

红外超连续辐射泵浦电光晶体产生的太赫兹辐射*

刘雨熙¹⁾ 周宇龙²⁾ 邵烁婷¹⁾ 尉鹏飞^{2)†} 梁奇锋²⁾
 王小同¹⁾ 唐桢波^{1)3)‡} 况龙钰^{4)††} 胡广月^{1)5)‡‡}

1) (中国科学技术大学核科学技术学院, 中国科学院近地空间环境重点实验室, 合肥 230026)

2) (绍兴文理学院数理信息学院, 绍兴 312000)

3) (哈尔滨工业大学物理学院, 哈尔滨 150001)

4) (中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 绵阳 621900)

5) (中国科学院上海光学精密机械研究所, 中国科学院超强激光科学卓越创新中心, 上海 201800)

(2025 年 2 月 21 日收到; 2025 年 5 月 7 日收到修改稿)

飞秒激光激发的太赫兹波在很多领域得到了广泛的应用. 本文演示了一种新的太赫兹辐射产生方式, 利用飞秒激光与透明固体介质作用产生的红外超连续辐射 ($>1\ \mu\text{m}$) 泵浦太赫兹电光晶体, 产生了单周期、低频、宽带的太赫兹辐射. 飞秒激光电离介质过程会同时产生红外超连续辐射和太赫兹辐射, 如果产生的红外超连续辐射和太赫兹辐射一同进入电光晶体, 那么红外超连续辐射的存在会干扰原有太赫兹辐射的探测. 但通过窄带滤光片过滤出红外超连续辐射的特定成分, 可以用来测量电光晶体在红外波段的响应特征, 这为电光晶体的红外响应研究提供了新的思路.

关键词: 飞秒激光, 太赫兹波, 超连续辐射, 固体介质

PACS: 07.57.Hm, 42.65.Re, 52.38.-r, 84.40.-x

DOI: 10.7498/aps.74.20250212

CSTR: 32037.14.aps.74.20250212

1 引言

太赫兹波因光子能量低、频带范围宽、绝缘介质中穿透性强等优势, 在基础研究、安全检查、医学成像等领域得到了广泛的应用^[1,2]. 太赫兹技术的发展对高效太赫兹辐射源提出了更高的要求, 如何生成高品质高功率太赫兹辐射是太赫兹领域的重要研究方向. 当前主要依托加速器电子束或强激光两种途径来产生高功率太赫兹辐射源, 基于强激

光的太赫兹辐射源包括光电导天线^[3]、非线性晶体光整流^[4,5]、光电离^[6-9]、高能自由电子的相干辐射^[9]等几种方式. 其中, 飞秒激光与非线性晶体相互作用, 以光整流的方式产生太赫兹辐射是一个直接且有效的方式^[4], 被广泛应用于商业化的太赫兹时域光谱仪 (THz-TDS) 中. 最近, Wu 等^[5]采用波前倾斜铌酸锂光整流技术得到了 13.9 mJ 的强太赫兹辐射, 能量转化效率高达 1.2%. 在光电离方面, 利用飞秒激光空气成丝以及双色光电离空气等方式可以产生较强的太赫兹辐射^[6,9]且不用担心介质的

* 国家自然科学基金 (批准号: 12175230, 11775223, 12205298)、中国科学院非共识和颠覆性项目 (批准号: CX2140000042) 和统筹推进世界一流大学和一流学科建设专项资金 (批准号: YD2140002006) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: pfwei@usx.edu.cn

‡ 通信作者. E-mail: tanghb@ustc.edu.cn

†† 通信作者. E-mail: kuangly0402@sina.com

‡‡ 通信作者. E-mail: gyhu@ustc.edu.cn

损伤, 2017 年 Jin 等^[7]和 Dey 等^[8]相继报道了飞秒激光电离液体产生的太赫兹辐射, 随后, 基于液体介质的太赫兹辐射相干探测方法也被提出^[10], 使得在太赫兹吸收介质中产生和探测太赫兹波成为了可能. 近期, 实验发现飞秒激光在各向同性透明介质中的电离过程也可以产生太赫兹辐射^[11], 进一步丰富了太赫兹源的产生方式.

在高功率太赫兹辐射的探测方面, 基于泵浦-探测的太赫兹时域光谱仪 (THz-TDS) 是一种常用的太赫兹辐射相干探测技术^[12], 它使用电光晶体来测量太赫兹辐射的电场波形^[13]. 探测光路中, 为了避免残余的泵浦光进入电光晶体, 一般采用高阻硅 (HR-Si)、高密度聚乙烯 (HDPE)、聚四氟乙烯 (PTFE) 等对太赫兹辐射透明但对泵浦光不透明的滤片来滤除残余的泵浦光^[14,15]. 在飞秒激光与液体、透明固体介质作用产生太赫兹辐射的实验中^[11], 由于交叉相位调制、自相位调制等多种非线性效应^[16], 会严重调制入射的飞秒激光从而产生超连续谱 (SC). 超连续谱覆盖了紫外乃至中红外很宽

的光谱范围, 其中波长大于 $1\ \mu\text{m}$ 的红外超连续谱成分同样可以穿透用于滤除残余泵浦光的隔离滤片^[13]从而进入电光晶体. 因此, 有必要研究这种难以滤除的红外超连续谱对电光探测的影响.

