

第四届 中国・西安 2024.7.7-10 超快科学青年科学家论坛 Young Scholars Forum on Ultrafast Science

Ultrafast Science



XIOPM









第四届超快科学青年科学家论坛

The 4th Young Scholars Forum on Ultrafast Science

大会报告

高能量阿秒光源

付玉喜 中国科学院西安光学精密机械研究所

阿秒(10^-18)光源是本世纪初激光技术领域的重大突破,首次将人们对自然界的认知推进到了电子的超快运动和相互作 用层面,有望从底层揭示长期困扰科学界的重大难题,Pierre Agostini、Ferenc Krausz和 Anne L'Huillier 也因为在 阿秒光源产生和测量方法方面做出的重大贡献而获得了2023年诺贝尔物理学奖。因此,阿秒光源自诞生以来就一直是国 际竞争焦点,特别是近些年来更是进入了白热化。然而如何获得高性能阿秒光源一直是核心,也是面临的重要难题。为了 抢占先机,欧洲、日本、美国、韩国等已经开展或规划阿秒光源大科学装置的建设。本报告将介绍阿秒光源产生和应用的 进展情况,同时也将介绍我们在高能量阿秒光源产生方面的一些工作。



付玉喜,研究员,博士生导师,2005年本科毕业于同济大学,2010年博士毕业于中国科学院上海 光学精密机械研究所,师从徐至展院士和程亚研究员,2010-2019年工作于RIKEN,2019年通过 高层次人才引进加入西安光机所,主要从事中红外超短超强激光技术、阿秒科学与技术、远红外 强激光技术、x射线吸收光谱学、超快动力学等研究。首次突破了100mJ量级的太瓦级超强中红 外飞秒激光关键技术,相关工作被Nature杂志2018年诺贝尔物理学奖啁啾脉冲放大集锦工作收 录(Nature Collection),被RIKEN、Laser Focus World专题报道,并被评选为RIKEN 'Research Highlight';首次突破了nJ量级的水窗波段软X射线阿秒光源,比国际同类技术水平强100倍 以上,相关结果得到了国际同行专家学者广泛关注,被认为是将阿秒光源推向实际应用的一个重 要进展。多次受邀在国际超强超快领域光学会议做大会和特邀报告,在多家国际光学期刊上撰写 特邀文章。获得中国科学院优秀共产党员、中国科学院年度先锋人物、第13届大阪大学近藤奖 (Kondo Prize),第2届RIKEN 梅峰奖(BAIHO Award)等奖项。

Light-induced ultrafast dynamics of molecules and polaritons

吴 健 华东师范大学

Abstract: While inventions like the optical microscope and X-ray diffraction have significantly enhanced our ability to uncover the nature, they mainly concentrate on obtaining steady-state information. However, the microcosm is a realm of dynamic evolution, with processes such as the vibrational motion of nuclei within molecules often occurring on the picosecond or femtosecond timescales, driven fundamentally by ultrafast electronic motions at the attosecond timescale. This talk will highlight the progress on the measurements and control of the light-induced ultrafast dynamics in molecules and polaritons. In particular, the ultrafast dynamics of cold molecules, e.g. the molecules in superfluid Helium nanodroplets and the bimolecular interactions, will be discussed. By developing a femtosecond angle-resolved spectroscopic imaging technique, we reveal the mechanisms of room-temperature polariton condensation in a microcavity and manipulates the fundamental process in condensation dynamics.



报告人简介:吴健,华东师范大学教授,国家杰出青年科学基金获得者 (2014)、国家重点研发计 划项目首席科学家,曾入选中组部万人领军和青年拔尖等人才计划。吴健长期从事超快激光物理 的前沿研究,近年来发表科技论文 160 余篇,包括 12 篇 Nature 子刊、34 篇 PRL、2 篇 PRX, 部分成果获得上海市自然科学奖一等奖、中国物理学会饶毓泰物理奖、中国光学十大进展。

兆伏特超快电子衍射

向 导 上海交通大学

摘要:超快电子衍射基于泵浦探测技术,利用激光激发样品的动力学过程,再由超短电子束脉冲来获得样品的原子分布及 其随时间的演化信息;其提供的超高时空分辨能力可在飞秒的时间尺度和埃的空间尺度对相变、化学键的断裂等基本过程 中的原子运动进行实时观察。基于粒子加速器产生的兆伏特(MeV)高能电子束,并结合啁啾脉冲压缩技术,近期兆伏特 超快电子衍射分辨率突破了 50 飞秒;本报告将介绍兆伏特超快电子衍射装置的基本原理、发展历程及近期在原子尺度超快 结构动力学研究方面取得的代表性成果。



向导,男,博士,教授,博士生导师。上海交通大学特聘教授,基金委国家杰出青年基金获得者, 美国物理学会会士,现任上海交通大学张江高等研究院执行院长、物理与天文学院院长。

2003 年和 2008 年分别于清华大学获得本科和博士学位,2008-2013 年于斯坦福大学直线加速器 中心分别任助理研究员和研究员,2014 年回到上海交通大学工作,任物理与天文学院教授。曾获 得美国能源部早期生涯奖(US DOE Early Career Award),国际自由电子激光青年科学家奖(The Young Investigator FEL Prize),教育部青年科学奖、科学探索奖等奖项,并入选美国物理学 会会士,上海青年科技英才等。作为项目负责人或首席科学家承担了基金委国家重大科研仪器设 备研制项目(部委推荐)、科技部青年 973 项目、上海市科委重大项目、教育部十四五国家重 大科技基础设施培育等项目。以第一作者或通讯作者在 Reviews of Modern Physics, Nature, Nature Photonics, Physical Review Letters, Physical Review X 等学术期刊发表多篇论文, 目前担任 Physical Review Accelerators and Beams 杂志副主编。研究方向为加速器物理,自 由电子激光,超快电子衍射,超快电子透镜,先进X光源。

Light control of unconventional charge transport

Sheng Meng Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences Email: smeng@iphy.ac.cn

Photoexcitation is a powerful means in distinguishing different interactions and manipulating the properties of matter, especially for charge transport and phase transitions in complex quantum systems. Here we show that laser-controlled coherent phonon excitation can drastically promote K-to-Q intervalley charge transfer transition within sub-picoseconds in WSe2. This coherent-phonon-driven intervalley scattering occurs in an unconventional steplike manner and further induces an electronic Rabi oscillation. We also find that laser-controlled coherent phonons enable orders of magnitude enhancement of carrier mobility

via accelerating polaron transport in a prototypical material lithium peroxide. The selective excitation of specific phonon modes, whose vibrational pattern directly overlap with the polaronic lattice deformation, can remarkably reduce the energy barrier for polaron hopping. The strong nonadiabatic couplings between the electronic and ionic subsystem play a key role in triggering charge transport. These results extend our understanding of charge transport dynamics to the unconventional nonequilibrium regime and allow for optoelectronic devices with ultrahigh on-off ratio and ultrafast responsibility competitive with those of state-of-the-art devices. We also investigate photoexcitation induced ultrafast phase-transition dynamics in materials that is significantly different from thermal phase transitions. Our results provide insights from a new perspective on the coherent electron and lattice quantum dynamics in materials upon photoexcitation.

References:

P.W. You, D.Q. Chen, X.B. Liu, C. Zhang, A. Selloni, S. Meng. Correlated electron-nuclear dynamics of photoinduced water dissociation on rutile TiO2. Nature Materials (2024).

H.M. Wang, X.B. Liu, S.Q. Hu, D.Q. Chen, Q. Chen, C. Zhang, M.X. Guan, S. Meng. Giant acceleration of polaron transport by ultrafast laser-induced coherent phonons. Science Advances 9, eadg3833 (2023).

C.Y. Wang, X.B. Liu, Q. Chen, D.Q. Chen, Y.X. Wang, S. Meng. Coherent-Phonon-Driven Intervalley Scattering and Rabi Oscillation in Multivalley 2D Materials. Phys. Rev. Lett. 131, 066401 (2023).

R.J. Zhao, P.W. You, S. Meng, Ring polymer molecular dynamics with electronic transitions, Phys. Rev. Lett. 130, 166401 (2023).

Z.W. Nie, Y.X. Wang, D.Q. Chen, S. Meng. Unraveling hidden charge density wave phases in 1T-TiSe2. Phys. Rev. Lett. 131, 196401 (2023).

M.X. Guan, D.Q. Chen, Q. Chen, Y.G. Yao, S. Meng. Coherent Phonon Assisted Ultrafast Order-Parameter Reversal and Hidden Metallic State in Ta2NiSe. Phys. Rev. Lett. 131, 256503 (2023).



孟胜,男,中科院物理所研究员、国科大岗位教授、表面物理国家重点实验室主任。国家杰出青年科学基金获得者,国家重点研发计划项目首席科学家。2000年中国科技大学毕业,2004年获中科院物理所凝聚态物理博士学位,同年获瑞典 Chalmers 理工大学应用物理博士学位。2005-2009年在哈佛大学物理系任博士后。2009年7月回国任特聘研究员。现任研究员、课题组长、国家重点实验室主任。

专题一: 阿秒科学与技术

邀请报告

激光光电场合成调控技术实现高性能孤立阿秒脉冲

薛冰¹,许思源¹,付玉喜¹

Email: xuebing@opt.ac.cn

摘要: 阿秒脉冲的实验产生工作于 2023 年荣获了诺贝尔物理学奖,这表明了科学界对阿秒激光脉冲的广泛应用研究前景 的关注。然而由于产生阿秒脉冲的高次谐波过程能量转换效率低,因此目前在实验室中得到的孤立阿秒脉冲普遍能量偏低, 尚未能有力支撑阿秒应用研究的需求[1]。在保证单周期甚至亚周期激光脉冲的前提下,进一步提升驱动激光场的强度,被 认为是产生高能量孤立阿秒脉冲的关键方向之一。然而由于当前激光脉冲的放大和脉宽压缩技术在如此光谱宽带条件下, 窄脉宽和高能量的输出通常难以同时得到保证。在此背景下,通过相干合成多路不同中心波长的 mJ 量级的近红外激光脉 冲的技术方案被提出[2,3],实现了等效于单周期的、太瓦量级、可调谐的激光光电场。通过实现在低重频系统下的激光脉 冲的载波包络相位稳定、通道间位移延迟抖动的稳定、光路指向稳定等多项高精度激光波形稳定技术,成功达成了高强度 合成光电场的稳定与调谐。随后在高次谐波过程中实验产生了高能量的孤立阿秒脉冲,并验证了通过波形调谐可以实现阿 秒脉冲产生的增幅这一理论预测[4]。

关键词: 阿秒脉冲, 高次谐波, 激光波形合成

参考文献

- [1] K. Midorikawa, Nature Photonics, 16, 2022: 267-278
- [2] B. Xue, et al., Ultrafast Science, 2021, 2021: 9828026
- [3] B. Xue, et al., Science Advances, 2020, 6(16): eaay2802
- [4] B. Xue, K. Midorikawa, E. J. Takahashi, Optica, 2022, 9(4): 360-363

报告人简介: 薛冰,中国科学院西安光学精密机械研究所研究员,博士生导师,日本理化学研究所(RIKEN)客座研究员。 本科毕业于西安交通大学,硕士毕业于中国科学院西安光机所,博士毕业于日本电气通信大学,期间从事深紫外超短飞秒 激光系统的开发以及飞秒超快动力学相关研究,2016 年至 2023 年在 RIKEN 任基础科学特别研究员,主要研究方向为高 能量阿秒脉冲的产生与测量,以及相关超快现象的应用研究。2023 年入选中国科学院率先行动"百人计划"B 类人才。在 国际上首次突破了太瓦级高能量、高强度多通道光波合成器,实现了高精度的高能量激光合成波形稳定,并产生了当前国 际最高能量(1GW)的小型化孤立阿秒激光脉冲光源。美国光学学会(Optica,原 OSA)会员和日本物理学会(JSAP), 日本激光学会(LSJ)会员,Ultrafast Science 期刊青年编委。曾获日本理化学研究所梅峰奖,优秀基础科学特别研究员 称号(2022 年度)。

Development of high peak power single-cycle IR laser: Towards to GW water window isolated attosecond pulse

Lu Xu

Wuhan National Laboratory for Optoelectronics and School of Physics, Huazhong University of Science and Technology,

Wuhan

E-mail: luxu_0909@hust.edu.cn

Abstract: Currently, as an efficient way of generating ultrashort coherent extreme ultraviolet (XUV)/soft-X-ray sources, high harmonic generation (HHG) has been one of the most attractive research areas in thepast decades. Isolated attosecond pulse (IAP) emission, which confines the electron recombination in HHG to a half-cycle, requires the driving laser with a sufficiently short pulse duration with stable carrier-to-envelope phase (CEP). According to the estimation based on the "cut off" law, when the cycle numbers of the driving laser pulses are 2, 1, and 0.7 within a Gaussian envelope, the corresponding percentages of the continuum region in the HHG spectrum are approximately 15%, 50%, and 73%, respectively. Currently, limited by the output pulse energy of a few-cycle infrared (IR) laser, the IAP emission energy was widely demonstrated with the output less than picojoule. To overcome the influence of HHG photon flux scaling and elevate the output photon flux of IAP, we demonstrated the development of an over 53 mJ, CEP-stable, single-cycle middle-IR (MIR) laser source based on the advanced DC-OPA scheme, which provides the potential to generate a GW-class water window IAP.

Reference

1. Lu Xu; Eiji J. Takahashi ; Dual-chirped optical parametric amplification of high-energy single-cycle laser pulses, Nature Photonics, 2024, 18, 99

报告人简介:徐露,华中科技大学教授。长期从事超强超快激光领域的研究工作。在超强激光方面,提出并实验验证了 CPA-OPCPA 技术方案,获得了当时基于 OPCPA 终端放大世界最高峰值功率;在超快激光方面,提出并实验验证了"非 线性晶体组合式双啁啾光参量放大(Advanced DC-OPA)"方案,打破了研制高脉冲能量、单光学周期乃至更短脉宽红外 激光装置的技术瓶颈,建成了峰值功率国际最高的单光学周期 CEP 稳定的红外激光装置。

少周期红外光电场的测量技术研究

刘阳阳

华中科技大学,武汉

Email: yangyangliu32@hust.edu.cn

摘要:对飞秒光电场进行精准测量不仅是研究光与物质相互作用的物理机理的重要工具,而且是开展飞秒激光应用研究的 前提条件。更重要的是,测量飞秒光电场对于单阿秒脉冲的产生非常重要。由此,研发新型光电场测量技术有助于推动阿 秒光学、原子分子物理学、医学检测、超快激光加工、超快计量、光电子学等领域的发展,具有重大的研究意义和应用前 景。然而,完整测量光电场需要同时测量光电场的包络、振荡以及载波包络相位信息,这是非常困难的。本报告将主要介 绍新型光电场测量技术 TIPTOE。TIPTOE 技术主要是通过强场隧穿电离等过程来产生阿秒量级的超快时间门,从而对飞 秒光电场进行测量。在 TIPTOE 技术的基础上,报告人陆续研发了固体 TIPTOE 技术、光电场单发测量技术以及三维 TIPTOE 技术等。固体 TIPTOE 技术可以极大地提升光电场测量的灵敏性,并为实现光电场的单发测量提供了可能。随后, 报告人首次实现了中红外光电场的单发测量,这具有重要的应用价值,并具备推广到近红外乃至可见光波段的潜力。三维 TIPTOE 技术可以实现中红外光电场的时间、空间以及偏振等信息的同时测量,理论上可以实现任意结构光的直接测量。

- 8 -

多功能阿秒束线中的孤立阿秒脉冲产生

钟诗阳¹,喻苏玉^{1,2},李哲^{1,3},滕浩¹,魏志义^{1,4,5} ¹中国科学院物理研究所北京凝聚态物理国家研究中心,北京 ²西安电子科技大学光电工程学院,西安 ³哈尔滨工业大学(威海)理学院,威海 ⁴松山湖材料实验室,东莞 ⁵中国科学院大学物理科学学院,北京 Email: zhongshiyang@iphy.ac.cn

摘要: 阿秒脉冲的诞生提供了在电子运动本征时间尺度对其进行观测并调控的重要研究手段。但由于阿秒脉冲转换效率随 驱动激光波长衰减的特征,较强的阿秒脉冲通常只能在极紫外波段产生,其光子能量导致利用阿秒脉冲开展的常常受限于 简单物质体系的价电子。而对内壳层电子的研究,由于其具有元素的特异性,则更有利于阿秒科学向更复杂物质体系中的 扩展,近年来相关的光源及实验技术的发展成为阿秒科学的一个热点领域。

针对高强度及高光子能量的阿秒脉冲的产生及其在内壳层电子的光电离,瞬态吸收光谱等应用中需求,我们设计搭建 采用高脉冲能量近红外/中红外(7mJ/7fs/800nm, 8.5mJ/25fs/2000nm)OPCPA激光驱动高次谐波产生、测量及应用的 多功能束线,为充分利用驱动激光的高脉冲能量,束线采用 2.5m 焦距的松聚焦的光路设计可实现高次谐波及孤立阿秒脉 冲的产生并具有泵浦探测的光路,用于时间分辨的光电子能谱测量及瞬态吸收/反射光谱测量等多种功能。

采用近红外驱动激光产生的高次谐波光谱及电子谱测量结果表明,目前产生的高次谐波波长最短达到 8nm 左右,已 经进入软 X 射线波段。利用阿秒条纹相机技术,将高次谐波连续谱与红外飞秒激光同时聚焦于飞行时间谱仪,测量高次谐 波连续谱电离光电子在飞秒光场调制下的条纹能谱,表明在波长约为 12nm 的极紫外波段可测量到<100 as 的孤立阿秒脉 冲。进一步采用偏振选通等选通技术以及引入 2μm 激光,将可望产生波长更短,脉冲宽度更窄的高次谐波或孤立阿秒脉 冲,并适用于针对内壳层电子动力学的研究。



- 9 -

图 1. (上) 多功能阿秒束线装置示意图 (左) 短波长高次谐波产生 (右) 孤立阿秒脉冲条纹能谱。

关键词: 高次谐波, 阿秒脉冲, 阿秒条纹相机

参考文献

[1] K. S. Zinchenko, F. Ardana-Lamas, V. U. Lanfaloni, T. T. Luu, Y. Pertot, M. Huppert, H. J. Wörner, Scientific Reports 13, 3059 (2023).

[2] S. Severino, K. M. Ziems, M. Reduzzi, A. Summers, H.-W. Sun, Y.-H. Chien, S. Gräfe, J. Biegert, Nature Photonics (2024).

报告人简介:钟诗阳,中国科学院物理研究所副研究员。2016年7月在中科院物理研究所获博士学位。2016年8月至 2020年8月在瑞典隆德大学开展博士后研究。2020年12月入职中科院物理所。主要从事阿秒脉冲产生及超快电离动力学 中的应用,参与了国家重大科技基础设施的综合极端条件实验装置的建设和运行工作,并在原子分子中的阿秒电离延时的 精确测量领域取得一系列的学术成果。当选中国科学院青年创新促进会会员及中国激光杂志社青年编委。

Ultrafast Kapitza-Dirac effect and more

Weiran Zheng¹, Hao Liang², Kang Lin¹, Reinhard Dörner³

¹ School of Physics, Zhejiang Key Laboratory of Micro-Nano Quantum Chips and Quantum Control, Zhejiang University,

Hangzhou, China.

² Max Planck Institute for the Physics of Complex Systems, Dresden, Germany.

³ Institut für Kernphysik, Goethe-Universität, Frankfurt am Main, Germany.

Abstract: Similar to the optical diffraction of light passing through a material grating, the Kapitza-Dirac effect occurs when an electron is diffracted by a standing light wave. In its original description, the effect is time independent. Here, we extended the Kapitza-Dirac effect to the time domain. By tracking the spatiotemporal evolution of a pulsed electron wave packet diffracted by a 60-femtosecond (where one femtosecond = 10–15 seconds) standing wave pulse in a pump-probe scheme, we observed time-dependent diffraction patterns. The fringe spacing in the observed pattern differs from that generated by the conventional Kapitza-Dirac effect. By exploiting this time-resolved diffraction scheme, we can access the time evolution of the phase properties of a free electron and image the ionic potentials. Now, we are working on the phase imaging of the Coulomb potential of the parent ion by observing the distorted interference fringes.

Reference

- [1] Kang Lin et al., 383, 1467–1470 (2024).
- [2] Weiran Zheng, Hao Liang et al., in preparation.

基于阿秒瞬态吸收谱的离子空穴动力学研究

王小伟

国防科技大学理学院物理系,长沙

*Email: xiaowei.wang@aliyun.com

摘要:强场电离在亚光场周期内制备的电子-空穴态对随后的非平衡演化和能量弛豫具有重要影响,对该过程的深入理解有 望使人们在电子层面上实现物质结构和动力学操控,一直以来受到科学家的极大关注。我们首先利用少周期飞秒光场来产 生氪离子,然后通过体系对阿秒光脉冲[1,2]的吸收来记录氪离子的瞬时状态。入射的阿秒脉冲覆盖了 70-95 eV 的光谱范 围,可以诱发 3d 壳层与 4p 壳层之间的共振跃迁,共存在三个跃迁通道 4p3/2-1 → 3d5/2-1 (79.8 eV)、4p1/2-1 → 3d3/2-1 (80.4 eV)和4p3/2-1 → 3d3/2-1 (81.1 eV)。通过改变飞秒光场与阿秒脉冲的相对延迟,实现了以高达 8 阿秒 的时间精度来追踪强场电离诱导的离子相干性及动力学演化。尽管 4p3/2-1 → 3d5/2-1 与 4p1/2-1 → 3d3/2-1 两个通道 的跃迁能量只相差 0.6 eV,但二者的共振吸收线之间却存在 400 多阿秒的光强依赖的时间延迟,如图 1 所示[3]。分析表 明,邻近 4s-1 组态与 4p1/2-1、4p3/2-1 双态之间可以通过 9 个近红外光子的吸收/辐射发生共振耦合,进而形成 Λ 型的 三能级结构,因此 4p1/2-1、4p3/2-1 两个态的布居数可以通过拉曼过程发生转移,并且强光与离子耦合诱导的相干拉曼 过程是导致两个电子共振跃迁出现时间延迟的物理根源。该研究在阿秒时间尺度上展示了原子在强激光场作用下电离及后 续演化过程,揭示了激光场与离子的相干拉曼耦合对其布居数和相干性的重要影响,实现了不同共振跃迁通道百阿秒量级 时延的探测与调控。该工作提出的拉曼时延机制有助于人们深入理解强场中的束缚-束缚跃迁及瞬时电离注入,极大的丰富 了阿秒计时术的内涵。



图 1: 氪离子 4p3/2-1 → 3d5/2-1 与 4p1/2-1 → 3d3/2-1 两个共振跃迁通道吸光度改变随延时的变化。二者之间存在 420 阿秒的时延。

参考文献

X. Wang, L. Wang, F. Xiao, D. Zhang, Z. Lue, J. Yuan, and Z. Zhao, Generation of 88 as Isolated Attosecond Pulses with Double Optical Gating *, Chinese Physics Letters 37, 023201 (2020).

J. Wang, F. Xiao, L. Wang, W. Tao, X. Wang, and Z. Zhao, Fast Phase Retrieval for Broadband Attosecond Pulse Characterization, Opt. Express 31, 43224 (2023).

L. Wang et al., Raman Time-Delay in Attosecond Transient Absorption of Strong-Field Created Krypton Vacancy, Nat Commun 15, 2705 (2024).

双分子反应动力学超快时间分辨与光场调控

张文斌

华东师范大学,精密光谱科学与技术国家重点实验室,上海

Email: wbzhang@lps.ecnu.edu.cn

摘要:实现分子超快动力学的直接观测是理解自然界基本物理现象和新奇效应的重要科学前提。相比于单分子体系动力学, 分子-分子相互作用是自然界更为普遍的物理化学过程。分子间的相互作用会诱导分子旧化学键的断裂和新化学键的形成, 最终使得分子结构发生变化。以往人们主要利用交叉分子束的方法开展的分子-分子相互作用或分子间化学反应的研究。然 而,由于缺少明确的反应时间起点和空间起点,在交叉分子束实验中难以获得分子断键和成键动力学时间信息,而且难以 实现动力学的相干调控。从具有固定核间距的分子二聚体出发,明确反应的空间起点,并结合激光触发分子间相互作用, 定义时间零点,从而可以开展分子间相互作用超快动力学的研究。本报告将介绍我们近期在激光诱导分子间相互作用超快 动力学精密测控方面的研究工作。实验上通过制备低温分子二聚体团簇,并利用超快激光与其相互作用,结合多体符合测 量、飞秒泵浦-探测、超快光场调控等技术,实现了星际离子 H3+的形成动力学、从无机到有机的双分子反应 C-H 键形成 动力学的时域直接观测,并通过操控光场波形实现了反应动力学的阿秒精度相干调控。此外,聚焦 H2-D2 二聚体发生双分 子反应产生 D2H+和 H2D+,在分子层面研究分子核运动在双分子反应动力学中的重要作用。

关键词: 分子间相互作用超快动力学, 符合测量, 泵浦-探测, 光场调控

参考文献

- [1] L. Zhou et al., Nature Chemistry. 15, 1229 (2023).
- [2] Z. Jiang et al., Nature Communications, 15, 2854 (2024).
- [3] M. Shi et al., in revision (2024).

Attosecond Probing of Ultrafast Molecular Dynamics with Machine-Learning-assisted High Harmonic Spectroscopy

Lixin He, Siqi Sun, Pu Wang1, Chengqing Xu, Xiaosong Zhu, Pengfei Lan and Peixiang Lu

Wuhan National Laboratory for Optoelectronics and School of Physics, Huazhong University of Science and Technology,

Wuhan, China

Email: helx_hust@hust.edu.cn

Abstract: Understanding the ultrafast dynamics of electrons and nuclei after light-molecule interaction is fundamental to a broad range of chemical reactions and biological processes, which requires combined few-femtosecond temporal and picometer spatial measurement resolution. In the past two decades, advances in strong-field physics have provided efficient approaches to measuring the intramolecular dynamics with the table-top laser. High harmonic spectroscopy (HHS) as an emerging tool has been widely used for ultrafast molecular detection.

In HHS, the molecular-frame dynamics is encoded in the harmonic emission on single-molecule level. Resolving the internal dynamics usually requires a thorough knowledge of the single-molecule response. However, owing to the inevitable imperfect molecular alignment in experiment, the measurement is always a coherent superposition of the single-molecule emission in a broadening range of molecular axis distribution. The coherent average over molecular alignment distribution could deviate the measurement from the single-molecule result. Thus, disentangling the internal angular coherence is crucial for HHS, which, however, has long been overlooked before. Here we demonstrated that the aforementioned obstacle has been resolved by introducing the machine-learning (ML) algorithm to the HHS. With a newly developed ML algorithm [1], the alignment-angle-resolved complex dipole moments of HHG on single-molecule level were coherently retrieved from the measured harmonic signals. In combination with a two-color driving scheme, the alignment-dependent single-molecule charge migrations were coherently reconstructed with a temporal resolution of sub-50 as for N₂ and CO₂ [2]. The charge migration speed was further measured for the first time in C₄H₂ molecule [3]. Very recently, the ML-based HHS method has also been applied to directly image the ultrafast structural transformation in ammonia molecule.

Keywords: High harmonic spectroscopy, Ultrafast molecular dynamics, Machine learning

Reference

[1] S. Sun, Y. He, L. He, J. Hu, P. Lan, and P. Lu, Phys. Rev. A 107, 033105 (2023)

[2] L. He, S. Sun, P. Lan, Y. He, B. Wang, P. Wang, X. Zhu, L. Li, W. Cao, P. Lu, and C. D. Lin, Nature Communications 13, 4595 (2022)

[3] L. He, Y. He, S. Sun, E. Goetz, Anh-Thu Le, X. Zhu, P. Lan, P. Lu, C. D. Lin, Advanced Photonics 5, 05600 (2023).

口头报告

时空光涡旋阿秒脉冲链的产生

许亮¹,董嘉豪¹,方一奇²,刘一¹

1上海理工大学光电信息与计算机工程学院,上海

² Fachbereich Physik, Universität Konstanz, Konstanz, Germany

Email: liangxu2021@usst.edu.cn; yi.liu@usst.edu.cn

摘要:如何在各种波动系统中产生具有横向轨道角动量的时空涡旋结构是近年来备受关注的前沿课题。这一调控光场的全 新自由度已经为光通信、强场电子加速等各个研究领域带来了新的机遇。在本次报告当中,我们首次从理论上提出利用具 有横向轨道角动量的双色飞秒激光场产生具有时空光涡旋结构的阿秒脉冲链的实现方案。通过精确优化双色飞秒激光场的 相对相位和强度比,我们证实了红外飞秒脉冲的横向轨道角动量可以有效地上转换至其数十阶谐波,并且每阶谐波都保持 其相应的完整螺旋相位结构。这一特性使得合成具有横向轨道角动量的极紫外阿秒脉冲链成为可能。我们的研究揭示了电 子的高阶回碰过程所引入的无序相位辐射通道会严重破坏谐波的时空螺旋相位结构。此外,我们还讨论了基态耗散效应对 时空相位信息传递的重要影响。我们的研究详细分析了时空涡旋脉冲是如何影响高次谐波产生中的电子轨迹以及光发射过 程,使在阿秒时间尺度上生成和利用具有时空涡旋结构的光场成为可能,也为产生具有横向轨道角动量的孤立阿秒脉冲奠 定了基础。



关键词:时空涡旋,横向轨道角动量,阿秒脉冲,高次谐波产生,电子超快动力学

图 1. 由 STOV 驱动脉冲产生的空间分辨的高次谐波谱(左列),以及第 35 阶谐波的强度分布(中列)和时空螺旋相位 (右列)。(a) 单色 STOV 驱动场;(b) 相位未优化的双色 STOV 驱动场;(c) 相位优化的双色 STOV 驱动场。



图 2. 合成得到的阿秒脉冲链。(a) 单色 STOV 驱动场;(b) 相位未优化的双色 STOV 驱动场;(c) 相位优化的双色 STOV 驱动场;(d) 图(c) 中黑框处的强度拟合结果。

参考文献

[1] A. Chong, C. Wan, J. Chen, Q. Zhan, Nat. Photonics 14, 350 (2020).

[2] Yiqi Fang, Shengyue Lu, and Yunquan Liu, Phys. Rev. Lett. 127, 273901 (2021).

[3] Jiahao Dong, Liang Xu, Yiqi Fang, Feng He, Songlin Zhuang, and Yi Liu, "Generation of spatiotemporal vortex attosecond pulse trains" (Under Review).

基于"偏振门阿秒钟"的电子关联动力学探测

王艳兰,孙仁平,余少刚,全威,柳晓军 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院,武汉 Email: ylwang@wipm.ac.cn

摘要:近年来,阿秒测量谱学技术的发展为人们在阿秒时间尺度理解和控制电子动力学提供了强有力的工具。在众多阿秒 测量谱学技术中,阿秒角度条纹技术(亦称"阿秒钟")仅利用飞秒激光脉冲即可实现阿秒量级时间分辨率的测量,为深入 探究阿秒电子动力学过程提供了独特手段[1]。"阿秒钟"技术基于椭圆偏振激光来电离原子或分子,其旋转电场矢量会根 据光电子的电离时间将其偏转到一个特定的方向。因此,从测量的角分辨的光电子谱中就可以确定光电子的电离时间,测 量精度高达几阿秒。该技术已成功应用于强场电子隧穿时间、顺序双电离中两电子电离时间延迟,分子解离动力学等测量 中。然而,传统的"阿秒钟"技术受限于所采用的椭圆偏振光脉冲,尚无法直接应用于电子-电子关联物理过程的研究。

本工作中,我们提出了一种基于"偏振门"激光脉冲的"阿秒钟"方案,并成功将其运用于强场原子双电离过程中电 子-电子关联动力学的实时探测。基于前期建立并发展的载波包络相位稳定的少周期飞秒激光系统,通过精密控制两束左旋 和右旋圆偏振少周期激光脉冲的时间延迟与载波包络相位,成功合成"偏振门"超短光脉冲,实现了激光脉冲椭圆偏振状 态的精确控制。相比以往"阿秒钟"技术普遍采用的单一椭圆偏振光脉冲,"偏振门"超短脉冲不仅能够在其中心近线偏振 区域内有效制备电子关联态并驱动电子关联发射,还保留了阿秒角度条纹高精度采样电子发射时间的特性。我们首先采用 这种独特的"偏振门"脉冲实现了对一个光学周期内不同时刻电离的电子波包之间干涉的精确控制,为准确提取阿秒时间 尺度电子超快动力学和结构信息提供了重要的手段[2,3]。随后我们将发展的"偏振门阿秒钟"方案应用于氢原子强场双电 离过程,通过研究其产生的双激发态的关联电子发射时间差,成功演示了"偏振门阿秒钟"技术。我们的研究表明,处于 双激发态的两个关联电子的电离主要通过两种不同的通道进行,"偏振门阿秒钟"技术精确地测出了不同通道对应的两个关 联电子的电离时间差,分别为 234(±22)阿秒和 1043(±73)阿秒[4]。

关键字: 偏振门, 阿秒钟, 电子关联, 双激发态

参考文献

 P. Eckle, M. Smolarski, P. Schlup, J. Biegert, A. Staudte, M. Schöffler, H. G. Muller, R. Dörner, and U. Keller, Nat. Phys. 4, 565 (2008).

[2] Y. L. Wang, S. G. Yu, X. Y. Lai, H. P. Kang, S. P. Xu, R. P. Sun, W. Quan, and X. J. Liu, Phys. Rev. A 98, 043422 (2018).

[3] R. P. Sun, Y. L. Wang, Y. Zhou, S. G. Yu, S. P. Xu, X. Y. Lai, W. Quan, and X. J. Liu, Phys. Rev. A 105, L021103 (2022)

[4] Y. L. Wang, S. G. Yu, R. P. Sun, H. P. Kang, S. P. Xu, X. Y. Lai, W. Quan, and X. J. Liu, Phys. Rev. Lett. 132, 223202 (2024).

