

2026 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

一、项目名称

超构表面光场多维调控与信息处理

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省物理学会

提名意见：该项目围绕当前光子集成与信息光子技术向更高维度发展所亟待攻克的高集成与高效能关键基础科学问题，系统研究了单层超构表面解耦调控光场多维参量的原理和方法，创建了多原子宏像素架构及空间局域偏振干涉模型，突破了超构表面在光场独立调控维度上的局限，构建了具有非平庸高维拓扑荷的新型光场，发现并诱导出显著增强且可控的光自旋霍尔效应，发展了光场多维信息集成感知技术与系统。项目研究具有重要的科学价值和理论意义，发表的论著产生了重要的学术影响，5 篇代表作他引 468 次。研究成果为新型显示、精密测量、光电子器件及高能激光应用中关键技术的突破奠定了重要基础。提名材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。该项目获得 2026 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。

三、项目简介

该项目属于物理科学中现代光学前沿基础领域。

同时利用光的振幅、偏振、相位、频率/波长、空间和时间等多个维度进行信息传输、处理和获取，是实现光学智能感知、通信、成像及精密探测等的核心底层技术，也是赋能国防安全、环境安防、空间探测等国家战略需求的关键基础。实现上述目标的关键之一是发展高效的光场多维调控与精确测量技术。然而，光场不同维度参量对光学介质的响应机制存在显著差异，导致多维度调控与精确测量系统在尺寸、功耗、带宽、分辨率等方面均面临严峻挑战。

具有二维人工亚波长结构的梯度超构表面，为光场的多维协同调控与高效并行信息处理开辟了全新范式，是实现光学系统高集成度、极端微型化及多功能融合的核心途径之一。然而，受限于超构表面单层单元的旋转对称性及其琼斯矩阵固有的厄米特性约束，传统超构表面难以突破光场两个维度参量解耦调控的上限，严重制约了超构表面的信息调制容量与器件功能密度。这已成为当前光子集成与信息光子技术向更高维度发展所亟待攻克的关键基础科学难题。

该项目在国家自然科学基金重点项目、国家重点研发计划课题等的支持下，通过创建多个超原子宏像素架构及空间局域偏振干涉机制，突破了单层超构表面本征基矢的厄米约束，实现了光场正交偏振态复振幅的完全解耦调控，拓展了超构表面在独立调控光场维度方面的能力。在此基础上，构建了具有非平庸高维拓扑荷的新型光场，发现并诱导出显著增强且可控的光自旋霍尔效应，进而发展出光场多维信息集成感知技术与系统。主要科学发现点如下：

1. 提出并构建了超构原子空间局域偏振干涉解耦调控光场多维参量的理论模型，解决了光场振幅、相位、偏振、波长多个维度的独立调控问题，揭示了多原子宏像素超构表面实现光场近远场、实空间与动量空间解耦调控机制，发明了全偏振自由度编码的真彩色全息显示、斯托克斯矢量非对称全息加密新方法，以及飞秒激光直写制备大尺寸全息超构表面的激光等离子体纳米压印技术，发展了超构表面矢量全息新体系。

2. 提出了超构表面多维调控构筑拓扑结构光场及编解码信息的新机制，首创了嵌套纽结、偏振编码涡旋结等新型拓扑结构光场，发展了基于光场非平庸高维拓扑荷的高容量信息编解码方法，揭示了超构表面增强及操控三维空间自旋-轨道耦合的内在机制，实现了光自旋霍尔效应的巨大增强，发现了自由空间中旋光效应及光波非互易传输调控新机理，并研制了一类无介质光学非互易器件。

3. 提出并建立了基于超构表面的光场多维信息感知新机制，发展了基于光自旋霍尔效应的光场多维信息单次曝光成像新方法，开发了面向多维光场定量成像的超构表面集成测量系统，揭示了超构透镜偏振关联点扩展函数的多维成像机理，创建了偏振复用的并行光学卷积运算前端，实现了图像信息的并行微分和积分全光模拟计算。

该项目的相关成果已在 *Nature Communications*、*Light: Science & Applications*、*Laser Photonics Reviews* 等国内外重要学术期刊发表论文 100 余篇，获授权国家

