CN 51-1346/O4 ISSN 1003-501X (印刷版) ISSN 2094-4019 (网络版)

光电工程
Opto-Electronic Engineering

中文核心期刊 中国科技核心期刊
Scopus CSCD

矢量光场调控专题导读

杨原牧，张诚，陈澈微

引用本文:

杨原牧，张诚，陈澈微. 矢量光场调控专题导读[J]. 光电工程，2024， **51**(8): 240195.

Yang Y M, Zhang C, Chen L W. Special issue on vector optical field manipulation[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(8): 240195.

https://doi.org/10.12086/oee.2024.240195

收稿日期: 2024-08-20; 修改日期: 2024-08-22; 录用日期: 2024-08-22

相关论文

Miniature tunable Airy beam optical meta-device

Jing Cheng Zhang, Mu Ku Chen, Yubin Fan, Qinmiao Chen, Shufan Chen, Jin Yao, Xiaoyuan Liu, Shumin Xiao, Din Ping Tsai

Opto-Electronic Advances 2024, **7**(2): 230171 doi: 10.29026/oea.2024.230171

Highly efficient vectorial field manipulation using a transmitted tri-layer metasurface in the terahertz band

Huan Zhao, Xinke Wang, Shutian Liu, Yan Zhang

Opto-Electronic Advances 2023, **6**(2): 220012 doi: 10.29026/oea.2023.220012

Generation of structured light beams with polarization variation along arbitrary spatial trajectories using tri-layer metasurfaces

Tong Nan, Huan Zhao, Jinying Guo, Xinke Wang, Hao Tian, Yan Zhang

Opto-Electronic Science 2024, **3**(5): 230052 doi: 10.29026/oes.2024.230052

超表面实现复杂矢量涡旋光束的研究进展

柯岚，章思梦，李晨霞，洪治，井绪峰

光电工程 2023, **50**(8): 230117 doi: 10.12086/oee.2023.230117

更多相关论文见光电期刊集群网站

OEE 光电工程 Opto-Electronic Engineering

http://cn.oejournal.org/oee

OE_Journal

Website

Opto-Electronic Engineering
光 电 工 程
矢量光场调控专题

Editorial
2024 年, 第 51 卷, 第 8 期

DOI: 10.12086/oee.2024.240195

矢量光场调控专题导读

杨原牧[1*]，张　诚[2]，陈澈微[3,4,5]

[1]清华大学精密仪器系，精密测试技术与仪器国家重点实验室，北京 100084；
[2]华中科技大学 光学与电子信息学院 & 武汉光电国家研究中心，湖北 武汉 430074；
[3]中国科学院光场调控科学技术全国重点实验室，四川 成都 610209；
[4]中国科学院光电技术研究所微细加工光学技术国家重点实验室，四川 成都 610209；
[5]中国科学院光电技术研究所矢量光场研究中心，四川 成都 610209

摘要：矢量光场，即具有可任意设计的波前和偏振态分布的光场，因其具有复用维度高、紧聚焦能力强、光场操控自由度大、手性筛选等特点，相较于均匀标量场具有更大的调控自由度和更广阔的应用前景，而引起了国内外科学家的广泛关注。如今，微纳光学的快速发展更为拓宽矢量光场调控的自由度、维度、尺度等方面提供全新契机。《光电工程》于 2024 年组织的“矢量光场调控”专题共收到 10 篇来稿，包括 7 篇综述和 3 篇原创论文，旨在展现近年来矢量光场调控的国内外重要研究进展和成果，让读者对矢量光场的研究现状、趋势和应用前景有更深刻的认识，也能为相关领域研究人员提供有益的帮助。

关键词：矢量光场；光场调控；专题
中图分类号：O436　　**文献标志码：**A

杨原牧，张诚，陈澈微. 矢量光场调控专题导读 [J]. 光电工程，2024，**51**(8): 240195
Yang Y M, Zhang C, Chen L W. Special issue on vector optical field manipulation[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(8): 240195

Special issue on vector optical field manipulation

Yang Yuanmu[1*], Zhang Cheng[2], Chen Lianwei[3,4,5]

[1]Key Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Department of Precision Instrument, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
[2]School of Optical and Electronic Information & Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China;
[3]National Key Laboratory of Optical Field Manipulation Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China;
[4]State Key Laboratory of Optical Technologies on Nano-Fabrication and Micro-Engineering, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China;
[5]Research Center on Vector Optical Fields, Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China

Abstract: Vector optical field, which have arbitrarily designed wavefronts and polarization state distributions, have attracted widespread attention from scientists over the word due to their high multiplexing dimensions, strong tight focusing ability, flexible light field manipulation capability, and chirality selection. Compared with uniform scalar fields, they have greater control freedom and broader application prospects. Nowadays, the rapid development of

收稿日期：2024-08-20；修回日期：2024-08-22；录用日期：2024-08-22
*通信作者：杨原牧，ymyang@mail.tsinghua.edu.cn
版权所有©2024 中国科学院光电技术研究所

micro-nano optics provides new opportunities for expanding the freedom, dimensions, and scales of vector optical field manipulation. The special issue on vector optical field manipulation in 2024 has received 10 manuscripts, including 7 review articles and 3 original articles. It aims to showcase the important research progress and achievements in vector optical field manipulation over recent years, allowing readers to have a deeper understanding of the current status, trends, and application prospects of vector optical field research, and also providing helpful assistance to researchers in related fields.