圆偏振激光诱导铁磁材料超快轨道和自旋动力学

李硕¹, 王冉¹, Junjie He², Thomas Frauenheim³

1成都大学高等研究院,成都

²Charles University, Department of Physical and Macromolecular Chemistry, Czech Republic, Prague

³ Constructor University, School of Science, Germany, Bremen

Email: lishuo@cdu.edu.cn

摘要: 在阿秒到飞秒的时间尺度,分辨磁性材料中轨道角动量(OAM)和自旋角动量(SAM)的超快动力学行为是超快 磁学领域的巨大挑战[1]。近期,我们利用非线性的实时演化的含时密度泛函理论(rt-TDDFT)研究了圆偏振(左旋 σ+和 右旋 σ-)激光脉冲在铁磁体 Fe、Co和Ni中诱导 OAM和 SAM的面内分量[2]。结果表明 OAM的大小比 SAM 高出一个 数量级,突出了电子轨道自由度的更强的光学响应。σ+和 σ-激光可以诱导出 OAM和 SAM 的手性进动行为,且该过程与 激光频率和持续时间有明显的关联性。而且,OAM和 SAM的进动过程要早于光诱导的自旋转移效应(OISTR)导致的 退磁。此外,我们也模拟了二维铁磁体 Fe3GeTe2 中的轨道和自旋动力学[3]。结果表明圆偏振激光可以在约 600 阿秒的 超快时间尺度上显著诱导 OAM 横向的线性响应,而 OAM和 SAM 之间的角动量可以通过自旋轨道耦合效应进行传递。 我们的研究结果提供了在圆偏振激光脉冲对 OAM和 SAM 动力学的影响,为在亚飞秒时间尺度操纵轨道和自旋角动量提 供了一种新见解。这些工作能为超快磁学领域提供操纵光-轨道-自旋角动量的理论基础。

专题二: 超快激光技术及应用

邀请报告

中红外飞秒激光生物组织微创消融

梁厚昆

四川大学,成都

Email: hkliang@scu.edu.cn

摘要:激光消融生物组织具有精度高、非接触、自动化等优点,是未来外科手术的关键技术。在寻找最佳消融波长的过程中,1994年,基于自由电子激光(FEL)设备,揭示并证明了波长为6.45 微米的中红外皮秒脉冲与酰胺蛋白共振,可以产生有效的组织消融,附带损伤小。尽管 FEL 具有优越的消融性能,但它是一个大型科学设施,严重限制了其临床应用。我们研发了台式高功率中红外飞秒激光,通过探索中红外共振消融和飞秒冷处理,利用与酰胺谐振的 6.1 微米波长的飞秒脉冲 实现了多毫米深度的组织消融和细胞量级的附带损伤,在切口深度为多毫米的情况下,角膜、巩膜和关节软骨的附带损伤分别为 15、4 和 1 微米。此外,也实现了组织选择性消融、用于药物输送的软骨微通道、角膜切开术、神经组织切口、牙本质深坑形成和增生性瘢痕消融的初步概念验性验证。

100W 超快碟片激光振荡器

张金伟

华中科技大学,湖北

Email: jinweizhang@hust.edu.cn

摘要:高功率飞秒激光振荡器在基础科研、工业生产、生物医学以及国防军事等领域有着广泛且重要的应用。薄片激光器 采用大径厚比的薄片材料作为增益介质并与通有水冷的热沉相连接,具有极高的散热效率,且薄片介质内仅存在沿着厚度 方向的一维热梯度,因此非常适合产生高平均功率、高脉冲能量、高光束质量的超快激光。在此基础上,我们搭建了飞秒 薄片激光振荡器,并对如何实现高的激光脉冲能量进行了实验研究。分别在驻波腔条件下和环形腔条件下实现了平均功率 100W 的百飞秒激光脉冲输出。该振荡器可以作为非线性频率变换以及超快激光微纳加工的激光驱动源。

Monolithic siilca fiber frequency combs delivering 4-cycle pulses and two-octave spectrum

邢思达

中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海

Email: xingsida@siom.ac.cn

Abstract: Monolithic siilca fiber frequency combs delivering 4-cycle pulses and two-octave Spectrum Midinfrared frequency comb spectroscopy facilitates the measurement of molecules with megahertz spectral resolution, sub-hertz frequency accuracy, and microsecond acquisition speed. Broadband and low noise frequency combs sources are prerequisites in these applications. However, mid-infrared frequency combs remain complex and alignment sensitive, impeding their widespread application in various research communities. One promising strategy is to leverage the seldom-explored mid-infrared window of silica fibre frequency combs. In this talk, I will present our latest efforts towards an all-silica-fiber implementation and a quantitative description of mid-infrared frequency combs in silica fibres. The constructed frequency utilizes silica fibre only to emit two octaves ($0.8 \mu m$ to $3.3 \mu m$) and producing a smooth mid-infrared spectrum with 100 mW power. Amplified quantum noise is suppressed using four-cycle (25 fs) driving pulses. The carrierenvelope offset frequency exhibits a 40 dB signal-to-noise ratio and a 90 kHz free-running bandwidth. Notably, our theory establishes quantitative guidelines for mid-infrared frequency combs in silica fibres, representing a significant step towards enabling all-fibre frequency comb spectroscopy in fields such as organic synthesis, pharmacokinetics processes, and environmental monitoring.

报告人简介:邢思达研究员,博士生导师,2013 年和 2015 年在麦吉尔(McGill)大学获得学士和硕士学位,2019 年在洛桑 联邦理工(EPFL)大学获得博士学位。2019 至 2021 在美国国家标准与技术研究院(NIST)从事博士后研究,合作导师为 Scott Diddams 教授,期间参与美国多个国家级研究项目。2022 年入职中科院上海光机所,目前从事光频梳的开发和应 用研究工作。邢思达在 Nat.Photonics, LSA, Optica 等期刊发表多篇文章,于 2022 年起担任国际激光与光电大会(CLEO) 光学计量专题的学术委员会委员。

全光纤超快激光啁啾脉冲放大及相干合成

王涛¹,任博¹,张嘉怡¹,郭琨¹,倪晨曦¹,李灿¹,吴坚¹,冷进勇^{1,2,3},周朴¹
¹国防科技大学前沿交叉学科学院,长沙
²国防科技大学南湖之光实验室,长沙
³国防科技大学高能激光技术湖南省重点实验室,长沙
Email: lc0616@163.com, zhoupu203@163.com

摘要:高功率/能量超快光纤激光在基础研究和工业领域中都有广泛的应用,如精密制造、高次谐波产生等。然而,由于高 峰值功率激光被限制在纤芯内会产生严重的非线性效应,制约了超快光纤激光的功率和能量提升。特别是对于全光纤啁啾 脉冲放大系统而言,由于纤芯直径相对较小且激光距离传输较长,非线性效应会更加严重。本报告将主要介绍我们团队近 期在超快光纤激光啁啾脉冲放大以及多路相干合成方面的研究结果。

关键词: 超快激光, 光纤激光, 啁啾脉冲放大, 相干合成

报告人简介: 李灿, 国防科技大学前沿交叉学科学院副研究员, 2015 年博士毕业于华南理工大学, 2015-2019 年在香港大学从事博士后研究工作。目前主要从事高性能超短脉冲/超窄线宽光纤激光技术及应用方面的研究, 在 Ultrafast Science, Photonics Research, APL Photonics 和 Optics Letters 等学术期刊发表论文 60 余篇, 申请发明专利 10 余项。获得中国光学工程学会科技创新奖、湖南省光学科技进展奖等奖项,《红外与激光工程》青年编委。目前作为项目负责人主持国家重点研发计划课题、国家自然科学基金以及国防科技 173 计划技术领域基金等项目的研究工作。

功能材料的激光微纳增材制造

林琳涵

清华大学,北京

Email: linlh2019@tsinghua.edu.cn

摘要:激光纳米 3D 打印是一种无掩模、高精度的微纳增材制造技术,可实现任意三维精细结构的加工制造。现有的激光 3D 纳米打印主要依赖于双光子聚合的原理,只适用于少数的聚合物材料,而在各种功能无机材料的制造上面临着技术瓶 颈。针对该难题,本报告提出了两种解决策略。第一,采用化学合成的无机纳米粒子作为原料,利用飞秒激光诱导纳米粒 子之间的化学成键,实现纳米粒子的激光增材制造,如图 1 所示。利用这项技术我们不仅实现了半导体纳米材料的高精度、 高纯度激光三维直写,并将制造的材料体系进一步拓展到金属、氧化物陶瓷等更广泛的无机体系中,为三维功能器件的微 纳制造、光电芯片的混合异质集成提供了新思路。



图 1. 光激发诱导化学键合示意图。

另一方面,该报告将介绍另一个策略,利用飞秒激光调控晶体生长的动力学过程。以有机-无机杂化钙钛矿晶体为例, 我们利用飞秒激光产生的微流体运动与界面蒸发相结合,在钙钛矿前驱体溶液中实现了局域过饱和度的精确调控,并实现 钙钛矿单晶的可控生长,由此提出了结晶光刻技术。利用该技术生长的钙钛矿单晶具有晶体质量高、表面质量高等优势, 为钙钛矿单晶器件的制备提供了新方案。

关键词:激光增材制造,激光 3D 打印,无机材料,钙钛矿

参考文献

[1] S.-F. Liu, Z.-W. Hou, L. Lin, F. Li, Y. Zhao, X.-Z. Li, H. Zhang, H.-H. Fang, Z. Li, H.-B. Sun, 3D nanoprinting of semiconductor quantum dots by photoexcitation-induced chemical bonding. Science, 377 (6610), 1112-1116

(2022)

[2] F. Li, S.-F. Liu, W. Liu, Z.-W. Hou, J. Jiang, Z. Fu, S. Wang, Y. Si, S. Lu, H. Zhou, D. Liu, X. Tian, H. Qiu, Y. Yang, Z. Li, X. Li, L. Lin, H.-B. Sun, H. Zhang, J. Li, 3D printing of inorganic nanomaterials by photochemically bonding colloidal nanocrystals. Science, 381 (6665), 1468-1474 (2023)

[3] X.-G. Chen, L. Lin, G.-Y. Huang, X.-M. Chen, X.-Z. Li, Y.-K. Zhou, Y. Zou, T. Fu, P. Li, Z. Li, H.-B. Sun, Optofluidic crystallithography for directed growth of single-crystalline halide perovskites. Nature Communications, 15 (1), 3677 (2024)

报告人简介:林琳涵,清华大学精仪系副教授,2008 年和 2013 年在清华大学获得学士学位和博士学位,随后在密歇根大学迪尔伯恩分校、德州大学奥斯汀分校从事博士后研究,2019 年加入清华精仪系。主要研究方向为纳米光学,激光微纳制造,多尺度激光调控技术。在 Science、Nature Photonics、Science Advances 等刊物发表论文 60 余篇,研究成果被Nature、Science、Nature Photonics、Nature Materials、Discovery Channel、光明日报等刊物和媒体专题报道100 余次,部分成果获得"Nature 2018 年诺贝尔物理学奖专题"收录,2018 年和 2023 年两次入选美国光学学会光学年度进展,入选 2023 年中国重大技术十大进展、2022 年中国光学十大进展、2022 中国光学领域十大社会影响力事件等。现为美国光学学会、中国光学学会高级会员,中国光学工程学会微纳专业委员会委员,中国仪器仪表学会精密机械分会第 8 届委员会委员,中国感光学会光学精密成型专业委员会委员,中国光协激光应用分会青年委员。

Dual-comb thin-disk laser

李权明¹, 柏汉泽¹, 滕晓丹¹, 俞航航¹, 玄洪文^{1,2,*}
¹广东大湾区空天信息研究院, 广州
²中国科学院大学, 北京
*Email: xuanhw@aircas.ac.cn

Abstract: High-power dual-comb from single cavity can be widely applied in the fields such as spectroscopy, sensing applications, and long-distance measurements. The disk-based single-cavity dual-comb laser, which is characterized by high-power output, was demonstrated. We presented a laser based on a thin-disk structure that achieves two output laser beams by separating the end mirror and coupling mirror in space. The Kerr medium is applied to achieve the mode-locking, and the frequency difference between the two laser beams in mode-locking is changed by moving the end mirror. The two laser beams share most of the components inside the cavity, which improves their mutual stability. We achieved simultaneous operation of dual combs at the center wavelength of 1030nm, with both pulse widths around ~420fs, pulse energies about 60 nJ, and output powers at 5 W. The repetition rate is around ~75 MHz. To demonstrate the applicability of the disk-based single-cavity dual-comb system, a long-distance measurement was carried out by it.

Keywords: dual-comb, thin-disk laser, distance measurement

Reference

[1] M Minoshima K, Matsumoto H. High-accuracy measurement of 240-m distance in an optical tunnel by use of a compact femtosecond laser. APPLIED OPTICS. 2000;39(30):5512-5517.

[2] Fritsch K, Hofer T, Brons J, et al. Dual-comb thin-disk oscillator. Nature Communications. 2022;13(1):2584.

石墨烯光学人工智能器件的三维光刻技术

陈希,张可儿

上海理工大学智能科技学院, 上海

Email: xichen@usst.edu.cn

摘要:石墨烯作为一种新型二维材料在光学人工智能器件领域拥有巨大的应用前景,同时也对石墨烯结构的尺寸参数的精 度提出了较高的要求。本文介绍了本课题组开发的用于制造三维微纳结构石墨烯光学人工智能器件的超精细激光光刻技术。 其中包括:1)单光束石墨烯激光光刻技术。当飞秒激光光束处理含水的氧化石墨烯薄膜时,水的存在会调节氧化石墨烯光 还原的功率阈值,从而抑制还原这个过程,由此制备了最小宽度 95nm 的还原态氧化石墨烯线;2)双光束石墨烯激光光 刻技术。我们发现甜甜圈形的 375nm 激光光束可还原氧化石墨烯,球形 532nm 飞秒光束可诱导还原态氧化石墨烯的氧化, 从而将 375nm 产生的还原态氧化石墨烯线分裂成两个,由此得到的还原态氧化石墨烯线的最小线宽为 90nm。3)三维石 墨烯激光光刻技术。激光照射可还原氧化石墨烯,同时还原态氧化石墨烯在氧等离子体处理下可氧化成二氧化碳。通过这 两个反应可以实现厚度分辨率为 100nm 的三维氧化石墨烯图案。接下来,我们介绍了基于超精细激光光刻技术制作的全 光神经网络器件,其具有微米级的平面分辨率和 100 纳米级的纵向分辨率,可实现 80%以上的手写数字图像识别准确率。 该器件具有稳定性高和可大面积快速制作等优点,在人工智能领域具有巨大的应用潜力。

关键词:激光光刻,石墨烯,三维结构,光学人工智能,数字识别

参考文献

[1] X. Chen, M. Gu, Ultrafast Science 2022 (2022).

[2] Y. Dong, H. Luan, D. Lin, X. Ma, Z. Wan, B. Li, Q. Zhang, X Chen, X. Fang, M. Gu, Laser & Photonics Reviews 17, 2200805 (2023).

[3] X. Chen, H. Luan, M. Gu, ACS Applied Energy Materials 5, 9315 (2022).

报告人简介:陈希教授,博士生导师,2019年入职上海理工大学。先后获得南开大学化学学士学位和澳大利亚昆士兰科技 大学化学博士学位。目前主持国家级人才、省部级人才、自然科学基金面上项目和上海市科委重大项目子课题。研究方向 包括智能光子器件、激光加工和全光学习,已在包括Advanced Materials, PhotoniX, Nano Letters, Light: Science & Applications, Laser & Photonics Reviews等高水平国际期刊上发表一作或通讯作者文章。文章总引用数超 过3700次。

飞秒光学参量振荡器的多元化发展

范锦涛, 胡明列

天津大学天津大学精密仪器与光电子工程学院超快激光研究室&光电信息技术教育部重点实验室,天津

Email: fanjintao@tju.edu.cn

摘要:非线性过程的转换效率与入射光场的峰值功率成正相关,超短脉冲尤其是飞秒激光具备高峰值功率、窄脉宽、宽光 谱覆盖范围的优良特性,为高效率的非线性过程提供了保障,而反过来非线性光学频率变换技术可以极大的拓宽激光器输 出波长范围,使其满足更为广泛的应用需求。其中,飞秒激光器泵浦的光学参量振荡器(optical parametric oscillators, OPOs),兼备了飞秒激光器和 OPOs 的良好特性,输出具有高峰值功率、窄脉冲宽度和宽光谱调谐范围,被广泛应用于光 谱学、生物光子学、纳米光子学、遥感探测、光学频率梳等领域。

光纤飞秒激光器有着结构紧凑、环境稳定性好、鲁棒性良好的优良特性,特别是在输出平均功率方面,光纤飞秒激光器有着无可比拟的优势,使其成为近年来飞秒 OPO 的理想泵浦光源[1-2]。伴随着诸如 BBO、BIBO、CdSiP2 等双折射晶体、MgO: PPLN、PPKTP 等周期极化晶体的研制成功,光纤飞秒激光器泵浦的 OPO 一直以来是超快非线性光学领域的研究热点,其已经可以实现紫外至中红外乃至远红外输出,其输出脉冲宽度可窄至几个光学周期。

本次报告阐述了光纤飞秒激光器泵浦的 OPO 在输出波长覆盖范围、脉冲宽度、重复频率、实现可控结构光场输出方面的研究前沿,并简要介绍课题组在飞秒 OPO 动力学演化机制方面研究的最新进展,飞秒 OPO 在拉曼光谱学、量子随机数产生器方面的应用,并对其未来发展和应用领域进行展望[3-8]。

关键词:飞秒激光,光学参量振荡器

参考文献

[1] Limpert J, Roser F, Schreiber T, et al. High-power ultrafast fiber laser systems. IEEE Journal of Quantum Electronics[J]. 2006; 12:233–244.

[2] 王清月, 胡明列, 柴路. 光子晶体光纤非线性光学研究新进展[J]. 中国激光, 2006, 33(1):57-66.

[3] Gu C, Hu M, Fan J, et al. High power tunable femtosecond ultraviolet laser source based on an Yb-fiber laser pumped optical parametric oscillator[J]. Optics Express, 2015, 23(5): 6181-6186.

[4] Fan J, Gu C, Wang C, et al. Extended femtosecond laser wavelength range to 330 nm in a high power LBO based optical parametric oscillator[J]. Optics Express, 2016, 24(12): 13250-13257.

[5] Fan J, Gu C, Zhao J, et al. Dielectric-mirror-less femtosecond optical parametric oscillator with ultrabroadband tunability[J]. Optics letters, 2018, 43(10): 2316-2319.

[6] Zhao J, Fan J, Liao R, et al. High-power femtosecond cylindrical vector beam optical parametric oscillator[J]. Optics express, 2019, 27(23): 33080-33089.

[7] Fan J, Xiao N, Zhao J, et al. Controlled generation of wavelength-tunable higher order Poincaré sphere beams from a femtosecond optical parametric oscillator[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 2020, 26(6): 1-5.

[8] Fan J, Zhao J, Shi L, et al. Two-channel, dual-beam-mode, wavelength-tunable femtosecond optical parametric oscillator[J]. Advanced Photonics, 2020, 2(4): 045001.

口头报告

光纤激光器中光场的频率相位调控

曾超, 杜岳卿, 赵建林, 毛东

西北工业大学,西安

Email: zengchao@nwpu.edu.cn

摘要:通过调控光纤激光器的结构、色散、非线性和增益等参量,科学家已经获得了无啁啾的传统孤子、周期性拉伸和压缩的呼吸脉冲、强啁啾的自相似脉冲和耗散孤子,激光脉冲能量已经达到了微焦量级,脉冲宽度从数十纳秒覆盖至数个飞秒,工作波长也从近红外拓展至可见光和中红外波段,极大地推动了光纤激光技术和相关应用的发展。因此,进一步提升光纤激光器的调控维度,产生新型激光并揭示其形成机制,对发展锁模激光的基本理论和应用范围具有重要意义。

基于此,我们提出了光纤激光器中光场的频率相位调控方法,获得了多波长复合孤子和多孤子复合体。通过在负色散 光纤谐振腔中引入光谱滤波和频率相位调控(图1),获得了由传统孤子组成的2~5波长同类复合孤子(图2)[1]、由传统 孤子和耗散孤子组成的双波长异类复合孤子(图3)[2]。研究表明:频率相位调制施加的群延迟补偿在多波长孤子的同步 过程中起主导作用,而可饱和吸收效应迫使脉冲在时域上自动同步并重叠,进一步稳定了不同波长孤子间的相位;凸-凹型 频率相位,导致同一谐振腔在不同波段表现为相反的色散特性,从而实现传统孤子和耗散孤子的共存与同步。将该种包含 多个光谱、时域重叠的脉冲波包命名为"多波长复合孤子",其包络中子脉冲的重复频率达~THz,是一种全新的孤子锁模 形态。最近,通过在光纤激光器中引入周期性频率相位调制,实现了多孤子复合体的按需合成。



图 1. 光纤激光器中光场的频率相位调控[1]: (a)多波长复合孤子形成原理和(b)激光器结构。



图 2. 同类复合孤子[1]: (a)光谱、群延迟和滤波; (b)脉冲序列和频谱; (c) FROG 时频谱; (d)脉冲时域精细结构。



图 3. 异类复合孤子[2]: (a-c)光谱、相位和滤波; (d-f) FROG 时频谱和脉冲时域精细结构。

关键词:锁模光纤激光器,光孤子,复合孤子,频率相位调控

参考文献

D. Mao, H. Wang, H. Zhang, C. Zeng, Y. Du, Z. He, Z. Sun, and J. Zhao, "Synchronized multi-wavelength soliton fiber laser via intracavity group delay modulation," Nature Communications 12, 6712 (2021).
H. Zhang, D. Mao, Y. Du, C. Zeng, Z. Sun, and J. Zhao, "Heteronuclear multicolor soliton compounds induced by convex-concave phase in fiber lasers," Communications Physics 6, 191 (2023).

二维金属硫化物及其异质结的超快载流子动力学过程研究

聂兆刚

聊城大学物理科学与信息工程学院, 聊城

E-mail: zgniefs@163.com

摘要:二维(2D)过渡金属硫化物(TMD)材料体系中的每一种材料都拥有原子级的厚度和奇异的光电特质,特别适合柔性纳 米尺度电子和光电子学器件的应用。由这些超薄材料定制而成的范德华(vdW)异质结构,在理论上有利于电荷的超快转移 与分离,是光电转换器件中最关键和最基本的动力学过程。我们采用飞秒瞬态光谱学手段揭示单层/少层 TMDs 及其 vdW 异质结中超快载流子过程的物理学机制。实验提供了载流子热化、转移、冷却和带隙能演化的直接观测,并由此讨论了载 流子弛豫过程中的载流子-声子的散射机制和多体相互作用机制,以及机械弯曲造成的应力响应动力学机制。首先,亚5 fs 的时间分辨,允许我们观察到非热的载流子分布,其热化(thermalization)的动力学过程发生在 20 飞秒的时间尺度内,进 而讨论了载流子间复杂的多体相互作用。非弹性的从头计算分子动力学模拟预测载流子-载流子和载流子-声子的散射过程。 接着,我们通过变换激发波长,除了研究激子弛豫过程中的动力学行为,还提取了纯电子和空穴弛豫以及伴随的多体相互 作用过程。这些研究有助于我们对比基于纯电子和空穴行为的器件响应速度。还有,2D-TMD 的机械应变会改变材料的晶 格常数,导致晶格对称性的降低,同时电子能带结构也会发生显著变化。不同应力下 2D-TMD 及其异质结构的载流子的 动力学过程的研究发现,应力调控可以成为了调节 2D-TMD 电子和光学特性的有力手段。



图 1. 单层或少层二维过渡金属硫化物载流子激发和跃迁过程示意图(左)。二维异质结在应力作用下的晶格扭曲以及电荷 转移(右)。

关键词:二维材料,超快光谱学,载流子散射,热声子效应,电荷转移

参考文献

[1] Z. Nie, R. Long, L. Sun, C. Huang, J. Zhang, Q. Xiong, D. W. Hewak, Z. Shen, O. V. Prezhdo, Z. Loh, ACS Nano 135, 10931 (2014).

[2] Nie, Z.; Teguh, J. S.; Huang, C.; Hewak, D. W.; Yeow, E. L.; Shen, Z.; Prezhdo, O. V.; Loh, Z. J. Phys. Chem.

C 119, 20698 (2015).

[3] D. Lin, W. Ni, G. G. Gurzadyan, F. Zhang, W. Zhao, L. Ma*, and Z. Nie*, Nanoscale, 13, 20126 (2021).

[4] J. Chen, S. Guo, D. Lin, Z. G. Nie*, C.-C. Huang, K. Hu, C. Wang, F. Zhang, W. Zhao and W. Zhang, Phys Chem Chem Phys, 23 (12), 7135(2021).

[5] S. Guo, C. Li, Z. G. Nie^{*}, Xiaoli Wang, Minghong Wang, Cunwei Tian, Xinhua Yan, Kaige Hu,^{*} and Run Long, J. Phys. Chem. Lett. 14, 10920 (2023).

[6] Z. Guo, K. Hu, J. Su, J. Chen, Z. G. Nie*, F. Wu, Applied Surface Science 611, 155644 (2023)

报告人简介: 聂兆刚, 聊城大学特聘教授, 入选广东省"珠江人才计划"。博士毕业于中科院长春光机与物理研究所。先后 在先后在新加坡南洋理工大学, 日本电气通信大学的多个超快激光实验室的长期工作约 8 年。近年来主要从事低维光电功 能材料的超快动力学研究和透明介质的飞秒激光微纳加工。累计共发表包括 ACS Nano, Adv. Mater., J. Mat. Chem. A 等文章超 140 篇, 授权发明专利 5 项。累计被引超 2600 次, 单篇最高引用次数超 350 次。

硫化铅量子点表面三线态激子调控及其在三重态融合上转换发光方面的应用

姜林汉, 黄灵

南开大学, 天津

Email: huangl1@nankai.edu.cn

摘要:三重态-三重态湮灭上转换发光(TTA-UC)已经在光氧化还原催化、太阳能捕获、3D 打印等多个新兴领域受到了 广泛的关注。然而目前的 TTA-UC 的激发波长主要集中在可见光区,近红外光激发的 TTA-UC (NIR TTA-UC),特别是 近红外-II 波长激发的体极其稀少。这里,我们以近红外-II 区吸收的硫化铅量子点(PbS QDs)作为光捕获单元,在其表 面锚定三线态激子捕获受体,构建出无机-有机杂化的近红外光敏剂,结合湮灭剂(红英烯),我们观测到了 1064 纳米到 560 纳米的上转换发光。进一步通过时间分辨的瞬态荧光光谱和吸收光谱表明,PbS QDs 与表面配体之间存在的强弱双模 式配位,增强了量子点与表面配体的激子耦合提升了表面三线态激子与配体的三线态能量转移效率。该研究大幅提升了近 红外-II 到可见光的上转换发光效率,促进了上转换发光的在光子学和生物光子学方面的应用。

关键词:硫化铅量子点,三线态激子,上转换发光,超快光谱

参考文献

[1] L. Huang, G. Han. Triplet-triplet annihilation photon upconversion-mediated photochemical reactions. Nat. Rev. Chem. 8, 238–255 (2024).

[2] L-H Jiang, X Miao, M-Y Zhang, J-Y Li, L Zeng, W Hu, L Huang, D-W Pang. Near Infrared-II Excited Triplet Fusion Upconversion with Anti-Stokes Shift Approaching the Theoretical Limit. J. Am. Chem. Soc. 146, 10785-10797 (2024).

报告人简介:黄灵,2008.09-2012.06 就读于大连理工大学应用化学专业;2012.09-2018.03 就读于大连理工大学获博士学 位,其中 2014.09-2016.09 在美国麻省大学医学院联合培养。2018.03-2021.07 继续在美国麻省大学医学院进行博士后研 究。2021 年 9 月加入南开大学化学学院,2022 年入选国家四青人才。他长期致力于有机分子的三重态光物理性质研究, 发展出了近红外吸收强、三重态寿命长的有机光敏剂,并且探讨了有机分子结构与激发态之间的构效关系。在此基础上, 他构建了激发光功率低、吸收和发射波长可调、生物兼容性好、可代谢的近红外三重态湮灭上转换发光体系,大幅提升了 生物传感的信背比、分辨率、灵敏度,促进了上转换发光在生物医学中的应用。

专题三:招快现象与动力学

邀请报告

太阳光等效激发下有机光伏体系中的激发态动力学

张春峰¹, 王睿^{1,2}
¹南京大学物理学院,南京
²南京航空航天大学应用物理学,南京
Email: cfzhang@nju.edu.cn

摘要:激发态动力学在提高太阳能转换设备的效率中扮演着关键角色。为了监测光电转换过程中的激发态能量层及电荷产 生,科学家广泛采用了超快激光光谱技术,如瞬态吸收和太赫兹光谱。这些方法在实际应用中遇到了挑战,主要是因为探 测灵敏度和材料迁移率的限制,导致在测试中使用的激发密度远超过实际设备的工作条件。为克服这些限制,我们研发了 低噪声、高速的光谱探测方案,显著提高了瞬态吸收和太赫兹光谱的探测灵敏度,使其能在与太阳光相当的激发密度下对 光伏材料的激发态动力学进行精确表征。在此基础上,我们对非富勒烯有机光伏体系中的光电荷生成机制进行了深入研究, 并首次在太阳光照射条件下直接观测到有机光伏体系的电荷生成动力学的太赫兹光谱响应。通过这些研究,我们发现了在 畴内离域激发中电荷的生成过程,有助于避免电荷在给受体界面的损失。基于这些新发现,我们进一步探索了高效率的平 面异质结太阳能器件的设计。通过提升光谱探测技术的灵敏度,我们为准确评估和优化光电材料性能提供了强有力的技术 支持。

关键词:瞬态吸收,太赫兹光谱,有机光伏

参考文献

[1] R. Wang, C. Zhang, Q. Li, Z. Zhang, X. Wang, M. Xiao, J. Am. Chem. Soc. 142, 12751(2020).

[2] K. Jiang, J. Zhang, C. Zhong, F. R. Lin, F. Qi, Q. Li, Z. Peng, W. Kaminsky, S.-H. Jang, J. Yu, X. Deng, H. Hu,D. Shen, F. Gao, H. Ade, M. Xiao, C. Zhang, and A. K.-Y. Jen, Nat. Energy 2022, 7, 1076.

[3] B. Yang, Q. Ji, F. Huang, J. Li, Y. Z. Tian, B. Xue, R. Zhu, H. Wu, H. Yang, Y. B. Yang, S. Tang, H. B. Zhao, Y. Cao, J. Du, B. G. Wang, C. Zhang, and D. Wu, Phys. Rev. Lett. 132, 176703(2024).

笼目结构超导体 KV3Sb5 中电荷密度波的 TRARPES 研究

张文涛

中国科学院物理研究所,北京

Email: wentaozhang@iphy.ac.cn

摘要:钒基笼目结构超体具有丰富的物态,比如超导、电荷密度波、时间反演破缺和配对密度波等。这些错综复杂的奇异物态与晶格等多种自由度相互耦合,为研究它们之间的联系及形成机理带来困难。时间分辨实验技术可从超快时间尺度对这些自由度去耦合,实现对单一物态的形成物理过程研究。本研究利用 TRARPES 对 KV3Sb5 的超快电子结构进行了研究, 实现了激光泵浦作用下的超快电子结构相变,揭示了电子-电子相互作用对其形成三维电荷密度波的重要作用。

报告人简介: 2005 年本科毕业于中国科学技术大学物理系, 2010 年于中国科学院物理研究所获得博士学位, 2010-2015 年于劳伦斯伯克利国家实验室和加州大学伯克利分校从事博士后和助理研究员研究, 2015 年底加入上海交通大学物理与天 文学院, 2021 年晋升为长聘教授, 2024 年任中国科学院物理研究所研究员。依托发展先进的时间分辨和高能量分辨光电 子能谱技术,致力于高温超导微观物理机制和超快激光对量子材料的操控研究,发表论文 60 多篇,包括 Science、 Nature 及子刊、Physical Review Letters、PNAS、Physical Review X 等论文 20 多篇。1 项成果入选 2021 年中国光 学十大进展。担任 Ultrafast Science 青年编委。

-35-

应力金刚石中无光谱间隙超短太赫兹脉冲的产生

苏雨聃^{1,3,4},魏雨轩¹,林超男²,黄立¹,乐嘉明¹、,单崇新²,孔庆昌¹,沈元壤^{1,3},田传山¹

¹Department of Physics, State Key Laboratory of Surface Physics and Key Laboratory of Micro- and Nano-Photonic Structure (MOE), Fudan University; Shanghai, China.

²Henan Key Laboratory of Diamond Optoelectronic Materials and Devices, School of Physics and Laboratory of Zhongyuan Light, Zhengzhou University, Zhengzhou China

³Department of Physics, University of California, Berkeley; California USA.

⁴Zhangjiang Laboratory, 100 Haike Road, Shanghai China

Email: suyd@zjlab.ac.cn

摘要:强场太赫兹脉冲为材料共振激发和光学操控材料结构带来了令人兴奋的机会[1]。尤其在 5THz - 15THz 频域,凝聚 态体系展现出一系列重要的共振模式,然而由于大部分非线性光学晶体在 5-15THz 所固有的强烈吸收和色散,使这一频段 成为了'new THz gap'。在这项工作中我们提出了一种在应变钻石内实现共线相位匹配共振四波混频(R-FWM)产生 高强度太赫兹脉冲的方法。基于我们前期工作中展示的共振四波混频(R-FWM)在金刚石中产生百飞秒无光谱间隙高强 度 THz 脉冲的原理 [2],通过在金刚石上施加 0.12%到 0.14%的单轴应变,我们在实验上实现了中心频率在 5THz -15THz 范围可调的宽带共线相位匹配 THz 强场脉冲输出。突破相干长度的限制使 R-FWM 实现了接近 MIR 到 THz 转换 效率的理论最大值,将一束泵浦光几乎耗尽。我们实现了在 10 THz 中心频率脉冲能量达到 30nJ,是非共线方案的三倍, 对应于焦点处峰值电场强度约 2.3 MV/cm,以及 1.25%的 MIR 至 THz 光子转换效率。我们的工作从理论和实验的角度 展示了通过 R-FWM 方法产生高强度 THz 脉冲的最优化泵浦条件,为基于 R-FWM 的 THz 光源性能最优化提供了理论框 架和实验参考。



图 1. (a)应力金刚石中共线相位匹配示意图;(b)应力调节 THz 相位匹配中心频率的理论与实验对比;(c)不同应力下中心频 率在 10THz 的脉冲输出能量
关键词: 超短脉冲, 共振四波混频, 太赫兹, 非线性光学, 金刚石, 应力相位匹配

参考文献:

[1] Peter Salén, Martina Basini. et al. Physics Reports, 836-837,(2019)

[2] Le, J., Su, Y., Tian, C. et al. Light Sci Appl, 12, 34 (2023)

狄拉克材料高次谐波的反常椭偏依赖

钱晨,陆瑞锋

南京理工大学 物理学院,南京

Email: rflu@njust.edu.cn

摘 要:固体高次谐波辐射很大程度上携带了晶体中的微观结构信息,是探测晶体电子特性及其动力学过程的有效手段。大 量实验和理论表明,在具有狄拉克锥能带结构的石墨烯和拓扑绝缘体表面态的高次谐波产生中表现出异于气体高次谐波的 反常椭偏依赖现象。本文基于半导体布洛赫方程模拟了石墨烯和拓扑绝缘体在不同椭偏度激光驱动下的高次谐波辐射强度, 通过分析狄拉克锥附近电子独特的跃迁动力学,阐明了反常椭偏依赖高次谐波的物理机制。本工作建立了狄拉克电子结构 与高次谐波反常椭偏依赖现象的直接联系,为利用高次谐波光学表征狄拉克材料以及探测狄拉克电子的超快非线性光学特 性提供理论参考。

关键词: 高次谐波, 反常椭偏依赖, 狄拉克锥, 石墨烯, 跃迁偶极矩

Ultrafast imaging and control of molecular dynamics

M. Li¹, Y. Liu², M. Zhang², H. Yang², Z. Li², L. Cao¹, S. Zhang³, G. Wang⁴, H. Xu⁵, C. Wang⁶, D. Ding⁶, Z.

 Li^2

¹ HUST ² PKU ³ SNNU ⁴ DTU ⁵ NJU ⁶ JLU

Email: zheng.li@pku.edu.cn

Abstract: The Jahn-Teller effect is a fundamental mechanism of spontaneous symmetry breaking in molecular and solid state systems, and has far-reaching consequences in many fields. Up to now, to directly image the onset of Jahn-Teller symmetry breaking remains unreached. Here we employ ultrafast ion-coincidence Coulomb explosion imaging with sub-10 fs resolution and unambiguously image the ultrafast dynamics of Jahn-Teller deformations of CH4+ cation in symmetry space. It is unraveled that the Jahn-Teller deformation from C3v to C2v geometries takes a characteristic time of 20+/-7 fs for this system. Classical and quantum molecular dynamics simulations agree well with the measurement, and reveal dynamics for the build-up of the C2v structure involving complex revival process of multiple vibrational pathways of the CH4+ cation.