本文实验研究了 ZnTe 和 GaP 两种电光晶体对飞秒激光电离固体介质产生的红外超连续辐射的响应特征. 实验发现, 红外超连续辐射在电光晶体内部可以产生太赫兹辐射, 这会干扰电离过程发射的太赫兹波的探测. 同时, 该现象表明红外超连续辐射也可以作为一种激发太赫兹辐射的新方式. 另外, 红外超连续辐射结合窄带红外滤光片, 可以替代传统的红外窄带激光光源, 实现对电光晶体在红外波段响应特征的测量.

2 实验布局

实验布局如图 1 所示, 采用两种实验布局进行研究. 图 1(a) 为正交偏振的谱编码单发电光采样探测布局^[17], 太赫兹辐射的产生和探测均在同一

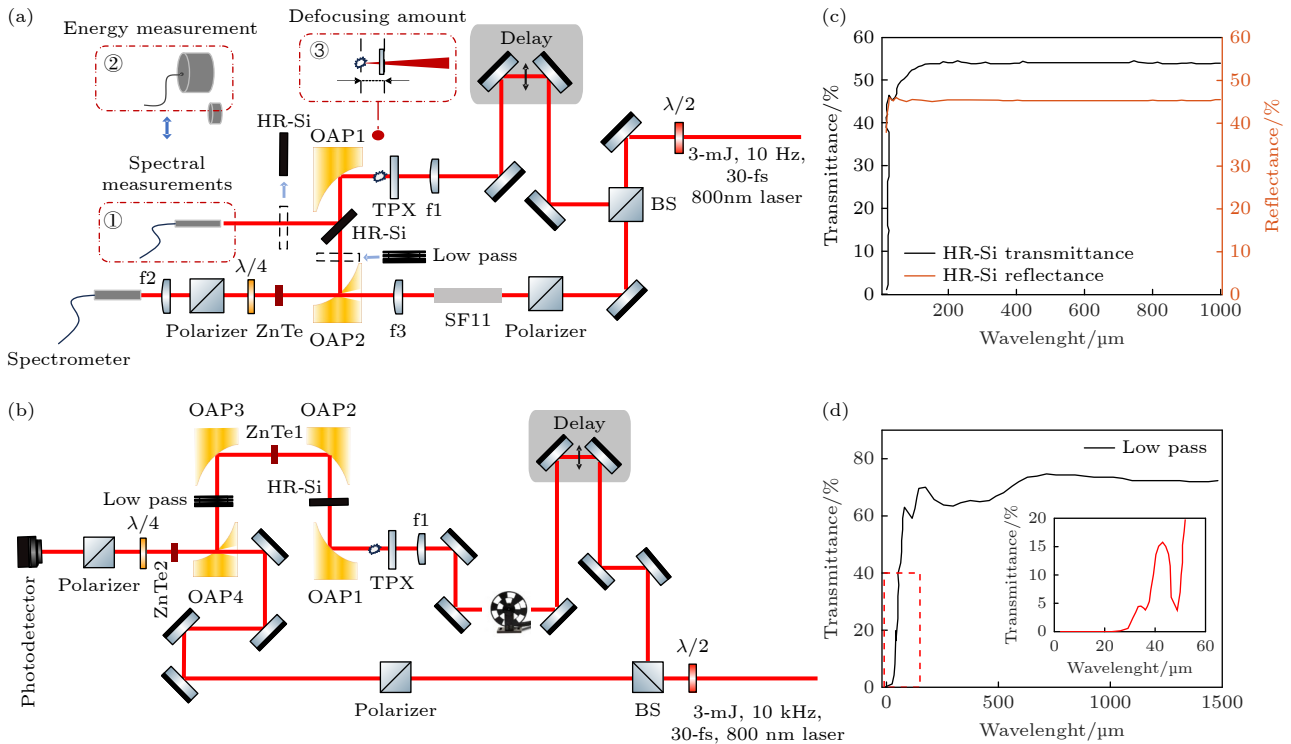


图 1 超连续辐射产生及太赫兹波探测实验布局 (a) 单发电光采样实验装置示意图, ①光谱测量单元, ②能量测量单元, ③离焦量示意图; (b) THz-TDS 系统实验装置示意图; (c) 硅滤片在红外和太赫兹波段的透过率和反射率曲线; (d) 低通滤片在红外和太赫兹波段的透过率曲线

Fig. 1. Experimental setup for generation of supercontinuum radiation and THz detection: (a) Schematic diagram of experimental setup of single-shot electro-optic, in which ① the spectral measurements unit, ② the energy measurement unit, and ③ the schematic diagram of the defocus amount; (b) schematic diagram of experimental setup of THz-TDS system; (c) transmission and reflectance curves of the silicon filter in the infrared and terahertz spectral regions; (d) transmission curve of the low-pass filter in the infrared and terahertz spectral regions.

