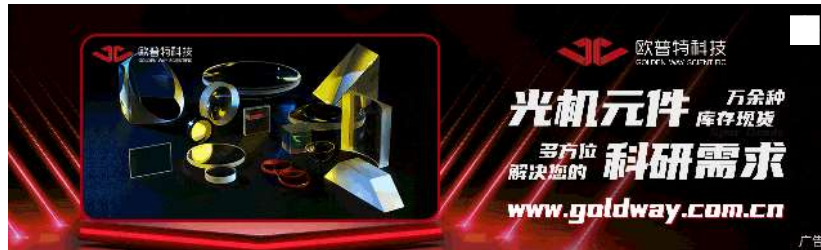


OEA封面 | 基于全介质非线性超表面的二次与三次谐波产生的增强与调控技术【伦敦大学学院、澳大利亚国立大学、哈工大（深圳）】

编辑部 光电期刊 2024年06月19日 17:12 四川



Opto-Electronic Advances

封面论文推荐

伦敦大学学院的Nicolae C. Panoiu教授团队、澳大利亚国立大学Yuri Kivshar教授团队及哈尔滨工业大学（深圳）宋清海教授团队联合报道了一种基于导模谐振和连续域束缚态的全介质非线性超表面，实现了二阶和三阶非线性光学响应的共振增强。

Opto-Electronic Advances

光电进展

May 2024 Vol. 7 No. 5

Special issue: Catenary optics and catenary electromagnetics



DOI: 10.29026/oea.2024.230186
Ji Tong Wang, Pavel Tonkaev, Kirill Koshelev,
Fangxing Lai, Sergey Kruk, Qinghai Song,
Yuri Kivshar and Nicolae C. Panoiu*



封面文章 | Wang JT, Tonkaev P, Koshelev K et al. Resonantly enhanced second- and third-harmonic generation in dielectric nonlinear metasurfaces. *Opto-Electron Adv* 7, 230186 (2024)

第一作者: 王济彤

通信作者: Nicolae C. Panoiu

[点击文章标题查看全文](#)

◀ 研究背景

非线性光学是研究光与介质相互作用时介质的光学响应与入射光强度之间的复杂非线性关系,目前非线性光学已被应用于许多领域,如激光调制、光信号处理、医学成像等。近些年来,出于对相位匹配条件和制造工艺等方面的考虑,超表面成为研究和实现新型非线性光学功能的重要平台。简而言之,超表面是一种具有周期排列的亚波长尺寸下的超薄人工表面,通过对其单元结构进行精密设计,能够实现电磁波的强度、极化和相位的精准调控。在非线性光学中,由于对光与物质相互作用的强大控制能力,对非线性信号的相位和偏振的多功能调制,在几何形状和材料成分方面的高度设计灵活性,以及集成到紧凑光学器件中的潜力,超表面也发挥着重要的作用。

最近的研究表明，基于导模谐振的全介质超表面可以实现高品质因子（Q因子）的谐振效应，因而在传感和频率转换等应用中实现有效的光学元件。然而，与光子晶体波导的导模情况不同，导模谐振可以与连续谱耦合并辐射能量。此外，连续域束缚态（BIC）提供了一种实现光与超表面之间强耦合的新方法。理想情况下，连续域束缚态与连续光谱中的辐射模式完全解耦，因此拥有无限大的辐射Q因子。由于表面粗糙、材料损耗、固有的制造缺陷和其他扰动，在实际器件中，连续域束缚态表现为具有有限Q因子的高Q谐振。重要的是，连续域束缚态的Q因子所表现出的对超表面单元结构几何不对称性的高度依赖性，让具有高Q谐振的超表面的设计更加灵活，从而可以在宽光谱范围内有效地控制光与物质相互作用的强度。在此基础上，连续域束缚态不仅在线性光学应用中得到了深入研究，包括涡旋光束生成和光导光子器件，而且还涉及大量非线性光学效应，例如高强度的谐波生成。