At the same time, we have proposed an analysis method for ultrafast diffraction imaging, which can be used to reconstruct the quantum state of molecular dynamics processes. And through external field control and quantum Zeno effect, we have achieved a selection of quantum states in the molecular dynamics process.

Keywords: Coulomb dissociation imaging, ultrafast diffraction imaging, molecular dynamics

References

- Min Li et al, Nature Commun. 12, 4233 (2021)
 Ming Zhang et al., Nature Commun. 12, 5441 (2021)
 Hanwei Yang et al., Phys. Rev. Lett. 129, 013402 (2022)
 Hanwei Yang et al., J. Chem. Phys. 158, 154302 (2023)
- [5] Yizhang Yang et al., Nature Commun. (2023)
- [6] Linfeng Zhang et al., Phys. Rev. Lett. 131, 073601 (2023)

基金项目: 国家自然科学基金项目(NOs. 12174009, 12234002, 92250303)

基于阿秒钟的隧穿电离时间测量

黎敏,周月明,陆培祥

华中科技大学,武汉

Email: mli@hust.edu.cn

摘要: 隧穿是量子力学中最基本的过程之一。隧穿时间问题一直是量子力学中长期争论的问题。我们提出并演示了一种精确测量隧穿时间的新方案,在该方案中,我们在阿秒钟实验的基础上,使用一束弱激光场调制强椭圆偏振激光产生的隧穿 电流,从而使得我们能够精确确定电子相对于激光场峰值的隧穿电离时间。这一方案克服了以前阿秒钟方案中的困难,即 光电子动量分布中的库伦效应必须由理论模型来排除,且必须精确知道驱动激光场的参数。我们证明在我们的实验精度范 围内,原子中电子的隧穿时间接近于零 [1],如图 1 所示。进一步地,我们在阿秒钟实验的基础上引入了光电子干涉术,通 过同时测量阿秒钟的偏转角和电子干涉调制相位,分离了库仑势效应对阿秒钟偏转角的贡献。发现除了库仑势对电子轨迹 的扰动作用外,电子波包在激光场和库仑势作用下传播将产生形变效应,这一库仑势导致的波包形变效应将产生阿秒量级 的时间延迟[2]。我们提取了这一波包形变导致的阿秒时间延迟,并且发现由于隧穿电离非绝热初始动量的影响,该形变效 应将在非绝热隧穿区尤为重要。



图 1. 实验提取的隧穿电离时间随电子发射角的变化。红色圆圈表示实验测量的光电子角分布,竖直虚线标注了光电子角分布的极大值位置(303 度)。插图表示虚线方框中的放大图。

关键词: 隧穿电离, 隧穿时间, 阿秒钟

参考文献

[1] M. Yu, K. Liu, M. Li, J. Yan, C. Cao, J. Tan, J. Liang, K. Guo, W. Cao, P. Lan, Q. Zhang, Y. Zhou, P. Lu, Light : Science & Applications 11, 215 (2022).

[2] W. Xie, Z. Li, M. Li, Y. Liu, Y. Liu, C. Cao, K. Guo, K. Liu, Y. Zhou, P. Lu, Phys. Rev. Lett. (under review) .

量子光场驱动下的电离性质研究

孙风潇

北京大学,北京

Email: sunfengxiao@pku.edu.cn

摘要:近年来,在强场物理的研究中,驱动光场的量子效应引起了越来越多的关注。基于全量子模型研究强场电离中的量 子光学性质,对于理解强场光与物质的相互作用具有重要的意义。在本次报告中,我们将介绍基于量子光学理论所发展的 强场近似模型,并以此研究了压缩光驱动下强场电离的光电子动量分布,揭示了压缩光场的量子统计性质通过调制光电子 周期内与周期间的干涉效应,从而对隧穿电子相位不确定度产生的影响[1]。我们进一步将此强场近似模型推广至自旋压缩 光,并研究了圆偏振压缩光驱动下隧穿电子的超快动力学性质。我们发现,相位自旋压缩光引起的量子干涉效应可以导致 光电子动量谱出现类似阿秒钟的现象,而振幅自旋压缩光不会显著改变光电子的动量分布。

此外,我们还将展示我们基于自由电子与光子相互作用的多通道量子干涉效应制备光学薛定谔猫态的理论工作[2]。利 用光诱导近场电子显微镜(Photon-Induced Near-field Electron Microscopy, PINEM)可以实现自由电子与光子之间的 强耦合相互作用,此时由于多通道量子干涉效应,输出光场的非经典性将随耦合强度改变而出现振荡的现象。在非经典性 的振荡峰值处,可以实现光学薛定谔猫态的高保真制备,且此时具有更高的量子精密测量能力。这对于发展基于超快光学 和自由电子的量子信息处理技术具有重要的促进作用。



图 1. 线偏振相干光(a)、压缩光(b)、圆偏振相干光(c)、压缩光(d)驱动下的光电子动量分布。

关键词:量子驱动光场,强场电离,压缩光,量子干涉,薛定谔猫态

- 41 -

2024.07.07 - 10 | 中国 · 西安

参考文献

- [1] Y. Fang, F. Sun, Q. He, Y. Liu, Phys. Rev. Lett. 130, 253201 (2023).
- [2] F. Sun, Y. Fang, Q. He, Y. Liu. Sci. Bull. 68, 1366-1371 (2023).

时空涡旋串的产生、检测与应用

姚金平

中国科学院上海光学精密机械研究所,上海 E-mail: jinpingyao@siom.ac.cn

摘要:时空涡旋(STOV)是携带横向轨道角动量(OAM)的一种新型光学涡旋,在各种光学现象中表现出新奇特性,因此近年来备受关注。然而,传统的时空涡旋光通常只携带一种 OAM 模式,即一个脉冲只包含一个 STOV。本报告将介绍一种新型的超快结构光——时空涡旋串。这种新型结构光可以将一个光脉冲所携带的 STOV 数量从一两个拓展到几十个,而且利用衍射方法能够实现波包中所有 STOV 拓扑荷的单次快速检测。基于时空涡旋串,我们提出了一种新的数据编码/ 解码方法,即多态横向 OAM 键控技术。利用携带 2 种 OAM 模式、16 个 STOV 的时空涡旋串成功实现了上海光机所 logo 的传输,展示了这种新型结构光场在光通信方面的优势。

关键词:时空涡旋,时空涡旋串,横向轨道角动量,数据编码解码

参考文献

[1] Shunlin Huang, et al. "Spatiotemporal vortex strings," Science Advances 10, eadn6206 (2024).

报告人简介: 姚金平, 中国科学院上海光机所研究员、博导, 国家"优青"获得者、上海市优秀学术带头人。主要从事强 场超快光学研究, 在 PRL、Science Advances、Nature Commun.等期刊上发表第一/通讯作者论文 40 余篇; 研究成果 入选"中国光学重要成果"、"饶毓泰基础光学奖"等; 关于空气激光的研究成果荣获 2022 年度上海市自然科学奖一等 奖。

碱金属原子的强场多重电离复杂动力学

叶地发

北京应用物理与计算数学研究所,北京

Email: ye_difa@iapcm.ac.cn

摘要:我们使用半经典轨道蒙特卡洛模拟方法,研究了碱金属铷原子在圆偏振强激光场中的多重电离过程。该方法是在传统的经典轨道模型的基础上引入了 Heisenberg 势的量子修正。通过最小化系统哈密顿方法并对照实验上铷各个价态的电离能,获得了铷原子的基态稳定构型,并通过求解经典正则方程研究了强度范围为 1013-1017W/cm2 的铷各个价态的电离概率。我们发现由于碱金属原子固有的壳层结构使得非序列电离过程显著增强,其背后的物理机制被称为牧羊电子效应。 具体来说,我们发现早期释放的最外层电子(牧羊电子)一方面会被振荡激光场驱动回母离子附近通过(e, ne)过程使得内壳层电子发生电离;另一方面,牧羊电子会在其他内壳层电子电离后稳定在里德堡态,从而导致瞬态空心原子的出现。我们从理论上预测并深入讨论了牧羊电子效应的实验特征及利用阿秒钟技术进行实时观测的可能性。这些结果在相干极紫外光放大中有一定的潜在应用。



图 1. 圆极化强激光场中碱金属原子多重电离的牧羊电子效应及相图。

关键词:多重电离、半经典模型、空心原子、阿秒钟

参考文献

[1] Shiwei Liu, Difa Ye, Yuhai Jiang, and Jie Liu, Communications Physics 6, 282 (2023).

[2] Huanyu Ma, Xincheng Wang, Linxuan Zhang, Zhihan Zou, Junyang Yuan, Yixuan Ma, Rujin Lv, Zhenjie Shen, Tianmin Yan, Matthias Weidemüller, Difa Ye, and Yuhai Jiang, Physical Review A 107, 033114 (2023).

口头报告

双色飞秒光场调控分子解离里德堡态激发

马俊杨,马永哲,倪宏程,吴健,孙真荣 华东师范大学,精密光谱科学与技术国家重点实验室,上海

Email: jyma@lps.ecnu.edu.cn

摘要:分子超快强场里德堡态激发是激光物理领域的一个重要研究方向,在过去几年不断涌现出色的理论和实验工作。最 近,我们基于自主发展的超快飞秒光场激发并结合弱直流电场电离技术方案,实现了分子超快强场解离里德堡态核碎片的 全空间探测,为实验开展分子解离里德堡态激发飞秒光场多维精密测控奠定基础。本项研究工作采用相对相位精密控制的 正交双色飞秒光场,结合电子离子及里德堡态核碎片多体符合测量成像技术,实现了氧气分子解离里德堡态激发的二维调 控。实验结果发现氧气分子解离里德堡态核碎片动量图谱呈现四瓣状结构,主要分布在基频光和倍频光偏振方向之间,表 现为二维出射特征。我们通过精密调控双色飞秒光场的相对相位,实现解离里德堡态核碎片出射方向的不对称调控。通过 经典蒙特卡洛模拟,我们很好的重现了实验结果,并揭示了双色飞秒光场驱动电荷运动在调控分子解离里德堡态激发过程 中的重要作用。



图 1. (a)实验装置示意图; (b) 氧气分子解离里德堡态核碎片动量图; (c) 解离里德堡态核碎片出射方向与双色光场相位关联图。

关键词: 飞秒光场, 分子解离, 里德堡态激发, 精密调控

参考文献

[1] J. Ma, Y. Ma, P. Wang, F. Yang, L. Xiong, Y. Yang, H. Ni, J. Wu, and Z. Sun, Ultrafast Sci. 4, 0053 (2024).

专题四: 大科学装置

邀请报告

大连相干光源及未来发展规划

张未卿

中国科学院大连化学物理研究所,大连

Email: weiqingzhang@dicp.ac.cn

摘要:大连相干光源是一台基于常温直线加速器技术的、工作在极紫外波段(50-150nm 连续可调)的自由电子激光用户 装置,是我国首台高增益自由电子激光用户装置。装置自 2018 年通过验收正式运行以来,在团簇科学、大气科学、分子 光化学和能源催化等领域取得了一系列重要的科研成果。本报告首先简述大连相干光源功能特性、运行状况和升级情况, 接下来讲述基于高亮度和超短脉冲极紫外光源的实验方法学,举例介绍已经开展的科学研究工作,最后介绍一下装置的未 来发展规划。

上海软线的复合速度成像谱仪及其实验规划

刘小井

上海科技大学,上海

Email: liuxj@shanghaitech.edu.cn

摘要:我们为上海软线自由电子激光设施研制一台复合速度成像谱仪,它可以同时高分辨测量 500eV 动能的电子和 10eV 动能的离子,极大扩展了同类谱仪的的实验测量参数范围。类似谱仪也被提供给北京综合极端条件实验装置。通过展示一系列测量结果,逐步实现在软 X 射线能区实验的实验构想。

报告人简介:刘小井,上海科技大学物质学院常任副教授/研究员。2001 中国科大获博士学位。2004 年末到日本东北大学, 历经博士后和研究助理教授。2010 年到法国 SOLEIL 同步辐射光源任束线科学家。2013 年回国,在上海应物所做研究员, 2015 年在北航工作,2017 年加入上海科大。长期关注基于同步辐射、自由电子激光吸收和超快激光的各种原子分子谱学 研究,包含吸收谱、光电子能谱、离子质谱、三维动量分布及其符合测量。 曾研制位置探测器(中国科大)、冷靶反冲离 子动量谱仪 COLTRIMS(东北大学/SACLA)、高能高分辨符合谱仪 EPICEA(法国 SOLEIL)和复合速度成像谱仪(上 海科大)。在 Nature Photonics, Physical Review Letters, Journal of Physical Review Letters 等杂志发表论文百余 篇。

XFEL 薄膜反射镜辐照损伤研究

李文斌,李淑慧,恽超,汤鸣,胡张麟,潘刘洋,曹锦玉,吴佳莉,张哲,黄秋实,王占山 ¹同济大学 物理科学与工程学院 精密光学工程技术研究所,上海 ²同济大学 先进微结构材料教育部重点实验室,上海

Email: wbli@tongji.edu.cn

摘要:X 射线薄膜反射镜是X 射线自由电子激光(X-ray free electron laser, XFEL)光束线的核心光学元件,反射镜的 抗辐照损伤能力和损伤机制一直以来备受关注。极紫外-X 射线波段 FEL 反射镜常用的光学薄膜包括低 Z 元素或高 Z 元素 构成的单层膜,如 B4C、Ni、Ru、Pt等,低 Z/高 Z 组合的双层膜和 Mo/Si 等多层膜。FEL 薄膜反射镜的抗损伤性能与 薄膜材料种类、制备工艺、膜层结构以及 FEL 波长等因素密切相关。针对常用 FEL 薄膜反射镜抗损伤问题,本课题组搭 建了时空分辨极紫外泵浦-飞秒激光探测辐照损伤测试装置,开展了 B4C、Ru、Mo/Si 薄膜反射镜的辐照损伤实验研究, 基于 AFM、SEM/EDS、TEM 等多种表征方法分析了材料种类、制备工艺和膜层结构对反射镜抗损伤性能的影响;发展 了蒙特·卡洛与有限元、双温模型/分子动力学等模拟方法,分析了薄膜反射镜在超强超短 FEL 辐照下的抗损伤性能和损伤 机理。

关键词: X 射线自由电子激光,薄膜反射镜,损伤机制,分子动力学模拟,蒙特·卡洛模拟

参考文献

[1] 赵振堂, 王东, 殷立新, 顾强, 方国平, 谷鸣, 冷用斌, 周巧根, 刘波, 唐传祥, 黄文会, 刘志, 江怀东, 翁祖谦, 中国激光 46(1), 0100004 (2019).

[2] L. Pan, S. Li, J. Cao, J. Wu, Z. Zhang, K. Wang, Q. Huang, B. Ma, W. Li, Z. Wang, Nano Lett. 22, 5260 (2022).
[3] J. Cao, S. Li, Y. Tong, M. Tang, W. Li, Q. Huang, H. Jiang, Z. Wang, Chin. Opt. Lett. 21, 023401 (2023).

多通腔非线性光学进展及应用展望

刘伟

中山大学, 广州

Email: liuwei95@mail.sysu.edu.cn

摘要:非线性多通腔(MPC)为超快光学领域带来了令人兴奋的机遇,从后压缩超短脉冲产生的重大进展到新颖的频率转换 方案。作为连接自由空间和波导非线性光学的混合概念,MPC 克服了传统非线性光学方法的若干限制。在这里,我将讨 论非线性 MPC 的基本原理,以及本课题组近期在气体多通腔、固体多通腔取得的一些进展,最后我将展望该新颖技术潜 在科学及应用价值。

红外自由电子激光时间/空间分辨谱学技术

薛佳伟、郭伟、鲍骏 中国科学技术大学国家同步辐射实验室,合肥 Email: baoj@ustc.edu.cn

摘要: 红外自由电子激光(IRFEL)以自由电子为增益介质实现长波激光输出,具有高亮度、宽波段、可调谐、超短脉冲 和高相干性等优势。合肥光源"基于可调谐红外激光的能源化学研究大型实验装置(FELiChEM)"是基金委 2014 年立 项启动的国家重大科研仪器设备研制专项,由厦门大学、中国科大、复旦大学、大连化学物理研究所联合承担,2022 年 5 月正式通过基金委验收。该大型实验装置是国内首台覆盖中、远红外波段的自由电子激光用户装置,也是国际上首台面对 能源化学研究的 IRFEL 装置。该装置包含一台具有国际先进水平的 IRFEL 光源和与之配套的痕量物种光检测、光解离和 光激发研究的 5 条实验线站。其中,和频光谱实验站(IRFEL-SFG)与原子力显微红外光谱实验站(AFM-IRFEL)分别 将 IRFEL 与泵浦-探测技术和扫描探针技术相结合,实现了固气到固液界面、单晶表面到实际催化剂体系的表界面高灵敏 度、高空间分辨、高时间分辨研究,为原子分子水平研究能源化学反应过程中活性位结构(纳米尺度)和反应中间体的快 速动态变化(皮秒尺度)提供了新的实验方法。本报告将介绍 FELiChEM 装置 IRFEL-SFG 与 AFM-IRFEL 实验站的建 设调试情况以及相关原位实验方法,并简要介绍目前已开展的部分用户测试成果。



图 1. 时间分辨 IRFEL-SFG 和空间分辨 AFM-IRFEL 谱学技术原理图。

关键词: 红外自由电子激光, 时空分辨, 和频光谱, 原子力显微, 原位技术

参考文献

[1] W. Guo, Q. Song, J. Xue, Z. Huangfu, Y. He, Y. Zhang, X. Liu, J. Bao, Z. Wang, Spectroscopy Lett. 56, 218 (2023).

[2] Q. Yao, H. Li, J. Xue, S. Jiang, Q. Zhang, J. Bao, Angew. Chem. Int. Ed. 62, e202308140 (2023).

[3] J. Xue, M. Fujitsuka, T. Tachikawa, J. Bao, T. Majima, J. Am. Chem. Soc. 146, 8787 (2024).

超快 X 射线相干光源:上海软 X 射线自由电子激光装置

冯超

中国科学院上海高等研究院, 上海

Email: fengc@sari.ac.cn

摘要:上海软 X 射线自由电子激光(SXFEL)用户装置是我国首台 X 射线自由电子激光装置,于 2023 年正式开放运行。 SXFEL 由一台 1.5 GeV 电子直线加速器、波荡器系统和光束线站等组成,最短波长为 2 nm,能够完整覆盖"水窗"波段。 目前,SXFEL 装置上已经开展了一系列先进自由电子激光原理及关键技术实验,包括回声谐波级联型自由电子激光出光放 大、超快自由电子激光脉冲产生及诊断等。本报告将对 SXFEL 装置的基本情况、运行现状、已开展的先进自由电子激光 实验以及计划开展的先进实验进行介绍。

SXFEL 成像实验站与超快结构成像

范家东¹, 佟亚军¹, 江怀东^{1,2} ¹上海科技大学大科学中心, 上海 ²上海科技大学物质科学与技术学院, 上海 Email: fanjd@shanghaitech.edu.cn

摘要:X 射线自由电子激光(X-ray Free Electron Laser-XFEL)具有超高亮度、超短脉冲和全相干的特点[1],是目前最 先进的X 射线光源之一。XFEL 的建设和新型 XFEL 实验技术的发展为超微、超快前沿科学研究带来了前所未有的机遇。 上海软X 射线自由电子激光[2](Shanghai Soft X-ray Free Electron Laser - SXFEL)是我国首个覆盖X 射线波段的自 由电子激光用户装置,首批建设了五个实验站。生物成像实验站主要利用前散射的实验方法,包括相干衍射成像 (Coherent Diffraction Imaging - CDI)、X 射线傅里叶全息(Fourier Transform Holography - FTH)、X 射线散射 等,开展高时空分辨结构研究[3]。其中 CDI 作为一种新兴的无透镜成像方法,突破了传统成像方法对成像透镜的依赖性, 克服了成像分辨率受到 X 射线光学元件的限制。通过使用飞秒激光作为泵浦源,结合 CDI 发展的时间分辨成像方法,已 经被广泛应用在 XFEL 上开展高时空分辨动态结构研究[4]。

在本报告中,介绍了上海软 X 射线自由电子激光用户装置生物成像实验站的基本情况以及可开展的超快成像方法。如 图 1 所示,生物成像实验站主要包括 XFEL 聚焦系统、真空差分系统、多功能样品腔、高分辨探测器系统以及 XFEL 诊断 系统等。目前,该实验站已经实现了单脉冲 CDI 成像,单脉冲 FTH 成像等。单脉冲成像分辨率达到 17.5nm。利用 SXFEL 涵盖"水窗"波段的特点,利用"损伤前衍射"的原理,在损伤前成功实现了活体细胞 XFEL 单脉冲衍射图样的 采集,并重构得到活细胞的纳米结构图像,为研究细胞的动态生命过程提供了潜在方法。此外,面向开展动态成像的需求, 发展了泵浦激光与 XFEL 的高时空耦合方法,实现了泵浦激光与 XFEL 在微米空间和飞秒时间尺度上的时空耦合。结合单 脉冲 CDI 和单脉冲 FTH 以及时间分辨 X 射线散射,为研究材料的超快动力学过程,如熔化、相变等提供了重要实验方法。



图 1. 上海软 X 射线自由电子激光用户装置生物成像实验站

关键词: X 射线自由电子激光; 相干衍射成像; 时空耦合; 时间分辨成像

参考文献

[1]B.W.J. McNeil, N.R. Thompson, Nature Photonics 4 (2010).

[2]B. Liu, C. Feng, D. Gu, F. Gao, H. Deng, M. Zhang, S. Sun, S. Chen, W. Zhang, W. Fang, Applied Sciences 12 (2022) 176.

[3]J.-D. Fan, Y.-J. Tong, Y.-G. Nie, Z.-C. Gao, B. He, H. Luan, D.-H. Lu, J.-H. Zhang, D.-F. Zhang, X.-Y. Yuan, J.-H. Chen, Z. Guo, T. Liu, M. Zhang, C. Feng, H.-X. Deng, B. Liu, Z.-T. Zhao, Z. Liu, H.-D. Jiang, Nuclear Science and Techniques 33 (2022) 114.

[4]C. Jung, Y. Ihm, D.H. Cho, H. Lee, D. Nam, S. Kim, I.-T. Eom, J. Park, C. Kim, Y. Kim, J. Fan, N. Ji, J.R. Morris, S. Owada, K. Tono, J.H. Shim, H. Jiang, M. Yabashi, T. Ishikawa, D.Y. Noh, C. Song, Science Advances 7 (2021) eabj8552.

个人简介: 范家东博士,2015 年毕业于山东大学,现任上海科技大学大科学中心副研究员,上海软 X 射线自由电子激光 用户装置实验站分总体运行负责人。主要利用同步辐射光源和 X 射线自由电子激光开展相干衍射成像方法学和应用研究, 以及相干 X 射线衍射成像装置研制与建设。成功研制我国首个 X 射线自由电子激光实验站-生物成像实验站相干衍射成像 显微镜。负责上海硬 X 射线自由电子激光项目相干衍射实验站的设计与建设。在 PNAS, Science Advances, Physical Review Letters, Nano Today, Analytical Chemistry 等国际知名期刊发表论文 30 余篇。

口头报告

基于聚束继承的阿秒双色 X 射线自由电子激光方案

王晓凡

深圳综合粒子设施研究院, 深圳

Email: wangxf@mail.iasf.ac.cn

Abstract: Attosecond x-ray pulses play a crucial role in the study of ultrafast phenomena occurring within inner and valence electrons. To achieve attosecond time-resolution studies and gain control over electronic wavefunctions, it is crucial to develop techniques capable of generating and synchronizing two-color x-ray pulses at the attosecond scale. In this paper, we present a novel approach for generating attosecond pulse pairs using a dual chirp-taper free-electron laser with bunching inheritance. An electron beam with a sinusoidal energy chirp, introduced by the external seed laser, passes through the main undulator and afterburner, both with tapers. Two-color x-ray pulses are generated from the main undulator and afterburner, respectively, with temporal separations of hundreds of attoseconds to several femtoseconds and energy differences of tens of electron volts. Notably, the afterburner is much shorter than the main undulator due to bunching inheritance, which reduces the distance between two source points and alleviates the beamline focusing requirements of the two-color pulses. A comprehensive stability analysis is conducted in this paper, considering the individual effects of shot noise from self-amplified spontaneous emission and carrierenvelope phase jitter of the few-cycle laser. The results show that the radiation from the afterburner exhibits excellent stability in the proposed scheme, which is beneficial for x-ray pump-probe experiments. The proposed scheme opens up new possibilities for attosecond science enabled by x-ray attosecond pump-probe techniques and coherent control of ultrafast electronic wave packets in quantum systems.

Evolution of Light-induced Transitions in Dielectric-metallic Nanostructures with SwissFEL

Zhibin Sun^{1,2}, Kirsten Schnorr¹, Andre Al Haddad¹, Sven Augustin¹, Ana Sofia Morillo Candas¹, Gregor Knopp¹, Jonas Knurr^{1,3}, Xinhua Xie1, Ningchen Yang^{1,3}, Hankai Zhang^{1,3}, Pilot Collaboration Team, Christoph Bostedt^{1,3} ¹Photon Science Division, Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland ²ShanghaiTech University, Shanghai, China

³ Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Switzerland Email: sunzhb@shanghaitech.edu.cn

Abstract: Ultrafast and intense laser pulses can induce dynamic phase transitions out of thermal equilibrium, such as non-thermal melting [1], bond hardening [2], and the formation of dense electron-hole plasma [3]. When highly intense femtosecond pulses are used to excite semiconductors, a sizeable portion of valence electrons are excited to the conduction band and the interatomic forces are altered. Consequently, the electrons as well as crystal lattice are pushed out of equilibrium. On the nanoscale, it is still difficult to observe phase transitions in situ with femtosecond and nanometer spatiotemporal resolution directly [4]. Furthermore, melting speeds are affected by the deposited energy and morphology of nanoparticles, which can trigger homogeneous or heterogeneous melting. These further complicate our understanding of phase transitions in metallic and dielectric-metallic core-shell nanostructures.

We employed time-resolved single-shot single-particle imaging of free-flying silica-coated gold nanoparticles at the SwissFEL Maloja endstation [5]. The nanoparticles (50 nm diameter core size and 20 nm shell thickness) were pumped with an intense femtosecond laser pulse (800 nm, 35 fs FWHM, focal size of 120 μ m FWHM). The polarization and pulse energy of the pump laser were tuneable during the measurement. A minimally absorbed energy density of 23.3 kJ cm-3 corresponding to 250 μ J pulse energy, was used to elevate the lattice temperature above the melting point of gold. The typical X-ray pulse energy is around 2 mJ, and the X-ray photon energy was set at roughly 1000 eV.





Sequential single-shot single-particle diffraction patterns with femto- to nanosecond delay times yield insight into the ultrafast laser-induced dynamics. The coherent images of the nanoparticles show a consistent pathway depending on the pump lasers pulse energy and polarization. For lower pump energies (250μ J), clear gold diffraction speckles can still be seen after 200 ps. At greater pump energies (1400μ J), the particles are nearly annihilated after 10 ps. For medium pump energies ($500 \text{ and } 750 \mu$ J), a fast structural change occurs at around 10 ps after that the speckle oscillation smear out along with the delay time. Streaking tail speckles were also found from the medium pump energies due to the near-field enhancement. The data also show that during the first few picoseconds, the silica is fully disintegrated. In particular, for the medium and high pulse energies, the silica contributes with significant ionization potential to the electron trapping and melting process. Bare gold nanoparticles without the silica shell melt more quickly than core-shell nanoparticles. Our research suggests an intriguing connection between metallic gold core and dielectric silica shell, which strongly alters the melting regime and mechanism on the nanoscale and ultrafast timescale.

Keywords : Coherent Diffraction Imaging, X-ray Free-Electron Laser, Ultrafast Dynamics

References

[1] C. W. Siders et al., Detection of Nonthermal Melting by Ultrafast X-ray Diffraction. Science 286, 1340 (1999).

[2] R. Ernstorfer et al., The Formation of Warm Dense Matter: Experimental Evidence for Electronic Bond Hardening in Gold. Science 323, 1033 (2009).

[3] L. B. Fletcher et al., Ultrabright X-ray Laser Scattering for Dynamic Warm Dense Matter Physics. Nat. Photonics 9, 274 (2015).

[4] M. Mo, et al., Heterogeneous to Homogeneous Melting Transition Visualized with Ultrafast Electron

Diffraction. Science 360, 1451 (2018).

[5] Z. Sun et al., Ultrafast Single-Particle Imaging with Intense X-Ray Pulses. Chimia 76, 529 (2022).

时间展宽超快分幅成像技术研究

蔡厚智,向利娟*,罗秋燕,杜卓铭,姚方鼎,刘进元* 深圳大学,广东省深圳市深圳大学物理与光电工程学院,深圳 *Email: xianglijuan@szu.edu.cn, ljy@szu.edu.cn

摘要: 在激光惯性约束聚变(inertial confinement fusion, ICF)及 Z-pinch 等实验研究中, 需要对持续时间为 ns 及亚 ns 量级的超快物理过程及物理参数进行研究, 微通道板(microchannel plate, MCP)选通 X 射线分幅相机是重要的诊断工具之一, 它具有二维的空间分辨能力和 60~100 ps 的时间分辨率。随着 ICF 研究的深入, 亟需发展时间分辨率优于 10 ps 的 X 射线分幅相机。

为了提高时间分辨率,引入电子束时间展宽技术,结合原有 MCP 行波选通分幅技术,研制新型的电子束时间展宽分 幅相机。利用电子束时间展宽系统对电子束的时间宽度进行展宽,实现电子束的时间放大,然后使用 MCP 分幅变像管对 展宽后的电子束进行测量,从而提高时间分辨率。电子束时间展宽技术将相机的时间分辨率由 71 ps 提高至 4 ps。对相机 时间分辨率特性、空间分辨特性及快门传输效应进行了研究。此外,电子束时间展宽技术也可应用于 CMOS 和 XRD。

关键词:惯性约束聚变,Z-pinch,超快诊断,分幅相机,电子束时间展宽

参考文献

V. Gopalaswamy, R. Betti, J. P. Knauer, N. Luciani, D. Patel, K. M. Woo, A. Bose, I. V. Igumenshchev, E. M. Campbell, K. S. Anderson, K. A. Bauer, M. J. Bonino, D. Cao, A. R. Christopherson, G. W. Collins, T. J. B. Collins, J. R. Davies, J. A. Delettrez, D. H. Edgell, R. Epstein, C. J. Forrest, D. H. Froula, V. Y. Glebov, V. N. Goncharov, D. R. Harding, S. X. Hu, D. W. Jacobs-Perkins, R. T. Janezic, J. H. Kelly, O. M. Mannion, A. Maximov, F. J. Marshall, D. T. Michel, S. Miller, S. F. B. Morse, J. Palastro, J. Peebles, P. B. Radha, S. P. Regan, S. Sampat, T. C. Sangster, A. B. Sefkow, W. Seka, R. C. Shah, W. T. Shmyada, A. Shvydky, C. Stoeckl, A. A. Solodov, W. Theobald, J. D. Zuegel, M. Gatu Johnson, R. D. Petrasso, C. K. Li, J. A. Frenje. Tripled yield in direct-drive laser fusion through statistical modelling. Nature, 2019, 565: 581~586.

[2] A. R. Christopherson, R. Betti, C. J. Forrest, J. Howard, W. Theobald, E. M. Campbell, J. Delettrez, M. J. Rosenberg, A. A. Solodov, C. Stoeckl, D. Patel, V. Gopalaswamy, D. Cao, J. Peebles, D. Edgell, W. Seka, R. Epstein, W. Scullin, P. B. Radha, M. S. Wei, S. P. Regan, M. Gatu Johnson, R. Simpson. Inferences of hot electron preheat and its spatial distribution in OMEGA direct drive implosions. Phys. Plasmas, 2022, 29 (12): 122703.

[3] T. J. Hilsabeck, J. D. Hares, J. D. Kilkenny, P. M. Bell, A. K. L. Dymoke-Bradshaw, J. A. Koch, P. M. Celliers, D. K. Bradley, T. McCarville, M. Pivovaroff, R. Soufli, R. Bionta. Pulse-dilation enhanced gated optical imager with 5 ps resolution. Rev. Sci. Instrum., 2010, 81(10): 10E317.

[4] Q. Wang, Z. Cao, T. Chen, K. Deng, B. Deng. Theoretical study on temporal and spatial performance of magnetic solenoid used in dilation x-ray imager. Rev. Sci. Instrum., 2020, 91 (7): 073302.

[5] H. Cai, X. Zhao, J. Liu, et al. Dilation framing camera with 4 ps resolution. APL photonics, 2016, 1 (1): 016101.

[6] H. Cai, K. Lin, Q. Luo, D. Wang, J. Huang, K. Xu, L. Luo, J. Liu. Two-dimensional ultrafast x-ray imager for inertial confinement fusion diagnosis. Photonics, 2022, 9 (5):287.

[7] H. Cai, W. Fu, D. Wang, Y. Lei, J. Liu. Synchronous gating in dilation x-ray detector without 1:1 image ratio. Optics Express, 2019, 27 (9): 12470~12482.

[8] S. R. Nagel, A. C. Carpenter, J. Park, M. S. Dayton, P. M. Bell, D. K. Bradley, B. T. Funsten, B. W. Hatch, S. Heerey, J. M. Hill, J. P. Holder, E. R. Hurd, C. C. Macaraeg, P. B. Patel, R. B. Petre, K. Piston, C. A. Trosseille, K. Engelhorn, T. J. Hilsabeck, T. M. Chung, A. K. L. Dymoke-Bradshaw, J. D. Hares, L. D. Claus, T. D. England, B. B. Mitchell, J. L. Porter, G. Robertson, M. O. Sanchez. The dilation aided single-line-of-sight x-ray camera for the National Ignition Facility: characterization and fielding. Rev. Sci. Instrum., 2018, 89 (10): 10G125.

[9] C. Trosseille, S. R. Nagel, T. J. Hilsabeck. Electron pulse-dilation diagnostic instruments. Rev. Sci. Instrum., 2023, 94 (2): 021102.

[10] H. G. Kleinrath,Y. Kim, K. D. Meaney, H. W. Herrmann, N. M. Hoffman, A. Kritcher, J. A. Carrera, S. Gales. Commissioning the new pulse dilation Gas Cherenkov Detector at the National Ignition Facility. High Energy Density Physics, 2020, 37: 100862.

[11] G. N. Hall, C. R. Weber, V. A. Smalyuk, O. L. Landen, C. Trosseille, A. Pak, E. Hartouni, E. Marley, T. Ebert, D. K. Bradley, W. Hsing, R. Tommasini, N. Izumi, S. Le Pape, L. Divol, C. M. Krauland, N. Thompson, E. R. Casco, M. J. Ayers, S. R. Nagel, A. C. Carpenter, E. R. Hurd, M. S. Dayton, K. Engelhorn, J. P. Holder. Measurement of mix at the fuel-ablator interface in indirectly driven capsule implosions on the National Ignition Facility. Phys. Plasmas, 2024, 31 (2): 022702.