发明专利 10 件；其中 5 篇代表作被 Web of Science 他引 468 次。研究成果对推动光场调控与全息显示等领域的发展具有重要的科学价值和理论意义，产生了广泛学术影响，受到包括中国两院院士、美国两院院士等 20 余位院士团队在内的众多国内外同行的关注与高度评价。如提出的光场多维调控超构表面被《科技导报》评选为 2021 年微纳光学领域重大进展的代表性成果之一并被重点介绍。澳大利亚国立大学 Yuri Kivshar 教授（澳大利亚科学院院士）等多国院士在内学者合著的《光子超表面路线图》中评价多维调控超构表面“显示出打破自由度限制的前所未有能力（unprecedented abilities to break the conventional limits）”。香港城市大学 Ding Ping Tsai 教授（美国发明家科学院院士）评价多维调控超构表面“首次展示了一种完全控制偏振和颜色的极简而精致设计方法（for the first time, they showed a minimalist and exquisite design method to fully tune the polarization and color）”。顶尖期刊 Light: Science & Applications 的 News & Views 栏目评价多维调控超构表面：“创新功能打开了加密显示等变革性应用大门（this innovative capability opens the door to transformative applications, including encrypted displays）”。

该项目提出的“具有非平庸高维拓扑荷的新型光场构筑与信息编解码机制”和“光场多维定量成像理论方法”为高维拓扑结构光场的波前全参量探测提供了有效的实现途径，获批国家重点研发计划课题[编号：2022YFA1404801]。提出的光场多维调控超构表面正被中国工程物理研究院等用于解决国防领域高能激光能量靶向性传输、红外波段特殊光束产生等关键问题。部分研究成果获陕西省物理学会科学技术奖特等奖和陕西高等学校科学技术研究优秀成果（一等）。

项目研究过程中培养了一支优秀的科研队伍，包括 20 余名优秀博士研究生。其中，2 人获国家自然科学基金优秀青年基金项目，1 人获国家博士后专项基金，2 人入选“玛丽·居里”学者，1 人入选中国科协青年托举人才工程，2 人获陕西省优秀博士学位论文奖，1 人获中国光学学会郭光灿光学奖，4 人获王大珩光学奖学生奖，1 人获全国博士生学术联赛亚军。。

四、客观评价

发现点 1: 该发现点提出的光场多维调控模型被《科技导报》评选为 2021 年微纳光学领域重大进展的代表性成果之一并被重点介绍, 得到中国光学、光学世界、工信部等多家权威平台集中报道与广泛宣传, 相关成果受到美国两院院士、欧洲科学院院士、澳大利亚科学院院士、中国两院院士等 10 余位院士在内的同行广泛关注与正面评价。部分评价内容如下:

1. 澳大利亚国立大学 Yuri Kivshar 教授 (澳大利亚科学院院士)、英国伦敦国王学院 Anatoly Zayats 教授 (欧洲科学院院士、Advanced Photonics 主编)、美国罗切斯特大学 Robert W. Boyd 教授 (加拿大皇家科学院院士) 等合著的《光子超表面路线图》中多次评价超构表面多维调控模型: “显示出打破自由度限制的前所未有能力 (unprecedented abilities to break the conventional limits)”、“提升了全矢量全息能力 (expended the ability of metaholograms for the full vectorial holography)”。

2. 香港城市大学 Ding Ping Tsai 教授 (美国发明家科学院院士)、南京大学祝世宁教授 (中国科学院院士) 等分别在其综述中引用多维调控超构表面原图并作为重要进展大段评价: “首次展示了一种极简而精致的设计方法 (for the first time, they showed a minimalist and exquisite design method...)”、“设计了四重编码策略, 实现了非对称加密, 信息更加安全”。

3. 美国密西根大学 Nicholas A. Kotov 教授 (美国两院院士) 等在其论文中评价多维调控超构表面: “具有强烈偏振依赖的全息、信息加密光子器件”。

4. 韩国成均馆大学能源存储中心主任 Hyoseok Park 教授 (韩国科学技术青年院院士) 等在顶尖期刊 Light 的 News & Views 栏目中评价多维调控超构表面的色彩调控: “这一创新能力为加密显示等变革性应用打开了大门 (This innovative capability opens the door to transformative applications, including encrypted displays...)”。

5. 罗马萨皮恩扎大学 Claudio Conti 教授等在其论文中多处评价超表面偏振调控和加密: “对偏振的操控提供一种强大的多路复用策略..., 开启了基于偏振的加密 (unlocking polarization-based encryption)”。

6. 中国科学院成都光电所罗先刚教授 (中国工程院院士) 等在其论文中评价多维光场调控超构表面: “紧凑的设计和多功能性使得超表面成为光学加密的理想选择” (perfect candidates for optical encryption)。

