2021年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

1. 项目名称

光场的空间调控及与微纳结构相互作用

1. 提名者及提名意见

提名者：陕西省物理学会

提名意见：

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关内容符合陕西省科学技术奖的提名要求。

本项目围绕偏振、相位、振幅多参量可控的光场构建及其与微纳光子结构的相互作用开展新理论、新方法和新技术的基础研究。主要发现点有：（1）提出并构建了基于几何相位的光场多维度调控理论模型，揭示了自旋-轨道耦合诱导的光场偏振态变化规律，发展了多参量联合调控的新光场形态；（2）建立了混合非线性下周期微结构的光诱导机制及光传输理论，实现了光子带隙调节、模式转换、反常传输调控，推动了光场空间调控的集成化；（3）建立了光场与纳米光子结构耦合的全矢量理论模型，揭示了基于光场相位和偏振调控光学模态耦合的微观机制，发展了增强光学非线性的新方法，实现了高度集成和高效率的光子器件、高精度光学操控、高灵敏传感。5篇代表作Web of Science总引350次，他引284次。相关工作被美国光学学会会刊《Optics and Photonics News》选为年度35项光学领域重要进展之一，被著名激光评论杂志报道，并多次被美国国家工程院院士、美国科学院外籍院士、中国科学院外籍院士、OSA/APS/AAAS/SPIE Fellow等国际知名学者正面评价。该成果拓展了光场调控、光与物质相互作用等领域的研究思路，为光学操控、激光加工、成像、光传感、光子器件中的关键技术突破奠定了基础。该项目完成人政治立场坚定，爱岗敬业，工作中严格遵守《教师职业道德规范》，认真履行教育职责，有良好的职业道德。

提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

1. 项目简介

本项目属于物理科学中现代光学前沿基础领域。

光场作为能量和信息的载体，在现代科学及高新技术中扮演着重要的角色。尤其是近几十年来激光技术的发展，极大推动了物理、材料、信息、生命科学的进步，促进了光通信、光显示、激光加工等技术的发展。然而，受限于激光腔的本征模式（偏振单一、相位均匀），传统激光光场携带的自由度不足，在提升信息传递容量、成像分辨率、加工精度等方面面临着诸多瓶颈问题。若引入空间调控自由度，并能对光场的偏振、相位和振幅以及多参量联合进行有效的空间调控，创建具有空间结构和奇特性质的新型空间结构光场，无疑将为操控光传播行为和光场与微纳光子结构耦合提供了一条新的思路和途径。本项目围绕偏振、相位、振幅多参量可控的光场构建及其与微纳光子结构的相互作用开展新理论、新方法和新技术的基础研究。主要研究内容和科学发现点如下：

1. **基于几何相位的光场多维度调控。**建立了光场多维度调控理论模型，揭示了自旋-轨道耦合诱导的光场偏振态变化规律，发展了矢量光场偏振态纵向线性和非线性调控理论，提出了四种实现偏振态纵向调控无衍射光场的方法，基于几何相位、Gouy相位实现了偏振振荡光场、可调控的自加速旋光光场等偏振态三维调控光场。发展了多参量联合调控的新光场形态，提出了完美矢量涡旋光场及其构建方法，打破了光场分布对偏振和相位拓扑荷的依赖关系，实现了可偏振复用的小尺度光学涡旋拓扑结，阐明了拓扑结构演变规律及其鲁棒性。引入对称破缺调制自旋相关几何相位，实现了宏观的光自旋霍尔效应，阐释了对称破缺诱导的自旋-轨道耦合对衍射场自旋、轨道角动量切换、强度和能流重新分布、偏振奇点转化的调控规律。

**2. 周期微结构中的光传输及空间调控。**基于波导耦合理论、光折变理论、光子带隙原理、固体物理学相关机理等，建立了周期性微结构中的光传输模型，揭示了其中光场在线性、非线性条件下的演化规律，丰富并完善了光子带隙工程的理论体系。建立了描述光致折射率变化的半定量简化模型和定量的非传统偏置模型，实现了对光诱导周期微结构的精确描述。提出了混合非线性条件下的新型光子晶格，实现了其对光场的衍射、负折射、空间孤子、布拉格反射等传输的新调控手段，发掘了一系列异于传统的、反常的演化规律及光学效应，并提出了对空间结构光场的产生与控制方法，拓展了光场的空间调控研究领域的新思路。

