

## 基于弱测量的量子精密测量

李传锋、陈耕、郭光灿

中国科学技术大学中科院量子信息重点实验室，合肥 230026

Email: [cfl@ustc.edu.cn](mailto:cfl@ustc.edu.cn)

**摘要:**量子弱测量是1988年 Aharonov, Albert 和 Vaidman 基于量子力学的双态矢量表述提出的一个概念，可以把微弱信号进行放大。量子弱测量过程可以分为三个步骤：前选择，进行系统初始态制备；弱耦合，引入探针和系统的弱相互作用；后选择，进行末态的选择。通过弱测量可以得到系统物理量的弱值。弱值可以大于测量算符本征值的范围（甚至可能是复数）。如对电子自旋进行弱测量，得到的弱值可能会大于100。量子弱测量的概念一经提出，便引起广泛争议，主要是对“弱测量所测量到的是什么”众说纷纭。直到2008年 Hosten 和 Kwiat 利用弱测量观测到了光的自旋霍尔效应，弱测量作为一种弱信号的放大技术才逐步被学术界接受。

课题组团队通过弱测量技术利用白光 LED 实现了相位或延时的精密测量，测量精度达到 0.1nm，得到的效果和 20fs 的超短激光脉冲是一样的，实验上进一步验证该实验方法在消相干环境下仍然适用。理论上则提出了偏置弱测量方案，引入偏置相位得到时间和光谱自由度的双重干涉相消，丢掉更多的光子，得到更大的放大效应，分辨率相对标准弱测量方法提高两个数量级。课题组团队进一步利用弱测量达到了海森堡极限的测量精度，极大地推动了弱测量技术走向广泛的应用。

**关键词:** 量子弱测量 量子精密测量

### 参考文献

- 【1】 X.-Y. Xu *et al.*, Phase estimation with weak measurement using a white light source, *Phys. Rev. Lett.* 2013, 111, 033604.
- 【2】 Z.-H. Zhang *et al.*, Ultrasensitive biased weak measurement for longitudinal phase estimation, *Phys. Rev. A* 2016, 94, 053843.
- 【3】 G. Chen *et al.*, Heisenberg-scaling measurement of the singlephoton Kerr non-linearity using mixed states, *Nature Communications* 2018, 9, 93.
- 【4】 G. Chen *et al.*, Achieving Heisenberg-scaling precision with projective measurement on single photons, *Phys. Rev. Lett.* 2018, 121, 060506.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO. 11774335, 11821404) 等

## 基于光场量子态的量子网络

苏晓龙, 邓晓玮, 王美红, 谢常德, 彭堃墀

(山西大学光电研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室 太原 030006)

基于光学模的连续变量量子信息处理, 以光场量子态为量子资源, 结合各种量子操控手段, 完成信息的传输和处理, 是量子信息处理的一种有效途径。构建量子网络是量子信息研究的一个重要方向。以多组份纠缠态光场为资源, 将光学模式分发到空间分离的量子节点, 为构建量子网络提供了一种有效途径。我们以高斯多组份纠缠态光场为基础, 开展了一系列构建量子网络的实验研究, 包括: 多组份纠缠态的量子纠缠交换, 量子网络中的量子导引分发, 利用可分态实现量子网络中的量子资源分发等。所取得的研究成果为构建量子网络和实现量子网络中的量子资源分发提供了一种可行途径。

关键词: 量子网络, 量子导引, 多组份纠缠

参考文献:

- [1] Xiaolong Su, et. al. Quantum entanglement swapping between two multipartite entangled states, **Phys. Rev. Lett.** 117, 240503 (2016).
- [2] Xiaowei Deng, et. al. Demonstration of monogamy relations for Einstein-Podolsky-Rosen steering in Gaussian cluster states, **Phys. Rev. Lett.** 118, 230501 (2017).
- [3] Y. Xiang, X. Su, L. Mi\_sta, Jr. G Adesso, and Q. He, Multipartite Einstein-Podolsky-Rosen steering sharing with separable states, **Phys. Rev. A** 99, 010104(R) (2019).

## 微纳光子结构中的珀塞尔增强

古英、郝赫、张淇、段雪珂、钱祉源、单凌霄、龚旗煌

北京大学物理学院，人工微结构和介观物理国家重点实验室，北京，100871

Email: [ygu@pku.edu.cn](mailto:ygu@pku.edu.cn)

摘要：微纳光子结构有超强的局域场效应，给微纳尺度光和物质作用带来了新的研究机遇。我们将微纳结构中的局域场及其螺旋性质，应用于微纳尺度腔量子电动力学，研究了激子在多种耦合光子结构中的珀塞尔效应：在间隙表面等离激元结构中，提出高效纳米尺度导引的单光子发射机制[1]，以及提出倏逝电磁真空的概念并应用于增强耦合[2]；在光子晶体和表面等离激元的复合结构中，演示了单向传输的珀塞尔增强效应 [3]；在包含共振纳米金属颗粒的拓扑光子结构中，实现了无散射的大的珀塞尔增强效应 [4]。研究结果可用于指导芯片上量子信息过程和设计有源、超紧凑和非互惠的微纳量子器件。

参考文献（中文小五号宋体，其中英文和数字为 Times New Roman 小五号字）

- [1] H. Lian; Y. Gu; et al., Phys. Rev. Lett. 2015, 114, 193002.
- [2] J. Ren; Y. Gu; et al., Phys. Rev. Lett. 2017, 118, 073604.
- [3] F. Zhang; Y. Gu; et al. Finished. arXiv:1808.07210v2.
- [4] Z.Y. Qian; Z.C. Li; Y. Gu et al., Finished.

**基金项目：国家重点基础研究发展计划（批准号：2018YFB1107200）、国家自然科学基金（批准号：11525414、11974032、11734001）和广东省重点领域研发计划（批准号：2018B030329001）。**

## 基于泵浦-探测技术的单分子量子相干显微成像

秦成兵、周海涛、陈瑞云、张国峰、肖连团、贾锁堂

山西大学 激光光谱研究所, 太原 030006

Email: [chbqin@sxu.edu.cn](mailto:chbqin@sxu.edu.cn), [xlt@sxu.edu.cn](mailto:xlt@sxu.edu.cn)

**摘要:** 单分子荧光显微成像已经广泛应用于生物成像和医疗诊断。然而, 在传统荧光成像中, 来自细胞或生物体的自发荧光会干扰甚至淹没单分子信号, 从而限制了单分子显微成像的对比度及其更深入的应用。在本文中, 我们发展了基于单分子量子相干调控的显微成像技术, 该技术可以有效抑制自发荧光, 从而极大提高成像对比度。该方法基于超快激光泵浦-探测技术, 利用单分子所具有的二能级近似特性, 通过调制超快脉冲对的相对相位, 实现对单分子激发态布居几率的改变, 从而调控单分子的荧光信号。然而对于背景, 如自然光、散射激光, 或者来自生物体的自发荧光, 并不具有量子相干调控特性。基于调制-解调技术, 以调制强度为物理量对单分子成像, 可以将单分子信号与干扰噪音之比提高 2 个量级以上; 且这种对比度的提高与积分时间呈指数关系, 随着积分时间的增长, 对比度可以无限提高。实验表明这种成像技术不仅可以提高基于染料单分子的荧光成像, 而且对标记在生物大分子上的染料单分子具有同样的调制效果。我们的方案为获得强背景下(如生物自发荧光、强噪音、自然光、激光散射)高对比度生物成像提供了新的途径。

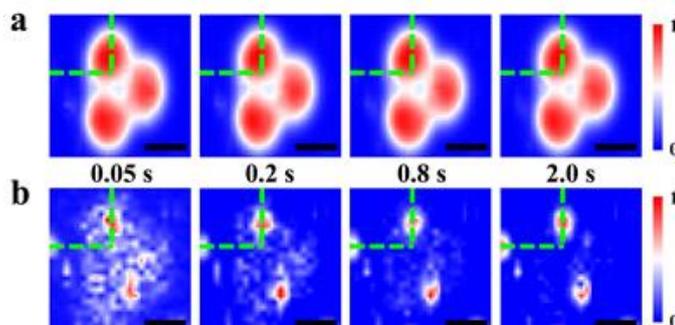


图 1 混合微米颗粒的单分子的传统荧光成像(a)和量子相干成像(b)随积分时间的变化。

**关键词:** 单分子, 量子相干, 超快激光, 荧光成像, 对比度

### 参考文献:

1. Haitao Zhou, **Chengbing Qin**<sup>\*</sup>, Ruiyun Chen, *et al.*, *The Journal of Physical Chemistry Letters*, **10**, 2849-2856, 2019.
2. Haitao Zhou, **Chengbing Qin**<sup>\*</sup>, Ruiyun Chen, *et al.* *The Journal of Physical Chemistry Letters*, **10**, 223-228, 2019.

**基金资助:** 国家重点研发计划(2017YFA0304203)、国家自然科学基金(61675119,1504216,61605104), 长江学者与创新团队发展计划(批准号: IRT13076), 山西“1331 工程”重点学科建设。

## 基于 Te / VO<sub>2</sub> 光子晶体微腔片上热光调制器

廖琨、胡小永、龚旗煌

北京大学物理学院人工微结构和介观物理国家重点实验室, 北京 100871

Email: kunliao@pku.edu.cn

### 摘要

全光集成光路是下一代超高速超低能耗信号处理芯片的重要基础。目前, 寻找新的实现机制和新的功能材料是突破器件性能的有效方法。作为最近被发现的光热材料, 具有宽尺寸分布的碲纳米颗粒 (Te NPs) 可以同时增强类等离子体共振和米氏共振, 从而吸收大部分太阳辐射, 因此, 在短时间内可以实现温度的巨大变化。另外, 作为一种典型的相变材料, VO<sub>2</sub> 的半导体-金属相变可在飞秒尺度下发生。在这里我们提出了一种基于 VO<sub>2</sub> 光子晶体微腔光学性质变化的片上调制器, 这种光学性质的变化是由覆盖在微腔上的光激发 Te NPs 所引起的温度变化导致 VO<sub>2</sub> 发生相变引起的。对于所设计的 Te/VO<sub>2</sub> 片上调制器, 在共振波长处实现了 5 纳米的位移; 对中心波长为 1550 纳米的光信号的传播状态进行调制, 调制深度达 55%。所提出的系统不仅刺激了新一代全光片上集成微纳器件的实现, 并且为新型光学相关功能材料的研究开辟了片上集成应用的新视角。

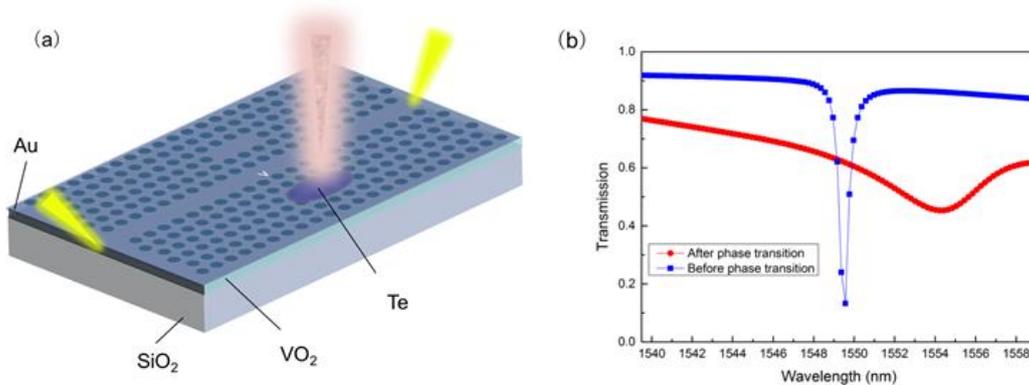


图 1 器件结构示意图 (a) 及相变前后的透过率曲线变化 (b)

关键词: 热光调制 半导体金属相变 新材料 光子晶体微腔

## 全介质超构表面的研究

肖淑敏

哈尔滨工业大学（深圳），深圳，518055

Email: shummin.xiao@hit.edu.cn

摘要：超构表面是一种基于广义斯涅尔定律，通过控制波前相位、振幅以及偏振进行电磁/光学波束调控的新结构，其新颖的机制和灵活的结构设计展现出广阔的应用前景。传统的超构表面是利用金属天线构建的，因此具有较大的损耗，而高折射率介质材料利用 Mie resonance 的方式实现对光的有效操控，实现了对光相位、波前的改变，从而获得了低损耗的超构表面。本报告将主要介绍课题组近年来在各类介质超构表面上的研究进展，研讨基于硅、二氧化钛和钙钛矿等低损耗介质材料实现高效超构表面的研究，并探索这些物理现象的新的应用。

关键词：超构表面，波前调控，纳米谐振腔

# 超构透镜成像研究

王漱明

南京大学物理学院，固体微结构国家重点实验室

## 摘要：

一直以来，如何将这个丰富多材的世界更好的成像和显示，都是光学领域的一个最重要的课题。色差是影响成像效果的最主要问题。我们使用相位分离的原理，将理想消色差所需要的复杂的相位分解成相对简单的基础相位和色差相位。使用超构表面这个蕴含丰富物理的体系可以完美的得到这两中相位。使用描述对称性的几何相位得到基础相位；使用电磁共振得到的共振相位实现色差相位，并将两者结合起来，就可以得到宽带连续消色差器件。我们使用这个设计原理，实现了在近红外波段的消色差反射聚焦镜和反射板。在可见光频段，实现了覆盖整个可见光频段的消色差透镜，并第一次得到了基于超构表面透镜的全彩成像。将超构表面的应用向前推进一大步。但是这样的可见光宽带消色差透镜存在数值孔径和通光口径不能同时很大。为了解决这个问题，我们引入了超构透镜阵列的体系，不但实现了成像效果的提升，同时可以实现光场成像的效果。

## 参考文献：

1. Ren Jie Lin, Vin-Cent Su, **Shuming Wang**, Mu Ku Chen, Tsung Lin Chung, et al., Achromatic metalens array for full-colour light-field imaging, **Nature Nanotechnology** 14 , 227-232 (2019).
2. **S. M. Wang**, P. C. Wu, V. C. Su, Y. C. Lai, M. K. Chen, et al., Broadband achromatic metalens at visible light, **Nature Nanotechnology** 13, 227-232 (2018).
3. Broadband achromatic optical metasurface devices  
**Shuming Wang\***, Pin Chieh Wu, Vin-Cent Su, Yi-Chieh Lai, Cheng Hung Chu, Jia-Wern Chen, Shen-Hung Lu, Ji Chen, Beibei Xu, Chieh-Hsiung Kuan, Tao Li, Shining Zhu & Din Ping Tsai  
**Nature Communication** 8, 187 (2017).

## 大面积全介质完美吸收膜及应用

王少伟<sup>1,3\*</sup>, 陈飞良<sup>1,3</sup>, 冀若楠<sup>1,3</sup>, 侯铭铭<sup>2</sup>, 易飞<sup>2</sup>, 郑伟波<sup>1,3</sup>, 张涛<sup>1,3</sup>, 陆卫<sup>1,3</sup>

1 中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家重点实验室, 上海 200083;

2 华中科技大学, 光电信息学院, 湖北 武汉 430074

3 上海节能镀膜玻璃工程技术研究中心, 上海 200083

### 摘要

完美吸收体对电磁波有很高的吸收, 对太阳能捕获和杂散光消除等诸多领域具有非常重要的作用。本工作提出并实现了基于无序相位与梯度相位耦合的完美吸收新模式, 通过阻抗匹配将入射光全部诱导至由高吸收介质颗粒嵌埋的核心吸收区进行高效吸收, 消除了光反射逃逸损失。仅利用 3 层总厚度不到 230nm 的介质超薄膜结构 (Sub/TiN@AlN/TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub>), 就将整个可见波段的光子逃逸率降至 0.4%。而且极易通过大规模生产磁控溅射技术来直接实现大面积快速制备, 无需任何其他工艺, 全部采用廉价的介质材料来替代昂贵的金属材料, 可以大幅降低成本。本工作采用小型工业化多靶磁控溅射系统在玻璃衬底上演示制备出了 200×200mm 的样品, 还可镀制在金属、陶瓷甚至 PET、布、纸等柔性衬底上, 大大拓宽了其潜在应用范围。作为对光子捕获能力的验证, 以激光共焦显微荧光成像系统为例, 该系统需要精确检测激光激发出来的微弱荧光信号, 但光强远大于荧光信号的激光散射会给系统造成很强的杂光干扰, 从而导致成像清晰度和对比度很差。将所研制的可见光完美吸收膜应用到该系统中, 以消除激发激光形成的强烈杂散光, 结果表明, 可以很好地消除激光共焦显微荧光成像系统的杂散光, 对比度和清晰度显著提升, 成像质量得到明显改善。另外, 该介质完美吸收膜对太阳能的捕获能力和光热利用效率非常高, 太阳光吸收率高达 97%、红外发射率低至 0.5%, 还能实现高效的彩色太阳能光热吸收膜。

关键词 超薄; 介质; 完美吸收膜; 杂光抑制; 太阳能捕获

### 致谢

本工作得到了国家重点研发专项 (2017YFC0111403)、国家自然科学基金项目 (11874376)、上海市科学与技术委员会 (18590712600, 18DZ2282200, 19DZ2293400, 19ZR1465900) 及中国科学院青年创新促进会资助。

### 参考文献

- [1] Shaowei Wang *et al.*, Large-Area Low-Cost Dielectric Perfect Absorber by One-Step Sputtering, *Advanced Optical Materials* 2019, 1801596.
- [2] Feiliang Chen *et al.*, High performance colored selective absorbers for architecturally integrated solar applications, *Journal of Materials Chemistry A* 3, 7353 (2015).
- [3] Feiliang Chen *et al.*, Colorful solar selective absorber integrated with different colored units, *Optics Express* 24(2), A92 (2016).
- [4] Feiliang Chen *et al.*, Control of optical properties of TiN<sub>x</sub>O<sub>y</sub> films and application for high performance solar selective absorbing coatings, *Opt. Mater. Express* 4, 1833 (2014).

## 用各向异性双光子吸收实现光束整形

胡月球, 闻博, 芮光浩, 崔一平, 顾兵\*

东南大学先进光子学中心, 江苏南京 210096

\*E-mail: [gubing@seu.edu.cn](mailto:gubing@seu.edu.cn)

**摘要:** 各向异性双光子吸收效应取决于晶体材料的取向和激发光场的偏振态。研究材料的各向异性双光子吸收通常采用线偏振光激发。本文研究了标量光场和矢量光场激发下的各向异性双光子吸收效应。我们给出了任意偏振光激发下的各向异性双光子吸收系数, 发展了椭圆偏振光 Z-扫描表征各向异性双光子吸收理论并进行了相应的实验论证。基于各向异性双光子吸收效应, 我们将高斯型光强分布的矢量光场整形为平顶型光强分布, 见图 1。结果表明, 各向异性双光子吸收提供了将具有偏振结构光场的光强分布进行调控的新途径, 其在光束整形、光限幅以及光电探测等方面具有潜在的应用价值。

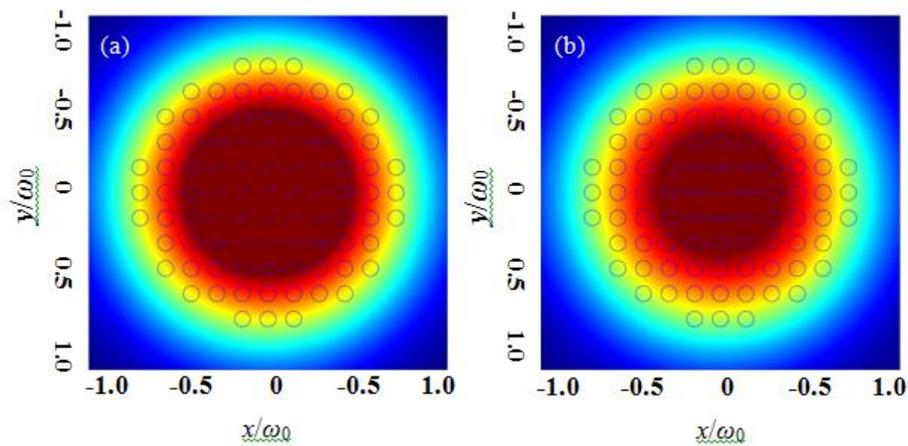


图 1. 具有偏振态空间变化分布的高斯光束经过各向异性双光子吸收材料后的光强分布图。

**关键词:** 双光子吸收, Z-扫描技术, 各向异性系数, 二向色性系数, 光束整形

资助项目: 国家自然科学基金项目 (项目号 11474052、11174160) 和江苏省自然科学基金项目 (BK20171364)

## 紧聚焦结构光与物质的相互作用

徐毅<sup>1\*</sup>、欧阳旭<sup>1,2</sup>、曹耀宇<sup>2</sup>、李向平<sup>2</sup>

1. 暨南大学信息科学技术学院电子工程系, 广州 510632

2. 暨南大学光子技术研究院, 广州 510632

Email: [yi.xu@osamember.org](mailto:yi.xu@osamember.org)

**摘要:** 新型光场调控为光与物质的相互作用提供了新的思路。由于可以携带自旋和轨道角动量, 拉盖尔-高斯光束是近年来结构光领域中倍受关注的一类光束。它已经被广泛应用于光通信、光学检测、光操纵和激光加工等相关领域。紧聚焦拉盖尔-高斯光束会在焦斑处引入丰富的矢量光场, 有望为光与物质的相互作用提供新的调控维度和自由度, 为光信息的传输、处理和存储提供新的解决方案。本报告将讨论基于紧聚焦拉盖尔-高斯光束与无序耦合纳米谐振体系实现多维光信息复用, 旨在突破光与物质相互作用的物理维度, 开拓拉盖尔-高斯光束在多维光信息存储领域的应用。我们将讨论如何基于紧聚焦拉盖尔-高斯光束和无序耦合纳米谐振结构来实现轨道角动量、波长、偏振和三维空间维度中的六维光信息复用。这个物理机制有望应用于高密度冷数据存储和高维数据加密中。

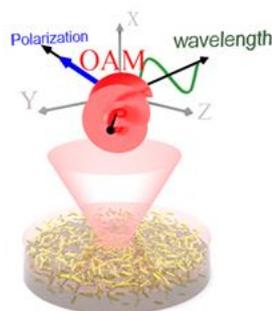


图 1 六维光与物质相互作用

**关键词:** 紧聚焦结构光、无序耦合微纳结构

**参考文献**

- 【1】 Rubinsztein-Dunlop H, Forbes A, Berry M V, et al. Roadmap on structured light, *Journal of Optics*, 2016, 19(1): 013001.
- 【2】 Li J X, Xu Y, Dai Q F, S Lan, SL Tie Manipulating light-matter interaction in a gold nanorod assembly by plasmonic coupling, *Laser & Photonics Reviews*, 2016, 10(5): 826-834.
- 【3】 Ouyang X, Xu Y, Feng Z, Tang W, Cao Y, Li X, Polychromatic and polarized multilevel optical data storage, *Nanoscale*, 2019, 11(5): 2447-2452.

**基金项目:** 国家自然科学基金“新型光场调控物理及应用”重大研究计划培育项目和面上项目 (NOs. 11674130 and 91750110) 等

## 基于全傅里叶分量调控的能量分配式多功能超表面

刘文玮、李占成、陈树琪、田建国

南开大学物理科学学院, 天津 300071

Email: [wliu@nankai.edu.cn](mailto:wliu@nankai.edu.cn)

摘要: 研究人工微结构光学散射场调控对于新型光子学技术的发展具有重要意义。基于傅里叶分析方法, 我们提出了人工微结构超表面的散射场功能函数以及超表面设计的稳定性条件, 并在此基础上研究了凹凸双透镜、大数值孔径超表面透镜等应用, 为新型超表面应用设计提供了理论支持<sup>1</sup>。我们提出了高效率的全傅里叶分量调控方法, 消除了纯相位分布超表面多路技术存在的固有噪声, 避免了复杂的迭代算法, 并设计实现了新型自旋选择光学分辨率板<sup>2</sup>。该设计方法可以实现多个不同功能通道的多路传输, 各通道的能量比可以在一个较宽的范围内 ( $2^{-4.5}$ – $2^4$ ) 精确控制, 同时可以将纯振幅型应用与纯相位型应用结合到同一平台, 进一步推动了基于散射场的光子学信息技术的发展。

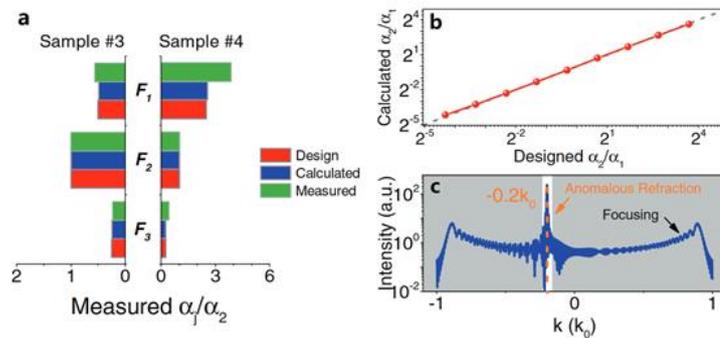


图 1. a) 不同涡旋光通道能量比的理论与实验对比; b) 设计的超表面光栅与超透镜的能量比显示该设计方法具有  $2^{-4.5}$ – $2^4$  的设计范围; c) 超表面光栅与超透镜的功能函数谱。

关键词: 超表面, 多功能, 傅里叶光学, 自旋选择, 非晶硅

### 参考文献

- [1] Wenwei Liu, Zhancheng Li, Hua Cheng, Shuqi Chen, and Jianguo Tian, Momentum analysis for metasurfaces, *Phys. Rev. Appl.* 2017, 8(1), 014012.
- [2] Wenwei Liu, Zhancheng Li, Zhi Li, Hua Cheng, Chengchun Tang, Junjie Li, Shuqi Chen, and Jianguo Tian, Energy tailorable spin-selective multifunctional metasurfaces with full Fourier components, *Adv. Mater.* 2019, 31, 1901729.

基金项目: 国家重点研发计划 (NO. 2016YFA0301102), 博士后基金 (NO. 2018M640229)

D012

专题代号: D

## 周期量级超短脉冲光纤激光系统中非线性动力学研究

胡明列

天津大学精仪学院超快激光研究室 300072 天津

Email: [huminglie@tju.edu.cn](mailto:huminglie@tju.edu.cn)

摘要: 在光纤系统中实现极短脉冲激光的产生和传输一直是超快激光非线性光学领域的热点内容。报告详细论述光纤飞秒激光系统中的非线性传输过程, 并介绍近年来在该领域的研究工作亮点。重点阐述如何通过非线性动力学过程的优化控制, 在光纤激光系统中实现周期量级超短脉冲的产生。

## 半导体太赫兹激光光频梳

黎华\*, 曹俊诚

中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 中国科学院太赫兹固态技术重点实验室, 上海市长宁路865号, 上海200050

\*Email: hua.li@mail.sim.ac.cn

太赫兹 (THz) 波 (频率范围: 0.1-10 THz; 1 THz=10<sup>12</sup> Hz) 位于红外光和微波之间, 在国防安全、生物医疗、空间等领域具有潜在应用。由于缺乏高效 THz 辐射源和探测器, THz 波还没有被完全认知, 所以其被称为 THz 间隙 (“terahertz gap”)。在 1-5 THz 频率范围内, 基于半导体电泵浦的光子学器件 THz 量子级联激光器 (quantum cascade laser, QCL) [1-3] 在输出功率和效率方面比电子学和差频器件高, 是关键 THz 辐射源器件。本报告主要介绍我们在高性能半导体 THz 核心激光器以及光频梳方面的研究进展。在高性能核心器件方面, 我们突破分子束外延生长和半导体工艺技术, 研制出高功率 (1.2 W)、低发散角 (2.4°)、宽频率范围 (2.5-5 THz) THzQCL 器件[4,5], 并实现 THz 高速探测[6]和 multispectral imaging [7]。基于高性能半导体 THz QCL 器件, 成功实现 THz QCL 光频梳以及双光梳[8-10]。克服传统 THz 光谱仪在测量时间和光谱分辨率方面的缺陷, 开发出基于 THzQCL 双光梳的紧凑型高分辨实时光谱检测系统, 为将来实现新一代 THz 光谱仪奠定基础。

### 参考文献:

- [1] R. Kohler, A. Tredicucci, F. Beltram, *et al.*, *Nature* **417** (6885), 156 (2002).
- [2] L. Bosco, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **115**, 010601 (2019).
- [3] H. Li, J. M. Manceau, A. Andronico, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **104** (24), 241102 (2014).
- [4] W. J. Wan, H. Li, and J. C. Cao, *Opt. Express* **26** (2), 980 (2018).
- [5] Z. Li, H. Li, W. Wan, *et al.*, *Opt. Express* **26** (25), 32675 (2018).
- [6] H. Li, W.-J. Wan, Z.-Y. Tan, *et al.*, *Sci. Rep.* **7** (1), 3452 (2017).
- [7] Z. Zhou, T. Zhou, S. Zhang, *et al.*, *Adv. Sci.* **5**, 1700982 (2018).
- [8] W. J. Wan, H. Li, T. Zhou, and J. C. Cao, *Sci. Rep.* **7**, 44109 (2017).
- [9] K. Zhou, H. Li, W. J. Wan, *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **114**, 191106 (2019).
- [10] H. Li, M. Yan, W. J. Wan, *et al.*, *Adv. Sci.*, publication online, DOI: 10.1002/advs.201900460.

## 硅基微纳结构中的四波混频效应及器件

孙启兵、王播然、张文富、柳牧龙、谢鹏、王国玺、曾超、赵卫

中国科学院西安光学精密机械研究所, 瞬态光学与光子技术国家重点实验室, 西安 710119

Email: [qbsun@opt.ac.cn](mailto:qbsun@opt.ac.cn)

摘要: 随着光通信技术的迅猛发展, 下一代光通信的主要特征将是低成本、智能化、集成化和高可靠性。同时, 随着计算机技术的快速发展, 中央处理器速率要求更快, 内存存贮速率要求更快、存储空间要求更大。目前, 光互连被认为是计算机间乃至芯片间高速通信的重要发展方向, 人们对于发展更多新功能和更强新性能的微纳器件产生浓厚兴趣。波导和微腔作为硅基微纳光子器件中非常重要的单元, 结构灵活紧凑, 对光的限制能力很强, 且具有高的非线性、较低的线性和非线性损耗, 成为实现非线性光学效应和功能器件的新工具。

课题组团队突破了高性能硅基波导和微腔的设计、制备以及高效宽带四波混频技术。在此基础上, 提出了基于片上四波混频效应的低畸变高倍率时域放大新方法, 实现了>500 倍的超短脉冲高保真时域放大, 使利用 GHz 带宽的探测器和示波器测量超快光信号成为可能, 为超高速光信号处理与分析开辟了新的技术途径; 提出了双泵浦注入片上非线性频率拓展新方法, 突破了近红外及中红外波段宽带微腔 Kerr 光频梳产生技术, 实现了通讯波段光谱带宽>200nm 和中红外波段超 2/3 倍频程的超高重频光频梳, 为高分辨率分子光谱学、超快光学和集成光学等领域的发展提供关键器件、理论和技术支撑。

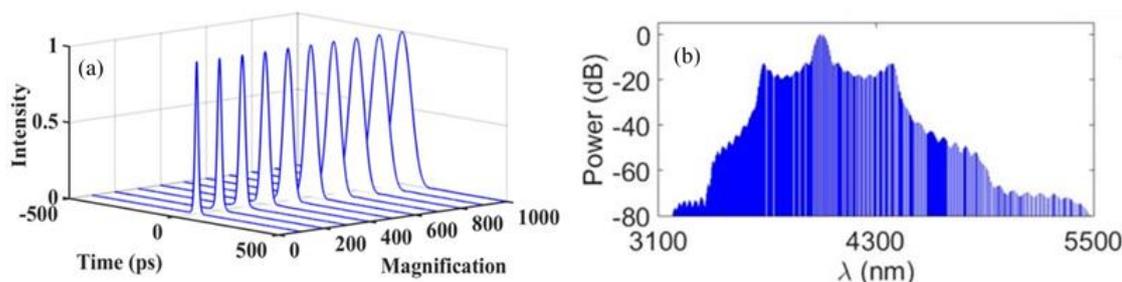


图 1 (a) 不同倍率下的时域放大和 (b) 中红外宽带微腔 Kerr 光频梳光谱

关键词: 波导 微腔 四波混频 时域放大 Kerr 光频梳

参考文献

- 【1】 P. Xie *et al.*, Impact of two-photon absorption and free-carrier effects on time lens based on four-wave mixing in silicon waveguides, *Appl. Phys. Express.* 2018, 11 (8), 082204.
- 【2】 M. L. Liu *et al.*, Influences of multiphoton absorption and free-carrier effects on frequency-comb generation in normal dispersion silicon microresonators, *Photonics Res.* 2018, 6 (4), 238.
- 【3】 M. L. Liu *et al.*, Influences of high-order dispersion on temporal and spectral properties of microcavity solitons, *Opt. Express.* 2018, 26 (13), 16477.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 61705257, 61635013, 61675231)

## Orbital angular momentum: Routing, Sensing and Imaging

陈理想

厦门大学物理学院, 厦门 361005

Email: [chenlx@xmu.edu.cn](mailto:chenlx@xmu.edu.cn)

摘要: 该报告主要介绍我们实验室近年来在基于光子轨道角动量(OAM)的光场调控及其相关的光物理、非线性光学、量子信息等领域的研究进展, 包括: 基于光自旋-轨道耦合调控, 实现高效 OAM 分离并首次分离分数光涡旋; 围绕 OAM 探测难题, 实现弱光涡旋精准“点亮”及自由空间远程旋转 Doppler 效应; 将 OAM 相衬原理推广到非线性倍频调控, 实现红外光照射相位物体边缘增强的可视化; 通过泵浦光 OAM 叠加态调控, 首次提出人脸的量子模式识别, 这些工作有望于构筑新型的光场调控、量子成像及量子传感等关键技术。

关键词: 光子轨道角动量, 光场调控, 物理光学, 非线性光学, 量子成像

### 参考文献

- 【1】 X. Qiu, D. Zhang, W. Zhang, and L. Chen\*, "Structured-pump enabled quantum pattern recognition," *Physical Review Letters* 122, 123901 (2019). [Editors' Suggestion, Featured in Physics]
- 【2】 W. Zhang, J. Gao, D. Zhang, Y. He, T. Xu, R. Fickler, and L. Chen\*, "Free-space remote sensing of rotation at photon-counting level," *Physical Review Applied* 10, 044014 (2018).
- 【3】 X. Qiu, F. Li, W. Zhang, Z. Zhu, and L. Chen\*, "Spiral phase contrast imaging in nonlinear optics: seeing phase objects using invisible illumination," *Optica* 5, 208-212 (2018)
- 【4】 W. Zhang, J. Wang, F. Li, L. Chen\*, and E. Karimi\*, "Revealing optical vortices with a small number of photons," *Laser & Photonics Reviews* 11, 1600163 (2017). (Inside Cover Paper)
- 【5】 W. Zhang, Q. Qi, J. Zhou and L. Chen\*, "Mimicking Faraday rotation to sort the orbital angular momentum of light," *Physical Review Letters* 112, 153601 (2014).
- 【6】 L. Chen\*, J. Lei, and J. Romero, "Quantum digital spiral imaging," *Light: Science & Applications* 3, e153 (2014)

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 91636109), 厦门大学校长基金 (NO. 20720160040), 教育部新世纪优秀人才支持计划 (NO. NCET-13-0495)。

## 金属填充或镀膜微结构光纤的制备及其传感特性研究

李曙光

燕山大学理学院，亚稳材料制备技术与科学国家重点实验室，秦皇岛 066004

\*Email: [shuguangli@ysu.edu.cn](mailto:shuguangli@ysu.edu.cn)

**摘要：**光在金属与介质的交界面传播时会产生表面等离子体共振效应，金属填充光子晶体光纤集表面等离子体效应和光子晶体光纤灵活的结构设计于一体，为激光与微纳结构相互作用的研究提供了新的载体和突破点。本报告对课题组近年来微结构光纤制备过程中气压控制和二次拉制技术中的多参数控制进行介绍，气压控制是制备微结构光纤的关键技术之一，通过气压控制技术可以有效的控制光纤预制棒中气孔形变和大小，可以对气孔实施增大、保持、缩小甚至消失控制；对于塔高受限的实验设备，通过二次拉制和外加套管技术可有效降低微结构光纤中纤芯和气孔的尺度。高温炉温度、保压装置气压、送棒速度以及牵引速度等都是微结构光纤制备过程中的重要参数，在拉丝过程中要根据目标对它们进行相应的调整。介绍了课题组制备的多种类型的单芯、双芯、多芯、带隙型、金属填充或镀膜型微结构光纤。金属填充或镀膜极大地提升了光子晶体光纤的品质并扩展了它的应用范围，利用实验制备的微结构光纤进行了温度、折射率、磁场等的传感检测，理论与实验相结合揭示了金属填充或镀膜微结构光纤中表面等离子体共振的产生机理及其对光纤特性的影响。

**关键词：**微结构光纤，气压控制，二次拉制技术，表面等离子体效应，传感特性

**基金项目：**国家自然科学基金项目（NO. 61475134）

### 报告人简介：



**李曙光**，男，博士，1968年5月生，山西省五寨县人。燕山大学理学院电子系教授、博士生导师，河北省新世纪三三三人才。研究方向为新型光电功能材料、特种光纤及其光子器件。

李曙光现为中国物理学会、中国材料学会和美国光学学会会员，中国光学学会纤维光学专业委员会会员。英文学术期刊 Optoelectronics 编委，Optics Letters、Applied physics B、Chinese Physics Letters、Chinese Physics B、《中国科学》特约审稿人。作为骨干成员完成了国家“863”和“973”项目各1项目，先后主持国家自然科学基金面上项目3项、高校博士点专项基金1项、河北省自然科学基金重点项目3项。已在 Optics Express, Sensors and Actuators B: Chemical, Journal of Lightwave Technology, IEEE Photonics Journal, Applied optics, Applied Physics B, Optics Communication 等国际重要学术刊物发表论文180余篇，其中被SCI收录140篇，EI收录20篇，授权发明专利5项，计算机软件著作权10项。2004年获霍英东教育基金高校青年教师奖三等奖，2005年入

选河北新世纪三三三人才，2007年和2010年两次被评为秦皇岛专业技术拔尖人才。2016年获得河北自然科学奖，获奖题目“基于光子晶体光纤的新型光子器件的基础理论与实验研究”。

本人希望做光物理分会场的邀请报告，由于还有其他事情安排，希望我的报告尽量排在会议的前两天。

## 人工微结构光场调控及其应用

陈树琪<sup>1,2,\*</sup>

1. 南开大学物理科学学院, 弱光非线性光子学教育部重点实验室, 天津 300071

2. 南开大学泰达应用物理研究院, 天津 300457

Email: schen@nankai.edu.cn

**摘要:** 人工微结构的提出, 为在微区实现对光场的任意多维调控提供了新的方式, 我们利用人工微结构实现了对光在近场和远场的任意裁剪, 从而实现了对光的振幅、相位、偏振态和频率等的有效调控。同时我们提出了少层人工微结构的概念, 利用少层人工微结构的近场耦合和干涉效应, 极大的增强了光与人工微结构的相互作用, 显著的提高了人工微结构的效率, 为人工微结构光学器件的进一步研究与应用奠定了重要的基础。

**关键词:** 人工微结构; 光场调控; 多维度;

**资助项目 (此项必填):** 973 计划 (2012CB921900), 国家重大科学研究计划 (2011CB922003), 国家自然科学基金 (11574163, 61378006, 11774186)。

### 参考文献

- 【1】 Cheng H. *et al.*, Emergent functionality and controllability in few-layer metasurfaces *Advanced Materials* 2015 27 5410
- 【2】 Yu P. *et al.*, Controllable optical activity with non-chiral plasmonic metasurfaces *Light: Science & Applications* 2016 5 e16096
- 【3】 Yang B. *et al.*, Ultra-highly saturated structural colors enhanced by multipolar-modulated metasurfaces *Nano Letters* 2019 19 4221.
- 【4】 Chen S. *et al.*, From single- to multi-dimensional manipulation of optical waves with metasurfaces *Advanced Materials* 2019 31 1802458.
- 【5】 Li Z. *et al.*, Tripling the capacity of optical vortices by nonlinear metasurface *Laser & Photonics Reviews* 2018 12 1800164.
- 【6】 Liu W. *et al.*, Energy tailorable spin-selective multifunctional metasurfaces with full Fourier components *Advanced Materials* 2019 31 1901729.
- 【7】 Li. J. *et al.*, Simultaneous control of light polarization and phase distributions using plasmonic metasurfaces *Advanced Functional Materials* 2015 25 704
- 【8】 Li. J. *et al.*, Optical polarization encoding using graphene-loaded plasmonic metasurfaces *Advanced Optical Materials* 2016 4 91

# Improving Photon Indistinguishability of Single-atom-based Single-photon Source by using of a Magic-wavelength Optical Tweezer

Junmin WANG (王军民) \*

State Key Laboratory of Quantum Optics and Quantum Optics Devices, and Institute of Opto-Electronics, Shanxi University,  
No.92 Wu Cheng Road, Tai Yuan 030006, Shan Xi province, P. R. China

\* Email: wwjjmm@sxu.edu.cn

**Abstract:** Atoms trapped in a magic-wavelength optical tweezer will have the same light shift for the desired ground and excited states. In this case the position-dependence differential light shift of the desired transition can be eliminated. For cesium  $6S_{1/2}$  ( $F_g = 4, m = +4$ ) -  $6P_{3/2}$  ( $F_e = 5, m = +5$ ) cycling transition at 852 nm, the magic wavelength was calculated theoretically for a linearly-polarized optical tweezer, and also it was verified experimentally to be 937.6 nm. We have demonstrated narrow-band 852-nm single-photon sources (SPS) based on a single cesium atom trapped in a linearly-polarized optical tweezer implemented with a 1064-nm (or 937.6-nm magic wavelength) laser beam tightly focusing. The photon statistics were characterized by using of the Hanbury Brown - Twiss (HBT) scheme based on Si-based single-photon detectors (SPDs). Strong anti-bunching effect,  $g^{(2)}(0) = 0.09$ , was demonstrated, and it shown the single photon characters. The Hong-Ou-Mandel (HOM) two-photon interference measurements based on SPDs were employed to evaluate the photon indistinguishability of our two kinds of SPS. Preliminary experimental results indicate that the photon indistinguishability has been improved ~ 20% for the case of the magic-wavelength 937.6-nm optical tweezer, compared with the 1064-nm case. Strong indistinguishability of single photons is vital for some applications of SPS, such as the Boson sampling quantum computing and the linear optics quantum computing.

## References

- [1] Bei LIU, Gang JIN, Jun HE, and Junmin WANG, "Suppression of single-cesium-atom heating in a microscopic optical dipole trap for demonstration of an 852-nm triggered single-photon source," *Phys. Rev. A*, Vol.94 (2016) 013409.
- [2] Gang JIN, Bei LIU, Jun HE, and Junmin WANG, "High on/off ratio nanosecond laser pulses for a triggered single-photon source," *Appl. Phys. Express*, Vol.9 (2016)072702.
- [3] Bei LIU, Gang JIN, Rui SUN, Jun HE, and Junmin WANG, "Measurement of magic-wavelength optical dipole trap by using the laser-induced fluorescence spectra of trapped single cesium atoms," *Opt. Express*, Vol.25 (2017) p.15861.

## 基于确定性量子点微腔耦合的高性能半导体光量子器件

刘进

中山大学物理学院, 广州 510275

Email: [liujin23@mail.sysu.edu.cn](mailto:liujin23@mail.sysu.edu.cn)

自组织外延量子点由于其卓越的光学特性被认为是一种有望实现集成光量子芯片的重要材料体系。由于自组织量子点空间位置的内禀随机性和光谱的非均匀展宽, 实现确定性地量子点耦合器件十分困难, 大大阻碍了量子点器件的扩展性。

本次报告中, 我将介绍我们最近发展的一种基于单光子荧光宽场成像的高精度量子点定位技术[1]。利用这一技术, 我们将单个外延量子点与微纳光子结构进行确定性的耦合, 实现了一系列高性能的半导体光量子器件, 具体包括高性能单光子源[2], 纠缠光源[3], 混合集成光量子芯片[4]以及单光子频率转换器[5]。

[1] J. Liu\*, M. Davanco\*, L. Sapienza, K. Konthasinghe, J. V. D. M. Cardoso, J. D. Song, A. Badolato and K. Srinivasan\*, "Cryogenic photoluminescence imaging system for nanoscale positioning of single quantum emitters", *Rev. Sci. Instrum.* 88, 023116 (2017).

[2]. Y. M. He, J. Liu\*, S. Maier, M. Emmerling, S. Gerhardt, M. Davanco, K. Srinivasan, C. Schneider and S. Höfiling, "Deterministic implementation of a bright, on-demand single photon source with near-unity indistinguishability via quantum dot imaging", *Optica* 4 802 (2017).

[3]. M. Davanco\*, J. Liu\*, L. Sapienza, C. Z. Zhang, J. V. D. M. Cardoso, V. Verma, R. Mirin, S. W. Nam, L. Liu and K. Srinivasan\*, "A heterogeneous III-V/silicon integration platform for on-chip quantum photonic circuits with single quantum dot devices", *Nature Commun.* 8 889 (2017).

[4]. J. Liu et al., "A solid-state source of strongly entangled photon pairs with high brightness and indistinguishability", *Nature Nano.* (2019).

[5]. A. Singh, Q. Li, S. F. Liu, Y. Yu, X. Y. Lu, C. Schneider, S. Höfiling, J. Lawall, V. Verma, R. Mirin, S. W. Nam, J. Liu\* and K. Srinivasan\* "Quantum frequency conversion of a quantum dot single-photon source on a nanophotonic chip", *Optica* 6 563 (2019)

## 基于深度学习的高分辨低辐射非相干 X 光鬼成像

何雨航<sup>1,2</sup>、张艾昕<sup>1,2</sup>、李明飞<sup>3,4</sup>、黄祎祎<sup>1,2</sup>、陈黎明<sup>1,2</sup>、吴令安<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 中国科学院物理研究所, 北京, 100190

<sup>2</sup> 中国科学院大学, 北京, 100049

<sup>3</sup> 中国航天科技集团有限公司量子工程研究中心, 北京, 100094

<sup>4</sup> 北京航天控制仪器研究所, 北京, 100039

Email: [wula@iphy.ac.cn](mailto:wula@iphy.ac.cn)

**摘要:** 上世纪五十年代, Hanbury Brown–Twiss 的里程碑实验奠定了量子光学的基础, 开辟了量子信息学的发展。九十年代出现的基于强度二阶关联的量子“鬼”成像 (ghost imaging, 简称 GI), 现在已覆盖各波长, 甚至原子、电子 GI 已实现了。然而, 由于技术上的困难, X 光 GI 在近几年才得以实现。

在生物医学等领域, 安全和图像质量一直是 X 射线成像中最重要的两个因素。在传统的 X 光透射成像中, 空间分辨率主要受限于光源的空间相干性 (源尺寸), 而剂量则受限于 Ross 判据以及 Nyquist 采样定理, 取决于分辨率、辐照的总光子数以及采样率。虽然人们一直追求高分辨低剂量的 X 光诊断, 但是由于光源及探测器的限制, 传统的成像方式一直难以在剂量和分辨率上同时取得突破。去年, 我们以非相干 X 光成功实现了低剂量的 X 光鬼成像 (XGI), 但是利用 CCD 预记录的方式不仅效率低, 耗时长, 且整个系统的分辨率仍受限于 CCD 以及光源源尺寸[1]。这也是 XGI 走向实用化的一个主要瓶颈。

为解决这一问题, 我们设计了新的计算 XGI 方案 [2]。在硬件上, 制作了新型的振幅调制板, 以 Hadamard 矩阵调制取代之前的砂纸随机调制, 不仅可以预存调制矩阵图案而且可定量控制成像分辨率。利用化学沉积的方法得到金属薄膜, 再通过离子束刻蚀获得精细结构, 加工难度和成本相对较低。用二极管探测器代替 CCD 作为真正的桶探测器, 实现了 X 光单像素相机成像。在软件上, 我们用深度学习算法改造压缩 Hadamard 矩阵排序方式, 并引入了多重小波卷积神经网络进行图像处理去噪, 得到比以往简单二阶关联和压缩感知算法更优的结果。实验中, 便携式台面 X 光源的源尺寸为 37  $\mu\text{m}$ , 但是用我们的新方法, 得到复杂实物的清晰图像, 并且在 18.75% 采样率的情况下仍然获得 10  $\mu\text{m}$  的分辨率; 这是癌症诊断所需的最低分辨率, 不仅打破了传统 X 射线成像中源尺寸以及 CCD 对于成像分辨率的限制, 而且低采样率意味着更低的辐射剂量, 对于医学诊断、活体样品分析意义重大。整套实验装置简单, 实用化程度高, 为制造低成本、高分辨的 X 光相机打下了坚实的基础, 未来有望应用于生物医疗、考古学及材料分析等诸多领域。

**关键词:** X 光鬼成像; 高分辨成像; 单像素成像; 深度学习

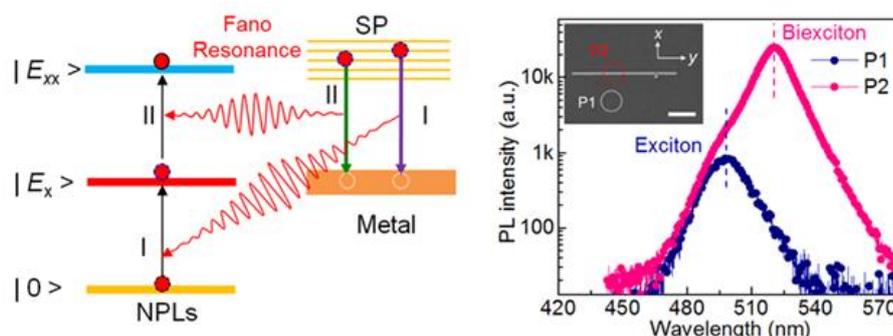
**参考文献:**

- 【1】 A. X. Zhang, Y. H. He, L. A. Wu, L. M. Chen, and B. B. Wang, Table-top x-ray ghost imaging with ultra-low radiation, *Optica* 2018, 5(), 374.
- 【2】 Y. H. He, A. X. Zhang, M. F. Li, Y. Y. Huang, B. G. Quan, D. Z. Li, L. A. Wu, and L. M. Chen, Deep learning based high-resolution incoherent x-ray imaging with a single-pixel detector, *arXiv*: 1905.10364.

**基金项目:** 国家重点研发计划 (2017YFA0403301, 2017YFB0503301, 2018YFB0504302), 国家自然科学基金项目(11334013, 11721404, U1530150, 11805266), 等。

## Room Temperature Continuous-wave Excited Strong Biexciton Emission in Perovskite Nanoplatelets *in* Plasmonic Nanocavity

Biexcitons are a manifestation of many-body excitonic interactions, which are crucial for quantum information and computation in the construction of coherent combinations of quantum states. However, due to their small binding energy and low transition efficiency, most biexcitons in conventional semiconductors exist either at cryogenic temperatures or under femto-second pulse laser excitation. In this talk, we demonstrated strong biexciton emissions from CsPbBr<sub>3</sub> nanoplatelets with continuous-wave excitation at room temperature by coupling them with a plasmonic nanogap. The exciton occupancy required to generate biexciton was reduced  $\sim 10^6$  times in the Ag nanowire- Ag film nanogaps. The extremely large enhancement of biexciton emissions was driven by nonlinear Fano resonance between biexciton and surface plasmon cavity modes. These results provide new pathways to develop high efficiency non-blinking single photon sources of biexciton, entangled light sources, and lasers based on biexciton states.



### Acknowledgement

This work is supported by Ministry of Science and Technology, National Natural Science Foundation of China and Beijing Municipal Natural Science Foundation.