块晶体内实现. 商业钛宝石激光器输出 3 mJ 单脉冲能量、800 nm 中心波长、30 fs 脉宽、10 Hz 重复频率的飞秒激光, 飞秒激光通过 1/2 波片和偏振分束片 (BS) 分为泵浦光和探针光. 泵浦光经过焦距为 150 mm 的透镜聚焦于对激光和太赫兹波透明的固体介质 (2 mm TPX: polymethyl pentene) 中产生超连续谱, 实验中调节聚焦透镜位置改变透明固体介质相对于激光焦点的距离来观察激光离焦量对超连续谱产生的影响 (如图 1(a) 中③所示).

2 个焦距 101.6 mm 的离轴抛物镜 (OAP) 组成的 4F 系统用于超连续辐射的收集与传输; 2 mm 厚高阻硅滤片 (HR-Si)^{45°} 放置于传输光路中用于分离出不同的光谱成分, 硅滤片在红外和太赫兹波段的透射和反射率曲线如图 1(c) 所示. 其中, 透射光谱主要为波长大于 1 μm 的红外超连续辐射, 通过 OAP2 聚焦到电光晶体; 反射光谱主要为波长小于 1 μm 的光谱成分以及波长大于 1 μm 的红外超连续辐射, 利用两台光纤光谱仪分别测量 200—1100 nm 和 900—1700 nm 波段的光谱 (见图 1(a) 中①光谱测量单元), 将光谱仪换成热释电探测器 (THZ5 B-BL-DA), 并插入第 2 片高阻硅后, 可实现对红外超连续辐射的能量测量 (如图 1(a) 中②能量测量单元). 探针光经过 10 cm 长的 SF11 色散玻璃展宽为皮秒啁啾光, 穿过带孔的 OAP2 之后和红外超连续辐射一起聚焦到电光晶体上, 实现在一块晶体中同时产生和探测太赫兹辐射^[18], 太赫兹辐射的电场信号编码到探针光的光谱上, 再用光纤光谱仪进行记录^[19,20].

基于谱编码的单光电光采样技术时间分辨率较低^[21], 为了提高时间分辨, 同时为了将太赫兹辐射的产生和探测分离, 实验中也采用传统的太赫兹时域光谱系统 (THz-TDS) 进行测量, 实验布局如图 1(b) 所示. 激光器以 1 kHz 的重复频率输出飞秒激光, 聚焦之后辐照 TPX 透明固体介质, 实验中固定激光能量和离焦量不变, 2 mm 厚 TPX 板安装在旋转靶架上实现靶点的适时自动更换, 防止高重频下介质局部损伤过快导致超连续辐射不稳定. 收集的红外超连续辐射透过高阻硅后经过 OAP2 聚焦到第 1 块 ZnTe 晶体上激发太赫兹辐射, 太赫兹辐射经过 OAP3 和 OAP4 收集、聚焦到第 2 块 ZnTe 晶体上利用飞秒探针光对太赫兹辐射的电场波形进行探测; 光路中插入 10.9 THz 的低通滤波器 (Tydex, LPF 10.9-47) 滤除残余的红

外超连续辐射, 从而实现对纯净的太赫兹辐射的探测, 低通滤波器透过率曲线如图 1(d) 所示.

3 结果与讨论

3.1 超连续辐射

飞秒激光以 4 mm 的离焦量入射至 2 mm 厚的 TPX 透明介质中产生的超连续辐射光谱如图 2(a) 所示, TPX 产生的超连续辐射覆盖了 400—1700 nm 的波长范围, 受光纤光谱仪测量范围的限制, 超连续谱实际上可能展宽到更长的波段. 引入高阻硅片滤除波长小于 1 μm 的光谱成分后, 测得的光谱成分如图 2(b) 实线所示 (数据为十倍放大结果), 虚线为图 2(a) 的局部放大, 图中也给出了高阻硅片的透过率曲线, 可以发现, 穿过高阻硅片之后的光谱成分集中在 1100—1350 nm 和 1430—1700 nm 的红外波段.

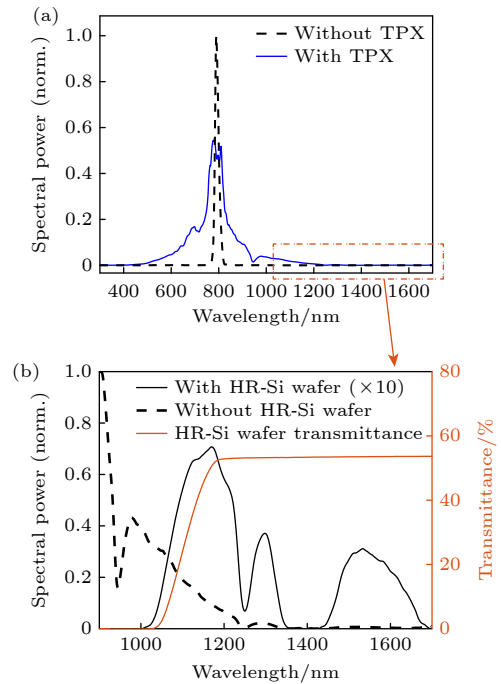


图 2 飞秒激光作用 TPX 产生的超连续谱 (a) TPX 产生的超连续谱 (蓝线) 和激光光谱 (黑色虚线); (b) 经过高阻硅调制的红外超连续谱

Fig. 2. Supercontinuum produced by TPX with fs laser: (a) The supercontinuum generated by TPX (blue line) and the laser spectrum (black dashed line); (b) the infrared supercontinuum modulated by high-resistance silicon.

