

用于高效太赫兹脉冲生成的倾斜脉冲前沿技术

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25480.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！

用于高效太赫兹脉冲生成的倾斜脉冲前沿技术。 导读

近日，匈牙利佩奇大学Hebling教授团队在《Light: Science Applications》上发表综述文章，综述了过去20年倾斜脉冲前沿泵浦技术在太赫兹脉冲生成方面的重大进展。主要内容包括：介绍了传统的倾斜脉冲前沿泵浦设置，阐述了其优势以及局限性；概述了新一代的可扩展泵浦设置，如接触光栅、混合接触光栅、反射非线性光栅等，分析其优化传统设置的方式；探讨了不同材料中产生太赫兹脉冲的优劣，包括半导体材料，铌酸锂，有机晶体等；最后展望了该技术的未来发展方向和应用前景。

研究背景

太赫兹脉冲源因其良好的特性，诸如超宽带谱、高时间分辨率、强峰值电场、强生物组织透射等特性，已经受到各方的广泛关注。利用这些优越的性能，太赫兹源已经拥有了许多应用场景，诸如大容量通讯、超快过程的精确探测、金属缺陷检测、生物医学光学成像、以及驱动粒子加速等。因此，产生高效，可靠，能量密度高的太赫兹源成为一个重要而迫切的问题。

许多方法可以用来产生太赫兹源，诸如光导天线，激光等离子体等。但每个方法都有各自的局限。光导天线有简单、廉价、稳定的优势，但缺点是脉冲能量低、频谱窄；激光等离子体可以产生超宽带脉冲，但缺点是效率低、需要特殊的双色激光泵浦。只用光整流也可以产生太赫兹脉冲，且单峰值的电场强度可以很高，但转换效率很低。因此，解决获得高能量太赫兹脉冲的关键在于提高光整流的转换效率。综合来看，最有突破性的技术是倾斜脉冲前沿泵浦的光整流。它能同时实现非常高的转换效率、脉冲能量和电场强度，因此是当前产生太赫兹脉冲的最优方案。2002年，Hebling等人提出并验证了倾斜脉冲前沿泵浦技术，利用衍射光栅产生脉冲前沿倾斜，改变了泵浦和太赫兹在晶体中的传播方向，实现了相位匹配条件，从而在氧化铌酸锂晶体中增强了转换效率。这一技术取得了重大突破，将转换效率提高了4个数量级，达到1-2%。随后几年，这项技术被快速推广到半导体材料中，转换效率提高了2个数量级。到了2007年，Yeh等人就使用这种方法获得了10 μ J的太赫兹脉冲。可以说，倾斜脉冲前沿技术开启了高能量太赫兹科学技术的新纪元。

倾斜脉冲前沿技术的发展

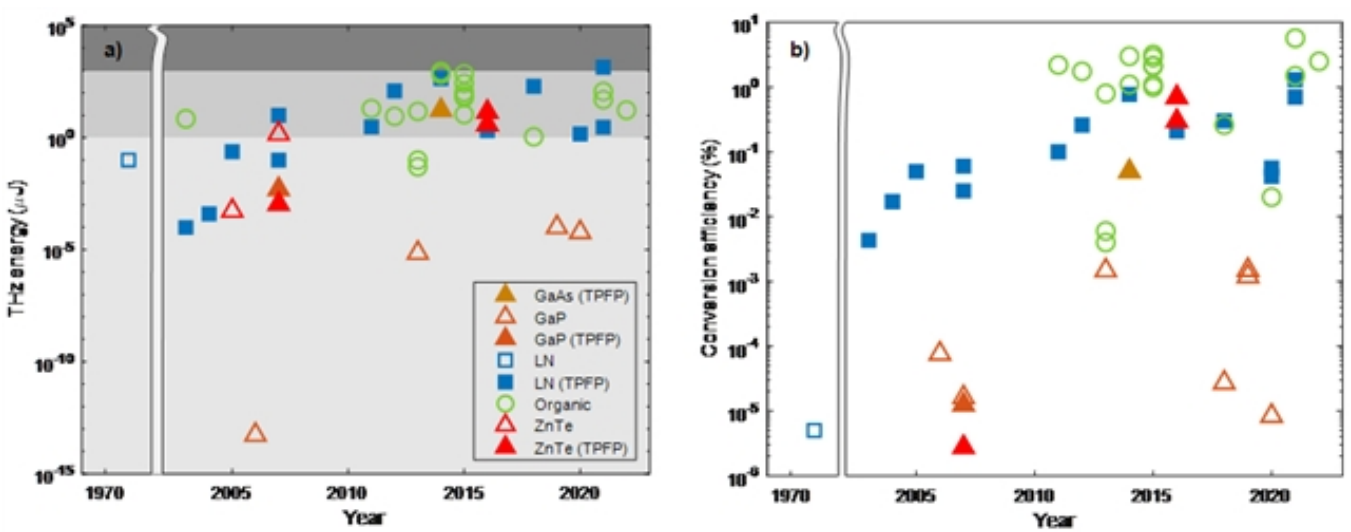
传统的倾斜脉冲前沿设置存在一些问题，如图像错误、棱镜效应等，这些都会降低转换效率、束质和能量提高空间。2010年后，研究者开始提出一些新型设置来解决这些问题，如接触光栅、混合设置、反射非线性光栅等。这些设置可以避免图像错误，扩大泵浦截面面积，提高能量。数值模拟结果预计转换效率可达3-10倍提高。这些理论设想也得到了初步的实验验证，如Nugraha等在2019年