### References:

1. J. Chen, X. F. Liu\* *et al.* Communications Physics, 2, 80 (2019)
2. Y. Mi, X. F. Liu\* *et al.* Small, doi.org/10.1002/sml.201901364(2019)
3. Yang Mi, X. F. Liu\* *et al.* AOM, doi.org/10.1002/adom.201900544 (2019)
4. W. J. Chen, X. F. Liu\* *et al.* JPCL, doi.org/10.1021/acs.jpcllett.9b01224 (2019)
5. Z. X. Liu, X. F. Liu\* *et al.* JPCL 10, 2363–2371 (2019)

## 反式平面型钙钛矿太阳能电池的研究

朱瑞<sup>1\*</sup>

北京大学物理学院，人工微结构和介观物理国家重点实验室，北京，100871

\*Email: iamzhurui@pku.edu.cn

钙钛矿太阳能电池近年来展示出巨大的潜力，光电转换效率已经超过 24%。在该领域的研究中，高效率器件的构筑一直是行业关注的热点。围绕高性能光伏器件的构筑，我们研究小组从 2014 年开始逐步开展平面型钙钛矿太阳能电池的研究，尤其针对反式结构钙钛矿太阳能电池，我们在界面调控、薄膜微纳结构优化等方面陆续开展一系列协同研究工作。基于这些研究成果，目前我们研究小组制备出效率超过 21% 的反式平面型钙钛矿太阳能电池。同时，我们借助同步辐射 X 射线衍射技术，对钙钛矿活性层的结构形成开展原位探测研究，系统阐述了钙钛矿薄膜微结构的形成过程。我将代表我们研究小组介绍我们近年来的研究工作。此外，我们也在探索钙钛矿太阳能电池的其他潜在应用可能，将跟各位老师 and 同学分享。[1-6]

### 参考文献：

1. Y. G. Tu, et al., Science China-Physics Mechanics & Astronomy 2019, 62, 974221.
2. D. Y. Luo, et al., Science 2018, 340, 1442.
3. D. Y. Luo, et al., Advanced Materials 2017, 29, 1604758.
4. Q. Hu, et al., Nature Communications 2017, 8, 15688.
5. J. Wu, et al., Nano Letters 2017, 17, 3563.
6. K. Chen, et al., Advanced Materials 2016, 28, 10718.

## Manipulating the coupling strength in a strongly coupled quantum dot-cavity system

**Xiulai Xu\***

*Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China*

*\*corresponding author, E-mail: xlxu@iphy.ac.cn*

We report on high-resolution photocurrent (PC) spectroscopies of a single self-assembled InAs/GaAs quantum dot (QD) embedded in an n-i-Schottky device. For a positive charged trions (X<sup>+</sup>) in a single quantum dot, giant enhancement of photocurrent has been achieved because of the Coulomb repulsion between the two holes. Furthermore, strong coupling for cavity QED between different excitonic states in a single quantum dot and the cavity will be presented with a two-photon Rabi splitting. Both exciton and biexciton transitions couple to a high quality factor photonic crystal cavity with large coupling strengths over 130  $\mu\text{eV}$ . Finally, strong interactions between cavities and p-shell excitons with a great enhancement by the *in situ* wave-function control will be demonstrated because of the large wave-function extents and nonlocal interactions beyond the dipole approximation with a large coupling strength of 210  $\mu\text{eV}$  being achieved.

Ref:

- 1, Chenjiang Qian, Xin Xie, Jingnan Yang, Kai Peng, Shiyao Wu, Feilong Song, Sibai Sun, Jianchen Dang, Yang Yu, Matthew J. Steer, Iain G. Thayne, Kuijuan Jin, Changzhi Gu, and Xiulai Xu. [Enhanced Strong Interaction between Nanocavities and p-shell Excitons Beyond the Dipole Approximation](#). PHYSICAL REVIEW LETTERS 122, 087401 (2019)
- 2, Kai Peng, Shiyao Wu, Xin Xie, Jingnan Yang, Chenjiang Qian, Feilong Song, Sibai Sun, Jianchen Dang, Yang Yu, Shushu Shi, Jiongji He, and Xiulai Xu. [Giant Photocurrent Enhancement by Coulomb Interaction in a Single Quantum Dot for Energy Harvesting](#). PHYSICAL REVIEW APPLIED. 11, 024015 (2019)
- 3, Chenjiang Qian, Shiyao Wu, Feilong Song, Kai Peng, Xin Xie, Jingnan Yang, Shan Xiao, Matthew J. Steer, Iain G. Thayne, Chengchun Tang, Zhanchun Zuo, Kuijuan Jin, Changzhi Gu, and Xiulai Xu. [Two-Photon Rabi Splitting in a Coupled System of a Nanocavity and Exciton Complexes](#). PHYSICAL REVIEW LETTERS. 120, 213901 (2018)

## Measurement on Thermal Expansion Coefficient of 2D Material and Study of Substrate Effect via Raman Microspectroscopy

Abstract: Thermal expansion coefficient(TEC) of two-dimensional(2D) material is a fundamental and crucial parameter for both physical study and future applications. The substrate effect induce huge difficulty in previous work of measuring the TEC of 2D material. Hereby we develop a new method to measure the TEC of 2D material by Raman microspectroscopy. To correct the substrate effect, a patterned substrate design was applied to induce controlled lateral strain on 2D material under Raman detection. Our results prove strong interaction between substrate and 2D material in both in-plane and out-of-plane direction. The intrinsic TEC of graphene on octadecyltrichlorosilane(OTS) substrate is measured with a room temperature value of  $\alpha_{\text{graphene}} = (-1 \pm 3) \times 10^{-6} / \text{K}$ . Our results provide a new method to measure the TEC of 2D material and improve the fundamental understanding of interaction between 2D material and substrate, suggesting the out-of-plane coupling should be taken into consideration in future TEC study of 2D material.

## 基于铌酸锂微环腔孤子频梳的研究

郭丽娟<sup>1</sup>、李勇男<sup>1</sup>、涂成厚<sup>1</sup>、王慧田<sup>2</sup>

1. 南开大学物理科学学院, “弱光非线性光子学”教育部重点实验室

2. 南京大学物理科学学院

Email: [2120170176@mail.nankai.edu.cn](mailto:2120170176@mail.nankai.edu.cn)

**摘要:** 近年来, 基于光学微腔的集成孤子频梳在精密测量和光通信等方面产生了重要的应用[1], 受到了人们的广泛重视。目前, 微腔孤子频梳主要基于材料的三阶非线性效应, 即级联四波混频产生。非线性晶体中的二阶非线性效应也可以用于产生频梳[2], 将进一步提高频梳的产生效率。诸多的二阶非线性效应, 例如电光效应[3]和光折变效应等将为孤子频梳的产生提供更多的调控手段。因此, 制备非线性晶体集成光子器件, 以及研究非线性晶体微腔中的非线性动态物理过程具有重要的意义。

本论文研究了基于铌酸锂微腔生成孤子频梳以及电光效应对铌酸锂微腔双频梳重复率差的调制作用。我们设计了铌酸锂微环腔, 并对铌酸锂微腔进行理论建模和数值模拟, 在一般的 LLE 理论模型中增加了光折变非线性项, 通过优化泵浦功率和频率失谐等参数, 模拟产生了孤子频梳。同时利用铌酸锂优良的电光特性, 研究了铌酸锂微腔中电光调制对双频梳重复率差的调制特性, 在外加电压只有  $10^{-2}V$  量级的情况下, 双频梳重复率差可以达到几百  $KHz$ , 实现了低外加电压下重复率差可调的双频梳, 增加了双频梳应用的灵活性和适用性。

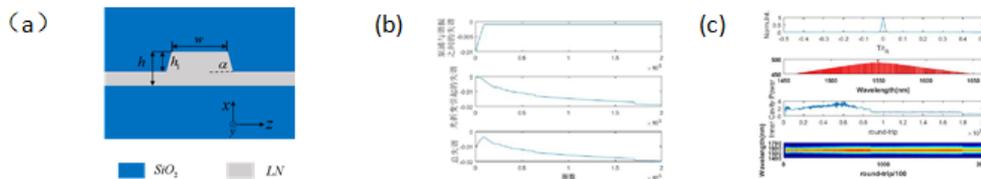


图 1: 基于铌酸锂微腔生成孤子频梳

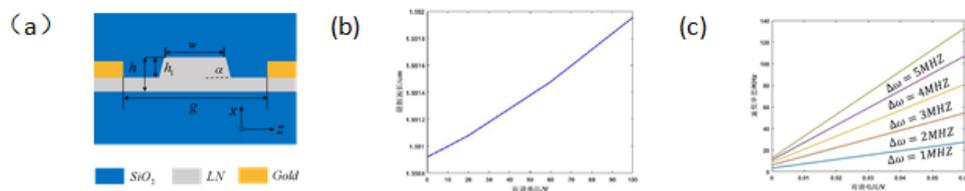


图 2: 电光效应对铌酸锂微腔双频梳重复率差的调制作用

**关键词:** 光学频梳; 铌酸锂微腔; 电光效应; 双频梳

**参考文献:**

- [1] T. Herr *et al.*, Dissipative Kerr solitons in optical microresonators, *Science*.2015, 361(6402),129.
- [2] C. Wang *et al.*, Integrated lithium niobate electro-optic modulators operating at CMOS-compatible voltages, *Nature*.2018, 562, 101
- [3] C. Wang *et al.*, Nanophotonic Lithium Niobate Electro-optic Modulators, *Optics Express*.2017, 26(2), 1547.

**Second harmonic generation: a symmetry probe for 2D materials**

Shiwei Wu

*Department of Physics, Fudan University, Shanghai, China**Email: swwu@fudan.edu.cn*

## Abstract:

Atomically thin two dimensional materials such as graphene, transition metal dichalcogenide and chromium trihalide monolayers have recently spurred a great of interests due to their unique mechanic, electronic, optical and magnetic properties. And often these properties could be greatly tuned by external stimuli such as electric, magnetic and force field. Individual member in this class of 2D materials is also characteristic in term of different symmetries. Moreover, the symmetries could also be tuned, depending on how monolayers are stacked on one another. These variations in symmetry have given rise to even richer properties among different 2D materials and their homo-/hetero-structures. Therefore, they provide a new playground for nonlinear optics, namely second harmonic generation, because of its sensitivity to symmetries. Vice versa, second harmonic generation becomes a powerful technique to study 2D materials. In this talk, I will present some of our recent results on 2D materials [1-3].

## References:

- [1] Zeyuan Sun#, Yangfan Yi#, Tiancheng Song, Genevieve Clark, Bevin Huang, Yuwei Shan, Shuang Wu, Di Huang, Chunlei Gao, Zhanghai Chen, Michael McGuire, Ting Cao, Di Xiao, Wei-Tao Liu, Wang Yao, Xiaodong Xu\*, Shiwei Wu\*, Giant nonreciprocal second harmonic generation from antiferromagnetic bilayer CrI<sub>3</sub>. Nature (in press).
- [2] Yu Zhang#, Di Huang#, Yuwei Shan, Tao Jiang, Zhihong Zhang, Kaihui Liu, Lei Shi, Jinluo Cheng, John E. Sipe, Wei-Tao Liu\*, Shiwei Wu\*, Doping-induced second harmonic generation in centrosymmetric graphene from quadrupole response. Physical Review Letters 122, 047401 (2019).
- [3] Yuwei Shan, Yingguo Li, Di Huang, Qingjun Tong, Wang Yao, Wei-Tao Liu, Shiwei Wu\*, Stacking-symmetry governed second harmonic generation in graphene trilayers. Science Advances 4, eaat0074 (2018).

## 硫基·石墨烯集成光电子器件

林宏焘\*

浙江大学信息与电子工程学院，浙江杭州，310027

\*Email: hometown@zju.edu.cn

如何利用新材料新工艺实现红外光的片上高性能探测及调控，是发展下一代光子计算、感知、处理技术的关键。硫基材料，主要指的是含有硫、硒、碲等硫族元素的化合物，由于其优异的线性及非线性红外光学性能以及极易加工的特性，已经在中红外传感、柔性光子学等新兴应用领域显示巨大潜力。但是硫基材料作为优异的光导波材料，其本身不具备特定的光电子响应特性，无法单独利用其去实现片上光信号产生、调制、处理等功能。二维材料，由于其独特的少层甚至单层原子结构，具有包括发光、光调控、光探测等各种优异的光电特性，非常适合下一代高性能光电子器件的研发。为此，我们开发出了硫基-二维材料光电子集成技术。[1]利用该技术能够在低温情况下在二维材料上无损集成高质量硫基光学薄膜，并通过电子束曝光及干法刻蚀，在二维材料上制备包括波导、谐振腔、光子晶体等结构，研制高性能光子器件。具体包括：1) 目前工作波长最宽的石墨烯片上起偏器；2) 最高能效（10nm/mW）的热光开关；3) 首个中红外波导集成黑磷探测器[2]；4) 首个波导集成中红外石墨烯电吸收调制器等。利用该技术，不仅能够利用二维材料独特的物理特性去实现过去难以实现的高性能新型光电器件，而且也将为二维材料在新兴光电子领域应用提供重要推力。

### 参考文献:

[1] H. Lin, Y. Song, Y. Huang, et al, Nat. Photonics 11, 798-805 (2017)

[2] S. Deckoff-Jones, H. Lin, D. Kita, et al, J. Opt. 20, 044004 (2018).

## 基于光学超透镜的光子自旋霍尔效应及其应用研究

王国玺、曾超、李思奇、李星仪、孙启兵、王播然、张文富、赵卫

中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710119

Email: [wanguoxi@opt.cn](mailto:wanguoxi@opt.cn)

**摘要:**传统的光学透镜是通过玻璃厚度变化来调节入射光相位实现聚焦的,这样的透镜体积大而且笨重。随着微纳光学的不断发展,传统光学透镜难以满足大规模集成以及器件小型化、功能多样化的要求。超透镜是一种通过人工方式将具有特殊电磁特性的光学天线按照一定方式进行排列的二维平面透镜结构,可实现对入射光振幅、相位、偏振等参量的灵活调控,在超分辨显微成像、全息光学、消色差透镜等方面有重要应用。超透镜不仅突破了传统光学透镜的电磁属性,其二维的平面结构更易于加工和集成,为光学透镜的小型化与集成化提供解决方案。

课题组团队基于单层超透镜结构实现了光子的自旋霍尔效应,利用该效应获得了左、右旋圆偏振光在空间任意位置的聚焦。类似电子的自旋霍尔效应,自旋角动量相反(即左、右旋圆偏振)的光子经过非均匀介质传输时,会产生光束自旋分裂现象,即光子自旋霍尔效应。研究团队利用纳米天线动力学相位与 Pancharatnam-Berry 相位结合的方法,通过设计纳米天线几何结构与空间取向,在单层超透镜上实现了光子自旋霍尔效应及左、右旋圆偏振光相位的独立操控,在横向和径向同时完成了不同自旋态光束的聚焦,提升了超透镜的光束操控及聚焦能力,具有结构紧凑,灵活性强等优点,能够满足大规模集成及器件小型化、功能多样化的需求,在全矢量偏振成像、圆二色性光谱检测等领域有重要应用。

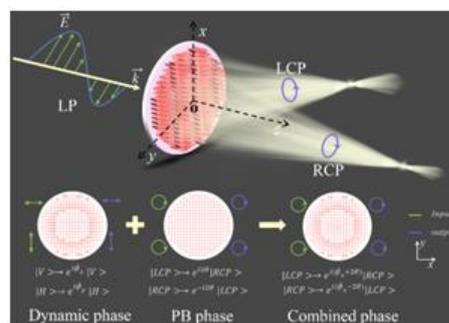


图 1 基于单层介质超表面的光子自旋霍尔效应

关键词: 光学超表面 光子自旋霍尔效应 偏振

参考文献

- 【1】 N. F. Yu *et al.*, Light propagation with phase discontinuities: generalized laws of reflection and refraction, *Science* 2011, 334 (6054), 333.
- 【2】 S. Q. Li *et al.*, Multidimensional manipulation of photonic spin Hall effect with a single-layer dielectric metasurface, *Adv. Opt. Mater.* 2019, 7 (5), 1801365.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 61635013, 61675231, 61705257)

## 基于智能算法的片上路由纳米器件

路翠翠<sup>1</sup>、刘舟慧<sup>1</sup>、吴攸<sup>2</sup>、胡小永<sup>2</sup>、刘永椿<sup>3</sup>、张向东<sup>1</sup>

1.北京理工大学物理学院, 北京

100081

2.北京大学物理学院&介观物理国家重点实验室, 北京

100871

3.清华大学物理系&低维量子物理国家重点实验室, 北京

100084

Email:

[cuicuilu@bit.edu.cn](mailto:cuicuilu@bit.edu.cn)

摘要: 纳米光子学器件利用光子作为信息载体, 能够突破传统微电子技术对芯片功耗与性能的限制, 是实现下一代超高速和超宽带信息处理技术的有力手段。片上纳米路由器件能够将不同的入射光信号(例如波长、偏振、角动量等)分离并传播到不同的输出端口, 在光子集成器件的许多应用中发挥着关键作用。然而, 为了实现上述目标, 传统的基于光子晶体、光学微腔、光栅等结构的设计方法有各自的局限性, 近年来, 利用智能优化算法设计纳米路由器件能够充分利用全参数空间, 打破传统结构限制, 为纳米路由器件的实现提供了新思路。在此工作中, 将有限元方法和遗传迭代优化算法结合, 构造出一种智能优化算法, 能够高效地设计出超小型宽带的波长和偏振路由器件。实验上, 利用聚焦离子束刻蚀系统在硅薄膜上制备出纳米路由器件, 其中波长路由器的尺寸只有  $1.4 \mu\text{m} \times 1.8 \mu\text{m}$ , 偏振路由器只有  $1.24 \mu\text{m} \times 0.97 \mu\text{m}$ , 是目前已知的尺寸最小的片上路由器件。利用光纤耦合系统, 在近红外波段测试了器件的透射谱, 实现了近红外波段的波长路由和偏振路由。基于智能算法的设计方法适用于不同材料(介质和金属均可、不同结构类型、不同输出端口以及不同工作波段, 为片上纳米器件的设计提供了通用的计算方法, 对实现片上纳米光子器件集成具有重要意义。

关键词: 纳米路由, 优化算法, 硅基光子学, 片上集成

参考文献

【1】 S. Molesky, Z. Lin, A. Y. Piggott, W. Jin, J. Vucković, A. W. Rodriguez, Inverse design in nanophotonics, *Nature Photonics* 2018, 12, 659-670.

【2】 K. Yao, D. R. Unni, Y. Zheng, Intelligent nanophotonics: merging photonics and artificial intelligence at the nanoscale, *Nanophotonics* 2019, 8, 339-366.

# Active control of light slowing enabled by coupling electromagnetic metamaterials with low-lossy graphene

J. CHEN (陈骏伟),<sup>1,†</sup> X. LI (李晓温),<sup>1,†</sup> X. SHI (石溪),<sup>1</sup> C. FAN (樊晨芳),<sup>1</sup> M. TUHTASUN (买尔旦·吐合达洪),<sup>1</sup> X. HE (何晓勇),<sup>1</sup> W. SHI (石旺舟),<sup>1,2</sup> AND F. LIU (刘锋)<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>*Department of Physics, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China*

<sup>2</sup>*Key Laboratory for Astrophysics, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China*

<sup>†</sup>These authors contributed equally for this work.

\*Corresponding author: [flu@shnu.edu.cn](mailto:flu@shnu.edu.cn)

**(Xiaowen Li: [liwen\\_phy@163.com](mailto:liwen_phy@163.com))**

We theoretically investigate dynamical control of light slowing within the induced transparent window, e.g., in near-infrared frequencies, in electromagnetically induced transparent (EIT) metamaterials loaded by low-lossy graphene. Coupling with graphene enables distinctive optical responses of the “bright” and “dark” resonators in EIT metamaterials, rendering a switching of the transparent window and a modulation on light dispersion. Optical performance of the transparent window manifests continuous tuning as the graphene doping level changes. We show that the active modulation on optical properties of the transparent window enabled by low-lossy graphene is distinctive either by passively adjusting the interspacing between the building blocks of EIT metamaterials, or active tuning by high-lossy graphene. Furthermore, we report that the group refractive index can be in situ tuned dynamically over a broad range, e.g.,  $\sim 2$  orders for near-infrared frequencies, together with absorption maintained at a level similar to that of the unloaded structure. Our study offers new possibilities towards chip-scale devices, such as active optical switching, filtering, and data storing.

## References

[1] Optics Lett. 43, 4891-4894 (2018).

## 热释电光电子学效应对氧化锌基探测器性能的增强作用

王兆娜

应用光学北京市重点实验室, 北京师范大学物理学系, 北京、北京市 100875

Email: [zhnwang@bnu.edu.cn](mailto:zhnwang@bnu.edu.cn)

作为一种直接禁带的第三代半导体材料, 氧化锌具有大的激子结合能, 在室温光电探测领域具有重要的应用前景。但氧化锌基紫外光电探测器响应时间长, 尤其是真空响应时间过长的问题, 限制了其进一步实际应用。针对这一问题, 我们提出并发展了热释电光电子学效应这一全新的物理概念[1], 利用纤锌矿氧化锌的热释电效应和光电效应有机地耦合, 实现了快速响应的氧化锌基紫外光探测器。利用这一界面物理效应成功构建并实现了空气和真空条件下均可快速响应的氧化锌基紫外探测器[2], 实现了微秒响应的紫外探测器。最近, 我们又深入研究了热释电光电子学效应对光电流的调控机制。我们在柔性衬底上实现了 ZnO/Ag 肖特基接触的自供能紫外光探测器, 发现了综合的热释电光电子学效应。初级热释电效应使光电探测器的瞬态光电流响应随着紫外光功率密度的增加而增大, 而次级热释电效应诱导的极化电荷会持续地调控肖特基势垒高度, 导致器件的稳态光电流随着光功率密度的增加而减小甚至出现反向光电流的现象[3]。在此基础上, 系统研究了斩波频率对热释电光电子学效应的调控作用[4], p-Si/n-ZnO 纳米线阵列异质结结构作为一个自供能光电探测器, 当紫外光功率密度较小时, 器件的瞬态光电流响应存在最优化斩波频率; 而在较大光功率密度激光的激发下, 瞬态光电流随着斩波频率的增大有规律地先增加后保持不变。进一步, 我们建立了热释电光电子学效应调控光电流的等效电路模型, 并结合能带调控模型对观察的实验结果进行理论解释。研究结果表明热释电光电子学效应在高性能自供能光电探测器实现方面具有潜在的优势[5]。

### References

1. Z. Wang, R. Yu, C. Pan, Z. Li, J. Yang, F. Yi, and Z. L. Wang, "Light-induced pyroelectric effect as an effective approach for ultrafast ultraviolet nanosensing," *Nat. Commun.* **6**, 8401 (2015).
2. Z. Wang, R. Yu, X. Wang, W. Wu, and Z. L. Wang, "Ultrafast Response p - Si/n - ZnO Heterojunction Ultraviolet Detector Based on Pyro - Phototronic Effect," *Advanced Materials* **28**, 6880-6886 (2016).
3. Y. Wang, L. Zhu, Y. Feng, Z. Wang, and Z. L. Wang, "Comprehensive Pyro - Phototronic Effect Enhanced Ultraviolet Detector with ZnO/Ag Schottky Junction," *Adv Funct Mater* **29**, 1807111 (2018).
4. Y. Feng, Y. Zhang, Y. Wang, and Z. Wang, "Frequency response characteristics of pyroelectric effect in pn junction UV detectors," *Nano Energy* **54**, 429-436 (2018).
5. Z. Xu, Y. Zhang, and Z. Wang, "ZnO-based photodetector: from photon detector to pyro-phototronic effect enhanced detector," *Journal of Physics D: Applied Physics* **52**, 223001 (2019).

## 光学微环腔的法诺共振线型调控

甘雪涛 顾林棚 赵建林

西北工业大学理学院，西安 710072

Email: [xuetaogan@nwpu.edu.cn](mailto:xuetaogan@nwpu.edu.cn)

**摘要：**光学微环腔由于具有高品质因子、紧凑结构、可与多种主动和被动器件相集成等优点，成为光子集成芯片上尤为重要的光子元件，且被广泛用于光学传感、光开关、光调制器、波分复用器等器件上。微环腔的应用需其与直波导相耦合以将其中共振模式通过直波导的传输谱进行表征，且表现出一系列周期性的洛伦兹共振线型。而基于微环腔的器件应用均基于微环腔共振模式的波长移动，从而实现微环腔与直波导耦合后的传输谱在某一特定波长的传输功率发生改变。因此，微环腔与直波导耦合后传输谱的共振线型对于基于微环腔的器件应用至关重要。比如微环腔的共振模式具有更高的品质因子、更陡峭的线型，可以大大提升传感器的传感灵敏度、降低光开关的功耗等。

法诺（Fano）共振线型近年来在光子学领域吸引了极大的研究兴趣。与对称的洛伦兹线型所不同，法诺共振线型不对称且更加陡峭，对于线性和非线性光子器件性能提升均有潜力。本报告从法诺共振的物理机理分析，提出两种实现微环腔-直波导耦合系统中法诺共振线型的两个思路，并实现了法诺共振线型的调控。第一个思路通过调控微环腔-直波导耦合区域的相位延迟，使得耦合系统中连续态和离散态之间产生不同的相位差，从而对二者干涉形成的法诺线型进行调节。该相位延迟的实现可以是在与微环腔耦合区域的直波导区域引入空气孔或者填入相变材料。实验上通过改变空气孔的位置、形状、尺寸等实现共振线型在洛伦兹、法诺、电磁诱导透明（EIT）型之间的转换。第二个思路通过在直波导上引入两个空气孔以形成法布里-珀罗光学腔，在与微环腔的共振模式发生干涉后，可以得到洛伦兹、法诺、电磁诱导透明型的共振线型，且可以通过改变两个空气孔之间的间距对共振线型进行调控。所提出的两种结构保持了微环腔的紧凑性、可以实现不同的共振线型且对器件加工误差的容忍度高，有利于拓展微环腔的器件应用并提升器件性能。

关键词：微环腔，法诺共振

- 【1】 Linpeng Gu, Hanlin Fang, Juntao Li, Liang Fang, Soo Jin Chua, Jianlin Zhao\*, Xuetao Gan\*, A compact structure for realizing Lorentzian, Fano and electromagnetically induced transparency resonance lineshapes in a microring resonator, *Nanophotonics* 8(5): 841–848, 2019.
- 【2】 Linpeng Gu, Liang Fang, Hanlin Fang, Juntao Li, Jianbang Zheng, Jianlin Zhao\*, Xuetao Gan\*, Fano resonance lineshapes in a waveguide-microring structure enabled by an air-hole. 2019.arXiv preprint arXiv:1904.02186.

## 近零介电常数薄膜在非线性光学中的应用

杨原牧

清华大学精密仪器系, 北京 100084

Email: [ymyang@tsinghua.edu.cn](mailto:ymyang@tsinghua.edu.cn)

摘要: 在深亚波长厚度的, 近零介电常数 ( $\epsilon$ -near-zero, ENZ) 薄膜材料中, 光场可被大大增强, 从而诱发若干奇异的非线性光学效应。特别是针对紫外高次谐波产生或者太赫兹波产生等通常受限于相位失配的非线性光学过程, ENZ 薄膜可能拥有巨大优势。报告人将分享课题组近期关于基于 ENZ 薄膜的固态紫外高次谐波源以及宽带太赫兹源的相关实验进展。

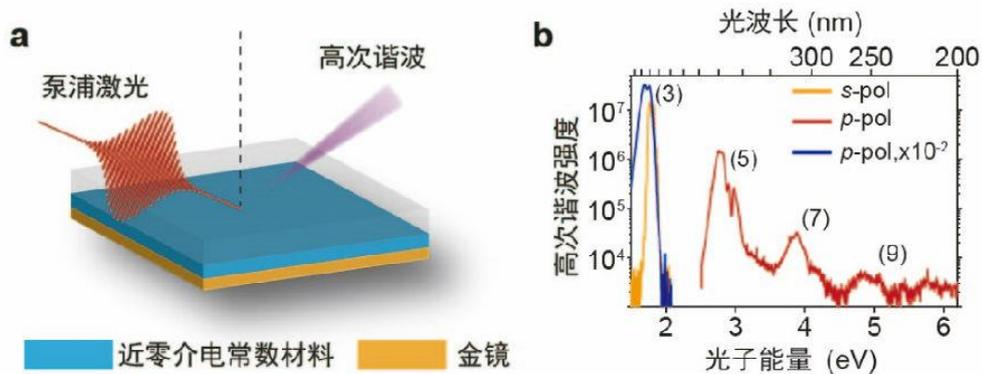


图 1. (a) 高次谐波产生实验装置示意图; (b) 实验测得高次谐波光谱。

关键词: 近零介电常数 ( $\epsilon$ -near-zero) 高次谐波产生 太赫兹波产生

参考文献

【1】 Y. Yang *et al.*, High-harmonic generation in epsilon-near-zero materials, *Nat. Phys.* 2019, advanced online publication.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 61975251)

## 轨道角动量光量子调控及应用

汪喜林

南京大学, 南京, 210000

Email: [xilinwang@nju.edu.cn](mailto:xilinwang@nju.edu.cn)

摘要：具有螺旋位相的光子携带轨道角动量，作为光子可灵活调控的自由度之一，轨道角动量在光场调控和量子信息中都发挥着独特作用。例如，基于轨道角动量可以生成包括径向偏振光和旋向偏振光在内的多种矢量光场；迄今最大量子数和最高维度的量子纠缠都是利用轨道角动量自由度来实现的。我们将光场调控研究中发展的一系列基于轨道角动量的多自由度相干操纵技术[Opt. Lett. 32, 3549 (2007); Opt. Express 18, 10786 (2010); Phys. Rev. Lett. 105, 253602 (2010)]引入光量子调控研究中，通过同时操纵光子的偏振和轨道角动量等两个自由度，在国际上首次实现多自由度量子隐形传态[Nature 518, 516, (2015)]; 随后，进一步提升了可操纵光子自由度数目，结合我们发展的用于十光子纠缠的高亮度SPDC纠缠源技术[Phys. Rev. Lett. 117, 210502 (2016)]，通过同时操纵6个光子的偏振、路径和轨道角动量等三个自由度，在国际上首次实现了可独立调控的18个光量子比特超纠缠[Phys. Rev. Lett. 120, 260502 (2018)]。

## 二维过渡金属硫属化合物中载流子动力学研究与调控

李远征、刘为振、徐海阳

东北师范大学物理学院, 长春 130024

Email: [liy264@nenu.edu.cn](mailto:liy264@nenu.edu.cn)

摘要: 自从 2004 年石墨烯的发现以来, 二维纳米材料吸引广泛的研究兴趣。其中, 过渡金属硫属化合物 (TMDs) 具有大的激子束缚能, 自旋-能谷耦合以及强非线性光学响应, 使其在光电子器件应用中有着潜在的可能。因此, TMDs 光学性质研究和调控对其基础研究和实际应用都是十分必要的。在多层硫化钼体系中, 我们发现了直接跃迁有着反常的高温增强现象: 当温度达到 640 K 时, 荧光强度达到最大的 5.5 倍增强。我们证明这个高温增强的机理不同于通常认知的热诱导层间去耦合效应, 而是来自热驱动的载流子转移 (从  $\Lambda/\Gamma$  点到 K 点)。此外, 我们对单层硫化钼光学性质进行了调控: 我们通过控制样品温度的方法为硫化钼中的带电激子提供不同的热离化能, 使带电激子在不同温度下有着不同离化程度, 从而我们实现了对中性激子的数目和发光强度调控。随后, 我们借助 ALD 技术在硫化钼表面沉积生长氧化铝薄膜, 通过改变硫化钼与空气的接触来控制空气对硫化钼 p 型“掺杂”效应。这个方法同样地能够有效控制硫化钼内带电载流子数目, 实现中性激子数目和其发光强度的调控。我们的结果为硫化钼及其他 TMDs 在未来应用的进程中提供了有价值的理解和帮助。

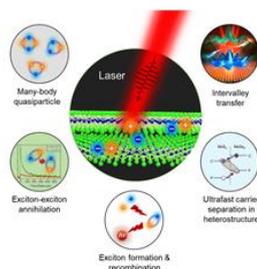


图 1 二维过渡金属硫属化合物中载流子动力学过程

关键词: 二维材料; 发光增强; 载流子转移; 激子; 光学性质调

参考文献

- 【1】 Li, Y.; Xu, H.; et al. Enhancement of Exciton Emission from Multilayer MoS<sub>2</sub> at High Temperatures: Intervalley Transfer versus Interlayer Decoupling. *Small* 2017, 13, 1700157.
- 【2】 Li, Y.; Liu, W.; et al. Abnormal high-temperature luminescence enhancement observed in monolayer MoS<sub>2</sub> flakes: thermo-driven transition from negatively charged trions to neutral excitons. *Journal of Materials Chemistry C* 2016, 4(39), 9187-9196.
- 【3】 Li, Y.; Li, X.; et al. Controlled Gas Molecules Doping of Monolayer MoS<sub>2</sub> via Atomic-Layer-Deposited Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Films. *ACS Applied Materials & Interfaces* 2017, 9, 27402.
- 【4】 Li Y, Shi J, Chen H, et al. The Auger process in multilayer WSe<sub>2</sub> crystals. *Nanoscale*, 2018, 10, 17585-17592.
- 【5】 Li Y, Shi J, Chen H, et al. Slow Cooling of High - Energy C Excitons Is Limited by Intervalley Transfer in Monolayer MoS<sub>2</sub>. *Laser & Photonics Reviews*, 2019, 13, 1800270.

## 飞秒激光制备周期极化结构的研究

张海涵<sup>1</sup>, 李勇男<sup>1</sup>, 涂成厚<sup>1</sup>, 王慧田<sup>2</sup>

3. 南开大学物理科学学院, “弱光非线性光子学”教育部重点实验室 300071

4. 南京大学物理科学学院 210093

Email: 13844972462@163.com

### 摘要:

光学超晶格通过铁电畴的周期反转, 可以极大提高非线性频率变换的效率, 是非常重要的非线性光学技术。目前, 利用电极化方法在体块材料中制备光学超晶格已经非常成熟。但是, 随着集成光子器件的发展, 需要建立一种无掩模直光学超晶格技术。

基于温度梯度电场, 近红外飞秒激光可以在晶体表面以下近百微米的深度获得极化反转, 成为非常具有发展前景的光学超晶格制备方法<sup>[1]</sup>。其不仅克服了电极化制备极小周期结构的瓶颈, 也补偿了利用原子力显微镜极化方法不能批量生产的不足。但是, 目前近红外飞秒激光极化的原理及规律尚不清晰。

本文中, 结合紫外光极化的原理, 利用热扩散方程及高斯光束能量分布方程<sup>[2]</sup>, 推导出温度梯度电场强度与光源参数和晶体参数的关系:

$$T = \frac{2Aq}{\pi\rho C_p g(8kt + \omega^2)} g^{\frac{x^2+y^2}{4kt}} g^{\frac{\omega^2}{8kt + \omega^2} + 1} g^{\frac{-z^2}{4kt}} \quad (1)$$

$$E = Q_{33} \frac{dT}{dr} \quad (2)$$

通过 MATLAB 软件模拟, 改变入射飞秒激光的重复频率  $f$ , 单脉冲能量  $q$ , 作用时间  $t$ , 聚焦光斑半径  $\omega$ , 聚焦中心温度和温度梯度电场强度随之改变导致不同的极化现象。

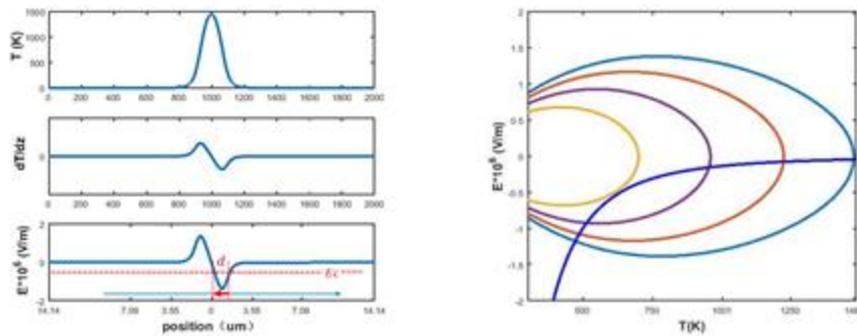


图 1 (a) 近红外飞秒激光极化原理图; (b) 改变单脉冲能量对极化现象的影响。

研究发现, 实现极化反转的必要条件是温度梯度电场超过矫顽场。已知居里温度处矫顽场强度理论减小至 0, 且晶体热扩散系数随温度升高而减小。较高的重复频率、较大单脉冲能量、作用时间增加和聚焦光斑半径的减小均可使聚焦区域温度增加, 导致温度梯度电场增加。所以, 在实验参数协同作用下总能使温度梯度电场超过矫顽场, 获得理想的极化反转区域, 极化区域尺寸在一定范围可调。

**关键词:** 飞秒激光、周期极化、温度梯度电场。

**资助项目:** 国家自然科学基金(Nos.11534006, 11674184, 11374166)

### 参考文献:

[1]. Xu T, Switkowski K, Chen X, et al. Three-dimensional nonlinear photonic crystal in ferroelectric barium calcium titanate. Nature Photonics, 2018, 12(10): 591.

[2]. Steigerwald H, Ying Y J, Eason R W, et al. Direct writing of ferroelectric domains on the x-and y-faces of lithium niobate using a continuous wave ultraviolet laser. Applied Physics Letters, 2011, 98(6): 062902.

## 介电微球腔阵列光散射调控技术：从刚性衬底到柔性穿戴

闫胤洲\*

北京工业大学，激光工程研究院，北京 100124

Email: [yyan@bjut.edu.cn](mailto:yyan@bjut.edu.cn)

**摘要：**介电微球光学微腔在全光谱范围内具有低损耗的同时，兼具有光子纳米射流、光学回音壁模式以及定向天线等介观光场调控效应，在纳米粒子探测、荧光增强、增强拉曼光谱、光学超分辨成像等领域得到了广泛关注。本报告详细介绍了介电微球腔阵列对荧光及拉曼两种光散射过程的调控作用机制。通过在刚性衬底上构建介电微球腔阵列，分别实现了高质量宽禁带半导体薄膜紫外荧光增强及固态材料的增强拉曼光谱，全面阐述了微球腔聚焦效应、抗反射限光效应、光学回音壁谐振、定向天线效应以及衬底结构对光散射的增强通道，展示了介电微球增强结构的环境适应性。之后，通过制备介电微球腔阵列/表面等离激元复合结构，分别实现了 2 个数量级的宽禁带半导体薄膜紫外荧光增强以及 1 个数量级的 SERS 拉曼检测极提高，展示了光学微腔介观光场调控与表面等离激元纳米光场调控的耦合作用在光散射增强中的应用。随着近年来个性化器件需求的不断提高，具有柔性、可延展、生物兼容的光电子器件得到广泛关注，尤其在柔性高效发光器件和 POC 现场检测领域具有广阔的应用前景。通过将介电微球腔与柔性有机薄膜结合，构建了柔性骨架/刚性微球阵列结构，实现了半导体量子点柔性薄膜 3 个数量级的发光增强以及混白光量子点复合柔性薄膜的高效发光增强；在增强拉曼光谱中，实现了三维结构表面拉曼痕量检测，揭示了柔性骨架对微球腔阵列光散射调控的影响，给出了柔性微球光散射增强结构的设计优化方向，为高效可穿戴光电器件及 POC 现场无标记快速诊断技术的相关应用提供了新思路。

**关键词：**介电微球腔阵列；柔性可穿戴；光散射调控；荧光增强；增强拉曼光谱

**资助项目：**国家自然科学基金（11504012），北京市科技新星计划（Z171100001117101），北京市教委青年拔尖培育计划。

### 参考文献

1. Y. Yan, *et al. Advanced Optical Materials*, Under review.
2. Y. Yan, *et al. ACS Applied Materials & Interfaces*, 9, 2017, 32896-32906.
3. Y. Yan, *et al. Optics Express*, 27, 2019, 15399-15412.
4. Y. Yan, *et al. Optics Express*, 25, 2017, 6000-6014.
5. Y. Yan, *et al. Optics Express*, 23, 2015, 25854-25865.
6. Y. Yan, *et al. Optics Express*, 22, 2014, 23552-23564.
7. Y. Yan, *et al. Applied Optics*, 57, 2018, 7740-7749.

## 腔内压缩光力冷却

甘晶辉、刘永椿\*

清华大学物理系，低维量子物理国家重点实验室，北京 100084

Email: [ycliu@tsinghua.edu.cn](mailto:ycliu@tsinghua.edu.cn)

摘要：宏观机械振子的激光冷却在量子信息、量子精密测量和量子力学原理检验等方面的研究中都有重要意义。传统的冷却方法受限于量子反作用，需要在边带可分辨极限下才能实现机械振子的基态冷却，即要求机械振动频率大于腔模耗散速率。与此相反，若腔模耗散速率大于机械振动频率，则称为边带不可分辨极限，此时机械振动产生的边带无法从腔模谱线中单独分辨出来。对于质量或尺寸较大的宏观机械振子，机械振动频率较低，通常都处于边带不可分辨极限。在该极限下，通常采用的旋波近似失效，因为分束器型光力相互作用和双模压缩型光力相互作用贡献相当，两者都不能忽略。双模压缩型相互作用的存在使得系统存在显著的加热效应，阻碍了基态冷却的实现，导致宏观体系的量子光力学研究遇到瓶颈。针对该问题，我们提出了一系列解决办法。在最近的工作中，通过利用腔内压缩效应，我们发现量子反作用极限能够被打破，边带不可分辨极限下的加热效应能够被极大程度地抑制，使得腔模耗散不再对冷却极限产生影响，从而得到与边带分辨率完全无关的超低冷却极限。即不管腔模耗散速率与机械振动频率比值有多大，总能通过调节系统参数使得机械振子冷却到基态。我们的方案不仅可以在边带高度不可分辨的极限下实现基态冷却，也能在超出弱耦合区的情况下实现有效的冷却。该研究为宏观机械振子的量子操控提供了重要的手段。

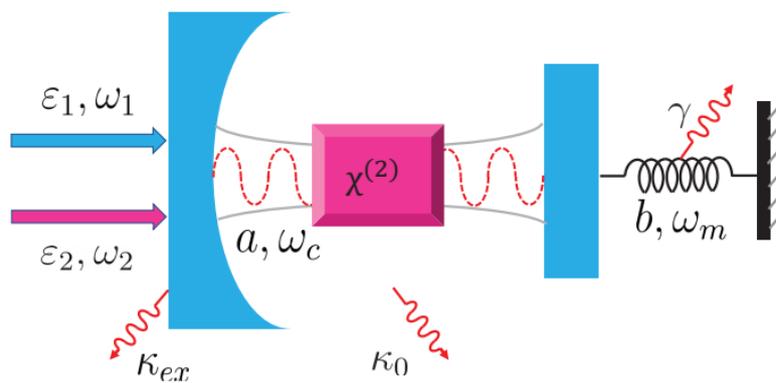


图 1 腔内压缩光力冷却原理示意图

关键词：腔光力学，基态冷却，边带不可分辨极限，光学腔，压缩光

基金项目：国家自然科学基金重大研究计划培育项目（NO. 91736106）、面上项目（NO. 11674390）

## 第二类外尔声子晶体和费米孤

谢博阳、陈树琪

南开大学物理科学学院, 天津 300071

Email: schen@nankai.edu.cn

摘要: (摘要正文, 中文, 宋体五号字, 其中英文和数字为 Times New Roman 五号字, 摘要不得少于 400 字)

外尔点 (Weyl point) 是三维动量空间能带结构的双重简并点, 它携带有量子化的拓扑荷, 并导致了一系列超常的性质, 如拓扑保护的表面态和手征反常。按照能带的倾斜程度和能带连接处费米面的形状, 外尔点分为第一类和第二类, 其中第二类外尔点能带色散沿一个方向强烈倾斜, 并在能带连接处具有锥型的费米面。第二类外尔点具有独特的拓扑特性, 外尔点频率下会发生拓扑转变, 并产生连接外尔点的费米孤, 因而近年来受到广泛的关注。

声子晶体的宏观特性和更为简单的能带结构, 使声子晶体在实验探索复杂的量子物理方面具有独特优势。由于第二类外尔点的系统更复杂, 所需要的实验精度更高, 因而一直没有被实验证实。研究团队通过设计制造堆叠手性声子晶体, 观测到了外尔频率上的拓扑转变和外尔频率间的费米孤。外尔声子晶体有望应用在降低界面和尖锐拐角的反射, 而第二类外尔声子晶体由于同时具有表面模式和体模式, 有望进一步拓宽外尔声子晶体在非对称波导和低反射异常折射中的应用, 并有望拓展到光学和冷原子等其它系统中。

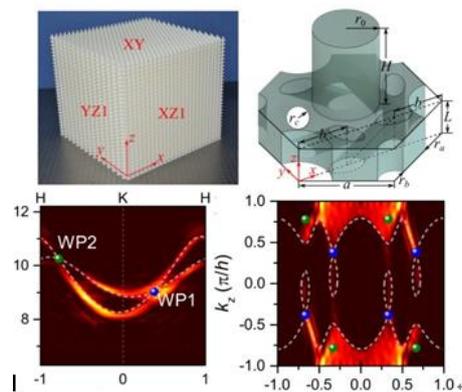


图 1 声子晶体中的第二类外尔点与费米孤

关键词: 拓扑声学 外尔点 声子晶体

参考文献

- 【1】 B. Xie *et al.*, Experimental Realization of Type-II Weyl Points and Fermi Arcs in Phononic Crystal, *Phys. Rev. Lett.* 2019, 122 (10), 104302.

基金项目: 国家重点研发计划 (NO. 2016YFA0301102) 等

## 金属微纳结构的表面等离子激元手性调控

屈瑜、Hamad Ullah、吐达洪、外力、白瑜、张中月

陕西师范大学物理学与信息技术学院，西安市长安区西长安街 620 号 710119

Email: [yuqu7714@126.com](mailto:yuqu7714@126.com)

摘要：具有手性的物质，通常会表现出非对称传输、圆二色性和旋光等特殊的光学活性。但自然界中的生物分子手性信号非常弱，而手性金属微纳结构，通过其与光相互作用产生的表面等离子激元可以增强其手性信号<sup>1</sup>。近年来，对金属微纳结构的表面等离子激元手性的产生机理及实验制备方面的研究较多。本报告介绍小组在该方向的近期研究结果：理论方面，以电磁场数值计算为基础，完善金属手性微纳结构的非对称传输及圆二色性产生的物理机制；实验方面，应用分子自组装和电子束蒸发镀膜技术，制备金属手性微纳结构，研究金属手性微纳结构手性调控及手性的产生机制<sup>2-12</sup>。这些结果有利于对手性机制的更深理解，并为下一步增强生物手性提供实验保证。

关键词：表面等离子激元，手性材料，微纳结构

### 参考文献

- 【1】 M. Takezaki *et al*, Circular dichroism of rhodopsin and iumirhodopsin, *Nature* 1967, 215, 1197.
- 【2】 T. K. Wang, Z. Y. Zhang *et al*, Circular dichroism of tilted U-shaped nanostructure, *Opt. Lett.* 2017, 42, 1.
- 【3】 Y. K. Wang, Z. Y. Zhang *et al*, Induced chirality in micron wave through electromagnetic coupling between chiral molecules and graphene nanostructures, *Carbon* 2017, 120, 203.
- 【4】 T. Fu, Z. Y. Zhang *et al*, Tunable chiroptical response of chiral plasmonic nanostructures fabricated with chiral templates through oblique angle deposition, *J. Phys. Chem. C* 2017, 121, 1299.
- 【5】 Y. Qu, Z. Y. Zhang *et al*, Giant circular dichroism induced by tunable resonance in twisted z-shaped nanostructure, *Opt. Express* 2017, 25, 5480.
- 【6】 Y. K. Wang, Z. Y. Zhang *et al*, Plasmonic chirality of L-shaped nanostructure composed of two slices with different thickness, *Opt. Express* 2016, 24, 2307.
- 【7】 U. Hamad, Z. Y. Zhang *et al*, Tunable Chiroptical Response of a chiral system composed of a nanorod coupled with a nanosurface, *Appl. Surf. Sci.* 2019, 467, 684.
- 【8】 T. Aba, Z. Y. Zhang *et al*, Tunable asymmetric transmission through tilted rectangular nanohole arrays in a square lattice, *Opt. Express* 2018, 26, 1199.
- 【9】 A. Abudukelimu, Z. Y. Zhang *et al*, The Causality of Circular Dichroism Inducement by Isotropic and Anisotropic Chiral molecules, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2019, 52, 305306.
- 【10】 Y. Bai, Z. Y. Zhang *et al*, Asymmetric transmission of a planar metamaterial induced by symmetry breaking, *J. Phys. Condens. Mat.*, 2018, 30, 114001.
- 【11】 Y. Bai, Z. Y. Zhang *et al*, Splitting an asymmetric transmission peak by introducing magnetic-dipole oscillation on gold film, *Opt. Mater. Express* 2018, 8, 2743.
- 【12】 Y. Qu, Z. Y. Zhang *et al*, General mechanism for achieving circular dichroism in chiral plasmonic system, *Ann. Phys.* 2018, 530, 1800142.

基金项目：国家自然科学基金（61575117）

## 电场和光诱导金属卤化物钙钛矿颗粒非辐射复合通道的产生和湮灭

陈瑞云<sup>1</sup>, 李俊<sup>2</sup>, Ivan Scheblykin<sup>2</sup>, 肖连团<sup>1</sup>

1 山西大学激光光谱研究所, 量子光学与光量子器件国家重点实验室, 太原, 030006

2 隆德大学化学物理系, 隆德, 22 362, 瑞典

Email: [chenry@sxu.edu.cn](mailto:chenry@sxu.edu.cn)

摘要: 金属卤化物钙钛矿中的离子迁移是引起基于钙钛矿材料太阳能电池迟滞效应和材料退化的重要因素[1-3]。离子迁移导致的金属卤化物钙钛矿材料中结构缺陷会影响电荷载流子扩散, 是光伏器件的一个重要特性[4-6]。深入了解金属卤化物钙钛矿中的离子迁移动力学过程有助于我们了解当前基于钙钛矿的太阳能电池技术的局限性, 改善太阳能电池性能和稳定性。本文研究了电场和光照对  $\text{MAPbX}_3$  ( $\text{X}=\text{Br}, \text{I}$ ) 光致发光特性的影响。研究发现交流电场会淬灭钙钛矿光致荧光; 关断交流电场后, 光致荧光缓慢恢复。直流电场对  $\text{MAPbBr}_3$  晶体产生不同的效应 (淬灭和增强), 取决于晶体的性质; 而对  $\text{MAPbI}_3$  只呈现荧光淬灭效应。提出电场会诱导钙钛矿晶体中离子迁移, 导致非辐射复合中心的产生和波动; 而光照会湮灭非辐射复合中心, 导致荧光的恢复。

关键词: 钙钛矿, 离子迁移, 非辐射复合, 电场

## 参考文献

- [1] Yuan, Yongbo, and Jinsong Huang. "Ion migration in organometal trihalide perovskite and its impact on photovoltaic efficiency and stability." *Accounts of chemical research* 49.2 (2016): 286-293.
- [2] Bae, Soohyun, et al. "Electric-field-induced degradation of methylammonium lead iodide perovskite solar cells." *The journal of physical chemistry letters* 7.16 (2016): 3091-3096.
- [3] Yuan, Haifeng, et al. "Degradation of methylammonium lead iodide perovskite structures through light and electron beam driven ion migration." *The journal of physical chemistry letters* 7.3 (2016): 561-566.
- [4] Ball, James M., and Annamaria Petrozza. "Defects in perovskite-halides and their effects in solar cells." *Nature Energy* 1.11 (2016): 16149.
- [5] Kim, Jongseob, et al. "The role of intrinsic defects in methylammonium lead iodide perovskite." *The journal of physical chemistry letters* 5.8 (2014): 1312-1317.
- [6] Yin, Wan-Jian, Tingting Shi, and Yanfa Yan. "Unusual defect physics in  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  perovskite solar cell absorber." *Applied Physics Letters* 104.6 (2014): 063903.