热释电探测器测量的穿过高阻硅片之后的红外超连续辐射的能量随离焦量的变化如图 3 所示. 当 TPX 固体介质在焦前位置处 (<0 mm), 红外超

连续辐射能量随离焦量的减小呈先增大后减小的趋势, 在 -4 mm 处有最强能量; 当焦点在 TPX 固体介质上时, 红外辐射能量最低; 当目标介质在焦后位置 ($>0\text{ mm}$), 辐射能量随离焦量的增大呈先增大后减小的趋势, 与焦前变化规律一致, 但峰值能量低于焦前. 这一现象可以解释为随离焦量的减小作用在 TPX 上的激光功率密度增加, 电离速率增大, 交叉相位调制、自相位调制等非线性效应增强, 使得产生的红外超连续辐射更强, 但当功率密度超过某一阈值后, 介质过电离, 且电离烧蚀导致介质对红外辐射的透明度降低, 使得红外超连续辐射的辐射能量降低. 焦前焦后的峰值能量差异是因为焦后照射时, 在电离固体介质之前, 激光首先电离空气损失了部分能量, 导致红外超连续辐射的辐射能量降低.

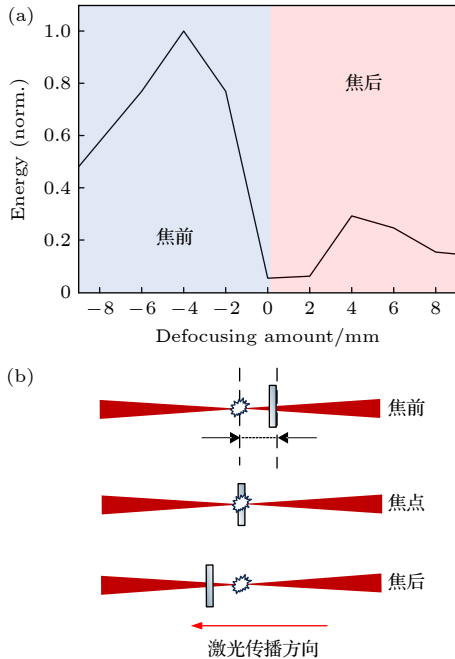


图 3 红外超连续辐射能量随激光离焦量的变化

Fig. 3. Variation of infrared supercontinuum radiation intensity with laser defocus distance.

3.2 红外超连续辐射激发 ZnTe 产生的太赫兹辐射

在图 1(a) 实验布局下, 固定离焦量 (-4 mm) 和激光到靶能量, 飞秒激光辐照 2 mm TPX 固体介质产生红外超连续辐射, 红外超连续辐射进一步激发 ZnTe 晶体产生太赫兹辐射, 太赫兹辐射的电场波形及频谱如图 4 所示. 结果表明, 红外超

连续辐射通过光整流的机制可以在 ZnTe 晶体内产生半周期发射, 持续时间 $\sim 4\text{ ps}$, 频率范围集中在 $<1\text{ THz}$ 、中心频率在 0.35 THz 的太赫兹辐射. 此外, 在时域波形和频谱图中 (低频分量较强) 可以观测到明显的直流成分, 这是由于入射的红外超连续辐射强度较高, 存在克尔效应、双光子效应等三阶非线性效应的贡献 [22].

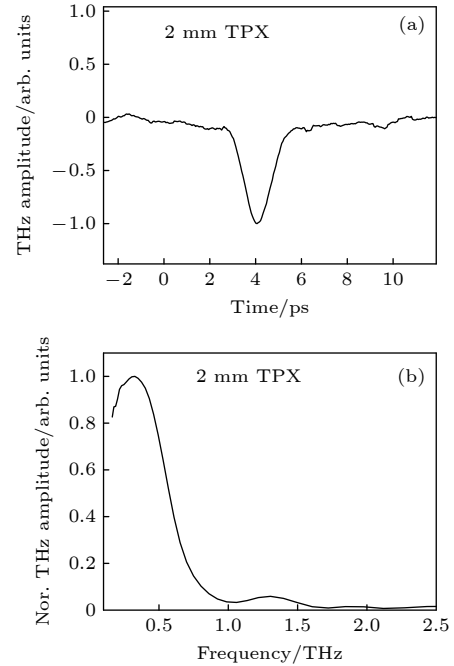


图 4 红外超连续辐射泵浦 ZnTe 晶体产生的太赫兹辐射
Fig. 4. THz radiation generated from ZnTe crystal pumped by infrared supercontinuum radiation.