Keywords: vector optical field; optical field manipulation; special issue

矢量光场调控是指对光场中的振幅、相位、偏振等多参数进行精确控制的技术，以实现对光束传播和变换的高级操作[1-2]。近年来，矢量光场调控在光学信息处理[3-4]、微纳光学[5-8]、精密加工[9]、量子信息科学等领域展现出广泛的应用前景，也是当前光学领域的研究热点之一。

相比传统标量光场调控主要关注光场的振幅和相位分布，矢量光场调控进一步考虑了对偏振态的控制。矢量光场可以具有复杂的偏振分布，如线偏振、圆偏振、椭圆偏振或在空间中具有非均匀特性的矢量偏振模式。相比透镜、反射镜、相位板等传统标量光场调控器件，针对矢量光场调控，近年来还衍生出了超表面 (也称超构表面)[10-11]、q-板 (q-plate) 等，极大提升了光场调控的自由度、维度和尺度。

《光电工程》于 2024 年组织的“矢量光场调控”专题旨在深入探讨矢量光场调控领域的最新研究进展、技术突破以及潜在应用。本期共择优收录了来自中国科学技术大学、浙江大学、南开大学、天津大学、四川大学、北京理工大学、湖南大学、上海理工大学、北京信息科技大学、中国科学院光电技术研究所等高校和科研院所的 10 篇最新研究成果，共包括 7 篇综述和 3 篇科研论文，反映了该领域的最新进展和重要研究成果，为读者了解矢量光场调控领域提供了一个全面、深入的视角。

7 篇综述论文中，《超表面的矢量光场调控》深入探讨了利用超表面精确调控矢量光场振幅、相位、偏振态和传播方向的方法及其在聚焦、轨道角动量检测、高精度定位等领域的应用案例和创新成果[12]。同时，文章还前瞻性地预测了超表面调控矢量光场未来可能出现的技术突破和潜在发展方向。《矢量全息技术的研究进展与应用》凸显了矢量光场调控对记录信息密度的提高作用及其在三维显示、加密等多个领域展现出的应用潜力，文章还系统比较了标量全息与矢量全息技术[13]。《超构表面赋能的矢量光场调控、检测与应用》全面介绍了超构表面在矢量光场调控、检测与应用方面的最新研究进展，突出了超构表面在实现光子器件集成化方面提供的变革性解决方案，系统总结了超构表面矢量光场调控的原理、设计策略以及在微粒操控、全息显示和机器视觉等领域的应用[14]。《复杂结构光场的多自由度协同调控技术研究进展》系统地综述了复杂结构光场的多自由度协同调控技术，重点介绍了矢量涡旋光场的双自由度调控原理和生成技术，以及“超自由度”复杂结构光场的调控方法。同时，文章还展示了作者课题组在矢量涡旋光束腔内调控、五自由度涡旋阵列生成和经典不可分离态构造等方面的代表性成果，探讨了这些技术在光学通信、遥感探测、量子通信等领域的应用潜力和调控方法的优势[15]。《太赫兹矢量光束的研究进展》全面综述了太赫兹矢量光束的产生方法、应用及其发展前景，详细阐述了太赫兹矢量光束在无色散传输、偏振测量、成像传感、矢量全息和电子动力学等多个领域的广泛应用[16]。《矢量涡旋光场在激光微纳加工中的应用》主要探讨了矢量涡旋光场在激光微纳加工领域的应用进展，包括材料表面和内部微纳结构的加工、光存储技术以及双光子聚合加工技术；同时，还讨论了矢量涡旋光场在加工过程中的优势、挑战以及未来应用的广阔前景。论文还详细介绍了基于定制光场的图案化光致表面周期结构和立体微结构快速双光子光刻的原理与技术，为激光微纳加工提供了新的调控维度和效率提升[17]。《超表面偏振器件研究进展与展望》全面综述了超表面偏振器件研究进展，包括偏振转换、偏振分束、矢量涡旋光发生器、高阶庞加莱球光学加密、偏振多通道全息和偏振探测等，突出了超表面在偏振调控方面的创新应用和集成化优势[18]。