发现点 2: 该发现点首创的嵌套组结光场概念及其高容量信息编码机理得到美国工程院院士、中国科学院院士等多国院士在内的同行广泛关注和正面评价。系统阐释的三维空间自旋-轨道耦合机制及其实现方法得到国内外同行的广泛正面评价, 并被推广到太赫兹波段。部分评价内容如下:

1. 美国斯坦福大学 Shanhui Fan 教授 (美国工程院院士) 等在其论文中对嵌套组结光场评价: “拓扑特性的稳健性和可扩展性使三维涡旋结构能够应用于高

维信息存储和处理（enable the application of 3D vortical structures towards high-dimensional information storage and processing）”。

2. 加拿大渥太华大学 Ebrahim Karimi 教授（加拿大皇家科学院院士）等在其论文中引用嵌套纽结构筑模型并多次评价：“嵌套结可解决高阶拓扑结构的挑战（challenge can be faced by the nested knot）”、“在基于光学结的安全通信实现中可能非常有用（prove extremely useful in...）”。

3. 美国杜克大学 Natalia M. Litchinitser 教授（APS/IEEE/Optica Fellow）等在其多篇论文中引用嵌套纽结构筑模型与表征方法，并评价：“对于经典和量子通信领域的潜在应用非常重要（show promise for applications...）”、“具有空间光通信和量子通信信息载体的潜力”。

4. 南京大学王慧田教授（国家杰青、长江学者）等在其论文中引用 4 篇纽结构拓扑结构光场工作并多次评价：“一种编码大容量信息的方式”、“为实现稳健的光通信或编码开辟了另一条途径”。

5. 香港科技大学 Kristiaan Neyts 教授（显示与光电子全国重点实验室主任）在光束操控液晶平台的综述中引用了 8 篇自旋-轨道耦合调控工作和 3 个原图，作为典型进行 6 整段评述。

发现点 3：该发现点提出的多参量解耦测量方法获得了中国工程院院士在内的国内外知名学者的广泛正面评价和跟踪引用，基于几何相位快速、鲁棒调控和测量光场偏振的研究工作多次被评选为期刊封面。部分评价内容如下：

1. 深圳大学范滇元教授（中国工程院院士）等在其论文中对单曝光快照式测量方法进行了详细评价：“基于几何相位原理，提出了一个可同时测量相位和偏振态的方法。只需要对干涉条纹单次曝光，而不用改变任何光学元件”。

2. 浙江大学刘旭教授（中国光学学会秘书长、COS/Optica/SPIE Fellow）等在其论文中对全场相位快照式测量方法评价：“准确定位了相位奇异点，实现了自由空间传输光涡旋结和链结构的测量（accurately measure optical vortex links and knots）”。

3. 日本神户大学 Osamu Matoba 教授（SPIE/Optica Fellow）等在其论文中评价：“将数字全息扩展到偏振域，能够提取完整的斯托克斯参量信息（enabling the extraction... full-Stokes parameters）”。

4. 法国巴黎西岱大学的 Giuseppe Leo 教授（Optica Fellow）等在其论文中对超构表面构建与表征涡旋拓扑结构引用并正面评价。

5. 意大利应用科学与智能系统研究所 Maria A. Ferrara 教授等在其偏振测量综述中引用 3 篇工作、3 个原图和多个公式，作为偏振-数字全息干涉仪的典型进行大段原理评述。

五、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 2024 年 8 月 1 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	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	Full-color holographic display and encryption with full-polarization degree of freedom	Advanced Materials	Xuyue Guo, Jianzhan Zhong, Bingjie Li, Shuxia Qi, Yu Li, Peng Li, Dandan Wen, Sheng Liu, Bingyan Wei, Jianlin Zhao	2022 年 34 卷 2103192 页	2021 年 8 月 7 日	李鹏, 赵建林	郭旭岳	郭旭岳, 钟进展, 李冰洁, 齐淑霞, 李渝, 李鹏, 温丹丹, 刘圣, 魏冰妍, 赵建林	209	Web of Science	是
2	Stokes meta-hologram toward optical	Nature	Xuyue Guo,	2022 年 13	202	李鹏,	郭	郭旭岳, 李	96	Web of	是