超表面为非线性光学的研究提供了一个有发展前景的平台，但是目前大多数的非线性超表面仅专注于单一的倍频转换，且缺乏高效调控非线性光学响应的手段。另一方面，实现局域场增强的物理机制也是获得有效频率转换的关键因素，近些年的研究表明，基于连续域束缚态的高Q谐振可以产生增强的谐波，但鲜有研究将导模谐振与连续域束缚态在同一光学器件中实现，并深度解析其物理机制的差别所引发的不同的线性与非线性光学响应。

◀ 本文亮点

针对上述问题，**伦敦大学学院的Nicola C. Panoiu教授团队、澳大利亚国立大学Yuri Kivshar教授团队及哈尔滨工业大学（深圳）宋清海教授团队**联合报道了一种基于导模谐振和连续域束缚态的全介质非线性超表面，实现了二阶和三阶非线性光学响应的共振增强。在该项工作中，研究团队借助了导模谐振和连续域束缚态的丰富物理特性来实现高Q谐振。通过打破由中心对称非晶体硅构成的超表面的单元结构对称性，连续域束缚态转变为准束缚态，从而使得连续域束缚态与连续光谱之间的耦合变得可能。在此条件下，基频谐振引发的光与物质的高强度相互作用，导致了二倍频和三倍频处的非线性极化增强，从而增强了二次和三次谐波的产生及发射。图1为该非线性超表面设计的示意图。

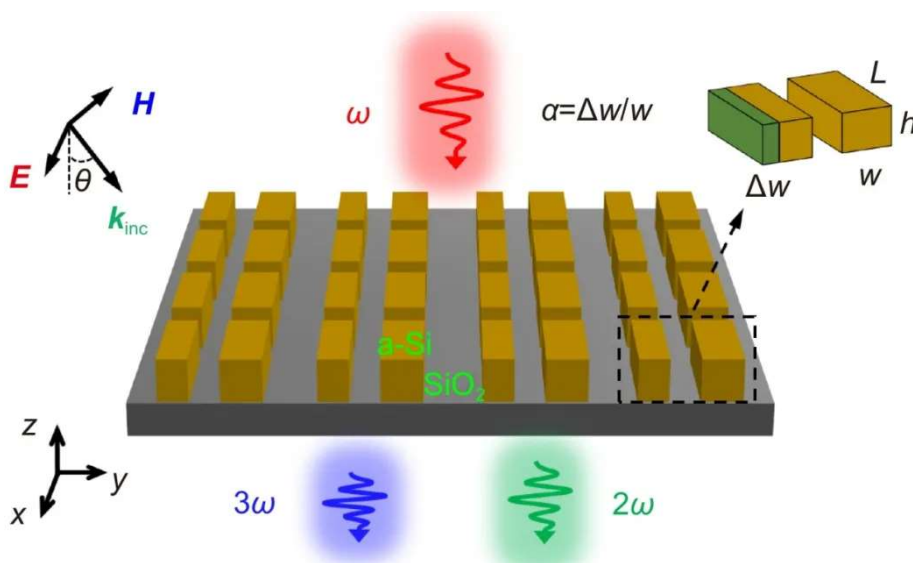


图1 基于导模谐振和连续域束缚态的非线性超表面的示意图。

文章从理论技术、数值模拟和实验测量对所提出的非线性超表面进行系统的研究。在数值计算中，二次谐波的量化及分析包括表面效应和体效应两方面，而三次谐波的产生仅通过体效应进行分析。接下来，研究人员通过实验在基频处实现了具有高Q因子的光学谐振，并观测到二倍频处约550倍的二次谐波产生增强，和三倍频处近5000倍的三次谐波产生增强。通过对比，数值分析和实验测量的结果之间具有良好的一致性。图2为二阶非线性响应的实验及仿真结果，图3为三阶非线性响应的实验及仿真结果。