3 篇科研论文则将作者所在擅长研究领域的最新成果呈现给读者。《用于超构表面衍射光帆光力测量

的扭秤设计》提出了基于扭秤弱力测量技术的两种设计方案，分别针对形状规则和不规则的衍射光帆，实现了在真空环境中对光力的精确测量，为光帆推进和空间碎片轨道操控等应用提供了重要的实验数据支持[19]。《大视场角、等衍射角间隔的矢量超构表面分束器》提出了一种新型的大视场角、等衍射角间隔的矢量超构表面分束器，通过结合角谱法和随机搜索算法，实现了 70°全角内 41 束等角度间隔分束，理论衍射效率高达 84%，突破了传统达曼光栅的局限性[20]。《基于离轴级联超表面的轨道角动量解复用系统设计》提出了一种基于离轴级联超表面的轨道角动量解复用系统设计方法，通过引入离轴相位设计有效消除了因超表面效率降低而产生的杂散光，显著提高了系统信噪比和解复用效率，为光通信和量子通信领域提供了一种提高系统性能的创新途径[21]。

本专题的论文不仅展示了矢量光场调控领域的最新研究成果，也指出了未来研究的方向，包括三维矢量光场的调控、多模矢量光场的生成、涡旋光束的探测技术等。随着技术的不断进步，矢量光场调控有望在更多领域发挥重要作用，为光学科学带来革命性的发展。

《光电工程》从 2022 年开始，每年针对光场调控方向组织一个专题。2024 年选择了“矢量光场调控”这一研究方向，旨在为广大科研工作者提供一个学术交流的平台，促进了矢量光场调控技术的发展。我们期待这一领域的研究能够不断深化，为科技进步和创新贡献力量。

利益冲突: 所有作者声明无利益冲突

参考文献

[1] Rosales-Guzmán C, Ndagano B, Forbes A. A review of complex vector light fields and their applications[J]. *J Opt*, 2018, **20**(12): 123001.

[2] He C, Shen Y J, Forbes A. Towards higher-dimensional structured light[J]. *Light Sci Appl*, 2022, **11**(1): 205.

[3] Rubin N A, D'Aversa G, Chevalier P, et al. Matrix Fourier optics enables a compact full-stokes polarization camera[J]. *Science*, 2019, **365**(6448): eaax1839.

[4] Wang J Y, Tan X D, Qi P L, et al. Linear polarization holography[J]. *Opto-Electron Sci*, 2022, **1**(2): 210009.

[5] Lee K G, Kihm H W, Kihm J E, et al. Vector field microscopic imaging of light[J]. *Nat Photonics*, 2007, **1**(1): 53−56.

[6] Jia W H, Gao C X, Zhao Y M, et al. Intracavity spatiotemporal metasurfaces[J]. *Adv Photonics*, 2023, **5**(2): 026002.

[7] Ni Y B, Wen S, Shen Z C, et al. Multidimensional light field sensing based on metasurfaces[J]. *Chin J Lasers*, 2021, **48**(19): 1918003.
倪一博, 闻顺, 沈子程, 等. 基于超构表面的多维光场感知[J]. 中国激光, 2021, **48**(19): 1918003.

[8] Ke L, Zhang S M, Li C X, et al. Research progress on hybrid vector beam implementation by metasurfaces[J]. *Opto-Electron Eng*, 2023, **50**(8): 230117.
柯岚, 章思梦, 李晨霞, 等. 超表面实现复杂矢量涡旋光束的研究进展[J]. 光电工程, 2023, **50**(8): 230117.

[9] Lou K, Qian S X, Wang X L, et al. Two-dimensional microstructures induced by femtosecond vector light fields on silicon[J]. *Opt Express*, 2012, **20**(1): 120−127.

[10] Nan T, Zhao H, Guo J Y, et al. Generation of structured light beams with polarization variation along arbitrary spatial trajectories using tri-layer metasurfaces[J]. *Opto-Electron Sci*, 2024, **3**(5): 230052.

[11] Yue Z, Li J T, Li J, et al. Terahertz metasurface zone plates with arbitrary polarizations to a fixed polarization conversion[J]. *Opto-Electron Sci*, 2022, **1**(3): 210014.

[12] Liang M W, Lu D Z, Ma Y G. Vectorial optical fields manipulation via metasurfaces[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(8): 240068
梁茂伟, 卢德宙, 马耀光. 超表面的矢量光场调控[J]. 光电工程, 2024, **51**(8): 240068

[13] Ye Y Q, Pi D P, Gu M, et al. Research progress and applications of vectorial holography[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(7): 240082
叶依琦, 皮大普, 顾敏, 等. 矢量全息技术的研究进展与应用[J]. 光电工程, 2024, **51**(7): 240082

[14] Yang H, He H R, Hu Y Q, et al. Metasurface-empowered vector light field regulation, detection and application[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(8): 240168
杨辉, 何海蓉, 胡跃强, 等. 超构表面赋能的矢量光场调控、检测与应用[J]. 光电工程, 2024, **51**(8): 240168