3.3 红外超连续辐射激发 GaP 晶体产生的太赫兹辐射

将 ZnTe 晶体更换为 GaP 晶体, 结果如图 5 黑线所示, 飞秒激光在 TPX 介质中产生的红外超连续辐射激发 GaP 晶体也可以得到与使用 ZnTe 晶体时类似的太赫兹辐射, 但相比于使用 ZnTe 晶体, 使用 GaP 晶体产生的太赫兹辐射中心频率从 0.35 THz 增加到 0.5 THz , 这可能是由 GaP 晶体比 ZnTe 晶体更高的频率响应导致.

在图 1(a) 的两块离轴抛物镜 (OAP) 间加入 10.9 THz 的太赫兹低通滤波器 (Tydex, LPF 10.9-47) 滤除红外超连续辐射, 只透过 $<10.9\text{ THz}$ 的太赫兹波, 结果如图 5 中红线所示, 电光调制信号基本消失, 进一步说明图 4 和图 5 中测量到的太赫兹信号并不是飞秒激光电离透明介质产生的, 而是红外超连续辐射在电光晶体内激发的.

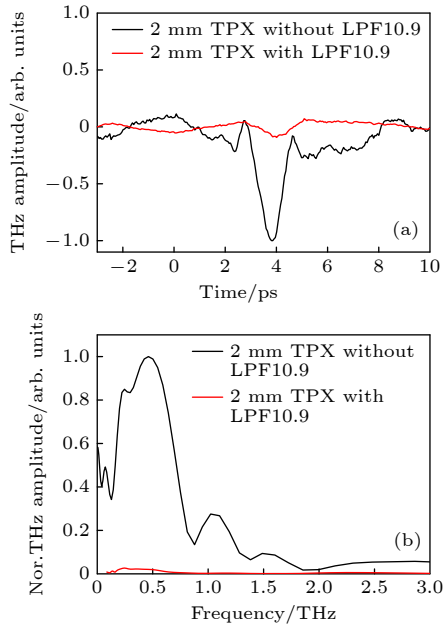


图 5 红外超连续辐射泵浦 GaP 晶体产生的太赫兹辐射, 黑线为不加太赫兹低通情况下的实验结果, 红线为放入太赫兹低通时的实验结果

Fig. 5. THz radiation generated from GaP crystal pumped by infrared supercontinuum radiation, the black line represents the experimental results obtained without the THz low-pass filter, whereas the red line represents the experimental results obtained with the THz low-pass filter in place.

3.4 单发电光采样与传统 THz-TDS 电光采样测量对比

前面的实验表明, 太赫兹辐射是红外超连续辐射在 GaP 和 ZnTe 晶体内产生的, 但是太赫兹辐射的产生和探测在一块晶体内发生, 红外超连续辐射引入了额外的三阶非线性效应影响了信号探测. 为了将太赫兹辐射的产生过程和探测过程分开, 同时提高太赫兹辐射电场波形测量的时间分辨率, 采用图 1(b) 的传统 THz-TDS 测量实验布局.

传统 THz-TDS 方法测到的太赫兹辐射结果如图 6 所示. 实验中保持激光能量和离焦量不变, 可以看出, 相对于单发电光采样结果, 传统 THz-TDS 方法测到的太赫兹电场波形的载波包络相位发生改变, 表现为单周期而不是半周期结构, 中心频率增至 0.7 THz、频率宽度也比单发采样结果更高. 这是因为传统 THz-TDS 测量方法有着更高的时间分辨率 (40 fs), 而单发电光采样时间分辨率只有 350 fs. 将 THz-TDS 测量的电场波形高斯卷积上 350 fs 的时间分辨后得到的频谱与单发电光采样结果一致, 如图 6(b) 虚线所示.

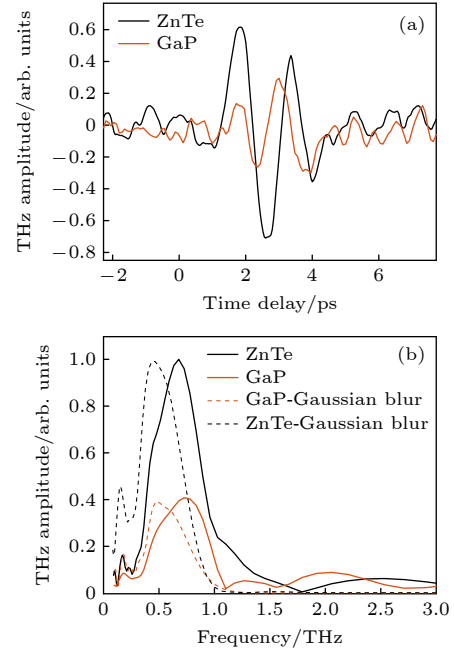


图 6 传统 THz-TDS 电光采样测量的太赫兹辐射, 分别使用了 ZnTe 和 GaP 晶体

Fig. 6. Electro-Optic sampling results of traditional THz-TDS, ZnTe, and GaP crystals were employed, respectively.