就实现了接触光栅设计,获得0.05%的转换效率。

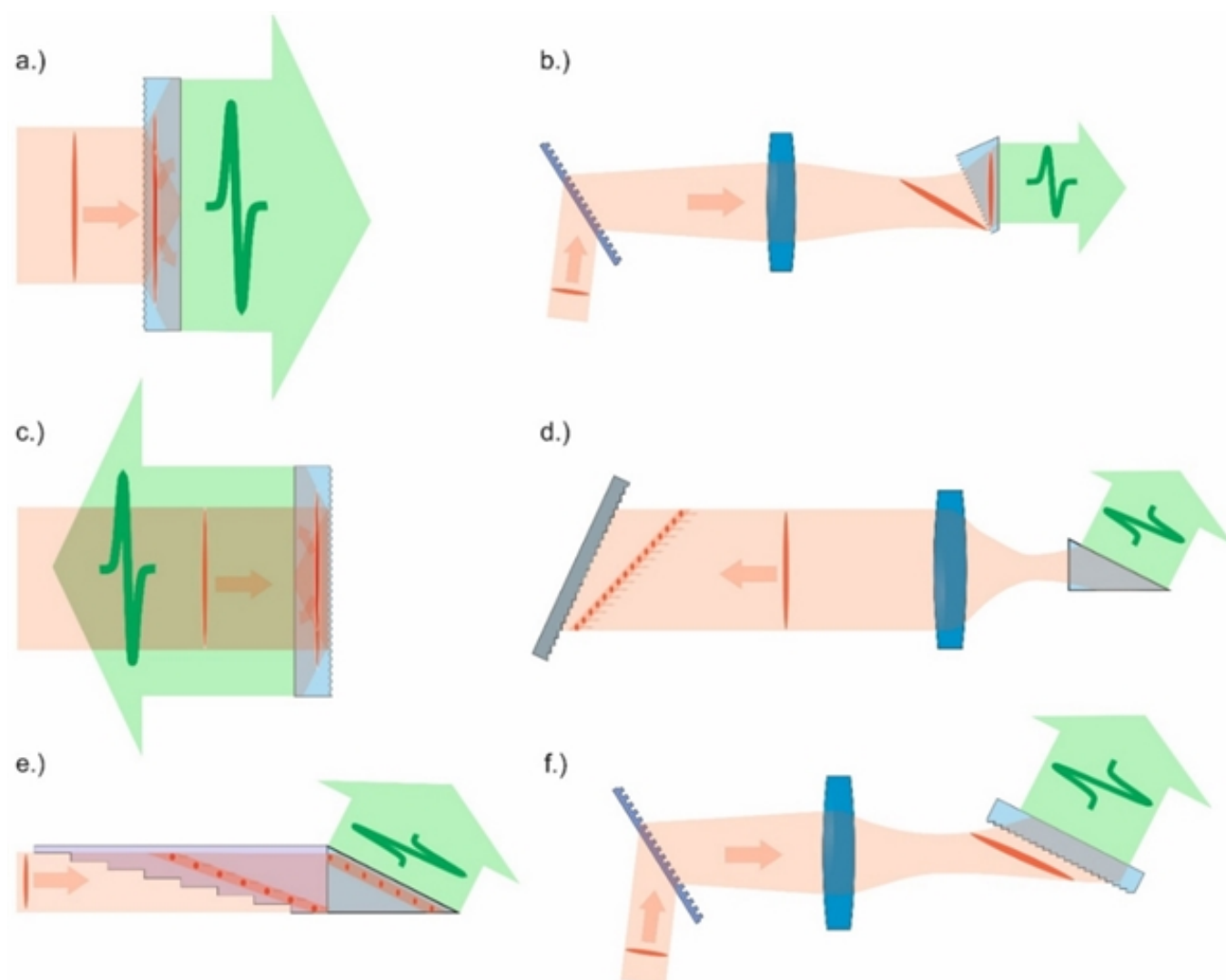
除氧化铌酸锂外,文章还分析了在半导体材料中的倾斜脉冲前沿技术。与氧化铌酸锂不同,这类材料可以选择长波长泵浦,避免低阶多光子吸收,并通过设定脉冲前沿倾斜角度实现相位匹配条件。这种技术的应用也取得了显著成效,如2016年在砷化镓中获得了0.05%的转换效率。

有机晶体中使用倾斜脉冲前沿也具有重大潜力。模拟结果表明,适当设计脉冲前沿倾斜可以大幅提高有机晶体的生成长度,延宽相干宽度。这可以减少对泵浦波长的依赖,并显著提高转换效率。