[15] Zhang Z C, Hai L, Zhang S R, et al. Advances on the manipulation of structured beams with multiple degrees of freedom[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(7): 240079
张智超, 海澜, 张书瑞, 等. 复杂结构光场的多自由度协同调控技术研究进展[J]. 光电工程, 2024, **51**(7): 240079

[16] Hu H, Hu X X, Gong L P, et al. Research progress of terahertz vector beams[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(7): 240071
胡浩, 胡晓雪, 贡丽萍, 等. 太赫兹矢量光束的研究进展[J]. 光电工程, 2024, **51**(7): 240071

[17] Xie C, Liu T Y. Applications of vector vortex beams in laser micro-/nanomachining[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(8): 240089
谢辰, 刘彤炎. 矢量涡旋光场在激光微纳加工中的应用[J]. 光电工程, 2024, **51**(8): 240089

[18] Wang H X, He Y L, Zhu H W, et al. Research progress and prospects of metasurface polarization devices[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(7): 240095
王皓萱, 何彦霖, 祝航威, 等. 超表面偏振器件研究进展与展望[J]. 光电工程, 2024, **51**(7): 240095

[19] Gong P, Du A B, Zhang F, et al. Torsion pendulum design for metasurface-based diffraction light sail optical force measurement[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(7): 240040
龚攀, 杜安斌, 张飞, 等. 用于超构表面衍射光帆光力测量的扭秤设计[J]. 光电工程, 2024, **51**(7): 240040

[20] Xia R X, Zhao D, Li Z Q, et al. Metasurface beamsplitter with large field of view and equal diffraction angle interval[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(7): 240141
夏睿星, 赵东, 李子勤, 等. 大视场角、等衍射角间隔的矢量超构表面分束器[J]. 光电工程, 2024, **51**(7): 240141

[21] Yi Z Y, Li Y, Liang H K, et al. Design of an orbital angular momentum demultiplexing system based on off-axis cascaded metasurfaces[J]. *Opto-Electron Eng*, 2024, **51**(8): 240161

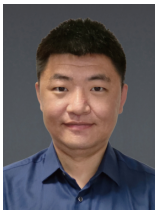
易政宇, 李阳, 梁厚昆, 等. 基于离轴级联超表面的轨道角动量解复用系统设计[J]. 光电工程, 2024, **51**(8): 240161

作者简介

【通信作者】杨原牧，清华大学精密仪器系副教授、博士生导师，入选国家海外高层次青年人才计划。长期从事超构光学领域的研究工作，现主持国家自然科学基金面上项目、重点项目等。在 *Nature Photonics*、*Nature Physics* 等高水平期刊发表论文 40 余篇，谷歌学术引用 5000 余次，入选爱思唯尔中国高被引学者。相关成果已授权中美发明专利 10 余项。担任 *Advanced Devices & Instrumentation*、*Advanced Photonics* 等期刊编委或青年编委。10 余次参与组织 OSA Advanced Photonics Congress 等国内外学术会议，30 余次在 SPIE Photonics West 等国内外会议做邀请报告。获评福布斯中国 (科学领域) “30 岁以下 30 人”、金国藩青年学子奖等奖励荣誉。

E-mail：ymyang@mail.tsinghua.edu.cn

张诚，华中科技大学光学与电子信息学院 & 武汉光电国家研究中心教授、博士生导师。2010 年于山东大学取得本科学位，2016 年于美国密歇根大学-安娜堡分校取得博士学位，2016 年至 2019 年在美国国家标准技术研究院从事博士后研究。长期从事微纳光子学与微纳加工制造等领域的研究工作。在 *Science*，*eLight*，*Light*：*Science & Applications*，*Advanced Materials*，*Advanced Photonics* 等期刊发表研究论文 60 余篇，谷歌学术引用 5100 余次。申请美国发明专利 5 项。在国际会议做邀请报告 30 余次。获得多项荣誉与奖励，包括 PIERS 会议青年科学家奖、中国优秀自费留学生奖学金、密歇根大学杰出博士研究奖、蒋震海外研究生奖学金等。



陈潋微，中国科学院光电技术研究所研究员，国家高层次青年人才 (海外)，本科与博士均毕业于新加坡国立大学，一等荣誉学位。研究方向为时空矢量光场与物质相互作用。在 *Nature Communications*、*Science Advances*、*Advanced Optical Materials* 等国际期刊发表多篇论文，谷歌学术引用 1400 余次，学术专著一部。获得王赓武金牌、Rising Stars of Light、新加坡总统设计奖、中国优秀自费留学生奖等。设计构建了微球透镜显微系统并产业化该技术，创造了光学显微镜高倍物镜分辨率世界纪录，并与世界光学元件生产领军企业 OptoSigma 合作生产。