先进超快电子显微镜技术开发及应用

纪少政, 付学文*

南开大学物理科学学院超快电子显微镜实验室, 天津

* E-mail: xwfu@nankai.edu.cn

摘要:电子显微镜以其原子级的空间分辨能力成为显微尺度材料物理化学性质研究的重要手段。近年来,4D 超快电子显 微镜的发展进一步将电子显微镜的时间分辨率推进到飞秒甚至阿秒范围[1,2],使非平衡态下物质的形貌变化、结构相变、 载流子传输、磁结构演变等超快动力学过程的高时空观测成为可能。4D 超快电子显微镜逐渐成为物理、化学、材料和生 物等多学科研究领域重要的动力学研究手段之一,也成为了继球差校正电镜和冷冻电镜技术之后电子显微学领域又一重要 的前沿发展方向。本报告将首先简要介绍 4D 超快电子显微镜技术的研究现状。随后,将重点介绍近年来我们在新型原位 4D 超快电子显微镜技术开发及其在非平衡态动力学应用方面取得的一些进展,重点包括:1)针对复杂液体环境中高时空 分辨动力学测量的难题,发展了液相 4D 超快电子显微镜技术,在纳秒与纳米时空尺度揭示了溶液中纳米金颗粒在飞秒激 光作用下的超快动力学行为,首次从实时图像上揭示了布朗运动在超快时间尺度的弹道动力学特性;2)针对微观纳米磁结 构动力学测量的难题,发展了超快洛伦兹电子显微镜,实现了对拓扑磁结构的飞秒激光原位超快调控及动力学过程的可视 化;3)针对半导体中光生载流子动力学高时空分辨测量的难题,开发了超快扫描电子显微镜与超快阴极荧光多模态载流子 动力学探测系统,实现了对半导体载流子动力学在时间、空间和能量维度的跨尺度成像测量,并实现了对表面载流子动力 学与体相载流动力学的解析。

关键词: 超快电子显微镜, 非平衡态动力学, 载流子动力学

参考文献

[1] A.H. Zewail, Four-Dimensional Electron Microscopy, Science, 328 (2010) 187-193.

[2] D. Nabben, J. Kuttruff, L. Stolz, A. Ryabov, P. Baum, Attosecond electron microscopy of sub-cycle optical dynamics, Nature, 619 (2023) 63.

专题五: 超快光谱与成像

邀请报告

超分辨荧光成像中的荧光染料闪烁调控

徐兆超 中国科学院大连化学物理研究所,大连

E-mail: zcxu@dicp.ac.cn

摘要:超分辨荧光成像突破衍射极限,在纳米尺度至单分子水平可视化生物分子,以前所未有的时空分辨率研究活细胞结构和动态过程,已成为生命科学研究的有力工具。然而,如何获得更高空间分辨率(低至 0.1 nm),如何在保障空间分辨率前提下获得更高时间分辨率(低至微秒),最终实现细胞内生物分子全景时空超分辨成像,依然面临巨大挑战。荧光染料是超分辨荧光成像的关键,荧光染料通过结构的改造获得性能的巨大提高,可望解决以上问题。报告从荧光染料的发光原理和分子结构关系讨论开始,介绍我们近期在荧光染料的闪烁调控提高时空分辨率和在亚细胞器动态超分辨成像中的进展。

关键词: 超分辨荧光成像,时空分辨,闪烁

参考文献

[1] L Miao, C Yan, Y Chen, W Zhou, X Zhou, Q Qiao, Z Xu*, SIM Imaging Resolves Endocytosis of SARS-CoV-2
 Spike RBD in Living Cells, Cell Chem. Biol., 2023, 30, 248-260.

[2] Q Qiao, W Liu, Y Zhang, J Chen, G Wang, Y Tao, L Miao, W Jiang, K An, Z Xu*, In Situ Real-time Nanoscale Resolution of Structural Evolution and Dynamics of Fluorescent Self-assemblies by Super-Resolution Imaging, Angew. Chem. Int. Ed., 2022, 61, e202208678.

[3] Q Qiao, W Liu, J Chen, X Wu, F Deng, X Fang, N Xu, W Zhou, S Wu, W Yin, X Liu, Z Xu*, An Acid-regulated Self-blinking Fluorescent Probe for Resolving Whole-cell Lysosomes with Long-term Nanoscopy, Angew. Chem. Int. Ed., 2022, 61, e202202961.

[4] J Chen, C Wang, W Liu, Q Qiao, H Qi, W Zhou, N Xu, J Li, H Piao, D Tan, X Liu, Z Xu^{*}, Stable superresolution imaging of lipid droplet dynamics through a buffer strategy with a hydrogen-bond sensitive fluorogenic probe, Angew. Chem. Int. Ed., 2021, 60, 25104-25113.

[5] X Liu#*, Q Qiao#, W Tian, W Liu, J Chen, M J Lang, Z Xu*, Aziridinyl Fluorophores Demonstrate Bright Fluorescence and Superior Photostability by Effectively Inhibiting Twisted Intramolecular Charge Transfer, J. Am. Chem. Soc., 2016, 138, 6960-6963.

个人简介:徐兆超,博士,研究员,博士生导师。主要研究方向:从事荧光染料分子科学和产品工程,及其在细胞器网络 为典型代表的过程动态超分辨成像中的应用研究,包括荧光团发光构效关系、荧光探针、生物大分子标记与识别、超分辨 The 4th Young Scholars Forum on Ultrafast Science

荧光成像等方向。发表论文 150 余篇,被引用 14000 多次, h 指数 53。获得国家基金委杰出青年基金、国家万人计划领 军人才、创新人才推进计划中青年科技创新领军人才、基金委优秀青年基金、中科院百人计划等项目资助。学术兼职包括: Coord. Chem. Rev. 编委, Chin. Chem. Lett. 副主编,华东理工大学学报青年编委,中国分析测试协会青年学术委员会 委员,中科院青年联合会第四届委员,辽宁省细胞生物学学会肿瘤细胞与分子生物学分会常务理事。

基于有机共轭分子的细胞成像研究

吕凤婷

中国科学院化学研究所,北京

Email: lvft@iccas.ac.cn

摘要:有机共轭分子具有许多独特的优点,如高的荧光亮度、良好的光稳定性、低的细胞毒性、大的摩尔消光系数以及简易的化学修饰和纯化步骤,因此在化学、材料及生物交叉领域得到了快速的发展和广泛的应用。我们利用有机共轭分子修饰紫杉醇分子 OPV-PTX,通过细胞内选择性原位自组装技术提高了紫杉醇疗效,实现肿瘤细胞的选择性识别及抑制肿瘤 细胞内药物外排克服了耐药性,并降低对正常细胞的毒副作用,为肿瘤的高效治疗提供了新思路。设计构建了细胞微环境 响应的人工酶,利用细胞内活性氧水平调控人工酶的原位组装并激活催化活性,通过荧光成像可区分正常细胞和癌细胞。 设计合成了主链两端修饰五氟苯酚活性酯的水溶性共轭寡聚物 OPV-pfp,OPV-pfp 在生理条件下对氨基具有较强的反应 活性,可与含氨基的生物大分子反应,并且在反应过程中,伴随着活性酯离去的同时发生显著的光谱变化。此外,OPV-pfp 可迅速被细胞内吞,利用 OPV-pfp 优异的光学性质及其反应活性,以及细胞内组分的结构和组成的不同,通过监测 OPV-pfp 的荧光,实现了对细胞内部组分的区分成像。发展了活细胞表面原位聚合反应新、略与细胞内催化脱硝基反应新体系。提出了活细胞表面聚合新策略,利用大肠杆菌及蛋白核小球藻表面原位形成的生物钯催化剂介导的细胞表面 Sonogashira 聚合反应,实现了细胞表面光功能共轭聚合物聚对苯撑乙炔原位合成、监测以及对细胞功能的调控。

关键词: 有机共轭分子, 原位自组装, 成像

参考文献

[1] C. Nie, S. Li, B. Wang, L. Liu, R. Hu, H. Chen, F. Lv, Z.i Dai, S. Wang, Adv. Mater. 28, 3749 (2016).

[2] L. Zhou, F. Lv, L. Liu, S. Wang, CCS Chem., 1, 97 (2019).

[3] L. Zhou, F. Lv, L. Liu, S. Wang, Acc. Chem. Res. 52, 3211 (2019).

[4] R. Qi, H. Zhao, X. Zhou, J. Liu, N. Dai, Y. Zeng, E. Zhang, F. Lv, Y. Huang, L. Liu, Y. Wang, S. Wang, Angew. Chem. Int. Ed. 60, 5759 (2021).

[5] Y. Di, E. Zhang, Z. Yang, Q. Shen, X. Fu, G. Song, C. Zhu, H. Bai, Y. Huang, F. Lv, L. Liu, S. Wang, Angew. Chem. Int. Ed. 61, e202116457 (2022).

报告人简介: 吕凤婷,中国科学院化学研究所研究员。致力于基于共轭聚合物的超分子组装材料构建及生物功能调控研究, 以发展重大疾病诊断新技术及治疗新策略为目的,发展了诊断新体系以及为疾病治疗特别是克服耐药性提供了新思路。迄 今,共发表 SCI 收录论文 88 篇,其中以第一作者、通讯或共同通讯作者在 Angew. Chem. Int. Ed.、Adv. Mater.、CCS Chemistry 等学术期刊上发表论文 30 余篇。获 2020 年度国家自然科学基金委优秀青年项目资助,2016 年入选"中科院 青年创新促进会",获 2014 年北京市科学技术一等奖 (排名第四)。

-63-

Unraveling coherent dynamics of matter by two-dimensional electronic spectroscopy

段红光

宁波大学物理科学与技术学院,宁波 Email: duanhongguang@nbu.edu.cn

摘要: 自然界的光合作用几乎为地球提供了所有的能量来源。该工作利用二维相干光谱研究了 PSII 反应中心的超快电荷转移过程。通过较低的测量温度(20K),实验解析了电荷转移过程中的电子相干以及振动相干随时间的演化过程。并且,通过理论建立的激子耦合模型,该工作解析了色素基团之间的耦合导致的电子相干时长以及它的退相干机制。该工作发现,radical pair 之间的强电子耦合可导致明显的电子相干现象。同时,这类电子相干能够有效的抵御环境耗散导致的退相干效应,可以在室温下持续 100 飞秒(几乎完整的一个周期)。该工作的发现对于认清量子效应(电子相干、振动相干等)对超快能量传输过程提供了新的见解,可为发展高效的人工光合作用系统提供了宝贵的指导意见。

报告人简介:段红光,2018 年德国汉堡大学物理学博士毕业(毕业等级为 Summa Cum Lauder,毕业生比例 3%)。随 后,在汉堡大学物理学院、马克斯普朗克研究所以及欧洲自由电子激光中心(EuXFEL)等国际知名研究机构工作。现担 任宁波大学物理科学与技术学院教授,光学学科带头人,获得国家级海外优秀青年人才计划以及浙江省创新青年人才计划 的资助。到目前为止已经获得了多项研究成果,其中包括:(1)利用二维相干光谱,研究光合作用中超快能量传输过程。 (2)提出了将关键振动模式归一化入热库,利用系统加热库模型,解决了势能面交叉难以模拟的难题。(3)结合超快光 谱实验技术与量子化学计算,诠释了光伏材料中激子与载流子的超快动力学过程。申请人在超快领域一共发表学术论文 30 多篇,其中,一区论文 12篇(一作或者通讯),包括 Science Advances (3篇)、PNAS (2篇)、JACS 等。在中国物理 年会、化学年会、全国超快光谱研讨会(中国上海)、Gordon Conference(意大利卢卡)、Femto15(德国柏林)、 ICBP2023(韩国首尔)以及 ICPEAC2023(加拿大多伦多、渥太华)等多个国际会议上做邀请报告超过 30场,参与组织 举办国际学术会议,担任会议主持人。在超快领域的工作获得了包括美国、加拿大以及英国皇家科学院院士的高度评价。 由于在超快光谱研究光合作用中能量传输领域的特殊贡献,在 2023 年 7 月获得国际纯粹与应用物理联合会(IUPAP)颁 发的青年科学家奖。

基于超快探测器的激光三维成像技术研究

王兴

中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安

Email: wangxing@opt.ac.cn

摘要:将高能量短脉冲激光器与高时间分辨探测器结合构成的激光雷达三维成像系统可实现对目标的高分辨三维成像,在 远距离目标识别、地形地貌测绘、海洋资源勘探等领域具有重要的应用价值。本报告将介绍采用条纹管探测器和盖格模式 单光子探测器两种超快器件的激光雷达成像体制及实验结果。针对大视场应用需求,设计并研制了长狭缝条纹管探测器, 采用双曲面设计结构有效降低了条纹管边缘像差畸变,实现了狭缝长度 35 mm,时间分辨率 60 ps,动态空间分辨率 12 lp/mm,探测灵敏度 46 mA/W@500 nm。针对远距离成像需求,设计并研制了单光子阵列探测器件,阵列规模 64×64, 峰值探测效率 23%,时间抖动低于 500ps。

在此基础上,搭建了条纹管激光雷达系统和单光子激光雷达系统,开展了大气和水下三维成像实验。采用单光子激光 雷达系统开展了远距离三维成像实验,在大气中作用距离大于 20km,成像分辨率优于 40cm,距离分辨率小于 10cm。 采用条纹管激光雷达开展了水下成像实验,清水环境下成像距离大于 20 m,成像分辨率优于 9 mm,距离分辨率优于 1 cm。报告还将介绍利用压缩感知技术实现高速运动目标成像的最新成果。

关键词:激光雷达,条纹管,单光子

参考文献

 Mengyan Fang, Yanhua Xue, Chao Ji, Bingqing Yang, Guoquan Xu, Fubin Chen, Guangying Li, Wenjie Han, Ke Xu, Guanghua Cheng, Shaohui Li, Junfeng Wang, Baiyu Liu, Wei Zhao, Jinshou Tian, and Xing Wang, Development of a large-field streak tube for underwater imaging lidar, Applied Optics, 61(25), 7401-7408 (2022).
 Mengyan Fang, Kai Qiao, Fei Yin, Yanhua Xue, Yu Chang, Chang Su, Jinshou Tian, and Xing Wang, Streak tube imaging lidar with kilohertz laser pulses and few-photons detection capability, Optics Express, 32(11), 19042-19056 (2023).

[3] Kai Qiao, Yu Chang, Zefang Xu, Fei Yin, Liyu Liu, Jieying Wang, Chang Su, Linmeng Xu, Mengyan Fang, Chunliang Liu , Jinshou Tian, and Xing Wang, Analysis of InGaAs/InP Single Photon Avalanche Diodes With Multiplication Width in Sub-Micron, IEEE Journal of Quantum Electronics, 60(4), 4500107 (2024).

-65-

Ultrafast spectroscopy and dynamics: from gas to liquid

Pengju Zhang^{1,2}, Hao Liang³, Mario Taddei⁴, Francesco Segatta⁴,

Marco Garavelli⁴, Hans Jakob Wörner²

¹Beijing National Laboratory for Condensed Matter Physics and Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing,

China.

²Laboratory for Physical Chemistry, ETH Zürich, Vladimir-Prelog-Weg 2, 8093 Zürich, Switzerland.

³Max Planck Institute for Physics of Complex Systems, Nöthnitzer Straße 38, Germany

⁴Department of Industrial Chemistry "Toso Montanari", University of Bologna,

Viale del Risorgimento 4, Bologna, Italy

Email: pengju.zhang@iphy.ac.cn

Abstract: The development of ultrafast extreme ultraviolet (XUV) coherent light sources provides access to studying both the electronic and structural dynamics of atoms, molecules, liquids, solutions and solids. The realization of these studies necessities a so-called time-resolved methodology. By the combination of high harmonic generation, XUV-monochromater, liquid micro-jet and a magnetic bottle photoelectron spectrometer, we have successfully established an experimental framework, i.e. XUV time-resolved photoelectron spectroscopy, allowing us to investigate electron-electron correlation in atoms and molecules, nuclear wavepacket dynamics in molecules and solutions, and non-adiabatic dynamics in molecules and solutions. In this talk, I will first introduce and demonstrate a comprehensive approach to a direct measurement and complete characterization of structured electronic wavepacket created within the prototype Fano resonance of He(2s3p) [1]. This measurement is achieved by utilizing XUV-TRPES with unprecedented-high energy resolution. Both the amplitude and the phase of the EWPs are extracted by a FROG-type reconstruction logarithm based on a windowed-Fourier transformation. We anticipate that ultra-high spectral resolution photoelectron spectroscopy reported here will provide benchmark data for studying ultrafast electronic-dominated processes in complex systems, as well as coherent control of the resonance evolving on its intrinsic time scale.

Additionally, I will present the application of high resolution XUV-TRPES in studying the photoprotection mechanism of thymidine in solution. Our experimental measurement tracks the excited-state wavepacket dynamics from excitation along the complete reaction path to the final products. Our state-of-the-art theoretical dynamics simulations verify that the wavepacket relaxes along the potential energy surface of the optical bright $\pi\pi^*$ state, manifesting as a sequential decay pathway. Interestingly, the optical dark $n\pi^*$ state was transiently populated, which contrasts with the long-lived state reported in previous studies [2,3]. Our work demonstrates the considerable potential of XUV-TRPES in connecting liquid-phase wavepacket

dynamics with those of isolated gas-phase molecules, and thus opens a new pathway to deeply understand the solvation effect on the ultrafast relaxation dynamic.

Key words: time-resolved photoelectron spectroscopy, excited-state dynamics, electron-electron correlation

References

[1] Schulz, K., Kaindl, G., Domke, M., Bozek, J.D., Heimann, P.A., Schlachter, A.S., Rost, J.M.

Phys. Rev. Lett. 77(15), 3086-3089 (1996).

[2] Blake A. Erickson, Zachary N. Heim, Elisa Pieri, Erica Liu, Todd J. Martinez, and Daniel M. Neumark J. Phys. Chem. A, 123, 50, 10676–10684 (2019)

[3] C. Ma, C. Cheng, C. Chan, R. Chan and W. Kwok. Phys. Chem. Chem. Phys. 17, 19045–19057 (2015)

新型共轭分子荧光探针的成像及诊疗研究

李玲, 包本开, 张欣怡, 任雨欣, 唐艳丽

陕西师范大学,西安

Email: yltang@snnu.edu.cn

摘要:共轭聚合物具有长程π电子共轭体系,因而具强的吸光性能及高的荧光量子产率,并且在光照下可产生大量活性氧物质,近年来,共轭聚合物在生物传感、细胞成像、光动力学疗法等方面的研究受到了人们的普遍关注。本课题组近年来设计合成了系列功能化共轭聚合物荧光探针,利用探针优异的荧光发光特性,建立了多种高选择性、高灵敏、超快速响应的疾病标志物成像、传感新方法。并且,为了解决激发光组织穿透深度有限、生物组织背景荧光干扰等问题,本课题组首次设计合成了自发光型共轭聚合物探针,通过分子内的化学发光共振能量转移机制(CRET),实现了高灵敏的深层组织化学发光炎症成像及肿瘤成像,并进一步实现了无需激发光的高效光动力抗肿瘤治疗。在此基础上,为了避免由于 CRET 机制导致的能量损失,提高化学发光效率,我们通过电子给体工程策略设计了系列单分子化学发光探针,合成得到了具有近 红外 I 区发光特性的单分子探针 TTBL 和具有超高荧光量子产率的化学发光探针 FTBL,并制备成具有良好生物相容性的纳米粒子,实现了腹膜炎、结肠炎等炎症小鼠模型的高灵敏化学发光成像。进一步地,利用探针优异的光疗特性,通过信号通路的调控、肿瘤微环境的调控等策略,建立了多种疾病治疗的新方法。我们的研究为生物成像及诊疗新方法的建立提供了新材料、新思路。



图 1. 化学发光共轭聚合物纳米粒子的合成及其在炎症成像、肿瘤治疗方面的应用示意图。

- 68 -

关键词: 共轭聚合物, 自发光探针, 化学发光成像, 诊疗一体化

参考文献

- [1] L. Li, X. Zhang, Y. Ren, Q. Yuan, Y. Wang, B. Bao, M. Li, Y. Tang, J. Am. Chem. Soc., 146, 5927 (2024).
- [2] B. Bao, Q. Yuan, Q. Feng, L. Li, M. Li, Y. Tang, CCS Chem., 6, 693 (2024).
- [3] Q. Yuan, J. Yin, L. Li, B. Bao, X. Zhang, M. Li, Y. Tang, Adv. Sci, 11, 2304048 (2024).
- [4] Y. Wang, Q. Yuan, M. Li, Y. Tang, Adv. Funct. Mater., 33, 2213440 (2023).
- [5] M. Yang, H. Zhao, Z. Zhang, Q. Yuan, Q. Feng, X. Duan, S. Wang, Y. Tang, Chem. Sci. 12, 11515 (2021).

报告人简介: 唐丽艳, 2007 年 7 月于中国科学院化学研究所获理学博士学位; 2007 年 9 月至 2010 年 9 月在美国新墨西 哥大学从事博士后研究。2010 年 10 月作为引进人才加入到陕西师范大学工作。目前研究方向为功能化共轭聚合物的设计 合成及其在生物传感、生物成像及生物医药方面的应用研究。先后获得国家自然科学基金包括"优秀青年科学基金"资助 项目 5 项, 作为团队带头人获批陕西省重点科技创新团队项目 1 项及陕西高校青年创新团队项目 1 项, 主持省部级等项目 5 项。截至目前, 在"J. Am. Chem. Soc."、"Adv. Sci."、"CCS Chem."、"Adv. Funct. Mater."、"Chem. Sci."、 "Anal. Chem."、"Small"等 SCI 源刊上发表论文 80 篇; 授权中国发明专利 8 项; 2022 年获得陕西高等学校科学技术 奖一等奖, 2015 年入选陕西省中青年科技创新领军人才, 受邀担任陕西省首届基础教育教学指导委员会委员、美国化学会 出版社 ACS Applied Materials & Interfaces 期刊编委。

单次多幅超快光学成像:更高维度和成像质量

齐大龙*,张诗按

华东师范大学精密光谱科学与技术国家重点实验室,上海

*Email: dlqi@lps.ecnu.edu.cn

摘要:对超快动态事件进行成像观测,特别是不可逆或不可难以重复场景的捕捉,对自然学科前沿研究及应用探索具有重 要推动作用。开发通过单次曝光即可获取超快动态场景丰富信息的单次多幅超快成像技术长期以来一直是光学成像领域重 要研究内容,是诸多重要研究和应用领域的共性需求。本报告主要针对单次超快光学成像单次成像帧数少、时空分辨率相 互制约和成像维度低等技术瓶颈,介绍以下主要研究进展:1)基于压缩感知原理和信息复用技术分别发展了时空频分辨的 四维和五维成像技术,并成功应用于超快光场动力学的多维信息获取;2)结合多通道采样和自适应优化发展了应用于压缩 超快成像的高保真多通道多尺度图像重构算法,有效提高了图像重构质量;3)基于超快光场调控和快照式滤波成像,分别 发展了时间-光谱映射和时间-偏振映射超快成像技术,实现了飞秒激光烧蚀靶材动力学的实时观测和物理机制分析。相关 研究工作的开展有望为单次超快光学成像技术在超快动力学探测领域的应用起到重要推动作用。

关键词: 超快光学成像, 压缩超快成像, 多维成像, 图像重构, 超快动力学

-70 -

口头报告

超高灵敏瞬态吸收在分子互作上的应用

王璞

北京航空航天大学,北京

Email: 10318@buaa.edu.cn

摘要:蛋白分子互作检测是研究蛋白质与其它分子之间相互作用的一系列技术和方法。这些方法能够揭示适体分子如何结 合并影响蛋白质。微尺度热泳是一种基于热泳现象的溶液中分子亲和性定量检测方法,通常所需样本量小,检测通量大, 速度快,且样品处理步骤简单,但依赖于荧光标记[1]或蛋白自发荧光[2]来检测温度梯度下的浓度变化。

瞬态吸收是一种非线性光学技术,其信号与物质浓度成正比的特性使其具备浓度定量分析的能力。由于蛋白质对紫外 波长光的强吸收,当泵浦光为深紫外光时,瞬态吸收显微镜可以在不依赖荧光标记或蛋白自发荧光的情况下实现对蛋白质 浓度的高灵敏检测。

基于上述原理,我们提出了一种创新的方法,使用瞬态吸收信号替代荧光信号来监测热泳现象,发展一种不依赖蛋白 或分子自发荧光的无标记微尺度热泳法。该研究的应用前景广泛,特别是在药物研发和分子诊断领域,能够实现对生物分 子间相互作用的无标记、高通量测量和分析。这将有助于揭示复杂生物过程中的关键机制,并推动相关领域的发展。

关键词:瞬态吸收,蛋白分子互作,无标记检测

参考文献

[1] C. Wienken, P. Baaske, U. Rothbauer, D. Braun, S. Duhr, Nature Communications. 1, 100(2010).

[2] S. Seidel, C. Wienken, S. Geissler, M. Jerabek-Willemsen, S. Duhr, A. Reiter, D. Trauner, D. Braun, P. Baaske, Angewandte Chemie International Edition. 51, 10656(2012).

报告人简介:王璞,博士,现任北京航空航天大学生物与医学工程学院特聘教授、生物医学高精尖中心研究员,博士生导师。王璞本科毕业于复旦大学物理系,2009-2014 年博士就读于普渡大学生物医学工程学院,师从于非线性成像专家程继新教授。博士期间主要工作是生物光子学医疗器械的开发以及非线性显微镜的开发与应用。已发表 SCI 论文 20 余篇,专利 5 项。王璞以第一或通讯作者在 Nature Photonics, Science Advances, Light: Science & Applications, Nano letters 等领域内一流期刊均有发表。王璞曾主持开展多项美国小企业创新奖励基金(SBIR/STTR award),并代领团队完成多项科研转化工作。其中包括相干拉曼显微镜的产业化,光声成像在乳腺以及心血管的器械转化等等。目前王璞教授主要研究工作为非线性拉曼显微镜的开发以及在先进材料、单细胞代谢的表征方案,以及光致超声器件在生物医学中的应用。

莫尔超晶格中莫特绝缘体相的动态成像研究

邓时滨

南开大学物理科学学院,超快电子显微镜实验室,天津

Email: sbdeng@nankai.edu.cn

摘要:近期研究表明,由过渡金属硫族化合物(TMDC)所构筑的莫尔超晶格可以作为研究量子多体现象的良好平台。人们 期待莫尔超晶格能够被用于探索量子模拟,这是对经典量子模拟体系,如光学晶格中捕获的超冷气体体系的有益补充(1-2)。然而,当前已发表的工作主要围绕莫尔超晶格中激子-电子的稳态进行,对其相干性和动力学的研究还非常缺乏。为 了填补这一空白,我们采用了瞬态荧光成像和瞬态反射成像方法对非平衡激子的相变过程进行研究。实验结果和理论模拟 表明,莫尔激子之间的强长程偶极排斥使莫特绝缘体相的运动冻结了 70 纳秒,这一点与经典体系十分不同。而在电子-激 子混合晶格中,偶极相互作用减弱,动力学冻结则明显减少。这些发现挑战了普遍的观念,即排斥力会分散粒子,而吸引 力会将它们束缚起来。由于强烈的排斥力相互作用而观察到的冻结动力学现象是具有高度相干性的系统的特征,这一特征 此前仅在超冷气体中被观测到(3)。



图 1. (a) 莫尔超晶格中的层间激子与莫尔势垒的示意图; (b) 使用超快光学方法对莫尔超晶格中的激子进行成像。

关键词:莫尔超晶格,动力学,莫特相变

参考文献

 Kennes, D. M., Claassen, M., Xian, L., Georges, A., Millis, A. J., Hone, J., Dean, C. R., Basov, D. N., Pasupathy, A. N. & Rubio, A. Nature Physics 17, 155-163, (2021).

[2] Bloch, I., Dalibard, J. & Nascimbène, S. Nature Physics 8, 267-276, (2012).

- [3] Winkler, K., Thalhammer, G., Lang, F., Grimm, R., Hecker Denschlag, J., Daley, A. J., Kantian, A., Büchler,
- H. P. & Zoller, P. Nature 441, 853-856, (2006).
过渡金属硫化物中高能载流子的瞬态超扩散

周沄科,黎潇泽,周茜妮,邢仁豪,张妍, 白本锋,方红华,孙洪波 清华大学精密仪器系,北京 Email: zyk20@mails.tsinghua.edu.cn

摘要:由于强库仑相互作用和量子限域效应,二维过渡金属硫化物具有稳定的激子布居。为了实现激子电路、开关和晶体 管等激子器件应用,了解过渡金属硫化物的光学性质至关重要。此外,二维空间中的强量子限域引入了奇异的特性,例如 增强的声子瓶颈效应、激子的多体相互作用以及超快非平衡激子-激子湮灭。激子扩散是主要的能量耗散过程,也是激子器 件中的主力。在这项工作中,我们使用自主搭建的飞秒泵浦探测显微镜研究了 WSe2、MoWSe2 和 MoSe2 单层半导体中 的时间分辨激子传输过程。在初始延迟时间内(< 1 ps),我们观察到超快激子膨胀行为,其等效扩散常数高达 502 cm2 s-1,随后在单层 WSe2 中出现缓慢的线性扩散状态 (20.9 cm2 s-1)。上述快速膨胀行为归因于高能载流子主导的超扩散 行为。我们发现,在单层 MoWSe2 和 MoSe2 中,高能载流子引起的激子膨胀更加高效,扩散常数分别高达 668 和 2295 cm2 s-1。然而,MoWSe2 和 MoSe2 中的"冷"激子传输受到缺陷捕获,导致后期出现负扩散行为。我们的发现有助于 更好地理解强量子限域体系中的超快非线性扩散行为。它可以用来打破传统的激子缓慢扩散的限制,以推进更高效和超快 的光电器件。



图 1. 热载流子膨胀示意图。



图 2. 二维瞬态吸收成像。(A) 单层 WSe2,(B) 单层 MoWSe2,(C) 单层 MoSe2。泵浦光和探测光之间的时间延迟为 0.2 – 40 ps。泵浦光的激发能量密度为 1.7 × 1013 cm-2。颜色图代表探测光的透射光差分信号ΔT,所有的图均归一化至 1.5 ps 的最大值。为了突出激子扩散过程,每幅图都按标注的比例进行了缩放。图中标尺:1 um。

关键词:过渡金属硫化物,激子扩散,热载流子,瞬态吸收显微镜,超快时空分辨测量

参考文献

[1] Yun-Ke Zhou, Xiao-Ze Li, Qian-Ni Zhou, Ren-Hao Xing, Yan Zhang, Benfeng Bai, Hong-Hua Fang, Hong-Bo Sun. Ultrafast Sci. 2022;2022:0002.

超快光谱在光学诊疗领域中的应用研究

胡文博

西北工业大学柔性电子前沿科学中心(柔性电子研究院),西安

Email: iamwbhu@nwpu.edu.cn

摘要:超快光谱技术是研究物质激发态动力学行为的重要手段,目前在化学、物理、材料科学和生物学等领域都有广泛的 应用。光学诊疗是一种基于"光诱导激发态能量转化效应"的新型诊疗模式,具有非侵入、空间分辨率高、副作用小等独 特优势,在应对人类健康与重大疾病诊疗中彰显出不可替代的作用。高性能光诊疗剂是推动该技术临床转化的关键。激发 态动力学行为从根源上决定了光诊疗材料的功能和性能。因此,深入探索光功能材料激发态动力学行为操控的新方法,并 基于此开发高性能生物医学光功能材料,在基础研究和攻克重大疾病难题两方面都具有重要意义。然而,目前学界对光诊 疗材料激发态动力学行为研究处于起步阶段,难以实现对光诊疗材料激发态动力学行为的有效操控,严重阻碍了高性能医 学光功能材料的发展。我们围绕医学光功能材料激发态释能机制及构效关系等关键科学问题,沿着"分子结构-激发态动力 学行为-光学性能"这一研究主线开展了系统研究,提出并证明了"通过激发态动力学行为研究实现激发态释能途径有效调 控"的新思路,使高性能医学光功能材料的开发从宏观经验摸索逐步上升到微观分子水平的理性设计阶段。



图 1. Excited state dynamics for phototheranostic

关键词: 超快光谱, 生物光子学, 光功能材料

参考文献

[1] L. H. Jiang, X. Miao, M.-Y. Zhang, J. Y. Li, L. Zeng, W. Hu, L. Huang, D.-W. Pang, J. Am. Chem. Soc. 146, 10785 (2024).

[2] H. Zhao, M. He, T. He, Z. Wu, Y. Pan, J. Gao, X. Miao, J. Li, H. Ma, W. Huang, W. Hu, Q. Fan, Laser Photonics Rev. 18, 2300917 (2024).

[3] X. Hu, Z. Fang, F. Sun, C. Zhu, M. Jia, X. Miao, L. Huang, W. Hu, Q. Fan, Z. Yang, W. Huang, Angew. Chem.

Int. Ed. 63, e202401036 (2024).

[4] X. Miao, W. Yao, R. Chen, M. Jia, C. Ren, H. Zhao, T. He, Q. Fan, W. Hu, Adv. Mater. 35, e2301739 (2023).

[5] Y. Liu, M. Gu, Q. Ding, Z. Zhang, W. Gong, Y. Yuan, X. Miao, H. Ma, X. Hong, W. Hu, Y. Xiao, Angew. Chem. Int. Ed. 62, e202214875 (2023).

[6] M. Li, G. Chen, M. Jia, J. Zhang, X. Miao, W. Yao, Y. Fan, Y. Lu, X. Xiao, Q. Fan, W. Hu, J. Li, Small Structures 5, 2300483 (2024).

专题六: 激光微纳加工与制造

邀请报告

超快激光诱导玻璃结构与光子功能调控

谭德志^{1,2} ¹之江实验室,杭州 ²浙江大学,杭州 Email:wctdz@zju.edu.cn

摘要:玻璃是一种重要的信息功能材料,在激光、照明、传感、通信等领域有广泛的应用。结构设计与调控是玻璃功能化 以及新型光功能玻璃开发的重要途经。我将介绍我们团队在新型光功能玻璃开发、超快激光诱导玻璃结构与光子功能调控、 集成光电器件等方面的成果。我们揭示了玻璃微区化学组分与结构调控新规律,解决了在微纳尺度对玻璃化学组成与结构 进行调控的难题,开发了三维微区发光宽波段连续可调谐的光功能玻璃。发展了微区光场与温度场协同调控的新技术,解 决超分辨玻璃结构调控难题,构筑了新型光子异质结构,实现了发光偏振调控。提出了集成玻璃光功能器件应用新路线, 研制了三维高清显示器件、光互连与光计算器件等原型器件。

关键词: 超快激光, 玻璃, 结构调控, 集成光电器件

参考文献

[1] K. Sun, D. Z. Tan, X. Fang, X. Xia, D. Lin, J. Song, Y. Lin, Z. Liu, M. Gu, Y. Yue, J. R. Qiu. Science, 2022, 375, 307-310.

[2] K. Sun, B. Zhang, K. Gao, J. Song, X. Li, K. Fan, C. Chen, D. Chen, Z. Wang, Y. Cao, B. Xu, D. Z. Tan, J. R. Qiu. ACS Nano 2024, 18, 6550–6557.

[3] X. Li, K. Sun, J. Wu, Y. Liu, L. Li, Z. Xiao, Z. Li, X. Liu, B. Xu, J. R. Qiu, D. Z. Tan. Laser Photonics Rev., 2024, 18, 2301244.