3. **基于光场与纳米光子结构相互作用的****新型功能化应用**。建立了光场与纳米光子结构耦合的全矢量理论模型，解决了新型空间结构光场与纳米光子结构耦合的尺寸失配问题，提出了纳米结构模态的高效激发方法，发现了新型的光学“暗模式”，揭示了基于光场相位和偏振调控光学模态耦合的微观机制，构建了纳米级尺度的强局域光场，并发展了基于强局域光场的增强光学非线性的新技术。借助光场对纳米光子结构模态的线性和非线性调控规律，开发了高度集成的相移器和光开关，纳米尺度的光学操控方法、高灵敏度的位移传感技术、高效率的频率转换器件等新型的功能化应用。

本项目的相关成果发表在Light-Science & Applications、Laser & Photonics Reviews、Optica、Physics Review A、Optics Letters、Optics Express、Applied Physics Letters、Advanced Optical Materials、ACS Photonics、Photonics Research等国内外学术期刊共104篇。5篇代表作Web of Science 总引350次，他引284次。相关工作被美国光学学会会刊《Optics and Photonics News》选为年度35项光学领域重要进展之一，被著名激光评论杂志《Laser Focus World》报道。研究成果多次被以色列科学与人文科学院院士、美国国家工程院院士、中国科学院外籍院士、OSA/APS/AAAS/SPIE Fellow等正面评价。获授权国家发明专利7项，受邀在国内外学术会议做邀请报告40余次。项目执行期间，项目成员中1人获得国家自然科学基金优秀青年基金项目，1人获得陕西省科技新星，1人获得全国百篇优秀博士学位论文提名，6人获得陕西省优秀博士论文，2人获得王大珩光学奖高校学生奖，1人获得教育部博士研究生学术新人奖，1人受邀担任《光学学报》执行主编。

1. 客观评价

**1. 国际同行的公开评价**

1）美国中佛罗里达大学D. N Christodoulides教授（OSA/APS Fellow），以色列理工学院Mordechai Segev教授（以色列科学与人文科学院院士、美国国家科学院外籍院士）在综述论文[Optica 6, 686 (2019)]中引用申请人工作：“突然自聚焦波在焦点处会发生突然的偏振转变，相关的轨道角动量转化为自旋角动量，当偏振拓扑荷与所附的螺旋相位拓扑荷相等时，便会发生这种转变”。

2）德国海德堡大学C. Denz教授（OSA Fellow）在综述论文[Appl. Phys. Rev. 7, 041308 (2020)]评价申请人的工作：“基于横向到纵向调制策略，可以实现偏振态横向非均匀、纵向均匀，或者横向和纵向皆非均匀分布的矢量贝塞尔高斯光场”、“这些基本的矢量场可以与扇形障碍相结合，从而实现焦场中能流的整形”。

3）新加坡国立大学仇成伟教授（《eLight》主编、《PhotoniX》、《Photonics Research》副编辑）在论文[Adv. Mater. 32, 1905659, (2019)]中评价申请人的工作：“将完美涡旋光束的产生方法与Sagnac干涉仪相结合，得到了完美的矢量涡旋光束，在传播时具有稳定的偏振态和强度分布。完美矢量涡旋光束的产生可以作为定制光场振幅、相位和偏振态的成功案例”。

4）澳大利亚国立大学Yuri S. Kivshar（非线性物理中心主任，OSA/APS/IOP Fellow）在论文[Phys. Rev. Lett. 104, 053902 (2010)]中评价申请人的工作：“利用各向异性的克尔非线性介质产生可稳定传输的非圆对称孤子”。华南师范大学郭旗教授先后在论文[Laser Photonics Rev. 14, 2000141 (2020), Phys. Rev. A 88, 043825 (2013)，J. Opt. 16, 085205(2014)]中评价该结果：“通过非传统偏置条件可实现光折变各向异性和非局域的增强，并可产生椭圆离散孤子”。

5）美国旧金山州立大学陈志刚教授（OSA/APS Fellow）在综述论文[Rep. Prog. Phys., 75, 086401 (2012)]中评价了申请人在混合非线性相关的一系列成果：“张等人在非传统偏置的光折变材料中发掘出了混合非线性效应，利用该效应可同时抵消光的正常和反常衍射”。

6）美国加州大学伯克利分校Feng Wang教授（APS Fellow）在顶级光学期刊论文[Nat. Photonics 10, 227 (2016)]中评论申请人的工作：“可用于实现全光纤集成的相移器和光开关”。

7）美国加州大学伯克利分校Xiang Zhang教授（美国国家工程院院士、中国科学院外籍院士、OSA/APS/AAAS/SPIE Fellow、香港大学校长）在综述论文[Opt. Mater. Express 9, 1136 (2019)]中评价申请人的工作：“利用纳米腔的强局域性质可在低功率（10 µW）、连续激光泵浦下获得了高效的二次谐波产生”。该工作也被芬兰阿尔托大学Zhipei Sun教授（OSA Fellow）和Harri Lipsanen教授（MRS Fellow）在综述论文[Adv. Mater. 30, 1705963 (2018)]中评价：“实现了连续激光泵浦的硒化镓中二次谐波，解决了有效利用二维层状材料非线性光学响应的挑战，拓展了其在非线性光学应用中的前景”。

