2022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）基于几何相位的光场多维度调控；（2）周期微结构中的光传输及空间调控；（3）基于光场与纳米光子结构相互作用的新型功能化应用。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、显微成像、光传感、光子器件中关键技术的突破奠定了基础。5篇代表作他引386次。相关工作被美国光学学会会刊《OPN》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，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等国际知名学者正面评价，并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。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。该项目获得2022年度陕西省物理学会科学技术奖特等奖。

提名该项目为陕西省自然科学奖一等奖。

1. 项目简介

该项目属于物理科学中现代光学前沿基础领域。

近几十年激光技术的发展，极大地推动了自然科学和工程应用各领域的技术进步，催生了各领域的技术革命。然而，常规激光器输出的光场模式及其传输规律简单，导致籍此表征与调控物质性质的手段受限。这不仅固化了对激光基础问题的研究思路，也导致激光技术及其应用发展面临诸多瓶颈，无法满足日益增长的超大容量光通信、信息加密、精密测量、超分辨成像、先进制造、生物医学、受控核聚变等关键应用需求，由此催生了光场调控这一新颖的前沿研究方向。

目前，由于光场各参量与微纳结构的耦合理论模型较复杂，且不统一，使光场调控技术依然面临着瓶颈：空间调控手段单一、可控参量不足、与小尺度结构耦合时受到限制。为解决这些瓶颈问题，我们引入空间调控自由度，对激光光场所携带的各个参量以及多参量联合进行有效调控，开展了新型空间结构光场的调控机制及与微纳光子结构的作用规律研究，力求发展出更为灵活、高效的光场调控手段，实现高效率器件等新型功能化应用。研究内容主要包括三个方面：（1）光场多参量关联调控的理论模型和物理机制；（2）基于混合非线性及周期微结构的光场调控规律和手段；（3）亚波长尺度空间局域光场的精准调控及高效光子器件。主要科学发现点如下：

**1. 构建多参量联合调控的新光场形态，发掘新的物理效应**。建立了光场多维度调控理论模型，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、可控自加速旋光光场等偏振态三维调控光场，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型光场形态，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，实现了偏振复用的小尺度光学涡旋拓扑结/链，阐明了此类拓扑结构演变规律；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-轨道耦合对自旋、轨道角动量切换、能流重新分布、偏振奇点转化的调控规律。

**2. 提出周期微结构中光场动态调控的新手段。**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场传输模型，揭示了光场在线性、非线性条件下的传输演化规律，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概念，开发了其对光场的衍射、负折射、空间孤子、布拉格反射等传输行为的新颖调控手段，发掘了一系列异于传统的、反常的演化规律及光学效应，并提出了基于微结构的紧凑高效的空间结构光场的产生与控制方法，拓展了光场空间调控研究领域的新思路。

**3. 发展纳米尺度光学模态耦合的微观调控、器件及传感技术**。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，构建了纳米尺度的强局域光场，发展了基于强局域光场增强光学非线性的新技术；揭示了光场对纳米光子结构模态的线性和非线性调控规律，开发了高度集成的全光光纤相移器、光开关和高效频率转换器件，以及纳米级光学操控、高灵敏度位移传感等新型功能化应用。

本项目的相关成果分别发表在Light-Sci. & Appl.、Laser & Photon. Rev.、Optica、Phys. Rev. A、Opt. Lett.、Opt. Express、Appl. Phys. Lett.、ACS Photon.、Photon. Res.等国内外重要学术期刊，共计论文100余篇，并获授权国家发明专利7项；5篇代表作被Web of Science他引386次。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。项目成员受邀在国内外学术会议做邀请报告40余次。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。基于以上研究成果，本项目研究团队成为国内光场调控研究领域的主力和先锋，引领和推动了该研究领域的发展。项目第一完成人受邀担任《光学学报》执行主编，并领衔担任2辑《光学学报》“光场调控、传输及其应用”专题的特邀组稿专家，激发了国内关于光场空间调控的研究热潮。进而，项目第一完成人入选物理学领域爱思唯尔中国高被引学者。