## 原位制备钙钛矿量子点的连续激光发射研究

王雷<sup>1</sup>、孟令海<sup>1</sup>、陈岚<sup>2</sup>、黄胜<sup>1</sup>、吴显刚<sup>1</sup>、戴光<sup>3</sup>、邓罗根<sup>3</sup>、韩俊波<sup>4</sup>、邹炳锁<sup>3</sup>、张春峰<sup>2</sup>、钟海政<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>北京理工大学材料学院, 北京, 100081

<sup>2</sup>南京大学物理学院, 南京, 210093

<sup>3</sup>北京理工大学物理学院, 北京, 100081

<sup>4</sup>华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心, 武汉, 430074

\*Email: hzzhong@bit.edu.cn

**摘要:**可片上集成的室温连续激光器是集成光子器件的核心部件之一。连续激光的实现依赖于增益材料的发展。目前, 适用于集成光子器件应用的连续激光器主要以外延生长的III-V 半导体激光器为主, 制备工艺复杂、成本高, 难以完全满足未来光子集成应用的需求。钙钛矿量子点是一类重要的发光材料, 具有制备工艺简单、制造成本低廉、发光波长可调、可原位制备等优点<sup>[1,2]</sup>。在本工作中, 我们选用聚丙烯腈作为聚合物基质, 使用原位制备技术, 制备出了具有优异光学性能和热学性能的钙钛矿量子点/聚合物复合光学膜。该光学膜具有极高的荧光量子点产率, 高的热导率和极平整的膜表面。同时, 在丙烯腈分子包裹下, 产生电子-空穴分离效应, 有效减少量子点的自吸收。使用该光学膜作为增益介质, 结合DFB光学腔, 实现了极低阈值、颜色可调、室温工作的钙钛矿量子点连续激光发射。绿光、红光和蓝光连续激光的阈值分别为15、24 和58 W/cm<sup>2</sup>。本文报道的连续激光阈值比 CdSe 类量子点连续激光的阈值低一个数量级, 为实现低阈值胶体量子点连续激光及其片上集成应用提供了新的思路。

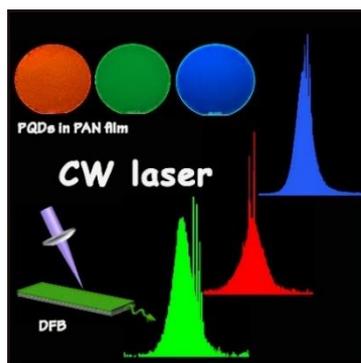


图1 钙钛矿量子点连续激光

**关键词:** 钙钛矿 量子点 连续激光 原位制备

【1】 F. Zhang *et al.*, Brightly Luminescent and Color-Tunable Colloidal CH<sub>3</sub>NH<sub>3</sub>PbX<sub>3</sub> (X = Br, I, Cl) Quantum Dots: Potential Alternatives for Display Technology *ACS Nano* 2015, 9 (4), 4533.

【2】 Q. Zhou *et al.*, In Situ Fabrication of Halide Perovskite Nanocrystal-Embedded Polymer Composite Films with Enhanced Photoluminescence for Display Backlights *Adv. Mater.* 2016, 28 (41), 9163.

**基金项目:** 国家重点研发计划 (No. 2017YFB0404600) 国家自然科学基金项目 (NO. 61722502, NO.61705009) 等

## 超越三倍极限的 Peregrine 孤子以及双孤子的相互作用的研究

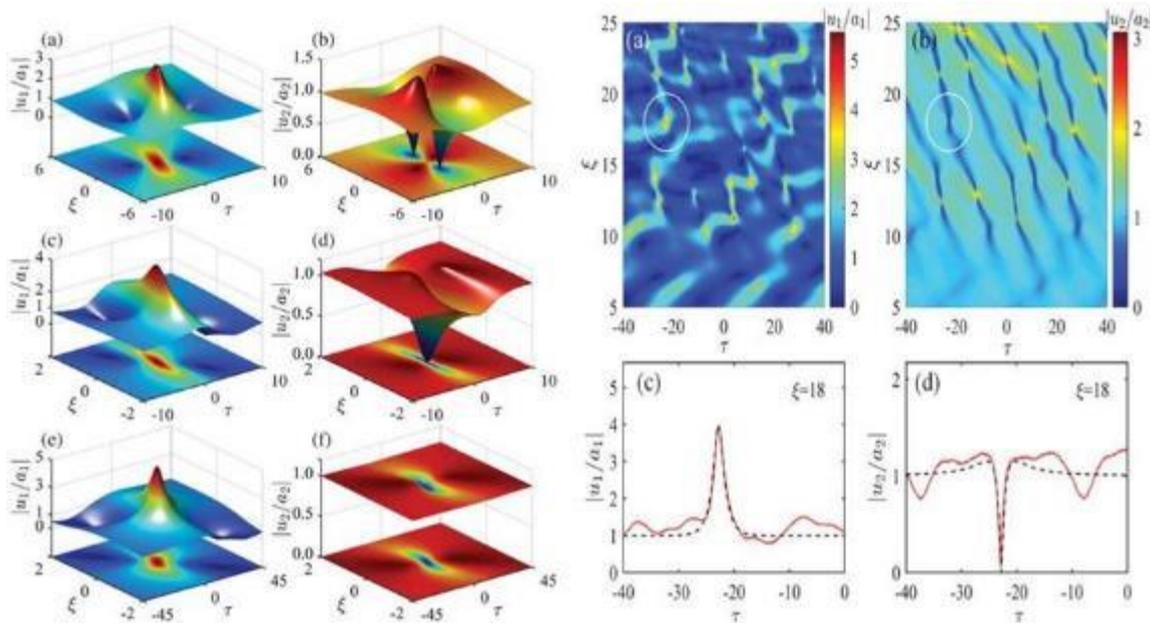
叶彦林, 陈世华

东南大学物理学院, 南京 211189

Email:yynlnvip@sina.com

摘要: 在可积耦合的 Fokas-Lenells 系统中, Peregrine 孤子的振幅超出预想的三倍于背景, 而是达到从未出现的五倍。除了这一现象外, 根据调节参数两个这样的 Peregrine 孤子的相互作用能够产生极高振幅的尖峰状的 rogue wave。同时, 我们通过数值模拟确认超过三倍于背景的 Peregrine 孤子能够在一定的初始切面或者一个混沌的背景场产生。因此, 该种 rogue wave 能够通过实验确切的获得。

Rogue wave 作为非线性科学的一个新概念, 最初被人们所接受描述深海中一个巨大且无法预测的表面波, 它经常发生摧毁了船只、海上平台和可再生能源设备。通过几十年的发展 rogue wave 的研究已经扩展到很多的科学领域, 例如: 流体力学、玻色爱因斯坦凝聚、等离子物理、非线性光学甚至在无法预测的金融领域。作为最简单的 Rogue wave 解, Peregrine 孤子是在 1983 年人们利用非线性薛定谔方程寻找深海中的表面波发现的。在这之后, 它的相关动力学情况在很多的物理实验中获得, 比如: 首先是光纤、之后在水槽和等离子中, 以及最近的不规则海洋状态。从这个连续的背景开始, 它逐渐发展到一个高潮, 达到背景场水平的 3 倍, 然后完全消失, 就像从未发生过一样。



图一 (左) 在不同参数下, peregrine 孤子的情况 (右) 数值模拟与解析解的比较情况

关键词: Peregrine 孤子、Rogue wave、可积耦合的 Fokas-Lenells 系统

参考文献

【1】 Shihua Chen, Yanlin Ye et al, Peregrine Solitons Beyond the Threefold Limit and Their Two-Soliton Interactions . PRL, 2018,121, 104101.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11474051) 等

## 柔性表面增强拉曼光谱基底的压电调控特性

陆佳骏、郁菁、宋玉志\*、张超\*

山东师范大学物理与电子科学学院, 济南 250358

Email: [yzsong@sdu.edu.cn](mailto:yzsong@sdu.edu.cn), [czsdu@126.com](mailto:czsdu@126.com)

**摘要:** 电调控表面增强拉曼光谱 (E-SERS) 技术可对金属纳米结构的等离子体共振峰进行调节, 进而提高 SERS 基底的检测灵敏度。但通常的 E-SERS 需要额外的附加设备引入电位, 且多为硬性基底, 一定程度上限制了其在便携式、原位、快速检测技术上的应用。聚偏氟乙烯 (PVDF),<sup>1</sup> 作为压电材料, 在压力作用下其表面会产生电荷形成电位差, 从而将压力导致的形变能转换成电能。同时, PVDF 作为柔性基底, 柔韧性好, 拉曼特征峰少, 可提高待测分子的识别度, 是柔性导电 SERS 基底材料的最佳选择。

课题组利用柔性 PVDF 膜和银纳米线制作了一个自激的 SERS 基底, 银纳米线起到了柔性导电电极和等离子体活性结构的双重作用。以  $10^{-6}$  mol/L 的罗丹明 6G (R6G) 溶液为探针分子, 通过把基底弯曲至不同的角度研究了不同弯曲程度对拉曼特征峰强度的影响, 通过在基底上方的同一位置放置不同质量的砝码和在不同位置处放置同一质量的砝码, 分别研究了在不同压力作用下及不同作用位置下的拉曼光谱。最后我们使用 COMSOL 多物理场耦合软件模拟了不同压力作用下, 基底受力点周围的电势分布情况。  
**关键词:** 电调控表面增强拉曼光谱(E-SERS); 压电效应, 聚偏氟乙烯 (PVDF)

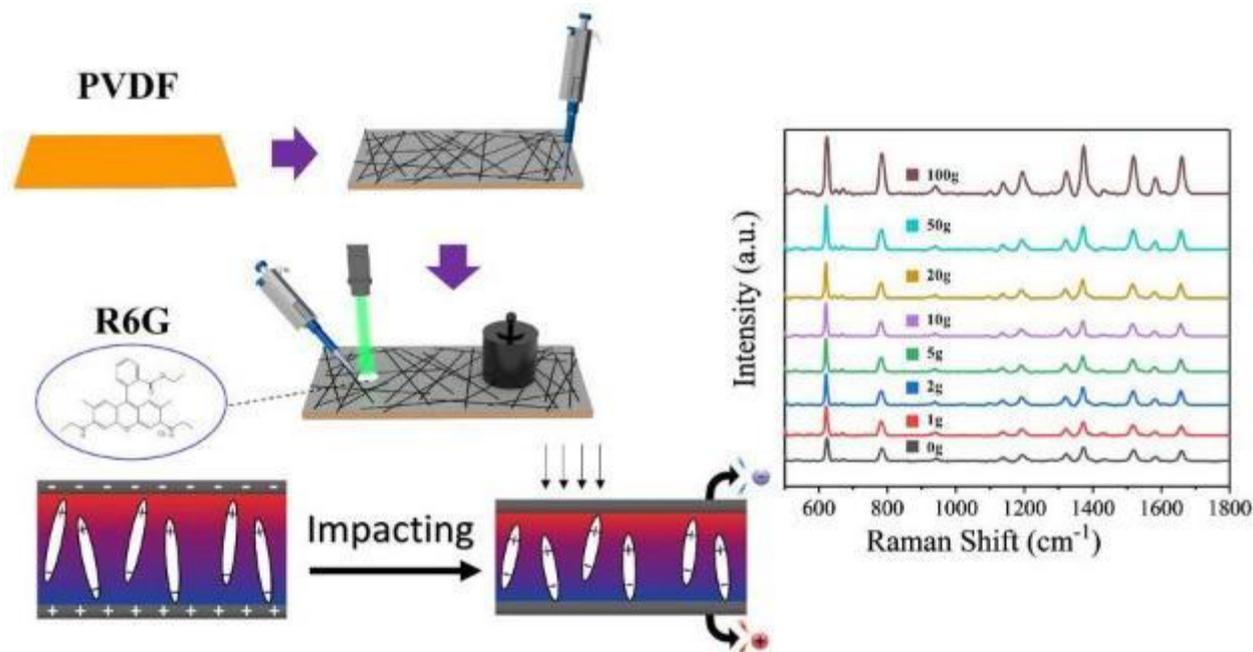


图 1 柔性 SERS 基底制备 (左上) 压电原理 (左下) 不同压力下的拉曼谱线 (右)

参考文献

【1】 Y. M. Yousry et al, Mechanisms for Enhancing Polarization Orientation and Piezoelectric Parameters of PvdF Nanofibers.

Adv. Ele. Mater 2018, 4, 1700562.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO.11804200)

## 基于超声调制光纤布拉格光栅的全光纤可调谐移频器

李彩芬<sup>1</sup>、韩小芳<sup>1</sup>、高峰<sup>1\*</sup>、张国权<sup>1</sup>、张文定<sup>2</sup>、许京军<sup>1</sup>

1 南开大学物理科学学院, 天津 300071

2 西北工业大学理学院, 西安 710072

Email: [\\*fenggao@nankai.edu.cn](mailto:*fenggao@nankai.edu.cn)

摘要: 光外差探测具有高灵敏度、高精度等优点, 已被广泛应用于光学通信和传感等领域, 而外差探测系统的核心是移频器。我们提出的移频器是由声弯曲波调制的刻蚀直径  $29\mu\text{m}$  的光纤布拉格光栅 (FBG) 实现的。相比之前已报道的移频器, 该结构简单、易制、坚固。移频器的结构如图 1(a)所示, 结构产生的移频光背向传输, 经环形器的 2 端口进入, 3 端口输出。有效的移频光包括两部分: 一部分是经声弯曲波调制后, 光波由前向  $\text{LP}_{01}$  模式耦合到前向  $\text{LP}_{11}$  模式, 并经 FBG 反射之后再次耦合回背向  $\text{LP}_{01}$  模式; 另一部分的光则以前向  $\text{LP}_{01}$  模式到达 FBG 散射进入背向  $\text{LP}_{11}$  模式, 经超声调制后耦合回背向  $\text{LP}_{01}$  模式, 且上述移频光对应的频移量等于加载的射频信号频率。因为包层的折射率与纤芯不同, 所以移频光的峰位较基频光有一明显的蓝移, 如图 1(b)红色曲线中左侧峰 (1546nm) 所示。此结果有着较高的信噪比, 移频光与基频光产生的拍频如图 1(c)所示。同时我们还研究了该移频器的调谐性, 实验发现, 通过光纤轴向施加应力, 移频光波长发生红移。此调谐特性极大地方便了实际应用。

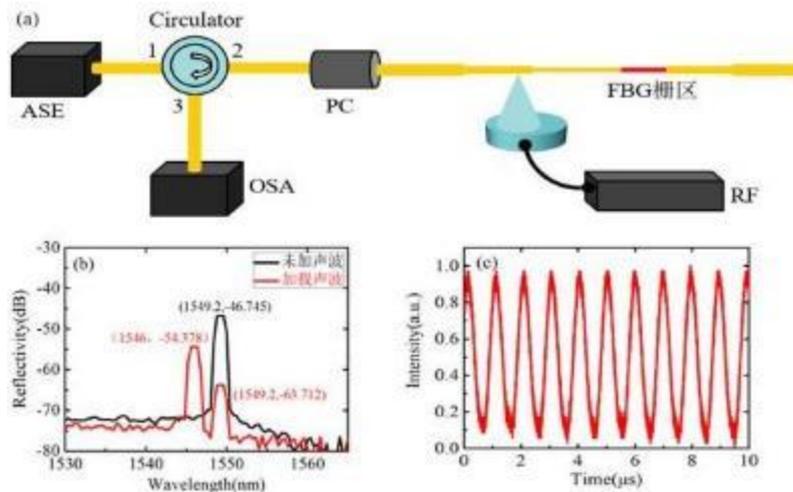


图 1 (a)全光纤可调谐移频器实验装置 (b) 移频器反射频谱, 此时射频信号  $f=968.1\text{ kHz}$ ;  $P=14.86\text{ dBm}$  (c) 拍频信号

关键词: 声弯曲波调制 FBG 移频器

参考文献

- 【1】 Fu M Y, Refractive index sensing based on the reflectivity of the backward cladding-core mode coupling in a concatenated fiber Bragg grating and a long period grating, IEEE Sensors Journal, 2012, 12(5), 1415.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11574161); 长江学者和创新团队发展计划资助 (IRT\_13R29); 111 计划 (B07013)

## 基于立方晶体的飞秒矢量光场非线性坍塌研究

黄露露、王丹、涂成厚、李勇男、王慧田

南开大学物理科学学院, 天津 300071

Email: [15732153892@163.com](mailto:15732153892@163.com)

摘要: 随着 20 世纪 70 年代飞秒激光器的出现, 使激光脉宽达到飞秒量级 ( $1\text{fs}=10^{-15}\text{s}$ ), 激光峰值功率密度极高, 可达  $10^{21}\text{W}/\text{cm}^2$ , 具有普通激光无法比拟的优势。随之超短脉冲激光与物质相互作用展现出的新物理现象成为激光领域的前沿热点。其中飞秒激光非线性成丝展现出丰富的物理基础和应用前景, 比如远程探测、人工引雷、太赫兹的产生等。而目前控制多丝长距离稳定传播面临着挑战, 其主要是由于初始光斑截面光强随机非均匀性和外部环境的随机干扰, 使光丝的位置和数量不可控。对于实际应用而言, 比如超连续谱阵列、微波通道、微纳加工, 则是需要稳定的、可控的多丝分布, 因此成丝的优化控制对所有相关的应用领域都是非常关键的。

课题组团队基于介质的光学克尔各向异性, 利用其与矢量光场的空间偏振结构的协同作用, 去主动打破光强分布的轴对称性, 主动控制光场自聚焦坍塌过程, 进而形成稳定可控的多丝。在这里我们采用杂化偏振矢量光场和立方晶体  $\text{BaF}_2$ , 发现通过调控 (i) 该光场的旋向偏振态拓扑荷和初始相位 (ii) 介质的非线性各向异性系数和不同切面, 从而方便灵活地实现对光场的可控坍塌, 并且具有一定的抗噪性, 同时可以调控旋向偏振态演化。该方法为飞秒激光可控成多丝和调控偏振态分布提供了新颖的途径。

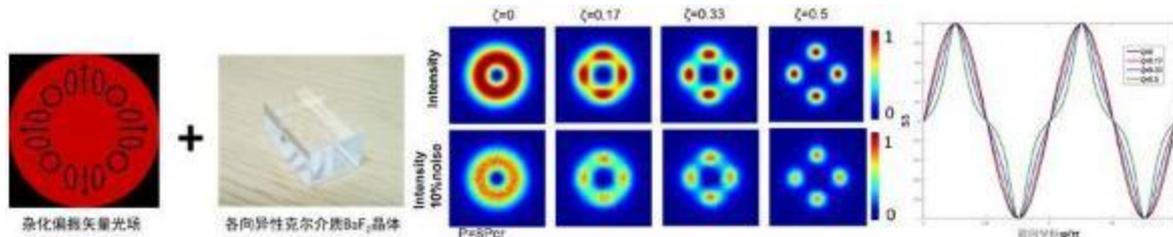


图 1 所用矢量光场偏振态分布和介质、非线性坍塌行为、旋向偏振态演化

关键词: 立方晶体、矢量光场、自聚焦、偏振态

参考文献

- 【1】 N. M. Litchinitser, Structured light meets structured matter, *Science*, 2012, 337(6098), 1054-1055 .
- 【2】 X. L. Wang et al., A new type of vector fields with hybrid states of polarization, *Optics Express*, 2010, 18(10): 10786-10795.
- 【3】 S. M. Li et al., Taming the collapse of optical fields, *Scientific Reports*, 2012, 2: 1007.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (Nos. 11534006, 11674184, 11374166)

## 矢量光场携带的新型光学轨道角动量研究

潘岳

曲阜师范大学物理工程学院, 山东省激光偏光与信息技术重点实验室, 曲阜 273165

Email: panyue@163.com

摘要: 近年来, 人们设计了多种具有偏振态空间分布的新型矢量光场, 并深入研究了其在传播、与材料相互作用等方面的性质和应用。同时, 作为光子的一个基本属性, 光学轨道角动量始终吸引着很多关注。涡旋光场携带的传统光学轨道角动量一般认为是由螺旋位相梯度导致的, 且其数值沿轴向均匀分布。我们将矢量光场的设计思想应用于光学轨道角动量的研究之中, 理论设计并实验生成了一种由杂化偏振矢量光场携带的新型轴向不均匀的光学轨道角动量, 保持了光场轴向强度均匀性的同时可以做到轴向不均匀轨道角动量的变化上下限任意可调。靠调控光场轴向强度得到的轴向不均匀光学轨道角动量一般不能稳定传播, 传播过程中会出现角动量谱展宽, 因此限制了其应用范围。我们进一步设计生成了完美的轴向不均匀角动量, 其光场半径与拓扑荷大小无关, 且能保持传播的稳定性, 克服了角动量谱展宽导致的不稳定传播的问题。我们希望这种具有传播稳定性的新型轴向不均匀光学轨道角动量可以在光学微操纵、量子光学和光学通讯等领域具有一定的应用。

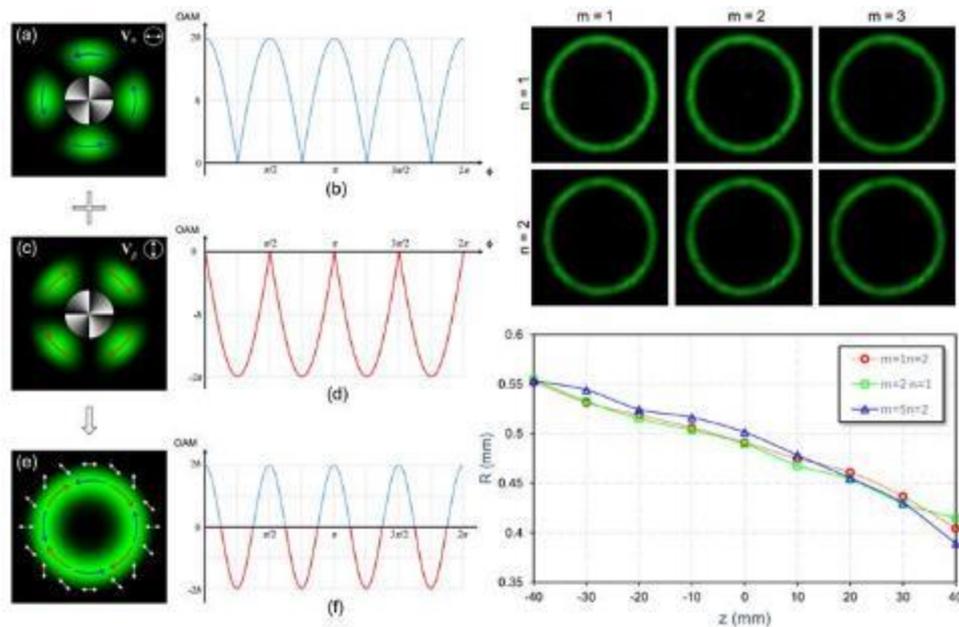


图 1 矢量光场携带的新型光学轨道角动量示意图、实验结果和传播性质

关键词: 矢量光场 涡旋光场 轨道角动量 衍射

参考文献

【1】 潘岳, 丁剑平, 王慧田. 新型矢量光场调控: 简介、进展与应用[J]. 光学学报, 2019, 39(01): 11-36.

【2】 M. Padgett, "Light's orbital angular momentum," Phys. Today. 2004, 35, 57.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (11534006、11804187)

## 基于昆虫复眼结构的大视场成像系统

刘淑斌<sup>1</sup>、李磊<sup>1</sup>、王琼华<sup>2</sup>

1. 四川大学电子信息学院，成都 610065

2. 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院，北京 100083

Email: [qionghua@buaa.edu.cn](mailto:qionghua@buaa.edu.cn)

**摘要:**传统的光学成像系统由于光学原理的限制大视场时畸变往往很大难以校正,同时分辨率也不够高,我们基于昆虫复眼结构设计并制备了一套大视场高分辨率成像系统。该系统由 X 镜头组成,每个镜头单独采集一副图像。通过对 X 路镜头采集的图像进行旋转·缩放·特征匹配融合等方法进行图像合成。我们提出了有别于传统图像拼接的算法完成了 X 路图像的拼接得到大视场高分辨率图像。本成像系统采集合成的大视场图像在不损失分辨率的同时视场角可达 360°×150°,像素可达 3000 万级别。如图 1 所示,这是我们所设计复眼成像系统结构的子视场成像通道的俯视图,通过对多个方向采集物空间信息以获得大视场图像拼接的准备工作,如图 2 所示,通过对仪器采集的图像进行大视场拼接得到一副完整的大视场图像,完整的还原了人眼视野的范围,此系统可被应用于无人机探测,医学器官手术以及摄像头监控等室内室外领域。

**关键词:**大视场,复眼成像,图像拼接

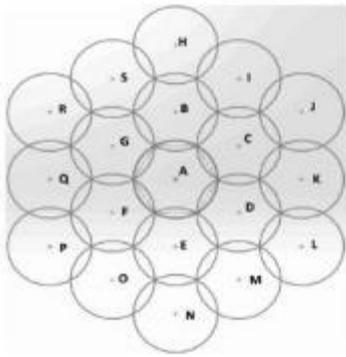


图 1 子视场覆盖区域示意图



图 2 大视场拼接效果图

### 参考文献

1. J. H. van Hateren, in Facets of Vision, D. G. Stavenga, R. C. Hardie, Eds. (Springer-Verlag, Berlin, 1989), pp. 74–89.
2. Land, M. F. & Nilsson, D.-E. Animal Eyes (Oxford Univ. Press, New York, 2002).
3. Swain, P. & Mark, D. Curved CCD detector devices and arrays for multi-spectral astrophysical applications and terrestrial stereo panoramic cameras. Proc. SPIE 5499, 281–301 (2004).

## 双曲超材料实现光波波前和偏振控制

陈林、李君浩

华中科技大学武汉光电国家研究中心，武汉 430074

Email: [chen.lin@mail.hust.edu.cn](mailto:chen.lin@mail.hust.edu.cn)

摘要：利用超表面可在亚波长尺度上实现对电磁波的振幅、相位、偏振控制，从而实现异常折/反射、聚焦、偏振转换和产生特种光束等功能。但是，当前超表面领域依然存在一些制约器件实用化的难题，包括依赖高折射率介质、工作带宽受限等。基于金属-介质多层结构的双曲超材料（HMM）的超表面，支持人工表面等离子激元（SSP）沿其结构单元的侧壁传输。改变 HMM 的几何参数，可控制 SSP 的色散，进而有效调控 HMM 超原子的电磁透射特性，为解决当前超表面领域存在的问题提供了可能性。

课题组在 HMM 工作机理研究的基础上，设计了一系列 HMM 超表面，分别实现波束偏转/聚焦、产生艾里波束、偏振控制等多种功能。首先，课题组设计、制备了光束偏转器和聚焦透镜，并在微波测试了器件的性能，验证了 HMM 器件对线偏振和圆偏振电磁波的高效异常折射和无衍射聚焦。之后，课题组将多光束干涉机制引入到 HMM 中，以调节透射波的相位色散，从推导宽带范围内正交偏振透射波的相位差近似为一个常数值条件出发，设计了在宽频范围内具有优异的偏振转换性能的 HMM 四分之一波片。此外，利用矩形 HMM 波导具有高双折射的优势，我们设计并验证了宽带艾里波束发生器。通过缩小 HMM 几何尺寸，可以将 HMM 的上述功能推广到太赫兹、近红外等更高频率范围。

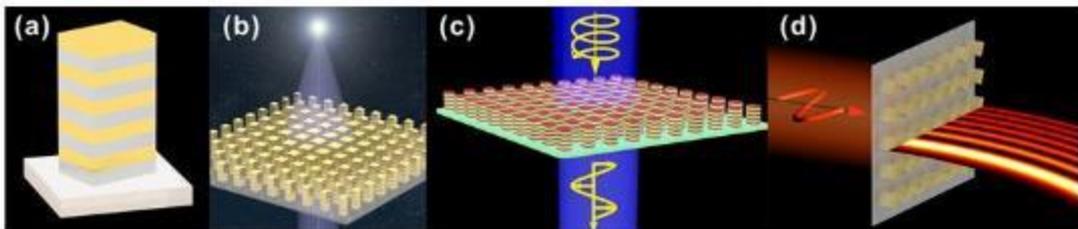


图 1 双曲超材料（HMM）器件及在波前和偏振控制中的应用

(a) HMM 单元 (b) 聚焦透镜 (c) 四分之一波片 (d) 艾里波束发生器

关键词：双曲超材料（HMM） 波前控制 偏振控制

参考文献

- 【1】 X. Yin *et al.*, Hyperbolic Metamaterial Devices for Wavefront Manipulation, *Laser & Photonics Rev.* 2019, 13 (1), 1800081.
- 【2】 J. Li *et al.*, Multiple-Beam Interference-Enabled Broadband Metamaterial Wave Plates, *Phys. Rev. Appl.* 2019, 11 (4), 044042.
- 【3】 H. Zhu *et al.*, Manipulating light polarizations with a hyperbolic metamaterial waveguide, *Opt. Lett.* 2015, 40(20), 4595-4598.
- 【4】 H. Li *et al.*, Broadband Generation of Airy Beams with Hyperbolic Metamaterials, *Adv. Opt. Mater.* In press.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11474116, 11674118）。

## 基于铌酸锂微腔的中红外光学频率梳研究

蔚莹琪<sup>1</sup>、李勇男<sup>1</sup>、王慧田<sup>2</sup>

5. 南开大学物理科学学院, “弱光非线性光子学”教育部重点实验室

6. 南京大学物理科学学院

Email: [yingqi@nankai.edu.cn](mailto:yingqi@nankai.edu.cn)

摘要: 中红外光学频梳可以应用于特殊分子探测和激光雷达等方面, 对国防和生物医学具有重要意义<sup>[1,2]</sup>。铌酸锂材料通光范围是  $0.35\mu\text{m}$ - $5\mu\text{m}$ , 可以用于中红外波导的非线性频率变换。同时具有丰富的二阶和三阶非线性效应、高效电光性能、光折变效应等特性, 适合于各种中红外波段的调控器件。对于实际应用, 如何将铌酸锂晶体制备成集成光子器件并产生中红外光学频梳具有重要的意义和前景。

本文中, 我们研究了利用 Z 切和 X 切铌酸锂脊形波导微腔产生中红外光学频率梳。Z 切的铌酸锂波导微腔属于各向同性, 光在传输过程中只有唯一的  $n_{\text{eff}}$ , 不会引起双折射现象, 与 Si、 $\text{Si}_3\text{N}_4$  等材料的微腔类似; X 切的铌酸锂微腔属于各向异性, 由于双折射现象,  $n_{\text{eff}}$  随着光在微腔中传输发生了周期性的变化<sup>[3]</sup>, 因此通过调整波导结构, 可以在 X 切波导微腔中得到正、负色散周期性变化的整体色散。利用 LLE 方程, 分别研究并模拟这两种切向波导微腔中产生中红外光学频率梳的动态过程, 发现在 Z 切铌酸锂微腔中可以得到效果很好的中红外光频梳, 进一步研究了 X 切铌酸锂微腔中正色散与负色散对中红外光频梳的影响。

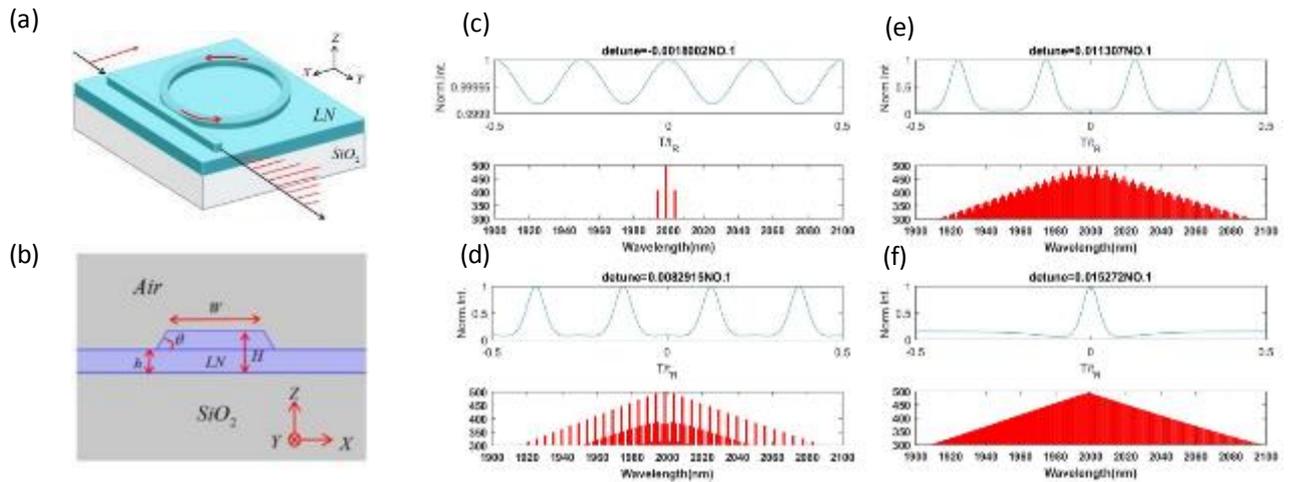


图 1 Z 切铌酸锂微腔中红外光学频率梳: (a) Z 切铌酸锂微腔; (b) Z 切波导结构;

(c)-(f) 中红外光学频率梳四个阶段对应的时域与频域图

关键词: 铌酸锂 中红外 光学频率梳 波导 色散

参考文献:

- 【1】 Kippenberg T J, Holzwarth R, *et al.* Microresonator-Based Optical Frequency Combs. *Science*, 2011, 332(6029): 555.
- 【2】 Schliesser A, Picqué Nathalie, Hänsch T W. Mid-infrared frequency combs. *Nature Photonics*, 2012, 6(7): 440.
- 【3】 Jintian L, Ni Y, Zhenzhong H, *et al.* Broadband Quasi-Phase-Matched Harmonic Generation in an On-Chip Monocrystalline Lithium Niobate Microdisk Resonator. *Physical Review Letters*, 2019, 12(17): 173903.

## 偏振压缩的 795 nm 量子光源及量子增强铷原子磁强计

温馨, 白乐乐, 杨煜林, 何军, 王军民\*

量子光学与光量子器件国家重点实验室 (山西大学)

山西大学光电研究所, 山西, 太原 030006

\*email: [wwjjmm@sxu.edu.cn](mailto:wwjjmm@sxu.edu.cn)

**摘要:** 光学测量作为最灵敏的探测手段已经广泛应用于微弱信号测量等诸多领域。在压缩态光场出现之前, 光学的测量精度无法超远散粒噪声基准, 相干态是噪声最小的经典光场, 只包含量子噪声, 其噪声功率正好为散粒噪声基准。偏振压缩光作为一种特殊的量子光源, 其偏振态可通过庞加莱球上的斯托克斯 (Stokes) 算符来描述。其特点是根据海森堡不确定原理, 在特定位相下, 其中一个正交分量的噪声低于散粒噪声基准, 另一个正交分量的噪声高于散粒噪声基础。在精密测量中, 经典极限通常会受限于光场的散粒噪声和原子的自旋投影噪声, 通过光场的偏振压缩和原子的自旋压缩可以进一步提高测量灵敏度, 得到超越量子极限的探测灵敏度。

基于此, 我们实验上制备了一套具有偏振压缩特性的铷原子 D1 线 795 nm 的量子光源 (在 2 MHz 得到 5.6 dB 的真空压缩光场, 同时在 2.6-100 kHz 的分析频率得到 -2.8 dB 的偏振压缩)。搭建基于非线性磁光旋转 (NMOR) 效应的光学原子磁强计。利用近共振的激光对原子系综自旋态进行制备, 使其拥有长寿命的自旋取向, 在外磁场作用下, 原子自旋做拉莫尔进动, 改变光场对原子系综的吸收和色散特性。通过透射光强的改变表征原子对磁场信号的响应进一步反应磁场测量的灵敏度。实验上分别利用相干光和偏振压缩光作为系统的探测光, 对光束的频率、光强、原子数密度等因素进行优化调节, 实现 pT 量级的磁场测量灵敏度。同等实验条件下, 分别注入相干光与压缩光, 磁场测量灵敏度由  $20.6 \text{ pT/Hz}^{1/2}$  提高到  $17.5 \text{ pT/Hz}^{1/2}$  (磁场调制频率为 10 kHz), 磁场测量信号的信噪比改善了 1.7 dB。

**关键词:** 偏振压缩; 斯托克斯算符, 拉莫尔进动, 原子磁强计, 铷原子

**参考文献:**

【1】Han Y. S., Wen X., He J., Yang B. D., Wang Y. H., and Wang J. M. Improvement of vacuum squeezing resonant on the rubidium D1 line at 795nm. *Opt. Express*, 2016, 24(3): 2350-2359.

【2】Wen X., Han Y. S., Liu J. Y., He J., and Wang J. M. Polarization squeezing at the audio frequency band for the Rubidium D1 line. *Opt. Express*, 2017, 25(17): 20737-20748.

**资助基金:** 国家重点研发计划课题 (2017YFA0304502), 国家自然科学基金委资助的国家重大科研仪器设备研制专项 (61227902) 国家自然科学基金 (11974226, 61905133)

## 快速低功率全光可调范德瓦尔斯局域激子极化激元超材料

柴真<sup>1,2</sup>，胡小永<sup>1,3</sup>，高宇南<sup>1,3</sup>，杨宏<sup>1,3</sup>，龚旗煌<sup>1,3</sup>

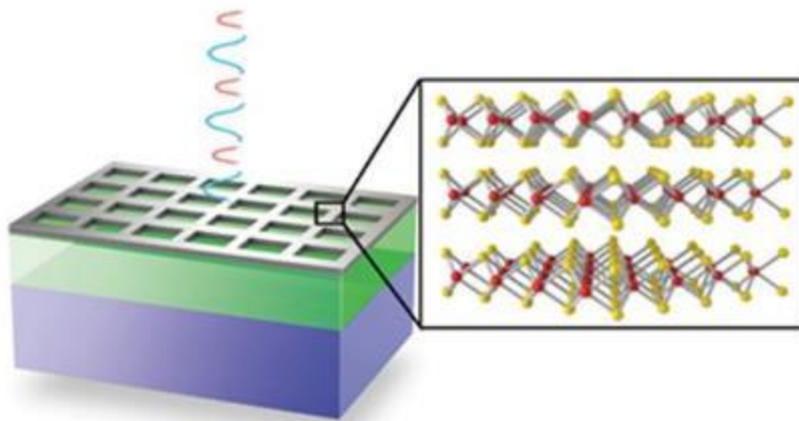
1 北京大学 物理学院 2 北京航空航天大学 前沿科学技术创新研究院

3 山西大学 极端光学协同创新中心

Email: zhenchai@buaa.edu.cn

**摘要：**激子和光子强耦合而构成的激子极化激元具有强烈的非线性效应，因此在极化激元器件领域有着重要的应用。在这个工作中，我们报导了一种低泵浦功率快速响应全光可调的硫化钨局域激子极化激元超材料。整个结构由位于 50 nm 厚硫化钨薄片上的周期矩形空气洞组成。测量的透过谱出现一个透过共振谷。类比于表面等离子激元和声子极化激元，我们证明了这个共振行为源于局域激子极化激元效应。由于激子和极化激元大的光学非线性效应，在能量  $85 \text{ MWcm}^{-2}$ ，波长 402 nm, 120 fs 的测量的共振波长处透过率从 0.18 变化到 0.44。由电子带间跃迁决定的，结构全光调谐的响应时间 48.7 ps。同时，我们还理论证明了局域激子极化激元是一个广泛存在的概念。在范德瓦尔斯半导体材料中观察到的局域激子极化激元和大非线性全光可调特性为未来低功率全光器件和纳米光子集成回路提供了新的可能。

**关键词：**激子极化激元， $\text{WS}_2$  薄片超材料，三阶非线性光学



## 基于二氧化钒相变动态调控蝴蝶结纳米天线

王铮、束方洲、王嘉楠、朱毅、范仁浩、彭茹雯\*、王牧

南京大学固体微结构物理国家重点实验室和物理学院, 南京 210093

\*Email: rwpeng@nju.edu.cn

**Abstract:** The plasmonic nanoantenna has attracted intensive attention over the last decades owing to its unique optical response. These artificial structures confine the electromagnetic field in subwavelength dimensions and are able to release radiation from localized sources to the far field. Especially, the bowtie nanoantenna has been extensively investigated owing to its superior localized field enhancement and spatial gap confinement.

Recently, active plasmonic nanoantennas have attracted much attention. By combining plasmonic nanoantennas with tunable materials, such as graphene, liquid crystals, transparent conducting oxides, or phase-transition materials, the optical properties of plasmonic nanoantennas can be dynamically tuned by changing the voltage or temperature. However, despite the intensive studies on active plasmonic nanoantennas, very few efforts have been devoted to tunable bowtie nanoantennas. In this paper, we try to integrate bowtie nanoantennas with vanadium dioxide ( $\text{VO}_2$ ) thin film to realize large tunable ranges. It has been known that  $\text{VO}_2$  is a monoclinic insulator at room temperature and transforms to a rutile metal above  $68^\circ\text{C}$ . The phase transition of  $\text{VO}_2$  is first-order and reversible, during which its electrical and optical properties experience large changes. Consequently, it has been widely applied in field-effect transistors, tunable plasmonic colors and polarizers, active metamaterials, and waveguide switches.

In this work, we demonstrated dynamically tunable bowtie nanoantennas integrated with a  $\text{VO}_2$  thin film by changing the temperature. First, we investigated the optical properties of the  $\text{VO}_2$  thin film at different temperatures. Then, we designed a composite nanostructure by integrating bowtie nanoantennas with the  $\text{VO}_2$  thin film, and we investigated their optical properties at different temperatures with x- and y-polarized incidence. Next, we changed the gap width of the bowtie nanoantenna and examined the dependence of its optical properties with temperature. Finally, we varied the triangle size of the bowtie nanoantenna and investigated the associated optical response at different temperatures.

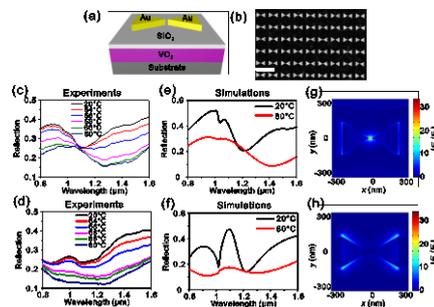


Fig.1 Integrated bowtie nanoantennas with  $\text{VO}_2$  thin film

**Keywords:** Dynamically tunable Vanadium dioxide phase transition

**Reference**

【1】 F. Z. Shu *et al.*, Dynamically tunable bowtie nanoantennas based on the phase transition of vanadium dioxide, *Opt. Lett.* 2019, 44 (11), 2752.

## 利用立体超构阵列构造多功能波片

孙思嘉、高雅君、陈飞、熊翔、彭茹雯、王牧\*

南京大学物理学院，南京 210093

Email: [muwang@nju.edu.cn](mailto:muwang@nju.edu.cn)

偏振是电磁波的基本属性之一，实现偏振态的调控在无线通信、液晶显示等领域都有着十分重要的应用。传统波片使用双折射晶体制备，为了达到一定的相位差通常需要很厚的晶体波片，不利于集成光学和芯片光子学的发展。近几十年来超构材料的发展为实现偏振调控提供了一种新的方法，在外加电磁场的激发下，金属表面会产生面电流振荡，这种面电流的辐射进而会对周围的电磁场进行调制。然而目前利用超构材料操纵光的偏振的方法仍然具有一定局限性，工作频率往往很窄、功能单一，因此人们迫切希望实现宽频的、高效的、多功能的调控光的偏振态的方法。

这里我们展示了一种通过双光子吸收聚合构建的立体超构阵列，可以用做多功能波片。在一个频率范围内，立体超构阵列可以将入射的线偏振光的偏振方向转换为它的正交方向，实现半波片的功能。在另一个频率范围内，将入射的线偏振光转换为圆偏振光，实现四分之一波片的功能。我们使用立体结构阵列同时实现了不同频率范围内的宽频的半波片和四分之一波片的功能，并且这种多功能元件具有高达75%的转换效率，更加适应光学器件集成化的发展需求。另一方面，通过在不同空间区域对具有不同旋转角度的立体超构阵列进行编码，焦平面阵列成像结果显示在不同结构分布处可以得到不同的图案对比度，因此这一结构阵列也可以应用于成像和传感。

关键词：立体超构阵列、多功能波片、成像

参考文献

【1】 S. Sun *et al.*, Constructing multifunctional wave plates with stereo-metastructure arrays, *Opt. Lett.* 2019, 44 (7), 1758.

基金项目：国家重点专项（NO. 2017YFA0303702），国家自然科学基金项目（NO. 11574141, 11674155, 11634005, 11621091），江苏省自然科学基金项目（NO. BK20160065, BRA2016350）

## 基于矢量光场的长轴取向与椭偏率的偏振图像编码

赵梦丹、刘癸庚、涂成厚、李勇男、王慧田

南开大学物理科学学院/弱光非线性光子学教育部重点实验室, 天津, 300071

Email: [Zmengdan\\_2017@163.com](mailto:Zmengdan_2017@163.com)

**摘要:** 偏振图像的信息可以通过光场的偏振分布来编码。长轴取向和椭偏率均是光场偏振态的可调参量。即光场的长轴取向由一幅偏振图像编码确定后, 光场的椭偏率可以由另一幅独立的偏振图像编码确定。我们提出了一种仅使用偏振就可以同时将两个独立图像编码到光场中的方法。光场的长轴取向和椭偏率在空间上都可以任意调制。我们可以通过检测生成光场的斯托克斯参量来恢复两个被编码的偏振图像。实验结果表明, 我们的编码方法具有额外的编码自由度, 并且增加了光学图像的信息容量。我们提出的方法在实现彩色成像, 光学加密和量子通信等方向有潜在应用。

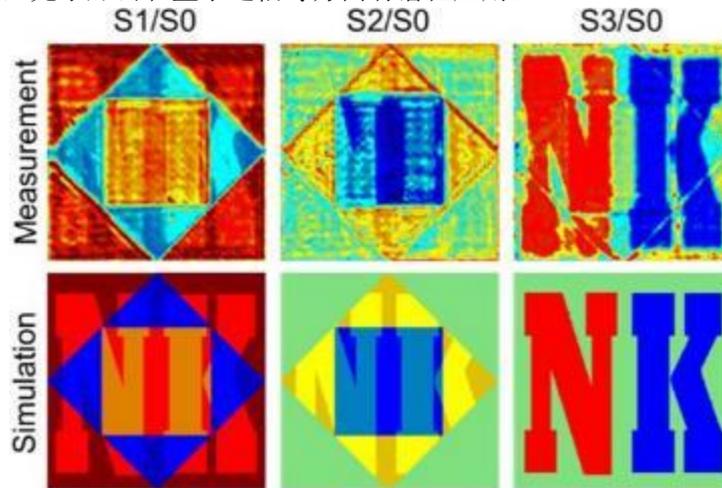


图1 光场的归一化斯托克斯参量。第一列至第三列分别表示 $S1/S0$ ,  $S2/S0$ 和 $S3/S0$ 。第一排是实验结果, 第二排是相应的模拟结果。

关键词: 波前编码, 偏振, 衍射光学

资助项目: 国家自然科学基金 (Nos. 11534006, 11674184, 11374166)

参考文献:

- 【1】 Q. Zhan, "Cylindrical vector beams: from mathematical concepts to applications," *Adv. Opt. Photon.* **1**(1), 1-57 (2009).
- 【2】 X. Li, T. H. Lan, C. H. Tien, and M. Gu, "Three-dimensional orientation-unlimited polarization encryption by a single optically configured vectorial beam," *Nat. Commun.* **3**, 998 (2012).
- 【3】 O. Graydon, "Optical encryption: Polarization keys," *Nat. Photon.* **9**(3), 141 (2015).

## 基于莫尔条纹的织物密度计数器的准确性探究

刘一凡、王瑾\*、李文华、文小青

南开大学物理科学学院，天津 300071

Email: [1810247@mail.nankai.edu.cn](mailto:1810247@mail.nankai.edu.cn), \*[wangjin8208@nankai.edu.cn](mailto:wangjin8208@nankai.edu.cn), [liwenhua@nankai.edu.cn](mailto:liwenhua@nankai.edu.cn)  
[wenzhaoqing@nankai.edu.cn](mailto:wenzhaoqing@nankai.edu.cn)

摘要：自莫尔条纹现象被发现和广泛研究后，莫尔条纹原理被应用到了诸多领域，尤其是在微观测量的放大、计数方面。工业上已经产生了基于莫尔条纹原理的织物密度分析镜，相较于原先使用的手动放大计数的方法，该方法有着简单易操作、读数快捷的优点，但由于其刻度的不均匀性，难以定义其准确性等具体参数，使其能够足够准确以作为物理器具使用。

课题组研究了一种基于莫尔条纹的织物密度分析镜，选用反比例函数线族图样制作分析镜，将丝线近似为平行直线，通过对图样的分析，模拟产生的莫尔条纹的花样，为其从原理上确定了分辨率和精准度。通过使用基于此原理设计的织物密度分析镜，测量了 10 种简单织物的经纬密度。我们也设计了一种由 CCD 摄像机辅助的成像系统，通过 1951USAF 分辨率板对成像结果进行标定，通过成像方法也得到了同样织物的经纬密度。通过对这两种测量方式结果比较，我们能够验证我们确定的分辨率和精确度是否准确。

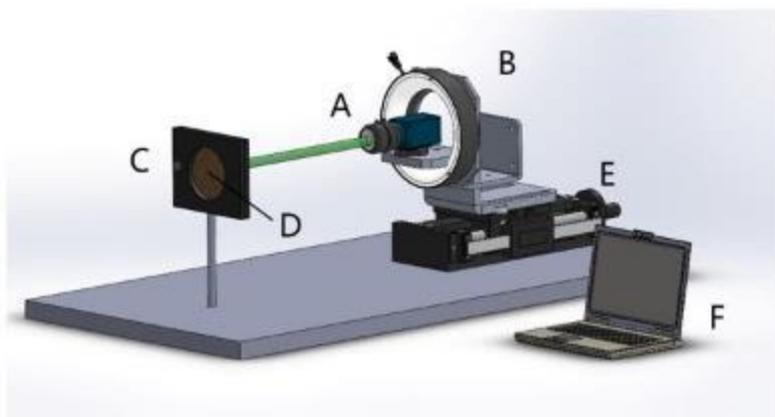


图 1 CCD 辅助成像装置示意图

关键词：莫尔条纹 织物密度镜

基金项目：国家基础科学人才培养基金项目 (NO.J1210027) 国家基础科学人才培养基金 (NO. J1103208)

## 利用连续谱中的准束缚态极大地增强古斯-汉森位移

吴丰、吴家驹、江海涛<sup>a)</sup>、孙勇、陈鸿<sup>b)</sup>

同济大学 物理科学与工程学院, 上海 200092

Email: a) jiang-haitao@tongji.edu.cn, b) hongchen@tongji.edu.cn

摘要: 至今为止, 主要有两种机制可大幅增强古斯-汉森位移, 分别是: 布儒斯特角机制和透射型共振机制。然而, 在这两种机制中, 古斯-汉森位移的极大值均位于透射谱的极大值 (即反射谱的极小值) 处, 给实验测量带来了困难。我们通过调节导波模式的选择性激发, 在光栅-波导复合结构中实现了反射型的连续谱中的准束缚态。在光栅-波导复合结构中, 第一层为四部分亚波长光栅层, 第二层为介质波导层。通过调节结构的几何参数, 原来的四部分光栅将变为二部分光栅 (其光栅周期只有原来的一半), 这时原本发生导模共振的模式将不满足导模共振条件, 成为暗态 (即连续谱中的束缚态)。利用连续谱中的准束缚态的高 Q 因子共振特性, 古斯-汉森位移可被大幅增强至光波长的一千倍以上。而且此时古斯-汉森位移的极大值位于反射峰处, 反射率达到了 100%。这使得反射光的测量变得更加容易。基于大的古斯-汉森位移, 我们设计了具有高灵敏度的温度传感器。我们的工作将有助于基于古斯-汉森位移的一些应用, 如: 各种类型的超灵敏传感器、波分解复用设备、光开关以及偏振分束器等等。

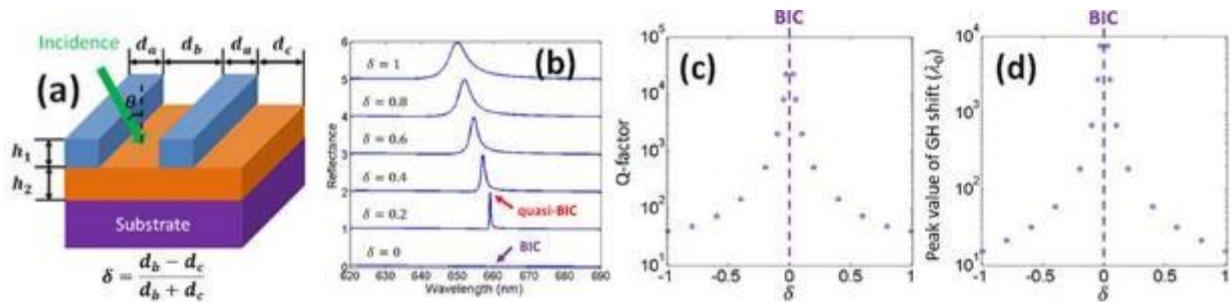


图 1. (a) 复合光栅-波导结构的元胞的示意图。(b) 不同几何参数下的零阶 (零级衍射) 反射谱。(c) Q 因子和(d) 古斯-汉森位移极大值与几何参数的关系。

关键词: 连续谱中的束缚态、古斯-汉森位移、光栅-波导复合结构

### 参考文献

- 【1】 F. Wu, J. Wu, Z. Guo, H. Jiang, Y. Sun, Y. Li, J. Ren, and H. Chen, Giant enhancement of the Goos-Hänchen shift assisted by quasibound states in the continuum, *Phys. Rev. Appl.*, 2019, 12, 014028.
- 【2】 W. Liu, Y. Li, H. Jiang, Z. Lai, and H. Chen, Controlling the spectral width in compound waveguide grating structures, *Opt. Lett.* 2013, 38, 163.
- 【3】 X. Wang, C. Yin, J. Sun, H. Li, Y. Wang, M. Ran, and Z. Cao, High-sensitivity temperature sensor using the ultrahigh order mode-enhanced Goos-Hänchen effect, *Opt. Express.* 2013, 21, 13380.