8）美国佐治亚州立大学Mark, I Stockman教授（等离激元激光器领域的先驱）以及澳大利亚莫纳什大学M. Premaratne教授（OSA Fellow）在综述论文[Adv. Opt. Photonics 9, 79 (2017)]中评价申请人的工作：“描述石墨烯纳米结构光学响应的典型模型”。土耳其比尔肯大学Ekmel Ozbay教授（OSA Fellow）在论文[Appl. Phys. Lett. 113, 221105 (2020)]评价该工作：“实现了可调谐的等离激元诱导透明效应可用于传感性能增强和可切换的隐身系统中”。美国哥伦比亚大学Nanfang Yu副教授在综述论文[Rep. Prog. Phys. 83, 126101 (2020)]中评价申请人工作：“主动调控纳米光子结构的二次谐波典型案例，可实现二次谐波45倍增强和220nm的共振波长调谐”。

9）深圳大学Michael G. Somekh教授（英国皇家工程院院士）、袁小聪教授（长江学者、OSA/SPIE/IOP Fellow）在论文[Light Sci. Appl. 10, 59 (2021)]中评价该工作为“稳定捕获纳米级颗粒的典型方案” 新加坡国立大学仇成伟教授（《eLight》主编、《PhotoniX》、《Photonics Research》副编辑）在顶级综述论文[Adv. Opt. Photonics 12, 288 (2020)]中评价申请人的工作：“将光学捕获的颗粒尺寸极限降至5nm内”。。

**2. 主要工作的新闻报道**

1）混合非线性条件下产生的“离子型光子晶格”相关工作被美国光学学会会刊《Optics and Photonics News》选为年度35项光学领域重要进展之一。

2）著名激光评论杂志《Laser Focus World》以“Photonic crystal nanocavity assists upconversion IR detection”为题报道了申请人设计的基于光场与光子晶体纳米腔相互作用的频率上转换红外探测器，并指出其在1W泵浦功率下响应率高达0.81A/W。

1. 代表性论文专著目录（不超过8条，其中代表性论文不超过5篇，代表性专著不超过3部）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 论文专著名称 | 刊名 | 作者 | 年卷页码（xx年xx卷xx页） | 发表时间 | 通讯作者 | 第一作者 | 国内作者 | 他引总次数 | 检索数据库 | 知识产权是否归国内所有 |
| 1 | Generation of perfect vectorial vortex beams | Optics Letters | Peng Li, Yi Zhang, Sheng Liu, Chaojie Ma, Lei Han, Huachao, Cheng, Jianlin Zhao | 2016年41卷2205页 | 2016年5月 | 赵建林 | 李鹏 | 李鹏，章毅，刘圣，马超杰，韩磊，程华超，赵建林 | 64 | Web of Science | 是 |
| 2 | Spiral autofocusing Airy beams carrying power-exponent-phase vortices | OpticsExpress | Peng Li, Sheng Liu, Tao Peng, Gaofeng Xie, Xuetao Gan, Jianlin Zhao | 2014年22卷7598页 | 2012年3月 | 赵建林 | 李鹏,刘圣 | 李鹏，刘圣，彭涛，谢高峰，甘雪涛，赵建林 | 68 | Web of Science | 是 |
| 3 | Incomplete Brillouin Zone Spectra and Controlled Bragg Reflection with Ionic-type Photonic Lattices | Physical Review A (Rapid Communications) | Peng Zhang, Sheng Liu, Cibo Lou, Fajun Xiao, Xiaosheng Wang, Jianlin Zhao, Jingjun Xu, Zhigang Chen | 2010年81卷041801页 | 2010年4月 | 张鹏 | 张鹏 | 刘圣，楼慈波，肖发俊，赵建林，许京军 | 10 | Web of Science | 是 |
| 4 | Microwatts continuous-wave pumped second harmonic generation in few- and mono-layer GaSe | Light Science & Applications | Xuetao Gan, Chenyang Zhao, Siqi Hu, Tao Wang, Yu Song, Jie Li, Qinghua Zhao, Wanqi Jie, Jianlin Zhao | 2018年7卷17126页 | 2018年1月 | 甘雪涛，赵建林 | 甘雪涛 | 甘雪涛，赵晨阳，胡思奇，王涛，宋雨，李洁，赵清华，介万奇，赵建林 | 36 | Web of Science | 是 |
| 5 | Graphene based all-fiber phase shifter and switching | Optica | Xuetao Gan, Chenyang Zhao, Yadong Wang, Dong Mao, Liang Fang, Lei Han, Jianlin Zhao | 2015年2卷468页 | 2015年5月 | 赵建林 | 甘雪涛 | 甘雪涛，赵晨阳，王亚东，毛东，方亮，韩磊，赵建林 | 106 | Web of Science | 是 |
| 6 | Spatial Beam Dynamics Mediated by Hybrid Nonlinearity | Springer Series in Optical Sciences： Nonlinear Photonics and Novel Optical Phenomena | Peng Zhang, Cibo Lou, Yi Hu, Sheng Liu, Jianlin Zhao, Jingjun Xu, Zhigang Chen | 2012年170卷133页（Chapter 5） | 2012年5月 | 张鹏 | 张鹏 | 张鹏，楼慈波，胡毅，刘圣，赵建林，许京军 |  |  | 是 |
| 7 | 一种基于梯形塞纳克干涉仪产生任意矢量光场的方法和装置 | 发明专利 | 刘圣，李鹏，赵建林，彭涛 | ZL201210245259.3 | 2014年6月 | 刘圣 | 赵建林 | 刘圣，李鹏，赵建林，彭涛 |  |  | 是 |
| 8 | 一种石墨烯辅助的光驱动全光纤相移器 | 发明专利 | 甘雪涛，赵建林，赵晨阳，方亮，王亚东 | ZL2015102182189 | 2018年4月 | 甘雪涛 | 赵建林 | 甘雪涛，赵建林，赵晨阳，方亮，王亚东 |  |  | 是 |
| 合 计 | 284 |  |  |

