带聚焦。这款透镜可以采用3D打印进行加工, 制作方便、成本低廉, 可用于发展紧凑型亚THz波束操控元件。

二氧化钒在相变温度附近能够发生剧烈的光学性质变化, 从而使微粒的温度产生自适应调节, 最终在较宽的THz辐照光强范围内, 使粒子温度维持在相变温度附近。论文《二氧化钒太赫兹辐照温度自限制效应研究》利用米氏理论对二氧化钒微粒的光热效应进行了理论分析, 为实现具有THz辐照温度自限制效应的器件和应用提供了可能。

随着量子霍尔效应在凝聚态物理中的深入研究, 人工超材料拓扑光子晶体被广泛关注。论文《二维太赫兹拓

引用格式: 曹俊诚. 太赫兹物理与应用专题·编者按. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2021, 51: 054201

Cao J C. Special topic: Terahertz physics and applications (in Chinese). Sci Sin-Phys Mech Astron, 2021, 51: 054201, doi: [10.1360/SSPMA-2020-0488](https://doi.org/10.1360/SSPMA-2020-0488)

扑光子晶体的远场探测》根据时空反演对称性和量子自旋霍尔效应理论, 构建了工作频率在THz波段的拓扑光子晶体. 当扩展或压缩六角蜂窝状晶格时, 空间反演对称性会被打破, 从而打破能带简并实现光子能隙结构. 将具有相反拓扑特性的光子晶体摆放在一起, 在它们的交界面可实现具有单向传输且不受缺陷影响的拓扑边界态. 论文在THz波段表征了拓扑光子晶体的反射谱特性, 为研究拓扑光子晶体提供了新的手段.

传统电子加速装置以射频场作为驱动场. 相比之下, THz辐射波长更短, 加速梯度更高, 是未来紧凑型电子加速装置的一种潜在驱动场. 近年来, THz场与电子的相互作用引起了广泛关注. 强激光与等离子体相互作用可同时产生大能量的THz脉冲和大电量的超短电子束, 这一优势使其有望成为THz场调控电子、THz泵浦-电子探测的新型独特平台. 论文《基于激光等离子体的太赫兹脉冲驱动电子偏转》以一种可行的实验布局为例, 研究了激光等离子体产生的THz脉冲对同向传播电子束的偏转作用.

表面等离激元可以突破衍射极限, 具有强局域性, 在传感、起偏、吸收、分束等方面具有广泛的应用前景. 论文《石墨烯微米带THz SPPs的激发及场分布特性研究》基于石墨烯微米带结构, 研究了THz表面等离激元的激发及场分布特性, 设计了能够通过THz波激发表面等离激元的石墨烯微米带结构. 研究结果为石墨烯表面等离激元器件在THz生物传感、安全检测、高数据率通信等方面的应用提供了理论指导.

大多数生物分子在液体环境中才能维持其生物活性, 实现液态生物分子的THz光谱检测对活性生物分子的功能与结构、无创性生物医学检测的研究具有重要的应用价值. 论文《氨基酸分子水溶液的太赫兹无损检测》利用LiNbO<sub>3</sub>光整流产生的THz辐射, 结合喇叭形渐变平行平板波导的局域电场增强效应, 构建了可以检测微量活细胞和含水生物分子的THz时域光谱测量系统, 实现了对4-氨基苯甲酸及谷氨酸溶液的THz光谱检测, 为活性生物大分子或组织的检测奠定了基础.

本专题较为全面地反映了近年来我国THz物理与应用的研究状况和进展, 涵盖了THz物理、器件设计和制备以及相关应用等领域. 希望这些工作能促进国内外THz领域的研究与学术交流, 同时在一定程度上推动THz科学与技术的发展.

曹俊诚

中国科学院上海微系统与信息技术研究所