基金项目: 国家重点研发计划(No. 2016YFA0301101), 国家自然科学基金项目(Nos. 91850206, 11774261, 11775159, 61621001, 61661007) 等。

## 光纤中的超级啁啾异常波：非递推达布变换法

卜丽丽、Fabio Baronio、Jose M. Soto-Crespo、Dumitru Mihalache、陈世华

东南大学，南京 211189

Email: [230189806@seu.edu.cn](mailto:230189806@seu.edu.cn)

**摘要：**由于其巨大的应用潜力及在实验室环境中较为容易产生和捕获[1]，近年来，光学异常波（Optical Rogue Waves）的理论和实验方面的研究方兴未艾。光学异常波与孤子具有很大的相关性，因为它们都可以通过调制不稳定性（MI）过程产生。孤子是在没有失真的色散介质中传播的并保持其形状不变的固定波包，而异常波是一种瞬态波包，它在时间和空间上双局域，因此看起来似乎是来无影去无踪的[2]。尽管它们具有不可预测性，但现在已经在许多光学装置中成功地观察到了光学异常波现象。

本课题组在包含群速度色散、克尔和五次非线性以及自陡峭效应的广义非线性 Schrödinger(GNLS) 方程的框架内研究了光纤中的超流动力学，运用非递推达布变换法求得基阶、二阶以及三阶的显式异常波解，我们证明，对于阶数为  $n$  的异常波解，它可以由峰值幅度为背景波幅的  $2n+1$  倍的单个超级异常波构造，而这单个超级异常波是由  $n(n+1)/2$  Peregrine 孤子的叠加产生的。特别地，我们证明这些超级异常波存在频率啁啾，且啁啾在时间和空间中双局域，这是未见报道过的新颖之处。通过数值模拟方法，超级二阶异常波具有稳定性，这也在很大程度表明它们具有实验可观测性。

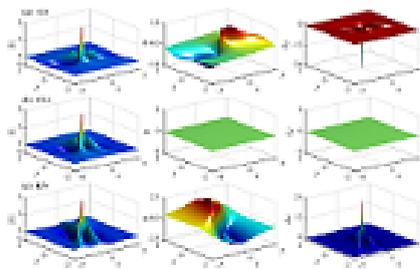


图 1 GI 方程框架下异常色散区域中的超二阶异常波

**关键词：**光学异常波(RWs) 啁啾 Peregrine 孤子

**参考文献**

【1】 S. Wabnitz (ed.) *Nonlinear Guided Wave Optics: A testbed for extreme waves* (IOP Publishing, 2017)

【2】 N. Akhmediev *et al.*, “Waves that appear from nowhere and disappear without a trace,” *Phys. Lett. A* **373**, 675–678 (2009).

**基金项目：**国家自然科学基金项目（NO. 11474051）

## 二维材料的表面等离子激元与近场热辐射的调控

葛力新、龚克、仓玉萍、罗永松

信阳师范学院物理电子工程学院, 信阳 464000

Email: [lixinge@hotmail.com](mailto:lixinge@hotmail.com)

**摘要:** 物体传热主要有三种形式, 即热传导、热对流和热辐射。相比前两种形式, 热辐射的传递速度最快 (光速)。当两个物体距离  $d$  远大于热特征波长  $\lambda_T$  时 (室温下  $\lambda_T$  约为  $10 \mu\text{m}$ ), 它们之间热辐射传递的最大能流对应于普朗克黑体辐射。当两物体的距离在微纳米尺寸范围时 ( $d \ll \lambda_T$ ), 由于表面波的存在, 它们之间的热辐射传递能流可达到黑体辐射的几个数量级。因此, 微纳米尺寸下的热辐射具有非常重要的应用价值, 如热光伏电池、热纳米刻蚀、热成像等。

近年来, 石墨烯、二维黑磷、过渡金属硫化物等二维材料的实验制备和相关理论研究取得了许多突破性的成果。除了奇异的电学特性外, 二维材料在光学方面也具有非常突出的表现。研究发现, 掺杂的二维材料可支持表面等离子激元 (即: 电磁波和电子相互作用形成的一种集体震荡模式)。二维材料的表面等离子激元工作在太赫兹到中红外波段, 室温下热激发效率高。此外, 相比传统的贵金属 (如: 金、银等), 二维材料的表面等离子激元具有很强的可调节性, 如通过外加偏压、磁场、应力等手段。

本报告介绍我们利用外加磁场、应力拉伸等手段调控近场热辐射的工作。在外加磁场作用下, 两层石墨烯之间的热辐射谱线由原先的单个辐射峰变成多个辐射峰。不同的热辐射峰对应于不同的朗道能级跃迁。由带内跃迁引起的辐射峰会随着石墨烯化学势的增大而发生蓝移, 而由带间跃迁引起的辐射峰具有鲁棒性, 不随化学势的变化而变化。在强磁场下, 零阶磁等离子激元模式可极大增强毫米波 ( $\sim 200 \text{ GHz}$ ) 的近场热辐射。另一方面, 我们发现两层石墨烯之间的近场热辐射可通过外加拉伸 (晶格变形) 实现连续调控, 即: 拉伸强度和拉伸方向可调制近场热辐射的能流大小和辐射谱线的性质。该研究发现有可能在热力传感器件中具有潜在应用。

**关键词:** 石墨烯、近场热辐射、表面等离子激元、热调控

### 参考文献

- 【1】 L. X. Ge *et al.*, Magnetically tunable multiband near-field radiative heat transfer between two graphene sheets, *Phys. Rev. B* 2019, 100 (3), 035414
- 【2】 L. X. Ge *et al.*, Modulation of near-field radiative heat transfer between graphene sheets by strain engineering, *Opt. Express* 2019, 27 (16), A1109-A1117.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO. 11747100, 11804288)

## WSe<sub>2</sub>/WS<sub>2</sub> 异质结层间相互作用的调控

韩双萍、梁喜龙、杨超丽、高岩、秦成兵、肖连团

山西大学量子光学与光量子器件国家重点实验室, 激光光谱研究所, 山西太原 030006

Email: [chbqin@sxu.edu.cn](mailto:chbqin@sxu.edu.cn)/[xlt@sxu.edu.cn](mailto:xlt@sxu.edu.cn)

摘要: 异质结作为近年来研究的热门课题之一, 展现了独特的光物理特性, 诸如超快的层间电荷转移, 强的层间量子效应, 高的荧光量子产率等等。这些特性使得异质结在光电器件、量子器件等领域得到了极大地发展。然而, 由于异质结制备的不可控性, 异质结层与层之间通常不会处在相互作用最强的状态, 这使得异质结的光物理特性具有复杂性、多样性, 始终无法精确定义和控制异质结层间相互作用的强度。

在本课题中, 通过泵浦-探测手段, 结合共聚焦荧光显微成像系统, 我们追踪了不同退火温度下荧光轨迹随延迟时间的变化, 由此分析了样品的激子动力学随相互作用强度的变化情况。并且通过数据拟合给出了在不同相互作用强度下 WSe<sub>2</sub>/WS<sub>2</sub> 激子弛豫时间的统计分布, 发现随着退火温度的增加, 激子弛豫时间逐渐趋于稳定。我们的工作提供了一种全新的定义异质结层间相互作用的手段, 有利于异质结的后续发展。

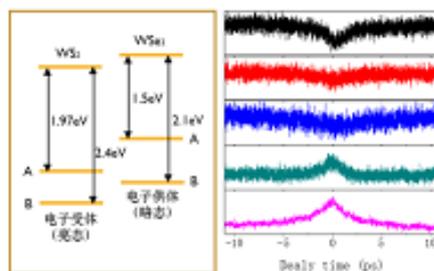


图 1 异质结能级结构及其荧光轨迹随退火温度变化趋势

关键词: 过渡金属硫属化合物异质结, 激子弛豫, 层间相互作用

参考文献

- 【1】 Lu, X., et al., Layer-by-layer thinning of MoS<sub>2</sub> by thermal annealing. *Nanoscale*, 2013. 5(19),8904-8.
- 【2】 Tongay, S., et al., Tuning interlayer coupling in large-area heterostructures with CVD-grown MoS<sub>2</sub> and WS<sub>2</sub> monolayers. *Nano Lett*, 2014. 14(6),3185-90.
- 【3】 Wang, F., et al., Tuning Coupling Behavior of Stacked Heterostructures Based on MoS<sub>2</sub>, WS<sub>2</sub>, and WSe<sub>2</sub>. *Sci Rep*, 2017. 7,44712.

**基金项目:** 国家自然科学基金(批准号: 61527824, 11434007, 61875109)、教育部长江学者和创新团队发展计划(批准号: IRT\_17R70)、山西省“1331 工程”重点学科建设计划和高等学校学科创新引智计划(111 计划)(批准号: D18001)。

## 单层 WS<sub>2</sub> 中性激子和带电激子的全光学探测和调控

杨超丽、梁喜龙、韩双萍、高岩、秦成兵、肖连团、贾锁堂

山西大学量子光学与光量子器件国家重点实验室, 太原 030006

Email: [564453566@qq.com](mailto:564453566@qq.com)

摘要: 过渡金属硫属化物(transition metal dichalcogenides, TMDs)因其独特的性质近年来引起了广泛的关注, 而单层 TMDs 由于不存在多层 TMDs 的层间扰动以及具有的直接带隙跃迁, 使得单层 TMDs 的光致发光(photoluminescence, PL)与多层 TMDs 相比具有很大的优势。由于电子运动的二维(two-dimension, 2D)空间限制和库仑屏蔽, TMDs 系统中具有强大的多体相互作用, 如载体之间巨大的激子效应, 另一方面, 由于其具有原子厚度, TMD 的 PL 峰值位置和发射强度均受到周围环境等因素的影响。如收集的位置, 缺陷密度, 温度以及激发强度。巨大的激子效应以及对周围环境的敏感性使其不同于传统的光学系统。因此, 表征它们的光学特性和理解其潜在的动力学过程对于其基础研究和光电应用是必不可少的。

课题组团队利用高质量的单层二硫化钨对二维半导体中的激子物理进行观察和调控。不同于之前的外部刺激手段, 利用全光学的方法对其中性激子和带电激子进行全光学探测和可逆调控。通过研究化学气相沉积法生长的单层二硫化钨上重组动力学的激发功率依赖性, 成功实现了中性激子和带电激子的全光学探测和可逆无损调控。我们的工作为调控过渡金属硫属化物的中性激子和带电激子提供了一种新的方法, 同时也为基于过渡金属硫属化物的光学器件以及激子电路等的发展提供重要信息。

关键词: 过渡金属硫属化物 中性激子 带电激子 光学调控

【1】Chernikov, A., Ruppert, C., Hill, H. M., Rigosi, A. F. & Heinz, T. F. Population inversion and giant bandgap renormalization in atomically thin WS<sub>2</sub> layers. *Nature Photonics* 9, 466-470, doi:10.1038/nphoton.2015.104 (2015).

【2】High, A. A., Novitskaya, E. E., Butov, L. V., Hanson, M. & Gossard, A. C. Control of exciton fluxes in an excitonic integrated circuit. *Science* 321, 229-231, doi:10.1126/science.1157845 (2008).

【3】Li, H. *et al.* Growth of alloy MoS<sub>2x</sub>Se<sub>2(1-x)</sub> nanosheets with fully tunable chemical compositions and optical properties. *Journal of the American Chemical Society* 136, 3756-3759, doi:10.1021/ja500069b (2014).

**基金项目:** 国家自然科学基金(批准号: 61527824, 11434007, 61875109)、教育部长江学者和创新团队发展计划(批准号: IRT\_17R70)、山西省“1331 工程”重点学科建设计划和高等学校学科创新引智计划(111 计划)(批准号: D18001)。

# 正弦石墨烯表面等离子激元增强的三次谐波产生

赵妍, 宁廷银\*

山东师范大学物理与电子科学学院, 山东济南 250000

Email: ningtingyin@sdu.edu.cn

**摘要:** 石墨烯的非线性光学响应在芯片上可集成的非线性光子学器件的设计和制作方面具有非常重要的研究意义[1,2]。由于石墨烯只有单原子层厚度, 石墨烯与光的相互作用较弱, 从而限制了石墨烯的强非线性光学响应。为了有效地增强石墨烯的非线性光学响应, 我们设计了石墨烯覆盖在正弦型介质光栅的结构。在入射光为横磁场极化时, 当石墨烯表面等离子体被激发, 石墨烯产生的三次谐波信号显著增强。与放置在平面介质上的石墨烯相比, 三次谐波产生的增强因子达到  $10^6$ 。这种增强主要是由于石墨烯表面等离子体被激发时的电场局域效应。我们详细研究了石墨烯的费米能级, 光栅周期和光栅振幅对三次谐波产生强度的影响。我们的研究对基于石墨烯的非线性光子学器件设计和制备具有重要意义。

**关键词:** 三次谐波产生、石墨烯表面等离子激元、正弦型石墨烯

**资助项目:** 国家自然科学基金 (11404195)

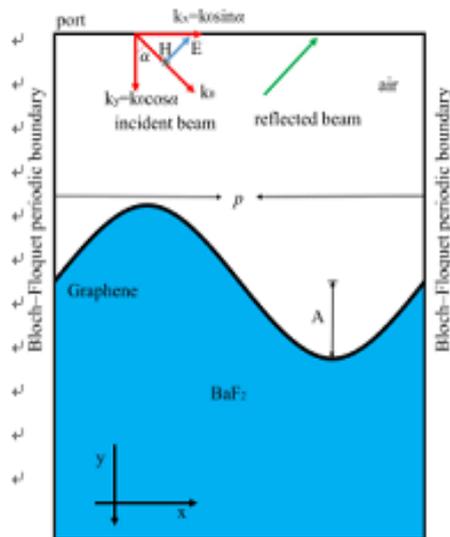


图 1 几何结构示意图

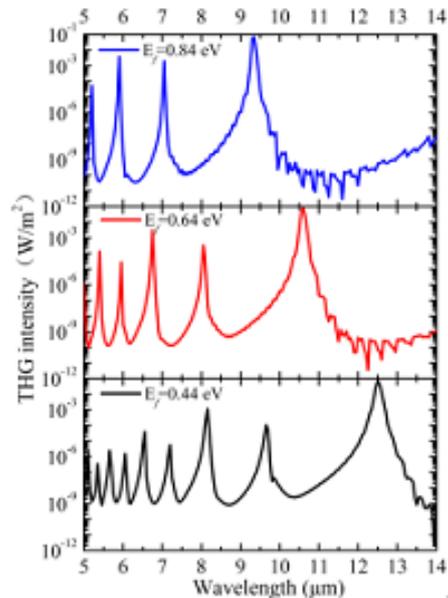


图 2. 三次谐波强度随费米能量变化

## 参考文献

- 【1】 G. Soavi, G. Wang, H. Rostami, et al. Broadband, electrically tunable third-harmonic generation in graphene. *Nature nanotechnology* 13, 583-588 (2018).
- 【2】 T. Jiang, D. Huang, J. Cheng, et al. Gate tunable third-order nonlinear optical response of massless Dirac fermions in graphene. *Nature Photonics* 12, 430-436 (2018).

## 二维纳米结构阵列的非对称传输效应

吐达洪 阿巴, 白瑜, 陈语嫣, 张中月\*

陕西师范大学物理学与信息技术学院, 西安市长安路620号 710119

Email: [Tudahunaba@126.com](mailto:Tudahunaba@126.com)

摘要: 非对称传输(AT)在控制电磁波的极化和传播方面具有重要的应用<sup>[1]</sup>。目前已有的 AT 效应的研究主要通过三维(3D)贵金属微纳结构来实现<sup>[2]</sup>, 然而, 3D 贵金属微纳结构的制造工艺过程较复杂, 尤其是在微纳米尺度, 所以不利于大范围应用。最近, 由于二维(2D)纳米结构易于制造且具有潜在的应用, 我们研究了 2D 倾斜矩形纳米孔(TRNH)<sup>[3]</sup>、斜交叉纳米孔(OINs)<sup>[4]</sup>和连接的万字符形纳米结构阵列(CG N)<sup>[5]</sup>等的 AT 效应。数值计算结果表明, 这些结构的 AT 效应是由于金属薄膜表面的局域表面等离子激元(LSP)、表面等离子激化激元(SPP)共振以及磁矩振荡作用造成的。此外, 这些纳米结构的 AT 特性很大程度上依赖于结构参数, 例如宽度、长度、厚度和倾斜角等。这些结果可以帮助更好的理解 AT 效应的产生机制, 并有助于指导设计光学器件如波分离器和光学隔离器。

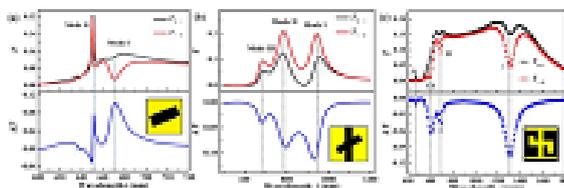


图 1: (a) TRNH 阵列、(b) OINs 阵列和(c) CGN 阵列结构的透射和 AT 光谱

关键词: 表面等离子激元; 非对称传输; 微纳结构

参考文献

- 【1】 Pfeiffer C. *et al*, High Performance Bianisotropic Metasurfaces: Asymmetric Transmission of Light, *Phys. Rev. Lett.*, 2014, 113, 023902.
- 【2】 G. Kenanakis. *et al* A three-dimensional infra-red metamaterial with asymmetric transmission, *ACS photonics.*, 2015, 10, 1021.
- 【3】 T. Aba, Z. Y. Zhang *et al*, Tunable Asymmetric Transmission through Tilted Rectangular Nanohole Arrays in a Square Lattice, *Opt. Express*, 2018, 24, 1199-1205.
- 【4】 Y. Chen, Z. Y. Zhang *et al*, Asymmetric Transmission of Obliquely Intersecting Nanoslit Arrays in a Gold Film, *Appl. Opt.* 2017, 26, 5781-5785
- 【5】 Y. Bai, Z. Y. Zhang *et al*, Asymmetric transmission of a planar metamaterial induced by symmetry breaking, *J. Phys.: Condens. Matter*, 2018, 30, 114001.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 61575117)

## 非晶态碳氧化硅薄膜的三阶非线性光学特性研究

于秀儒、尹鲁英、宁廷银\*

山东师范大学物理与电子科学学院, 山东济南 250000

Email: ningtingyin@sdu.edu.cn

摘要: 本报告中, 我们主要研究了非晶态碳氧化硅 (SiOC) 薄膜的三阶非线性光学特性。非晶态的碳氧化硅薄膜由磁控溅射法在室温下制备, 并在 200 °C 到 800 °C 不等的温度及氧环境下退火而得到。利用 Z 扫描方法, 在 25 ps 脉宽及 1064nm 波长下, 测量了薄膜的三阶非线性光学性质。闭孔数据, 表明不同条件下制备的薄膜分别表现出自聚焦及自散焦效应, 非线性折射率大小约为  $n_2 \sim 10^{-15} \text{ m}^2/\text{W}$ , 其数值比 SiC 晶体大五个数量级。开孔数据表明, 未经退火处理和分别退火 200 °C、800 °C 的 SiOC 薄膜表现出强的双光子吸收特性, 而退火 400 °C、600 °C 的 SiOC 薄膜则表现出饱和吸收特性。实验结果表明, SiC 薄膜受氧原子掺杂及微结构调控的三阶非线性光学特性, 对制备基于 SiC 的非线性光学器件具有重要意义。

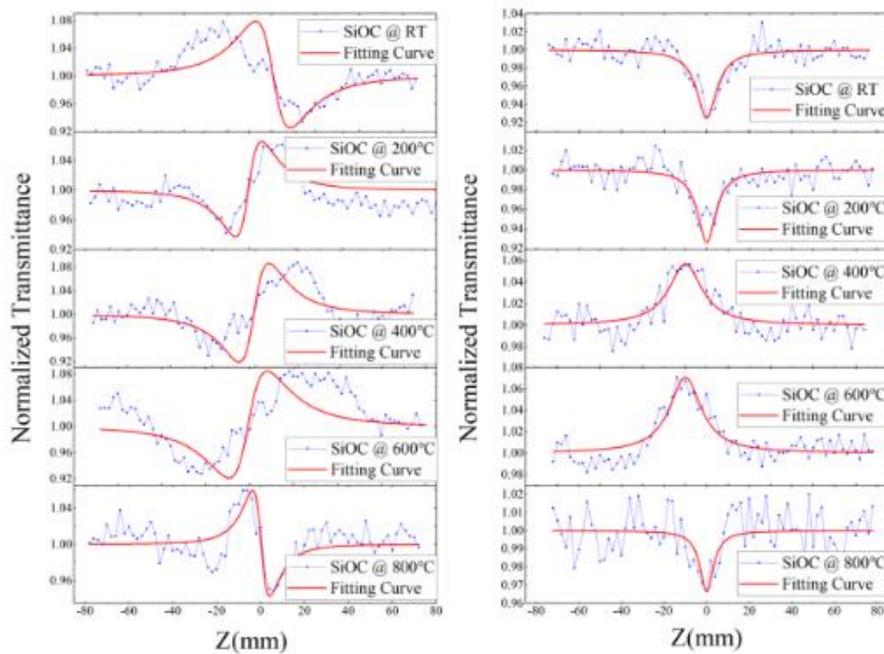


图 1: SiOC 薄膜闭/开孔的 Z-scan 实验数据 (蓝) 和拟合曲线 (红)。

关键词: 碳氧化硅薄膜、三阶非线性、Z 扫描

基金项目: 国家自然科学基金 (11404195)

## Artificial Chiral Metal Nanostructures Fabricated by Dynamic Shadowing Growth

Hamad Ullah, Yu Qu, Tiankun Wang, Yongkai Wang, Zhimin Jing, and Zhongyue Zhang

School of Physics and Information Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China

\*Email address: [hamad@snnu.edu.cn](mailto:hamad@snnu.edu.cn)

**Abstract:** The chiroptical response of chiral plasmonic nanostructures (CPNs), particularly circular dichroism (CD) spectroscopy plays an important role in the structural analysis of biomolecules<sup>1</sup> and artificial chiral structures<sup>2-6</sup>. As chiral metamaterials become increasingly more technologically relevant, scalable, yet proficient nanofabrication methods will be needed for their production. Dynamic shadowing growth (DSG) that takes advantage of the vapor shadowing effect during physical vapor deposition is a simple and powerful tool to produce chiral nanostructures<sup>3</sup>. In our research, the DSG method has been employed to fabricate CPNs, which is easier to operate and tailor the parameters of the structures. We use self-assembled colloidal nanosphere monolayers (SACMs) as deposition templates which is a particularly attractive method because its simplicity and scalability complement the DSG technique and the hexagonal close-packed (HCP) lattice of spheres offers distinctive and desirable shadowing properties. We utilized DSG to fabricate a system of a nanorod coupled with a nanosurface to generate CD<sup>6</sup>. The generated CD signal is tuned by changing the deposition angle, the substrate azimuthal angle and deposition time for each layer, resulting in varying the dielectric environment for the designed structure or changing phase and coupling modes of the electric and magnetic dipoles. Experimental results are in good agreement with simulation results<sup>6</sup>.

**Key words:** Artificial Chiral nanostructures, Circular Dichroism, Dynamic Shadowing Growth

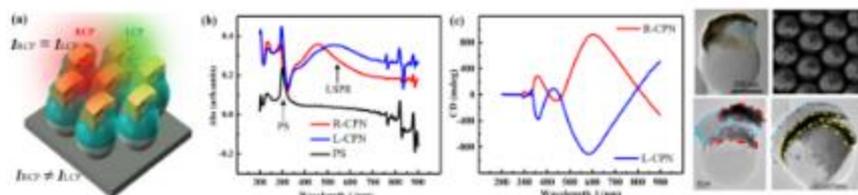


Figure 1. (a) Schematic of CD measurement. (b-c) Absorption spectra and CD spectra of L-CPN, R-CPN and PS nanosphere monolayer. (d) TEM/SEM images of different kind of CPNs fabricated by DSG method.

- 【13】 X. H. Yin *et al*, Interpreting Chiral Nanophotonic Spectra: The Plasmonic Bom-Kuhn Model, *Nano Lett.*, **2013**, 13, 6238–43.
- 【14】 Y. K. Wang, Z. Y. Zhang *et al*, Plasmonic chirality of L-shaped nanostructure composed of two slices with different thickness, *Opt. Express* 2016, 24, 2307.
- 【15】 T. K. Wang, Z. Y. Zhang *et al*, Circular dichroism of tilted U-shaped nanostructure, *Opt. Lett.* 2017, 42, 1.
- 【16】 T. Fu, Z. Y. Zhang *et al*, Tunable chiroptical response of chiral plasmonic nanostructures fabricated with chiral templates through oblique angle deposition, *J. Phys. Chem. C* 2017, 121, 1299.
- 【17】 Y. Qu, Z. Y. Zhang *et al*, Giant circular dichroism induced by tunable resonance in twisted z-shaped nanostructure, *Opt. Express* 2017, 25, 5480.
- 【18】 U. Hamad, Z. Y. Zhang *et al*, Tunable Chiroptical Response of a chiral system composed of a nanorod coupled with a nanosurface, *Appl. Surf. Sci.* 2019, 467, 684.

基金项目: 国家自然科学基金 (61575117)

## 光学二次谐波对多铁材料铁电极化状态的表征

高寒<sup>a,b</sup>、陈超<sup>c</sup>、陈德杨<sup>c</sup>、游陆<sup>d</sup>、陆成亮<sup>b</sup>、韩一波<sup>a</sup>

<sup>a</sup> 华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心, 武汉 430074

<sup>b</sup> 华中科技大学物理学院, 武汉 430074

<sup>c</sup> 华南师范大学 先进光电子研究所, 广州 510631

<sup>d</sup> 南洋理工大学 材料科学与工程学院, 新加坡 639798

Email: [ybhan@hust.edu.cn](mailto:ybhan@hust.edu.cn)

摘要：光学二次谐波产生（Optical Second Harmonic Generation）作为非接触、非损伤性的光学表征技术已被广泛用于磁性、铁电材料的物理特性表征。该非线性光学过程对待测样品的对称性破缺程度高度敏感，这为人们观察温度、磁场、电场等因素导致的各种相变过程提供了非常有力的手段。所以，建立二次谐波信号特征与样品结构特性之间清晰的对应关系，这点对样品性质的观察与分析非常重要。其次，多铁材料在不同物理外场的影响下展现丰富的物理性质，而铁酸铋（ $\text{BiFeO}_3$ , BFO）作为目前少有的单相多铁材料一直是多个领域的研究热点。所以，我们使用 SHG 技术系统地表征了铁电畴态不同的铁酸铋薄膜，为后续利用 SHG 观材料的多铁性质在不同物理场下的变化提供研究基础。通过总结准菱方相（R-Phase）的单畴、双畴 BFO 以及准四方相(T-Phase)四畴 BFO 薄膜的全偏振 SHG 表征结果，我们发现 SHG 可以唯一且确定地区别这三种样品。并且 R-Phases 双畴 BFO 薄膜的 SHG 结果可以通过 R-Phase 单畴样品的表征结果叠加形成。在目前多铁材料领域内 SHG 表征结果大多为特定偏振角度的前提下<sup>[1]</sup>，该工作全面地展示了 BFO 在不同偏振入射光激发下的 SHG 信号特征，进一步丰富了该领域的研究成果。

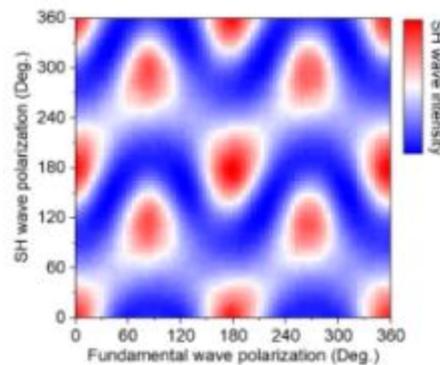


图 1 单畴 R 相铁酸铋薄膜的 2D SHG 测试结果

关键词：光学二次谐波，多铁材料，铁电极化，铁酸铋

参考文献

- 【1】 Johanna Nordlander *et al*, Probing Ferroic States in Oxide Thin Films Using Optical Second Harmonic Generation, *Applied Science* 2018, 8, 5705

## 平顶飞秒脉冲在熔融石英中产生超连续辐射的研究

展林弟<sup>1</sup>, 许梦宁<sup>1</sup>, 奚婷婷<sup>1</sup>

1 中国科学院大学物理科学学院, 北京 101408

Email: [ttxi@ucas.ac.cn](mailto:ttxi@ucas.ac.cn)

**摘要:** 高功率飞秒激光脉冲在透明介质中传输时, 会成丝并伴随着光谱展宽, 光谱范围从可见光覆盖到中红外[1]。这样的宽带光谱定义为超连续辐射, 并且在很多领域有很多重要应用, 例如远程遥感[2,3], 脉冲压缩[4,5]等。研究超连续辐射的控制, 如截止波长, 光谱范围, 强度等参数的控制, 对于这些应用有着重要的意义。我们数值模拟了熔融石英中具有不同陡峭沿的飞秒平顶脉冲的成丝和超连续辐射[6]。结果表明, 熔融石英中的成丝过程主要是由自陡峭效应和电离影响, 超连续辐射主要受自陡峭效应的影响。脉冲前沿和后沿分别决定了成丝起点和成丝终点。脉冲前沿越陡峭, 成丝起点越早; 后沿越陡峭, 成丝终点越早。对于具有不同陡峭度的前沿和后沿的脉冲, 产生的超连续辐射在蓝移部分的截止波长几乎相同。但是, 前沿陡峭的平顶脉冲产生更强的蓝移光谱强度, 这是因为成丝过程中产生了更多陡峭的子脉冲后沿。熔融石英中的平顶脉冲波形的优化计算为控制熔融石英中的超连续光谱的特征提供了物理基础和理论指导。

**关键词:** 超连续辐射 平顶脉冲

### 参考文献

- [1] A. Couairon and A. Mysyrowicz, "Femtosecond filamentation in transparent media," *Physics Reports*, 2007, 441 (2-4), 47.
- [2] J. Kasparian, M. Rodriguez, G. Méjean, J. Yu, E. Salmon, H. Wille, R. Bourayou, S. Frey, Y.-B. André A. Mysyrowicz, R. Sauerbrey, J.-P. Wolf, and L. Wöste, "White-light filaments for atmospheric analysis," *Science*, 2003, 301 (5629), 61.
- [3] D. Mirell, O. Chalus, K. Peterson, and J.-C. Diels, "Remote sensing of explosives using infrared and ultraviolet filaments," *J. Opt. Soc. Am. B*, 2008, 25 (7), B108.
- [4] G. Stibenz, N. Zhavoronkov, and G. Steinmeyer, "Self-compression of millijoule pulses to 7.8 fs duration in a white-light filament," *Opt. Lett.* 2006, 31 (2), 274.
- [5] S. Skupin, G. Stibenz, L. Bergé, F. Lederer, T. Sokollik, M. Schnürer, N. Zhavoronkov, and G. Steinmeyer, "Self-compression by femtosecond pulse filamentation: Experiments versus numerical simulations," *Phys. Rev. E*, 2006, 74 (5), 056604.
- [6] M. N. Xu, L. D. Zhan, T. T. Xi and Z. Q. Hao, "Supercontinuum generation by femtosecond flat-top laser pulses in fused silica," *J. Opt. Soc. Am. B*, 2019, 36 (10), G6.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO. 11874056, 11774038, 11474039)

# 氧化氮化硅薄膜的三阶非线性光学性质研究

尹鲁英、丁保勇、宁廷银\*

山东师范大学物理与电子科学学院，山东济南 250000

Email: ningtingyin@sdu.edu.cn

摘要：低维非线性薄膜材料，尤其是 CMOS 工艺兼容材料，在光电器件和全光器件的集成化和小型化方面具有非常重要的应用。氮化硅 (SiN) 作为一种重要的 CMOS 工艺兼容材料，其薄膜原子成分及结构的改变能显著影响其三阶非线性响应，近些年成为该领域研究热点之一[1]。本文主要研究了氧化氮化硅薄膜 ( $\text{SiO}_x\text{Ny}$ ) 的三阶非线性光学性质。实验中，我们利用 RF 磁控溅射的方法在双面抛光的  $\text{SiO}_2$  基底上室温制备了 SiN 薄膜样品，并在氧气氛围下进行 200 °C 和 600 °C 退火，制备了掺杂氧原子的  $\text{SiO}_x\text{Ny}$  薄膜。我们使用 Z 扫描方法在近红外波长 1064 nm 下测量了常温 SiN 以及不同退火温度下  $\text{SiO}_x\text{Ny}$  薄膜的非线性光学性质，得到常温下制备的样品的  $n_2$  为  $-2 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{W}$ ，经过 200 °C 和 600 °C 退火后的样品的  $n_2$  分别为  $-3.33 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{W}$  和  $-3.41 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{W}$ ，表明在氧气氛围退火后的  $\text{SiO}_x\text{Ny}$  薄膜样品比常温 SiN 薄膜的非线性折射率  $n_2$  增强到近 1.5 倍，而非线性吸收由室温 SiN 的双光子吸收变为  $\text{SiO}_x\text{Ny}$  的饱和吸收。不同样品非线性响应机理正在研究。我们的研究结果对于 SiN 薄膜在非线性光电器件中的应用有重要意义。

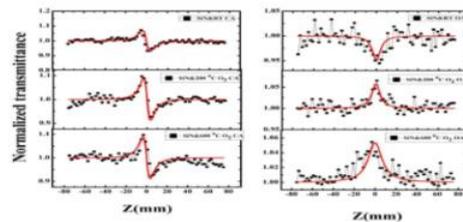


图 1：室温 SiN 及  $\text{SiO}_x\text{Ny}$  薄膜的 z 扫描结果，黑色点为实验结果，红色曲线为理论拟合结果

关键词：氮化硅薄膜、三阶非线性、Z 扫描

参考文献：

【1】B. Ding, X. Yu, H. Lu, X. Xiu, C. Zhang, C. Yang, S. Jiang, B. Man, T. Ning, and Y. Huo, Third-order optical nonlinearity in silicon nitride films prepared using magnetron sputtering and application for optical bistability, *J. Appl. Phys.* 2019,125(11), 113102

基金项目：国家自然科学基金 (11404195)

## 非厄米奇点光源效率特性研究

王兴远<sup>3†</sup>、陈华洲<sup>1†</sup>、王所<sup>1</sup>、葛力<sup>4,5\*</sup>、张霜<sup>6</sup>、马仁敏<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> 北京大学物理学院介观物理重点实验室, 北京, 100871

<sup>2</sup> 量子物质科学协同创新中心, 北京, 100871

<sup>3</sup> 北京化工大学数理学院物理系, 北京, 100029

<sup>4</sup> 美国纽约市立大学史坦顿岛学院工程科学与物理系, 纽约, NY 10314

<sup>5</sup> 美国纽约市立大学研究生中心, 纽约, NY 10016

<sup>6</sup> 伯明翰大学物理与天文学院, 伯明翰, B15 2TT

†相同贡献

\*通讯作者

**摘要:** 非厄米奇点是能量存在耗散或者增益的系统中的奇异点, 在这一点, 不仅系统的本征值兼并在一起, 而且本征态也合并为同一个模式。当前大量违反物理直觉或者全新的性质在非厄米奇点被发现, 这些特性为解决应用中的困难带来了许多突破性的新思路。非厄米奇点模式具有手征性, 在环形腔中, 模式的手征性表现为合并在一起的模式是具有特定旋转方向的回音壁模式, 此奇点模式携带确定的角动量。虽然人们已经提出了基于非厄米奇点的携带角动量的涡旋光激光器, 但非厄米奇点的涡旋光光源的效率提高问题仍然需要深入研究, 此外, 理论设计的非厄米奇点难以加工制备的问题限制了其应用的进程。我们基于环形腔回音壁模式, 探索了便于实际加工制备的非厄米奇点涡旋光光源, 对其辐射特性进行了研究, 给出了提高非厄米奇点涡旋光光源效率的方案, 并对其效率特性、效率提高的机理、以及效率对系统参量的依赖规律进行了解析分析和数值模拟验证。此研究为探索高效率的非厄米奇点光源提供了依据。

**关键词:** 非厄米奇点, 激光, 效率, 涡旋光

## 利用非线性超表面产生多路无衍射光

李智<sup>1,2</sup>、程化<sup>1,2</sup>、陈树琪<sup>1,2,\*</sup>、田建国<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>南开大学物理科学学院, 天津 300071

<sup>2</sup>南开大学泰达应用物理研究院, 天津 300457

Email: [schen@nankai.edu.cn](mailto:schen@nankai.edu.cn)

摘要: 无衍射光指的是在自由空间传播中截面强度分布保持不变的光束, 作为无衍射光的代表, 贝塞尔光和艾里光由于它们独特的无衍射、自愈及自加速特性(艾里光)吸引了广泛的研究兴趣。尽管在利用超表面产生了无衍射光上有很多工作, 但是这些工作都是在线性光学范围内, 因此无衍射光工作的信道数量是受到本质限制的。我们提出通过引入非线性信号以拓展工作信道数量, 单片超表面可以在不同的信道中产生传播性质不同的贝塞尔光或艾里光。除此之外, 我们也发现利用傅里叶分析可以在  $k$  空间更加全面的对无衍射光进行分析, 同时可以更加简便地对无衍射光进行分析。这一新的设计策略具有超紧凑、高像素和易于集成的优点, 为多路复用的光通信和光操控提供了新的解决方案。

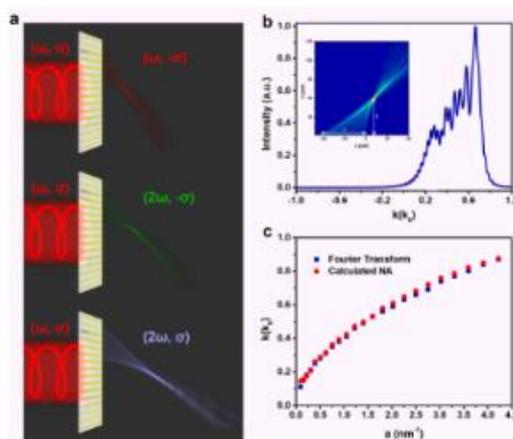


图 1 多路复用艾里光产生示意图及傅里叶分析

关键词: 超表面, 非线性光学, 无衍射光

参考文献

- 【1】 Durnin *et al*, Diffraction-free beams, *Phys. Rev. Lett.* 1987, 58, 1499.
- 【2】 Siviloglou *et al*, Accelerating finite energy Airy beams, *Opt. Lett.* 2007, 32, 979.

基金项目: 国家自然科学基金 (11574163, 11774186)

## Mn 掺杂 CsPbCl<sub>3</sub> 量子点中的能量传递研究

韩一波 (a)、张坤 (a)、胡青松 (b)

(a) 华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心, 武汉 430074

(b) 华中科技大学国家光电实验室, 武汉 430074

Email: [ybhan@hust.edu.cn](mailto:ybhan@hust.edu.cn)

关键词: CsPbCl<sub>3</sub>, 强磁场, 光致发光

摘要: CsPbX<sub>3</sub> (X = Cl, Br, I) 钙钛矿量子点由于具有极大的量子产率、通过卤素元素的替代其发光波长可在 410 nm 至 700 nm 之间连续可调、结构稳定等优点, 从而在光电探测、发光和显示方面有着很大应用前景[1]。但是, 由于有毒元素 Pb 的存在, 使得该体系材料在应用上具有一定的限制。因此, 通过其它无毒无害元素来完全或者部分替代 Pb 元素是一种值得研究的课题。研究证明, 通过热注入法, 在 CsPbCl<sub>3</sub> 量子点中掺入 Mn 元素来部分替代 Pb 元素, 不仅能降低材料的毒性, 而且由于激子能量从基质部分转移到 Mn 离子, 材料出现了两个发光峰, 激子的辐射跃迁复合几率明显提高, 从而显著地提高了材料的光致发光量子产率[2]。由于 Mn 离子是一种磁性离子, 其 <sup>4</sup>T<sub>1</sub>-<sup>6</sup>A<sub>1</sub> 光学跃迁会受到温度、磁场、晶体结构的调制。在八面体结构的钙钛矿中, Mn 的光学跃迁是禁戒的。我们研究了不同 Mn 掺杂浓度的 CsPbCl<sub>3</sub> 量子点在低温强磁场和变温条件下的光致发光谱, 结果表明: 在温度从 300 K 降至 4.2 K 的过程中, Mn 掺杂的 CsPbCl<sub>3</sub> 量子点由于电-声子相互作用和 Mn 离子之间的磁性相互作用, 导致在高温和低温区 Mn 离子发光的增强, 而本征发光峰(~400 nm)减弱。另外, 当温度为 4.2 K 时, 磁场能够明显地抑制激子能量在基质与 Mn 离子之间的转移, 对于磁场调控的发光器件研究具有一定的意义。

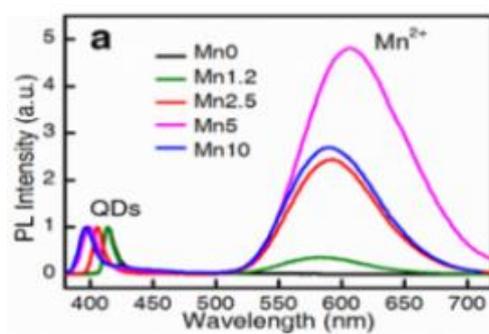


Fig.1. 不同浓度 CsPbCl<sub>3</sub>:Mn 光致发光谱

参考文献

[1] Loredana Protesescu, et al., *Nano Lett.* 2015, 15,3692-3696.

[2] Huiwen Liu, et al., *ACS Nano.* 2017, 11, 2239-2247.

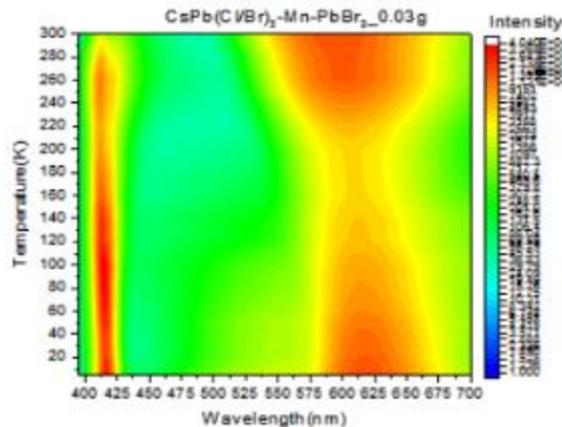
Mn 掺杂 CsPb(Cl/Br)<sub>3</sub> 钙钛矿纳米晶在低温和强磁场下的光学性质

赵健、韩一波

华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心, 武汉 430074

Email: ybhan@hust.edu.cn

摘要: Mn 掺杂 CsPbX<sub>3</sub>(X=Cl、Br、I)钙钛矿纳米晶因其具有高量子产率, 可用作白光发光器件的应用前景而被广泛研究。基于目前 Mn 掺杂 CsPbCl<sub>3</sub> 的研究, 对于 Mn 掺杂 CsPb(Cl/Br)<sub>3</sub> 的研究较少, Liling Fei 课题组利用室温离子交换的方法对其 80K 温度范围的光学性质进行了研究。而我们利用高温一步热注入合成 Mn 掺杂 CsPb(Cl/Br)<sub>3</sub> 钙钛矿纳米晶, 合成的材料稳定性更高。通过 300K 至 4.2K 的变温光致发光谱可以看出, 随着材料中 Cl 逐渐被 Br 取代, 激子峰位逐渐红移, 半导体带隙逐渐减小; 同时相比于未进行离子交换的 Mn 掺杂 CsPbCl<sub>3</sub> 样品, Mn 掺杂 CsPb(Cl/Br)<sub>3</sub> 样品中 Mn 的发光并未完全消失, 这可能与 Br 的引入导致钙钛矿八面体晶格对称性被破坏有关。此外, 我们做了低温下的变磁场 (0T-45T) 的光谱研究, 结果表明, 激子发光和 Mn 离子发光强度被磁场调制, 来源于 Mn 离子的磁化状态的变化。

图 1. Mn 掺杂 CsPb(Cl/Br)<sub>3</sub> 在 T=4.2K-300K 的光致发光谱

关键词: Mn 掺杂 CsPb(Cl/Br)<sub>3</sub>, 钙钛矿量子点, 低温, 磁场, 光致发光

参考文献

【1】Liling Fei. Enhanced luminescence and energy transfer in Mn<sup>2+</sup> doped CsPbCl<sub>3-x</sub>Br<sub>x</sub> perovskite nanocrystals, *Nanoscale*. 2018, 10, 19435

## 基于庞加莱球面二维展开设计的新型矢量光场研究

王梦帅、赵嘉豪、赵鹏程、高旭珍、潘岳\*

曲阜师范大学物理工程学院，山东省激光偏光与信息技术重点实验室，曲阜 273100

\*Email: [panyue.89@163.com](mailto:panyue.89@163.com)

**摘要：**近年来，偏振态空间变化的矢量光场由于其独特的性质而被广泛关注，目前研究者们已经设计出许多新型矢量光场，并被广泛应用于光学微加工、焦场调控、光信息传输、光学微操作和光学存储等领域。众所周知，庞加莱球模型作为一种常见的偏振态表征手段，已经被应用于设计和研究包括全庞加莱球矢量光场在内的多种新型矢量光场，进而衍生出高阶庞加莱球、杂化庞加莱球和广义庞加莱球上的新型矢量光场。然而，在目前的研究中，尚未有关于庞加莱球面二维展开得到矢量光场的报道。基于庞加莱球模型，我们首次提出庞加莱球面二维展开的光场设计方式，得到了一类具有杂化偏振态分布的新型矢量光场。在设计过程中，将庞加莱球面按照图 1 的方式沿着经线和纬线进行切割进而二维展开，再重新拼接组合，并且在波面上的空白处填入空间变化的偏振态，从而形成了波面上同时包含线偏振、椭圆偏振和圆偏振的新型杂化偏振矢量光场。这种新型矢量光场的波面能够包含庞加莱球面上全部或者一半的偏振态，因此也可以看作是一类新的全庞加莱球矢量光场（传统的全庞加莱球矢量光场是通过庞加莱球投影而非二维展开得到的）。同时，通过不同的组合方式和填充不同的偏振态，这类新型矢量光场可以具有更加丰富的调控自由度。我们进而研究了这类矢量光场的传播、聚焦和非线性性质，期望在光学信息传输、微加工和微操纵等领域取得一定的应用。

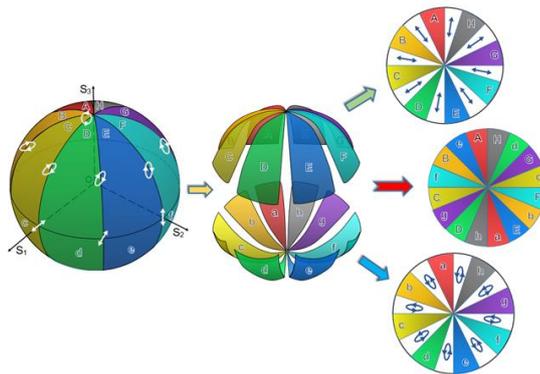


图 1 基于庞加莱球的新型矢量光场的设计原理图

关键词：庞加莱球 矢量光场 偏振态

参考文献

【1】潘岳, 丁剑平, 王慧田, 新型矢量光场调控: 简介、进展与应用, 光学学报. 2019, 39 (1), 0126001-1.

【1】Beckley A M, Brown T G, Alonso M A. Full Poincaré beams. Optics Express, 2010, 18 (10), 10777-10785.

基金项目：国家自然科学基金项目（11804187）

## Soliton solution of the sine-Gordon Equation

侯冲、磐昌昌、陈世华

Department of Physics, Southeast University, Nanjing 211189, China

Email: [381344228@qq.com](mailto:381344228@qq.com)

Abstract: We investigate special soliton wave dynamics in optical fibers, based on the exact rational solutions of the sine-Gordon. Analytical solutions are derived more universally up to the N-order via the Darboux transformation method. Further, the condition of the existence of the real solutions is presented, from which we explore the real soliton of the sine-Gordon equation and explicitly characterize the incoming and outgoing line solitons.

The results in this article give us a more insight comprehension about the sine-Gordon equation which comes from the combination of the theory of Maxwell equation in Nonlinear Polarized medium and the theory of Two-level atom system from the perspective of quantum mechanics and about the optical soliton dynamic in optical fibers that are understood in mathematical formula derived by a so-called Darboux transformation method. The theory and the formula result we mentioned above can be used to understand the optical self-induced Transparent phenomenon -an effect which occurs when solitons form in the resonance interaction of radiation with atoms.