红外超连续辐射和窄带滤光片结合可以实现电光晶体在红外不同波段的响应特征研究, 可以替代昂贵的单频带红外飞秒激光器^[23,24]. 在图 1(a) 布局中, 采用 1064 nm 窄带滤光片滤出红外超连续辐射中的 1064 nm 成分进入 ZnTe 晶体, 如图 7

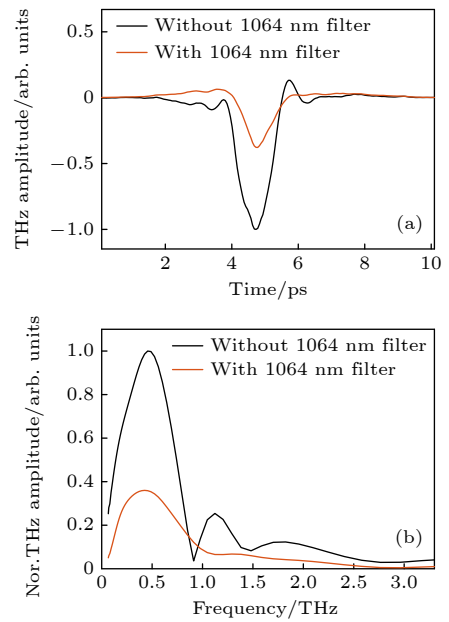


图 7 1064 nm 成分泵浦电光晶体产生 THz 辐射

Fig. 7. Terahertz radiation generated from an electro-optic crystal pumped by a 1064 nm component.

所示, 1064 nm 波长的单频光也激发出了明显的太赫兹辐射, 太赫兹辐射除了振幅降低外, 其他特征均无明显变化. 这种飞秒激光产生的超连续辐射结合窄带滤光片方式提供了一种新的手段来研究电光晶体的红外响应特征.

3.5 红外超连续辐射光整流和 800 nm 飞秒激光光整流产生太赫兹辐射的对比

利用图 1(b) 的布局, 对比研究了红外超连续辐射泵浦 ZnTe 晶体和 800 nm 飞秒激光在 ZnTe 晶体中光整流产生的太赫兹辐射, 实验中激光能量不变, 前者由飞秒激光电离 TPX 产生红外超连续辐射再激发 ZnTe 晶体产生太赫兹辐射, 后者用 800 nm 飞秒激光直接泵浦 ZnTe 晶体激发太赫兹辐射.

实验结果如图 8 所示. 800 nm 飞秒激光直接泵浦 ZnTe 晶体产生的太赫兹辐射强度要强于红外超连续辐射激发的太赫兹辐射, 且太赫兹辐射频谱宽度更宽、分布在 0—3 THz, 但二者都表现为单周期结构. 考虑到红外超连续辐射激发的太赫兹波电场强度只比飞秒激光直接激发 ZnTe 时降低了 1 个量级, 在过去飞秒激光电离固体或液体介质

产生太赫兹波的研究中, 红外超连续辐射激发的太赫兹辐射会严重干扰电离过程产生的太赫兹波的测量, 所测数据的真实物理意义都需要重新审视.

4 结 论

本文实验研究了红外超连续辐射在电光晶体中激发的太赫兹辐射, 发现飞秒激光在透明介质中产生的红外超连续辐射可以在电光晶体中激发出单周期、宽谱的太赫兹辐射, 这种红外超连续辐射会影响激光电离介质过程产生的太赫兹波的测量. 这可以作为一种新的太赫兹辐射产生方式; 另外, 这种红外超连续辐射结合窄带滤光片, 可以取代单频带红外飞秒激光器, 为电光晶体在红外波段下的响应研究提供了新的思路.

参考文献

- [1] Dhillon S S, Vitiello M S, Linfield E H, Davies A G, Hoffmann M C, Booske J, Paoloni C, Gensch M, Weightman P, Williams G P, Castro-Camus E, Cumming D R S, Simoens F, Escorcia-Carranza I, Grant J, Lucyszyn S, Kuwata-Gonokami M, Konishi K, Koch M, Schmuttenmaer C A, Cocker T L, Huber R, Markelz A G, Taylor Z D, Wallace V P, Zeitler J A, Sibik J, Korter T M, Ellison B, Rea S, Goldsmith P, Cooper K B, Appleby R, Pardo D, Huggard P G, Krozer V, Shams H, Fice M, Renaud C, Seeds A, Stöhr A, Naftaly M, Ridler N, Clarke R, Cunningham J E, Johnston M B 2017 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **50** 043001
- [2] Ferguson B, Zhang X C 2002 *Nat. Mater.* **1** 26
- [3] Liu K, Xu J Z, Yuan T, Zhang X C 2006 *Phys. Rev. B* **73** 155330
- [4] Rice A, Jin Y, Ma X F, Zhang X C, Bliss D, Larkin J, Alexander M 1994 *Appl. Phys. Lett.* **64** 1324
- [5] Wu X J, Kong D Y, Hao S B, Zeng Y S, Yu X Q, Zhang B L, Dai M C, Liu S J, Wang J Q, Ren Z J, Chen S, Sang J H, Wang K, Zhang D D, Liu Z K, Gui J Y, Yang X J, Xu Y, Leng Y X, Li Y T, Song L W, Tian Y, Li R X 2023 *Adv. Mater.* **35** 2208947
- [6] Tzortzakos S, Méchain G, Patalano G, André Y-B, Prade B, Franco M, Mysyrowicz A, Munier J-M, Gheudin M, Beaudin G, Encrenaz P 2002 *Opt. Lett.* **27** 1944
- [7] Jin Q, Williams K, Dai J M, Zhang X C 2017 *Appl. Phys. Lett.* **111** 071103
- [8] Dey I, Jana K, Fedorov V Y, Koulouklidis A D, Mondal A, Shaikh M, Sarkar D, Lad A D, Tzortzakos S, Couairon A, Kumar G R 2017 *Nat. Commun.* **8** 1184
- [9] Liao G Q, Liu H, Scott G G, Zhang Y H, Zhu B J, Zhang Z, Li Y T, Armstrong C, Zemaityte E, Bradford P, Rusby D R, Neely D, Huggard P, McKenna P, Brenner C, Woolsey N, Wang W M, Sheng Z M, Zhang J 2020 *Phys. Rev. X* **10** 031062
- [10] Tan Y, Zhao H, Wang W M, Zhang R, Zhao Y J, Zhang C L, Zhang X C, Zhang L L 2022 *Phys. Rev. Lett.* **128** 093902