1. 主要完成人情况（不超过6人）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 姓名 | 排名 | 行政职务 | 技术职称 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目贡献 |
| 赵建林 | 1 | 无 | 教授 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 作为项目负责人，系统组织项目论证和实施，并全程参与三个发现点的具体研究工作，包括研究方案制订、结果讨论分析、论文撰写修改等。 |
| 刘圣 | 2 | 无 | 副教授 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 主要参与了发现点1、2的研究工作。完成了空间结构光场的高效产生与测量、矢量光场的聚焦与调控、周期微结构中的反常衍射、折射、孤子相互作用、布拉格反射。 |
| 甘雪涛 | 3 | 微电子学院党委副书记 | 教授 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 主要参与了发现点2、3的研究工作。完成了光子晶体中矢量光场的产生、光子晶格中涡旋场的调控、纳米腔及二维材料与光场相互作用、新型光学信息处理、片上光学互连。 |
| 李鹏 | 4 | 无 | 副教授 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 主要参与了发现点1的研究工作。完成了光子自旋-轨道耦合效应、对称破缺光场的理论模型与调控机制、矢量光场偏振态纵向调控、偏振态三维调控光场、完美矢量涡旋光场及其构建、偏振复用的小尺度涡旋拓扑结。 |
| 肖发俊 | 5 | 无 | 教授 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 主要参与了发现点2、3的研究工作。完成了光子晶格中孤子相互作用、布洛赫振荡对光场的调控、光场与纳米结构耦合的全矢量理论模型、纳米结构模态的高效激发、新型的光学“暗模式”、纳米尺度强局域场、光学非线性增强的新技术。 |
| 张鹏 | 6 | 无 | 讲师 | 西北工业大学 | 西北工业大学 | 主要参与了发现点2的研究工作。完成了周期性微结构中的光传输模型、光致折射率变化的半定量简化模型和定量的非传统偏置模型、光子带隙工程的理论体系、提出了混合非线性条件、新型光子晶格及晶格孤子、实现正常与反常传输特性及布拉格反射的切换。 |

1. 主要完成单位情况（不超过3个）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 完成单位 | 排名 | 对本项目主要贡献（限600字） |
| 西北工业大学 | 1 | 西北工业大学是本项目的唯一完成单位，学校为该项目组提供了良好的工作环境，从管理和服务上保证了项目的顺利完成。对本项目的贡献包括：提供了场地、水电、仪器设备等硬件条件；提供书籍、电子数据库、文献检索等条件；学校的科研管理部门、财务部门为项目的日常管理和服务提供了重要帮助。 |

1. 完成人合作关系说明

所有完成人均属于西北工业大学物理科学与技术学院教工，隶属于陕西省光信息技术重点实验室。完成人长期合作，共同承担多项国家级课题，合作发表多篇论文。申请人赵建林教授为西北工业大学物理科学与技术学院光学工程和物理学学科带头人。刘圣副教授、甘雪涛教授、李鹏副教授、肖发俊教授、张鹏讲师与赵建林教授为师生关系，毕业后留校工作，与赵建林教授长期合作从事光场调控研究工作。本项目的所有工作均在赵建林教授的系统组织下开展论证和实施。