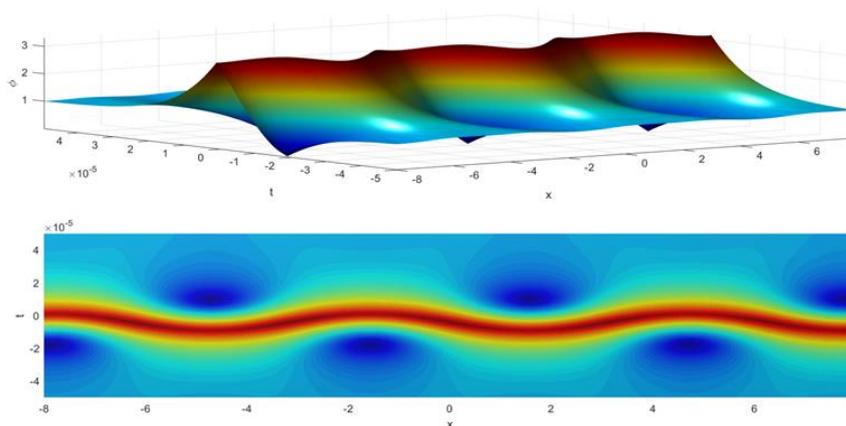


图1 两孤子相互作用图

KeyWords: sine-Gordon, soliton

【1】 C. Hou *et al.*, Soliton solution of the sine-Gordon Equation.

基金项目: 国家自然科学基金项目 No. 11174050 and No. 11474051

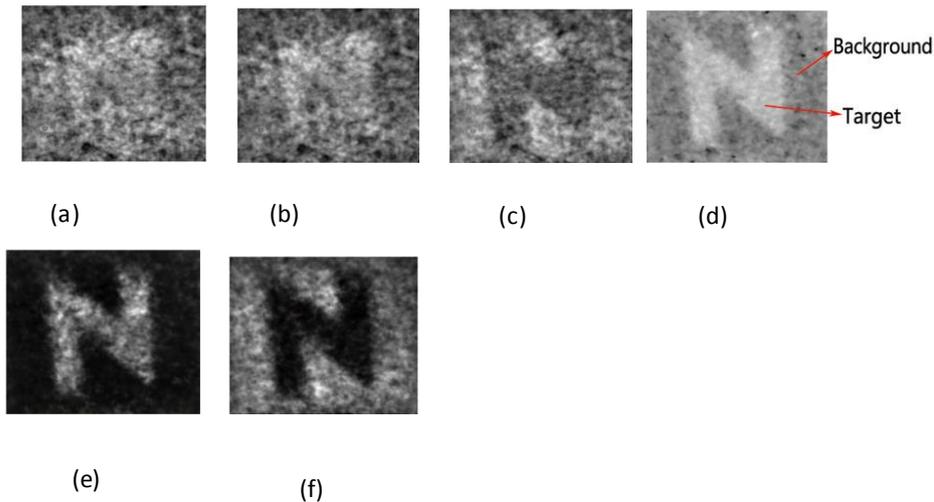
## 利用线偏振度差异提高相同反射率物体的关联成像对比度

肖湘 林惠祖 蒋亮 刘伟涛

国防科技大学

574621247@qq.com

关联成像在探测端使用桶探测器记录回波强度,与参考臂光场进行关联运算恢复出目标反射率分布图像,使得其拥有良好的抗干扰特性以及探测灵敏度。若视场中各目标的反射率相同或者差异很小,使得恢复出的目标图像对比度极低或者无法分辨目标,且提高对比度的应对方式非常有限,从光的另一维度增加信息量是可行且高效的提高图像质量的方式。加入偏振信息可以高效地增加探测端的信息量,我们在发射端使用水平方向线偏振光作为光源,利用反射回波中来自目标和背景的反射光的偏振度差异提高鬼成像可见度,提升图像的质量。在探测端我们用偏振分光棱镜将回波分成两路并分别用桶探测相机记录强度,可以提取反射光中不同偏振信息的差异,并且不需要任何先验信息便可以得到目标反射光在视场中每一点的线偏振度分布。更进一步,若视场中的物体可以看成仅由表面均匀的目标和背景组成且二者反射率相同,我们可以在得到的线偏振度分布图中相应的提取两不同的线偏振度,恢复出更高对比度的目标图像。



(a):传统关联成像; (b)水平检偏的偏振关联成像; (c)竖直检偏的偏振关联成像; (d)线偏振度分布图; (e)用提取到的线偏振度计算得到的物体光强恢复出的物体图; (f)用提取到的线偏振度计算得到的物体光强恢复出的背景图;

## 掺 Fe 的 ZnO 纳米线中的激子-声子相互耦合作用的磁场抑制

马永富、韩一波

华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心, 武汉 430074

Email: ybhan@hust.edu.cn

摘要: 我们通过化学气相沉积法在氮化镓衬底上生长了掺杂铁的氧化锌纳米线并且研究了它们的结构, 光学和磁学性质。X 射线衍射分析证实掺杂铁的氧化锌纳米线呈现典型的六角纤锌矿结构并且没有任何杂相, 衍射中心的偏移表明了掺杂离子成功掺入氧化锌晶格中。磁场依赖磁化的  $M(H)$  和磁场依赖温度的  $M(T)$  的实验结果显示掺杂铁的氧化锌纳米线表现室温铁磁性。我们观察到的磁性可能是由单电荷氧空位引起的束缚磁极化子之间的长程有序铁磁相互作用形成的。掺杂铁的氧化锌纳米线在低温下的紫外发光谱通过高斯拟合可以分为六个发光峰: DAP1 (施主-受主对, 3.220 eV), DAP2-LO (施主-受主对的一阶纵向声子, 3.160 eV), FA (自由电子到受体的跃迁, 3.326 eV), FX-LO (自由激子的一阶纵向声子, 3.312 eV), FX-2LO (自由激子的二阶纵向声子, 3.323 eV) 和 TES (束缚激子的双电子卫星, 3.339 eV)。从变温发光谱可以看到, 随着温度的增加, FX-LO 和 FX-2LO 出现红移。磁光谱表明磁场的增加导致了氧化锌纳米线的 FX-LO, FX-2LO 和 FA 的发光强度逐渐减少, 这主要是因为内部电场增加电子和空穴的空间分离。有趣的是, 氧化锌纳米线的 FX-LO 和 FX-2LO 在最高的磁场发光行为和掺杂铁的氧化锌纳米线在零磁场下发光行为类似, 这表明 Fe-doped 氧化锌纳米线本身具有磁性, 而这种磁性抑制了 FX-LO 和 FX-2LO 的光致发光。

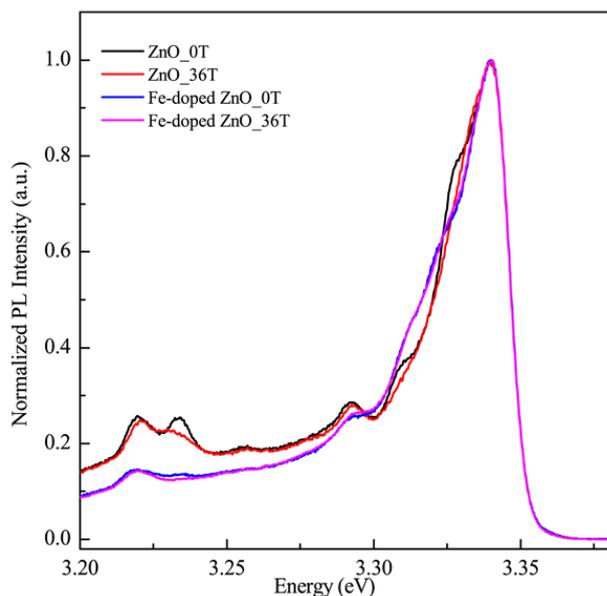


图 1. 在 4.2K 下, 纯的氧化锌和掺杂铁的氧化锌纳米线的零场和最高场的光谱对比

关键词: ZnO 纳米线, 掺杂, 低温, 强磁场, 光致发光

参考文献

- 【1】 T.Makino et.al., Magneto-photoluminescence of charged excitons from  $Mg_xZn_{1-x}O/ZnO$  heterojunctions, Phys. Rev. B 2013, 87, 085312

掺 Cu 的 CsPbBr<sub>3</sub> 量子点在低温和强磁场下的光学性质

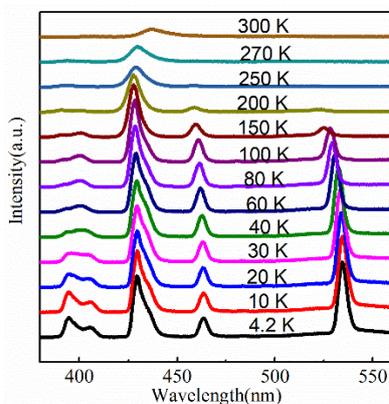
黄瑞琴, 韩一波

华中科技大学国家脉冲强磁场科学中心, 武汉 430074

Email: ybhan@hust.edu.cn

关键词: Cu 掺杂 CsPbBr<sub>3</sub>, 钙钛矿量子点, 低温, 强磁场, 光致发光

摘要: 全无机钙钛矿量子点以其高量子产率而广泛应用于光电显示和探测领域。基于蓝光发射量子点发展远远落后于红光、绿光发射量子点, 故此 Tian, JJ 课题组利用热注入法得到了 Cu 掺杂的 CsPbBr<sub>3</sub> 量子点【1】, 但对于其光学、磁学性质方面研究甚少。而我们利用低温和强磁场等极端条件, 研究 Cu 掺杂的 CsPbBr<sub>3</sub> 量子点在低温和强磁场下的光学和磁学性质。我们同样以 CsCO<sub>3</sub>, PbBr<sub>2</sub> 和 CuBr<sub>2</sub> 为原料, OA, OAm 作为配体, 采用热注入法, 将 Cs 源注射到含有 Cu 离子的 PbBr<sub>2</sub> 溶液中, 成功制备出掺杂不同浓度 Cu 离子的 CsPbBr<sub>3</sub> 量子点。通过其室温下的 PL 谱以及吸收谱, 可以明显观察到掺杂前后, 其 PL 谱峰位以及强度发生变化, 且进一步随 Cu 离子掺杂浓度增大, 出现 Cu 离子的本征峰, 吸收谱显示吸收带也存在不同程度的变化; 通过变温实验得到其在 4.2K 到 300K 的 PL 谱, CsPbBr<sub>3</sub> 峰位随温度降低发生蓝移且峰强变弱, 重浓度掺杂 Cu 离子的 CsPbBr<sub>3</sub> 量子点, 低温下, Cu 离子本征发光峰明显且能观察到杂峰; 为了进一步研究其物理机制, 我们在低温强磁场下 (0-37T) 对掺 Cu 的 CsPbBr<sub>3</sub> 量子点进行初步研究, 可以明显观察到其光谱随磁场的变化而变化。这些研究对于开发新型磁性半导体发光材料具有一定的意义。

图 1. CsPbBr<sub>3</sub>:Cu 在 T=4.2K-300K 的光致发光谱

## 参考文献

【1】 Chenghao Bi, Shixun Wang, Qiang Li, Stephen V. Kershaw, Jianjun Tian, and Andrey L. Rogach. Thermally Stable Copper(II)-Doped Cesium Lead Halide Perovskite Quantum Dots with Strong Blue Emission [J]. JOURNAL OF PHYSICAL CHEMISTRY LETTERS, 2019, 10(5) : 943-952

## 基于波导集成超表面的自旋与波长解多路复用器件

张跃变<sup>1,2</sup>、李占成<sup>1,2</sup>、刘文伟<sup>1,2</sup>、李智<sup>1,2</sup>、程化<sup>1,2,\*</sup>、陈树琪<sup>1,2,\*</sup>、田建国<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>南开大学物理科学学院，天津 300071

<sup>2</sup>南开大学泰达应用物理研究院，天津 300457

Email: [schen@nankai.edu.cn](mailto:schen@nankai.edu.cn)

摘要：纳米光子学波导在光子集成光路与芯片集成光学元件等领域有重要作用，同时探测或控制光子的多个自由度是实现新颖光子学波导器件的核心难题之一。我们将亚波长的微纳结构与纳米光子学波导相结合，提出了实现自由空间圆偏光定向耦合入波导的新方法<sup>1</sup>。利用波导模式场的固有手性和全电介质超表面提供的局域几何相位，我们首先实现了可将不同自旋的入射光垂直耦合入波导的不同方向的自旋选择定向耦合器件。随后，我们利用不同波导模式具有不同模式场分布的特点，实现了自旋选择波长解多路复用器件。该器件可以将不同波长的入射光耦合入沿不同方向传播的不同波导模式，同时，当入射波长一定时，通过改变入射光的旋性可以改变波导中光的传播方向。该器件的工作波长、耦合效率、峰宽和模式类型等性质都可通过微纳结构的几何参数灵活调节。该方法扩展了纳米光子学波导对光子的调控自由度，可应用于光子集成光路、芯片集成量子光学和高比特率光通讯等领域，为新型纳米光子学器件提供了新的设计思路。

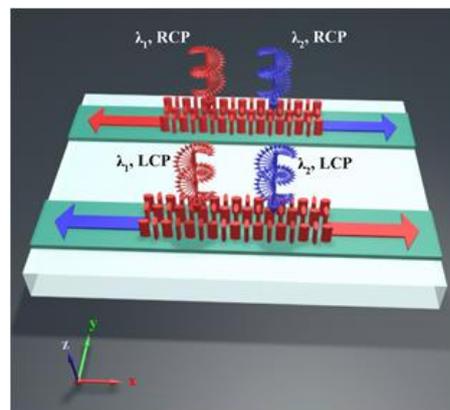


图 1 自旋与波长选择解多路复用器件示意图

关键词：超表面，波导，波长解多路复用，自旋选择定向耦合

参考文献

- 【1】 Zhang *et al*, Spin-Selective and Wavelength-Selective Demultiplexing Based on Waveguide-Integrated All-Dielectric Metasurfaces, *Adv. Opt. Mater.* 2019, 7 (6), 181273

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 91856101, NO. 11574163, NO. 11774186）等

# 偏振态沿庞加莱球上圆形路径分布的矢量光场及其几何位相研究

赵嘉豪、王梦帅、赵鹏程、高旭珍、潘岳\*

曲阜师范大学物理工程学院, 山东省激光偏光与信息技术重点实验室, 曲阜 273100

\*Email: [panyue.89@163.com](mailto:panyue.89@163.com)

摘要: 如今, 由偏振态提供的自由度在光场调控中起到了重要的作用, 具备空间变化偏振态分布的矢量光场由于其独特的性质而被广泛应用于单分子探测、显微成像、光学通讯、光学微操作和光学存储等领域。作为一种经典的偏振态表征模型, 庞加莱球已经被充分应用于矢量光场和几何位相的研究中。基于庞加莱球模型, 我们提出了一种偏振态沿庞加莱球上任意闭合圆环路径变化的矢量光场, 进而研究了这类矢量光场在几何位相方面的性质。我们采用坐标系旋转的方法, 选取固定的对称轴来设计和描述偏振态沿庞加莱球上任意圆环变化的矢量光场。这类矢量光场的设计灵感来源于庞加莱球模型上的路径, 同时庞加莱球上的路径又对应了开环和闭环几何位相。因此, 我们进一步研究了偏振态沿庞加莱球上圆形路径分布的矢量光场的几何位相分布, 并尝试找出这类矢量光场的空变几何位相在光场的时空演化中的变化规律。我们期望这类基于庞加莱球设计的新型矢量光场及其几何位相性质能够在光场传播、聚焦和非线性等方面具有一定的应用。

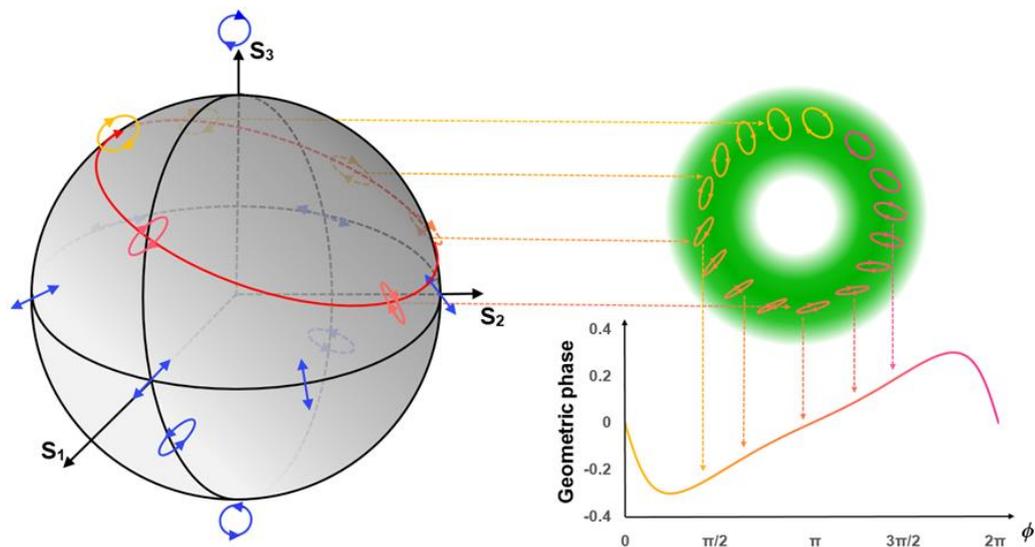


图 1 矢量光场的设计原理图和几何位相分布

关键词: 庞加莱球 矢量光场 几何位相

参考文献

- 【1】 潘岳, 丁剑平, 王慧田, 新型矢量光场调控: 简介、进展与应用, 光学学报. 2019, 39 (1), 0126001-1.
- 【2】 Berry M V, Quantal Phase Factors Accompanying Adiabatic Changes, Proceedings of The Royal Society A, 1984, 392(1802), 45.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (11804187)

## 手性分子在微纳表面等离激元结构中的诱导圆二色性研究

阿卜杜外力·阿卜杜克力木、王勇凯、付统、白瑜、张中月

陕西师范大学物理学与信息技术学院, 西安市长安路620号 710119

Email: [abduwelee@smu.edu.cn](mailto:abduwelee@smu.edu.cn)

摘要: 圆二色性技术广泛应用于生物分子构象分析和手性分子的手性探测。等离子体纳米结构的表面近场可以增强手性分子的圆二色性信号<sup>1</sup>。本文从理论上说明诱导 CD 是由于手性分子和微纳结构之间的等效电偶极子和磁偶极子交叉耦合引起的, 并提出一种更为可靠的电磁衰减系数<sup>2</sup>。通过破坏具有法诺共振特性的朵儿门结构的对称性, 引入手性朵儿门纳米结构来研究增强局域场对增强手性电磁场的效果<sup>3</sup>。建立一个纳米棒二聚体和手性分子耦合系统, 研究了此系统中诱导圆二色性的起源, 定量地分析了分子的圆二色性和光学手性的关系。此外, 分析了分子趋向和近场之间的关系, 发现分子趋向沿着近场最大分量时诱导圆二色性最大<sup>4</sup>。这些研究结果有助于诱导圆二色性应用的设计和实现基于表面等离子体技术的超灵敏探测。

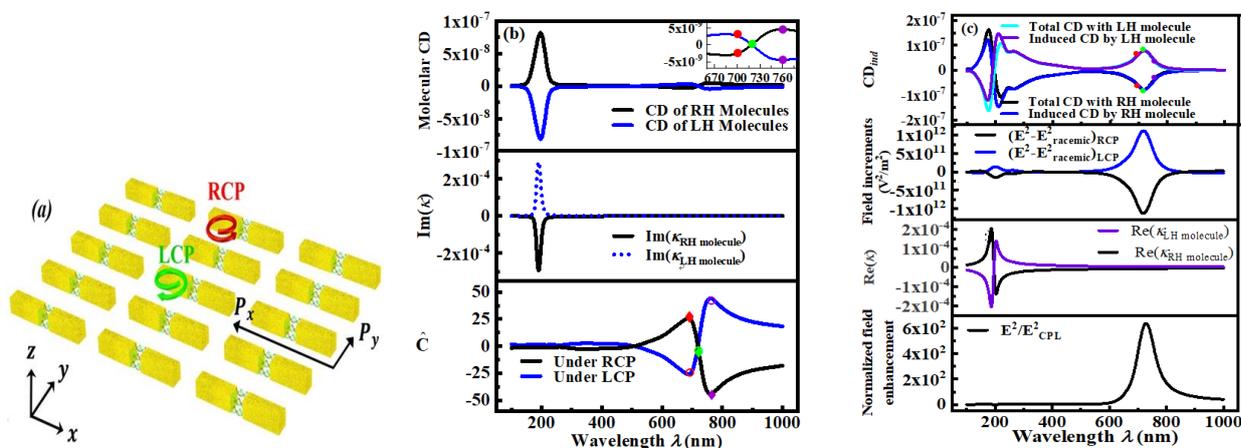


图 1: (a) 纳米棒-手性分子耦合系统示意图, (b) 分子圆二色性和光学手性、分子手性参数的关系, (c) 诱导圆二色性和电场增强、分子手性参数的关系,

关键词: 表面等离激元, 手性分子, 微纳结构, 诱导圆二色性

参考文献

- 【19】 Slocik J M *et al*, Plasmonic circular dichroism of Peptide-functionalized gold nanoparticles *Nano Lett.* 11 701–5
- 【20】 Y. K. Wang, Z. Y. Zhang *et al*, Induced chirality in micron wave through electromagnetic coupling between chiral molecules and graphene nanostructures, *Carbon* 2017, 120, 203.
- 【21】 T. Fu Z. Y. Zhang *et al*, Chiral near-fields around chiral dolmen nanostructure, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2017, 50, 474004
- 【22】 A. Abudukelimu, Z. Y. Zhang *et al*, The Causality of Circular Dichroism Inducement by Isotropic and Anisotropic Chiral molecules, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2019, 52, 305306.

基金项目: 国家自然科学基金 (61575117)

## 基于多级次调制超表面的高饱和度结构色

杨渤、刘文玮、李占成、程化、Duk-Yong Choi、陈树琪\*、田建国

南开大学泰达应用物理研究院, 天津 300071

Email: [yangbo@mail.nankai.edu.cn](mailto:yangbo@mail.nankai.edu.cn)

**摘要:** 结构色是可见光与结构相互作用产生颜色的一种干涉现象。对比于传统的化学染料, 具有稳定、环保、耐热、耐高温等诸多优点, 因而在显示器、全息加密等领域具有广阔的应用前景。近年来, 随着纳米加工技术的发展, 人工微结构, 即超表面的出现更是将结构色的分辨率提高到了亚波长级次。目前, 国际上现有的人工微结构设计已经实现了全色调的结构色调节, 但是由于法布里-珀罗谐振腔内的多级次谐振效应, 这些颜色的纯度被限制在了标准颜色 (sRGB) 空间附近, 无法实现进一步的提高, 这极大地限制了结构色在高端显示器和成像中的应用。

为了突破结构色中饱和度的限制, 课题组团队利用多电介质超表面中的多级调制特性首次实现了饱和度超高的结构色。这个设计是基于 gradient-index (GAIN) 结构的原理。在纳米结构的基本单元中, 由于层间的材料满足防反射层的指数匹配方程, 多电介质纳米结构中的多级谐振模式在非谐振波段的作用可以被极大的抑制。通过调整几何尺寸, 此多电介质纳米结构实现的结构色成功地覆盖了 171% 的 sRGB 空间, 127% 的 Adobe RGB 空间和 57% 的 CIE 色品图空间, 是目前已经报道的结构色中饱和度最高的结果。此外, 该团队也证明了多电介质纳米结构的分辨率可达到 18000 dpi。本发明为微尺度下高饱和度结构色技术的实现提供了一种有效的设计方案。

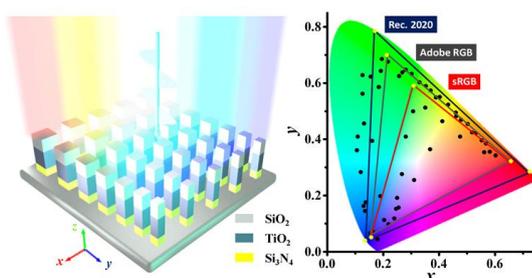


图 1 多电介质超表面实现的超高饱和度的结构色

**关键词:** 多电介质超表面, 结构色, 超高饱和度, 多级次调制

**参考文献**

- 【1】 Y. Nagasaki *et al.*, All-dielectric dual-color pixel with subwavelength resolution. *Nano Let.* 2017, 17(12), 7500.
- 【2】 S. Sun *et al.*, All-dielectric full-color printing with TiO<sub>2</sub> metasurfaces. *ACS Nano* 2017, 11(5), 4445.
- 【3】 A. Kristensen *et al.*, Plasmonic colour generation. *Nature Rev. Mater.* 2017, 2(1), 16088.

**基金项目:** 国家重点研发计划 (NO. 2016YFA0301102 和 2017YFA0303800), 国家自然科学基金面上项目 (NO. 91856101, 11774186, 和 11574163), 天津市自然科学基金青年项目 (NO. 16JCQNJC01700), 111 计划 (NO. B07013)。

# A low lasing threshold and widely tunable spaser based on two dark surface plasmons

Wuyu Huai, Weilin Bi, Yanyan huo

Shandong normal university school of physical and electronics, Jinan250000

Email: yanyanhuo2014@sdu.edu.cn

**Abstract:** A spaser (surface plasmon amplification by stimulated emission of radiation) supports an ultrasmall and ultrafast coherent optical field[1], making it a key device for the development of nanoscience and nanotechnology. Most spasers that have been realized are based on bright surface plasmon (SP) modes, which generally have higher lasing threshold. Although the dark SP is the mode that cannot be excited by the incident light directly, a dark SP can be excited effectively by a bright SP at the Fano dip. Dark SPs have been observed in numerous plasmonic systems, such as heterogeneous dimer structures, ring-disk cavities, and dolmen nanostructures. A metallic disk-ring (DR) can support two Fano resonances, two dark SPs, which can serve as the lasing mode and pumping mode of a spaser, can be excited simultaneously. Moreover, the DR nanostructure has very good tuning characteristics. The dark SPs supported by DR nanostructures can be manipulated over a broad spectral range. This characteristic makes the DR nanostructure easier to match the absorption peak and emission peak of a gain medium. Recently, enabling the tunability of a spaser has become an interesting research focus; several approaches have been proposed, such as changing the composition and concentration of the gain materials, the width of the nanocavity, the electron-hole pair concentration of the gain materials, and the surrounding environment of metal nanoparticles.

We theoretically demonstrate a low threshold and widely tunable spaser based on a plasmonic nanostructure consisting of two sets of disk-rings (TSDR). The TSDR nanostructure supports two dark surface plasmons (SPs), which are excited simultaneously by two bright SPs at Fano dips. The two dark SPs support lower effective mode volume, higher quality factor and higher Purcell factors. When the dark SPs serve as the pumping and lasing mode of a spaser, the spaser has a lower lasing threshold, a higher pump absorption efficiency and a lower threshold absorbed pump power than the spaser based on a bright SP. In addition, the lasing and pumping wavelengths of the spaser proposed in this article can each be tuned over a very wide wavelength range. Our results should be significant for the development of spasers.

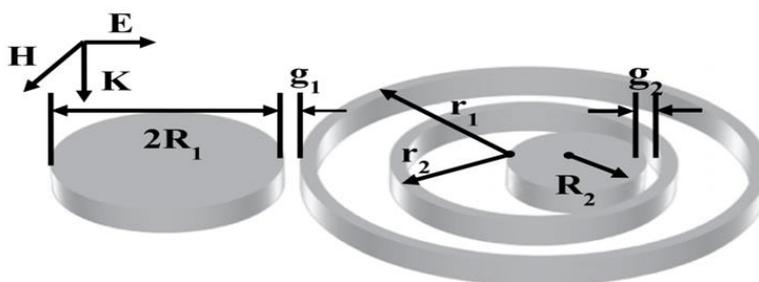


Figure 1. Sketch of the TSDR nanostructure and the incident light

Keywords: surface plasmon, spaser, disk-rings structure, dark

Reference:

- 【1】 Bergman, D. J. & Stockman, M. I. Surface Plasmon Amplification by Stimulated Emission of Radiation: Quantum Generation of Coherent Surface Plasmons in Nanosystems. *Phys. Rev. Lett.* 2003, 90, 027402 .

基金项目: 国家自然科学基金 (NO. 11504209, 11404195, 11674199, 11474187 和 11405098) 等

## 双原子辐射系统共振荧光的滤波双光子关联及其应用

彭泽安 李高翔

华中师范大学物理学院，武汉 430079

Email: [gaox@mail.ccnu.edu.cn](mailto:gaox@mail.ccnu.edu.cn)

摘要：在本文中，我们研究了双原子辐射系统共振荧光的频率滤波双光子关联。其中，辐射系统由两个二能级原子构成。其中只有一个原子被激光场驱动从而建立著名的 Mollow 共振荧光谱，而另一个原子的自发跃迁频率与受驱动原子的某一个拉比边带共振。这种边带共振条件并不显著改变 Mollow 光子的统计性质，但反过来能使我们充分利用 Mollow 光子的统计性质来反映双原子之间发生的光子交换等物理过程。同时，我们应用了一个单模光腔来实现滤波，并且将腔频调到 Mollow 谱的中心峰和某一边峰的正中间频率处来输出强关联光子对。

在大滤波带宽的条件下，我们得到的解析结果揭示了在这一特殊频率处产生超聚束效应的物理机制，其源于一对双光子级联跃迁之间所建立的加强量子干涉，并且这种干涉加强本质上而言是滤波器对未滤波的修饰态跃迁幅度进行调制的结果。作为我们研究的第二部分，我们讨论了这种双原子辐射系统的应用。第一，我们发现，尽管双原子之间的偶极-偶极相互作用通常而言较弱，但是通过选择合适的电偶极偏向角，双原子之间建立的原子相干效应能够突破单原子的超聚束极限。这可以为制备强关联光子对提供一个新的理论方案。第二，这种强聚束效应能够最为一种灵敏的信号来反映双原子间距的微弱变化。这意味着超聚束荧光不仅可以作为量子探针来探测目标系统，还能作为探测量子源本身的内部微弱变化的一种量子响应。最后，我们将研究的范围推广到了双原子辐射系统由两个空间分离的滤波器同时进行调控的一般情况。我们发现两个光子在空间上即使是分离滤波的，这种滤波强量子关联依然能够维持。

关键词：双原子 共振荧光 原子相干 滤波调控 双光子关联

### 参考文献

- 【1】C. S. Muñoz, F. P. Laussy, E. del Valle, C. Tejedor, and A. González-Tudela, *Optica* 5, 14 (2018).
- 【2】J. C. L. Carreño, E. del Valle, and F. P. Laussy, *Laser Photonics Rev.* 11, 1700090 (2017).
- 【3】E. del Valle, A. Gonzalez-Tudela, F. P. Laussy, C. Tejedor, and M. J. Hartmann, *Phys. Rev. Lett.* 109, 183601 (2012).

**基金项目：**国家自然科学基金项目 (NO. 11774118 NO. 11474119)

**Fundamental Research Funds for the Central Universities of MOE**  
(Grants No. CCNU18CXTD01 No. CCNU17TS0006).

## Retrieving Ideal Precision in Noisy Quantum Optical Metrology

Kai Bai<sup>1</sup>, Zhen Peng<sup>1</sup>, Hong-Gang Luo<sup>1,2</sup>, Jun-Hong An<sup>1</sup>

1 兰州大学, 2 北京计算科学研究中心

Quantum metrology employs quantum effects to attain a measurement precision surpassing the limit achievable in classical physics. However, it was previously found that the precision returns the shot-noise limit (SNL) from the ideal Zeno limit (ZL) due to the photon loss in quantum metrology based on Mech-Zehnder interferometry. Here, we find that not only can the SNL be beaten, but also the ZL can be asymptotically recovered in a long-encoding-time condition when the photon dissipation is exactly studied in its inherent non-Markovian manner. Our analysis reveals that it is due to the formation of a bound state of the photonic system and its dissipative noise. Highlighting the microscopic mechanism of the dissipative noise on the quantum optical metrology, our result supplies a guideline to realize the ultrasensitive measurement in practice by forming the bound state in the setting of reservoir engineering.

## 对史密斯-帕塞尔自由电子激光光栅的研究

孟现柱、王明红、吴立恒

聊城大学物理科学与信息工程学院 山东省光通信科学与技术重点实验室, 山东 聊城  
252059

Email: [mengxz@lcu.edu.cn](mailto:mengxz@lcu.edu.cn)

**摘要:**利用理论分析和 PIC 模拟的方法对于基于 T 形光栅的史密斯—帕塞尔自由电子激光(SP FEL)和基于矩形光栅的 SP FEL 进行了研究。首先,对两种 SP FEL 的光栅进行了理论分析,从结构上看,SP FEL 的光栅槽与磁控管的阳极谐振腔非常相似。因此 SP FEL 中每个光栅槽也可以等效为一个 LC 开口谐振环。在 SP FEL 中,谐振腔的表面能够将自发的 SPR 反射回电子束,使电子束与 SPR 互作用,从而对电子束的速度进行调制。在电子束的继续运动过程中,电子束的速度调制就会转变为电子束的密度调制,使电子束发生群聚,形成脉冲电子串。当它们在光栅槽上方运动时,它们能在光栅上周期性地感应出电荷,感应电荷会迫使光栅槽对应的 LC 谐振电路充放电,从而使光栅槽对应的 LC 谐振电路发生 LC 振荡并产生 LC 辐射(LCR)。可见,SP FEL 中中存在两种辐射,一种是史密斯—帕塞尔辐射,另一种是 LC 振荡辐射。其次,对两种 SP FEL 进行了 PIC 模拟。发现 SP FEL 输出频率的模拟值与光栅槽的 LCR 估算值的数量级和变化规律均一致。据此推测决定 SP FEL 输出频率的应该是光栅槽,而不是谐振腔。

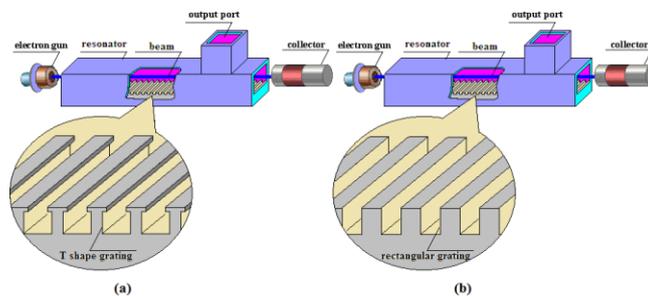


图 1 (a) 基于 T 形光栅的 SP FEL 的原理图 (b) 基于矩形光栅的 SP FEL 的原理图

**关键词:** 史密斯—帕塞尔自由电子激光, T 形光栅, 矩形光栅, 史密斯—帕塞尔辐射, LC 谐振电路  
**参考文献**

- 【1】 MENG Xian-zhu, WANG Ming-hong, ZHANG Li-ming, REN Zhong-min. Characteristic analysis of a Smith-Purcell terahertz source *Photon. Res.*, 2016, 4(5):162-167.
- 【2】 MENG Xian-zhu. Smith-Purcell free electron laser based on a semi-conical resonator. *Optics Communications*, 2012, 285:975-979
- 【3】 MENG Xian-zhu, WANG Ming-hong, REN Zhong-min. Smith-Purcell Free electron laser based on the semi-elliptical resonator. *Chin. Phys. B*, 2011, 20:05072.
- 【4】 MENG Xian-zhu, WANG Ming-hong, REN Zhong-min. Smith-Purcell radiation in a grating-resonator composite structure. *J. Infrared Millim. Waves*, 2016, 35:21-24.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO. 11275089, 11375081) 等

## 超构材料阵列中对多共振耦合无线电能传输系统的调控

吕渴强、祝可嘉、范才富、李云辉、陈鸿

同济大学物理科学与工程学院，上海 200092

Email: [1730959@tongji.edu.cn](mailto:1730959@tongji.edu.cn)

摘要：近年来近场磁共振无线电能传输（WPT）引起广泛关注<sup>[1]</sup>。然而，建立一个传输效率具有鲁棒性的无线功率传输平面仍然是一个基本问题。这是因为近场耦合与传输距离有关，在系统工作模式下会产生劈裂，导致共振单元本征频率处传输效率的下降<sup>[2]</sup>。对于双共振系统，一般通过额外的外部控制电路、复杂的算法来跟踪系统的最大能量效率点（MEE）<sup>[3]</sup>。如何解决多共振耦合系统中共振单元间近场耦合的劈裂问题变得尤为困难。随着量子物理中宇称-时间（PT）概念的引入，PT 对称模型在

WPT 系统中可以很好的保证效率的稳定<sup>[4]</sup>。受此启发，我们提出了一种在多共振耦合系统中追踪最大能量效率点的方法。如图 1(a)所示，我们设计了一个2x2 阵列作为发射端，一个超构材料单元作为接收端。通过求解该系统能量的哈密顿方程，得出系统的本征值。进一步，画出本征值的实部和虚部随耦合强度变化的曲线图。通过调整参数到临界值，可以得到一个几乎纯实的本征模作为系统的工作模式（绿点）。

实验结果表明在发射端平面上方固定高度下，如图 1(c)传输效率保持在 60%以上，且效率分布均匀具有一定的位置鲁棒性。此外如图 1（d）所示，我们的方案可以有效地应用于多个移动接收端。这种纯实本征模追踪的方案可以使超构材料阵列的形状设计更加灵活和实用。与其他技术相比，这种方法的一个优点是它基于基本物理原理控制磁场的模式。因此对于建立一种传输效率高、装配平面结构灵活、具有多个移动受体的新型 WPT 系统具有一定的实用价值。

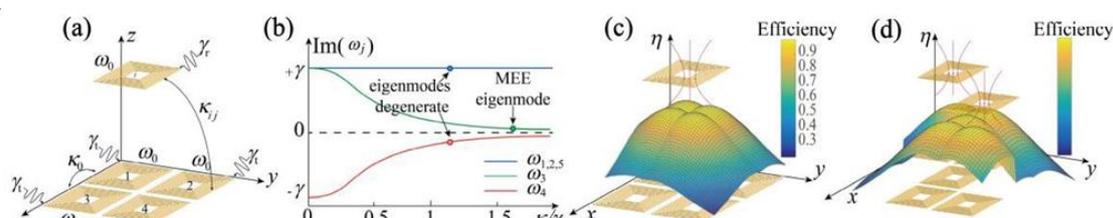


图 1 (a) 组装超材料系统。(b) 本征模虚部。(c) 规则的 2x2 阵列和 (d) 任意组装超材料阵列的功率传输系统

关键词：组装超构材料 本征模追踪 最大能量效率点 无线电能传输

参考文献

- 【1】 A. Kurs *et al*, Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances, *Science*. 2007, 317(5834),83.
- 【2】 Huang R, Zhang B, Qiu D, *et al*. Frequency splitting phenomena of magnetic resonant coupling wireless power transfer. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2014, 50(11), 1-4.
- 【3】 Kim N Y, Kim K Y, Choi J, *et al*. Adaptive frequency with power-level tracking system for efficient magnetic resonance wireless power transfer. *Electronics letters*. 2012, 48(8): 452-454.
- 【4】 S. Assaworrorarit, X. Yu, and S. Fan, Robust wireless power transfer using a nonlinear parity-time-symmetric circuit, *Nature*. 2017, 546(7658), 387-390.

**基金项目：**国家重点研发计划（No. 2016YFA0301101），国家自然科学基金项目（Nos.

11234010,11775159, 51377003）上海市科委项目（18JC1410900）

## 利用由金属和含双曲超构材料的光子晶体组成的异质结中的界面态

## 实现宽角度超灵敏的折射率传感器

吴家驹<sup>1</sup>、吴丰<sup>1</sup>、薛春华<sup>2</sup>、江海涛<sup>1,a)</sup>、陈鸿<sup>1</sup>

1 同济大学 物理科学与工程学院, 上海 200092

2 广西科技大学 计算机科学与通信工程学院, 柳州 545006

Email: a) [jiang-haitao@tongji.edu.cn](mailto:jiang-haitao@tongji.edu.cn)

摘要: 界面态能够存在于由金属和全介质一维光子晶体组成的异质结中, 其场强局域在金属和光子晶体的界面附近。由布拉格条件可知, 在传统的全介质一维光子晶体中, 其 TM 和 TE 偏振的带隙均随着入射角的增大向短波方向移动(即蓝移)。同理, 在由金属和全介质光子晶体界面组成的异质结中, TM 和 TE 偏振的界面态的波长也将随着入射角的增大而蓝移。因此, 在小角度下(例如 $20^\circ$ ) TM 偏振的界面态的波长和 TE 偏振的界面态的波长非常接近, 很难分开。然而, 在由金属和含双曲超构材料的光子晶体组成的异质结中, 我们的理论分析表明: 对于 TM 偏振, 界面态的波长随着入射角度的增加可以被设计成红移; 而对于 TE 偏振, 界面态的波长随着入射角度的增加始终是蓝移。因此在小角度下 TM 和 TE 偏振的界面态的波长是能分开的。基于此特性, 我们设计出一个宽角度超灵敏的椭圆偏相位(两种偏振的反射相位之差)传感器。其中, 双曲超构材料由 ITO/Si 亚波长多层膜等效而成, 各向同性介质的材料为 Si, 金属材料为 Cu。在入射角为 $5^\circ$ 到 $84^\circ$ 之间其分辨率均小于或等于 $10^{-5}$ RIU(单位折射率), 当入射角为 $39.90^\circ$ 时, 其最小分辨率可达 $2.8 \times 10^{-8}$ RIU。在集成光学系统中, 光源往往具有一定程度的发散角, 这种宽角度超灵敏的传感器在集成光学系统中有着重要的应用。

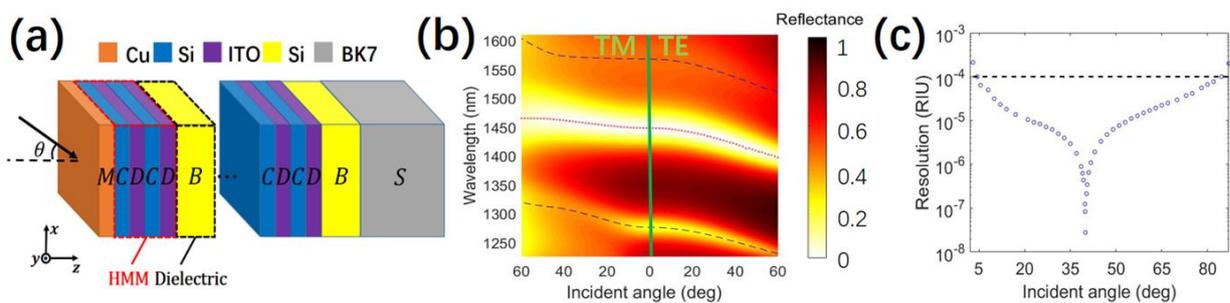


图 1(a)异质结的结构示意图。(b)结构在 TM 和 TE 偏振下的反射谱和角度的关系。其中红色虚线表示界面态, 蓝色虚线表示带边。(c)折射率传感器在不同入射角下的最小分辨率, 其中黑色虚线代表分辨率为 $10^{-4}$ RIU。

关键词: 界面态、双曲超构材料、椭圆偏相位、折射率传感器

参考文献

- 【4】 Y. Tsurimaki, J. K. Tong, V. N. Boriskin, A. Semenov, M. I. Ayzatsky, Y. P. Machekhin, G. Chen, and S. V. Boriskina, Topological Engineering of Interfacial Optical Tamm States for Highly Sensitive Near-Singular-Phase Optical Detection, *ACS Photonics* **5**, 929-938 (2018).
- 【5】 M. Kaliteevski, I. Iorsh, S. Brand, R. A. Abram, J. M. Chamberlain, A. V. Kavokin, and I. A. Shelykh, Tamm plasmon-polaritons: Possible electromagnetic states at the interface of a metal and a dielectric Bragg mirror, *Phys. Rev. B* **76** (16), 165415 (2007).
- 【6】 F. Wu, G. Lu, Z. Guo, H. Jiang, C. Xue, M. Zheng, C. Chen, G. Du, and H. Chen, Redshift gaps in one-dimensional photonic crystals containing hyperbolic metamaterials, *Phys. Rev. Appl.* **10** (6), 064022 (2018).

基金项目: 国家重点研发计划(No. 2016YFA0301101), 国家自然科学基金项目(Nos. 11774261, 11234010, 61621001, 61661007, 91850206) 等。

## 单晶铝薄膜的分子束外延生长及性能表征

张克冬、夏顺吉、李晨、芦红

南京大学现代工程与应用科学学院，南京 210046

Email: [njzkd012@163.com](mailto:njzkd012@163.com)

**摘要：**表面等离激元(surface plasmons)是金属结构表面导电电子的集体振荡，可以将光集中到亚波长尺度并产生强烈的光场增强，突破了光学衍射极限并在纳米激光、高速探测、信息技术、生物医学等领域发挥着重要作用。铝(Al)由于其在紫外波段的低损耗特性，在全可见光波段也表现良好，为等离子体的发展提供了优异的材料平台。同时铝膜在空气中会形成稳定的天然氧化层，加上其与 CMOS 技术兼容的优势[1]，非常有利于铝基等离子体器件与硅基光子电路的集成。而对于纳米级等离子体器件来说，金属薄膜及其界面的质量至关重要，直接决定了器件的性能上限。[2]

在本工作中，我们报告了运用分子束外延(MBE)技术在 GaAs, ErAs/GaAs, Si 衬底上制备原子级平整度的单晶铝薄膜。通过对衬底及界面的处理，我们可以调控铝膜的晶格取向。采用原子力显微镜(AFM)和 X 射线衍射(XRD)技术对外延铝薄膜的表面平整度和晶体取向、质量进行了表征。并利用透射电子显微镜(TEM)进一步验证了铝薄膜的高质量，突变的异质界面，及其天然形成的氧化层。最后，通过椭圆偏振仪(SE)测量了外延铝薄膜的光学介电性能。

结果表明，本工作外延得到的不同晶格取向的铝薄膜均具有良好的晶体及界面质量。其光学损耗相对于目前广泛引用的 Palik 等人[3]从多晶薄膜中提取的损耗因子( $\epsilon_2$ )在 1.2-5eV 的测量波段都得到了改善，尤其是在可见光波段，其损耗降低到了三分之一。并且我们还研究了铝薄膜不同的晶面取向以及厚度对光学常数的影响。这项作为等离子体器件在紫外以及可见光波段的应用，及其与 Si 基、GaAs 基电子和光子电路的集成提供了良好的材料基础和研究思路。

**关键词：**分子束外延、单晶铝薄膜、光学介电性能

**参考文献**

- 【1】 C. W. Cheng, Y. J. Liao, C.-Y. Liu, B. H. Wu, S. S. Raja, C. Y. Wang, X. Li, C. K. Shih, L. J. Chen, S. Gwo, *Acs Photonics* 2018, 5, acsphotronics.7b01366.
- 【2】 Y. H. Chou, Y. M. Wu, K. B. Hong, B. T. Chou, J. H. Shih, Y. C. Chung, P. Y. Chen, T. R. Lin, C. C. Lin, S. D. Lin, *Nano Letters* 2016, 16, 3179.
- 【3】 D. Y. Smith, E. Shiles, M. Inokuti, *Handbook of Optical Constants of Solids* 1985, 41, 369.

**基金项目：**中国国家重点研发计划(2018YFA0306200, 2017YFA0303702)，国家自然科学基金(批准号：No. 51732006, No. 11890702, No. 51721001, No. 51702153)，江苏省自然科学基金(BK20160627)，千人计划和江苏创业创新计划。

# 基于液芯柱透镜的扩散过程光线追迹成像及随浓度变化的液相扩散系数测量

魏利、孟伟东、普小云\*

云南大学物理与天文学院, 昆明 650091

Email: [xypu@163.com](mailto:xypu@163.com)

**摘要:** 基于液芯柱透镜的扩散池及成像双重功能, 本文首先用光线追迹法研究了单色准直光束在液芯柱透镜中的传播规律。结果表明, 在扩散溶液折射率梯度较小的条件下, 可以用几何光学较好地得到光束经过非均匀介质后的复杂成像结果。以如上研究结果为指导, 本文在实验上研究了三甘醇水溶液在液芯柱透镜中的扩散过程, 获得其浓度随空间和时间的分布函数  $C^e(z, t)$ ; 在理论上设置随浓度变化的扩散系数  $D(C)$  满足多项式关系, 用时序有限差分法计算了扩散溶液浓度随多项式展开系数的变化曲线  $C^e(z, t)_s$ ; 再通过比较扩散溶液浓度的实验及理论计算结果, 获得三甘醇水溶液随浓度变化的液相扩散系数  $D(C)$ 。最后, 基于获得的  $D(C)$  关系, 计算了扩散溶液在不同时刻折射率的空间分布函数  $n(z, t)_s$ ; 以光在非均匀介质中的传播规律及  $n(z, t)$  关系, 用光线追迹法成功仿真了不同时刻的实验扩散图像。本文提出的方法, 为快速、准确地测量随浓度变化的液相扩散系数开辟了一条崭新的道路。

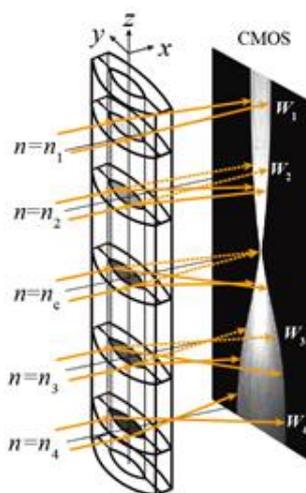


图 1 液芯柱透镜三维成像原理图

**关键词:** 液芯柱透镜 光在非均匀介质中传播 光线追迹法 随浓度变化的液相扩散系数

参考文献

- 【1】 W. D. Meng, Y. Xia, F. X. Song, et al., Double liquid-core cylindrical lens utilized to measure liquid diffusion coefficient, *Opt. Express* 2017, 25(5), 5626.
- 【2】 L. C. Sun, W. D. Meng, X. Y. Pu, New method to measure liquid diffusivity by analyzing an instantaneous diffusion image, *Opt. Express* 2015, 23(18), 23155.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO. 11804296); 云南省联合基金项目 (NO. 2018FY001-020)

# 表面等离子激元：耦合等离子体纳米金溶液中钙钛矿量子点的光致发光增强

刘云永

河南大学物理与电子学院, 开封 475004

Email: [1365897749@qq.com](mailto:1365897749@qq.com)

**摘要:** 本文报道了掺杂量子点的无机 CsPbBr<sub>3</sub> 钙钛矿中金纳米颗粒对其的荧光增强。将金纳米溶液在钙钛矿量子点合成中加入, 在钙钛矿结晶过程中进行复合, 通过 365nm 的紫外光源照射下, PLQY 增大了 45%, 发射光强明显增大。利用时域有限差分(FDTD)仿真结果表明, 这种荧光增强是由纳米阵列等离子体模式提供的电场强度增强, 这与实验增强结果一致。量子点和金纳米之间的耦合演示为应用开辟了新的可能性, 这些应用将受益于解决 LED 光传感。LED 应用通常需要在不增强激发的情况下提高辐射速率, 而太阳能电池的开发可以通过最大化增强激发来实现。此外, 我们的纳米结构制造的优点是, 它可以轻松的在普通实验室条件下制造, 不需要先进的纳米制造方法。在这项工作中, 我们通过高温法来制备铅卤钙钛矿量子点, 在量子点合成过程中加入纳米金溶液, 使得纳米金具有强的活性, 完成量子点和纳米金的耦合。耦合后的钙钛矿溶液通过测试, 其量子产率和荧光光强明显增强。结果表明, 纳米金的 SPP 对钙钛矿的荧光有明显作用。

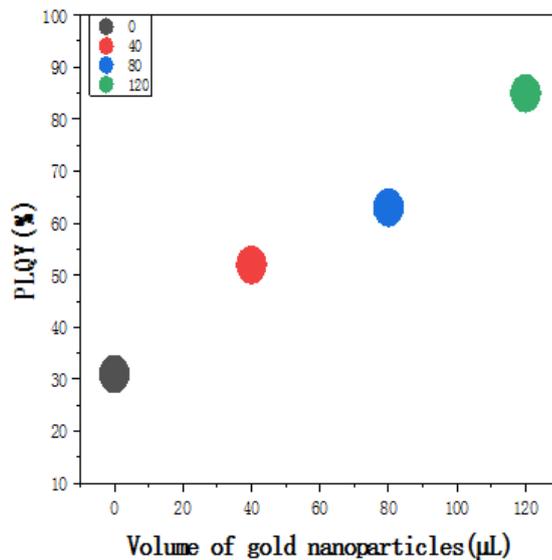


图 1 不同掺杂量的钙钛矿的量子产率

关键词: 掺杂量子点 钙钛矿 金纳米 荧光增强 FDTD

## 高折射率介质纳光子结构中磁模式响应及潜在应用

杨中见、邓燕辉、赵骞

中南大学物理与电子学院，长沙 410012

Email: [zjyang@csu.edu.cn](mailto:zjyang@csu.edu.cn)

**摘要：**近年来基于高折射率介质纳米结构的光学性质研究引起了人们的广泛兴趣。与已经被广泛研究的基于金属的表面等离激元纳米结构相比介质材料具有损耗小、低成本等优势，而且介质纳米结构的光学响应也很强并且模式响应更为丰富特别是有磁模式响应。这些特性使得介质纳米结构有诸多纳米光子学应用比如超表面、超材料、太阳能、光学天线、颜色显示等等。这些应用很多都是基于介质纳米结构的 Mie 共振模式特别是低阶的基本电/磁共振模式，比如电偶及磁偶共振模式。很显然对于介质纳米结构的电磁模式共振研究不仅本身具有基础物理意义而且对于更好的实现诸多纳光子应用起到决定作用。

课题组研究了纳米盘和环组成的复合结构，发现盘上的磁偶模式和环上的高阶磁模式可以产生很强的耦合效应导致盘的光学响应得到很大的提高。这种响应增强一个明显的效果就是盘中的磁场增强得到明显增加。我们针对一个折射率为  $n = 3.3$  的介质体系进行计算发现磁场增强可以接近 100 左右，这个数值比单个盘有大概 7 倍的增加。另外我们还发现盘附近的电场也得到明显增强，而且广泛分布在盘周围[1]。我们利用这种效应构造了介质-金属复合天线结构，得到了超高电场增强现象（图 1）。介质体中的磁场增强还可以用来和具有磁偶跃迁的偶极子产生相干相互作用，从而调节整个体系的光响应，增强光与磁激子相互作用[2]。

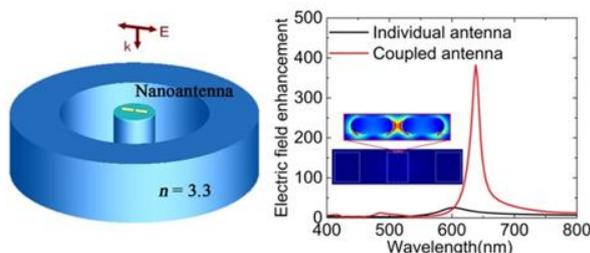


图 1. 盘-环介质纳米结构与金纳米天线的复合体系中局域电场超高增强。

**关键词：**纳米光子学 高折射率介质 表面等离激元 磁场增强 电场增强

**参考文献**

- 【1】 Y.-H. Deng, Z.-J. Yang, J. He, Plasmonic nanoantenna-dielectric nanocavity hybrids for ultrahigh local electric field enhancement, *Opt. Express* 2018, 26, 31116.
- 【2】 Q. Zhao, Z.-J. Yang, J. He, Coherent couplings between magnetic dipole transitions of quantum emitters and dielectric nanostructures, *Photon. Res.* 2019 (accepted).