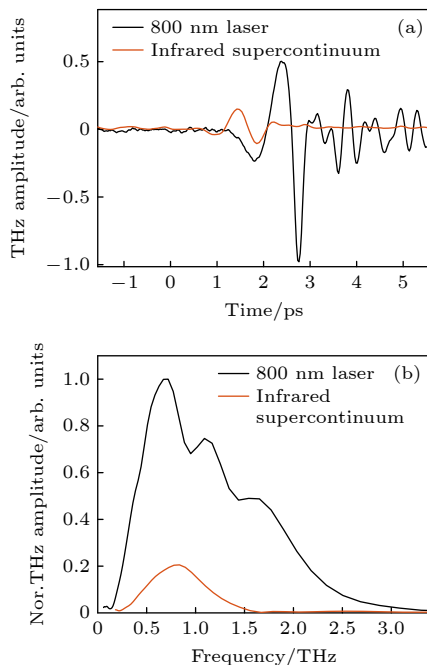


图 8 红外超连续辐射泵浦 ZnTe 晶体和 800 nm 飞秒激光泵浦 ZnTe 晶体产生的太赫兹辐射

Fig. 8. THz radiation generated from ZnTe crystal pumped by infrared supercontinuum radiation and an 800 nm femto-second laser.

- [11] Chen Y X, He Y H, Dai C Y, La X Y, Tian Z, Dai J M 2024 *Chin. Opt. Lett.* **22** 073701
- [12] Ding J, Meng Q H, Shen Y, Ding C X, Su B, Cui H L, Zhang C L 2023 *Chin. Phys. B* **32** 048702
- [13] Wu Q, Litz M, Zhang X C 1996 *Appl. Phys. Lett.* **68** 2924
- [14] Jin Q, Dai J M, E Y W, Zhang X C 2018 *Appl. Phys. Lett.* **113** 261101
- [15] Jin Q, E Y W, Gao S H, Zhang X C 2020 *Adv. Photon.* **2** 015001
- [16] Zafar S, Li D W, Camino A, Chang J W, Hao Z Q 2022 *Chin. Phys. B* **31** 084209
- [17] Jiang Z P, Sun F G, Chen Q, Zhang X C 1999 *Appl. Phys. Lett.* **74** 1191
- [18] Ojo M E, Fauquet F, Mounaix P, Bigourd D 2023 *Photonics* **10** 316
- [19] Jiang Z, Zhang X C 1998 *Appl. Phys. Lett.* **72** 1945
- [20] Jiang Z, Sun F G, Zhang X C 1999 *Opt. Lett.* **24** 1245
- [21] Kim K Y, Yellampalle B, Rodriguez G, Averitt R D, Taylor A J, Glowacki J H 2006 *Appl. Phys. Lett.* **88** 041123
- [22] Tian Z, Wang C L, Xing Q R, Gu J Q, Li Y F, He M X, Chai L, Wang Q Y, Zhang W L 2008 *Appl. Phys. Lett.* **92** 041106
- [23] Song Q, Chai L, Liu W N, Ma Q, Li Y F, Wang C Y, Hu M L 2019 *Infrared Phys. Technol.* **97** 54
- [24] van der Valk N C, Planken P C, Buijserd A N, Bakker H J 2005 *J. Opt. Soc. Amer. B* **22** 1714

Terahertz radiation generated by infrared supercontinuum radiation pumped electro-optic crystal^{*}

LIU Yuxi¹⁾ ZHOU Yulong²⁾ SHAO Shuoting¹⁾ WEI Pengfei^{2)†}
 LIANG Qifeng²⁾ WANG Xiaotong¹⁾ TANG Huibo^{1)3)‡}
 KUANG Longyu^{4)††} HU Guangyue^{1)5)‡‡}

1) (*Key Laboratory of Geospace Environment of Chinese Academy of Sciences, School of Nuclear Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China*)

2) (*College of Mathematics Physics and Information, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China*)

3) (*School of Physics, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China*)