[4] L. Zhong, Y. Wang, D. Z. Tan, J. R. Qiu. Toward 3D integration of highly see-through photonic circuits in glass. Laser Photonics Rev., 2023, 17, 2200767.

规模化碳基晶体管的激光微纳制造研究

崔健磊

西安交通大学, 西安

Email: cjlxjtu@mail.xjtu.edu.cn

摘要:随着硅基芯片产业即将逼近物理极限,碳基半导体被认为是"后摩尔时代"的颠覆性技术之一,碳纳米管凭借其优 异的电学性能有望成为下一代极大规模集成电路的互连材料。受制于沟道尺寸过大、碳纳米管排列不规则、碳纳米管接触 界面电阻大等难题,碳纳米管集成电路性能未有质的突破。报告将从纳米沟道加工、碳纳米管规则自组装、碳纳米管的可 控连接等角度介绍规模化碳基晶体管的激光微纳制造方法与机理方面的工作进展。

报告人简介:崔健磊,教授/博导,现任西安交通大学机械工程学院副院长。国家优秀青年科学基金获得者、IAAM Fellow、VEBLEO Fellow、JSPS Fellow。主要从事激光微纳加工研究。主持国家级项目 10 余项,发表论文 130 余篇,编写专著 1 部,制定标准 6 项,申请/授权专利 50 余项,转让 8 项,获中国产学研学会创新成果一等奖 1 项、陕西高等学校科学技术一等奖 2 项、陕西省技术发明一等奖 1 项。

— 78 —

超快激光制备薄膜型超构表面:方法与应用

徐康、黄凌羽、徐少林

南方科技大学, 深圳

Email: xusl@sustech.edu.cn

摘要:近年来,超快激光加工技术在超构表面结构单元制备方面展现出巨大潜力,本实验室针对超构表面中的一维光栅和 二维图案化结构单元开发了两类超快激光加工技术。第一类为基于线形激光扫描的光栅制备技术,通过调整脉冲重叠率, 分别开发了脉冲分离烧蚀技术和表面等离激元光刻技术,有效调控激光与薄膜材料相互作用过程中的马兰格尼和等离激元 效应,在薄膜材料表面实现了大面积多样化超构光栅结构的高效加工,可制备光栅极限线宽小于百纳米。另一类为基于图 案化光场整形的微纳结构阵列光刻技术,利用空间光调制器,提出了逐像素偏振调控实现高自由度光场图案化整形技术, 结合图案边界能量渐变调控削弱衍射造成的能量波动,获得了高均匀度图案化光场,在薄膜材料表面通过高速脉冲分离烧 蚀实现了任意图案高效光刻加工,图案特征线宽接近半波长。面向超表面吸收器和荧光光谱增强等应用需求,通过上述激 光加工技术实现了对单波长、多波长、宽谱大面积吸收器的设计和制造,以及基于等离激元共振的荧光光谱增强应用。

关键词: 超快激光, 光束整形, 微纳制造, 超表面

MHz Femtosecond Burst-driven Heat Accumulation for Improved Large-scale Periodic Nanolithography

石理平

西安电子科技大学, 西安

Email: shiliping@xidian.edu.cn

Abstract: Heat accumulation caused by high-repetition-rate femtosecond lasers is generally considered a disadvantage for high-precision ultrafast laser manufacturing. However, in this article, using MHz repetitionrate femtosecond pulse bursts, we investigate a rarely explored femtosecond laser processing technique, which employs laser-induced chemical reaction to self-organize large-scale periodic subwavelength nanostructures on thin films. Compared to non-burst lasers, we find that heat accumulation induced by MHz femtosecond bursts not only improves the quality of nanofabrication but also increases processing throughput by more than an order of magnitude. The underlying physical mechanism is that oxidation-dominated self-assembly involves a nonlinear feedback mechanism, where surface electromagnetic waves excited by already-formed oxide nanoparticles induce the formation of subsequent nanostructures. Heat accumulation can promote the oxidation reaction, thereby enhancing this nonlinear feedback mechanism. This study provides new insights into improving femtosecond laser micro/nanofabrication by controlling thermal effects.

铌酸锂晶体器件的飞秒激光调控制造

季凌飞 1,2,3

¹北京工业大学物理与光电工程学院,北京 ²北京工业大学跨尺度激光成型制造技术教育部重点实验室,北京 ³北京市激光应用技术工程技术研究中心,北京

Email: ncltji@bjut.edu.cn

摘要: 铌酸锂(LiNbO3)晶体由于其优异的非线性光电特性,成为被广泛应用于光电器件集成、光通信及传感检测等领域的功能材料。然而,铌酸锂晶体硬度高,化学性质不活泼,传统机械或化学方法很难在该材料上实现微孔、刻槽等高精微纳结构制备。飞秒激光直写技术具有非接触加工、低热影响以及高灵活度等优势,但在铌酸锂晶体的高精微结构制备上也存在壁垒。本文通过对飞秒激光在铌酸锂晶体内部的辐照损伤阈值、辐照区域面积、深度及形貌等演变规律开展的系统研究,揭示了飞秒激光辐照 LN 晶体现象的变化规律及调控机制,并基于此,进行大面积深微孔阵列铌酸锂光子晶体、铌酸锂音叉等器件的制备研究,为铌酸锂晶体器件的制备提供了一条值得探索的新途径。



图 1. 飞秒激光直写铌酸锂晶体微通孔结构光子晶体。

关键词:飞秒激光,铌酸锂,直写,晶体

参考文献

[1] Jia Y C, Wang S X, Chen F. Femtosecond laser direct writing of flexibly configured waveguide geometries in optical crystals: fabrication and application[J]. Opto-Electronic Advances, 3(10): 190042 (2020).

[2] T. Wang, X. Cheng, X. Li, J. Ma, S. Yan, et al. Femtosecond-laser-assisted high-aspect-ratio nanolithography in lithium niobate[J]. Nanoscale, 15(37): 15298-15303 (2023).

[3] X. Wang, Q. Cao, R. Wang, X. Cao, S. Liu, Domain growth driven by a femtosecond laser in lithium niobate crystal[J]. Opt Lett , , 48(3): 566-569 (2023).

Research on functional surface of droplet self-transport based on bionic concept

Xiuqing Hao¹, Jie Zhang¹, Pengcheng Sun², Simin Chen¹, Ning He¹

¹ College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, China

² Department of Mechanical Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong, China

Email: xqhao@nuaa.edu.cn

Abstract: In nature, many organisms manipulate water through ingenious structures to adapt to the challenges posed by the environment, and unique surface properties allow them to spontaneously complete water collection and transportation. Due to its appeal in the merit of no external energy input, the passive surface is widely considered to be an ideal platform for liquid transportation. Despite the considerable progress attained, achieving long-range and high-speed liquid transport on a passive surface remains challenging due to the several inherent difficulties, such as the insufficient driving force and undesired energy dissipation. Here, we overcome these limitations by proposing a cellular design of wettability pattern (CWP). This CWP is composed of cells with a wettability gradient and a cascaded super-hydrophilic divergent channel, where the cells are seamlessly interconnected with each other through the channel. Utilizing the enhanced driving force and reduced energy dissipation endowed by the special wetting and geometrical design, the proposed CWP can spontaneously transport a water droplet over a distance of 100 mm, the longest distance ever reported, with a high average velocity of ~92 mm s–1. We demonstrate experimentally and theoretically that the transport distance can be further enhanced by tailoring the wettability gradient. Using a predefined CWP, we also achieve on-demand liquid manipulation. We envision that our cellular design will find numerous applications in materials science, interfacial chemistry, and biomedical research.

Keywords: Laser processing, Liquid transportation, Droplet

报告人简介:郝秀清,博士,教授,工作于南京航空航天大学。主要从事先进加工技术、功能微结构表面及应用等研究。 主持国家自然科学基金、军委 173 基金、国防基础科研计划项目、江苏省优秀青年基金、教育部霍英东青年教师基金等 10 余项国家/省部级项目。在 Small、JMCA、Small Methods、CEJ 等本领域高水平期刊上发表论文 90 余篇(其中 IF>10 的五篇),两篇论文获封面论文,一篇论文入选热点论文。授权发明专利 20 余项。获得国际制造前沿会议(IMCC2021) 等优秀会议论文或优秀论文一等奖 7 次。入选江苏省六大人才高峰高层次人才工程等。

功能性表面的激光-化学复合制备工艺及应用基础

蔡玉奎

山东大学, 济南

Email: caiyukui@sdu.edu.cn

摘要:超疏水、耐腐蚀、抗菌等功能性表面是近年来引起学术和工业领域关注,主要是由于其优异的自清洁、耐腐蚀、减 阻、抗菌能力。脉冲激光烧蚀由于其高效率和低成本优势,在工业应用中具有较大潜力,然而目前制备工艺大多需要复杂 后处理工艺,因此如何短流程高效率的制备功能性表面是将该技术推向工业领域的关键技术难题之一。本报告总结了激光-化学复合方法在不锈钢材料上制备了超疏水、耐腐蚀、抗菌等功能性表面的相关研究。

报告人简介:蔡玉奎,山东大学机械工程学院教授,博士生导师,国家海外青年人才项目获得者,山东大学杰出中青年学者,拥有山东大学和英国思克莱德大学双博士学位。研究方向为激光精密加工装备设计制造、激光-化学复合制造、切削-激光复合制造等。发表学术论文 60 余篇,授权发明专利 20 余项。

面向高性能储能器件的超快激光制备技术研究

刘亚楠

哈尔滨工业大学机电工程学院,哈尔滨

摘要:随着可穿戴设备、通信及先进传感器的迅速发展,柔性储能器件的开发与应用成为储能领域的热点。近年来,金属 电极及二维材料表面微纳结构的构筑为制备高性能柔性储能器件提供了新途径。超快激光具有超高峰值功率和超短作用时 间,能有效实现材料表面形性调控。目前超快激光与金属电极及二维材料的作用机理尚不明确,且激光诱导材料表面微纳 结构的创成机制还有待进一步研究。基于以上背景,利用超快激光在微型超级电容器、水系锌离子电池储能及二维材料气 敏传感领域开展了相关工作。首先,通过建立飞秒激光辐照氧化石墨烯的理论模型,分析了氧化石墨烯表面微纳结构创成 机制。针对平面柔性以及集成器件在可穿戴设备领域的应用,提出了飞秒激光同步加工柔性双面 MXene 微型电容器阵列 方法,显著提升了储能器件的集成度及面容量。为了进一步提升电极的能量密度,制备了具有高精度容量匹配的 MXene/ 激光诱导石墨烯非对称电极。同时,利用超快激光一步加工技术实现了锌金属表面超精细/可调控三维微纳结构的高效率制 备,在微纳结构控形、控性方面展现出巨大优势。得益于显著提高的比表面积及优异的超亲水/亲锌特征,三维微纳结构提 高了锌离子电池的循环寿命及库伦效率,有效抑制了枝晶的形成和副反应的发生。作为大面积电池展示及应用,采用三维 微纳结构的软包电池可在不同弯折状态下正常工作而不影响性能,具有良好的柔性。此外,在飞秒激光诱导二维材料相变 及微纳传感方向进行了探索。利用超快激光瞬时热驱动作用,成功诱导了金属相二维 2M-WS2 到半导体相 2H-WS2 的单 晶转变。制备了纳米周期性 2M/2H 相结构,突破了传统激光诱导二维材料相变的瓶颈。基于晶相转变带来的丰富空位缺 陷,开发的平面氨气气敏传感器具有优异的气敏传感性能。超快激光与材料相互作用的光化学与光物理过程研究揭示了微 纳结构形性调控机制,为制备高性能储能器件及平面传感集成系统提供了有效方法。

口头报告

皮秒激光激发蓝宝石成丝传输行为、改性特征及机制研究

燕天阳¹、季凌飞²

¹萨本栋微米纳米科学技术研究院,厦门大学,厦门 ²激光工程研究院,物理与光电工程学院,北京工业大学,北京 Email: yantianyang0613@xmu.edu.cn

摘要: 超快激光的峰值功率可轻易超过在气、液和固体透明介质中的激光自聚焦阈值,形成稳定的"成丝 (Filamentation)"自引导传输。该现象自 1995 年发现以来,其丰富的物理内涵和巨大的应用前景一直吸引着研究人员 不断关注和探究。迄今,研究工作主要集中在以飞秒激光为代表的超快激光在空气中的成丝传输行为及其衍生效应,对固 体介质,尤其是单晶材料,因其独特的物理性质和结构特征而少有研究。本报告选择具有六方紧密堆积结构和高折射率特 征的氧化铝单晶(α-Al2O3)——蓝宝石作为研究对象,面向推进超快激光成丝的工程化应用需求,以设备成本较低、易 于推广应用的皮秒激光(脉宽=10-11 s)作为激发光源,系统研究了皮秒超快激光在蓝宝石中的成丝等离子体动态演变行 为、成丝线迹静态空间形貌和改性类型;结合脉冲非线性传输物理模型的建立和分析,揭示了皮秒脉冲激发蓝宝石成丝的 传输行为特征、材料改性特征和其中的作用机制。在对皮秒单脉冲、多脉冲激发成丝和介质改性实验和机理研究的基础上, 提出采用皮秒脉冲序列(Burst mode)优化成丝传输行为,在蓝宝石介质中获得最大长径比可达 273.3 的直径均匀(~ 2.5 μm)的成丝改性线迹。揭示了脉冲序列中子脉冲引起成丝等离子体的时空演变,如图1所示。后续子脉冲在残留等离 子体的基础上产生了位置靠后的新聚焦峰,促进了成丝传输距离的延长;而被刷新的等离子体峰总是出现在落后于前一个 脉冲所产生的等离子体峰位的位置,从而增强了成丝等离子体空间整体分布的均匀性。研究工作以超快激光成丝工程化应 用为牵引,系统研究了皮秒激发蓝宝石透明固体介质成丝传输行为及对材料的改性特征,揭示了其中的成丝及改性机制, 为成丝优化及基于成丝的激光材料高精加工提供了理论依据和技术研发基础。



图 1. 脉冲序列激发的不同时刻的成丝等离子体形貌

关键词: 超快激光, 蓝宝石, 皮秒脉冲, 成丝传输, 材料改性

可移动化双光梳光谱仪的研制及应用

左众

中国科学院精密测量科学与技术创新研究院,武汉

Email: zuozhong@apm.ac.cn

摘要:双光梳光谱技术作为一种革命性的精密测量技术,相比于传统的光谱测量技术,其具有高精度、高分辨的快速光谱 测量能力,在燃烧诊断、环境检测、生物医疗等领域具有重要的应用价值。如何产生高相干、高鲁棒性的双光梳光源是当 前制约双光梳光谱仪户外应用发展的关键技术瓶颈之一[1]。基于窄线宽连续激光器长时相干特性,结合非线性光场调制技 术,实现窄线宽连续激光器单根频率梳齿至百万根频率梳齿的拓展,无需复杂的载波包络相位锁定过程,突破了光频梳时 频域多参数同步精密控制的技术难题[2,3]。基于此,发展了可移动化近红外/中红外双光梳光谱仪,近红外光谱范围达 1510-1620nm,相干时间长达 100s,中红外波段光谱覆盖范围达 2.5-5.2µm,实现 C2H2、CH4、H2CO、H2S、COS 和 H2O 等多种痕量分子并行高精度测量,并应用于航空发动机尾气成分测量和高温温度计量应用,满足在非实验室环境 下精密测量应用需求[4]。

关键词:光学频率梳,非线性光场调制,可移动化双光梳光谱仪

参考文献

[1] I. Coddington, N. Newbury, and W. Swann, "Dual-comb spectroscopy," Optica 3, 414-426 (2016).

[2] Z. Zuo, C. Gu, S. Wang, S. Xiong, Z. Deng, D. Luo, Y. Di, J. Wu, and W. Li, "Phase-stable multidimensional coherent spectroscopy based on dual-comb interferometry," Adv. Opt. Mater. 2303130 (2024).

[3] Z. Zuo, C. Gu, D. Peng, X. Zou, Y. Di, L. Zhou, D. Luo, Y. Liu, and W. Li, "Broadband mid-infrared molecular spectroscopy based on passive coherent optical–optical modulated frequency combs," Photon. Res. 9(7), 1358-1368, (2021).

[4] C. Gu, Z. Zuo, D. Luo, Z. Deng, Y. Liu, M. Hu, and W. Li, "Passive coherent dual-comb spectroscopy based on optical-optical modulation with free running lasers," PhotoniX, 1(1): 1-9 (2020).

[5] X. Zou, M. Zhang, C. Liu, Z. Zuo, Y. Di, S. He, S. Wang, D. Luo, C. Gu, and W. Li, "Mid-infrared dual-comb spectroscopy for rapid temperature distribution characterization," Opt. Lett. 48, 6336-6339 (2023).

Exploring and steering the smallest shock wave in a nanosized ball of plasma

Zhijie Yang(杨志杰)¹, Fenghao Sun(孙烽豪)¹*, Hui Li(李辉)², Junjie Qiang(强俊杰)³, Jian Wu(吴健)² and Qingcao Liu(刘情操)¹ ¹ Harbin Institute of Technology, Weihai, China

²State Key Laboratory of Precision Spectroscopy, East China Normal University, Shanghai, China
³School of Physics and Laboratory of Zhongyuan Light, Zhengzhou University, Zhengzhou, China
*Email: 786142306@qq.com

摘要:固体靶材受到强激光(>10^14 W cm-2)激发后极易形成等离子体发生损伤,因此制备连续可再生的致密等离子体, 并在统计学层面研究其超快动力学是一项极具挑战性的工作。在纳米速度成像设备中[1,2],我们使用飞秒激光对连续刷新 的金和二氧化硅纳米颗粒进行了强场电离单帧动量成像实验。实验表明金纳米颗粒产生的质子末态能量高度一致且在实空 间中各向同性,而二氧化硅纳米颗粒的质子末态能量在实空间中却是断裂的不连续分布。为了深入理解纳米结构强场激发 过程中单能离子层的超快动力学形成过程,我们将 Particle In Cell (PIC)理论与 Classical Coulomb simulation (CCS) 相结合,完美复现了实验结果并解析了金和二氧化硅形成的致密离子层在飞秒到皮秒时间的超快动力学。理论研究证实了 在超强飞秒激光激发下,金和二氧化硅纳米颗粒表面分子的饱和电离将在几个光学周期内发生,质子在内部重离子的库仑 力作用下快速追逐形成单能壳层。同时,我们在实验和理论上实现了致密单能离子层能量的连续线性调控,这一发现为高 密度可控纳米等离子体研究提供了全新的实验靶材。此外,通过强场电离模拟以及硅离子和质子的实验动量分布分析,证 实了不同纳米颗粒表面吸附分子的局域不连贯性造成了表面分子发射的动量层不连贯,而非之前工作(PRL.112.115004)中提 出的探测器不均匀引发的。换而言之,我们首次真正在一个纳米尺度的等离子体球中产生了各向同性的冲击波。该技术也 可以用来探究不同材质纳米颗粒表面分子基团的分布状况。



图 1 (a-c)分别对应于金质子、二氧化硅质子和二氧化硅硅离子的动量分布。(d)是离子层能量随离子产率(光强)的线性变化 曲线。(e)和(g)是 PIC 理论计算出的激光结束后质子实空间位置分布(FWHM 激光 = 35 fs, t 统计 = 100 fs),分别对应金和 二氧化硅纳米颗粒。f 和 h 是经典库伦理论计算得到的末态动量分布,插入图为对应的实验结果。

Reference

[1] F. H. Sun et.al. All-optical steering on the proton emission in laser-induced nanoplasmas, Nat.Commu, Accepted. 2024

[2] F. H. Sun et.al. Single-shot imaging of surface molecular ionization in nanosystems, Nanophotonics. 2021

专题七: 超快太赫兹科学与技术

邀请报告

太赫兹超快物理、器件及瞬态动力学研究

朱亦鸣

上海理工大学,上海

Email: ymzhu@usst.edu.cn

摘要:太赫兹波泛指频率在 0.1~10 THz 范围内,介于微波和红外线之间的电磁波。本报告将从以下四个方面进行阐述: 1)利用太赫兹脉冲实现了自旋分辨的电子密度和亚皮秒尺度电子散射时间的非接触准确测量,解决了自旋输运参数无法实 测的难题;2)阐明并利用超快退磁效应、反常霍尔效应、反常能斯特效应、逆自旋霍尔效应实现了电子自旋在亚皮秒尺度 的全光超快操控并诱导宽频太赫兹辐射;3)提出大尺寸、多层铁磁异质结级联放大方法,实现了低成本、纳米级厚度、光 场参数灵活调控的强太赫兹辐射源;4)利用光抽运太赫兹探测技术研究钙钛矿材料和拓扑量子材料中光生载流子和极化子 等在皮秒时间尺度上的超快动力学过程及在太赫兹波段的光电导特性。

太赫兹全反射式超宽带调制器件研究

孙怡雯

深圳大学, 深圳

基于钙钛矿非线性光学效应的太赫兹波产生机制

周译玄,徐新龙

西北大学物理学院, 西安

Email: yxzhou@nwu.edu.cn

摘要: 卤化物钙钛矿具有优异的非线性光学特性和良好的应用前景,然而其光与物质相互作用中还存在一些物理机理难题, 成为新型光电器件研发的制约[1]。例如,有望打破 Shockley-Queisser 极限的体光伏效应中光电流的产生与调控机制如 何?以及钙钛矿中的非线性极化起源是什么?等。近年来,基于超快激光激发的太赫兹(THz)发射光谱被证明是研究卤 化物钙钛矿中光致丹倍效应、表面电场效应、自旋光电流和大极化子等机制的有力工具,这些成果主要是在高于材料带隙 激发条件下获得的。我们的工作主要关注低于材料带隙激发下,钙钛矿中非线性光学效应物理机理的探索,已经取得的创 新成果包括:(1)通过研究全无机钙钛矿 CsPbBr3 薄膜的 THz 辐射特性,探讨双光子吸收诱导的高阶移位电流效应机制, 这是首次实验上观察到这种微弱光电流效应[2]。(2)上述材料中,通过调控激发光的圆偏振态,证明自旋极化电子的产生 对 THz 辐射具有贡献,其在光生电子中的最大占比约为 21.3%[3]。(3)发现二维 Ruddlesden-Popper 型钙钛矿的 THz 辐射主要由非线性极化而非光电流引起,表明其有机层的存在抑制了相邻导体层间的载流子传输。并且,在(BA)2PbI4 单 晶中观察到了电四极子的贡献,起源于其特殊的结构对称性[4]。(4)通过调谐激发波长,研究了无铅钙钛矿 CsSnBr3 薄 膜在带隙上、下激发时的 THz 辐射特性,证明 THz 辐射强度随光吸收率正向变化,具有表面电场效应的主导机制[5]。这 些结果加深了对钙钛矿非线性光学效应物理机制的理解,并证实太赫兹发射光谱在该领域研究中具有重要潜力。

关键词:太赫兹,钙钛矿,非线性光学,移位电流,非线性极化

参考文献

[1] Y. Zhou, Y. Huang, X. Xu, Z. Fan, J. B. Khurgin, Q. Xiong, Appl. Phys. Rev. 7, 041313 (2020).

[2] Y. He, R. Su, Y. Huang, Y. Zhou, Q. Zhao, J. B. Khurgin, Q. Xiong, X. Xu, Adv. Funct. Mater. 29, 1904694 (2019).

[3] Y. He, R. Su, Y. Huang, Q. Zhao, Y. Zhou, J. B. Khurgin, Q. Xiong, X. Xu, Adv. Opt. Mat. 9, 2100822 (2021).

[4] H. Li, Y. Zhou, Y. Xi, Y. Zou, Z. Lei, X. Cao, Y. Huang, D. Li, X. Xu, PRB 108, 245403 (2023).

[5] Y. Zou, Y. Zhou, Y. Xi, H. Li, X. Tian, Y. Huang, L. Zhu, X. Xu, Sur. Interfaces 46, 104046 (2024).

拓扑材料中的非线性光学响应太赫兹调控

齐静波

电子科技大学,成都

Email: jbqi@uestc.edu.cn

摘要:许多拓扑材料中观察到的显著非线性光学响应使它们非常适合用于光学和光子学应用。这里,我们专注于讨论拓扑 材料 PtBi2 在强太赫兹(THz)脉冲下的二次谐波响应,揭示由 THz 电场引起的瞬态非线性现象。研究结果表明,在强场 THz 脉冲激发下, PtBi2 的 SHG 信号显著增强,这主要归因于跟 THz 场关联的线性项,而二次谐波信号的变化主要与 PtBi2 的线性能带结构有关。我们还清楚地观察到了非线性系数的随时间的超快变化。这些发现对于实现拓扑材料中非线 性光学参数的超快调制具有重要意义。

利用五能级里德堡原子系统探测太赫兹波的研究

侯磊, 王俊喃, 何琪慧

西安理工大学, 西安

Email: houleixaut@126.com

摘要:近年来,随着太赫兹(terahertz, THz)科学技术在安检、生物医学、物质无损检测等领域的快速发展[1],对 THz 波探测技术也提出了更高的要求。由于里德堡(Rydberg)原子具有极大的极化率和电偶极矩,对外电场十分敏感[2], 本文研究了一种基于 Rydberg 原子量子相干效应的高灵敏度 THz 波探测技术。首先,利用波长分别为 852nm、1470nm 和 806nm 的探测(probe)光、坠饰(dressing)光、里德堡(Rydberg)光将铯原子由基态激发至 19P3/2 态,如图 1 所示,此时铯原子对 probe 光吸收改变,使得 probe 透射光谱在所有光场共振处出现一个透明窗口,即电磁诱导透明 (Electromagnetically Induced Transparency, EIT)或电磁诱导吸收(Electromagnetically Induced Absorption, EIA)现象,如图 2 (a)所示。之后,当频率为 0.17THz 的 THz 液作用于里德堡原子时,处于 19P3/2 态的原子被进一 步激发至 18D5/2 态,EIT 单峰出现 Autler-Townes(AT)分裂,如图 2(b)所示,且分裂间隔与所施加的 THz 电场强 度成线性关系,据此可以实现国际单位可溯源的 THz 电场高灵敏度测量。本文通过数值求解 Lindblad 主方程,探究了 probe 光、dressing 光、Rydberg 光和 THz 电场的拉比频率对基态原子布居数(^A1)以及基态和里德堡态之间相干 (^A4)的影响,并进一步分析了^A1和 ^A4 对 EIT 和 EIA 转换之间的影响,同时计算了此五能级系统探测 THz 波的灵 敏度并分析了温度和蒸气室尺寸对灵敏度的影响,通过理论计算得到其灵敏度可达 10–9V/m/Hz1/2。研究结果表面,基 于 Rydberg 原子的量子相干效应可实现对 THz 波的高灵敏探测,因此对 THz 探测技术的发展有推动作用。



图 1. 铯原子五能级结构



图 2. (a) EIT/EIA 和 (b) EIT-AT 信号示意图

关键词:里德堡原子,电磁诱导透明,太赫兹波,Autler-Townes分裂

参考文献

[1] Dhillon S S, Vitiello M S, Linfield E H, et al. The 2017 terahertz science and technology roadmap[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2017,50(4):043001.

[2] Sedlacek J A, Schwettmann A, Kübler H, et al. Microwave electrometry with Rydberg atoms in a vapour cell using bright atomic resonances[J]. Nature Physics, 2012,8(11):819-824.

太赫兹脉冲强源进展及物理应用研究

田野

中国科学院上海光学精密机械研究所,强场激光物理国家重点实验室,上海

Email: tianye@siom.ac.cn

摘要:太赫兹频段的脉冲强源可以激发物质的低激发态,如晶格振动、分子转动、自旋进动、载流子运动等,直接与电子 束作用实现电子加速和调制。随着超快强激光技术的进步,光波的调制强度和短脉冲属性使其对电子的时空控制能力与日 俱增。本报告将系统介绍我们研究组在太赫兹脉冲强源方面的系列进展,包括新型表面波强源和晶体型太赫兹强源等,以 及太赫兹强源对硅、铂硒等的非线性光学调控研究。同时报告包括应用表面波进行电子加速获得能量超过 MeV 的增益和 级联加速方案构建小型加速器的新方案。

基于铌酸锂倾斜波前技术的高重频强场太赫兹辐射源

吴晓君

北京航空航天大学,北京

Email: xiaojunwu@buaa.edu.cn

摘要:自由空间强场太赫兹电磁脉冲在电子加速、物态调控、生物医学等方面拥有重要的应用价值。高效率、高光束质量、 高稳定性的铌酸锂太赫兹强源为推动这些应用提供了很好的解决方案。然而,太赫兹的单脉冲能量和重复频率之间不可调 和的矛盾,使得无法在获得高单脉冲能量的情况下又能拥有很高的脉冲重复频率,极大阻碍了那些需要高重频、高功率、 高场强的太赫兹应用。本工作将重点介绍本课题组基于国产高重频高功率飞秒激光泵浦铌酸锂晶体产生强场太赫兹辐射的 研究进展,以及在这项研究中遇到的科学难题和技术挑战。

报告人简介:吴晓君,北京航空航天大学电子信息工程学院教授,博导。本科和硕士毕业于中山大学物理系,博士毕业于中科院物理所,获得博士学位后前往德国汉堡大学和德国 DESY 从事博士后研究工作,期间获得德国洪堡基金会资助工作 到 2017 年回国,全职加入北航电子信息工程学院;长期从事太赫兹强源、器件、系统技术等方面的研究,以第一或通讯 作者在 Nature Photonics、Nature Communications、Advanced Materials (3 篇)、Laser & Photonics Reviews (3 篇)、Advanced Photonics 等发表 SCI 论文 65 篇,获中国专利 20 余项,在本领域重要学术会议上做特邀报告 40 余 次;曾入选德国洪堡学者、国家万人计划青年拔尖人才、北京市青年骨干、中国生物物理学会太赫兹分会优秀工作者、国 际红外毫米波太赫兹学会(IRMMW-THz)首个女科学家奖、第一届超快科学全球女科学家奖、第一届中国科技青年论坛 一等奖和总论坛最高奖—科技新星奖、第十一届超快现象与太赫兹波国际研讨会(ISUPTW 2023)首届"张希成奖"等荣 誉和奖励。2023 年入选美国光学学会会士(Optica Fellow)。

液体太赫兹波和高次谐波的产生机制研究

卞学滨

中国科学院精密测量科学与技术创新研究院,武汉

Email: xuebin.bian@wipm.ac.cn

摘要:激光诱导的等离子体、气体和晶体的太赫兹波与高次谐波的产生机理研究已经比较深入,然而,液体作为一种重要 的物态,其产生相干辐射的机制一直是个谜。

由于液体系统的结构是长程无序的,加上分子间的强相互作用力,使得其太赫兹和高次谐波产生的机制很难用现有的 气体和晶体中的物理模型来解释。我们通过引入统计方法[1,2],发展了一个新的有效相干长度模型。研究发现,束缚态 的有限相干距离在液体高次谐波[2]中起着非常重要的作用。它可以自然地引入退相位效应,并过滤掉长轨道。它还可以用 来解释最大谐波光子能量 Ω 与激光场强度的线性相关性[3]。我们的理论[1,2]中关于 Ω 对波长和溶液浓度弱依赖性的预 测最近被实验[4]证实。这为我们提供了一种测量液体系统无序度的新方法。

对于液体中的太赫兹辐射[5,6],我们提出了一个位移电流模型[7]。它来自无序液体系统中局域束缚态的跃迁。它们 的能量差在太赫兹范围内。该模型可以定量再现实验[5]中测量到的太赫兹波产率对激光脉冲持续时间的依赖性。它还可以 解释双色激光场中非调制太赫兹信号的起源[6]。我们的模型还发现,核量子效应起着关键作用[7]。



图 1. 液体太赫兹波产生机制的示意图

关键词: 液体、太赫兹波、高次谐波

参考文献

[1] A. W. Zeng and X. B. Bian, Phys. Rev. Lett. 124, 203901 (2020).

[2] C. L. Xia, Z. L. Li, J. Q. Liu, A. W. Zeng, L. J. Lu, and X. B. Bian, Phys. Rev. A 105, 013115 (2022).

[3] T. T. Luu, Z. Yin, A. Jain, T. Gaumnitz, Y. Pertot, J. Ma, and H. J. Wörner, Nat. Commun. 9, 3723 (2018).

[4] A. Mondal, O. Neufeld, Z. Yin, Z. Nourbakhsh, V. Svoboda, A. Rubio, N. Tancogne-Dejean, and H. J. Wörner, Nature Phys. 19, 1813 (2023).

- [5] Q. Jin et al., Appl. Phys. Lett. 111, 071103 (2017).
- [6] Q. Jin et al., Appl. Phys. Lett. 113, 261101 (2018).
- [7] Z. L. Li and X. B. Bian, PNAS 121, e2315297121 (2024).

基于太赫兹焦平面成像技术的等离子体分布特性研究

孙文峰^{1,2,3}

¹首都师范大学物理系,北京 ²太赫兹光电子学教育部重点实验室,北京 ³超材料与器件北京市重点实验室,北京 Email:wfsun@cnu.edu.cn

摘要: 等离子体, 作为物质的第四种状态, 在材料科学、分析仪器、光谱学等多个领域有着广泛的应用[1]。等离子体的许 多特性大多与其电子密度相关[2]。因此, 准确测量和表征等离子体的电子密度分布成为研究等离子体的一个重要方向, 具 有重要意义[3]。

报告将介绍利用太赫兹焦平面成像技术对光致等离子体的电子密度分布进行成像研究。通过成像获得等离子体在不同 频率的太赫兹波条件下的电子密度分布。结果显示,等离子体细丝在沿着长度方向的电子密度分布,呈现起始端的电子密 度较高的现象。而在直径方向上,随着半径的增加,等离子体的电子密度快速减小。对不同形成时间点的等离子体进行成 像,结果表明等离子体随形成时间的增加,形态由点状发展为条状;电子密度出现先增加后降低的现象,其最大值时发生 在等光程点时刻,等光程点之前,电子密度升高,等光程点之后,电子密度降低,电子密度的峰值位置随时间的增加发生 空间移动。研究结果揭示了光致等离子体电子密度的时空分布规律,为等离子体诊断提供了关键性的理论和实验依据。

关键词: 等离子体, 太赫兹波, 超快脉冲, 焦平面成像

参考文献:

[1] Fujimoto T. Plasma spectroscopy. Plasma Polarization Spectroscopy. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008: 29-49.

[2] Polynkin, P., Kolesik, M., Moloney, J.V., Siviloglou, G.A. and Christodoulides, D.N., Curved plasma channel generation using ultraintense Airy beams. Science, 2009, 324(5924): 229-232.

[3] Krushelnick, K., Clark, E.L., Beg, F.N., Dangor, A.E., Najmudin, Z., Norreys, P.A., Wei, M. and Zepf, M.. High intensity laser-plasma sources of ions-physics and future applications. Plasma Physics and Controlled Fusion, 2005, 47(12B): B451.