**基金项目：**国家自然科学基金项目 (NO. 11704416)

## Incoherent digital holographic spectral imaging with high accuracy of image pixel registration

Fengying Ma, Hong Ren, Yuanzhuang Bu, Yongzhi Tian, Yanli Du, Qiaoxia

Gong, Ceyun Zhuang, Jinhai Li, Erjun Liang, and Lei Li\*

School of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450001, China

School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, 450001, China

Email: [lilei@zzu.edu.cn](mailto:lilei@zzu.edu.cn)

**Abstract:** Fresnel incoherent correlation holography (FINCH) is a unique three-dimensional imaging technique which has the advantages of scanning-free, high resolution and easy matching with existing mature optical systems. In this article, an incoherent digital holographic spectral imaging method with high accuracy of spectral reconstruction based on liquid crystal tunable filter (LCTF) and FINCH is proposed. Using the programmable characteristics of spatial light modulator (SLM), a series of phase masks whose focal lengths do not change with wavelength are designed and fabricated. For each wavelength of LCTF output, SLM calls three phase masks with different phase constants at the corresponding wavelength, and CCD records three holograms. The spectral images obtained by this method have a constant magnification, which can achieve pixel-level image registration, restrain image registration errors and improve spectral reconstruction accuracy. To demonstrate the spectral imaging effect, three groups of experiments are carried out. The results show that this method can not only obtain the three-dimensional spatial information and spectral information of the object simultaneously, but also has high accuracy of spectral reconstruction and excellent color reproducibility, and more importantly, the system has no space and time scanning.

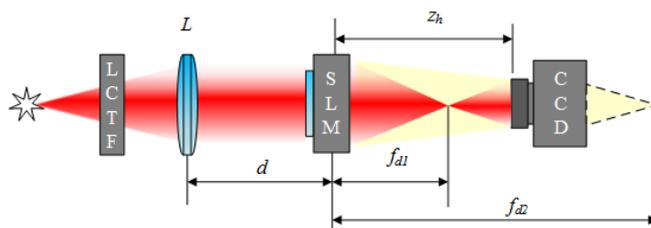


Fig.1 Optical setup of the incoherent digital color holography. LCTF, liquid crystal tunable filter; SLM, spatial light modulator; CCD, charge-coupled device.

**Keywords:** spectral imaging; incoherent holography; pixel registration

**References**

- 【1】 H. I. Bjelkhagen, and E. Miralis, "Color holography to produce highly realistic three-dimensional images," *Appl. Opt.* 47, A123-A133 (2008).
- 【2】 B. Kemper, A. Bauwens, A. Vollmer, S. Ketelhut, P. Langehanenberg, J. Mütling, H. Karch, and G. von Bally, "Label-free quantitative cell division monitoring of endothelial cells by digital holographic microscopy," *J. Biomed. Opt.* 15(3), 036009 (2010).

**Foundation:** National Natural Science Foundation of China (NSFC) (61505178, 61307019, and 11504333) and Natural Science Foundation of Henan Province of China (18A140032, 15A140038, and 16A140035).

# 石墨烯等离子体与钙钛矿激子的强耦合引起的表面共振—性能的提高

蒲永杰

河南大学物理学院，开封 475004

摘要：钙钛矿材料一直以来是研究的热点。其材料具有带隙可调、优异的光电性能、环境稳定性和成本低的特点，使其加速发展。本文研究的是全无机铯铅溴卤化物（ $\text{CsPbBr}_3$ ）。石墨烯是由一层排列的碳原子组成的蜂窝状晶格结构，使其具有独特性质。包括波长相关的光吸收和高工作带宽。石墨烯的复合材料在研究中是具有极大发展潜能的，在某些材料中，加入一些石墨烯可改变其原有的性质。本文中，在钙钛矿中加入不等量的石墨烯来改变其参数以达到优化作用。本文中，通过在钙钛矿中加入不等量石墨烯主要可改变原有的吸收和量子产率，本文先是介绍了石墨烯的合成，又介绍了高温制备钙钛矿以及高温下两者材料的复合，最后研究分析了石墨烯和钙钛矿的复合材料的性质。石墨烯等离子体的共振激发，通过相互作用转化成传播光子，与钙钛矿的粒子相互作用。

关键词：石墨烯，铯铅溴卤化物，吸收，量子产率

## 光谱转换实现太阳能电池效率的增强

周爱华、宋峰

南开大学物理科学学院，天津市南开区八里台 94 号 300071

Email: [zhouaihua@mail.nankai.edu.cn](mailto:zhouaihua@mail.nankai.edu.cn)

**摘要：**在资源匮乏的当下，提高太阳能电池的转换效率从而减少对于不可再生资源的消耗成为近年来的研究热点。而其中一种应用比较广泛的提高转换效率的方法是光谱转换，包括上转换方式和下转换方式两种。上转换是指材料吸收两个或多个长波低能光子，发出一个短波光子的过程。下转换是指材料在短波激发下，发射出一个或者多个长波光子的过程。太阳能电池中染料的有效吸收波长范围是 480nm 到 650nm 之间。然而对于太阳光谱中的紫外和近红外光谱波段，不能有效的促进染料光制激发。因此，可以利用上转换和下转换过程实现光谱从紫外和近红外向可见波段 480nm 到 650nm 的转换，从而实现提高太阳能电池效率。

课题组团队采用高温固相的方法制备了  $\text{Er}^{3+}/\text{Eu}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  三掺的钛酸钪钠荧光粉。在此基础上，利用稀土离子  $\text{Er}^{3+}$  和  $\text{Eu}^{3+}$  离子特殊的能级结构，在 980nm 激发下的光谱转换以及在近紫外宽谱激发的实现 617nm 附近的发射，成功实现了双模式的光谱转换。此荧光粉制备简单，可实现大规模生产，成本低等优点。该材料在 395nm 激发下以及 980nm 激发下都可以将光谱调节到太阳光谱响应强的光谱段中，为荧光粉在太阳能电池应用中的探索提供了有效途径。

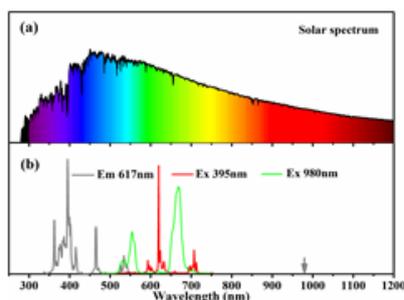


图 1 太阳光谱图像和材料的激发发射光谱图像

关键词：光谱转换 太阳能电池

- 【1】 J. M. M. Buarque et al.,  $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2$  doped with  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}/\text{Eu}^{3+}$  photoluminescent material: A spectroscopy and structural study about potential application for improvement of the efficiency on solar cells, *Materials Research Bulletin*, 2018, 107, 295-307.
- 【2】 Y. Qiao et al., Recent Advances of Rare-Earth Ion Doped Luminescent Nanomaterials in Perovskite Solar Cells, *Nanomaterials*, 2018, 8 (1), 43.

**基金项目：**天津市自然科学基金重点项目（NO. 17JCZDJC3780）；国家自然科学基金项目（NO. 11674183）；国家自然科学基金国际合作项目（NO. 11811530075）

## Ca<sup>2+</sup>离子掺杂 NaLuF<sub>4</sub> 的制备及发光调控

胡慧敏、宋峰

南开大学物理科学学院, 天津市南开区八里台 94 号 300071

Email: [2120170177@mail.nankai.edu.cn](mailto:2120170177@mail.nankai.edu.cn)

摘要: 稀土掺杂氟化物发光材料由于具有窄线宽, 寿命长, 背景噪声少, 发射波长多等优点, 被广泛应用于安全防伪, 生物成像, 太阳能电池等方面。但是, 由于上转换发光需要吸收两个或者多个光子, 从而导致发光效率低, 限制了它在某方面的应用, 因此提高其发光效率, 增强其发光是一个急需解决的问题。目前, 提高荧光材料发光强度主要有三个途径: (1) 通过表面等离子体共振来增强发光, 但是这种方法通常需要精确控制 Au, Ag 纳米粒子的尺寸以及距离, 合成条件比较苛刻繁琐, (2) 第二个是通过表面钝化减少猝灭效应, 但是这种方法需要钝化层, 而且大都适应于核壳材料, (3) 第三种方法是通过破坏晶体对称性来增强发光是目前很多研究者采用的方法, 这是因为其具有合成过程简单, 周期短, 成本低等优点。课题组团队采用水热法制备了 Ca<sup>2+</sup>单掺的 NaLuF<sub>4</sub>/Yb/Ho 稀土发光材料, 并且研究了在 980nm 激光激发下 Ca<sup>2+</sup>的引入对样品形貌、尺寸、发光特性等方面的影响, 实现了对上转换发光材料的调控, 使其发光强度得到了增强。

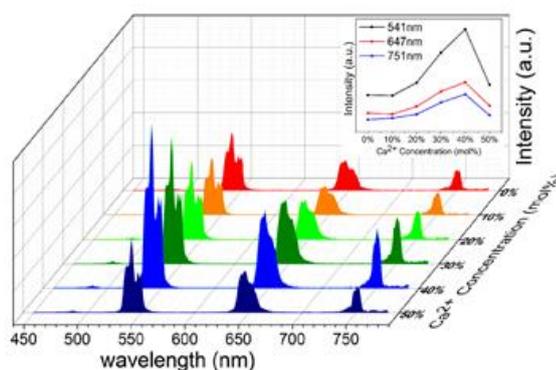


图 1 掺杂不同 Ca<sup>2+</sup>浓度的 NaLuF<sub>4</sub>:Yb/Ho 微米材料的 PL 图

关键词: 上转换发光 发光增强

- 【1】 Q.Q. Shao et al., Preparation, growth mechanism, size manipulation and near-infrared luminescence enhancement of  $\beta$ -NaYF<sub>4</sub>:Nd<sup>3+</sup> microcrystals via Ca<sup>2+</sup> doping, *CrystrEngComm*, 2019, 21, 741–748.
- 【2】 Q.P. Qiang et al., Enhanced optical temperature sensing and upconversion emissions based on the Mn<sup>2+</sup> codoped NaGdF<sub>4</sub>: Yb<sup>3+</sup>, Ho<sup>3+</sup> nanophosphor, *New Journal of Chemistry*, 2019, 43, 5011–5019.

基金项目: 天津市自然科学基金重点项目 (NO. 17JCZDJC3780); 国家自然科学基金项目 (NO. 11674183); 国家自然科学基金国际合作项目 (NO. 11811530075)

## 金属介质杂化超材料中基于耦合相位调制的散射隐身

Phase Modulated Scattering Manipulation for Exterior Cloaking in Metal–Dielectric Hybrid Metamaterials

杨蕤生，李畅，付全红，樊元成\*，张富利\*

西安市西北工业大学长安校区理学院应用物理系 邮编：710129

\*E-mail: [phyfan@nwpu.edu.cn](mailto:phyfan@nwpu.edu.cn); [fuli.zhang@nwpu.edu.cn](mailto:fuli.zhang@nwpu.edu.cn)

**摘要：**超材料（Metamaterials）由于能够展现出自然界常规材料所不具备的奇异光学性能得到科学研究领域和工程应用领域广泛的关注。人们通过控制超材料微结构单元中的局域谐振模式有效的增强光与物质的相互作用，实现对电磁波的高效调控。近年来具备这种先进功能的超材料系统越来越复杂，所以研究结构单元谐振模式之间的耦合行为具有重要意义。本工作提出构造金属与介质的杂化超材料系统（Hybrid Metamaterials），通过巧妙的结构设计控制金属线与介质块的近场耦合，基于散射相消效应抑制介质块单元的磁谐振散射，从而实现电磁隐身。工作中我们通过引入一个经典的双振子模型揭示了系统中复杂的耦合机理，研究发现，耦合系数的相位在该超材料系统中具有重要作用。另外研究发现，该系统具有显著的吸收性能，改变耦合系数可以使得介质谐振单元的吸收特性受到显著调制。这种通过多模式耦合进行辐射控制的方法对于新型物理机理研究与超材料器件的设计具有重要意义。

**关键词：**散射相位调制（Phase Modulated Scattering Manipulation），隐身（Cloak），杂化超材料（Hybrid Metamaterials），模式耦合（Mode Coupling）

### 参考文献

- [1] Pendry J B, Schurig D, Smith D R. Controlling electromagnetic fields[J]. Science, 2006, 312(5781): 1780-1782.
- [2] Schurig D, Mock J J, Justice B J, et al. Metamaterial electromagnetic cloak at microwave frequencies[J]. Science, 2006, 314(5801): 977-980.
- [3] Zhang F, Li C, Fan Y, Yang R, Shen N-H, Fu Q, Zhang W, Zhao Q, Zhou J, Koschny T, and Soukoulis C M, Phase-Modulated Scattering Manipulation for Exterior Cloaking in Metal–Dielectric Hybrid Metamaterials[J]. Advanced Materials, In Press (2019).

## 反 PT 对称光学网格中的非对称传输

代亚楠、温增润、戢凯文、刘振娟、齐新元

西北大学物理学院, 西安 710127

Email: dyn081114052@foxmail.com

摘要: PT 对称 (Parity-time symmetry) 的概念起源于量子力学 (该对称性要求系统势函数  $V(x)$  满足  $V(x) = V^*(-x)$ ), 该对称性的提出使得非厄米哈密顿量存在实数能量谱, 从而让具有 PT 对称的非厄米体系成为了重点研究对象 [1986 年提出 PT 对称的文章, 近几年 PT 对称的文章]。同时, 反 PT (anti-Parity-time symmetry) 对称的概念也开始进入人们的视线 (该对称性要求系统势函数  $V(x)$  满足  $V(x) = -V^*(-x)$ )。在光学研究中, 我们通过将势函数与折射率类比, 在光学网格中引入反 PT 对称的概念, 这需要使光纤环的折射率实部, 以及折射率虚部分别满足  $n_R(x) = -n_R(-x)$  和  $n_I(x) = n_I(-x)$ 。

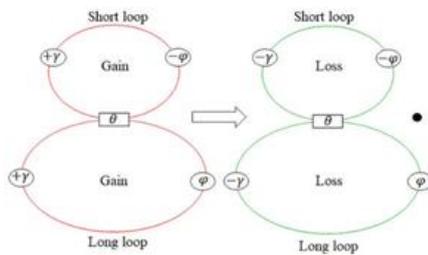


图 1 结构图

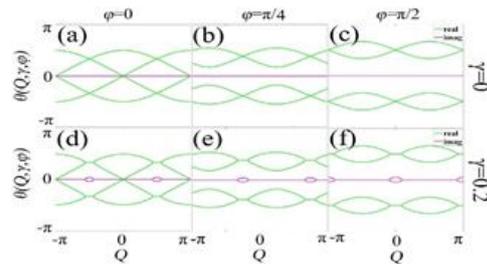


图 2 能带图

如图 1, 在光纤环的长环和短环里同时加入增益, 下一时刻同时加入损耗。同时, 在长环中加入正相位, 短环加入相等大小的负相位, 保持不变。这样就可以在光纤网格里引入反 PT 对称。

本文研究了如图 1 所示光纤环结构, 其能带结构如图 2 所示。研究发现, 只有相位影响了能带的不对称性, 增益和损耗只是改变了结构的破缺态。当调制相位  $\phi = 0, \pi/2$  时, 能带关于  $Q = 0$  左右对称; 当  $\phi = \pi/4$  时, 能带对称性被破坏。在相位  $\phi = \pi/4$  处, 当满足  $2\phi + Q = \pi$  条件时 (从右边入射 ( $Q = \pi/2$ )) 能量会均匀分布在两个光纤环中, 满足  $2\phi + Q = 0$  时 (从左边入射 ( $Q = -\pi/2$ )) 能量会局域在长环中。

我们数值研究了反 PT 对称光学网格中光波的动力学过程, 实现了光的非对称传输现象, 我们的工作为光在网格中产生非对称传输提供了一个新的方法, 为单向耦合器的制作提供了新的理论指导。

关键词: 反 PT 对称 非对称传输

参考文献

【1】 Miri, M. A *et al.*, Optical mesh lattices with PT-symmetry, *Phys. rev. a.* 2012, 86(2), 5752-5757.

【2】 Wu, J. H. *et al.*, Parity-time-antisymmetric atomic lattices without gain, *Physical. Review. A.* 2015, 91(3), 033811.

基金项目: 瞬态光学与光子技术国家重点实验室开放研究基金 (SKLST201805)

陕西省自然科学基金 (2017JM6014)

# Research on the resolution of SLM based incoherent digital holography system

Fengying Ma\*, Yuanzhuang Bu, Hong Ren, Yongzhi Tian, Yanli Du, Qiaoxia Gong, Jianpo Su, and Lijun Wang

School of Physics and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001

Email: [fengyingma@163.com](mailto:fengyingma@163.com)

**Abstract:** Fresnel incoherent correlation holography (FINCH) is a new development of incoherent digital holography which uses just a camera and spatial light modulator (SLM). As a prospective recording system, a key point is to figure out the critical factors which are related to the resolution of the system. In this paper, the point spread function is used as the criterion of spatial resolution of an imaging system, and the spatial resolution of FINCH system is analyzed theoretically in detail when the input and output apertures are considered. The results show that when the output aperture is the decisive factor of the system resolution, the expressions of the system resolution at different recording distances are determined by the effective radius of point source hologram, which is constrained by pixel size of the charge-coupled device (CCD), the aperture size of CCD and the overlapping area of the two coherent beams split by SLM on CCD surface. These studies are further confirmed by the experimental results.

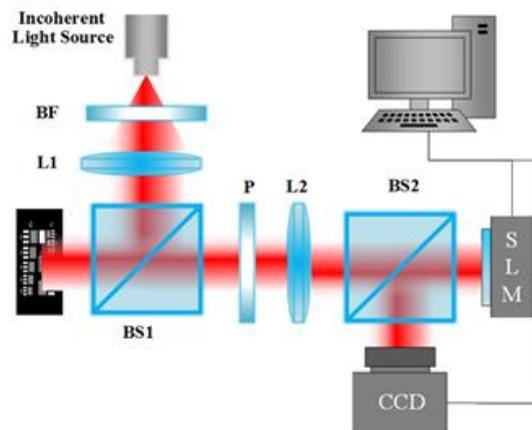


Fig.1. Schematic of the FINCH system.

**Keywords:** resolution; incoherent holography; digital holography

## References

- 【1】 J. Rosen and G. Brooker, "Digital spatially incoherent Fresnel holography," *Opt. Lett.* 32(8), 912–914 (2007).
- 【2】 B. Katz, J. Rosen, R. Kelner, and G. Brooker, "Enhanced resolution and throughput of Fresnel incoherent correlation holography (FINCH) using dual diffractive lenses on a spatial light modulator (SLM)," *Opt. Express* 20(8), 9109–9121 (2012).

**Foundation:** National Natural Science Foundation of China (NSFC) (61505178, 61307019, and 11504333) and Natural Science Foundation of Henan Province of China (18A140032, 15A140038, and 16A140035).

## 含双曲超构材料的光子晶体的全向带隙

赵云鹏 1, 周夏琛 1, 张开远 1, 路光 1, 刁超 1, 吴丰 2, 刘芬 1, 吴爱玲 1,

杜桂强 1,\* , 江海涛 2, 陈鸿 2

1. 山东大学, 空间科学与物理学院, 威海, 264209

2. 同济大学, 物理科学与工程学院, 上海, 200092

\*Email: dgqql@sdu.edu.cn

**摘要:** 全向反射器在光学系统中有着非常重要的作用。光子晶体的带隙有完美的反射特性, 在全向反射器的设计中有广泛的应用。但是由透明介质组成的传统光子晶体的带隙强烈依赖于电磁波的偏振和入射角, 其光子带隙随入射角的增加发生蓝移, 这给传统光子晶体在全向反射器方面的应用中带来了很大的限制。不同于透明介质的材料色散是封闭的特性, 双曲材料的拓扑色散是开放的, 由这两类材料构成的光子晶体被发现具有新型的光子带隙, 包括入射角度不敏感的带隙和反常红移的光子带隙。因此含双曲超构材料的新型光子晶体的带隙特性及其应用受到了人们的关注。最近, 我们同时在理论和实验上研究了含双曲超构材料的光子晶体中的全向带隙特性。研究发现, 在 TM 偏振条件下, 随着光波的入射角度的增加, 光子带隙的短波长带边呈现正常的蓝移, 而长波长带边呈现反常的红移, 从而实现了完美的全向光子带隙。实验测量结果与模拟计算结果符合的很好。这些结果对制备新型的全向反射器等光子器件有非常重要的指导意义。

**关键词:** 光子晶体、全向带隙、双曲超构材料

**参考文献**

【1】 Y. Fink, J. N. Winn, S. Fan, C. Chen, J. Michel, J. D. Joannopoulos, E. L. Thomas, A dielectric omnidirectional reflector, *Science*, 1998, 282(5394), 1679-1682.

【2】 X. Wang, X. Hu, Y. Li, W. Jia, C. Xu, X. Liu, and J. Zi, Enlargement of omnidirectional total reflection frequency range in one-dimensional photonic crystals by using photonic heterostructures, *Appl. Phys. Lett.*, 2002, 80(23):4291.

【3】 F. Wu, G. Lu, C. Xue, H. Jiang, Z. Guo, M. Zheng, C. Chen, G. Du, and H. Chen, Experimental demonstration of angle-independent gaps in one-dimensional photonic crystals containing layered hyperbolic metamaterials and dielectrics at visible wavelengths, *Appl. Phys. Lett.* 2018, 112(4), 041902.

【4】 F. Wu, G. Lu, Z. Guo, H. Jiang, C. Xue, M. Zheng, C. Chen, G. Du, and H. Chen, Redshift gaps in one-dimensional photonic crystals containing hyperbolic metamaterials, *Phys. Rev. Applied*, 2018.12.10, 10(6), 064022.

【5】 G. Lu, F. Wu, M. Zheng, C. Chen, X. Zhou, C. Diao, F. Liu, G. Du, C. Xue, H. Jiang and H. Chen, Perfect optical absorbers in a wide range of incidence by photonic heterostructures containing layered hyperbolic metamaterials, *Opt. Express* 2019, 27(4), 5326-5336.

**资助项目:** 国家自然科学基金 (11774261), 山东省自然科学基金 (ZR2019MA055)。

## 基于非相干光数字全息相位重建技术研究

熊元康、杜艳丽\*

郑州大学物理工程学院，郑州 450002

Email: [dyanli@zzu.edu.cn](mailto:dyanli@zzu.edu.cn)

**摘要：**非相干光数字全息术以非相干光作为光源，采用光电探测器件对全息图进行记录，利用计算机对记录的全息图进行数值重建，能够有效地消除成像系统中所产生的像差和畸变的影响。同轴数字全息成像技术为了消除零级像和孪生像的干扰，通常采用传统的相移技术如三步相移和四步相移，需要拍摄三幅或四幅相移全息图才能实现物体的清晰再现。这样降低了系统的记录速度，限制了动态成像的应用。而两步相移重建技术，可以提高记录速度，但不能完全去除零级像，重建像的质量相比传统三步相移大大降低。可以利用小波变换和初始图像消除噪声，从而抑制两步相移重建像的零级像，在不增加相移次数的前提下，提高重建像的质量。

课题组团队提出了一种基于迈克尔逊非相干同轴数字全息显微成像系统，分别对 USAF1951 分辨率板、血红细胞和荧光显微颗粒样品进行成像实验验证，给出了基于三步相移技术和两步相移技术的数字全息图和重现结果，并对比了两种不同方法的相移重建结果。实验结果表明，两步相移能够提高记录速度，通过去除原始图像和小波分解可以抑制零级像，提高重建像的质量，为活体细胞动态三维成像提供可能。

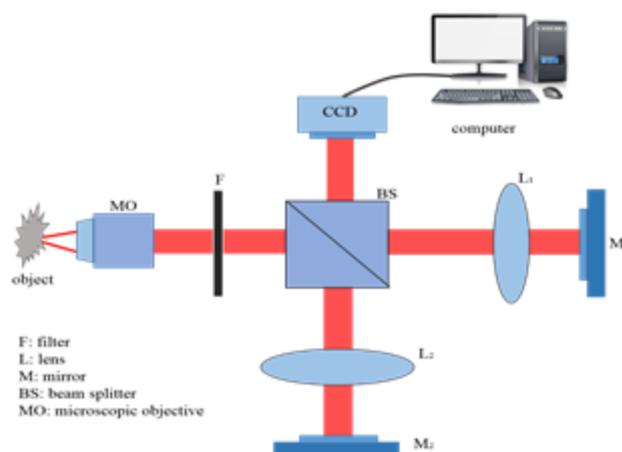


图 1 基于迈克尔逊干涉仪的非相干数字全息显微镜成像系统原理图

关键词：相位重建 非相干全息 迈克尔逊干涉仪 两步相移

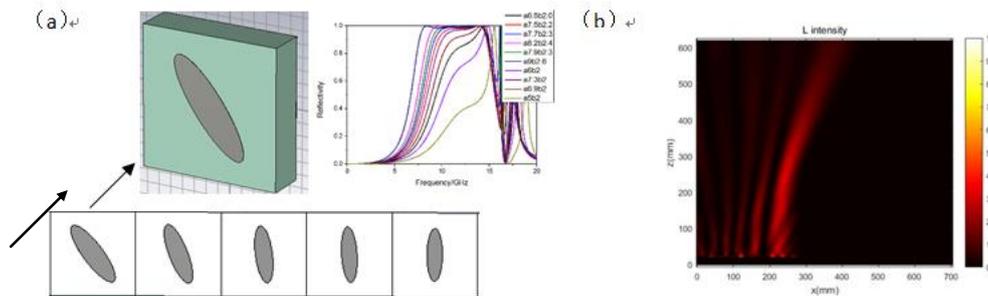
## 基于椭圆超表面结构的反射型艾里波束的设计

魏世杰 武超 李宏强

同济大学物理科学与工程学院, 上海 200092

Email:[932068874@qq.com](mailto:932068874@qq.com)

**摘要:** 1978年,在量子力学的背景下,Berry和Balazs首次对具有弯曲传播曲线的非色散艾里波包进行了预测,证明薛定谔方程具有艾里函数形式的解[2]。由于薛定谔方程和近轴亥姆霍兹方程在数学上的相似性,艾里函数解在2007年由Christodoulides及其同事引入光学领域,以其独特的性质和应用引起了人们极大的研究兴趣。与以往的非衍射光束如贝塞尔光束相比,艾里波束除了具有非衍射和自愈特性外,在没有任何外部势的情况下也具有明显的自加速特性。近年来,艾里波束在光学子弹的成型、光学微操作、和弯曲等离子体通道的制备等方面的应用潜力得到了极大的发展。传统的艾里波束产生方法包括空间光调制器(SLM)、特殊设计的透镜系、非线性方法、电子、等离子、液晶、表面光栅、亚波长狭缝阵列和表面等离子体激元等。然而,SLM或液晶的微尺寸像素限制了艾里波束的设计,因为它们需要庞大的光学系统,阻碍了艾里波束在微波和纳米光子学中的实现和应用。最近,体积庞大的光学元件开始被超薄的平面超表面元件所取代。超表面是一种由亚波长散射体阵列构成的二维结构,可任意调整电磁波的特性。本文是基于椭圆超表面结构,设计了一种反射型的艾里波束产生器件。通过CST仿真计算,优化设计出了椭圆型的单元结构,提出了一种艾里波束生成的新方法。该超表面既能产生相位调制又能产生振幅调制的艾里波束,且不会引起太大的复杂性。通过调节椭圆片的长短轴以及倾斜角实现振幅和相位的调控。椭圆超表面阵列是基于PB几何相位调控理论,这一理论提供了更为灵活的相位调制方案,并且能够提供艾里光束产生需要的相位差[1]。图(a)为阵列及单元结构的设计。图(b)为8.5GHz下产生艾里波束的场强分布的仿真结果。



(a) 产生艾里波束的周期阵列设计 (部分)  
(8.5GHz)

(b) 产生艾里波束的场强分布仿真结果

**关键词:** 超表面 反射 艾里波束

**参考文献**

【1】 Yu N, Genevet P, Kats M A, et al., Light propagation with phase discontinuities: generalized laws of reflection and refraction, science. 2011, 334(6054), 333-337.

【2】 Song E Y, Lee G Y, Park H, et al., Compact generation of airy beams with C - aperture metasurface, Adv.Opt.Mater.2017,5(10),1601028.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO. 11874286, 11774057)

## 增益损耗调控的耦合谐振环阵列结构拓扑相变

敖雨田、胡小永、龚旗煌

北京大学物理学院, 北京 100871

Email: [yutianao@pku.edu.cn](mailto:yutianao@pku.edu.cn)

摘要: 2011年, Mohammad Hafezi 等人首次提出了耦合谐振环阵列的构型(coupled-resonator optical waveguide)实现光学拓扑边界态[1]。G. Q. Liang 及 Y. D. Chong 在 2013年发表了该系统中无等效磁场的另一类拓扑边界态[2]。后者本质是将谐振环中的 CW 模式和 CCW 模式作为赝自旋, 类比量子自旋霍尔效应实现的拓扑边界态。他们发现, 随着谐振环间耦合强度逐渐增强, 系统的能带会形成狄拉克点随后打开, 在新形成的带隙中产生拓扑边界态。本工作中, 我们仍沿用并扩展了以往工作中的传输矩阵法, 通过引入谐振环间的实际耦合情况求解了系统的准确能带并能反映系统边界态的性质。进一步地, 通过引入增益和损耗, 构造出 PT 对称构型的阵列, 求解在这种非厄米的情况下的能带结构, 我们探究了这种情况下的边界态。通过对狄拉克点性质的研究, 我们解析得到了这个系统出现狄拉克点所需要满足的耦合强度-增益损耗量的关系。从能带的角度, 我们证明了这个关系即是拓扑相变的界面。在耦合强度-增益损耗量所构成的二维相图里, 由该关系曲线分割了拓扑非平凡态与拓扑平凡态, 从而证明了该体系的拓扑相变同时受到耦合强度和增益损耗的共同影响, 提供了由增益损耗调控拓扑相变的新维度。

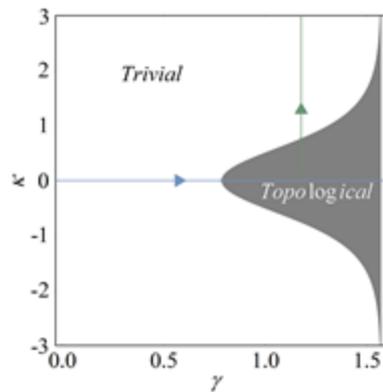


图1 PT 对称构型 CROW 体系拓扑相图, 灰色区域对应拓扑非平凡态, 白色区域对应拓扑平凡态; 横坐标表征腔之间的耦合强度, 纵坐标表征增益损耗的大小; 蓝色线表示通过耦合强度的调控实现拓扑相变绿色线表示通过改变增益损耗量实现拓扑相变。

关键词: 耦合谐振环阵列 PT 对称 能带 拓扑相变

参考文献

- 【1】 M. Hafezi, E. A. Demler, M. D. Lukin, and J. M. Taylor, Robust optical delay lines with topological protection, Nature physics 7, 907 (2011).
- 【2】 G. Q. Liang and Y. D. Chong, Optical resonator analog of a two-dimensional topological insulator, Physical review letters 110, 203904 (2013).

## 颜色可切换的环形随机激光

卞耀兴、史晓玉、胡梦楠、王兆娜\*

北京师范大学物理学系, 北京 100875

\*Email: [zhnwang@bnu.edu.cn](mailto:zhnwang@bnu.edu.cn)

激光显示技术因具有宽色域、高亮度、长寿命、节能环保等特点, 被认为是继黑白显示、彩色显示、数字显示之后的新一代技术。然而, 激光的高空间相干性会在激光成像和显示系统中导致相干散斑噪声, 这严重影响了激光在快速成像等领域的应用。与传统激光器不同, 随机激光器是利用光在随机介质中的多重散射来实现受激辐射的新型激光器。随机激光具有低空间相干性, 可以有效削弱激光照明成像系统中的相干散斑噪声, 被视为用于无散斑成像的一种理想照明光源<sup>[1]</sup>。考虑到环形光源在抑制相干噪声和超分辨率成像方面具有很大优势<sup>[2]</sup>和彩色照明需求, 有必要设计环形随机激光进一步提高其成像质量, 实现具有高度集成和颜色可切换的随机激光器, 探索随机激光在显微高亮成像中的应用潜力。

课题组团队通过将随机激光器与商用光纤直接耦合来设计颜色可切换的随机激光器。通过在光纤表面上有选择性地涂覆增益层, 利用光纤的波导作用, 实现了低阈值和良好发射方向的红色及黄色随机激光器。通过简单地改变泵浦位置, 可以灵活地获得不同颜色的随机激光。更重要的是, 实现的随机激光在动量空间中是环形的, 环形随机激光保证了极低散斑噪声的高质量成像。这些实验结果可以进一步促进随机激光器在传感器、生物体内成像、全视场照明领域的实际应用。

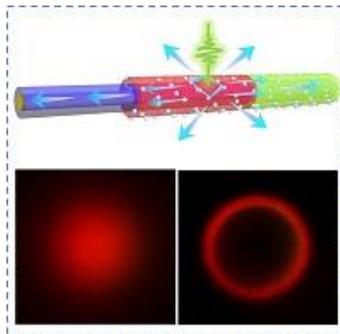


图 1 颜色可切换的随机激光器及在实空间和动量空间中的光斑图像

关键词: 随机激光 颜色可切换 环形 定向辐射 无散斑成像

参考文献

- 【1】 Cao H *et al.*, Speckle-free laser imaging using random laser illumination, *Nature Photonics*, 2012, 6(6):355-359.
- 【2】 Kumar Y P *et al.*, Measurement of surface form error of an optical surface with reduced interferometric spatial coherence artifacts using a ring source and polarization phase-shifting interferometry. *Applied Optics*, 2016, 55(35):10053.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11574033 和 NO. 11674032)

## 基于二维磁性材料 $\text{CrI}_3$ 磁光 Kerr 效应的理论研究

罗小光、徐金鹏、梅东、张玺

西北工业大学柔性电子研究院, 西安 710129

Email: [iamxgluo@nwpu.edu.cn](mailto:iamxgluo@nwpu.edu.cn)

**摘要:** 磁光效应通过磁场控制光与磁光材料的相互作用, 从而达到操控光的目的。光在磁光材料界面上的反射光和透射光的偏振状态的改变称为磁光 Kerr 效应和 Faraday 效应。衡量磁光效应最重要的两个参量是旋转角( $\theta$ )和椭偏角( $\epsilon$ )。现有的磁光材料的磁光响应非常弱, 需要一定厚度才能满足实际应用的需求, 不利于磁光器件的小型化和集成化。近三年来, 二维磁性材料(如  $\text{CrI}_3$ ,  $\text{VSe}_2$ ,  $\text{Fe}_3\text{GeTe}_2$  等)的发现开辟了一个新的研究方向【1】。多层二维磁性材料层与层之间以范德华力相互作用, 每层的磁性特征相对独立, 便于从光学角度来研究原子层厚度材料的磁光响应行为, 有望设计一些策略来增强小尺度磁光材料的磁光效应【2】, 开发二维磁光器件。在忽略量子非线性效应之后, 课题组团队通过麦克斯韦方程组解出磁光材料中正交的本征态, 即左旋圆偏振态和右旋圆偏振态。利用这两种态的正交性, 整合成  $4 \times 4$  的传递矩阵, 能够对任意磁光材料的层状结构进行计算。图 1 验证了传递矩阵的可行性。利用这种方法, 团队详细研究了  $\text{CrI}_3$  等二维磁性材料的磁光 Kerr 效应, 从光学角度分析铁磁和反铁磁层在磁化后对 Kerr 效应的影响, 并优化材料厚度来获得较大得旋转角和椭偏角。

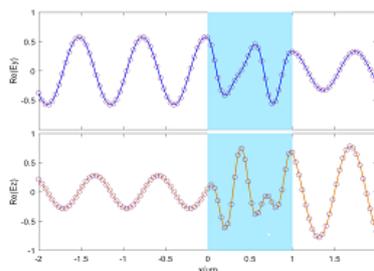


图 1 空气中厚度为  $1\mu\text{m}$  的磁光材料平板导致的光场分布, 曲线为传递矩阵计算结果, 圆为数值模拟结果。

**关键词:** 磁光 Kerr 效应, 传递矩阵, 二维磁性材料。

**参考文献**

- 【1】 B. Huang *et al.*, Layer-dependent ferromagnetism in a van der Waals crystal down to the monolayer limit, *Nature* 2017, 546, 270.
- 【2】 X. Luo *et al.*, Magneto-optical metamaterials with extraordinarily strong magneto-optical effect, *Appl. Phys. Lett.* 2016, 108, 131104.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(青年)(NO. 61905198)、陕西省自然科学基金计划——一般项目(青年)(NO. 2019JQ-059)中央高校基本科研业务费专项资金资助(NO. G2018KY0303)

## 单原子光镊的激光强度起伏对原子俘获寿命的影响及改善

王家超, 孙瑞<sup>\*</sup>, 张孔, 王欣, 何军, 王军民<sup>\*\*</sup>

量子光学与光量子器件国家重点实验室, 山西大学光电研究所

\*email: 1002686424@qq.com

\*\* email: wwjjmm@sxu.edu.cn

**摘要:** 实验中利用强聚焦的基模高斯光束构建的光镊来俘获及转移单原子, 能够为单原子态的相干操控和实现基于单原子的单光子源提供优质的单原子源。实验中一般选择远失谐于原子共振跃迁线的激光来构成光镊, 以尽可能长时间的俘获原子, 但光镊的强度起伏同样会与原子相互作用, 从而影响原子在光镊中的寿命。我们以声光频移器(AOM)为主要元件, 配合一套外部反馈控制电路来抑制光镊频域上的强度噪声以及时域上的功率起伏, 部分的降低了光镊对原子的参量加热, 从而有效延长了原子在光镊中的俘获寿命。在 937nm 光镊中, 典型的频域噪声抑制带宽 17 kHz 噪声抑制 10 dB, 时域抑制效果可以从峰峰值起伏 $\pm 1.35\%$ 抑制到 $\pm 0.036\%$ , 有效的降低了光镊的强度起伏, 对比实验结果表明我们可以将光镊中原子寿命从 200 ms 延长至 1180 ms。对后续的单原子操控实验具有重要意义。

**关键词:** 光镊; 原子俘获寿命; 参量加热; 激光强度噪声; 强度噪声抑制

**参考文献:** [1] 单原子光镊的激光强度起伏对于原子俘获寿命的影响及改善, 量子光学学报, 2019, 25(2), 王家超, 孙瑞, 张孔, 王欣, 何军, 王军民

## 复式手征阵列中的宽带旋光特性

张智辉 武超 李宏强

同济大学物理科学与工程学院, 上海 200092

Email: [1830984@tongji.edu.cn](mailto:1830984@tongji.edu.cn)

**摘要:** 手性广泛存在于自然界中, 在电磁学领域中, 手征是指存在同一方向上电场和磁场之间的耦合。手征介质的电磁学研究最早是对天然的手征有机分子旋光性、圆双折射等现象的研究。近些年随着超材料的发展, 人们发现具有手征特性的超材料具有一些独特的性质, 如强圆二色性、强旋光性、负折射等 [1]。金属螺旋线作为典型的手征特征的几何结构, 在对圆极化电磁波的调控中, 可以宽带选择性的响应圆极化电磁波 [2]。在之前的研究中我们已经了解到, 金属螺旋线阵列存在一个宽频段的极化禁带, 仅允许与结构手性相反的圆极化电磁波透过, 与结构手性相同的电磁波会被反射, 这种性质可以让金属螺旋线阵列起到圆极化滤波的功能。我们利用金属螺旋线阵列体系, 对圆极化电磁波进行调控, 研究并发现了一些新的现象。我们所做的工作是对于镜像对称破缺的右旋金属螺旋线阵列, 阵列原胞如图 (a) 所示, 把一半数量的金属螺旋线沿轴向逆时针旋转 90 度, 图中所示粉色为旋转 90 度后的金属螺旋线, 蓝色为 0 度未旋转的金属螺旋线。通过利用 CST 仿真计算, 得到该结构的能带如图 (b) 所示, 通过分析可以看到, 该镜像对称破缺的右旋体系出现了左旋波和右旋波两种模式, 这使得体系产生了一种宽带旋光的效应。通过分析轴比及偏振角图 (c) 观察到, 在以线极化入射的情况下, 通过对透射波的轴比分析可以看到透射线极化电磁波其虚部基本为 0, 透射为线偏振, 通过观察偏振方向角可以看到在禁带内偏振角随频率做周期性变化, 展现出宽带旋光的特性, 这种现象在过去的单一手性结构体系中是没有看到过的。这种金属螺旋结构阵列作为典型的手征结构所带来的宽带电磁互耦效应的新现象, 有助于我们对手征系统进行新的理解。

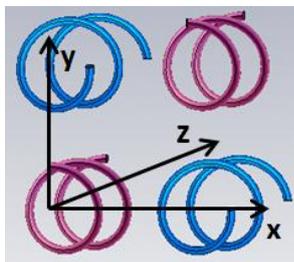
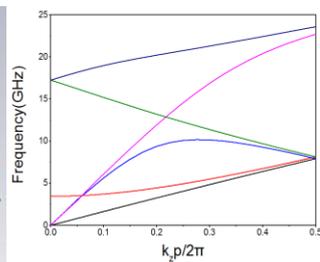
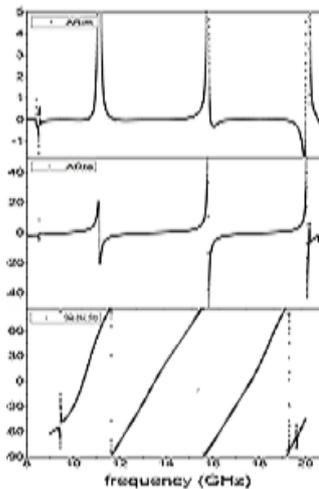


图 (a) 阵列原胞图



(b) 阵列原胞能带图



(c) 轴比及偏振角

关键词: 旋光性 手征 超材料

参考文献

- 【1】 Wang B, Zhou J, Koschny T, et al. Chiral metamaterials: simulations and experiments [J]. *Journal of Optics A: Pure and Applied Optics*, 2009, 11(11): 114003.
- 【2】 Kaschke J, Blume L, Wu L, et al. A Helical Metamaterial for Broadband Circular Polarization Conversion [J]. *Advanced Optical Materials*, 2015, 3(10): 1411-1417.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11874286, 11774057)

## 基于波带片原理的透射性聚焦几何相位超表面设计

刘璇 武超 李宏强

同济大学物理科学与工程学院, 上海 200092

Email: [liuxuan-1112@163.com](mailto:liuxuan-1112@163.com)

**摘要:** 超表面是利用人工亚波长谐振结构构成的薄层, 它通过直接在界面上引入相位突变来调节电磁波波前的基本特性, 这种新的波前调控方式迅速的引起了人们的广泛关注, 大大促进了人们对电磁波调控的可操作性。目前做的聚焦器件使用了抛物线形的相位分布设计, 这一设计完美的构建了一个球面波前, 消除了相应的成像球差, 它主要是通过改变每一个结构尺寸来获得相应的相位分布, 设计比较繁杂、计算量大且不够宽带。**PB** 相位是正交圆极化转换过程带来的附加几何相位, 不依赖于频率, 能够实现宽带的相位调控效果。基于 **PB** 相位调制原理设计的抛物线形相位的聚焦超表面, 可以给予两种圆偏振光相同但符号相反的相位分布, 通过旋转同一个纳米结构单元的角度实现所需的相位分布, 但必须使用圆偏振光, 仅能聚焦一个极化且效率较低。波带片也可以用来设计聚焦器件, 但它与抛物线形的设计不同, 这种设计是利用光的衍射来实现的, 通过选择合适的半径尺寸透光, 使其在焦点处的叠加是同相位的, 这个设计相对来说简洁, 但由于奇、偶数环引入的是反相位, 因此它只能用奇数环或者偶数环。超表面可以人为的调节相位, 我们把奇偶环的反相位问题通过超表面的设计来改变, 使它获得同相位的效果, 这一设想可以和 **PB** 相位调控相结合, 利用 **PB** 相位对结构旋转  $90^\circ$  使得左右旋的引入相位均为  $\pi$ , 从而在奇偶环分别引入  $0$  和  $\pi$  相位的时候把波带片里反相位的关系进行人为的附加调制成同相位, 导致其可以实现任意极化聚焦, 聚焦效率的理论上线是  $100\%$ , 突破了 **PB** 相位以及波带片自身的极限, 是超表面聚焦设计的一种新方式。本文用这种新的聚焦方式设计了一个透射式的聚焦器件。通过 CST 仿真计算, 我们设计了多层曲折线结构, 这三层金属曲折线结构是由曲折线和介质层相间排列构成, 该结构在  $12.4\text{GHz}\sim 17.5\text{GHz}$  范围内, 转极化透射效率高于  $77\%$ , 而且结构由于不具有手性而对左、右旋电磁波响应相同, 根据 **PB** 相位效应和波带片聚焦原理, 设计了五个半波带, 在五个半波带中依次排列曲折线结构和旋转  $90^\circ$  的曲折线结构, 实现了透射式线极化入射时高效的左、右旋圆极化波束的分别聚焦, 以及线极化的全极化聚焦。

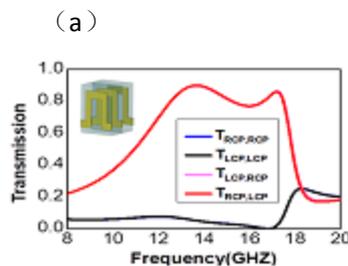


图 (a) 单元结构反射率

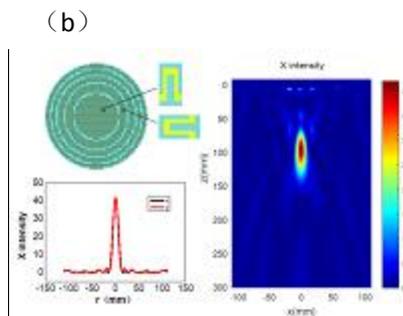


图 (b) 聚焦器件分布及仿真结果 (10GHz)

**关键词:** 超表面, 菲涅尔波带片, 聚焦光束

参考文献

- 【1】 Khorasaninejad M, Zhu A Y, Roques-Carmes C, et al. Polarization-insensitive metalenses at visible wavelengths[J]. Nano Letters, 2016, 16(11): 7229-7234.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO. 11874286, 11774057)

## 锌掺杂对 NaYF<sub>4</sub>: Yb/Tm 上转换发光增强机理研究

王艺伟、张华芳、毛艳丽

河南大学物理与电子学院, 开封 475001

Email: [ylmao@jlu.edu.cn](mailto:ylmao@jlu.edu.cn)

**摘要:** 稀土掺杂上转换发光纳米颗粒具有生物损伤性低、光化学稳定性高、背景自发荧光小等优点, 在生物成像、物质检测、红外防伪等方面拥有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。然而, 上转换过程通常存在能量转换效率低的问题, 极大的制约了该材料的实际应用范围, 寻找提高上转换发光材料能量转换效率的方法, 对进一步拓展该材料的应用范围具有重要意义。根据文献报道, 稀土掺杂离子在基质中所处的晶体场对该材料的发光性能具有重要的影响,<sup>[2]</sup> 因此, 本文利用溶剂热法, 尝试通过在 NaYF<sub>4</sub>: Yb/Tm 纳米颗粒中掺入不同浓度 Zn<sup>2+</sup>离子, 实现对晶体场的调控, 获得更高效的发光。下图为不同浓度 Zn<sup>2+</sup>掺杂下, NaY<sub>0.795-x</sub>Zn<sub>x</sub>F<sub>4</sub>: Yb/Tm 纳米颗粒的上转换发光光谱和寿命图, 从图中可以看出荧光强度和寿命都随着 Zn<sup>2+</sup>掺杂浓度的增加先增强后减弱。其中, 当 Zn<sup>2+</sup>掺杂浓度为 2.5%时, 荧光强度为初始态的 50 倍, 寿命比初始态增加了 4.296ms, 增强效果最为显著。由于 Zn<sup>2+</sup>是二价过渡金属离子, 离子半径为 1.040 Å, 小于 Y<sup>3+</sup>的离子半径 1.159 Å, 当 Zn 以一定浓度掺杂进入上转换纳米颗粒时, 取代 Y 的位置, 打破晶体场对称性。因此, 可以推断出, 荧光强度的增强主要是由于 Zn<sup>2+</sup>掺杂引起的晶体对称性降低引起的。该研究为进一步提高上转换发光材料的能量转化效率提供了实验依据。

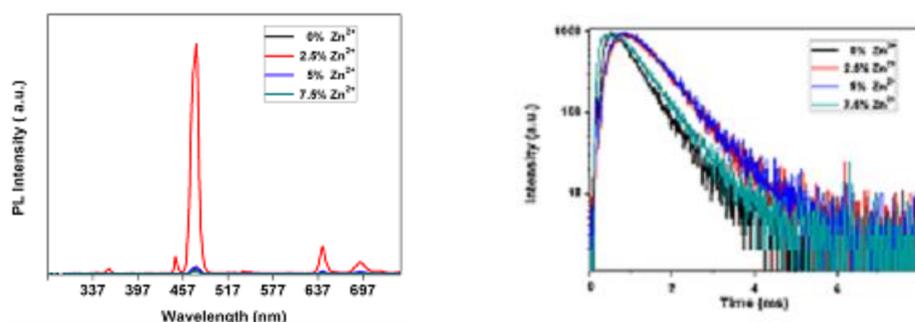


Fig.1 (a) Upconversion luminescence spectra (b) Luminescence decay curves of the emission peak at about 477 nm

关键词: 上转换 锌掺杂 对称性

参考文献

【1】 Gnach A *et al.*, Lanthanide-doped up-converting nanoparticles: Merits and challenges. *Nano Today*, 2012, 7: 532.