本项目实现的“新型空间结构光场及与纳米结构相互作用”受国内同等认可，后续工作获批国家自然科学基金重点项目、国家重点研发计划课题；所实现的“光学角动量控制技术”已用于等离子体共振全息显微中的光镊系统，获批国家重大科研仪器研制项目；实现的“超衍射极限光场与物质相互作用”已用于超分辨成像及单分子尺度动力调控，并开发超分辨成像系统，获批国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目；提出的“任意矢量光场产生技术”实验装置已被中国工程物理研究院流体物理研究所应用于“新型高能激光的产生”。

项目研究过程中培养了多名优秀博士研究生，1人获国家自然科学基金优秀青年基金项目，1人获全国百篇优秀博士学位论文提名，6人获陕西省优秀博士论文奖，2人获王大珩光学奖高校学生光学奖。

1. 客观评价

**发现点1：**本发现点提出的光场偏振态纵向调控方法被美国国家科学院院士F. Capasso、以色列科学与人文科学院院士M. Segev、OSA Fellow M. Mojahedi等多次正面评价。**提出的完美矢量涡旋光束被中国科学院院士简水生、中国工程院院士范滇元等团队跟踪推广**，充分发掘了此类光场在粒子捕获、非线性转换、信息传递等方面的应用价值。部分评价内容如下：

1. 哈佛大学F. Capasso教授（美国国家科学院院士）在论文**[Nat. Photonics** 15, 287 (2021)]中认为我们提出的纵向偏振变化光场是“为实现光的自旋角动量这一守恒量随光场空间传播变化而提出的最接近的方案（The closest answer to the question）之一”。

2. 南非金山大学A. Forbes教授（OSA/SPIE Fellow）和德国明斯特大学的C. Denz教授（OSA Fellow）在论文[Opt. Express 26, 26946 (2018); Phys. Rev. A 98, 053818 (2018)]中认为我们的结果“证实了空间变化偏振结构的自愈能力”。

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)]中认为我们提出的完美矢量涡旋光束“可以作为定制光场振幅、相位和偏振态的典型案例”。

4. 南京大学陆延青教授（中国光学学会、OSA Fellow）在论文[Phys. Rev. Appl. 10, 034061 (2018)]中认为我们提出的完美矢量涡旋光场“是解决传统矢量光束结构对偏振阶数依赖问题的有效方法”。

**发现点2：**本发现点利用混合非线性实现周期结构中的光场调控方法得到国内外同行的关注和正面评价；**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**。部分评价内容如下：

1. 澳大利亚国立大学Yuri S. Kivshar（OSA/APS/IOP Fellow）在论文[**Phys. Rev. Lett.** 104, 053902 (2010)]中认为我们提出的偏置模型“利用各向异性的克尔非线性介质来实现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)]中也认为我们提出的非传统偏置模型“可增强光折变各向异性和非局域，进而产生椭圆离散孤子”。

2. 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)]中引用了我们关于混合非线性的一系列成果，认为我们“利用非传统偏置的光折变材料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”。

3. 香港光学工程学会副理事长、香港中文大学Ho Pui Ho教授（SPIE Fellow）在综述文章[Adv. Opt. Photon. 9, 257 (2017)]中认为我们发现了“偶数和奇数超模在共振耦合特性、色散、限制损耗特性方面的差异，且在1330 nm处，正交偏振比达到了−40 dB”。

4. 中国科学院院士姚建铨在论文[IEEE Photon. J. 5, 4801108 (2013)]中认为我们们提出的光子结构“可作为一种灵敏的可调控传感器”。

**发现点3：**本发现点借助光场调控实现了纳米光子结构模态激发、耦合的主动灵活调控，生成了亚波长强的局域场，以此突破了纳米级光镊、频率上转换的效率与波长调谐范围等性能的极限，并得到国内外同行的关注和正面评价。**著名激光评论杂志《Laser Focus World》以“Photonic crystal nanocavity assists upconversion IR detection”为题正面评论了我们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**。部分评价内容如下：