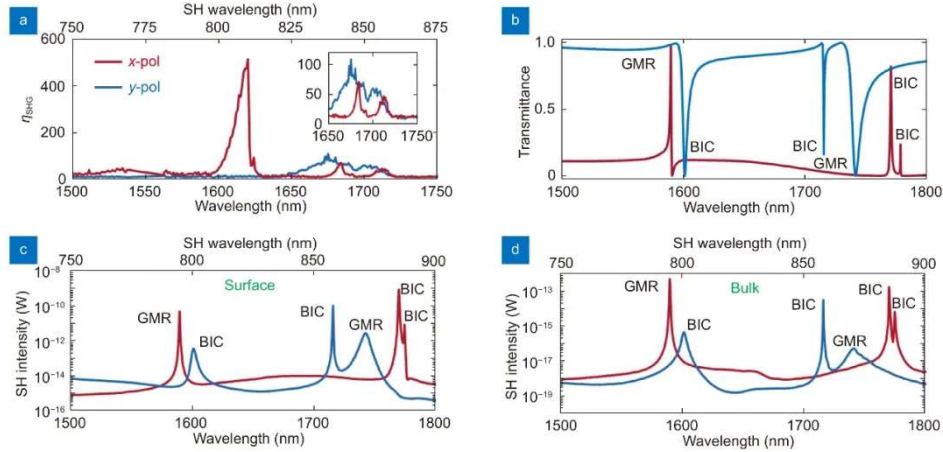


图2 实验测量的二阶非线性增强结果及对应的数值计算结果。

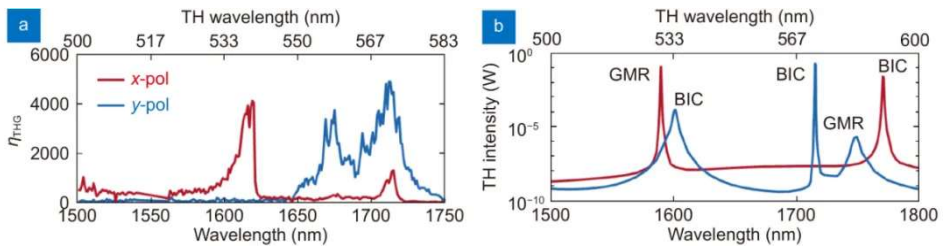


图3 实验测量的三阶非线性增强结果及对应的数值计算结果。

为了更深入地了解所研究的非线性光学过程，研究团队通过数值计算进一步研究了非线性发射与超表面单元结构不对称性之间的关系，并揭示了基于线性导模谐振和连续域束缚态的谐波信号对超表面不对称的高度依赖性。

该工作提出了一种有效的方法来增强和控制全介电超表面中的不同阶谐波的产生，在非线性光学、光子学、量子光学、光学成像和传感等领域具有广泛的应用前景。该成果以“Resonantly enhanced second- and third-harmonic generation in dielectric nonlinear metasurfaces”为题作为封面文章发表在*Opto-Electronic Advances* 2024年第5期。



DOI: 10.29026/oea.2024.230186

Resonantly enhanced second- and third-harmonic generation in dielectric nonlinear metasurfaces

Ji Tong Wang¹, Pavel Tonkaev², Kirill Koshelev², Fangxing Lai³,
Sergey Kruk², Qinghai Song³, Yuri Kivshar² and Nicolae C. Panoiu^{1,4*}