【2】 Peng Du *et al.*, Local symmetry distortion-induced enhancement of upconversion luminescence in Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Ho<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup>/Zn<sup>2+</sup> nanoparticles for solid-state lighting and bioimaging[J]. *Current Applied Physics*, 2018, 18(3).

基金项目: 国家自然科学基金项目 11804079, 河南省联合基金 U1604144

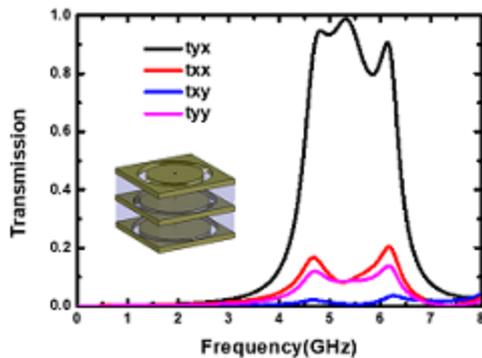
# 宽频带高效率超表面电磁极化动态调控研究

刘晓琴、魏泽勇

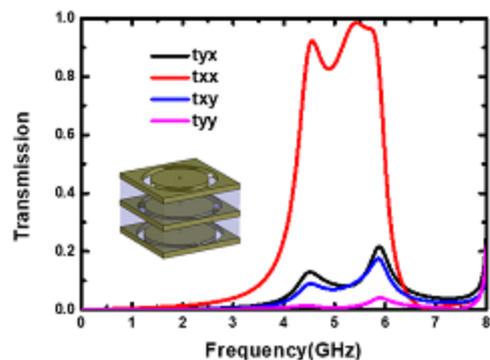
同济大学物理科学与工程学院, 上海 200092

Email: [liu\\_xqxq@163.com](mailto:liu_xqxq@163.com)

**摘要:** 电磁超表面是由谐振单元构成的人工薄层结构, 通过谐振单元结构设计和排列可以自由调控电磁波的透射、极化、相位、波束[1]。极化是电磁波的重要特性, 通过对各向异性超表面设计, 可以在亚波长厚度内实现线极化电磁波的非对称传输和极化转换[2]。由于超表面谐振特性, 超表面工作频带一般较窄, 宽频带、高效率超表面是研究热点。通过局域共振模式的层间耦合效应可以有效展宽工作频带宽度[3], 各向异性开口谐振环的层叠结构可以实现宽频带的极化转换和非对称传输[4]。本文我们提出, 通过在层叠开口谐振环超表面结构引入有源元件, 利用局域共振模式的近场耦合效应来动态调控电磁波的极化状态, 该结构可实现宽频带线极化电磁波的非对称传输和极化转换, 使线极化电磁波偏振方向不变或进行交叉极化转换。我们设计了由三层金属各向异性结构组成的超表面实现非对称传输和极化转换, 三层金属层为两层互补开口劈裂圆环 (CSRR) 及圆环, 超表面结构由原胞周期排列组成, 原胞结构为 CRRS-介质-CRCS-介质-圆环, 三层谐振单元为渐变金属层, 其目的是为了提提高转化的效率。中间层 CRRS 环相对底层 CRRS 环扭转  $45^\circ$ , 顶层为圆环结构, 在顶层金属环孔之间连接 4 个有源器件, 分别沿 x 轴正负向、y 轴正负向对称分布。通过计算, 在 x 方向导通, y 方向截止时在 4.6GHz-6.2GHz 频段内实现明显的非对称传输, 传输超过 0.8, 在 5.3GHz 时达到最大 0.99。在 x 方向截止, y 方向导通时, 在 4.4GHz-5.9GHz 频段内几乎没有非对称传输现象, 无偏振现象, 线极化传输超过 0.8, 在 5.4GHz 时达到最大 0.98。因此在超表面结构连接有源元件, 可以动态可调的实现线极化电磁波偏振方向不变或进行交叉极化转换。该手性超表面结构具有频带宽、非对称传输、动态可调等特点, 可用于微波段的对电磁波的转换功能器件。



正向电压



反向电压

关键词: 非对称传输 动态调控

参考文献:

- 【1】 YU, Nanfang; CAPASSO, Federico. Flat optics with designer metasurfaces. *Nature materials*,2014,13(2), 139.
- 【2】 Menzel C.et al.Asymmetric Transmission of Linearly Polarized Light at Optical Metamaterials. *Physical review letters*,2010,104(25),253902.
- 【3】 CHENG, Kaiyang, et al. Realizing Broadband Transparency via Manipulating the Hybrid Coupling Modes in Metasurfaces for High - Efficiency Metalens. *Advanced Optical Materials*, 2019, 1900016.
- 【4】 WEI, Zeyong, et al. Broadband polarization transformation via enhanced asymmetric transmission through arrays of twisted complementary split-ring resonators. *Applied Physics Letters*, 2011, 99(22),221907.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11874285,11674248, 11674266,)

## 定位误差对光学物理不可克隆函数影响的定量分析

王丕东<sup>1,2</sup>, 李沫<sup>1,2</sup>, 姚尧<sup>1,2</sup>, 陈飞良<sup>1,2</sup>, 黄锋<sup>1,2</sup>, 李栋<sup>1,2</sup>, 张丽君<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 中国工程物理研究院微系统与太赫兹研究中心, 成都, 610200

<sup>2</sup> 中国工程物理研究院电子工程研究所, 绵阳, 621900

Email: [wangpidong@mtrc.ac.cn](mailto:wangpidong@mtrc.ac.cn)

摘要: 物理不可克隆函数 (Physically unclonable function, PUF) 是一个物理实体, 在制备过程中存在的大量随机和不可控因素导致其内部构造具有不可避免的随机性, 并且在有限的时间和资源下不能被复制。对 PUF 输入一个激励, 它将产生一个单向的不可预测的响应输出。这样的特性使 PUF 在身份认证、标识等领域有重要的应用前景。光学 PUF 使用编码光作为激励信号照射无序介质实体, 将产生的散斑作为响应输出, 因为散斑对入射光的位置变化具有很高的灵敏度, 所以使用光学 PUF 时, 定位误差不可避免会对光学 PUF 的性能造成影响, 课题组定量地分析了定位误差对光学 PUF 在认证应用中的影响。我们设计制作了可以改变定位精度的机械夹具, 使用数字图像相关法测量无序介质实体在机械夹具中的定位误差, 根据定位误差的统计结果以及散斑随位置的变化情况, 使用统计学方法对光学 PUF 钥匙的正确认证概率进行了定量分析。图 1(a)为使用光学 PUF 认证的光路, (b)为散斑响应, (c)为散斑经过处理后得到的认证二维码, (d)为定位误差对正确认证概率的影响, 其中  $\sigma_x$  为定位误差的标准差,  $\sigma_{HD}$  与散斑随位置的变化速率成反比。结果表明定位误差越大, 散斑随位置的变化越快, 正确认证的概率越小。这种定量表征光学 PUF 成功认证概率的方法, 对光学 PUF 认证的实用化有重要意义。

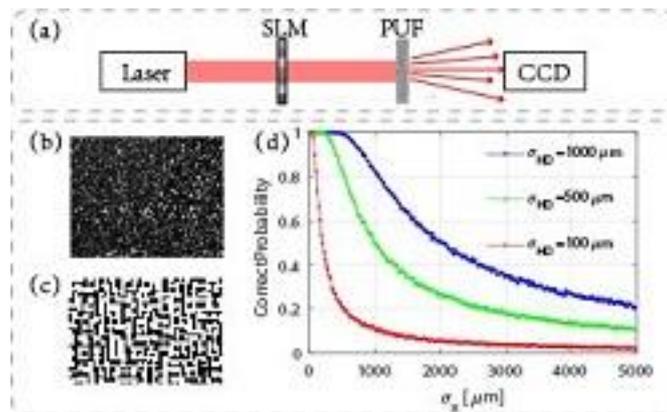


图 1: (a)光学 PUF 认证光路, (b)散斑, (c)二维码, (d)定位误差对正确认证概率的影响

关键词: 物理不可克隆函数 数字图像相关

参考文献:

- 【1】 Pappu R, Recht B, Taylor J, et al. Physical one-way functions[J]. Science, 2002, 297(5589): 2026-2030.
- 【2】 Li Q, Chen F, Li M, et al. Simulation of physically unclonable function based on disordered photonic structure[J]. Optical and Quantum Electronics, 2017, 49(3): 122.

基金项目: 本工作受科学挑战专题 T2018003-3 及国家自然科学基金 61875178 支持。

## 非常规油气光学探测技术研究

詹洪磊、赵昆

中国石油大学（北京）新能源与材料学院，全国石油和化工行业油气太赫兹波谱与光电检测重点实验室，北京，102279

Email: [zhanhl@cup.edu.cn](mailto:zhanhl@cup.edu.cn)

**摘要：**随着经济社会和能源工业的发展，常规的油气资源日益短缺，既需要对目前已探明的油气资源进行系统的潜力评估，科学制定开采方案，也需要对未知区块进行高水平的油气资源潜力评价，用科学的理论指导勘探开采实践，客观上就要求科研工作者不断发展既实用又经济的新方法来丰富油气储层勘探理论体系。本研究基于光学新方法非接触、成本低、不受地磁地电干扰的优点，利用太赫兹光谱、斜入射光反射差技术等近几年得到快速发展的光学新技术，开展油气储层、特别是非常规油气储层的表征与评价，并发展了相对应的光谱分析方法，初步形成了油气储层潜能光学技术表征与评价的理论体系。课题组围绕非常规油气光学探测，主要开展了以下工作：

1. 非常规油气光学基础研究：围绕非常规油气生成、富集、运移和光与油气物质相互作用这两个关键科学问题，利用 THz 光谱和 OIRD 技术对油页岩、页岩、砂岩、碳酸盐岩等储层进行了理论与实验研究，阐明了油气储层光学响应机理，建立了无损、快速物探的新理论、新方法。基于相关基础研究结果，在 Energy、OE 等期刊发表学术论文 300 余篇。
2. 非常规油气光学应用基础研究：利用 THz 对油、水响应的巨大差别，将 THz 光谱等技术用于井下原油的定性识别及流动参数表征，实现了不同油田原油的直接快速鉴别，建立了 80% 高含水原油的含水率定量表征模型，揭示了水平井中原油的流动机制。“井下油气激光探测技术”获中国光学工程学会科技创新技术发明奖，“太赫兹光谱油气探测技术”被“井下油气探测关键技术创新及应用”科技成果鉴定委员会鉴定为国际领先水平。
3. 非常规油气光学理论体系建设：非常规油气光学探测技术是现有油气勘探开采技术的有效补充，为智能油田、智慧油田提供了良好支撑。课题组持续建设和丰富非常规油气勘探理论体系，先后在科学出版社出版《太赫兹光谱分析技术》、《油气光学实验》、《油气光学研究进展》，在中国石化出版社出版《油气储层的光学技术表征与评价》。

**关键词：**油气光学、太赫兹光谱、斜入射光反射差

**参考文献**

【1】 詹洪磊，赵昆，韩革华. 油气储层的光学技术表征与评价. 中国石化出版社 2017 年 3 月.

【2】 赵昆，詹洪磊，苗昕扬等. 油气光学研究与进展. 科学出版社 2019 年 5 月

**基金项目：**国家自然科学基金项目（NO. 11574401、11804392）等

## 发光稳定可调的高拉伸性碳纳米管螺旋纤维

孙玉平、上媛媛\*

郑州大学物理工程学院，郑州 450002

Email: [yuanyuanshang@zzu.edu.cn](mailto:yuanyuanshang@zzu.edu.cn)

摘要：碳纳米管具有电致发光和光致特性，在激光照射或吸收一定电能后能够发出可见光，将碳纳米管组装成宏观碳纳米管纤维，在真空或氩气环境中提供能量，可作为宏观光源。以往的研究多集中于直线型碳纳米管纤维，但这种纤维具有有限的拉伸应变，未来的可穿戴电子设备需要的材料不仅要具有灵活性，还要具有高度可拉伸性，因此，利用碳纳米管螺旋纤维作为发光材料是研究其光电性能的一个重要领域。

本报告通过对化学气相沉积（CVD）生长出的单壁碳纳米管薄膜进行扭转纺丝制备出单壁碳纳米管螺旋纤维，并利用电流注入与酸处理相结合的方法，有效去除纤维中的杂质，提高其在高温下的发光寿命。施加电压时，在整个单壁碳纳米管螺旋纤维中产生均匀、稳定的白炽光，并可在保持光发射的同时拉伸 70%，且光强可在拉伸应变高达 50% 的循环拉伸过程中可逆变化，与通常集成在可拉伸衬底上的可拉伸 LED 相比具有更大的拉伸应变 (>100%)，在柔性可穿戴领域和先进的光电器件中具有广阔的应用前景。此外，由于螺旋纤维在发光过程中发生了能量转化，基于柔性可拉伸螺旋单壁碳纳米管纤维的发光器件可应用于可塑装饰灯、微型热源等新兴研究领域。

关键词：可伸缩装置 单壁碳纳米管 螺旋纤维 发光

参考文献

- 【1】 J. Q. Wei et al., Carbon Nanotube Filaments in Household Light Bulbs. *Appl. Phys. Lett.* 2004, 84(24), 4869-4871.
- 【2】 Z. G. Zhao et al., Light Emission and Degradation of Single-walled Carbon Nanotube Filament. *J. Appl. Phys.* 2005, 98(4), 044306.

**基金项目：**国家自然科学基金项目（NSFC 51502267、51872267）；中国博士后科学基金（2017T100537）

## 油页岩含油率的光学技术研究

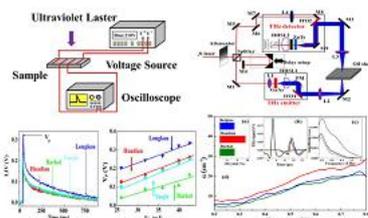
陈梦溪、赵昆、詹洪磊

中国石油大学（北京）新能源与材料学院，全国石油和化工行业油气太赫兹波谱与光电检测重点实验室，北京，102249

Email: [chenmengxi135@qq.com](mailto:chenmengxi135@qq.com)

**摘要：**光学方法较于传统方法相比，具有测量精度高、速度快、非接触、信息容量大、便携、成本低等独特优点，越来越多的研究者正致力于将光学方法应用于石油领域。在光学方法中，太赫兹时域光谱和激光感生电压技术有望解决复杂的材料表征问题，实现技术上的研究突破。

课题组团队采用太赫兹时域光谱和激光感生电压技术实现了对油页岩含油率的表征评价。太赫兹时域光谱技术可以表征油页岩样品的含油率。太赫兹吸收系数与油页岩的含油率正相关。太赫兹时域光谱技术已被用于直接确定含油率。激光感生电压技术也可以有效地表征来自不同地区的油页岩样品的油产量。有结果表明，油页岩的产油量越高，使用激光照射油页岩时产生的激光感生电压峰值越大。以上研究表明，光学方法可以用于表征油气储层材料，前景广阔，实用性强。课题组使用多种光学方法研究油页岩物性，丰富其评价手段；研究光与物质相互作用的机理，同时开拓光学方法在储层材料表征这一领域的应用，发展有油气光学特色的光学技术，光学装备。



图：激光感生电压和太赫兹时域光谱检测油页岩含油率装置图和数据图

**关键词：**太赫兹时域光谱 激光感生电压 油页岩

**参考文献**

【1】 Zhan, H. L., Chen, M. X., Zhao, K., Li, Y. Z., Miao, X. Y., Ye, H. M., Ma, Y., Hao, S. J., Li, H. F. & Yue, W. Z. The mechanism of the terahertz spectroscopy for oil shale detection, *Energy*, 161(15):46-51 (2018).

【2】 Chen, M. X., Zhang, S. Z., Zhu, J., Zhan, H. L., Meng, Z. H., Chen, R., Qing, L. H., Zhao, K. & Yue, W. Z. Direct detection of oil shale yields: a laser-induced voltage investigation, *Energy & Fuels*, 33(2):1069-1073 (2019).

**基金项目：**国家自然科学基金项目（NO. 11574401），北京市自然科学基金青年项目（NO. 1184016）  
中国石油大学（北京）人才引进启动基金项目（2462017YJRC029）

## 油气储层样本的太赫兹散射吸收效应研究

陈儒、赵昆、詹洪磊

中国石油大学(北京)新能源与材料学院, 全国石油和化工行业油气太赫兹波谱与光电检测重点实验室, 北京, 102249

Email: [chenruyx@sina.com](mailto:chenruyx@sina.com)

**摘要:** 太赫兹光谱技术在油气储层领域已经得到了广泛的应用, 而对油气储层的岩石样本研究是重要的一部分。因此油气储层的片状材料是太赫兹光谱应用在油气储层领域的主要研究对象之一, 而样本的吸收散射效应对太赫兹光谱响应具有重要的影响。

本文研究了由不同粒径制成的沙粒压片之间太赫兹波的界面反射效应。由于样品的米氏散射而存在显著的吸收震荡, 单个压片的太赫兹信号衰减由样品的吸收、太赫兹波的界面反射和内部散射引起。因此, 通过对比单个样品和双层样品的衰减系数、吸收系数可知在研究双层样品太赫兹光谱响应时应添加某个系数以消除由双层样品的内部反射和散射引起的损失, 且该系数与材料的特性有关。

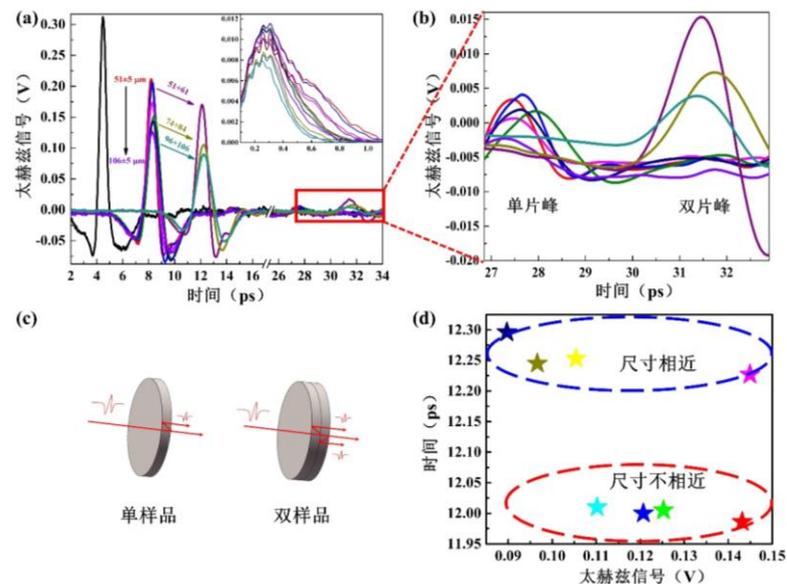


图 1 太赫兹光谱图像及光谱信号分布示意图

**关键词:** 太赫兹波 油气储层 散射吸收效应

参考文献

【1】 H.L. Zhan, R. Chen, X.Y. Miao, Y.Z. Li, K. Zhao, S.J. Hao, X.H. Chen, Size Effect on Microparticle Detection, IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, Vol.8(5), pp477-481(2018).

【2】 詹洪磊, 陈儒, 王焱, 赵昆, 层样本太赫兹光谱分析中的界面反射效应及消除方法, 光学仪器 2019.

**基金项目:** 国家自然科学基金(NO.11804392)、北京自然科学基金(NO.1184016)、中国石油大学(北京)青年拔尖人才项目 (NO.2462017YJRC029, 2462018BJC005)

## 利用太赫兹时域光谱技术检测原油在沙粒中的渗流过程

任泽伟、宝日玛、赵昆、詹洪磊

中国石油大学（北京）新能源与材料学院，全国石油和化工行业油气太赫兹波谱与光电检测重点实验室，北京，102249

Email: [935533637@qq.com](mailto:935533637@qq.com)

**摘要：**近年来各种实验方法被应用到建立模拟污染在沙粒中渗流的数学模型的研究当中。将选自全国各地的沙粒进行太赫兹检测，其中一部分沙粒中含有少量有机物。实验结果表明太赫兹时域光谱技术对沙粒中的有机物有很高的灵敏度。接下来 20-200 ppm 的微量原油被人为混入沙粒中并进行太赫兹时域光谱检测，在微量的原油浓度和太赫兹衰减系数之间建立起线性模型。同时引入有效介质理论来证实太赫兹介电常数与原油含量低于 200 ppm 之间的线性关系。将沙粒滴入适量原油后静置进行太赫兹测试，将得到的太赫兹数据与热重、扫描电子显微镜等常规表征手段得到的信息整合，探究原油在沙粒中渗流对太赫兹波产生响应的机理。图 1 是测试后的样品的太赫兹时域光谱扫描图，可以根据测试点位的太赫兹时域峰值，判断该点位的原油浓度。随原油在沙粒中渗流，太赫兹数据会随时间有着相应变化。将得到的太赫兹数据整理并使沙粒样品的各测量点数据进行归一化处理，并与常用的土柱淋滤实验所得结果进行对照，得到了原油在沙粒中渗流的模型。

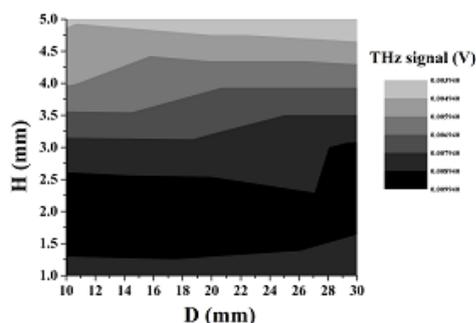


图 1 混油后沙粒样品的太赫兹时域峰值扫描图像。

**关键词：**太赫兹时域光谱技术；原油渗流模型；沙粒；微量检测。

**参考文献**

[1] FUJII M, WADA M, KAYASHI S, et al. Infrared absorption in SiO<sub>2</sub>-Ge composite films: Influences of Ge microcrystals on the longitudinal-optical phonons in SiO<sub>2</sub>. *Phys. Rev. B*, 1992, 46: 15930.

[2] WESSKER H, FURTHMULLER J, BECHSTEDT F. Validity of effective-medium theory for optical properties of embedded nanocrystallites from ab initio supercell calculations. *Phys. Rev. B*, 2003, 67: 165322.

**基金项目：**（1）国家自然科学基金（油气储层潜能的太赫兹光谱研究）（面上项目，11574401）2016-2019。（2）北京市自然科学基金青年项目（基于太赫兹光谱的岩性分析方法研究 1184016）2018/01-2019/12。（3）中国石油大学（北京）人才引进启动基金项目（基于材料分析方法的非常规油气勘探研 2462017YJRC029）2017/08-2020/07。

## 太赫兹技术检测油罐微泄漏机理研究

秦凡凯、詹洪磊、赵昆

中国石油大学（北京）新能源与材料学院，全国石油和化工行业油气太赫兹波谱与光电检测重点实验室，北京，102249

Email: [qfk3599@163.com](mailto:qfk3599@163.com)

**摘要：**太赫兹波即频率范围为 0.1~10 THz 范围之间的电磁波，受产生源和探测器的限制，这一波段并未得到快速的发展和广泛的应用<sup>[1]</sup>。太赫兹波对有机质的检测具有高信噪比和高灵敏度的优势，与有机质相互作用可得到有机质分子振动、原子能级跃迁以及官能团振动等信息<sup>[2]</sup>。因此，该技术在石油领域取得了较大的进展。储油罐是油气资源运输的重要装备。准确快速地检测储油罐的运行状态对减少经济损失和环境污染具有重大意义。

课题组团队利用太赫兹技术对模拟储油罐上的微米级孔缝进行了检测。根据罐体、原油对太赫兹波的吸收和散射特性，利用太赫兹时域光谱对罐体的损坏程度实现了微米级别的评价。实验结果表明，随着罐体损坏程度加重，孔缝逐渐扩张，孔缝及溢出的原油与太赫兹波的相互作用也逐渐由散射主导转变为吸收主导，原油泄漏量与太赫兹吸收系数成正相关的关系。太赫兹技术在储油罐检测方面具有无损、快速以及分辨率高等特点，适宜在油气储运领域推广和应用，同时也可促进太赫兹技术的发展与推广。

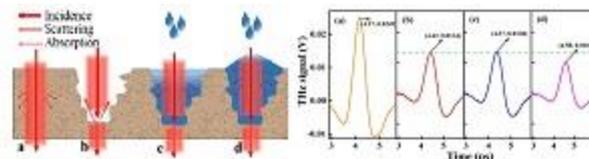


图 1 太赫兹波在孔缝中的吸收和散射特性示意图及其时域光谱

**关键词：**太赫兹技术 储油罐 泄漏 检测

**参考文献**

- 【1】 K. Lengyel *et al.* Growth, Defect Structure, and THz Application of Stoichiometric Lithium Niobate, *Applied Physics Reviews* 2015, 360(4), 158.
- 【2】 黄丽娟 等, 太赫兹时域光谱技术探测亮氨酸和异亮氨酸的低频集体吸收谱, *光谱学与光谱分析*. 2016(S1):79.

**基金项目：**

- (1) 国家自然科学基金 (NO. 11804392)
- (2) 北京自然科学基金 (NO. 1184016)
- (3) 中国石油大学（北京）青年拔尖人才项目 (NO. 2462017YJRC029、2462018BJC005)
- (4) 中国石油大学（北京）研究生教育质量与创新工程重点项目 (NO. yjs2017029)

## 基于太赫兹时域光谱技术的油页岩成分和结构研究

陈思同、詹洪磊、赵昆

中国石油大学（北京）新能源与材料学院，全国石油和化工行业油气太赫兹波谱与光电检测重点实验室，北京，102249

Email: [793564083@qq.com](mailto:793564083@qq.com)

摘要：太赫兹时域光谱技术近年来受到了各行各业越来越广泛的关注。由于有机质的分子振动、原子能级跃迁等频率落在太赫兹波段。所以，该技术在油气资源领域已有了大量的研究。油页岩等非常规油气资源作为一种补充能源，对于其成分与结构的研究十分重要。

本文利用太赫兹时域光谱技术研究了油页岩的成分和结构。通过机械剥离和离子减薄方法获取微米尺度的油页岩。对其进行太赫兹时域光谱测试，结合 SEM、TEM 等手段得到油页岩中干酪根在微米尺度下的形貌，并在太赫兹频域谱中标定了油页岩在太赫兹波段的特征峰；在对上述油页岩物性的研究基础上，本文对热处理后的油页岩进行太赫兹波测试，综合利用热重分析、红外分析及质谱分析等多种技术，分析了油页岩在不同温度热解后产物成分、结构以及含油率等信息，表征了油页岩的热解各个阶段产物的基本性质。此过程中阐明了热处理后的油页岩与太赫兹波的作用机理。通过利用太赫兹技术对油页岩的表征评价在促进油页岩产业发展的同时可拓展太赫兹技术的应用范围。

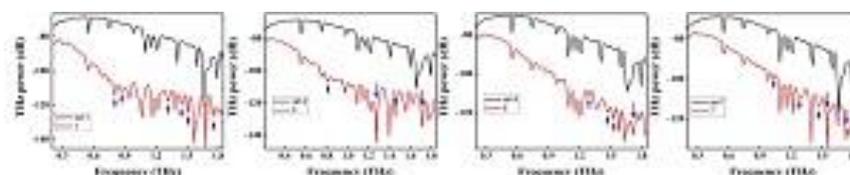


图 1 不同厚度油页岩在太赫兹频域谱中的特征峰

关键词：油页岩 油气资源 太赫兹时域光谱技术

参考文献

- 【1】 S. Hisatake *et al.*, Terahertz Balanced Self-Heterodyne Spectrometer with SNR-Limited Phase-Measurement Sensitivity, *Opt. Express* 2015, 23(20), 26689.
- 【2】 W. X. Leng *et al.*, Rapidly Determinating the Principal Components of Natural Gas Distilled from Shale with Terahertz Spectroscopy, *Fuel*. 2015, 159, 84.
- 【3】 H. L. Zhan *et al.*, The Mechanism of the Terahertz Spectroscopy for Oil Shale Detection, *Energ.* 2018, 161, 46.

基金项目：

- (1) 国家自然科学基金 (NO. 11804392)
- (2) 北京自然科学基金 (NO. 1184016)
- (3) 中国石油大学（北京）青年拔尖人才项目 (NO. 2462017YJRC029、2462018BJC005)
- (4) 中国石油大学（北京）研究生教育质量与创新工程重点项目 (NO. yjs2017029)

## 岩石的激光感生等离子体的产生及运输

孟昭晖、赵昆、詹洪磊

中国石油大学（北京）新能源与材料学院，全国石油和化工行业油气太赫兹波谱与光电检测重点实验室，北京，102249

Email: [18811757915@163.com](mailto:18811757915@163.com)

摘要：当岩石受到高强度的紫外脉冲激光照射时，表面会产生等离子体。岩石本身的成分结构，会影响到等离子体的产生以及在表面的运输机制。作为储层的重要组成部分，详细了解岩石成分结构，对储层的勘探具有重要意义。因此，对激光感生等离子体的产生以及在表面的运输机制进行分析，有望提供一种检测岩石成分结构的新型光学技术。

在样品两端设置适当的偏置电压，激光照射样品表面产生的等离子体在外加电场的影响下发生正负电荷分离，产生电压效应，我们称这种方法为激光感生等离子体运输光谱（LIPTS）。利用 248 nm 的紫外脉冲激光对四种不同的砂岩进行测试，结果发现岩石中金属离子含量较高的样本能够产生更多的等离子体和更高的电压信号。对页岩和砂岩进行 360° 的旋转测试，各向同性的砂岩在不同角度的测试结果基本相同，而各向异性的页岩在垂直于层理方向得到最小的电压值。利用双指数函数对电压衰减过程的模拟，结果表明，等离子体在垂直于层理方向的运动损耗远大于在平行于层理方向的运动损耗，呈现出 180° 的周期性变化。因此，LIPTS 方法能够对储层岩石进行表征，并且有助于提高石油工业的采收率。

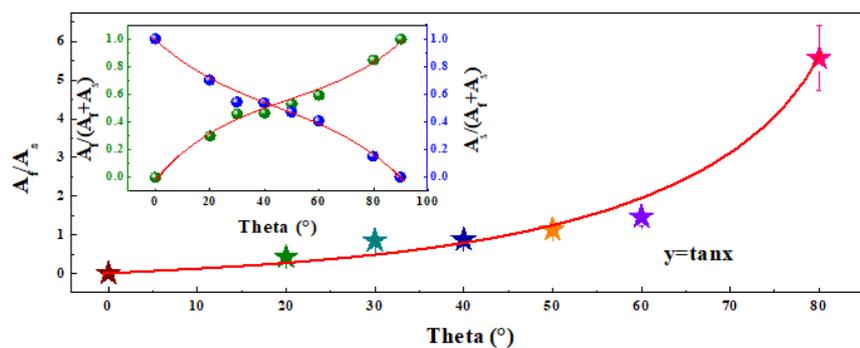


图 1 0-90° 范围内，双指数参数之比与角度之间的非线性函数图

关键词：等离子体 各向异性 页岩

参考文献

- 【1】 J. Bergevin *et al.*, Dual-Comb Spectroscopy of Laser-Induced Plasmas, *Nat. Commun.* 2018, 9, 1273.
- 【2】 H. L. Zhan *et al.*, Spectral Characterization of the Key Parameters and Elements in Coal Using Terahertz Spectroscopy, *Energ.* 2015, 93, 1140.

基金项目：

国家自然科学基金（NO.11804392）；北京自然科学基金（NO.1184016）；中国石油大学（北京）青年拔尖人才项目（NO.2462017YJRC029、2462018BJC005）

## 页岩微量有机质的太赫兹光谱检测

张燕、詹洪磊

中国石油大学（北京）新能源与材料学院，北京 102200

Email: [1060675796@qq.com](mailto:1060675796@qq.com)

摘要: 页岩是油气储层的主要类型之一,其微量有机质的准确表征是油气资源勘探中的一大热点和难点。利用太赫兹时域光谱技术对不同原油含量(ppm级)的页岩进行测试与分析结果表明太赫兹光谱响应与页岩有机质含量存在单调关系,随着原油浓度增加,单位厚度太赫兹时域光谱幅值衰减系数线性增加。结合有效介质理论,确定了太赫兹介电常数与200 ppm以下原油含量之间的线性关系。研究表明,太赫兹时域光谱技术可作为页岩中微量原油表征的有效方法,对于提高油气资源勘探效率具有重要的意义。

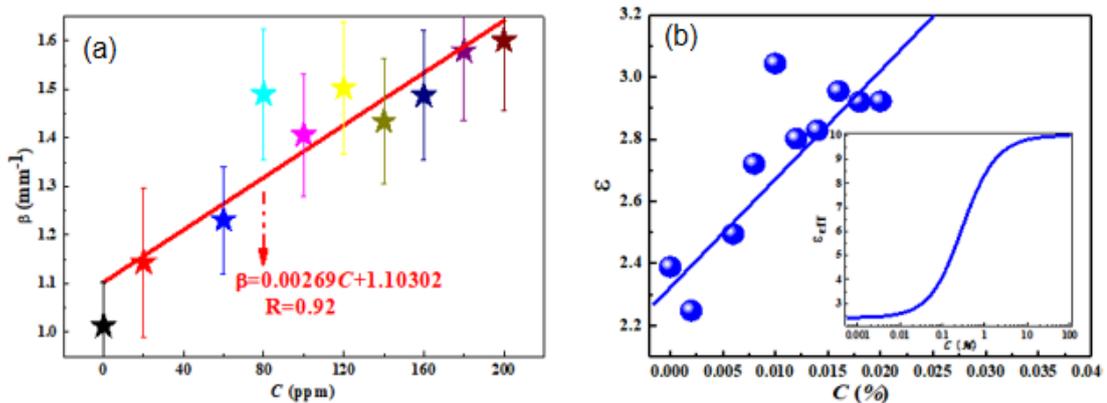


图1 (a)  $\beta$  和浓度C之间的线性关系(b)实验介电常数(实心点)和计算介电常数拟合图(实线)随页岩中原油含量C的变化

关键词: 原油 页岩 太赫兹 定量分析

参考文献

- 【1】Zhan HL, Wu SX, Bao RM, et al. Qualitative identification of crude oils from different oil fields using terahertz time-domain spectroscopy[J]. Fuel, 2015, 143(1):189-193.
- 【2】Zhan HL, Chen MX, Zhao K, et al. The mechanism of the terahertz spectroscopy for oil shale detection[J]. Energ, 2018, 161(15):46-51.
- 【3】Zhan HL, Wang YX, Wang XS, et al. Cluster analysis concerning the terahertz spectroscopy of coal materials[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2016, 14(1):26-30.

**基金项目:** 北京市自然科学基金青年项目 中国石油大学（北京）人才引进启动基金项目

## 储层岩石热解过程的太赫兹光谱研究

李新宇、赵昆、矫玉秋

中国石油大学（北京）油气光学探测技术北京市重点实验室，北京 102249

Email: [625570338@qq.com](mailto:625570338@qq.com)

**摘要:** 在岩石热解过程中，物质的物理化学反应导致了岩石的结构和成分发生变化。研究岩石的热解过程对于勘探效益的提升以及资源的有效利用有着重要意义。热解过程中复杂的变化增加了解析的难度，同时也对新技术和新理论提出了更高的要求。光与热解产物的相互作用能够反应分子振动和原子能级跃迁等信息，通过探究光与物质的相互作用机制可有效获取储层物质的成分、结构和岩石的岩性等信息。

利用太赫兹技术研究岩石不同温度的热解产物以实现热解过程的检测，同时将太赫兹技术与热重分析、X 射线衍射技术和电子显微镜技术等传统检测技术相结合，以达到相互补充与完善的目的。通过提取光谱中的峰值和时间延迟等参数进行对比分析，发现峰值和时间延迟等参数随热解过程的进行呈现连续地变化。将几种储层岩石进行对比，进一步计算不同热解产物的消光系数、吸收系数和折射率等参数。发现水的存在形式、矿物发生分解反应以及矿物晶体结构的转变是影响光学参数变化的主要因素。利用太赫兹技术研究五水硫酸铜、碳酸钙、石英等物质的热解过程验证水的存在形式、矿物发生分解反应以及矿物晶体结构的转变对相关光学参数的影响，进而阐明物质与太赫兹波的相互作用机制。

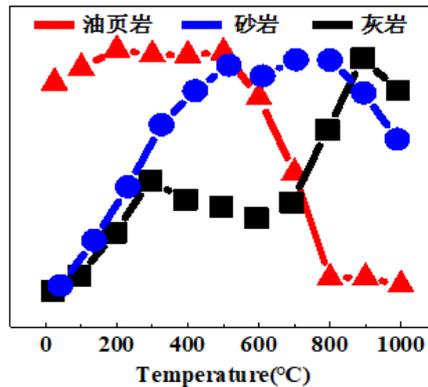


图 1 太赫兹时域光谱的峰值信号随温度变化的趋势

关键词: 储层岩石 热解 太赫兹光谱

参考文献

- 【1】 J. Sundberg *et al.*, Modelling of Thermal Rock Mass Properties at the Potential Sites of a Swedish Nuclear Waste Repository, *Int. J. Rock Mech. Min Sci.* 2009, 46(6), 1042.

基金项目:

- (1) 国家自然科学基金(NO.11804392)
- (2) 北京自然科学基金(NO.1184016)
- (3) 中国石油大学（北京）青年拔尖人才项目 (NO.2462017YJRC029、2462018BJC005)
- (4) 中国石油大学（北京）研究生教育质量与创新工程重点项目 (NO.yjs2017029)

## 矩形开口环形结构宽带超表面的光场及相位操控

马婧、王继成、Andrea Di Falco

江南大学理学院, 无锡 214122

Email: [jcwang@jiangnan.edu.cn](mailto:jcwang@jiangnan.edu.cn)

**摘要:** 超表面透镜通常有很多特性。本文提出了基于互补方形分裂环纳米天线单元结构的超薄位相超表面阵列, 以实现具有多维性和多焦点的微波超透镜系统。通过 F-P 共振模式可以有效地解释光束传播和有效传输的原理。在入射面光栅的作用下, 超透镜能有效地传输线交叉极化。通过局部裁剪边缘长度和打开开口环的角度, 可以完全控制突然的相位变化。通过在超透镜上布置 SSR 单元, 可以得到两个对称分布的平行焦点和两个任意距离的垂直焦点。此外, 我们应用分相模式的概念来实现纵向双聚焦超透镜系统, 这为获得理想的聚焦特性提供了一种灵活方便的方法。此外, 我们在超表面实验中, 我们证明了反射超表面全息图在毫米波长范围内 (100GHz 附近) 工作。我们提出了一个刚性和柔性超表面的全息实现。其中的超表面结构是基于三层结构与黄金 C 环作为极化转换单元。柔性全息超表面贴片是改进现有微波设备及扩展的理想平台。上述设计在微波通信、天线和电磁屏蔽等领域有很多应用前景。

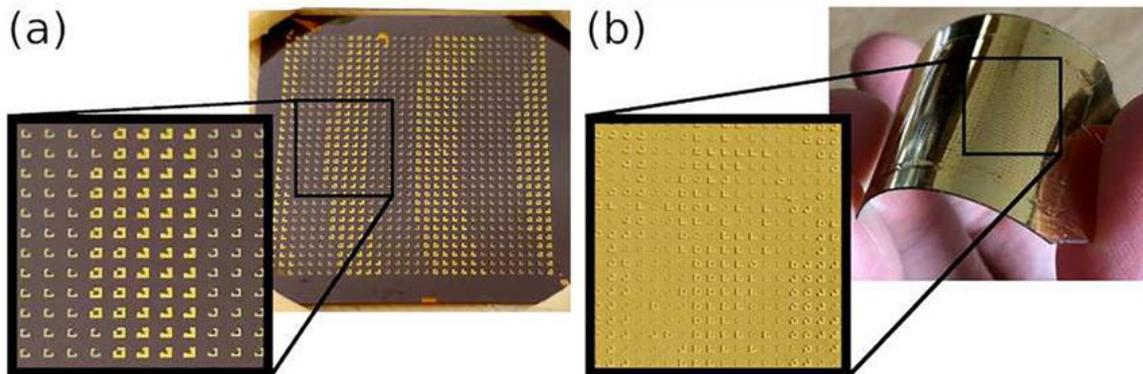


图 1 矩形开口环型超表面阵列结构样品图, (a) 硅基衬底刚性结构; (b) 聚合物(PMMA)柔性衬底结构.

关键词: 超表面, 光场操控, 超透镜, 相位调制

参考文献

- 【1】 G. Zheng, H. Muhlenbernd, M. Kenney, G. Li, T. Zentgraf, and S. Zhang, Metasurface holograms reaching 80% efficiency, *Nat. Nanotechnol.* 2015, 10,308-312.
- 【2】 M. Khorasaninejad, W. T. Chen, R. C. Devlin, J. Oh, A. Y. Zhu, and F. Capasso, Metalenses at visible wavelengths: Diffraction-limited focusing and subwavelength resolution imaging, *Science* 2016, 352, 1190-1194
- 【3】 J. Burch, J. Ma, J. Wang, A. Di Falco et al., Flexible patches for mm-wave holography, *Appl. Phys. Lett.* 2019, 115 (2), 021104.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (11504139, 11504140, 11811530052), 中国博士后基金 (2017M611693, 2018T110440) 等

# 一种全小分子有机太阳能电池材料的激发态动力学

史俊清、Johannes Gierschner, Larry Lüer 等

西北工业大学柔性电子研究院, 西安 710072

Email: [shi.junqing@nwpu.edu.cn](mailto:shi.junqing@nwpu.edu.cn)

近几年基于新型有机小分子给体或/和非富勒烯受体材料的太阳能电池飞速发展, 短短几年时间内能量转换效率已达到 10-13%, 可以比拟同类型的有机聚合物器件, 并在稳定性、材料结构可调控性、纯化成本等方面更具优势<sup>[1]</sup>。为了明确这一新兴的用小分子替代聚合物供体或/和富勒烯受体的半/全小分子太阳能电池具有哪些区别于传统有机聚合物电池的特点及材料设计空间如何, 我们需要对小分子光伏体系的工作机理和构性关系进行探究。我们选择了一个全小分子高效光伏材料体系 (供体, D: p-DTS(FBTTh<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, 受体, A: NIDCS-MO<sup>[2]</sup>) 作为对象, 采用光谱手段-显微镜技术-理论/量化计算相结合的方法定性/定量了激发态的各个光物理失活过程, 阐明了区别于聚合物体系, 小分子给受体间/内偶合作用弱导致激子扩散速度缓慢, 而在这种不利情况下小分子特有的高结构纯度使得与激子扩散竞争的激子淬灭过程速度更慢, 从而最终给出较高的能量转换效率<sup>[3]</sup>。这一工作对开发新型有机太阳能电池材料体系提供了理论基础和设计指导。

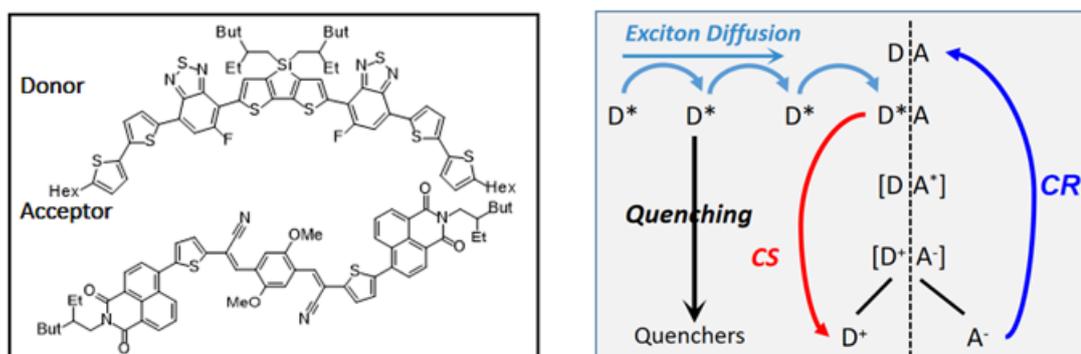


图 1 供体与受体分子的化学结构; 基于此供受体的太阳能电池活性层的光伏基元过程

关键词: 有机太阳能电池 非富勒烯小分子 光物理动力学

参考文献

- 【1】 B. Kan *et al*, Solution-Processed Organic Solar Cells Based on Dialkylthiol-Substituted Benzodithiophene Unit with Efficiency near 10%, *J. Am. Chem. Soc.*, 2014, 136, 15529.
- 【2】 O K. Kwon *et al*, An All - Small - Molecule Organic Solar Cell with High Efficiency Nonfullerene Acceptor, *Adv. Mater.*, 2015, 27, 1951-1956.
- 【3】 J. Shi *et al*, Designing high performance all-small-molecule solar cells with non-fullerene acceptors: comprehensive studies on photoexcitation dynamics and charge separation kinetics, *Energy Environ. Sci.*, 2018, 11, 211.