4) (*Laser Fusion Research Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China*)

5) (*Center for Excellence in Ultra-intense Laser Science (CEULS), Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China*)

(Received 21 February 2025; revised manuscript received 7 May 2025)

Abstract

Femtosecond laser excited terahertz waves have been widely used in various fields. Herein, we demonstrate a novel method to generate terahertz radiation from a terahertz electro-optic crystal excited by infrared supercontinuum radiation (wavelengths $> 1 \mu\text{m}$), which is produced via the interaction between a femtosecond laser and a transparent solid medium. This approach yields single-cycle, low-frequency, broadband terahertz radiation. In the femtosecond laser-induced ionization process in a medium, both infrared supercontinuum radiation and terahertz radiation are simultaneously generated. When the resulting infrared supercontinuum radiation and terahertz radiation concurrently enter into an electro-optic crystal, the presence of the infrared supercontinuum radiation may interfere with the detection of the intrinsic terahertz radiation. By filtering the

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 12175230, 11775223, 12205298), the Chinese Academy of Sciences Program for Non-Consensus and Disruptive Research (Grant No. CX2140000042), and the “USTC Research Funds of the Double First-Class Initiative” (Grant No. YD2140002006).

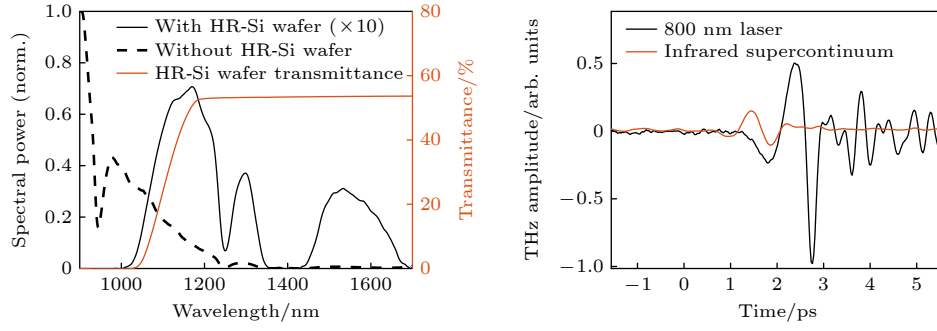
[†] Corresponding author. E-mail: pfwei@usx.edu.cn

[‡] Corresponding author. E-mail: tanghb@ustc.edu.cn

^{††} Corresponding author. E-mail: kuangly0402@sina.com

^{‡‡} Corresponding author. E-mail: gyhu@ustc.edu.cn

infrared supercontinuum radiation with narrowband filters, a new strategy is proposed for investigating the response of the electro-optic crystal in infrared spectral region.



Keywords: femtosecond laser, terahertz wave, supercontinuum radiation, solid medium

PACS: 07.57.Hm, 42.65.Re, 52.38.-r, 84.40.-x

DOI: [10.7498/aps.74.20250212](https://doi.org/10.7498/aps.74.20250212)

CSTR: [32037.14.aps.74.20250212](https://cstr.org.cn/32037.14.aps.74.20250212)



红外超连续辐射泵浦电光晶体产生的太赫兹辐射

刘雨熙 周宇龙 邵烁婷 尉鹏飞 梁奇锋 王小同 唐桢波 况龙钰 胡广月

Terahertz radiation generated by infrared supercontinuum radiation pumped electro-optic crystal

LIU Yuxi ZHOU Yulong SHAO Shuoting WEI Pengfei LIANG Qifeng WANG Xiaotong TANG Huibo
KUANG Longyu HU Guangyue

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 74, 140701 (2025) DOI: 10.7498/aps.74.20250212

CSTR: 32037.14.aps.74.20250212

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.74.20250212>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

飞秒激光泵浦LaAlO₃/SrTiO₃异质结产生太赫兹波辐射

Terahertz emission from LaAlO₃/SrTiO₃ heterostructures pumped with femtosecond laser

物理学报. 2022, 71(9): 090702 <https://doi.org/10.7498/aps.71.20201139>

飞秒超强激光驱动太赫兹辐射特性的实验研究

Experimental study of terahertz radiation driven by femtosecond ultraintense laser

物理学报. 2021, 70(8): 085205 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20210518>

不同模态沙尘暴对太赫兹波的衰减分析

Analysis of terahertz wave attenuated by sand and dust storms with different modes

物理学报. 2021, 70(6): 064101 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20201393>

基于几何相位的太赫兹编码超表面反射器研制与测试

Encoding terahertz metasurface reflectors based on geometrical phase modulation

物理学报. 2023, 72(24): 248707 <https://doi.org/10.7498/aps.72.20230989>

强场太赫兹波作用下氢气分子振动动力学研究

Vibrational dynamics of hydrogen molecules under intense THz waves

物理学报. 2021, 70(24): 243101 <https://doi.org/10.7498/aps.70.20211482>

姜黄素与邻苯二酚共晶的太赫兹光谱

Terahertz spectra of curcumin and catechol co-crystals

物理学报. 2023, 72(17): 173201 <https://doi.org/10.7498/aps.72.20230739>