Nonlinear dielectric metasurfaces provide a promising approach to control and manipulate frequency conversion optical processes at the nanoscale, thus facilitating both advances in fundamental research and the development of new practical applications in photonics, lasing, and sensing. Here, we employ symmetry-broken metasurfaces made of centrosymmetric amorphous silicon for resonantly enhanced second- and third-order nonlinear optical response. Exploiting the rich physics of optical quasi-bound states in the continuum and guided mode resonances, we comprehensively study through rigorous numerical calculations the relative contribution of surface and bulk effects to second-harmonic generation (SHG) and the bulk contribution to third-harmonic generation (THG) from the meta-atoms. Next, we experimentally achieve optical resonances with high quality factors, which greatly boosts light-matter interaction, resulting in about 550 times SHG enhancement and nearly 5000-fold increase of THG. A good agreement between theoretical predictions and experimental measurements is observed. To gain deeper insights into the physics of the investigated nonlinear optical processes, we further numerically study the relation between nonlinear emission and the structural asymmetry of the metasurface and reveal that the generated harmonic signals arising from linear sharp resonances are highly dependent on the asymmetry of the meta-atoms. Our work suggests a fruitful strategy to enhance the harmonic generation and effectively control different orders of harmonics in all-dielectric metasurfaces, enabling the development of efficient active photonic nanodevices.

Keywords: second-harmonic generation; third-harmonic generation; bound state in the continuum; guided mode resonance; all-dielectric metasurfaces; nonlinear optics

Wang JT, Tonkaev P, Koshelev K et al. Resonantly enhanced second- and third-harmonic generation in dielectric nonlinear metasurfaces. *Opto-Electron Adv* 7, 230186 (2024).

¹Department of Electronic and Electrical Engineering, University College London, London WC1E 7JE, United Kingdom; ²Nonlinear Physics Center, Research School of Physics, Australian National University, Canberra ACT 2601, Australia; ³Ministry of Industry and Information Technology Key Lab of Micro-Nano Optoelectronic Information System, Guangdong Provincial Key Laboratory of Semiconductor Optoelectronic Materials and Intelligent Photonic Systems, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China; ⁴Wuzhen Laboratory, EGO Wuzhen Digital Economy Industrial Park, No. 925 Daole Road, Tongxiang City, China.

研究团队简介

隶属于英国伦敦大学学院电子电气工程系的Nicolae C. Panoiu教授及其团队主要从事于纳米光子学的理论与计算等方面的研发工作，重点致力于硅光子学、光子纳米结构的光学特性、经典和量子超材料的基础理论研究以及电磁结构的计算建模。该小组与澳洲国立大学教授、光子学领域的国际知名学者Yuri Kivshar，以及哈尔滨工业大学（深圳）宋清海教授建立深度合作，通过谐振增强的二维超表面实现了纳米尺度下光与物质相互作用的增强，并可以有效地操纵由中心对称材料制成的介电结构中的高次谐波产生，该成果为新型光子纳米器件的研究和设计的进一步发展奠定了基础。

Nicolae C. Panoiu教授已累计在包括*Nature Photonics*、*Nature Physics*、*Nature Communications*、*Sciences Advances*、*Physical Review Letters*、*Opto-Electronic Advances*等国际高水平期刊杂志发表SCI论文250余篇，论文被国内外同行引用10000余次。



长按识别此二维码，直达全文

点击下载PDF

文章荐读

点击标题阅读报道或文章

OEA | 超薄结构薄膜的全光近红外成像【英国诺丁汉特伦特大学Mohsen Rahmani教授团队】
Zheng Z, Xu L, Huang LJ, Smirnova D, Kamali KZ et al. Third-harmonic generation and imaging with resonant Si membrane metasurface. *Opto-Electron Adv* 6, 220174 (2023).

OEA | 人工智能加持超构光子学【澳大利亚国立大学Yuri Kivshar院士领导的联合团队】
Krasikov S, Tranter A, Bogdanov A, Kivshar Y. Intelligent metaphotonics empowered by machine learning. *Opto-Electron Adv* 5, 210147 (2022).

OEA | 非线性光学超表面的现状与未来【巴黎大学Giuseppe Leo教授团队】
Gigli C, Leo G. All-dielectric $\chi(2)$ metasurfaces: recent progress. *Opto-Electron Adv* 5, 210093 (2022).