## 基于等离激元共振的高强度低阈值激光器

吴亚南、王俊俏\*

郑州大学物理学院, 郑州 450002

Email: junqiaowang@zzu.edu.cn

**摘要:** (摘要正文, 纳米激光器作为纳米级相干光源, 在生物医学传感、成像、光通信、超快光谱等领域有着广泛的应用。在本文的理论计算工作中, 我们利用一个基于等离激元共振的结构来设计一个具有高强度低阈值的激光器。所述结构由金膜衬底和具有对称性的金圆盘阵列组成, 即传播表面等离激元结构与局域表面等离激元结构的组合, 可以产生两种等离激元共振模式。通过选择适当的增益介质, 可以激发不同的等离激元共振模式, 得到不同波长的激光输出, 并且激光器的阈值较低。经过进一步计算, 与局域表面等离激元共振结构的激光器相比, 传播表面等离激元与局域表面等离激元共振结构的激光器有高出 80 倍的激光输出强度。

**关键词:** 等离激元; 纳米激光器; 阈值

### 参考文献

- 【1】 Stockman, Spasers explained, *Nat. Photonics*. 2008, 2, 327.
- 【2】 Wang, J *et al.*, Theoretical investigation of a multi-resonance plasmonic substrate for enhanced coherent anti-Stokes Raman scattering, *Optics Express*. 2017, 25(1), 497.
- 【3】 Kelly, K *et al.*, The Optical Properties of Metal Nanoparticles: The Influence of Size, Shape, and Dielectric Environment, *J. Phys. Chem. B*. 2003, 107, 668–677.
- 【4】 Z. Y. Li *et al.*, Metal nanoparticles with gain toward single-molecule detection by surface-enhanced Raman scattering, *Nano Lett.* 2009, 10, 243–9.
- 【5】 P.Ding *et al.*, Low-threshold resonance amplification of out-of-plane lattice plasmons in active plasmonic nanoparticle arrays, *Journal of Optics*. 2014, 16(6), 065003.
- 【6】 Stockman, The spaser as a nanoscale quantum generator and ultrafast amplifier, *J. Opt.* 2010, 12, 024004.
- 【7】 H, Zhang *et al.*, Surface plasmon amplification characteristics of an active three-layer nanoshell-based spaser, *Appl. Phys.* 2012, 112, 074309.
- 【8】 S. Y. Liu *et al.*, Efficient surface plasmon amplification from gain-assisted gold nanorods, *Opt. Lett.* 2011, 36, 1296–8.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (NO. 61505178) 等

# 调整等离子体 T 形二聚体与纳米线负载的光学响应以改善 SERS 和传感应用

任梦珂、王俊俏\*

郑州大学物理学院, 郑州 450002

Email: junqiaowang@zzu.edu.cn

摘要: 近年来, 基于等离子体激元的一系列结构已被设计和应用于表面增强拉曼基板, 传感器, 完美的光吸收等领域。本文提出了一种纳米天线对与 T-二聚体相互耦合的结构。与单一的 T 型二聚体相比, 消光光谱在 TD / NL 结构中分裂形成两个峰 (亮模式和暗模式)。数值结果表明, 暗模式的场增强效果是单一 T 型二聚体的 3 倍, 传感更是高达 1083 nm / RIU。为了获得更窄的带宽和更高的品质因数, 我们改变纳米天线对的长度参数, 观察消光谱和场增强效应, 这在 SERS 和传感器中表现出良好的特性。

关键词: 等离激元 表面增强拉曼散射 传感器

参考文献

- 【1】Moskovits M Surface-enhanced Raman spectroscopy: a brief retrospective. *J. Raman Spectrosc.* 2005, 36485 - 96
- 【2】M Mayer K M and Jason H H Localized surface plasmon resonance sensors. *Chem. Rev.* 2011, 1113828 - 57
- 【3】Landy N I, Sajuyigbe S, Mock J J, Smith D R and Padilla W J Perfect metamaterial absorber. *Phys. Rev. Lett.* 2008, 100207402
- 【4】Dorfmueller J, Vogelgesang R, Khunsin W, Rockstuhl E C and Kern K Plasmonic nanowire antennas: experiment, simulation, and theory. *Nano Lett.* 2010, 103596 - 603
- 【5】Wang J Q, Yuan B H, Fan C Z, He J N, Ding P, Xue Q Z and Liang E J. A novel planar metamaterial design for electromagnetically induced transparency and slow light. *Opt. Express.* 2013, 2125159 - 66
- 【6】Jiang W X, Luo C Y, Mei Z L and Cui T J. An ultrathin but nearly perfect direct current electric cloak. *Appl. Phys. Lett.* 2013, 102014102
- 【7】Hunt J, Driscoll T, Mrozack A, Lipworth G, Reynolds M, Brady D and Smith D R. Metamaterial apertures for computational imaging. *Science.* 2013, 339310 - 3

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11104252)

# 基于种子激光器+光纤放大器及单次穿过 PPLN 晶体频率变换实现 780 nm 和 852 nm 单频激光

张孔, 何军, 王军民\*

量子光学与光量子器件国家重点实验室 (山西大学),  
山西大学光电研究所, 山西, 太原, 030006

\* Email: [wwjjmm@sxu.edu.cn](mailto:wwjjmm@sxu.edu.cn)

**摘要:** 我们在实验中利用一套激光系统, 同时实现 780 nm 与 852 nm 激光输出, 其对准铷铯原子的  $D_2$  线, 可同时完成铷原子(Rb)和铯原子(Cs)激光冷却和操纵, 并且该系统在 Rb-Cs 双组份干涉仪和光缔合铷铯聚合物方面有很大的应用前景。首先, 我们将 1560 nm 激光单次穿过两块 PPMgO:LN 晶体产生 780 nm 倍频光, 当输入 1560 nm 激光功率为 5.3 W 时, 可以得到 634.0 mW 的 780 nm 倍频光, 倍频效率为 12.0 %。然后我们将 1878 nm 激光与另一部分 1560 nm 激光注入 PPMgO:LN 晶体中, 可以得到 270.0 mW 的 852 nm 和频光, 和频效率为 4.1%。实验中我们通过使用不同焦距的匹配透镜来优化和频光输出。此外, 780 nm 和 852 nm 激光的连续可调谐范围至少为 6.8 GHz 和 9.2 GHz。由于没有腔的结构, 激光的连续调谐范围仅受限于基频光。该激光系统非常紧凑、牢固, 可以在实验室以外的恶劣环境中工作。

**关键词:** 光纤放大器; 倍频; 和频; 铷原子  $D_2$  线 (780 nm); 铯原子  $D_2$  线 (852 nm)

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No.11774210)

参考文献:

- [1] Kong Zhang and Junmin Wang “Efficient single-pass third-harmonic generation at 520 nm for pumping doubly -resonant OPO” *J.Mod.Opt.*, **64**(15), 1510-1518 (2017)
- [2] 张孔, 白建东, 何军, 王军民 “激光线宽对单次通过 PPMgO:LN 晶体倍频效率的影响” *物理学报*, **65**(7), 074207 (2016)
- [3] Kong ZHANG, Jun HE, Junmin WANG, “Compact single-pass laser frequency conversion to 852.3 nm and 780.2 nm based on PPMgO:LN bulk crystals and single-frequency diode-laser-seeded fiber amplifiers”, *arXiv:1811.03799v2* (2018)

## 基于双波导耦合的高灵敏度表面等离子激元共振传感器

贺梦冬、鲁登云、曹霞、李建波、许梁

中南林业科技大学理学院、材料表界面科学与技术湖南省重点实验室, 长沙 410004

Email: [mengdonghe@csuft.edu.cn](mailto:mengdonghe@csuft.edu.cn)

摘要: 近二十年来, 表面等离子激元共振传感器 (简称 SPR 传感器) 凭借其探测折射率微小变化的能力, 已成为表征化学分子以及活性细胞的重要平台。同时, 由于 SPR 传感器的可靠性以及实时和无标签测量功能, 使其成为了研究生物分子相互作用的强有力工具。随着生物化学技术的快速发展, 人们对 SPR 传感器的性能 (如灵敏度与分辨率等) 提出了更高的要求, 但传统 SPR 传感器由于其较高的固有损耗难以满足要求。如何有效提高灵敏度已成为当前 SPR 传感器领域研究的前沿热点问题。

课题组团队设计了基于双波导耦合的高灵敏度 SPR 传感器, 该传感器的优势在于既可探测液体, 又可监测气体折射率的变化。反射谱中出现了两个由表面等离子激元模与波导模耦合形成的尖锐的 Fano 共振低谷, 两 Fano 共振对液体与气体传感介质的成像灵敏度分别可达到  $9.143 \times 10^3$ 、 $9.098 \times 10^3$  RIU<sup>-1</sup>, 与目前已报道的 SPR 传感器最好结果不相上下。此外, 我们还发现, 设计的 SPR 传感器能适应于较宽的传感介质折射率范围, 波导层厚度能有效调控 Fano 共振位置与成像灵敏度的品质因数。研究结论为今后研发高灵敏度、多功能 SPR 传感器提供了理论基础。

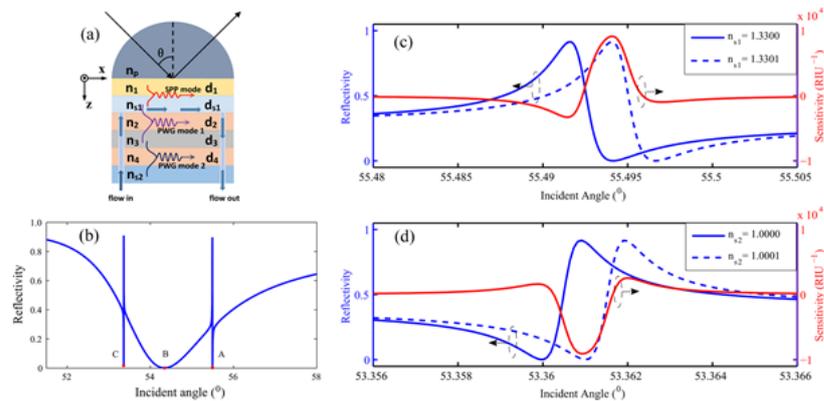


图 1 (a) 波导耦合型 SPR 传感器结构示意图。(b) 反射率随入射角的变化情况。A (c) 与 C (d) 点附

近 Fano 共振由于折射率增加而发生的移动以及共振附近的成像灵敏度。

关键词: 表面等离子激元模 波导模 传感器 耦合 Fano 共振

参考文献:

- 【1】 Y. Zeng *et al.*, Recent Advances in Surface Plasmon Resonance Imaging, *Nanophotonics* 2017, 6 (5), 1017.
- 【2】 B. Ruan *et al.*, Fano Resonance in Double Waveguides with Graphene for Ultrasensitive Biosensor, *Opt. Express* 2018, 26 (13), 16884.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 11764018), 湖南省自然科学基金项目 (No. 2019JJ40533)。

## 谐振面在无线能量传输系统中的应用

董丽娟、石泰峡、刘艳红、邓富胜、石云龙

山西大同大学固体物理研究所，大同 037009

Email: [donglijuan\\_2012@163.com](mailto:donglijuan_2012@163.com)

摘要：本文将谐振面引入无线能量传输系统，用于提升无线能量传输（Wireless power transfer）的传输性能。谐振面由双面覆铜板单面刻蚀、过孔导通和贴片电容焊接后得到。谐振面的等效电容和电感分别集中于贴片电容和覆铜表面，故谐振面的等效电容值和电感值的稳定性优于线圈的等效电容值和电感值，从而谐振面有较稳定的谐振频率。仿真和实验研究表明，引入谐振面的无线能量传输系统的峰值频率明显比未引入谐振面的无线能量传输系统的峰值频率稳定；引入谐振面的多谐振子无线能量传输系统的近强耦合区的频率分裂得到抑制；引入谐振面的三线圈无线能量传输系统的效率随距离增大而下降的趋势减缓；同时引入谐振面的三线圈无线能量传输系统的效率得到提升，相对两线圈无线能量传输系统的效率在 5 cm 处透射系数提高了 43%（实验值），相对三线圈无线能量传输系统的效率在 5 cm 处透射系数提高了 13%（实验值）。谐振面结构简单、可复制性好且引入无线能量传输系统后便于集成。将谐振面引入无线能量传输系统可以提升系统传输效率和频率稳定性。

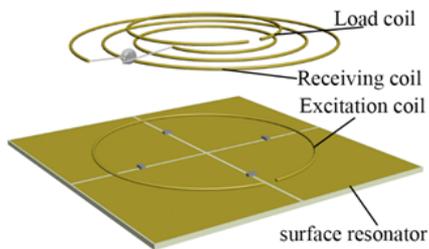


图 1 引入谐振面的三线圈无线能量传输系统

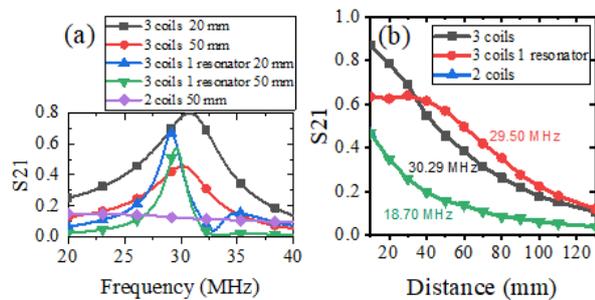


图 2 (a) 效率-频率图 (b) 效率-距离图

关键词：谐振面 人工微结构材料 无线能量传输

参考文献

- 【1】 M. Song *et al.*, Wireless power transfer inspired by the modern trends in electromagnetics, *APPL. PHYS. REV.* 2017, 4 (2) 021102.

基金项目：国家自然科学基金项目（NO. 11874245），微结构功能材料山西省科技创新团队（NO. 201805D131006）

## 金属纳米结构及其对氧化锌微米线发光的调制

阚彩侠、冒王琪、姜明明

南京航空航天大学理学院, 南京 211106

Email: cxkan@nuaa.edu.cn

**摘要:** 结构和特性稳定的贵金属纳米结构在光学、光电子、生物医学等领域备受关注。在外场激发下, 一方面, 金属纳米结构能够将光场局域在纳米级尺度范围内, 另一方面, 金属纳米结构也能够将吸收的能量借助于表面等离子体消逝波场以非辐射形式衰减而转化成热电子。氧化锌作为一种宽带隙半导体材料 ( $E_g=3.37$  eV), 是室温下实现高效的紫外激光的候选材料之一。通过 Ga 等掺杂, 其禁带宽度可调节到 2.30 eV。然而, 随组分元素含量的增加所带来的诸多问题, 如晶格失配、缺陷态增加等, 极大的影响了半导体材料的结晶质量、发光效率和光学性质的进一步调制。

当金纳米结构表面等离子体诱导所产生的热电子将处于非平衡状态时, 能够直接注入到近邻的半导体微纳结构中, 形成新的态填充。同时, 当发光频率与金属纳米结构等离子体共振频率匹配时, 形成 SP 共振, 载流子寿命降低。因此, 金纳米结构的修饰不仅实现对发光波长的可调, 而且提高半导体发光材料的发光强度。本工作在金属纳米结构的基础上, 制备了 Au 纳米棒@ZnO:Ga 微米线复合结构, 研究了该复合结构的光电特性。研究发现: 金属纳米结构的表面等离子体共振主导了该复合结构电致发光的特征, 该发光的物理机制并不来自于金属表面等离子体共振增强, 而是金属纳米结构和 ZnO 微米线之间的一种非辐射模式的能量转移。Au 纳米棒所诱导的非平衡态的热电子在宽禁带半导体微纳结构为基础所构筑的光电子器件中有着很重要的功能。

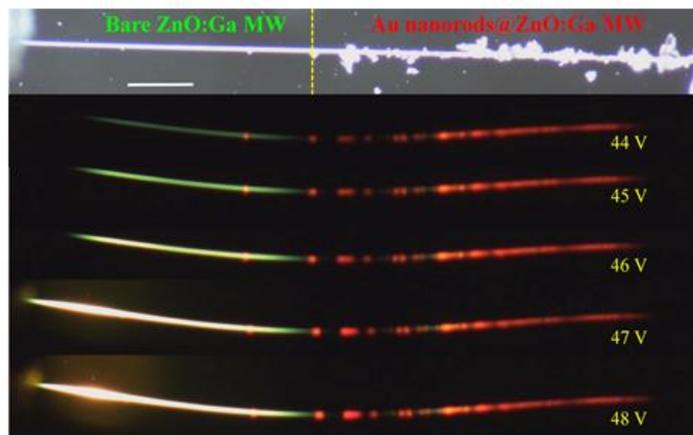


图 1 一端修饰 Au 纳米棒的 ZnO:Ga 微米线发光图

**关键词:** 金属纳米结构、等离子体、氧化锌微米线、电致发光

**资助项目:** 国家自然科学基金 (11774171, 11874220)

### 参考文献

- [1] Ni *et al*, Alloyed Au-Ag nanorods with desired plasmonic properties and stability in harsh environments, *Photon. Res.*, 2019, <https://doi.org/10.1364/PR.99.099999>.
- [2] Jiang *et al*, Wavelength-Tunable Waveguide Emissions from Electrically Driven Single ZnO/ZnO:Ga Superlattice Microwires, *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2019, DOI:10.1021/acsami.9b00851.

# Plasmonic nanoantenna–dielectric nanocavity hybrids for ultrahigh local electric field enhancement

Yan-Hui Deng, Zhong-Jian Yang, Jun He

中南大学

A dielectric nanostructure with a high refractive index can exhibit strong optical resonances with considerable electric field enhancement around the entire structure volume. Here we show theoretically that a dielectric structure with this feature can boost the local electric field of a small plasmonic nanoantenna placed nearby. We construct a hybrid system of a plasmonic nanoantenna and a dielectric nanocavity, where the nanocavity is a concentric disk–ring structure with a lossless material  $n = 3.3$  and the nanoantenna is a gold nanorod dimer. The resonant electric field enhancement at the gap center of the antenna in the hybrid structure reaches more than one order of magnitude higher than that of the individual antenna. The dielectric structure plays two roles in the hybrid system, namely the amplified excitation field and an environment causing the redshift of the antenna resonance. The hybrid configuration is applicable to the cases with various geometries and different materials of the hybrid system. Our results can find applications in enhanced nanoscale light-matter interactions such as surface-enhanced Raman scattering, nonlinear optics and plasmon-exciton couplings.

## 基于介质超构表面的太赫兹波束偏转器

洪孝荣、冯帅\*、陈笑、郭红莲、李传波、王义全

中央民族大学理学院, 北京 100081

Email: fengshuai75@163.com

**摘要:** 超构表面是一种由亚波长尺度单位元胞构成的可实现对光任意操控的超薄二维人工材料。利用单位元胞可与入射光波发生的偶极子共振, 可实现对光振幅和相位的良好调制 [1]。目前, 基于超构表面结构简单以及轻、薄的特点, 研究者们已经实现了对应的多类应用。太赫兹 (Terahertz, THz) 辐射是一种频率介于红外光和微波之间的电磁波, 其在电磁波谱中所特有的特点而受到研究者的青睐。近几十年来, 在太赫兹波产生以及探测上的研究已较为成熟, 但对于系统中间环节的太赫兹器件, 因其结构的复杂性和体积大等劣势而给器件性能带来影响。最近, 研究者利用超构表面实现了太赫兹波段的波束偏转器 [2]。但是, 该解决方案利用的是金属谐振基元, 从而不可避免地存在较大的欧姆损耗, 使工作效率大打折扣; 此外, 单位元胞的非完全对称给偏转波束带来了偏振转化。我们提出了一种由全相位调制 (约  $2\pi$ ) 的亚波长硅柱谐振基元构成的透射式太赫兹超构表面。基于谐振基元与入射太赫兹波发生偶极子共振而获得出射波相位梯度, 获得了支持带宽为 0.3 THz 的宽带太赫兹波束偏转器。其中, 单位元胞调制的透射率在 94% 以上, 可见器件实现了高效工作; 且由于单位元胞内任何两个交叉垂直方向的相位延迟相等, 故该偏转器对入射波无偏振转化现象。此器件为太赫兹系统的改进提供了新的途径。

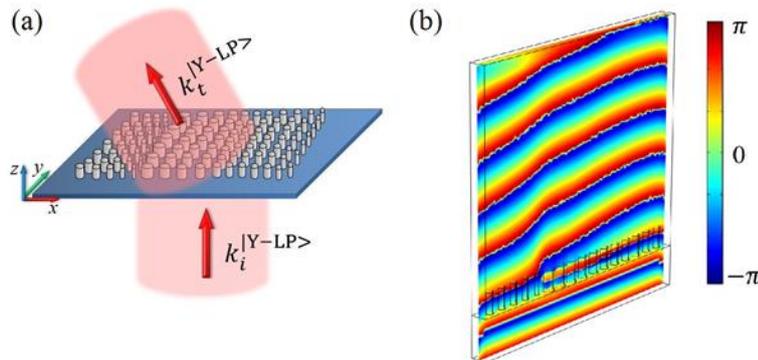


图 1 (a)超构表面对太赫兹波束偏转的原理示意图; (b)入射波频率为 1.0 THz 下的偏转相位分布

关键词: 波束偏转器; 介质超构表面; 太赫兹辐射

参考文献

- 【1】 N. Yu *et al.*, Light propagation with phase discontinuities generalized laws of reflection and refraction, *Science* 2011, 334 (6054), 333.
- 【2】 X. Su *et al.*, Active metasurface terahertz deflector with phase discontinuities, *Opt. Express* 2015, 23 (21), 27152.

**基金项目:** 国家自然科学基金 (No.61775244, 61675238, 11374378)

## 轨道角动量模式在阶跃型少模光纤中的传播特性

王周祥、谢语晨、黄双印、周寒、涂成厚、李勇男、王慧田

南开大学物理科学学院, 天津 300071

Email: [htwang@nju.edu.cn](mailto:htwang@nju.edu.cn)

摘要: 近年来, 随着互联网、云计算、大型数据中心和物联网应用的快速发展, 对网络带宽的需求呈现出急剧增长趋势, 利用光纤通信将成为解决网络数据流急剧增长的关键。然而, 随着波分复用 (WDM)、频分复用 (FDM)、时分复用 (TDM) 等技术的不断发展和进步, 单模光纤的非线性效应加剧, 已逐渐接近非线性香农极限。因此, 光纤通信的扩展需要基于空间维度的空间分复用 (SDM)。在自由空间和光纤通信方面, 空分复用 (SDM) 已被证明是一种很有前途的方法 [1-3]。作为 SDM 的分支, 模分复用 (MDM) 可以使用许多模式作为基, 其中轨道角动量 (OAM) 模式是一种受到广泛关注的特殊模式基 [4]。但是目前工作所用的光源是相干性很好的通信波段, 并且使用的光纤是定制的。本文将中心波长 810 nm, 重复频率 80MHz, 频谱半高宽约 7nm, 并携带 OAM 的飞秒激光耦合进两种常见的商用阶跃型光纤中, 研究 OAM 在其中的传输特性, 光路如图 1 所示。我们通过投影测量等方式对传输性质进行分析并给出理论解释。进而根据传输性质提出了一种无需多入多出数字信号处理 (MIMO-DSP) 就能识别出入射光携带的拓扑核的方法。这对于用自发参量下转换产生的光作为光源和商用光纤进行信息传输, 并以 OAM 为自由度的高维量子信息实验具有重要的指导意义。

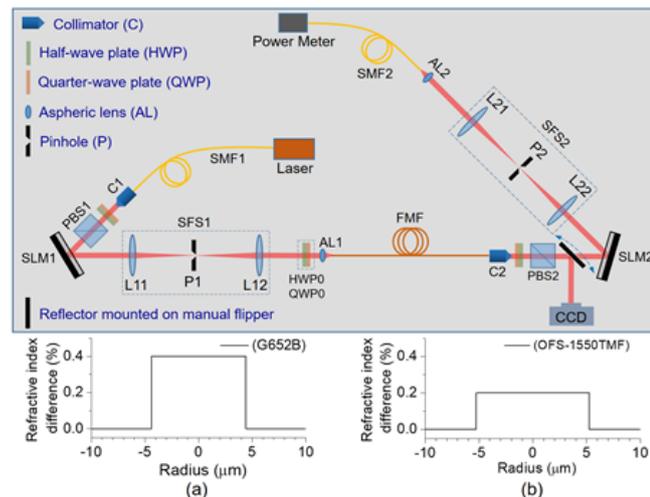


图 1 实验光路图以及所用光纤折射率分布

关键词: 轨道角动量 (OAM)、少模光纤 (FMF)、模分复用 (MDM)

参考文献:

【1】D. J. Richardson, J. M. Fini, and L. E. Nelson, "Space-division multiplexing in optical fibres," *Nat. Photonics* **7**, 354--362 (2013).

【2】 G. Li, N. Bai, N. Zhao, and C. Xia, “Space-division multiplexing: the next frontier in optical communication,” *Adv. Opt. Photon.* **6**, 413--487 (2014).

【3】 G. Milione, M. P. J. Lavery, H. Huang, Y. Ren, G. Xie, T. A. Nguyen, E. Karimi, L. Marrucci, D. A. Nolan, R. R. Alfano, and A. E. Willner, “ $4 \times 20$  Gbit/s mode division multiplexing over free space using vector modes and a q-plate mode (de)multiplexer,” *Opt. Lett.* **40**, 1980--1983 (2015).

【4】 H. Huang, G. Milione, M. P. Lavery, G. Xie, Y. Ren, Y. Cao, N. Ahmed, T. An Nguyen, D. A. Nolan, M.-J. Li, M. Tur, R. R. Alfano, and A. E. Willner, “Mode division multiplexing using an orbital angular momentum mode sorter and MIMO-DSP over a graded-index few-mode optical fibre,” *Sci. Rep.* **5**, 14931 (2015).

**基金项目:** National key R&D Program of China (2017YFA0303800, 2017YFA0303700), the National Natural Science Foundation of China (11534006, 11774183, 11674184), the Natural Science Foundation of Tianjin (16JCZDJC31300), and 111 Project (B07013).

## 十二烷基苯磺酸钠对若丹明 B 水溶液激光辐射的影响

李东阳 欧永雄 张远宪\* 普小云

云南大学物理与天文学院, 昆明 650091

Email: zyx74635@163.com

**摘要** 为了提高染料分子水溶液的荧光量子产率, 本文采用向若丹明B(RhB)水溶液中加入表面活性剂十二烷基苯磺酸钠(sodium dodecyl benzene sulfonate, SDBS)的方法, 消除荧光染料水溶液分子间的缔合作用, 从而降低其激光阈值。将单一折射率( $n = 1.458$ )的石英裸光纤植入由聚二甲基硅氧烷(PDMS)制成的基片微流道中, 以不同浓度SDBS与RhB组成的混合水溶液作为激光增益介质, 采用沿光纤轴向消逝波抽运方式。首先以波长为532 nm的连续波激光器作为激励源, 研究了SDBS对RhB水溶液荧光强度的影响。然后以波长为532 nm的脉冲激光作为抽运光, 借助SDBS增大染料分子的有效吸收面积从而降低其激光阈值, 实现了RhB水溶液的激光辐射。利用表面活性剂可解聚二聚体和多聚体, 从而产生低阈值的激光辐射, 为RhB作为探针在生物化学水溶液检测领域的应用带来一些启示。

**关键词:** 若丹明 B 十二烷基苯磺酸钠 激光阈值

**基金项目:** 国家自然科学基金(批准号: 61465014)、云南省中青年学术和技术带头人(后备人才)(批准号:2018HB029)

## 基于光场的高光谱图像深度估计

刘晓旻\*、杜梦珠、朱云飞、陈澎勃、齐欣

郑州大学物理学院, 郑州 450002

Email: [liuxmamara@zzu.edu.cn](mailto:liuxmamara@zzu.edu.cn)

**摘要:** 光谱信息与深度信息是描述场景光谱特征与三维特性的两个重要信息。在传统的数字成像技术中, 通常不能同时获得场景的光谱和深度两个维度的信息, 因此将光谱成像理论与光场成像理论相结合, 设计实现了一种高光谱光场成像新系统, 以此获得场景的光谱光场数据。针对光谱光场深度估计过程中数据量大的问题, 我们提出利用压缩感知算法重建光谱光场数据。本论文从理论上推导了图像像素灰度的表征模型, 证明了像素的灰阶范围与入射光的波段有关。因此, 单波段下所成图像像素的灰阶范围较窄, 造成单波段光谱图像纹理信息不丰富, 深度信息存在一定程度的缺失。为解决这一问题, 利用真彩色合成算法, 将单波段光谱光场图像合成为真彩色光谱光场图像, 扩大光谱光场图像的灰阶范围, 丰富图像的纹理信息。最后, 利用本文提出的光谱光场深度估计算法, 通过融合初始深度, 置信度和边缘信息获得高光谱光场图像的深度信息。仿真实验与目标实验结果验证了理论和方法的有效性与正确性。

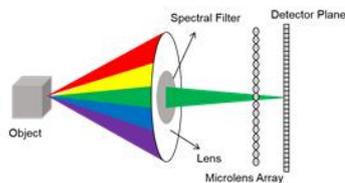


图1 高光谱光场成像系统

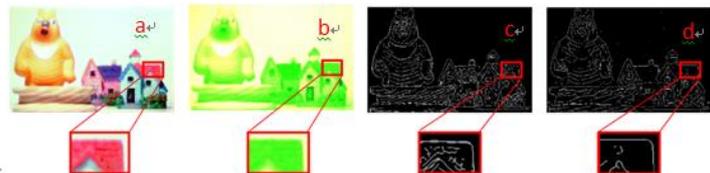


图2 真彩色光谱图像与单波段光谱图像对比图 (a) 合成的真彩色光谱图像 (b) 560nm 波段的光谱图像 (c) 图 a 的边缘检测结果 (d) 图 b 的边缘检测结果



图3 深度估计结果图。(a) 原始光谱光场中心视角图, (b) 图 a 对应的深度图, (c) 重建的光谱光场中心视角图, (d) 图 c 对应的中心视角图

**关键词:** 光谱; 光场; 压缩感知; 真彩色合成; 深度估计

**参考文献**

- 【1】 D. Scharstein and R. Szeliski, "A taxonomy and evaluation of dense two frame stereo correspondence algorithms," *Int. J. Comput. Vision* 47(1-3), 7-42(2002).
- 【2】 刘晓旻, 王晓霞, 张晓芳, 尹晓良, 张伟超, 李硕丰, 贾纪元. 一种基于光场数字重聚焦的快速三维重建方法及其系统: 中国, CN201410581347.X[P]. 2015-03-25.

**基金项目:** 国家自然科学基金(61307019)、河南省科技攻关重点项目(192102210304)、河南省科技开放合作计划项目(152106000045)

## 深紫外荧光碳点设计与其发光研究

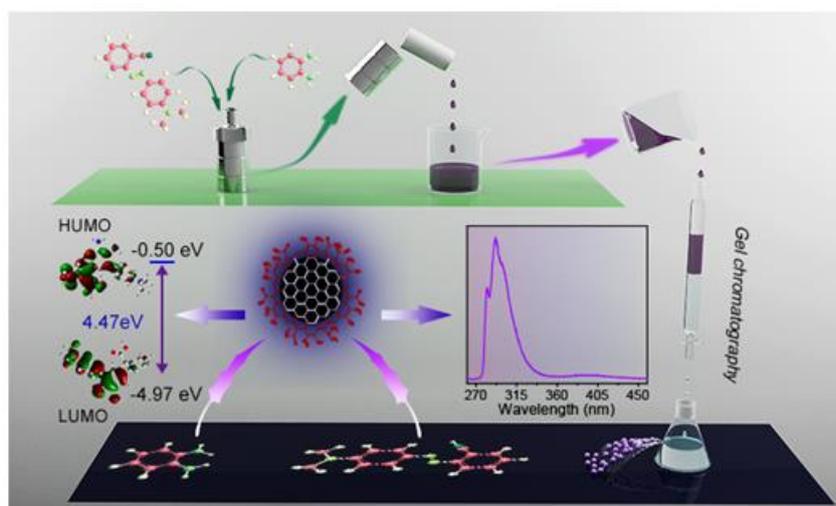
宋世玉、刘凯凯\*、尚远、单崇新

郑州大学物理学院, 河南省郑州市 450052

郑州大学智能城市研究所超级计算机中心, 河南省郑州市 450001

Email: liukaiki@zzu.edu.cn

摘要: 金刚石、石墨等碳基材料是世界上应用和研究得最广泛的材料之一。作为碳材料家族的新成员, 碳纳米点具有发光效率高、生物相容性好、材料丰富等特点, 近年来引起了人们广泛关注, 并在光电器件、传感、生物成像等领域取得了重要进展。到目前为止, 碳纳米点在蓝光、绿光以及红光波段的发光效率已经达到 90%、70%以及 86%。考虑到在深紫外光源在水净化、空气消毒、精密加工、保密通讯等领域有重要的应用前景, 而当前大部分的深紫外光源都是汞灯、氙灯以及氙灯等体积较大且易碎的气态光源, 制备具有高发光效率的发光材料对于推动固体深紫外光源有着重要的意义。在本工作中, 我们利用使用密度泛函理论, 首次通过第一原理计算设计了具有深紫外发光的结构, 并且通过实验制备了具有深紫外发光的碳点, 两者结果吻合程度一致。实验合成的碳点荧光发射范围为 280nm 至 300nm, 量子效率高达 31.6%, 且其较强的荧光发射来自于碳点内部核态 ( $\pi-\pi^*$ ) 载流子辐射复合和表面钝化。碳点的深紫外荧光发射与激发波长和环境溶剂无关, 表现出优异的稳定性。另外, 基于以碳点为光转换层的深紫外发光二极管 (LED) 被制备, 可以作为激发光源用来激发蓝色, 绿色和红色荧光的碳点。这项工作可能为深紫外荧光发射碳纳米的设计和实现提供指导, 从而有望在深紫外发光源中应用碳纳米点。



国家自然科学基金 (51602288, U1604263, 11804307)

河南省重点科技攻关项目 (171100210600)

中国博士后基金 (2019TQ0287)

# 基于十二重准周期结构光子晶体缺陷模的高灵敏度生物传感器

周林、崔婷、冯帅\*、张晓明、李传波、郭红莲、陈笑、王义全

中央民族大学理学院, 北京 100081)

Email: [fengshuai75@163.com](mailto:fengshuai75@163.com)

摘要: 近年来, 在医学诊断等领域对低浓度生化组分的快速、高灵敏度和高稳定性检测提出了越来越高的要求, 从而促进了生物传感器的迅速发展。光学生物传感器通过待检物与光的相互作用, 通过检测光的某些特性发生的变化情况来表征待测物质的变化信息[1, 2]。本文研究了二维 12 重准周期结构光子晶体缺陷模的生物传感特性。所提出的结构由硅柱排列在液体环境中组成, 含有待测样品的液体可以在硅柱之间的空隙中自由流动, 从而便于实现实时和动态检测。通过结构参数的设计与优化, 实现了液体折射率灵敏度约为  $894 \text{ nm} / \text{RIU}$ , 检测极限为  $8.75 \times 10^{-5} \text{ RIU}$  的浓度渐变型传感器。利用不同类型生物分子之间的选择性吸附, 可以将液体环境中特定类型的疾病标记物吸附在准晶缺陷体周围。下图为缺陷体所支持的四个缺陷模, 品质因子  $Q$  值高达  $1.2 \times 10^5$ , 当不同厚度蛋白质吸附在缺陷体位置时, 各个缺陷模发生不同程度的变化, 最高可以监测出  $5 \text{ nm}$  的厚度变化量。

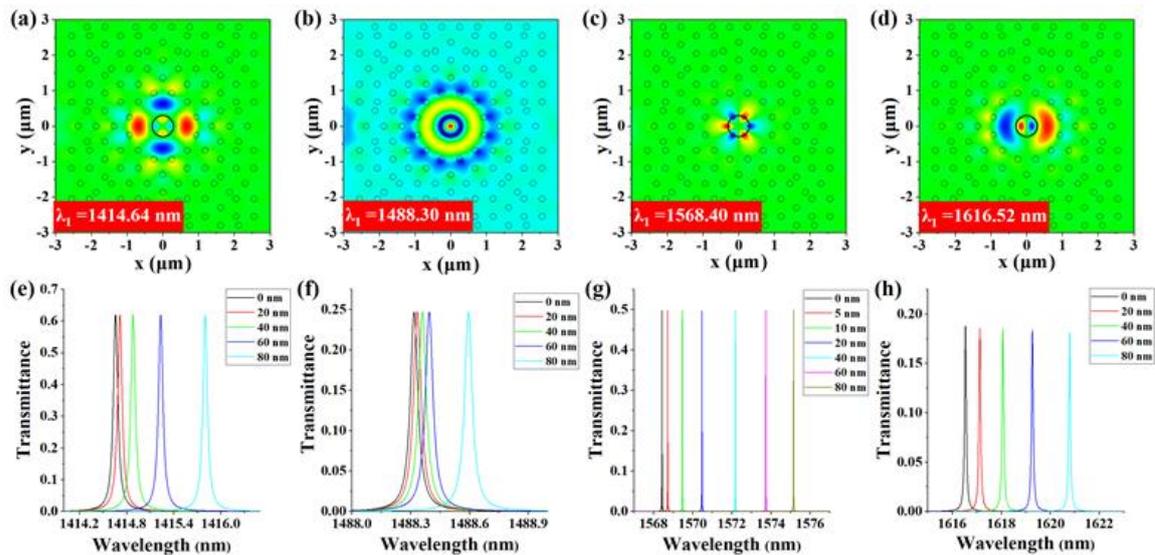


图 1 四个缺陷模的模场空间分布以及缺陷模位置及透过率随着吸附蛋白质厚度的变化图

关键词: 准周期光子晶体 缺陷模式 传感器

参考文献

【1】 Chao Wu, Xing Liu, *Shuai Feng\**, Xiao Chen, Chuanbo Li, Yiquan Wang, High-Sensitivity Silicon-Based Photonic Crystal Refractive Index Biosensor Based on Defect-Mode Coupling, *Opt. Comm.* 2018, 427: 409-417

【2】 Xiaoqing Wang, Lin Zhou, Tingting Zhao, Xing Liu, *Shuai Feng\**, Xiao Chen, Honglian Guo, Chuanbo Li, Yiquan Wang, High-sensitivity quasiperiodic photonic crystal biosensor based on multiple defective modes, *Appl. Opt.* 2019, 58: 2860-2866

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61775244, 61675238, 11374378)

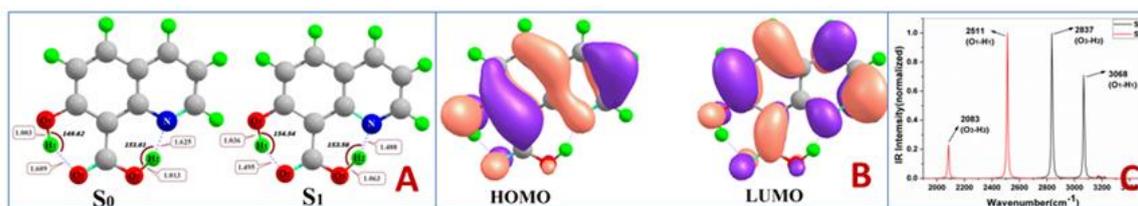
## 7-羟基喹啉-8-羧酸的激发态双质子转移过程和光谱行为研究

刘扬、杨勇刚\*、贾雪利、马千飞、赫媛媛、张莹莹、刘玉芳\*

河南师范大学物理学院, 新乡 453007

Email: yf-liu@htu.cn

摘要: 通过对 7-羟基喹啉-8-羧酸(HCA)的激发态双质子转移动力学的研究, 分析了 HCA 的激发态动力学行为以及光谱性质。在光激发到第一激发态( $S_1$ )后, HCA 分子中两个分子内氢键均加强, 引起了一个 44nm 的斯托克斯位移。理论计算的吸收光谱(322 nm)与实验结果(340 nm)是吻合的。计算的红外光谱显示, 与氢键相关的两个 O-H 官能团的振动峰均发生红移, 说明了两个氢键在激发态加强。前线分子轨道和空穴/电子分布表明, HCA 的  $S_1$  态是电荷转移态。电荷在第一激发态的重新分布诱导了氢键的加强, 促进质子转移的发生。从前线分子轨道可以看出, HOMO 轨道属于  $\pi$  型轨道, LUMO 轨道属于  $\pi^*$  型轨道, 表明第一激发态具有  $\pi\pi^*$  特性。基态( $S_0$ )和  $S_1$  态的势能面扫描结果表明质子转移反应在  $S_1$  态是一个有利的能量过程。通过势垒分析, HCA 的激发态双质子转移过程通过先从羧基转移到吡啶氮上(几乎无势垒)的逐步转移路径进行, 随后发生第二步质子转移。双质子转移结构通过辐射荧光的方式回到基态, 在辐射跃迁回基态后, HCA 发生发质子转移过程, 回到基态的初始结构。为了进一步的分析 HCA 的反应路径, 我们还计算了 HCA 的激发态绝热动力学, 结果显示羧基上的 O<sub>3</sub>-H<sub>2</sub> 键在激发态先发生断裂, 发生质子转移反应。这与势能面扫描的结果是吻合的。



图一: A 基态激发态优化结构, B 前线分子轨道, C 红外振动光谱

关键词: 激发态 分子内双质子转移 氢键 势能面 动力学

参考文献

- 【1】 Y. G. Yang *et al.*, Hydrogen bond strengthening induces fluorescence quenching of PRODAN derivative by turning on twisted intramolecular charge transfer, *Spectrochim. Acta. A.* 2017, 187, 68-74.
- 【2】 D. Li *et al.*, The influence of hydrogen bonds on NIAD-4 for use in the optical imaging of amyloid fibrils, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017, 19, 15849-15855.
- 【3】 C. Z. Li *et al.*, A theoretical study of the potential energy surfaces for the double proton transfer reaction of model DNA base pairs, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2017, 19, 4802-4808.
- 【4】 X. L. Jia *et al.*, Theoretical study on excited state intramolecular proton transfer process of 2,5-bis(benzoxazol-2-yl) thiophene-3,4-diol, *J. Lumines.* 2017, 192, 541-546.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (NO. 11274096)

## 基于非线性微腔和光束自准直效应的高对比度光子晶体解码器

刘凯柱、冯帅\*、陈笑、郭红莲、李传波、王义全

中央民族大学理学院, 北京 100081

Email: [fengshuai75@163.com](mailto:fengshuai75@163.com)

摘要: 光子晶体是由两种或者两种以上不同介电常数的材料在空间周期性阵列而构成的一种人造结构。光波在光子晶体中受到布拉格散射从而导致了光子带隙的形成, 其特征在于某些频率范围内的光束被禁止在结构中传播。基于光子晶体, 人们已经实现了多种光学器件, 例如波导、分光器、滤波器、开关、逻辑门、编码器等等。其中光学编码器在光通信系统中发挥着重要作用, 其本质为一个多输入多输出切换器, 可将一组输入信号转换为一组输出信号[1, 2]。本文提出了一种基于环形微腔和光束自准直效应的全光光子晶体解码器。该解码器开关由一个输入波导和与不同结构参数环形微腔相连接三个输出波导组成。三束不同强度的泵浦光以自准直效应分别通过光子晶体进入各自微腔区域, 通过调节三束泵浦光的“开/关”两种状态可实现 8 种输出信号的组合方式。我们所提出的解码器工作波长位于 1629.57 nm, 泵浦光波长为 1240.00 nm。不同输出通道之间的“开”和“关”两种状态时透射率对比度最大值为 124.0, 最小值为 17.6, 所需的最小泵浦光强度仅为 0.162 W/μm, 最大值约为 0.497 W/μm。我们提出的解码器尺寸较小, 其在一定程度上对泵浦光束的入射位置和空间宽度不敏感, 便于在全光集成电路中的利用。

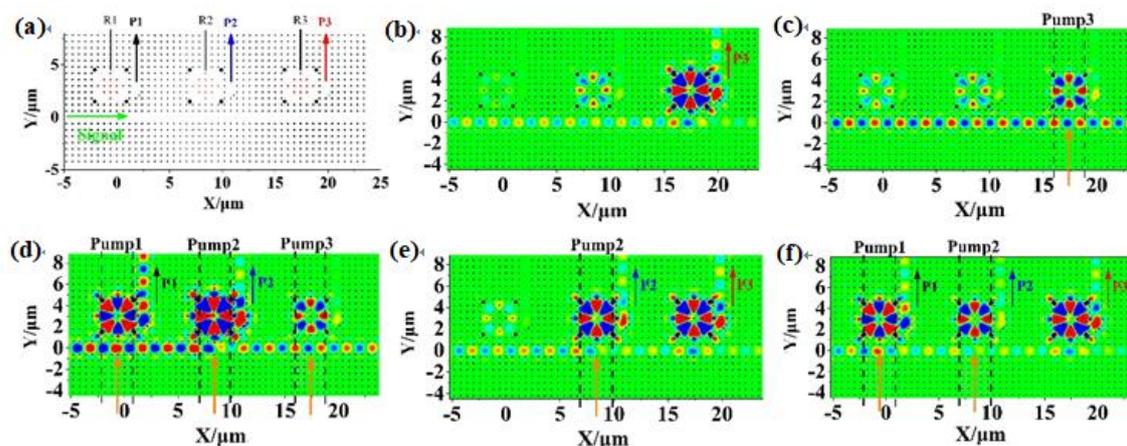


图1 光子晶体解码器结构示意图以及不同泵浦光工作状态时的输出光强分布。

关键词: 光子晶体 解码器 全光集成 泵浦光

参考文献

- 【1】 T. Daghooghi, M. Soroosh, and K. Ansari-Asl, Ultra-fast all-optical decoder based on nonlinear photonic crystal ring resonators, *Appl. Opt.* 2018, 57(9): 2250-2257.
- 【2】 H. Alipour-Banaei, F. Mehdizadeh, S. Serajmohammadi, M. Hassangholizadeh-Kashtiban, A 2\*4 all optical decoder switch based on photonic crystal ring resonators, *J. Mod. Opt.* 2015, 62(6): 430-434.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (61775244, 61675238, 11374378)

## 基于压缩感知的三维重建综述

刘晓旻\*、陈澎勃

郑州大学物理学院，郑州 450002

Email: [liuxmamara@zzu.edu.cn](mailto:liuxmamara@zzu.edu.cn)

摘要：从二维图片完成场景的三维信息恢复，为了实现图片对场景的准确描述，需要使用大量的场景二维图片，从中提取场景的深度信息完成三维重建。为了显著减少所需要收集的数据信息量，以形成基本图像，减少存储与计算需求，压缩感知（Compressive Sensing）是解决问题的一种方法。压缩感知以远低于奈奎斯特频率进行采样，采用非自适应线性投影保持信号的原始结构，通过最优化问题重建原始信号。本文介绍了三种不同的使用压缩传感完成三维重建的方式，分别是使用采样率为 0.5-0.6 的逐维欠采样结果及进行逐维的重建最终完成体积重建；在多光谱图像上实现采样率为 0.3 的欠采样后，使用光度立体数据的方法完成重建以及使用掩膜欠采样得到采样率为 1/64 的结果，再进行三维被动积分完成重建，详细分析了它们的欠采样系统的设计，欠采样恢复的采用算法和结果，三维重建的效果。

关键词：压缩感知；三维重建；

参考文献：

- [1] Cho M, Mahalanobis A, Javidi B. 3D passive integral imaging using compressive sensing[J]. Optics express, 2012, 20(24): 26624-26635.
- [2] Xu D, Huang Y, Kang J U. Volumetric (3D) compressive sensing spectral domain optical coherence tomography[J]. Biomedical optics express, 2014, 5(11): 3921-3934.

**基金项目：国家自然科学基金(61307019)、河南省科技攻关重点项目(192102210304)、河南省科技开放合作计划项目(152106000045)**

## 固体高次谐波谱探测布洛赫电子相位

杜桃园

中国地质大学(武汉), 430074

Email: [duty@cug.edu.cn](mailto:duty@cug.edu.cn)

摘要: 原子和分子的高次谐波产生 (HHG) 被广泛地研究了。三步模型可以很好地理解其产生机制。最近, 固体高次谐波的产生受到特别关注, 其截止频率对激光场强的依赖性、谐波产率对晶体取向和激光椭圆偏率的依赖性, 以及谐波的多平台结构与气体系统中的高次谐波产生机制不同。固体高次谐波产生的机制一直备受争议。在这里, 我将分别在动量空间和实空间中呈现固体谐波产生的物理图像, 予以解释固体高次谐波的上述新特征。此外, 我将进一步讨论提取强激光场驱动下布洛赫电子动力学和几何相位的方案。

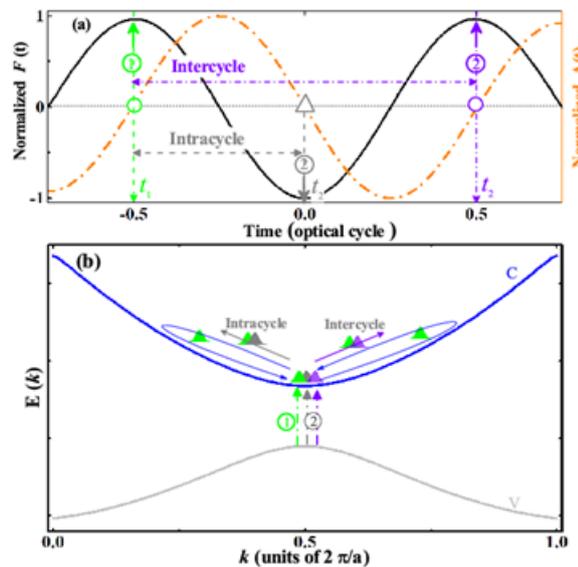


图 1 量子轨道干涉机制示意图。

关键词: 固体高次谐波; 布洛赫电子; 动力学相位; 贝利相位

资助项目: 国家自然科学基金 (11904331)

- [1] T.-Y. Du, *et al.*, "Quasi-classical analysis of the dynamics of the high-order harmonic generation from solids", *Opt. Express*, 2017, 25(1), 151-158.
- [2] T.-Y. Du, *et al.*, "High-order-harmonic generation from solids: The contributions of the Bloch wave packets moving at the group and phase velocities", *Phys. Rev. A*, 2018, 97(1), 013403.
- [3] T.-Y. Du, *et al.*, "Multichannel high-order harmonic generation from solids", *Phys. Rev. A*, 2018, 97(4), 043413.
- [4] T.-Y. Du, *et al.*, "Enhanced high-order harmonic generation from periodic potentials in inhomogeneous laser fields", *Phys. Rev. A*, 2016, 94(2), 023419.
- [5] T.-Y. Du, *et al.*, "Subcycle interference in high-order harmonic generation from solids", *Phys. Rev. A*, 2018, 98(6), 063416.
- [6] T.-Y. Du, *et al.*, "Orientation-dependent transition rule in high-order harmonic generation from solids", *Phys. Rev. A*, 2019, 99(3), 033406.

## 压缩感知物理重建光场

刘晓旻\*、朱云飞、杜梦珠、陈澎勃、齐欣

郑州大学物理学院, 郑州 450002

Email: [liuxmamara@zzu.edu.cn](mailto:liuxmamara@zzu.edu.cn)

**摘要:** 针对掩膜光场相机模型, 本文研究以压缩感知为基础, 分别基于真实掩膜、空间光调制器加载的电子掩膜实现物理重建光场。光场重建的前提是获得信号的稀疏表示, 为此通过光场样本集采用 K-SVD 算法训练获取光场过完备字典, 进而得到光场图像的理想稀疏表示。研究首先基于真实掩膜设计成像采集光路图, 并据此搭建物理光场采集平台, 实现真实掩膜到测量矩阵的变换, 通过光场过完备字典、由真实掩膜变换得到的测量矩阵、CCD 编码采样图并结合压缩感知重建算法, 实现压缩光场的物理采集与重建; 然后, 为增加掩膜的调控性并降低掩膜成本, 本文采用反射式空间光调制器(SLM)加载的电子掩膜代替真实掩膜, 该电子掩膜可以简单、便捷的调整大小、通透性等, 并通过搭建放大系统, 优化图像采集的成像效果。该研究通过优化设计, 由 1 幅编码采集图像可以获得 25 幅光场图像, 实现了以 4% 的采样率重建光场图像。与其它通过模拟仿真重建光场的方法相比, 本文先利用真实掩膜实现了重建光场的物理实现, 然后利用 SLM 加载电子掩膜对真实掩膜进行改进、优化, 且重建出了场景不同深度的遮挡视差。

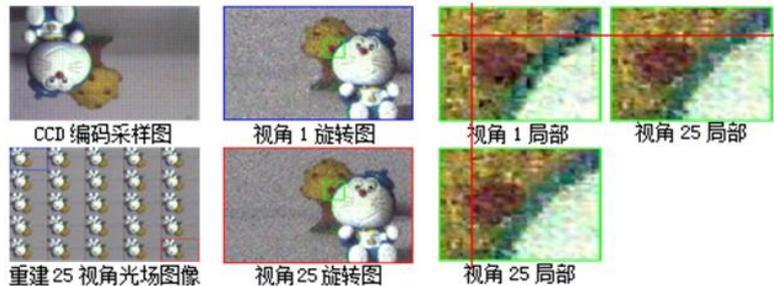


图 1 物理重建光场图像

**关键词:** 压缩感知 掩膜 K-SVD 算法 SLM 光场重建

**参考文献**

- 【1】 Gaochang W, Yebin L, Lu F, et al. Light Field Reconstruction Using Convolutional Network on EPI and Extended Applications[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2018:1-1.
- 【2】 Marwah K, Wetzstein G, Bando Y, et al. Compressive light field photography using overcomplete dictionaries and optimized projections[J]. ACM Transactions on Graphics, 2013, 32(4):1.
- 【3】 刘晓旻,马治邦,王前程,杜梦珠,朱云飞,马凤英,梁二军.压缩光场重建与深度估计[J].应用光学,2019,40(02):179-185.
- 【4】 刘晓旻,王前程,牛原野,马治邦. 压缩光场的物理重建方法[P]. 河南: CN107622515A,2018-01-23.
- 【5】 刘晓旻,牛原野,王前程,马治邦,段绍丽,梁二军. 一种多视图光谱图像的重建方法、存储介质[P]. 河南: CN109087262A,2018-12-25.

**基金项目:** 国家自然科学基金(61307019)、河南省科技攻关重点项目(192102210304)、河南省科技开放合作计划项目(152106000045)

## 用光学方法快速测量不同浓度氮肥水溶液扩散系数的研究

贺波 周志和 刘哲 普小云\*

(云南大学 物理与天文学院 云南 昆明 650032)

Email: 1171018503@qq.com

摘要: 水体富营养化主要是指在人类活动影响下,大量含氮、磷等无机盐等植物营养物质进入水库、湖泊等缓流水体,水体中营养物质增多,引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖,水中溶解氧量下降,水质恶化,水体鱼类大量死亡的现象。水体中过量的氮、磷等营养物质主要来自未加处理或处理不完全的工业废水和生活污水、有机垃圾和家畜家禽粪便以及农施化肥,其中最大的来源是农田上施用的大量化肥。农田径流携带的大量氨氮和硝酸盐氮进入水体后,改变了其中原有的氮平衡,造成严重的水体污染。扩散是氮、磷等无机盐在水中的主要迁移方式之一,因此研究氮肥(尿素,氯化铵,硫酸铵等)水溶液的扩散系数,特别是不同浓度的扩散系数,对水体富营养化的防治有重要意义。本文中以氮肥水溶液和水作为二元扩散体系,使用液芯柱透镜作为成像元件和扩散池,随着扩散进行液芯柱透镜内形成空间浓度分布,基于柱透镜焦平面成像原理,使用 CMOS 采集实验图像。根据图像宽度、折射率、溶液浓度之间的关系,可以得到氮肥水溶液的实验浓度空间分布。运用有限差分法求解 Fick 第二定律,计算与实验同时刻的浓度空间分布。通过理论计算值和实验值的对比得到液相扩散系数  $D$  和浓度  $C$  的函数关系式。为了验证得到的  $D(C)$  关系的准确性,将计算得到的  $D(C)$  关系式代入扩散的有限差分法模型中,计算不同时刻因扩散形成的折射率空间分布。根据计算结果用光线追迹法得到仿真扩散图像。仿真图像与实验图像一致,说明得到的  $D(C)$  关系式的正确性。该方法可以快速、准确地测量氮肥水溶液随浓度变化的液相扩散系数,为制订切实可行的污染控制方案提供基础参考数据。

关键词: 氮肥水溶液, 有限差分法, 随浓度变化的液相扩散系数

国家自然科学基金(61465014,11404282); 云南省教育厅科学研究基金产业化培育项目(2016CYH05)。

## 罗丹明 B 在不同溶剂中的荧光稳定性研究

欧永雄 李东阳 张远宪\* 普小云

(云南大学 物理与天文学院 云南 昆明 650091)

Email: zyx74635@163.com

摘要: 本文研究了罗丹明 B 在相同折射率的不同溶剂中的荧光稳定性。将罗丹明 B 分别溶入折射率约为 1.41 的[BMIM]PF<sub>6</sub> 离子液体溶液、水和丙三醇混合溶液以及乙二醇和乙醇的混合溶液, 以波长为 532 nm 的连续波激光器作为激励源, 采用沿光纤轴向消逝波光抽运激励染料增益的方式, 对不同溶剂的罗丹明 B 溶液的荧光辐射稳定性进行研究。实验发现, 在相同时间内, 罗丹明 B 在水和丙三醇混合溶液中的荧光强度变化幅度最大, 在乙二醇与乙醇的混合溶液中的荧光强度变化幅度次之, 在[BMIM]PF<sub>6</sub> 离子液体溶液中的荧光强度变化幅度最小, 即罗丹明 B 在[BMIM]PF<sub>6</sub> 离子液体溶液中的荧光强度最稳定。以上结果可为芯片上实验室进行生化传感实验提供一种稳定的荧光光源。

关键词: 荧光稳定性 消逝波 离子液体

基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 61465014)、云南省中青年学术和技术带头人(后备人才)(批准号:2018HB029)