口头报告

超导涨落(Higgs mode)与电荷密度波涨落的相互作用: NbSe₂太赫兹三次谐波案例分析

冯利文^{1,2,5}, 曹佳媛¹, 秦杨³, Tim Priessnitz², Thales de Oliveira⁴, 陈旻⁴, Alexey N. Ponomaryov⁴, Igor Ilyakov⁴, Jan-Christoph Deinert⁴, Sergey Kovalev⁴, 黄元³, Stefan Kaiser^{2,5}, 王楠林³, 董涛³, 储灏^{1,2}

1上海交通大学,上海

²Max Planck Institute for Solid State Research, Stuttgart, Germany

3北京大学,北京

⁴ Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Germany

⁵ Institute of Solid State and Materials Physics, TU Dresden, Germany

Email: jiayuancao@stju.edu.cn

摘要:超导与电荷密度波是金属在低温下常见的两种基态,两者往往相伴出现。它们之间究竟呈协作还是竞争关系,是凝 聚态物理关注多年的焦点之一 [1-2]。数十年来,关于超导及电荷密度波的实验大都聚焦于其基态/平衡态物理性质(如相 变温度、序参量波矢量、费米面形态),忽视了各物相/自由度的激发态,然而后者却可能包含极其重要的物理信息,譬如 反铁磁涨落被广泛认为是 d 波超导的介导粒子。

近年来,太赫兹非线性光学被证实为研究集体激发的有效手段,与超导序参量的振幅模式,即 Higgs 模式存在耦合。 在铜基超导体中,太赫兹三次谐波发现 Higgs 模式与另一集体激发(可能是电荷密度波涨落)耦合的实验证据 [3-4],然 而这一解读仍然存在争议。因此,我们在 2H-NbSe2中进行了太赫兹三次谐波实验。我们发现了分别来源于超导涨落以及 电荷密度波涨落的三次谐波贡献。在略低于超导相变温度(Tc),两者贡献的三次谐波信号发生相干相消。这一结果验证 了早期拉曼散射的结果 [5],在超快时间尺度为超导涨落与电荷密度波涨落相互作用提供了实验依据,也进一步说明了两者 在铜基高温超体中可能存在的相互作用。



图 1. (a): 2H-NbSe₂的拉曼实验发现电荷密度波涨落(CDW mode)与 Higgs 模式(SC mode)相互作用 [5]。(b): 2H-NbSe₂的太赫兹三次谐波强度的温度依赖: TCDW 和 Tc 以下各自呈现出序参量般的三次谐波贡献。(c): 6.2K 的太赫

兹三次谐波波形展现出相干相消的特征。

关键词:超导,希格斯模式,电荷密度波,太赫兹三次谐波

参考文献

[1] da Silva Neto, E. H. et al. Ubiquitous Interplay Between Charge Ordering and High-Temperature Superconductivity in Cuprates. Science 343, 393–396 (2014).

[2] Chikina, A et al. Turning charge-density waves into Cooper pairs. npj Quantum Materials 5, 22 (2020).

[3] Chu, H. et al. Phase-resolved Higgs response in superconducting cuprates. Nat Commun 11, 1793 (2020).

[4] Chu H. et al. Fano interference of the Higgs mode in cuprate high-Tc superconductor. arxiv.org/abs/2109.09971

[5] Méasson, M.-A. et al. Amplitude Higgs mode in the 2H–NbSe2 superconductor. Phys. Rev. B 89, 060503 (2014).

专题八: 激光与物质相互作用

邀请报告

激光驱动超快电子束调控及应用

黄太武,蒋轲,彭浩,李然,陈鹏,吴思忠,张华,卓红斌,郁明阳,周沧涛 深圳技术大学,工程物理学院,先进材料测试技术研究中心,广东 Email: huangtaiwu@sztu.edu.cn

摘要:超强超短激光技术的快速发展,开辟了强激光等离子体物理这一全新学科领域,涵盖了阿秒科学、新型粒子加速器、 新型激光核聚变、强场量子电动力学,乃至实验室天体物理等诸多新的研究前沿。在强激光等离子体相互作用过程中,强 激光首先将能量转移给电子,相对论电子束产生是最重要的物理过程。然而激光驱动相对论电子束通常具有超短脉冲、超 强电流、超高能量等特点,如何高效调控相对论强流电子束产生与输运过程是强激光应用研究的关键。

近年来我们围绕相对论强流电子束的调控及应用开展了系统而深入的研究,在强流电子束输运机理方面取得重要突破: 在国际上首次发现超短时空尺度下相对论电子束输运新机制;揭示了多孔介质微观随机结构对相对论电子束输运的显著影 响,发现了相对论电子束的分支流输运和反常阻滞输运新物理机理,为操控强流高能电子束的聚焦、传输及能量耦合过程 提供了一种全新途径。此外,我们在强流电子束驱动新型相干辐射光源、超高亮度伽马射线源等应用方面也取得了重要进 展,开发了国内首个远场时域辐射并行计算程序,提出了一种基于电子集体作用的全新相干辐射机制,为阿秒脉冲相干光 源产生提供了一种简单可行的物理实验方案;并发现超相对论电子束在泡沫随机结构中的超通道传输机制,为超高亮度、 超高转换效率伽马射线源产生也提供了一种新的途径。

关键词:相对论电子束,等离子体,泡沫微结构,相干光源,伽马射线源

强激光驱动的辐射源及核反应研究

吕冲¹,弯峰²*,班晓娜¹,栗建兴²,郭冰¹
 ¹中国原子能科学研究核物理研究所,北京
 ²西安交通大学物理学院,陕西
 *Email: wanfeng@xjtu.edu.cn

摘要:近年来随着强激光技术的迅速发展,强激光成为继加速器和反应堆之后研究核科学的一种新手段,形成了一门新的 交叉学科——激光核物理。中美欧的核科学长期发展规划均建议将其作为重点发展领域,欧洲极光基础设施(Extreme Light Infrastructure, ELI)把激光核物理作为其整体计划的三大支柱之一。超强激光既能够产生极端的高温、高密等离 子体环境,可应用于在高能量密度环境中的核反应研究;同时,通过强激光与气体靶、固体靶等相互作用能够产生电子、 质子、离子、中子、正电子、以及 X/γ和太赫兹等辐射,可应用与核基础研究、材料检测、安检等。中国原子能科学研究 院和西安交通大学等单位合作,在激光驱动产生高品质伽马光源、以及极端等离子体环境中的核反应理论模拟和数值研究 方面开展了研究,本报告主要是对上述研究工作进行汇报。

关键词:超强激光,伽马光,等离子体环境,核反应

太赫兹表面等离极化激元放大及其高效耦合电子加速研究

曾雨珊

中国科学院上海光学精密机械研究所强场激光物理国家重点实验室,上海

Email: yszeng@siom.ac.cn

摘要:太赫兹(Terahertz, THz)波作为频率介于光波与射频间的特殊波段,在上世纪由于产生方式的匮乏一直被称作 为电磁波谱上的"太赫兹间隙"(THz gap)。近年来,随着太赫兹技术不断刷新太赫兹场的强度,当前太赫兹波不仅能够 作为探测工具,更能作为调控手段对物质进行调控。例如,利用太赫兹波对电子加速能够提供远高于传统射频加速器的加 速梯度,实现小型化的电子源。当前,太赫兹电子加速增益受到太赫兹源强度以及能量耦合效率的限制,突破 MeV 量级 的太赫兹波电子加速仍然存在挑战。针对自由空间太赫兹源光学系统复杂、在加速耦合过程中能量损失大的问题,本工作 基于在前期研究中发现的超快电子泵浦表面等离极化激元受激辐射放大机制,提出利用太赫兹表面波驱动电子加速方案。 该方案利用在金属波导上传输的太赫兹表面波的索莫菲波属性,通过将太赫兹波的产生、传输及耦合集成到一个长度为数 毫米的金属圆柱波导,解决了高能太赫兹波产生以及自由空间太赫兹波至波导能量耦合效率低等难题。最终,在波导中 5.2 mm 距离内实现了最高 1.1 MeV 的电子能量增益和 210 MV/m 的平均加速梯度,为集成化 THz 电子加速器研究莫定 了基础。

关键词:表面等离极化激元,太赫兹,电子加速

参考文献

[1] Zhang, D., Zeng, Y., Bai, Y. et al. Nature 611, 55-60 (2022).

[2] Yu, X, Zeng, Y, Song, L, et al. Nature Photonics 17, 957-963(2023)

纳米材料中的超快过程和激发态动力学研究

张进

国家纳米科学中心,北京

Email: jinzhang@nanoctr.cn

摘要:不同粒子或准粒子的相互作用在理解、调控复杂量子体系性质中起着关键作用。光学激发能为理解相关粒子相互作 用和过程提供有效的途径。纳米材料与量子材料中的激发态动力学过程已经成为相关领域的研究重点。本次报告中将重点 介绍:1,量子材料中的光激发晶格动力学过程;2,纳米材料中光激发诱导的激发态电荷动力学。这些工作对新型纳米材 料中激发态性质进行了系统地探索,为新型纳米电子器件、光伏器件等应用提供了重要的理论参考。

纳米材料中的非线性光学效应在近年来引起了广泛的研究兴趣,在光学调制、传感器、激光技术和信息处理等领域提 供高度可调控和增强的性能,展现出广泛的应用潜力。报告人研究了在氮化硼中由于声子共振而诱导和增强的光学非线性 效应,观察到在谐振激发期间由于四波混频产生的高强度亚皮秒信号,此信号能够对晶体运动进行超快时间尺度的追踪, 在六方氮化硼(hBN)横向光学声子的谐振激发下,三次谐波产生效率明显增强;声子诱导的非线性增强会显著提高高次 谐波效率。

此外,电荷密度波材料 1T-TaS2 中的量子相变对不同波段的光信号具有极高灵敏响应,有望构筑高灵敏电子探测器件。 报告人揭示了光学激发能够诱发电荷密度波相产生一种新的非热晶格振动模式,并且伴随着周期性出现一个金属性质的瞬态结构。这对理解电荷密度波的形成机制和激发诱导的结构变化具有重要帮助。该工作有望促进电荷密度波材料的新一代 红外探测器中的广泛应用。

报告人简介:张进是国家纳米科学中心研究员,博士生导师;欧盟玛丽居里学者,德国洪堡学者获得者。一直致力于基于 含时密度泛函和密度泛函的理论模拟工作;并与实验展开广泛深入合作,探究纳米光电子材料、量子材料、光伏材料中的 光激发动力学及超快过程等。截至 2024 年 5 月,已经在 Nature 子刊等国际重要期刊上发表学术论文近 50 篇。其中以 第一作者或者通讯作者发表 25 篇重要文章,包括 Nature Materials (1 篇)、 Nature Communications (1 篇)、 Advanced Materials (3 篇)、Nano Letters (10 篇)、PNAS(1 篇)、 Angew. Chem. Int. Ed (1 篇)、J. Am. Chem. Soc. (1 篇)、Advanced Science (1 篇)、ACS Nano (1 篇)、J. Phys. Chem. Lett. (3 篇)等。总引用 4000 多次 (Google Scholar),H因子为 26。

获奖及荣誉: 欧盟玛丽居里学者 (2020), 德国洪堡学者 (2020)

研究领域: 含时密度泛函理论; 第一性原理计算; 晶格动力学; 激发态动力学; 纳米材料

基于超强激光的大角动量粒子源产生机理研究

弯峰, 栗建兴

西安交通大学,物理学院

Email: wanfeng@xjtu.edu.cn

摘要:具备角动量的粒子束是探索核物理、粒子物理以及验证标准模型等基础物理问题的重要探针,同时在材料损伤检测、磁性材料探测、生物制药等领域也具有广泛的应用前景。超强激光技术的发展为利用强场 QED 过程产生强束流、具备大角动量的粒子源提供了可能,本报告将从涡旋粒子束的产生与应用、偏振伽马光源产生、极化正负电子源产生等方面介绍 课题组近两年研究进展,相关研究成果有望促进角动量粒子源的产生以及相关应用。

相对论激光与固体表面相互作用产生孤立阿秒脉冲

李博原, 刘峰, 陈民

激光等离子体教育部重点实验室, 上海交通大学物理与天文学院, 上海

Email: liby1990@sjtu.edu.cn

摘要:通过激光与物质相互作用产生高次谐波是获得阿秒脉冲的主要手段。中等强度激光可以与气体相互作用产生气体高 次谐波,相对论强度激光可以与固体相互作用产生固体表面高次谐波。尽管后者具有极高的单发亮度,然而由于超强超短 激光的脉冲宽度、载波包络相位不易控制等特点,通过固体表面高次谐波获得孤立阿秒脉冲比较困难。我们近期研究表明, 通过预脉冲激光调控固体表面等离子体分布,可以控制高次谐波在不同激光周期内的产生机制。由于相干同步辐射(CSE) 的辐射强度远高于相对论振荡镜机制(ROM),可以在激光峰值周期内获得一个超强孤立阿秒脉冲。这种方法不需要对相 对论激光的脉冲宽度和载波包络相位进行超高精度控制,为利用现有高功率激光技术条件获得孤立阿秒脉冲提供了一条解 决途径。



图1调控表面预等离子体产生孤立阿秒脉冲
固体有序的超快光谱探测

汪非凡^{1,2} ¹中国科学院物理研究所,北京 ²松山湖材料实验室,东莞 Email: ffwang@iphy.ac.cn

摘要:对称性及其破缺是凝聚态物理研究的核心问题之一,它决定了固体材料的有序性及其特殊的功能应用。超短激光脉 冲的产生和新型光谱方法的发展使得人们运用非线性与超快光谱手段研究材料有序性(包括晶格有序、电荷有序、磁有序 甚至时间有序等)及其动力学行为成为可能。该方面的研究对揭示超导、铁磁、铁电、光电等的微观机理和实现相应器件 的超快调控至关重要。在此报告中,我将介绍报告人在该领域中的前期工作和最新进展,包括:(1)运用相干声子和太赫 兹光谱方法研究二维材料中电声子耦合与激发态声子,揭示固体材料具有优异光电性能的原因;(2)利用新型二维光克尔 光谱技术探测各向异性晶体的近带边四波混频,用光学方法定量描述固体结构相变;(3)发展非线性光学及显微技术揭示 极性金属和非中心对称超导体中的对称破缺及隐藏相。

关键词: 超快与非线性光谱, 对称破却, 二维光谱, 太赫兹, 超导

报告人简介: 汪非凡, 阿秒科学中心特聘研究员。2012 年获得山东大学学士学位; 2017 年获得北京大学博士学位; 2017-2021 年、2021-2023 年先后在美国哥伦比亚大学、瑞士苏黎世联邦理工学院从事博士后研究。2023 年 10 月加入中国科学院物理研究所、松山湖材料实验室阿秒科学中心。在 Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A、J. Am. Chem. Soc.、Angew. Chem. Int. Ed.、Adv. Mater.、ACS Cent. Sci.、Science Advances、Nature Chemistry 等杂志发表论文 20 余篇, 撰写书籍章节 1 章, 授权发明专利 1 项。荣获瑞士 ETH Career Seed Award (2022)等荣誉。多次担任国际会议(如德国物理年会 DPG Dresden 2022)分会主席和 Science Advances 等杂志的独立审稿人。

主要研究方向:短脉冲强光场作用下的非平衡物态研究是超快物质科学领域的前沿方向之一,也是新一代能源材料、光电 子器件、量子科技等领域发展的关键。超快和非线性光谱为这方面的研究提供了有力手段,它不仅可以揭示光与物质相互 作用的基本原理,为高效功能材料的筛选和预测提供科学依据,还可实现固体材料有序性及相关物性的超快调控,为新原 理超快响应器件的提出奠定理论基础。我们将运用超快光谱与非线性光学手段,研究铁性、光电、超导等固体材料的有序 性探测与控制,主要包括:(1)固体材料有序的光学探测与非平衡态调控(2)局域对称破却与物性探索(3)超快与非线 性光谱表征新方法

培养研究生情况: 拟每年招收博士生/硕士生 1-2 名(物理、光学、光学工程、化学,材料等)。若干实习生、博士后位置 开放申请,欢迎垂询! We are hiring! 团队成员可在北京、东莞等地先进超快光学实验平台开展研究工作,并有机会到 国际知名大学和研究机构进行学习、访问。 过去的主要工作及获得的成果

搭建飞秒泵浦探测光谱仪研究了非简谐晶格材料中由于局部铁电极化导致的缺陷容忍性,并将其拓展至非简谐二维材料体系,证明了铁电大极化子存在的可能,提出了该模型的限制条件。F. Wang, et al. PNAS 2022, 119, e2122436119;
 F. Wang, et al. JACS 2021, 143, 5 (前封面); F. Wang, et al. J. Phys. Chem. Lett. 2020, 11, 762。

2. 利用新型二维光克尔光谱技术揭示了光学各向异性固体中由于近带边相位差导致的发散性四波混频效应, 厘清了一维 光谱数据争议。F. Wang, et al. J. Phys. Chem. Lett. 2021, 12, 5016 (前封面)。

3. 发展二次谐波产生显微成像技术发现了极性金属体系和非中心对称超导体的对称性破缺及隐藏相形成。F. Wang, et al. In revision。

4. 运用太赫兹光谱和相干声子光谱方法探究了二维铁电材料中的激子--声子耦合及其相变临界点附近的动态慢化过程。F. Wang, et al. In preparation。

5. 系统研究了简并半导体材料的局域表面等离激元共振能量、吸收截面的调控方法,发现了该类材料在光活化过程中的 局域光热效应和界面能量转移增强效应。F. Wang, et al. JACS 2015, 137, 12006; F. Wang, et al. Angew. Chem. Int. Ed. 2020, 132, 8280; F. Wang, et al. Adv. Energy Mater. 2017, 7, 1700529; F. Wang, et al. Adv. Energy Mater. 2018, 8, 1800136; F. Wang, et al. Chem. Sci. 2016, 7, 6887 (前封面)。

Nonvolatile optical control of interlayer stacking order in layered materials

刘俊德¹, 刘沛², 杨柳², Sung-Hoon Lee³, 潘默君¹, 陈发民¹, 黄杰瑞¹, 江北¹, 胡明哲¹, 张羽翀¹, 谢朝阳², 王刚², 关梦雪², 蒋伟², 杨槐 馨¹, 李建奇¹, 运晨霞¹, 王秩伟², 孟胜¹, 姚裕贵², 钱天¹, 施训²

1中国科学院物理研究所,北京

²北京理工大学物理学院,北京

³Kyung Hee University, Yongin, Republic of Korea

Email: shixun@bit.edu.cn

Abstract: Strong excitation of the versatile layered materials by femtosecond laser has led to the discovery of many intriguing light-induced phenomena, providing unique optical methods for understanding and controlling the phase of matter. Among them, nonvolatile optical manipulation of material properties on demand is a highly sought-after goal. In this work [1], we investigate the laser-induced nonvolatile transition in 1T-TaS2 by combining ultrafast laser excitations, systematic ARPES characterizations, and comparative DFT calculations. Firstly, we identify the laser-induced hidden state in 1T-TaS2 as a mixed-stacking state involving two similarly low-energy interlayer orders, which is manifested as the charge density wave phase disruption. Secondly, our comparative experiments utilizing the single-pulse writing, pulse-train erasing and pulse-pair control explicitly reveal the distinct mechanism of the bidirectional transformations — the ultrafast formation of the hidden state is initiated by a coherent phonon which triggers a competition of interlayer stacking orders, while its recovery to the initial state is governed by the progressive domain coarsening. Our results elucidate the deterministic role of the competing interlayer orders in this laser manipulation and its metastability, and establish all-optical engineering of stacking orders in low-dimensional materials as a viable strategy for exploring desirable nonvolatile ultrafast transitions.

Keywords: Light-matter interaction, Low-dimensional materials, Nonvolatile transition, Electronic Structure

Reference

[1] Junde Liu, Pei Liu, Liu Yang, Sung-Hoon Lee, Mojun Pan, Famin Chen, Jierui Huang, Bei Jiang, Mingzhe Hu, Yuchong Zhang, Zhaoyang Xie, Gang Wang, Mengxue Guan, Wei Jiang, Huaixin Yang, Jianqi Li, Chenxia Yun, Zhiwei Wang, Sheng Meng, Yugui Yao, Tian Qian, Xun Shi, arXiv:2405.02831 (2024).

口头报告

杂化钙钛矿材料的改性及其光学性质研究

贺廷超 深圳大学物理与光电工程学院,深圳

Email: tche@szu.edu.cn

摘要:杂化钙钛矿材料丰富的化学和结构多样性,以及它们可调谐的带隙、大的振子强度和高效荧光发射效应使它们在光 学材料和器件中具有重要的应用前景。因此,对杂化钙钛矿材料进行改性,并研究其光学性质具有重要的科学意义和应用 价值。基于此,本报告将介绍最近我们杂化钙钛矿材料的改性及其光学性质研究方面的进展。具体内容介绍如下: (1)研 究了组分等因素对杂化钙钛矿的多光子吸收效应的影响,并探究了杂化钙钛矿材料在基于多光子吸收效应的光电探测器、 上转换受激自发辐射等方面的应用。(2)手性杂化钙钛矿的构筑与手性物理机制研究。基于理论计算和微区非线性光学系统, 探讨了二倍频圆二色效应(SHG-CD)的物理机制。(3)杂化钙钛矿材料的低温激子性质。我们利用变温荧光光谱,阐释了 组分对杂化钙钛矿的电子-声子耦合强度,激子束缚能等参数的影响。(4)杂化钙钛矿材料内的载流子动力学过程。利用飞 秒瞬态吸收光谱,我们探讨了二维钙钛矿内的能量转移效应,手性杂化钙钛矿内的自旋载流子驰豫过程。



图 1. 手性杂化钙钛矿的 SHG-CD 效应。

关键词:杂化钙钛矿,多光子吸收,手性,二倍频圆二色性,电子-声子耦合

参考文献

[1] Z. Guo, J. Li, J. Liang, C. Wang, X. Zhu, T. He, Nano Letters 22, 846(2022).

[2] Z. Guo, J. Li, R. Liu, Y. Yang, C. Wang, X. Zhu, T. He, Nano Letters 23, 7434 (2023)

[3] J. Li, Z. Guo, Y. Qin, R. Liu, Y. He, X. Zhu, F. Xu, T. He, Journal of Physical Chemistry Letters 14, 11697(2023).

[4] X. Zhang, S. Xiao, Z. Guo, B. Yuan, X. Wang, S. Zhang, Y. Shi, G. Xing, T. He, R. Chen, Journal of Physical

Chemistry Letters 14, 7581(2023).

[5] H. Wang, J. Li, H. Lu, S. Gull, T. Shao, Y. Zhang, T. He, Y. Chen, T. He, G. Long, Angewandte Chemie International Edition 135, e202309600(2023).

[6] Z. Guo, J. Li, C. Wang, R. Liu, J. Liang, Y. Gao, J. Cheng, W. Zhang, X. Zhu, R. Pan, T. He. Giant Optical Activity and Second Harmonic Generation in 2D Hybrid Copper Halides, Angewandte Chemie International Edition 60, 8441(2021).

[7] B. Liu, J. Li, G. Wang, F. Ye, H. Yan, M. Zhang, S. Dong, L. Lu, P. Huang, T. He, P. Xu, H. Kwok, G. Li, 8, eabq0138 (2022).

Revealing the Generation Mechanism of Near-Threshold Harmonics in Different Atoms

Bincheng Wang¹, Yong Fu¹, Kan Wang¹, Zhong Guan¹, and Cheng Jin^{1,2}
¹ Experimental Teaching Center of Physics and Department of Applied Physics, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu, China
² MIIT Key Laboratory of Semiconductor Microstructure and Quantum Sensing, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu, China Email: wangbincheng@njust.edu.cn

Abstract: We present an investigation of the near-threshold harmonics (NTH) generation mechanisms in different atoms and laser parameters. Using the three-dimensional time-dependent Schordinger equation, we discover two distinct types of NTH: one exhibiting a noticeable energy shift correlating with the laser wavelength (NTH 1), and another with a fixed photon energy (NTH 2). To gain deeper insights, we develop an expanded Quantum Trajectory Monte Carlo model and identify three quantum trajectories: TRA 1, 2, and 3. TRA 1 and TRA 3 generate NTH 1 and NTH 2, respectively, while TRA 2 serves as a transitional state capable of generating both types simultaneously. In varying laser parameters, TRA 1 behaves similarly to continuous states, while TRA 3 resembles Rydberg states, revealing the connections between the quantum trajectories and excited states. This research significantly enhances our understanding of NTH generation and offers valuable insights for investigating the structure and ultrafast dynamics of Rydberg states using NTH in future experiments.



FIG. 1: (a) The amplitude of the each trajectory as a function of time. N is the number of each trajectory. The

colorbar shows the normalized amplitude. (b) The phase of the each trajectory as a function of time. The colorbar shows the phase as a unit of rad. (c) The calculated NTH spectra when including all trajectories (red) and valid trajectories (blue). (d)-(f) The typical valid trajectories in NTH generation based on QTMC model. (g)-

(i) The wavelength dependence of NTH corresponding to valid trajectory.

We select some specific trajectories named "valid trajectories" to investigate the NTH generation. The valid trajectories can be classified into three groups based on their motion characteristics. TRA 1 is defined as the trajectory where the closest distance to the core is less than 1 a.u. TRA 2 represents trajectories where the closest distance is greater than 1 a.u. but less than 5 a.u., while TRA 3 refers to trajectories with a closest distance greater than 5 a.u. but less than 10 a.u. The selection of the minimum (maximum) distances depends on the motion of the electron influenced by electric field force and Coulomb force. Figures. 1(d)-(f) show the typical examples of TRA 1, 2, 3, respectively (with the black point (0,0) indicating the position of the core). In Figure 1(d), TRA 1 starts far from the core and recollides with the parent core when the laser field changes its polarity, displaying a normal recollision trajectory. On the contrary, in Figure. 1(f), TRA 3 exhibits an orbiting trajectory: it does not recollide with the core but instead circles around the core under the influence of the Coulomb potential. In the case of TRA 2, it also starts far from the core and under the combined effect of the laser electric field and the atomic potential, the electron approaches the parent core. When the electron comes close to the core, its behavior resembles that of a recollision trajectory. However, the electron passes by the core and then continues circling around it. Therefore, TRA 2 exhibits characteristics of both TRA 1 and 2 simultaneously. Figures. 1(g)-(i) illustrate the wavelength dependence of NTH corresponding to TRA 1, 2, and 3. It can be observed that when NTH is solely generated from TRA 1, its wavelength dependence resembles that of NTH 1, which exhibits a significant energy shift with changing laser wavelength. Conversely, when TRA 3 dominates the NTH generation, the wavelength dependence aligns with NTH 2, displaying a fixed energy range while the laser wavelength varies. In the case of TRA 2, as discussed earlier, it possesses characteristics of both TRA 1 and 3, resulting in NTH generated from TRA 2 exhibiting wavelength dependencies similar to both NTH 1 and 2. Based on these findings, it indicates that NTH 1 mainly arises from the recollision behavior of the electron, similar to above-threshold harmonics, and NTH 2 is generated from the behavior of the electron circling around the core, which, according to previous research[1], is associated with Rydberg states.

Keywords: High order harmonic, Near-threshold harmonic, Quantum Trajectory Monte Carlo Model

Reference

[1] W. H. Xiong, J. W. Geng, J. Y. Tang, L. Y. Peng, and Q. Gong, Phys. Rev. Lett. 112, 233001 (2014).

[2] M. Chini, X. Wang, Y. Cheng, H. Wang, Y. Wu et al. Nat. Photonics 8, 437 (2014).

专题九:博士生论坛

激光电离透明固体电介质产生太赫兹辐射

陈宇轩¹,何宇航¹,戴辰股¹,喇向宇¹,田震¹,戴建明¹

1天津大学太赫兹波中心,天津

Email: jianmingdai@tju.edu.cn

摘要: 超短脉冲激光与固体介电材料的相互作用过程是先进微纳加工制造领域的技术核心之一[1]。超短脉冲激光对固体材料的电离和烧蚀过程总是伴随着多种复杂的物理过程,如荧光发射,谐波产生,以及太赫兹波辐射[2]。对激光电离透明固体电介质产生太赫兹辐射的研究可以增进对激光与固体相互作用的理解,并且可以应用于间接监测超快激光的烧蚀过程。

实验中,我们以熔融石英(fused silica, FS)、BK7 和 K9 玻璃为样品,研究了由非相对论光强亚皮秒激光脉冲电离 透明固体电介质产生的太赫兹波。实验装置如图 1 (a)所示,激光束由一个 2 英寸焦距的抛物面镜聚焦,斜入射进入 2 mm 厚度的 FS 片中。激光电离 FS 片产生的太赫兹波由抛物面镜收集,并由 1 mm 厚的 ZnTe 晶体通过电光采样探测。如图 1 (b)所示,太赫兹波峰值振幅和激光入射角的相关性本质上是一个奇函数,对于相反方向的激光入射角,太赫兹波的强度几 乎相同,而太赫兹波电场的极性是相反的。当激光垂直入射到 FS 片时(对应入射角为 0°),在激光传播方向上只能探测到 非常小的太赫兹波信号。太赫兹波峰值振幅随激光入射角偏离 0°增加,在激光入射角为 55°左右时达到最大值。因此,激 光电离透明电介质产生太赫兹波的过程可以归因于有质动力诱导的偶极子辐射。图 1 (b)和(c)将 FS、BK7 和 K9 玻璃平板 中产生的太赫兹波形和频谱与单色激光诱导的空气等离子中的太赫兹波进行了比较。500 fs 激光脉冲照射下 FS 片发射的 太赫兹波的峰值幅度约为从 90 fs 激光脉冲诱导的空气等离子体中发射的太赫兹波的 10 倍。而从 BK7 和 K9 玻璃中发射的 太赫兹波甚至比从空气等离子体中发射的更弱,因为这些玻璃材料中对太赫兹波的吸收严重削弱了透射的太赫兹波的强度。



图 1. (a) 实验装置图, PM: 抛物面镜 (b) 太赫兹波辐射峰值振幅和激光入射角的关系, (c) 激光电离 FS、空气、BK7 和 K9 玻璃产生的太赫兹波形, (d) 激光电的 FS、空气、BK7 和 K9 玻璃产生的太赫兹波傅里叶变换频谱。

关键词: 太赫兹波, 激光诱导等离子体, 太赫兹辐射源

资助项目:国家自然科学基金(No. 62075157, 62375199)

参考文献

[1] Perry, M. D., Stuart, B. C., Banks, P. S., Feit, M. D., Yanovsky, V., & Rubenchik, A. M. "Ultrashort-pulse laser machining of dielectric materials," J. Appl. Phys. 85(9), 6803-6810 (1999)

[2] Yuxuan Chen, Yuhang He, Chenyin Dai, Xiangyu La, Zhen Tian, Jianming Dai "Coherent terahertz wave emission from laser-induced plasma in isotropic transparent solid dielectrics," Chin. Opt. Lett. 22(7), 073701 (2024)

基于级联脉冲内差频的超宽带中红外脉冲产生

冯通宇^{1,2}、袁浩^{1,2}、付玉喜^{1,2}

1中国科学院西安光学精密机械研究所,阿秒科学与技术研究中心,西安

²中国科学院大学,北京

Email: fengtongyu@opt.ac.cn

摘要: 少周期飞秒激光驱动的气体高次谐波过程是目前产生孤立阿秒光脉冲的主要手段[1]。载波包络相位(Carrierenvelope phase, CEP)稳定的驱动激光有利于获得稳定的孤立阿秒光脉冲。脉冲内差频技术(Intra-pulse difference frequency generation, IP-DFG)因其闲频光 CEP 被动稳定的特点,被广泛应用于近单周期中红外激光的种子光产生[2]。 然而,非线性晶体相位匹配带宽的限制与宽带驱动脉冲的群延时走离限制了闲频光的光谱带宽。针对此问题,本文提出了 基于啁啾控制的级联脉冲内差频方案,通过对驱动脉冲的精确色散控制,并采用多块不同增益带宽的非线性晶体,克服了 单块非线性晶体相位匹配带宽的限制及超连续谱驱动脉冲时域走离的影响,显著拓宽了闲频光的带宽。



图 1. 实验光路示意图。

钛宝石激光首先通过薄片组后压缩系统,产生光谱覆盖 500 nm~1000 nm (-20dB)的超连续谱,超连续谱经过色散 补偿后作为脉冲内差频的驱动脉冲,分别在三硼酸铋 (BiBO)、β-硼酸钡 (BBO)和掺氧化镁铌酸锂 (MgO: LiNbO3) 晶体中差频得到了中红外闲频光 (1.1~2.5 μm、2.7~3.7 μm 和 2.5~4.2 μm)。为了充分利用多块非线性晶体的相位匹配 带宽,我们根据驱动脉冲不同光谱成分在非线性晶体中的时间走离过程,设计非线性晶体的厚度,并对驱动激光精确过量 补偿负色散,实现在多块晶体中的级联脉冲内差频,获得了超宽带的闲频光。在实验中,我们采用 0.4 mm 的 BBO 晶体 和 0.4 mm 的 BiBO 晶体成功产生了覆盖 1.1~3.7 μm 的超宽带闲频光,经计算该光谱可以支持亚周期量级 (5.6 fs)的脉 冲宽度。我们的研究表明,该技术可以获得超宽带 CEP 稳定闲频光,为亚周期量级参量系统提供了理想的种子光脉冲。

关键词:脉冲内差频,啁啾控制,载波包络相位,中红外

参考文献

[1] Y. Fu, K. Nishimura, R. Shao, A. Suda, K. Midorikawa, P. Lan, and E. J. Takahashi, Commun. Phys. 3, 92 (2020).

[2] H. Fattahi, A. Schwarz, S. Keiber and N. Karpowicz, Opt. Lett. 4216-9 (2013).

利用具有频谱极小值的阿秒脉冲调控原子法诺线型

傅勇¹、金成¹

1南京理工大学物理学院,南京

Email: yongfu@njust.edu.cn

摘要:法诺共振发生在连续态嵌入并耦合到连续态的动力学过程,并形成不对称的法诺线型。近些年来,原子法诺共振动 力学及其红外激光(IR)控制得到了广泛的研究,并且通过 IR 控制离散态和连续态之间的相位,可以将不对称的法诺线 形状转变为对称的洛伦兹线型[1]。

我们利用具有频谱极小值且时域上劈裂的 XUV 脉冲作为泵浦光来激发氦原子,并用波长为 540nm 的 IR 耦合 2s2p 和 2s2 态。又在保持 IR 参数不变的情况下,使用高斯 XUV 作为泵浦光,并对比以上两种情况的阿秒瞬态吸收谱(ATAS)。结果显示,高斯 XUV 脉冲的吸收谱随时延的变化比较缓慢;而劈裂的 XUV 脉冲的吸收谱随时延显示出 IR 半光周期的快速振荡,且在一些特定的时延上呈现出对称的洛伦兹线型。这是由于 2s2p 和 2s2 态在泵浦过程的布居变化不同导致的:当使用这一劈裂的 XUV 脉冲泵浦时,2s2p 的布居数在泵浦过程存在一个快速下降的阶段,并导致 2s2p 与 2s2 发生布居反转,最终影响谱线[2]。

这一工作有望提供一个新的思路在阿秒的时间尺度上控制电子动力学:即利用阿秒脉冲自身的结构来调控泵浦过程, 从而控制相应的动力学过程及其谱线。



图 1. 两种 XUV 的 ATAS 以及泵浦过程中的布居数演化

关键词: 双激发态, 法诺线型, 阿秒瞬态吸收谱, 频谱极小值

参考文献

[1] C. Ott et al., Science 340, 716 (2013).

[2] Yong Fu et al., PNAS 121(2), e2307836121 (2024).