OEA封面 | 全介质超表面中高品质因子谐振产生及应用【刘艳教授&甘雪涛教授】
Fang CZ, Yang QY, Yuan QC, Gan XT, Zhao JL et al. High-Q resonances governed by the quasi-bound states in the continuum in all-dielectric metasurfaces. *Opto-Electron Adv* 4, 200030 (2021).

光电进展

Opto-Electronic Advances (OEA, 光电进展) 是一本同行评议的英文学术月刊，创刊于2018年3月，已被SCI、EI、Scopus、DOAJ、CA和ICI等数据库收录，影响因子14.1，位于JCR Q1区，中科院一区。由中国科学院主管，中国科学院光电技术研究所主办并出版，面向全球发行。OEA主要报道光电领域的前沿创新科研成果。期刊栏目包括原创论文、综述和快讯等，欢迎投稿！

投稿地址：

<https://mc03.manuscriptcentral.com/oea>

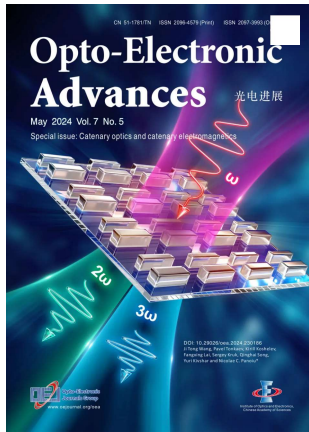
期刊官网：<https://www.ojournal.org/oea>

联系邮箱：oea@ioe.ac.cn

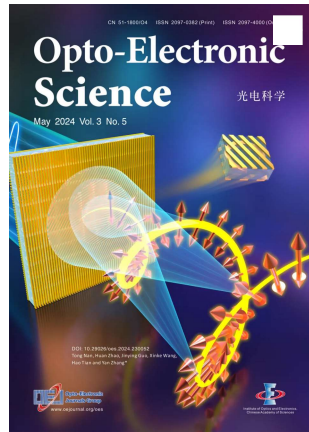


光电期刊集群，敬请关注

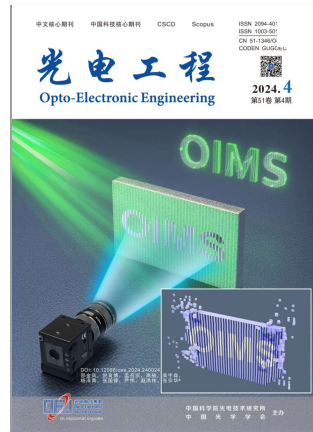
www.ojournal.org



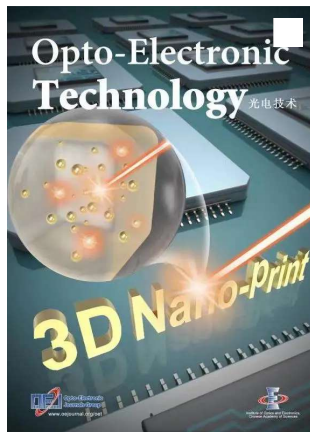
OEA
光电进展
英文 SCI
JCR IF 14.1
聚焦创新前沿



OES
光电科学
英文 卓越行动
高起点新刊
探究物理机制



OEE
光电工程
中文核心
SCOPUS
面向工程应用



OET
光电技术
英文 卓越行动
高起点新刊
关注核心技术



OER
光电研究评论
英文新刊
即将创办
汇集综述评论

光电期刊编辑部招聘


英文期刊编辑

工作地点：成都

简历请发送至：gdgc@ioe.ac.cn

Tel: 028-85100579

编辑 | 曾晚婷 张诗杰
审核 | 杨淇名
转载或合作请联系: gdc@ioe.ac.cn

点击“在看”给我一朵小黄花 

OEA封面 96

OEA封面 · 目录

上一篇 · OEA封底 | 基于钙钛矿纳米薄膜材料的损失模式共振器件【西班牙Ignacio R. Matías...

修改于2024年06月19日