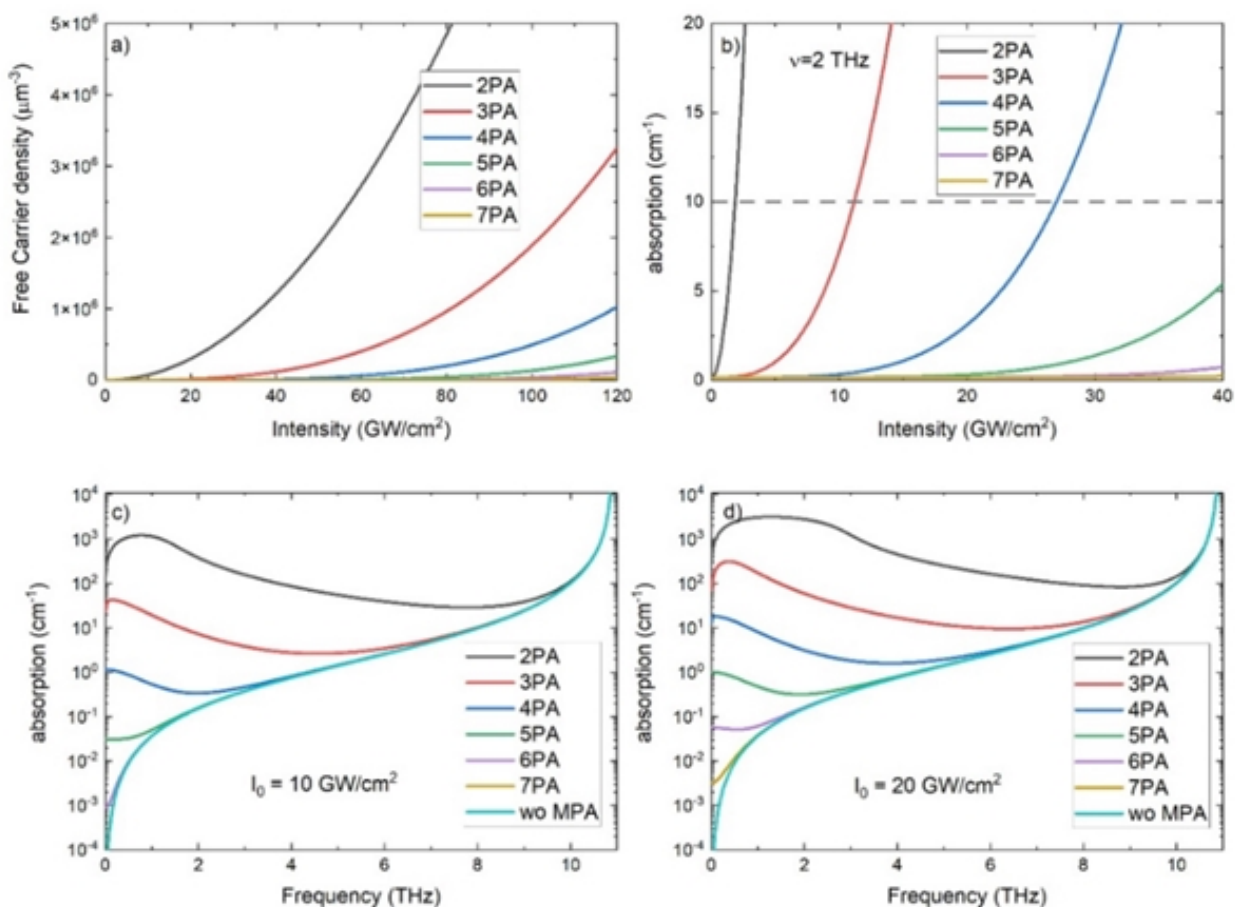
综上所述,这篇文章通过丰富的实例,系统地梳理和分析了倾斜脉冲前沿泵浦技术在太赫兹脉冲生成中的应用历程和取得的进展。充分展现了这项技术如何推动了过去20年太赫兹科学的发展,以及目前面临的挑战与未来可能的解决方案。



图一：过去20年成果回顾。图中以对数刻度现实了过去二十年中光整流方法产生的宽带太赫兹脉冲的能量（a）和转换效率（b）。



图二：新一代太赫兹源。（a）接触光栅方案，在晶体表面产生脉冲前沿倾斜的衍射光栅。在晶体内部，泵浦光束沿改变的方向传播，但强度仍与晶面平行。（b）混合光栅方案，（c）反射非线性板（RNLS）方案
（d）传统的TFP方案；（e）多步相位掩模方案；（f）非线性梯形板（NLES）方案。



图三：不同阶数的MPA-s对吸收的影响比较。（a）展示了GaP晶体中不同多光子几首阶次的自由载流子密度和泵浦强度的近似关系；（b）展示了频率为2 THz时域强度相关的载流子吸收；（c）和（d）展示了声子-极化子单独吸收以及声子-极化子和自由载流子联合吸收的太赫兹谱。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Tilted pulse front pumping techniques for efficient terahertz pulse generation。György Tóth为论文的第一作者，János Hebling为论文通讯作者。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://www.nature.com/articles/s41377-023-01293-1>

作者：János Hebling 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](https://www.iikx.com)转发