T-MoTe2激光诱导相干剪切声子的温度调控

高文莉^{1,4},张永朝¹,朱开心^{1,2},汪文韬^{1,2},田焕芳¹,杨槐馨^{1,2},孙帅帅^{1,3},李建奇^{1,2,3}

¹中国科学院物理研究所,北京 ²中国科学院大学物理科学学院,北京 ³松山湖材料实验室,东莞 ⁴西北大学物理学院,西安

Email: gaowenli@iphy.ac.cn

摘要:在层状范德瓦尔斯 (van der Waals, vdW) 材料中,通过控制层间的堆叠方式可以改变其电子性质,进而出现多 种新奇的量子现象[1-3]。激光诱导的相干声子在调控材料的晶格结构甚至堆垛方式上发挥着重要作用。飞秒激光激发可以 控制 Td 相 MoTe₂的堆叠序列,进而改变其能带结构,促使 Weyl 点在激光作用下被湮灭,是光控纳米开关器件的候选材 料[4]。本研究在八面体配位的 MoTe₂材料中,通过超快电子衍射、超快暗场像技术直接观测到不同堆垛方式下相干剪切 声子模式的改变。在 96 K 低温下八面体配位的 MoTe₂为正交的 Td 相,用 515 nm 的飞秒激光激发产生了一个约 0.37 THz 的层间光学剪切声子(图 1a、b),沿 b 轴方向的剪切运动促使材料形成一个中心对称的堆叠序列 T*相[5]。在 294 K 高温下八面体配位的 MoTe₂为单斜的 T^{*}相,飞秒激光激发了频率分别为 13.5 GHz (TA)和 39 GHz (LA)的层间声学剪切声 子和呼吸声子(图 1c、d)。LA 声子代表了在薄膜材料中常见的声学呼吸模式[6],在Td和 1T^{*}相均可以被激发;相比之下, TA 声子只能在T^{*}相中被检测到。我们的实验结果显示,Td 相存在光学剪切模式,T^{*}相存在声学剪切模式,据此可以用来 表征材料中的结构相变(图 1e)。本工作通过超快电子显微技术,直接观测了由温度调控二维纳米材料层间堆垛变化所引起 的光致相干声子模式改变。



图 1. T-MoTe₂中激光激发相干剪切声子。(a) Td 相中光学剪切模式的衍射强度振荡和对应的 FFT(b); (c)T'相中声学剪切 和呼吸模式的衍射强度振荡和 对应的 FFT(d),声学剪切模式只能在 k≠0 的 Bragg 峰中检测到,这也通过暗场像中弯曲 条纹的运动进行了交叉检验; (e)光学和声学剪切模式振幅的温度依赖曲线, 其转变温度区间与热相变温度一致。

关键词: T-MoTe₂, 超快透射电子显微镜 (UTEM), 相干声子, 堆垛序列, 结构相变

参考文献

[1] A. L. Sharpe et al., Emergent ferromagnetism near three-quarters filling in twisted bilayer graphene, Science 365, 605 (2019).

[2] Z. D. Song et al., All Magic Angles in Twisted Bilayer Graphene are Topological, Phys. Rev. Lett. 123, 6, 036401 (2019).

[3] Y. Cao et al., Unconventional superconductivity in magic-angle graphene superlattices, Nature 556, 43 (2018).

[4] E. J. Sie et al., An ultrafast symmetry switch in a Weyl semimetal, Nature 565, 61 (2019).

[5] S. Z. Ji et al., Manipulation of Stacking Order in Td-WTe2 by Ultrafast Optical Excitation, ACS Nano 15, 8826 (2021).

[6] Y. Z. Zhang et al., Inhomogeneous excitation-regulated coherent strain wave in 2H-MoTe2 revealed by ultrafast electron microscopy, Phys. Rev. B 108, 9, 245426 (2023).

双色场激发石墨烯产生太赫兹波辐射偏振的相干调控

何宇航¹,陈宇轩¹,喇向宇¹,戴辰股¹,田震¹,戴建明^{1*}
¹天津大学精密仪器与光电子工程学院太赫兹研究中心,天津
*Email:jianmingdai@tju.edu.cn

摘要:作为一种典型的二维材料,石墨烯具有优异的非线性性能。石墨烯因其独特的狄拉克锥能带结构使得其与超快激光 相互作用产生的光电流具有重要的研究意义[1]。在双色激光场的激发下,石墨烯材料中可以通过量子相干(Quantum Interference)效应诱导相干光电流的产生,并向外辐射出太赫兹波。通过量子相干效应诱导的光电流可以通过两个激光 脉冲之间的相对相位来控制,相关工作在共线偏振双色场激发掺杂石墨烯中得到了证明[2]。此外,最近相关理论研究预测 了共圆偏振光激发石墨烯可以通过相对相位对产生光电流的方向,即太赫兹波辐射的偏振方向进行任意调控[3]。然而,在 石墨烯中相关的实验研究仍然缺乏。如图 1 (a)所示,实验中利用共圆偏振的双色场正入射激发石墨烯材料,并且整个实 验在干燥的氮气环境中进行。图 1 (a) 中的圆环代表了双色场激发石墨烯由于量子相干效应导致载流子在动量空间的不对 称分布。非对称的载流子密度分布能够产生瞬态光电流,这也是石墨烯中产生太赫兹波辐射的物理机制。在实验中利用太 赫兹偏振片可以分别测量石墨烯中产生太赫兹波辐射的两个分量。如图 1 (b)所示,实验中分别测量了当共圆偏振双色场 之间的相对相位分别为 0 以及 π/2 时的太赫兹波时域波形。为了研究石墨烯中产生太赫兹波辐射的偏振特性,需要对产生 太赫兹波辐射的两个分量在空间上进行合成。图 1 (b)的实验合成结果表明了石墨烯在共圆偏振光激发时产生太赫兹波辐 射的偏振近似为线偏振 (图 1 (b)在黑色虚线圈中的投影)。此外,图 1 (b)也表明通过简单地改变相对相位可以控制石 墨烯中产生太赫兹波辐射的偏振方向。这项工作不仅揭示了石墨烯中太赫兹波辐射偏振的相干调控,也推进了石墨烯在太 赫兹光子学中的基础研究。

图 1. (a) 共圆偏振双色场激发石墨烯产生光电流的示意图; (b) 当相对相位固定在 0 和 π/2 时, 共圆偏振双色场激发石



墨烯产生太赫兹波辐射偏振的空间合成结果。

关键词: 双色场, 石墨烯, 太赫兹波辐射偏振, 相干调控

资助项目: National Science Foundation of China (NSFC) (No. 62375199, 62075157, 62235013), Tianjin

Municipal Fund for Distinguished Young Scholars (Grant No. 20JCJQJC00190), and Key Fund of Shenzhen Natural Science Foundation (Grant No. JCYJ20200109150212515).

参考文献

[1] T. Higuchi, C. Heide, K. Ullmann, H. B. Weber, and P. Hommelhoff, Nature 550, 224 (2017).

[2] D. Sun, C. Divin, J. Rioux, J. E. Sipe, C. Berger, W. A. de Heer, P. N. First, and T. B. Norris, Nano Lett 10, 1293 (2010).

[3] J. Rioux, G. Burkard, and J. E. Sipe, Phys Rev B 83, 195406 (2011).

室温激子极化激元全光时域逻辑门

贾浩远¹,陈飞¹,陈张海²,李辉¹,吴健¹

1华东师范大学,上海

2厦门大学,福建

Email: 52270920025@stu.ecnu.edu.cn

摘要:激子极化激元作为半导体激子和微腔光子强耦合形成的一种半光半物质的准粒子,是一种玻色子,有着极轻的有效 质量和较强的非线性相互作用,能够在高温下形成非平衡态的玻色爱因斯坦凝聚。近年来人们基于这种准粒子的独特物理 性质,已经发展了众多非线性微纳器件,如极低阈值激射光源、超快开关、逻辑门等。以往激子极化激元逻辑门的实现往 往是通过激子极化激元流体的空间传播实现的,这对微腔的制备工艺要求较高,同时操作较为复杂。针对此问题,我们采 用共线双脉冲激发,结合自主发展的飞秒角分辨微区光谱成像技术,基于激子极化激元玻色级联和受激放大等效应,实现 了激子极化激元时域与、或、非逻辑门功能[1]。其中,时域非门能够达到目前领域内最快的响应时间(~80fs)。这是室温 下以激子极化激元为载体的全套时域逻辑门功能的首次实现。本工作开辟了时间调控新维度,在超快调控、器件集成化以 及和其他维度兼容控制等方面保持优势,能够极大拓展信息处理速度和存储容量,展现了基于光与物质相互作用构建激子 极化激元逻辑体系的发展前景。



图 1. 激子极化激元全光时域逻辑门示意图

关键词: 激子极化激元, 时域逻辑门

参考文献

[1] H. Li, F. Chen, H. Jia, et al., Nat. Photon. (2024) in press.

基于太赫兹近场成像系统的大尺寸消色差超透镜表征

江晓强,范文慧*,陈徐,闫慧,秦冲,吴奇,俱沛 中国科学院西安光学精密机械研究所 * Email: fanwh@opt.ac.cn

摘要:虽然基于亚波长超构单元的超透镜在内窥镜和片上器件等光学微系统领域已展现出重要的应用价值,但是对于远场 成像等更为广阔的实际应用仍面临透镜尺寸较小导致成像面积不足且难以与目前光学系统有效匹配等问题。因此,本研究 基于离散多波长消色差超透镜设计方法,结合粒子群算法对不同采样频率的聚焦相位进行全局优化,设计并采用深硅刻蚀 工艺加工制备了直径 2.2 cm、工作频率 0.8 - 1.2 THz 的大尺寸偏振无关消色差超透镜。为表征超透镜的实际工作性能, 基于超快太赫兹近场成像系统对其宽频带消色差性能进行了实验测试。该系统采用飞秒激光为泵浦源激励光电导天线产生 超短脉冲太赫兹波,并通过近场探针实现太赫兹时域信号采集。实验测得超透镜的平均焦距为 8.2 cm,对应数值孔径为 0.13,消色差离焦系数为 2.6%。本研究设计制备的大尺寸消色差超透镜有望替代结构复杂且体积庞大的传统太赫兹透镜, 促进太赫兹成像及通信系统的轻量化和集成化。

利用磁动力学测量 Kitaev 候选材料 Na2Co2TeO6 的自旋能隙

蒋心怡^{1*}, 仇清正^{1*}, Cheng Peng², Hoyoung Jang^{3, 4}, 陈文杰¹, 金香红¹, 岳莉¹, Byungjune Lee⁵, Sang-Youn Park³,
Minseok Kim³, Hyeong-Do Kim³, 蔡新强¹, 李齐治¹, 董涛¹, 王楠林^{1, 6}, Joshua J. Turne^{r,2, 7}, 李源^{1, 6}, 王耀⁸, 彭莹莹^{1, 6}
¹北京大学物理学院量子材料科学中心, 北京
²斯坦福材料与能源科学研究所, SLAC 国家加速器实验室, 美国加州
³浦项加速器实验室 PAL-XFEL, 韩国浦项
⁴浦项科技大学光子科学中心, 韩国浦项
⁶量子物质协同创新中心, 北京
⁷SLAC 国家加速器实验室, 美国加州
⁸埃默里大学化学系,美国亚特兰大
Email: jxy@stu.pku.edu.cn

摘要:在凝聚态物理中,理解强关联系统中的纠缠自旋激发是一个长期的追求。表征小自旋能隙对于阐明低能自旋激发的 性质和解决材料中是否呈现无能隙或有能隙激发的争论至关重要[1-3]。潜在的 Kitaev 自旋液态材料被认为是实现拓扑量 子计算的关键。然而,这些 Kitaev 候选材料中复杂的自旋相互作用会使得低能自旋激发的精确测量复杂化。 Na2Co2TeO6 就是一类有望实现量子自旋液体的候选材料,它具有复杂有趣的磁相图。随着温度的降低,在 31 K 时出现 二维(2D)长程反铁磁有序相,在 26.7 K 左右出现三维(3D)磁有序相[4,5]。以该材料为例,我们利用时间分辨共振弹性 X 射线散射(tr-REXS)[6]研究了 Na2Co2TeO6 磁动力学的温度依赖性和激光通量依赖性。我们的实验结果揭示了磁峰处非 常缓慢的磁动力学,其衰减时间大约为百皮秒量级,恢复时间尺度为几纳秒。磁动力学的时间尺度比很多其他磁性材料长, 如图 1 所示。Na2Co2TeO6 的恢复时间尺度揭示着本征低能性质[7],与密度矩阵重整化模拟(DMRG)在热力学极限下 外推得到的约 1 μeV 的自旋能隙一致。这种一致性证明了 tr-REXS 在测量传统谱学实验技术无法实现的低能自旋能隙方面 的能力。这个新方法能实现前所未有的精度,有潜力探索自旋能隙大小在 0.1 到 100 μeV 之间的系统。这为表征和研究磁 性材料的量子自旋现象开辟了新的途径。



图1磁衍射峰在400 nm激发下随时间的演变

关键词:时间分辨共振 X 射线散射, Kitaev 候选材料, 自旋阻挫, 非热动力学, DMRG 模拟

参考文献

- [1] Björn Miksch et al., Science 372, 276–279 (2021).
- [2] A. Pustogow et al., Nat Commun 14, 1960 (2023).
- [3] Jiacheng Zheng et al., Phys. Rev. Lett. 119, 227208 (2017).
- [4] W. J. Chen et al., Phys. Rev. B 103, L180404 (2020).
- [5] Weiliang Yao et al., Phys. Rev. Lett. 129, 147202 (2022).
- [6] Hoyoung Jang et al., Review of Scientific Instruments 91, 083904 (2020).
- [7] Matteo Mitrano et al., Sci. Adv. 5, eaax3346 (2019).

基金:

中国科学技术部 (No: 2019YFA0308401, No: 2021YFA140190)。

国家自然科学基金项目 (No: 11974029, No: 12374143)。

基于飞秒绿光泵浦光参量振荡器的高稳定性波长宽调谐激光技术研究

靖衡¹、王上²、赵智刚^{1,2,3*},刘兆军^{1,2,3} ¹山东大学信息科学与工程学院,山东 ²山东大学激光与红外系统集成技术教育部重点实验室,山东 ³山东省激光技术与应用重点实验室,山东 Email: jinghenglpp@163.com

摘要: 650~1000 nm 范围内的高功率、高重复率飞秒激光脉冲具有广泛的应用价值,如生物光子学、时间分辨光谱学和 光频率梳等[1-3]。几种特殊的波段引起了人们的广泛关注,例如,在代谢显像中,740 nm 波长被用于辅助因子烟酰胺腺 嘌呤二核苷酸(NADH)和烟酰胺腺嘌呤二核苷酸磷酸(NADPH)的激发[4-7];在泵浦探针显微镜中,800nm 波长的激光可 以作为泵浦光源用于激发样品中的特定分子或结构[8-10];在多光子显微镜成像中,920nm 波长光子能量较低,能够穿透 更深的生物组织而不会损伤,在活体组织深层成像中发挥重要作用[11-12];上述应用不仅对激光波长提出需求,在长时间 运行中也要保持激光功率和波长的稳定性。由掺镱光纤激光器二次谐波同步泵浦的飞秒光学参量振荡器(fs-OPO),可在波 长 650~1000 nm 范围内输出瓦级功率,由于飞秒光参量振荡器要采用同步泵浦,腔长抖动对激光器的功率和波长稳定性 有很大的影响,因此限制了 fs-OPO 的广泛应用。

我们报道了基于波长锁定的同步泵浦可见光到近红外可调谐飞秒光学参量振荡系统,利用 1.6mm 长的 BBO 晶体,对 自制的飞秒光纤激光器进行倍频,得到重复频率 100MHz,平均功率 6.6W 的飞秒绿光,使用倍频后的 520nm 绿光泵浦 LBO-OPO。该系统输出信号光波长的调谐范围为 650~980nm,信号光输出最高平均功率为 1.8W,相应的转换效率为 27.3%。在高功率输出下利用不同波长对腔长的灵敏度不同,实现了对功率峰值点的锁定。该系统利用波长锁定装置能够 在信号光调谐范围内任意波长锁定,本文就生物光子成像常用波段 740nm、800nm、920nm 进行锁定,分别测试了输出 光谱和功率在 1h 内的稳定性,其中功率稳定性 RMS 分别为 1.6%,0.5%,1.6%,用高对比度自相关仪(107)测量其脉 冲宽度分别为 630fs,139fs,182fs。

关键词:非线性频率变换,光学参量振荡器,波长锁定,同步泵浦,波长可调谐

参考文献

M. Drescher, M. Hentschel, R. Kienberger, M. Uiberacker, V. Yakovlev, A. Scrinzi, T. Westerwalbesloh, U. Kleineberg, U. Heinzmann, and F. Krausz, "Time-resolved atomic inner-shell spectroscopy," NATURE 419, 803-807 (2002).

[2] S. H. Chung, and E. Mazur, "Surgical applications of femtosecond lasers," J BIOPHOTONICS 2, 557-572 (2009).

[3] S. Ren, Y. Wang, X. Su, SCIENCE CHINA Inf. Sci. 65, 200502 (2022). A. Schliesser, N. Picqué, and T. W. Hänsch, "Mid-infrared frequency combs," NAT PHOTONICS 6, 440-449 (2012).

[4] C. Stringari, A. Cinquin, O. Cinquin, M. A. Digman, P. J. Donovan, and E. Gratton, "Phasor approach to fluorescence lifetime microscopy distinguishes different metabolic states of germ cells in a live tissue,"Proceedings of the National Academy of Sciences 108, 13582-13587 (2011).

[5] C. Stringari, J. L. Nourse, L. A. Flanagan, and E. Gratton, "Phasor fluorescence lifetime microscopy of free and protein-bound NADH reveals neural stem cell differentiation potential," PLOS ONE 7, e48014(2012).

[6] S. Ranjit, R. Datta, A. Dvornikov, and E. Gratton, "Multicomponent Analysis of Phasor Plot in a SinglePixel to Calculate Changes of Metabolic Trajectory in Biological Systems," The Journal of PhysicalChemistry A 123, 9865-9873 (2019).

[7] F. Azzarello, L. Pesce, V. De Lorenzi, G. Ferri, M. Tesi, G. S. Del, P. Marchetti, and F. Cardarelli,"Single-cell imaging of alpha and beta cell metabolic response to glucose in living human Langerhans islets,"COMMUN BIOL 5, 1232 (2022).

[8] S. Espinoza, S. Richter, M. Rebarz, O. Herrfurth, R. Schmidt-Grund, J. Andreasson, and S.Zollner,"Transient dielectric functions of Ge, Si, and InP from femtosecond pump-probe ellipsometry," APPL PHYS LETT 115 (2019).

[9] J. Li, R. Yang, Y. Rho, P. Ci, M. Eliceiri, H. K. Park, J. Wu, and C. P. Grigoropoulos, "Ultrafast Optical Nanoscopy of Carrier Dynamics in Silicon Nanowires," NANO LETT 23, 1445-1450 (2023).

[10] R. Yang, J. Li, and C. P. Grigoropoulos, "Numerical Study of Carrier Dynamics in Pump–Probe Near-Field Nanoscopy," The Journal of Physical Chemistry C 128, 261-267 (2024).

[11] R. Fu, Y. Qu, M. Xue, X. Liu, S. Chen, Y. Zhao, R. Chen, B. Li, H. Weng, Q. Liu, Q. Dai, and J. Chen, "Manipulating hyperbolic transient plasmons in a layered semiconductor," NAT COMMUN 15, 709 (2024).

[12] T. Wang, and C. Xu, "Three-photon neuronal imaging in deep mouse brain," OPTICA 7, 947 (2020).

Co₂FeAl/n-GaAs 异质结在 GaAs 带边激发下的磁阻尼增强

孔崇滔^{1,2}, 宋琳^{1,2}, 赵旭鹏^{1,2}, 王海龙^{1,2}, 赵建华^{1,2}, 袁国栋^{1,2}, 张新惠^{1,2}

1中国科学院半导体研究所,北京

²中国科学院大学,北京

Email: ctkong2022@semi.ac.cn

摘要:铁磁体/半导体 (FM/SC) 异质结中的自旋超快操控是推动自旋电子学发展的关键问题,低磁阻尼和优良界面自旋 输运对提高器件效率至关重要。Co 基 Heusler 铁磁合金具有远高于室温的居里温度、高自旋极化度和低磁阻尼等优良性 质,且与传统半导体 GaAs 有良好晶格匹配,非常适合用作自旋注入源。半导体中与其能带相关的波长选择性光激发,为 铁磁体/半导体异质结中的自旋操纵提供了一种独特方法。本工作利用时间分辨磁光克尔技术研究了分子束外延技术制备的 Co₂FeAl/n-GaAs 异质结中的磁动力学与自旋泵浦效应。我们观察到 Co₂FeAl 的磁阻尼在 GaAs 带边附近共振激发下显著 增强,这一现象归因于 Co₂FeAl 层中自旋相关的载流子隧穿和捕获,从而增强了自旋角动量转移和自旋泵浦效应,使得磁 阻尼增大。进一步地,我们利用 GaAs 带边的圆偏振光共振激发,发现由此产生的自旋极化光生载流子,通过对 Co₂FeAl 的磁矩施加一个额外的光生自旋转移矩,可进一步调控 Co₂FeAl 的磁阻尼。我们的研究结果为操控 FM/SC 异质结中的自 旋泵浦和界面自旋输运提供了有价值的基础参考,展示了半导体中的光激发载流子在超快操控磁动力学和界面自旋传输方 面的优势。



图 1. (a) 泵浦-探测实验配置示意图; (b) 10 K 下, GaAs 带边(816 nm)不同偏振光激发下 Co2FeAl 的磁化进动响应, 红色实线代表拟合曲线; (c) Co2FeAl 的本征磁阻尼随光泵浦波长和偏振态的变化。

关键词: Heusler 铁磁合金,时间分辨磁光克尔技术,磁阻尼,自旋泵浦效应,光生自旋转移矩

参考文献

[1] Tserkovnyak, Y.; Brataas, A.; Bauer, G. E. W. Enhanced Gilbert Damping in Thin Ferromagnetic Films. Phys. Rev. Lett., 88 (11), No. 117601 (2002).

[2] Tserkovnyak, Y.; Brataas, A.; Bauer, G. E. W. Spin pumping and magnetization dynamics in metallic

multilayers. Phys. Rev. B, 66 (22), No. 224403 (2002).

[3] Tserkovnyak, Y.; Brataas, A.; Bauer, G. E. W.; Halperin, B. I. Nonlocal magnetization dynamics in ferromagnetic heterostructures. Rev. Mod. Phys.,77 (4), 1375–1421 (2005,).

[4] Ciuti, C.; McGuire, J. P.; Sham, L. J. Spin Polarization of Semiconductor Carriers by Reflection off a Ferromagnet. Phys. Rev. Lett., 89 (15), No. 156601 (2002).

[5] Akimov, I. A.; Korenev, V. L.; Sapega, V. F.; Langer, L.; Zaitsev, S. V.; Danilov, Y. A.; Yakovlev, D. R.; Bayer,

M. Orientation of electron spins in hybrid ferromagnet-semiconductor nanostructures. Physica Status Solidi (b), 251 (9), 1663–1672 (2014).

[6] Němec, P.; Rozkotová, E.; Tesařová, N.; Trojánek, F.; De Ranieri, E.; Olejník, K.; Zemen, J.; Novák, V.; Cukr,
M.; Malý, P.; Jungwirth, T., Experimental observation of the optical spin transfer torque. Nature Physics, 8 (5),
411-415 (2012).

高功率百 kHz 重复频率 Yb:YAG 薄片再生放大器

雷希音^{1,2}, 戴隆辉¹, 刘锐¹, 李想¹, 滕飞¹, 吕起鹏¹,

李刚¹*,金玉奇¹ ¹中国科学院大连化学物理研究所,辽宁 ²中国科学院大学,北京 Email: leixiyin@dicp.ac.cn

摘要: 高功率高重复频率 ps 激光器在 EUV 光源锡滴预处理[1]、第三代飞秒激光器泵浦源[2]和高精度材料加工[3]等领域 有重要应用价值,目前,商用超快激光器的平均输出功率通常为百瓦量级,单脉冲能量为几十微焦。然而,阿秒科学和前 沿工业应用在需求百瓦至千瓦平均输出功率的同时要求毫焦级的单脉冲能量[4]。为实现这一指标,常用的技术路线包括光 纤激光器、板条激光器和薄片激光器。其中,薄片增益介质具有轴向热畸变小以及低非线性效应的优势,有利于同时实现 高重复频率、大能量、高光束质量的激光输出。

基于自主研制的 Yb:YAG 72 通薄片泵浦模块[5-6],设计并成功搭建了 50 至 200 kHz 可调重复频率的薄片再生放大器。在实验中,选用了直径为 12.7 mm、曲率半径为 3.9 m、厚度为 100 µm 的薄片晶体。此外,种子激光器脉冲被展宽至 680 ps,重复频率在 10 至 200 kHz 范围内可调,最大单脉冲能量可达 100 µJ。再生放大谐振腔经过精心设计,确保了 在全泵浦功率范围内实现近衍射极限的放大激光输出。其中薄片晶体上基模光斑直径为 3.4 mm,总腔长 6.9 m,端镜 M10 曲率半径 4 m,其余为平面镜。

在 650 W 泵浦功率下,该薄片再生放大器在 50 kHz 重复频率时,成功实现了 312 W 的近衍射极限激光输出,脉冲宽度 为 720 ps,单脉冲能量达 6.24 mJ。 ^{M²} 和 ^{M²} 分别为 1.05 和 1.09,近场激光光斑圆度高达 91%,光光转换效率达到 48.1%。激光中心波长为 1030.8 nm,光谱宽度为 1.80 nm,支持脉宽压缩至 867 fs。据目前公开报道,这一成果在国内 薄片再生放大器领域代表了最高输出功率和光光效率。



图 1.72 通 Yb: YAG 薄片再生放大器设置示意图



图 2. 高功率薄片再生放大器输出激光参数。(a) 输出功率和光光转换效率随泵浦功率的变化; (b) 312 W@50 kHz 输出下的光束质量因子; (c) 注入种子光谱与放大激光光谱; (d) 650 W 泵浦功率下, 50/100/200 kHz 的输出脉冲序列; (e) 312W@50kHz 输出下的单个脉冲

关键词: 薄片再生放大器, 啁啾脉冲放大, 高重复频率

参考文献

[1] H. Mizoguchi, H. Nakarai, T. Abe, K. M. Nowak, Y. Kawasuji, H. Tanaka, Y. Watanabe, T. Hori, T. Kodama,Y. Shiraishi, Proceedings of the 2016 China Semiconductor Technology International Conference (CSTIC),IEEE (2016).

[2] H. Fattahi, H. G. Barros, M. Gorjan, T. Nubbemeyer, B. Alsaif, C. Y. Teisset, M. Schultze, S Prinz, M.

Haefner, M. Ueffing, Optica,: 45, 1(2014).

[3] K. Sugioka, Nanophotonics, 393, 6(2017).

[4] K. Bergner, D. Flamm, M. Jenne, M. Kumkar, A. Tünnermann, S. Nolte. Optics Express, 2873, 26(2018).

[5] L. Dai, R. Liu, X. Li, F. Gong, X. Lei, H. Li, S. Deng, Q. Lv, T. Sun, F. Teng, G. Li, Y. Jin, Optics Express, 19629, 30(2022).

[6] L. Dai, R. Liu, F. Gong, X. Li, X. Lei, L. Zheng, S. Deng, Q. Lv, T. Sun, F. Teng, G. Li, Y. Jin, Optics Express, 40739, 30(2022).

二维反铁磁材料中的电荷转移激子动力学

李元和^{1,2},梁高明^{1,2},孔崇滔^{1,2},孙宝权^{1,2},张新惠^{1,2} ¹中国科学院半导体研究所超晶格国家重点实验室,北京 ²中国科学院大学材料科学与光电技术学院,北京 Email:liyuanhe@semi.ac.cn

摘要:二维范德华反铁磁材料是一种研究新型低维磁性的优秀候选材料。最近发现了出现在二维反铁磁 NiPS3 的 Néel 温 度 150 K 以下的自旋-轨道纠缠激子束缚态(即所谓的 Zhang-Rice (ZR)激子)。该激子具有 330 µeV 超窄荧光线宽,且 具有垂直于 Néel 矢量的线偏振特性,在探索局域多体态中自旋、轨道和电荷的强关联方面引起了广泛关注。然而,ZR 激 子的形成机制尚不清楚,目前仍然缺乏超快动力学演化方面的系统性研究。本文利用宽带瞬态反射光谱,细致研究了激子 态的产生和弛豫动力学过程,发现了电荷转移态激发与 ZR 激子动力学演化之间的强相关性。通过系统地调节泵浦光子能 量横跨 NiPS3 中电荷转移态,结果发现 ZR 激子从电荷转移态发生≈2 ps 的超快电荷转移后,产生短约数十皮秒的辐射寿 命和长达纳秒的非辐射寿命。实验结果表明,共振激发 NiPS3 中电荷转移态能够快速、高效地产生 ZR 激子,并且能够调 控非辐射寿命的时间和占比。这些发现为 NiPS3 中电荷转移诱导的 ZR 激子态提供了证据,从而可以探索强关联自旋和电 荷的有趣现象。



图 1. 不同泵浦光激发下激子弛豫过程, 电荷转移态激发激子的效率更高。



图 2. 不同泵浦光激发下激子超快产生时间, 电荷转移态激发产生激子所需时间更短。

关键词:反铁磁,宽带瞬态反射谱,电荷转移态,Zhang-Rice单态,Zhang-Rice三重态

参考文献

 S. Kang, K. Kim, B. H. Kim, J. Kim, K. I. Sim, J.-U. Lee, S. Lee, K. Park, S. Yun, T. Kim, A. Nag, A. Walters, M. Garcia-Fernandez, J. Li, L. Chapon, K.-J. Zhou, Y.-W. Son, J. H. Kim, H. Cheong, J.-G. Park, Nature 583, 785 (2020).

[2] D. S. Kim, D. Huang, C. Guo, K. Li, D. Rocca, F. Y. Gao, J. Choe, D. Lujan, T.-H. Wu, K.-H. Lin, E. Baldini, L.

Yang, S. Sharma, R. Kalaivanan, R. Sankar, S.-F. Lee, Y. Ping, X. Li, Adv. Mater. 35, 2206585 (2023).

[3] K. Hwangbo, Q. Zhang, Q. Jiang, Y. Wang, J. Fonseca, C. Wang, G. M. Diederich, D. R. Gamelin, D. Xiao, J.-

H. Chu, W. Yao, X. Xu, Nat. Nanotechnol. 16, 655 (2021).

[4] A. Shcherbakov, K. Synnatschke, S. Bodnar, J. Zerhoch, L. Eyre, F. Rauh, M. W. Heindl, S. Liu, J. Konecny, I. D. Sharp, Z. Sofer, C. Backes, F. Deschler, ACS Nano 17, 10423 (2023).

基于空气激光的高帧频、单光束相干拉曼测温技术

陆旭,陈业伟,Francesco Mazza,何思译,李子晗,黄舜林,王全军,张宁,沈博,吴玉竹,姚金平*,程亚中国科学院上海光学精密机械研究所,上海

*Email: jinpingyao@siom.ac.cn

摘要:高精度、快速响应和易于实现的测温技术对于动态燃烧环境、瞬态反应流和非平衡等离子体研究十分重要,在国防、 空间、能源等不同领域发挥着重要作用。我们利用空气激光作为探测光,发展了单发次、单光束相干拉曼散射(SS-CRS) 测温技术。研究表明,空气激光辅助的相干拉曼散射信号具有较高的信噪比,能够在1kHz重频下进行单发测量。根据理 论光谱,对目标分子的转动相干拉曼信号进行拟合,可以得到测量区域的温度。在不同的演示温度下,SS-CRS 测温的精 度(相对标准偏差)约 2%,但随着温度升高,测量的相对误差增加。由于空气激光独特的时间、频谱和空间特性,SS-CRS 具有较高的信噪比、光谱分辨率、测量重复性和高帧频探测能力,同时避免了复杂的多光束时空调节,对于存在剧烈 湍流和折射率梯度的复杂燃烧环境具有更好的测量稳定性。此外,SS-CRS 还能够进行多组分探测。因此,该技术为高速 相干拉曼散射光谱测温开辟了一条新途径,在瞬态反应流和等离子体的快速诊断方面具有重要应用潜力。

关键词:单光束相干拉曼散射,空气激光,温度测量

参考文献: X. Lu, Y. Chen, F. Mazza, S. He, Z. Li, S. Huang, Q. Wang, N. Zhang, B. Shen, Y. Wu, J. Yao, Y. Cheng, arXiv:2403.11098.

干涉双光子拉比振荡对原子激发态的超快量子调控

彭赛男

复旦大学,上海

Email: 20110190040@fudan.edu.cn

摘要:通过与辐射场的相干相互作用来操纵量子态是量子光学和量子信息处理中具有广泛意义的基本过程。然而,目前的 量子控制方法受限于它们操作在低于千兆赫兹的拉比频率范围内,这限制了它们对具有较长相干时间系统的适用性。为了 克服这一限制,利用超快驱动激光器的替代方法引起了极大的兴趣。在这项工作中,我们证明了在超快激光脉冲驱动下, 在太赫兹频率下氩的激发态下的双光子拉比振荡。利用量子路径干涉测量法(QPI),我们能够通过利用驱动激光的强度和偏 振状态来测量和操纵跃迁偶极子的振幅和相位。这种精确的控制使飞秒种群转移和几何相位的相干积累成为可能。我们的 发现为极紫外辐射的全光操纵提供了有价值的见解,并证明了通过干涉多光子跃迁进行超快量子控制的可能性。

强太赫兹场引起的晶体对称性操纵

桑建华^{1,2},宋立伟^{1,2*}

1中国科学院上海光学精密机械研究所强场激光物理国家重点实验室,上海

2中国科学院大学材料科学与光电技术学院,北京

Email: sang98912@siom.ac.cn

摘要:对称性是晶体的一个基本性质,这决定了其在非线性光学中的性能。晶体对称的操纵提供了操作结构相变的机会, 从中心对称材料产生二次谐波,增强其非线性特性,可用于频率转换、太赫兹(THz)产生、电光调制和光束自检测。利 用静电场打破了硅(Si)波导的对称性,产生了一个χ2,并触发了二次谐波产生。该技术在电子-光子信号的非失真转换方 面具有潜在的应用前景。该技术在电子-光子信号的非失真转换方面具有潜在的应用前景。最近,Vampa等人报道了在氧 化锌和 Si 中,电场辅助偶阶谐波的产生。虽然背后的物理学还没有被充分讨论,例如,电场方向在对称断裂过程中的作用, 有和没有反转对称的晶体之间的偶阶谐波的差异。在本工作中,我们证明了晶体的对称性不仅被打破,而且被强太赫兹光 束操纵。测量了沿太赫兹电场的偶阶谐波的瞬态产生。对于没有偶阶极化的晶体,如硅,所产生的谐波的强度受到太赫兹 极化的影响,该极化决定了偶阶非线性极性。而对于具有初始偶阶极化的晶体,如砷化镓,根据太赫兹电场的方向,可以 增强或抑制偶阶谐波的产生。本研究为超快所有光学晶体对称控制提供了途径,可用于高谐波产生、光频率转换、太赫兹 电场测量等。



图 1. GaAs 二次谐波延迟扫描: IR -30 - 180 度旋转

利用电离诱导波前偏转产生软 X 射线孤立阿秒脉冲

唐翔宇¹, 金成¹

1南京理工大学,南京

Email: tangxy@njust.edu.cn

摘要:孤立阿秒脉冲在研究超快电子动力学等方面有重要的应用,实现全阿秒泵浦-阿秒探测是超快科学发展的一个重要目标。高次谐波是产生孤立阿秒脉冲的一种有效方法,偏振门、双光学门、多色场少周期驱动光等方案已被用于宽频谱、软 X 射线范围的孤立阿秒脉冲产生,这些方案通常在单次激发中仅产生一束孤立阿秒脉冲,而全阿秒泵浦-阿秒探测实验中需要相干的孤立阿秒脉冲并对其延迟进行调控。本工作基于过度驱动、高气压条件下等离子体诱导的驱动激光波前偏转效应,结合调控宏观传播相位匹配条件实现孤立阿秒脉冲产生及空间分离的方案[1],通过在中红外驱动光中加入三阶谐波辅助,实现了宽频谱、软 X 射线波段范围的孤立阿秒脉冲产生和分离[图 1 (a)]。相比于单色光驱动,加入三阶谐波可以使平台区高次谐波的产生效率提高 1 个数量级[图 1 (c)],合成 150eV 以上谐波获得的单阿秒脉冲[图 1 (b)]其转换效率可达到 10-7。计算结果显示,该方案在基频驱动光脉冲宽度(半高全宽)为 10 个光学周期的情况下也能实现孤立阿秒脉冲的产生和空间分离。此外,稳定产生孤立阿秒脉冲需要两色光之间的相对相位抖动小于 0.1π,可以在当前的激光技术下实现。





(a)远场高次谐波的空间强度分布;(b)空间收集获得的孤立阿秒脉冲;(c)单色光(SC)和双色光(TC)驱动下的高次谐波谱。

关键词:孤立阿秒脉冲产生,波前偏转,相位匹配,阿秒泵浦-探测

参考文献

[1] X. Tang, K. Wang, B. Li, Y. Chen, C. D. Lin, and C. Jin, Opt. Lett. 46, 5137-5140 (2021).