1. 美国加州大学伯克利分校Feng Wang教授（APS Fellow）在论文[**Nat. Photonics** 10, 227 (2016)]中评论通过控制纳米尺度光纤波导中模场的泄露，实现高效相位延迟器的工作“可用于实现全光纤集成的相移器和光开关”。

2. 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)]中评价光子晶体纳腔对光场时、空域进行精准调控：“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”。

3. 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)]中评价基于光子晶体纳腔的高灵敏传感、高效非线性频率转换：“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，拓展了在非线性光学应用中的前景”。

4. 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)]中评价所提出的混合型等离激元设计为“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)]中评价该工作为“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”。

5. 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)]中评价我们提出的纳米光镊为“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）在其综述论文[Adv. Opt. Photonics 12, 288 (2020)]中评价本发现点：“将光学捕获的颗粒尺寸极限降至5nm内”。

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）

（按照表格所示栏目填写支撑本项目重要科学发现的代表性论文专著详细情况，不超过8篇，按重要程度排序。所列论文专著应公开发表2年以上即2020年5月31日以前公开发表。所列代表作及论文应以省内单位或个人为主要完成单位，署名第一单位（标号为1的单位）应为国内单位。

“作者”、“通讯作者（含共同通讯作者）”、“第一作者（含共同第一作者）”和“国内作者”，均应基于论文的全部作者进行填写，不得只填写本项目完成人或少填漏填。

其中，“作者”、“通讯作者（含共同通讯作者）”和“第一作者（含共同第一作者）”的姓名表述应与论文原文的署名保持一致，“国内作者”填写作者的中文姓名。

该表所列论文专著的知识产权归国内所有且无争议，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的作者的同意，其中，未列入项目主要完成人的第一作者、通讯作者（含共同第一作者、共同通讯作者）已出具知情同意书面签字意见，与其他作者的有关知情证明材料均存档备查。）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 89 | Web of Science | 是 |
| 2 | Spiral autofocusing Airy beams carrying power-exponent-phase vortices | Optics  Express | Peng Li, Sheng Liu, Tao Peng, Gaofeng Xie, Xuetao Gan, Jianlin Zhao | 2014年22卷7598页 | 2014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 | 98 | Web of Science | 是 |
| 3 | Optical Bloch oscillations of an Airy beam in a photonic lattice with a linear transverse index gradient | Optics  Express | Fajun Xiao, Baoran Li, Meirong Wang, Weiren Zhu, Peng Zhang, Sheng Liu, Malin Premaratne, and Jianlin Zhao | 2014年22卷22763页 | 2014年9月 | 赵建林 | 肖发俊 | 肖发俊，李保然，王美蓉，张鹏，刘圣，赵建林 | 17 | 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 | 46 | Web of Science | 是 |
| 5 | Graphene-assisted 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 | 136 | 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 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 合 计 | | | | | | | | | 386 |  |  |

1. 主要完成人情况（不超过6人）

（所列完成人应为在陕个人，或与在陕个人合作的我国其他地域的个人**（第一完成人必须为全职在陕的个人）**，且是“代表性论文专著”主要学术思想的提出者，并在“代表性论文专著”中有署名。应按表格要求逐项填写。附件所列验收、鉴定的专家组成员不能作为完成人。**同一人同一年度只能作为一个提名项目的第一完成人参加陕西省科技奖的评审。**附件所列验收、鉴定的专家组成员不能作为完成人。

**工作单位**：根据人事关系填写完成人现工作的单位，已退休的填写退休前的工作单位。

**完成单位**：填写完成人参与本项目主要研究工作时所在单位，应为国内法人单位。如涉及多个单位，应根据贡献大小填写一个单位。完成单位与奖励证书关联，请根据实际情况审慎填写。

**对本项目贡献**：不超过300字。应具体写明完成人对本项目做出的实质性贡献，并注明代表性论文专著编号。

填报时括号部分内容删除。）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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。