[2] T. Gaumnitz, A. Jain, Y. Pertot, M. Huppert, I. Jordan, F. Ardana-Lamas, and H. J. Wörner, Opt. Express 25,

27506-27518 (2017).

[3] J. Li, X. Ren, Y. Yin, K. Zhao, A. Chew, Y. Cheng, E. Cunningham, Y. Wang, S. Hu, Y. Wu, M. Chini, and Z. Chang, Nat. Commun. 8, 186 (2017).

Influence of Current in the Spintronics Terahertz Emitter

田达¹, 张彩虹^{1,2}, 邱红松¹, 吴敬波^{1,2}, 范克彬^{1,2}, 金飚兵^{1,2}, 陈健^{1,2}, 吴培亨¹

¹Research Institute of Superconductor Electronics (RISE), School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University,

Nanjing

²Purple Mountain Laboratories, Nanjing

Email: 602023230045@smail.nju.edu.cn

I. INTRODUCTION

Terahertz (THz) refers to electromagnetic waves with frequencies ranging between 0.1 and 10 THz, bridging the gap between microwaves and visible light. They have the potential to cover the characteristic spectrum of various substances. The use of THz can lead to a deeper and expanded understanding of basic scientific issues in fields such as physics, astronomy, informatics, and life sciences. THz technology has a wide range of applications in areas such as radar, high-security data communication and transmission, atmospheric and environmental monitoring, real-time biological information extraction, medical diagnosis, and more.[1]

THz sources have historically been a bottleneck in the development of THz technology. In 2016, T. Kampfrath et al. proposed a heterostructure composed of both ferromagnetic (FM) and nonmagnetic (NM) films that could serve as a THz spintronic emitter (STE). They demonstrated that the properties of STEs are comparable to existing sources such as optical rectification of ZnTe and photoconductive antennas (PCAs).[2] The THz radiation mechanism of STEs is largely based on the inverse spin Hall effect (ISHE). [3]When ultrafast femtosecond (fs) laser pulses illuminate the structure, spin-polarized electrons in the FM layer become excited and diffuse into the NM layer. Due to ISHE, the spin current is converted into a transient transverse charge current in the NM layer, resulting in THz emission.

Since then, significant research has been conducted to improve the amplitude and frequency-bandwidth of THz radiation from STEs. Much of this work has focused on varying the parameters of FM/NM materials or changing the geometrical stacking order. In addition, researchers have investigated the use of patterned structures, different substrates, and interface materials to enhance THz emission.[4]

However, several studies have explored the effects of high current applied to the surface of STEs, as electric current has proven to be an effective method for manipulating devices.

II. RESULTS

As shown in Fig. 1, THz time domain systems (THz-TDS) have been employed to measure changes in THz signals of STE resulting from the applied current.

It has been found that the THz amplitude of the STEs manifest decreasing accompanying with the increasing of current. And the reduction of THz signal in the STEs is proved to be maintained. By measuring the magnetic field and calculating the temperature of the STEs, the results of STEs with current can be interpreted.

III. SUMMARY

We obtain the relationship between the THz signal and the applied current. The results of our research can make sense to understand on the physical origin of the STEs, and pave a road to manipulation or integration of STEs as well.



References

[1]. Tonouchi, M., Cutting-edge terahertz technology. Nature Photonics, 2007. 1(2): p. 97-105.

[2]. Seifert, T., et al., Efficient metallic spintronic emitters of ultrabroadband terahertz radiation. Nature Photonics, 2016. 10(7): p. 483-488.

[3]. Saitoh, E., et al., Conversion of spin current into charge current at room temperature: Inverse spin-Hall effect. Applied Physics Letters, 2006. 88(18): p. 182509.

[4]. Papaioannou, E.T. and R. Beigang, THz spintronic emitters: a review on achievements and future challenges. Nanophotonics, 2021. 10(4): p. 1243-1257.

薄膜表面自由电子-光子相互作用中的能动量转移

汪文韬^{1, 2},郑丁国¹,黄思远^{1, 2},李俊¹,张永朝^{1, 2},苗泰民^{1, 2},孙帅帅¹,田焕芳¹,杨槐馨^{1, 2},李建奇^{1, 2, 3}

1中国科学院物理研究所,北京

2中国科学院大学物理科学学院,北京

3松山湖材料实验室,东莞

Email: wangwentao@iphy.ac.cn

摘要: 自光子诱导近场电子显微技术(PINEM)发展以来[1],利用相干自由电子-光子相互作用操纵自由电子波函数受到了 广泛关注。自由电子-光子相互作用后,电子的纵向相位正弦调制,从而导致能谱上量子化伴峰的出现[2]。在横向上,电 子-光子相互作用中的横向动量传递[3]和利用手性表面等离激元产生带有轨道角动量的电子涡旋束[4]也陆续被关注。光场 对电子波包的横纵向操纵能力激发了对自由电子-光子相互作用中动量传递过程的进一步研究。配备能量损失谱仪的超快透 射电子显微镜为研究电子-光子相互作用提供了多维度表征手段。本研究分析了由 Ag/Si3N4 双层薄膜介导的自由电子-光 子相互作用中非弹性散射电子的比例和能量-动量交换过程[5]。利用光激发肖特基场发射枪发射的高相干电子,我们在动 量空间中观察到了量子化的横向动量转移,及其与能量转移的一一对应关系。垂直于薄膜表面的光子动量不确定性保证了 相互作用过程中的动量匹配,同时增大了自由电子的横向动量转移。通过倾斜薄膜实现了横向动量转移的有效调控,展示 了在动量空间中控制自由电子波函数的潜力。基于实验结果,我们进一步提出了一种可以精确控制分束角的电子相干分束 器构想。



图 1. 在不同薄膜倾斜角的(a)电子能量损失谱和(b)光子-电子相互作用概率以及(c)倒空间中的横向动量分布

关键词: 超快透射电镜, 光诱导近场电子显微术, 横向动量转移
参考文献

[1] B. Barwick, D. J. Flannigan, and A. H. Zewail, Photon-induced near-field electron microscopy, Nature 462, 902 (2009).

[2] F. J. García de Abajo, A. Asenjo-Garcia, and M. Kociak, Multiphoton Absorption and Emission by Interaction of Swift Electrons with Evanescent Light Fields, Nano Lett. 10, 1859 (2010).

[3] G. M. Vanacore, I. Madan, G. Berruto, K. Wang, E. Pomarico, R. J. Lamb, D. McGrouther, I. Kaminer, B. Barwick, F. J. García de Abajo, and F. Carbone, Attosecond coherent control of free-electron wave functions using semi-infinite light fields, Nat. Commun. 9, 2694 (2018).

[4] G. M. Vanacore, G. Berruto, I. Madan, E. Pomarico, P. Biagioni, R. J. Lamb, D. McGrouther, O. Reinhardt, I. Kaminer, B. Barwick, H. Larocque, V. Grillo, E. Karimi, F. J. García de Abajo, and F. Carbone, Ultrafast generation and control of an electron vortex beam via chiral plasmonic near fields, Nat. Mater. 18, 573 (2019).
[5] W. Wang, D. Zheng, S. Huang, J. Li, Y. Zhang, T. Miao, S. Sun, H. Tian, H. Yang, and J. Li, Energy-momentum transfer in the free-electron--photon interaction mediated by a film, Phys. Rev. B 109, 134305 (2024).

High intensity isolated attosecond pulse generation based on a sub-cycle pulse produced by hollow capillary fibers

肖耀宗^{1,2},刘波¹,黄志远³,冯超¹ ¹中国科学院上海高等研究院,上海 ²张江实验室,上海 ³中国科学院上海光学精密机械研究所,上海 Email: xiaoyaozong@sinap.ac.cn

Abstract: With the rapid progress of ultrafast sciences, our understanding of electronic processes in matter has been greatly enhanced through attosecond time-resolved spectroscopy. As a basic tool, the generation of attosecond pulses is a crucial technique for the advancement of ultrafast sciences. In this paper, we proposed a feasible method for the generation of isolated fully coherent attosecond soft X-ray free electron lasers (FELs) via a seed laser produced by hollow capillary fibers (HCFs). For a propagating light pulse, optical soliton dynamics in the HCFs can cause it self-compression to sub-cycle pulse. Utilizing such a laser pulse to modulate the electron beam, we can obtain an isolated current spike, and then it can produce an isolated FEL pulse in the radiator. Three-dimensional theoretical simulations have been carried out, including the sub-cycle pulse generation process in HCFs, electron beam modulation process as well as FEL radiation process, and the results indicate that an isolated soft X-ray pulse with the wavelength of 1 nm, peak power of ~42 GW and pulse duration of ~425 attoseconds can be generated by the proposed method. Such a high intensity isolated attosecond pulse can be used in nonlinear spectroscopy and for exploring atomic-site electronic processes.

Keywords: free-electron laser, hollow capillary fibers, attosecond X-ray pulses

全光学太赫兹驱动飞秒电子枪

应健玮¹,何 谐¹,苏大策¹,郑凌斌¹, Tobias Kroh², Timm Rowher², Moein Fakhari², Günther Kassier²,马金贵¹, 袁 鹏¹, Nicholas H. Matlis², Franz X. Kärtner^{2*},张东方^{1*} ¹上海交通大学 物理与天文学院,激光等离子体教育部重点实验室,IFSA 协同创新中心,上海 ²德国电子同步加速器研究所,德国汉堡 Email: Yjw525@sjtu.edu.cn

摘要:基于太赫兹的电子加速技术有望成为下一代经济高效的紧凑型电子源,然而具有足够亮度、能量和操控能力的太赫 兹驱动电子枪仍亟待探索。本工作展示了一种基于场增强结构的新型太赫兹驱动电子枪,通过在微腔中集成可移动的针尖 结构,同时实现了加速场的场增强以及加速相位的精确控制,此外,该结构可以通过进一步集成多层微腔来实现多维度的 光束控制。我们利用微焦耳级的单周期太赫兹脉冲产生了高达 ~3 GV/m 的峰值加速梯度,获得了电子能量高达 ~14 keV、能散 ~1%,电荷量 ~10 fC 和横向发散度低至 ~0.015 mm mrad 的高质量电子束。通过进一步集成聚束腔,束 流长度被压缩~10 倍,低至 167 fs。此外,我们首次实现了太赫兹驱动电子枪在电子衍射和显微投影的实际应用并获得了 高质量的单晶硅衍射图样和铜网显微投影图像,同时能够以高时空分辨率揭示在光激发后铜网上带电粒子产生的瞬态表面 场。该工作创造了太赫兹驱动电子枪在加速梯度、电子能量、光束质量和光束控制等方面的全新纪录,实现了全光太赫兹 驱动电子源从概念到实际科学应用的跨越,为未来太赫兹驱动加速器技术在紧凑型相对论电子束及台面辐射源等应用铺平 了道路。

关键词:强场太赫兹,太赫兹加速器,超快成像,超快电子衍射,等离子体,超高时空分辨



图1全光太赫兹驱动飞秒电子枪实验示意图

参考文献

[1]. Ying, J. et al. High gradient terahertz-driven ultrafast photogun. Nature Photonics (2024).

高效率近单周期中红外光参量放大系统

袁浩^{1, 2},黄沛¹,曹华保^{1,2},王屹山^{1,2},付玉喜^{1, 2}
 ¹中国科学院西安光学精密机械研究所,西安
 ²中国科学院大学,北京
 Email: yuanhao2017@opt.ac.cn

摘要:光参量放大技术是获得高功率近单周期中红外飞秒激光的有效手段,但其面临着增益带宽受限,以及宽带增益导致 的系统效率下降的问题。针对该问题,我们提出了基于泵浦光复用的光谱-时域级联光参量放大技术(Spectrallytemporally cascaded optical parametric amplification,STOPA)。该技术可用于近单周期中红外脉冲的产生,并同 时提高增益带宽和光参量放大效率。在STOPA中,通过控制泵浦光和信号光之间的啁啾关系,以及非线性晶体的角度, 我们可以在不同非线性晶体中放大信号光的不同光谱成分,实现超宽带的增益带宽;在级联放大中,泵浦光的复用提高了 系统放大效率。我们分别从仿真和实验展开研究。首先,我们通过仿真程序分别设计了基于 KTA 晶体和 BiBO 晶体的近单 周期中红外 STOPA 系统,两者均采用钛宝石激光泵浦。基于 KTA 晶体的 STOPA 系统,输出脉冲的光谱覆盖 1.6-2.8 μm、 脉冲能量为 407 μJ、脉冲宽度为 13.9 fs (1.9 周期),系统效率为 16.3%;基于 BiBO 晶体的 STOPA 系统,输出脉冲的光 谱覆盖 1.2-2.5 μm、脉冲宽度为 13.9 fs (1.9 周期),系统效率为 16.3%;基于 BiBO 晶体的 STOPA 系统,输出脉冲的光 谱覆盖 1.2-2.5 μm、脉冲能量 916 μJ、脉冲宽度 8.9 fs (1.5 周期),系统效率为 24.4%。同时,为了实验验证 STOPA 技术,我们搭建了一套基于 BiBO 晶体的 STOPA 系统,其中输出脉冲光谱覆盖 1.2-2.2 μm,脉冲能量为 400 μJ,脉冲宽度 为 12 fs。但由于反射镜和 BiBO 晶体的反射损耗,系统的效率仅为 16%,但仍高于已有的结果[1]。仿真和实验结果证明, STOPA 技术可以稳定、高效的产生近单周期中红外脉冲,并且对非线性晶体或泵浦激光器无特殊要求。通过使用高功率 泵浦激光器,STOPA 技术可以产生高重复频率的近单周期中红外脉冲,这对于产生高通量、高强度的软 X 射线阿秒脉冲 [2]和高重复频率电子束[3]具有重要意义。

关键词:光参量放大,中红外,近单周期,高效率

参考文献

[1] Ishii N, Kaneshima K, Kanai T, Watanabe S, Itatani J. Journal of Optics, 17, 094001(2015).

[2] Y. Fu, K. Nishimura, R. Shao, A. Suda, K. Midorikawa, P. Lan, and E. J. Takahashi, Commun. Phys. 3, 92 (2020).

[3] E. Esarey, C. B. Schroeder, and W. P. Leemans, Rev. Mod. Phys. 81, 1229 (2009).

同时实现少周期激光脉冲相干系统的时间和载波包络相位同步

张国立¹,梁潇¹,薛豪¹,谢兴龙¹

1中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理联合实验室,上海

Email: gl_zhang@siom.ac.cn

摘要:在当前超短超强激光的研制中,放大器增益带宽不足和超宽带脉冲色散补偿复杂的问题使得提高单个周期级脉冲激 光器输出功率变得困难。采用多路周期级激光相干叠加不仅能满足特定场景对激光功率和脉宽的需求,是获得高功率周期 级激光脉冲的有效手段。然而,由于缓变振幅近似原理的失效,载波包络相位(CEP)对周期级脉冲的瞬时功率有重大影 响,束间的 CEP 差异会对合束后的激光脉冲产生不利影响。因此,在进行周期级脉冲合束之前,必须测量和调控合束光之 间的 CEP 差异和延时差。传统的 CEP 测量方法仅能测量单束光的 CEP,应用于合束过程时显得繁琐。基于此,课题提出 了一种通过合束光的光谱干涉图像反演出合束激光脉冲之间的 CEP 差异和延时差的方法,并通过实验验证了其可行性。测 量结果显示,两束光 CEP 差异的测量精度在 40 mrad 以内,延时差的测量精度在 40 as 以内。在验证该方法的可行性后, 课题建立了一个束间 CEP 差异测控系统,该系统可以准确测量并保持两束光之间的 CEP 差异和延时差接近于零,为实现 良好的周期级脉冲合束结果提供了保障。



图 1. 在保持时间同步的同时, $\Delta CEP 在 \pi rad 范围内连续变化的测量结果。$



图 2. 具有不同ΔCEP 的 FCPCC 获得的远场干涉条纹(a)和效率(b)。

The 4th Young Scholars Forum on Ultrafast Science

关键词:周期级脉冲,载波包络相位,合束,相位测量,相位控制

参考文献

[1] C. N. Danson, C. Haefner, J. Bromage, T. Butcher, J.-C. F. Chanteloup, E. A. Chowdhury, A. Galvanauskas, L. A. Gizzi, J. Hein, D. I. Hillier, N. W. Hopps, Y. Kato, E. A. Khazanov, R. Kodama, G. Korn, R. Li, Y. Li, J. Limpert, J. Ma, C. H. Nam, D. Neely, D. Papadopoulos, R. R. Penman, L. Qian, J. J. Rocca, A. A. Shaykin, C. W. Siders, C. Spindloe, S. Szatmári, R. M. G. M. Trines, J. Zhu, P. Zhu,J. D. Zuegel, Initials, C. N. Danson, C. Haefner, J. Bromage, T. Butcher, J.-C. F. Chanteloup, E. A. Chowdhury, A. Galvanauskas, L. A. Gizzi, J. Hein, D. I. Hillier, N. W. Hopps, Y. Kato, E. A. Khazanov, R. Kodama, G. Korn, R. Li, Y. Li, J. Limpert, J. Ma, C. H. Nam, D. Neely, D. Papadopoulos, R. R. Penman, L. Qian, J. J. Rocca, A. A. Shaykin, C. W. Siders, C. Spindloe, S. Szatmári, R. M. G. M. Trines, J. Zhu, P. Zhu,J. D. Zuegel, Initials, C. N. Danson, C. Haefner, J. Bromage, T. Butcher, J.-C. F. Chanteloup, E. Auto, J. J. Rocca, A. A. Shaykin, C. W. Siders, C. Spindloe, S. Szatmári, R. M. G. M. Trines, J. Zhu, P. Zhu,J. D. Zuegel, Initials, C. N. Danson, C. Haefner, J. Bromage, T. Butcher, J.-C. F. Chanteloup, E. A. Chowdhury, A. Galvanauskas, L. A. Gizzi, J. Hein, D. I. Hillier, N. W. Hopps, Y. Kato, E. A. Khazanov, R. Kodama, G. Korn, R. Li, Y. Li, J. Limpert, J. Ma, C. H. Nam, D. Neely, D. Papadopoulos, R. R. Penman, L. Qian, J. J. Rocca, A. A. Shaykin, C. W. Siders, C. Spindloe, S. Szatmári, R. M. G. M. Trines, J. Zhu, P. Zhu,J. J. Rocca, A. A. Shaykin, C. W. Siders, C. Spindloe, S. Szatmári, R. M. G. M. Trines, J. Zhu, P. Zhu,J. D. Zuegel, Initials, High Power Laser Science and Engineering Name 7, e54 (2019).
[2] A. Borzsonyi, R. S. Nagymihaly, K. Osvay, Initials, A. Borzsonyi, R. S. Nagymihaly, K. Osvay, Initials, A.

Borzsonyi, R. S. Nagymihaly, K. Osvay, Initials, Laser Physics Letters Name 13, (2016).

[3] X. Liu, A. Pelekanidis, M. Du, F. Zhang, K. S. E. Eikema, S. Witte, Initials, X. Liu, A. Pelekanidis, M. Du, F. Zhang, K. S. E. Eikema, S. Witte, Initials, X. Liu, A. Pelekanidis, M. Du, F. Zhang, K. S. E. Eikema, S. Witte, Initials, Physical Review Research Name 5, 043100 (2023).

[4] B. Piglosiewicz, S. Schmidt, D. J. Park, J. Vogelsang, P. Groß, C. Manzoni, P. Farinello, G. Cerullo, C. Lienau, Initials, B. Piglosiewicz, S. Schmidt, D. J. Park, J. Vogelsang, P. Groß, C. Manzoni, P. Farinello, G. Cerullo, C. Lienau, Initials, B. Piglosiewicz, S. Schmidt, D. J. Park, J. Vogelsang, P. Groß, C. Manzoni, P. Farinello, G. Cerullo, C. Lienau, Initials, Nature Photonics Name 8, 37-42 (2014).

[5] K. Liu, L. Song, Y. Liu, X. Wang, Z. Huang, Y. Tang, X. Wang, Z. Liu, Y. Leng, Initials, K. Liu, L. Song, Y. Liu,
X. Wang, Z. Huang, Y. Tang, X. Wang, Z. Liu, Y. Leng, Initials, K. Liu, L. Song, Y. Liu, X. Wang, Z. Huang, Y.
Tang, X. Wang, Z. Liu, Y. Leng, Initials, Optics Express Name 28, 35498-35505 (2020).

Achieving ultralong directional liquid transportation spontaneously with a high velocity

Jie Zhang1, Qiankai Liu1, Pengcheng Sun2, Xiuqing Hao1

1 College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016,

China

2 Department of Mechanical Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong, 999077, China

Email: 776799812@nuaa.edu.cn

Abstract: Due to its appeal in the merit of no external energy input, the passive surface is widely considered to be an ideal platform for liquid transportation. Despite the considerable progress attained, achieving long-range and high-speed liquid transport on a passive surface remains challenging due to the several inherent difficulties, such as the insufficient driving force and undesired energy dissipation. Here, we overcome these limitations by proposing a cellular design of wettability pattern (CWP). This CWP is composed of cells with a wettability gradient and a cascaded super-hydrophilic divergent channel, where the cells are seamlessly interconnected with each other through the channel. Utilizing the enhanced driving force and reduced energy dissipation endowed by the special wetting and geometrical design, the proposed CWP can spontaneously transport a water droplet over a distance of 100 mm, the longest distance ever reported, with a high average velocity of ~92 mm s–1. We demonstrate experimentally and theoretically that the transport distance can be further enhanced by tailoring the wettability gradient. Using a predefined CWP, we also achieve on-demand liquid manipulation. We envision that our cellular design will find numerous applications in materials science, interfacial chemistry, and biomedical research.

Keywords: Laser processing, Liquid transportation, Wettability gradient

飞秒激光在充气反谐振空芯光纤中的频率变换

张雨彤¹, 于洋², 刘晗¹, 田文龙¹, 朱江峰¹, 魏志义³
¹西安电子科技大学光电工程学院,西安
²西安电子科技大学前沿交叉学院,西安
³中国科学院物理研究所北京凝聚态物理国家实验室,北京
Email: 1006192243@qq.com

摘要:反谐振空芯光纤具有较长的相互作用长度、宽带传输窗口和高能量激光传输能力,同时可以通过调节充入光纤的气体种类与压力调节光纤的色散与非线性系数,可用于超短脉冲压缩、紫外共振色散波产生、孤子自频移等非线性效应的研究[1,2]。我们通过控制反谐振空芯光纤内的空气压强,改变光纤内的色散与非线性系数,分别在气压为 10-6 bar、0.1 bar、0.5 bar 和 1 bar 的情况下测量输出光谱,最终在 0.5 bar 的气压下滤出中心波长 1180 nm 的拉曼孤子,脉冲能量最高可达 5.47μJ,对应脉冲宽度为 52 fs,峰值功率高达 105 MW。

实验中通过透镜组耦合系统,将商用光纤激光器输出的脉冲宽度为 211 fs、重复频率为 50 kHz 的超短脉冲耦合到空 芯光纤中,耦合效率保持在 85%以上。系统中的反谐振空芯光纤长度为 4.8 m,模场直径为 39 μm,输入及输出端口真空 封装,通过入口处真空泵与真空计观察控制光纤中的气压。在光纤中充入 0.5 bar 空气,如图 1 所示,当出脉冲能量为 10 μJ 时,光谱出现了明显的红移现象,是脉冲内受激拉曼散射引起的孤子自频移;继续升高输入脉冲能量至 40 μJ,光谱中 红移部分的最长波长可达 1200 nm。滤出长波处的拉曼孤子,测量其光谱与脉冲,得到 1060-1200 nm 范围内的可调谐超 短脉冲激光源,在药理学、多光子显微镜、光学成像、无创诊断等生物医学诊断领域发挥更大的作用。



图 1.(a)光纤传输效率(b)传输效率与孤子自频移转换效率(c)不同输入能量下的输出



图 2.(a)滤出的红移光谱(b)直接测量的拉曼脉冲(c)压缩后的拉曼脉冲

关键词:反谐振空芯光纤,孤子自频移,非线性频率变换

参考文献

[1] Losev L., Pazyuk V., Gladyshev A., et al, Compression of Few-Microjoule Femtosecond Pulses in a Hollow-Core Revolver Fiber, Fibers, 11(2), 22 (2023).

[2] Chen Y., Sidorenko P., Antonio-Lopez E., et al. Efficient soliton self-frequency shift in hydrogen-filled hollow-core fiber, Optics Letters, 47(2), 285 (2022).

DSTMS 晶体基于光整理效应产生高重频强场太赫兹源

郑卓锐^{1,2}, 王康^{1,3}, 李洪阳^{1,4}, 孟宪泽^{1,2}, 宋立伟^{1,2*}, 田野^{1,2*} ¹中国科学院上海光学精密机械研究所强场激光物理国家重点实验室,上海 ²中国科学院大学材料与光电研究中心,北京 ³上海理工大学光电信息与计算机工程学院,上海 ⁴同济大学物理科学与工程学院,上海 Email: zhengzhuorui@siom.ac.cn

摘要:强场太赫兹光源为多种低能激发的研究,如声子共振、自旋、子带间跃迁、激子、大分子振动和分子旋转等,提供 了一种强大的工具。基于光整流效应,通过超快激光脉冲泵浦非线性晶体是产生强场太赫兹脉冲最有效的方法之一,然而, 由于泵浦光重复频率和晶体热性能的限制,很难实现高重频强场太赫兹脉冲的输出,这也大大限制了高信噪比要求下的太 赫兹泵浦探测实验的应用范围。为此,本文提出采用 Yb:YAG 激光器(中心波长 1030 nm)泵浦薄 DSTMS 有机晶体的 方式产生高重频强场太赫兹源。Yb:YAG 激光器输出的脉冲光经多通腔(MPC)进行脉宽压缩后,利用共线相位匹配的方 式泵浦 DSTMS 晶体产生宽谱太赫兹,通过对晶体的热量控制和光路优化,在保证场强的前提下提高太赫兹重频。所产生 的太赫兹光谱范围覆盖了 0.1 - 8 THz,当重复频率为 1 kHz 时,太赫兹脉冲能量达到 932.8 nJ,转换效率为 0.19%,场 强为 819 kV/cm。同时,在 10 kHz 的重频下,能够保持 236 kV/cm 的峰值电场强度和 0.77 mW 的平均功率。进一步地, 本文讨论了泵浦光在经过 MPC 压缩后的光谱展宽和 DSTMS 晶体后的光谱塑形,研究了不同重复频率下,泵浦光功率和 太赫兹输出功率、峰值电场强度之间的关系。这种桌面级的高重频、强场太赫兹源具有应用于多种太赫兹物态调控实验和 太赫兹光谱学研究的重要潜力。

关键词 强场太赫兹,高重复频率,光整流,DSTMS 晶体

Polarization and phase resolved 3D subwavelength field imaging in dielectric metamaterial

Bingbing Zhu, Qingnan Cai, Yaxin Liu, Sheng Zhang, Weifeng Liu, Qiong He, Lei Zhou, Zhensheng Tao State Key Laboratory of Surface Physics and Department of Physics and Key Laboratory of Micro and Nano Photonic Structures (MOE), Fudan University, Shanghai 200433, China. Email: 21110190083@m.fudan.edu.cn

Abstract: We present a novel method for all-optical super-resolution imaging of mid-infrared fields inside dielectric media. Based on high-order sideband harmonics in dielectrics, three-dimensional spatial, polarization, and phase resolutions are simultaneously achieved.

All-dielectric metamaterials, operating at sub-wavelength length scale, are essential in various fields of research and applications. Compared with their plasmonic counterpart, structures with lower absorption, higher damage threshold and higher resonance quality are achieved and applied in local field enhancement and nonlinear wave mixing. In the near-field region, electromagnetic response is now related to geometric shapes. Thus, acquiring the accurate knowledge of local fields by near-field imaging becomes demanding.

Scanning near-field optical microscopes (SNOM) based on sharp tip scattering are commonly used to image near fields at the surface of nanostructures. However, the interactions between tip and detected modes are not negligible in some conditions. Fields deeply buried inside the dielectric metamaterials are commonly inaccessible in SNOM. The electron-based microscopes, including electron energy loss spectroscopy (EELS), cathodoluminescence (CL), photoemission electron microscopy (PEEM) and photo-induced near-field electron microscopy (PINEM), have achieved high spatial resolution due to the implementation of electron wave packets. However, they rely on vacuum environment and proper control of electrons. The interaction between free electrons and confined photons still limits the detectable freedoms. The penetration depth of electrons also limits the 3D imaging capability.

Recent progress in nonlinear microscopes presents a new avenue to near-field imaging in dielectric metamaterials. By collecting the second harmonic generation (SHG) or third harmonic generation (THG) of mode fields [1,2], subwavelength field imaging with two or three-fold resolution enhancement is achieved. By mixing the in-plane surface plasmon-polariton (SPP) with probe in optical frequencies, the plasmonic wave patterns are successfully observed [3]. Nevertheless, the existing configurations have limitations, as the wave mixings wavelength ranges limit super-resolution level, and full freedoms of mode fields including 3D amplitude, phase, polarizations, are not measured in a single setup.



Fig. 1. (a) Schematic diagram of the experimental setup. (b) Schematics of HSE spectrum. (c) the spatial resolution measurement by HSE order (2, 1). (d) the measured x- and y-polarized components of mid-infrared fields.

In this work, we demonstrate a novel subwavelength, polarization and phase-resolved 3D imaging method for mid-infrared electromagnetic fields in dielectric metamaterials. To the best of our knowledge, no subwavelength imaging methods capable of measuring those freedoms at the same setup have been realized to date. Our method utilizes high-order sideband emissions (HSE) generated by nonlinear wave mixing between mid-infrared fields and near-infrared probe beam within a dielectric material. Super-resolution in the transverse and longitudinal directions are realized simultaneously. By exploiting the symmetry of material' s nonlinear susceptibility, in-plane polarization resolution is achieved. The real-time phase is successfully measured by introducing inter-order interference. Based on the fact that different orders of HSE originate from different depths inside the sample, the 3D field pattern are successfully retrieved. Our results demonstrate the immense potential of super-resolution imaging by nonlinear wave mixing for metamaterials and nonlinear photonics in mid-infrared and terahertz frequency regions.

In our experiments, polysilicon films on fused silica substrate are used to confine the mid-infrared field at λ =13.3µm with peak electric field at MV/cm level. When probed by a near-infrared laser (center wavelength 0.97µm, peak field at MV/cm level), the HSEs peaks appear in the radiated spectrum, as illustrated in Fig. 1(b). Among the HSEs, intensity of order (2, 1) (two probe photons plus one mid-infrared photon) is scanned across a sharp edge of ~100nm polysilicon film, transverse spatial resolution up to 0.92µm is achieved, corresponding to 1/14 times the wavelength of mid-infrared field (numerical aperture NA=0.28), as illustrated in Fig. 1(c). By adjusting the directions of probe polarization and HSE polarizer, we measured the in-plane electric fields

along x and y directions with up to 1000:1 extinction ratio, as shown in Fig. 1(d) for polysilicon disk of radius 5.1µm and thickness 0.5µm. By introducing and detecting the interference pattern in-between order (2, -1) and (2, 1), we measured the instantaneous phase for each polarization direction. The phases of local fields are directly read from the interference oscillations (not shown).

In the following experiment, a thicker sample is used (radius 5.6µm and thickness 1.5µm) and longitudinal distributions of mid-infrared fields emerge. The measured HSE intensity images by x, y scans (Fig. 2a) vary dramatically among orders, due to the fact that different orders of sideband emissions originate from different longitudinal positions inside the sample. By modelling the accumulations of HSEs along longitudinal axis, we reconstruct the 3D field distribution from the measured 2D images, as illustrated in Fig. 2(b). The confined fields are also calculated theoretically using finite difference time domain (FDTD) method, as shown in Fig. 2(b), and quantitative matching is achieved.



Fig. 2. (a) Intensity images from different HSE orders. (b) Left: the FDTD calculated field distribution in five zlayers. Right: the reconstructed field distribution from the images in (a). Color: |Ex|2 where Ex the amplitude of x-polarized electric field.

In conclusion, our study introduces a novel subwavelength, polarization and phase-resolved 3D imaging method for mid-infrared electromagnetic fields in dielectric metamaterials. Our method offers a convenient strategy for super-resolution 3D field imaging inside metamaterials or superstructures with multiple freedoms of electromagnetic fields, which can open up new possibilities for various applications in photonic crystal characterization, phono mode imaging, and other novel physics including bounded states in the continuum (BIC), radiation-free anapole modes and topological boundary states.

Reference

[1] Grinblat, G. et al., "Efficient third harmonic generation and nonlinear subwavelength imaging at a higherorder anapole mode in a single germanium nanodisk," ACS Nano. 11, 953–960 (2017).

[2] Cui, T. et al., "Near-field nonlinear imaging of an anapole mode beyond diffraction limit," Opt. Letters.46, 2095–2098 (2021).

[3] Frischwasser, K. et al., "Real-time sub-wavelength imaging of surface waves with nonlinear near-field optical microscopy," Nat. Photonics. 15, 442–448 (2021).



Ultrafast Science

A SCIENCE PARTNER JOURNAL

Ultrafast Science is a **Science Partner Journal** distributed by the American Association for the Advancement of Science (AAAS) in collaboration with Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences(CAS).



Editors-in-Chief



Qihuang Gong Peking University



Wei Zhao XIOPM, CAS

Executive Editors-in-Chief



Franz X. Kärtner



Katsumi Midorikawa RIKEN



Zhiyi Wei Institute of Physics, CAS

Facebook
 @SPJournals

Twitter
 @UltrafastSci; @SPJournals

• Email

usjournal@opt.ac.cn

• Website

spj.sciencemag.org/journals/ ultrafastscience/