	cryptography	Communications	Peng Li, Jinzhan Zhong, Dandan Wen, Bingyan Wei, Sheng Liu, Shuxia Qi, Jianlin Zhao	卷 6687 页	2 日 11 月 5 日	赵建林	旭岳	鹏, 钟进展, 温丹丹, 魏冰妍, 刘圣, 齐淑霞, 赵建林		Science	
3	High capacity topological coding based on nested vortex knots and links	Nature Communications	Ling-jun Kong, Weixuan Zhang, Peng Li, Xuyue Guo, Jingfeng Zhang, Furong Zhang, Jianlin Zhao, Xiangdong Zhang	2022 年 13 卷 2705 页	2022 年 5 月 16 日	张向东	孔令军, 张蔚暄, 李鹏	孔令军, 张蔚暄, 李鹏, 郭旭岳, 张景风, 张福荣, 赵建林, 张向东	63	Web of Science	是
4	Controllable oscillated spin Hall effect of Bessel beam realized by liquid crystal Pancharatnam-Berry phase elements	Light: Science & Applications	Sheng Liu, Shuxia Qi, Yanke Li, Bingyan Wei, Peng Li, Jianlin Zhao	2022 年 11 卷 219 页	2022 年 7 月 12 日	魏冰妍, 李鹏, 赵建林	刘圣	刘圣, 齐淑霞, 李岩珂, 魏冰妍, 李鹏, 赵建林	55	Web of Science	是
5	Tying polarization-switchable optical vortex knots and links via holographic all-dielectric metasurfaces	Laser & Photonics Reviews	Xuyue Guo, Peng Li, Jinzhan Zhong, Sheng Liu, Bingyan Wei, Wei Zhu, Shuxia Qi, Huachao	2020 年 14 卷 1900366 页	2020 年 2 月 10 日	李鹏, 赵建林	郭旭岳	郭旭岳, 李鹏, 钟进展, 刘圣, 魏冰妍, 朱维, 齐淑霞, 程华超, 赵建林	45	Web of Science	是

			Cheng, Jianlin Zhao								
6	Progress in Optics (Spatially structured light fields and their propagation manipulation)	Elsevier	Peng Li, Sheng Liu, Jianlin Zhao	第四章	202 3 年 4 月 18 日	赵建林	李 鹏	李鹏, 刘 圣, 赵建林	/	/	是
7	Plasmon-enhanced light-matter interactions (Topological Insulator Plasmonics and Enhanced Light-Matter Interactions)	Springer	Hua Lu, Dikun Li, YangWu Li, Zengji Yue, Jianlin Zhao	第四章	202 2 年 3 月 1 日	陆华, 赵建林	陆 华	陆华, 李嶙 琨, 李扬 武, 岳增 记, 赵建林	/	/	是
合 计									468		

六、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具体实施，并全程参与三个创新点的具体研究工作，包括研究方案制订、结果讨论分析、学术论文和发明专利撰写与修改等。作为项目相关论文及专著的作者之一。
李鹏	2	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	作为主要参与者，全程参与三个创新点的具体研究工作，完成了光场多维调控的多原子超构表面模型构筑、超构表面器件设计与制备表征、超构表面的光场多维信息处理等，是代表性论著 1、2、4、5 的共同通讯作者，代表性论著 3 的共同第一作者，代表性论著 6 的第一作者。
刘圣	3	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	作为主要参与者，全程参与三个创新点的具体研究工作，完成了几何相位调控机理分析、多维参量独立调控与信息感知模型

						构建等，是代表性论著 4 的第一作者，代表性论著 1、2、5、6 的作者。
魏冰妍	4	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	参与了发现点 1 和 2 的研究工作，是代表性论文 4 的共同通讯作者，开发了本项目中数控微镜阵列图案化光控取向系统、微纳结构的制备、空间结构光场调控器件等相关制备工艺。
孔令军	5	无	副教授	北京理工大学	北京理工大	参与了发现点 2 的研究工作，是代表性论文 3 的第一作者，提出并构建了嵌套纽结模型及其信息编码机制。
张向东	6	无	教授	北京理工大学	北京理工大学	参与了发现点 2 的研究工作，是代表性论文 3 的通讯作者，提出并构建了嵌套纽结模型及其信息编码机制。

七、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第一完成单位，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。
北京理工大学	2	北京理工大学是本项目的第二完成单位，学校为该项目组提供了良好的工作环境和服务保障。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；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。

八、完成人合作关系说明

完成人长期合作，共同承担多项国家级项目/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。李鹏教授、刘圣教授、魏冰妍副教授与赵建林教授长期合作从事基于超构表面的光场调控研究工作。赵建林教授与张向东教授、孔令军副教授合作参与完成国家重点研发计划项目。

赵建林：项目负责人和主要完成人。系统组织项目论证和具体实施，并全程参与三个创新点的具体研究工作，对主要发现点中超构表面多维光场调控原理、信息处理和信息感知方法系统等均有突出贡献。是第 1、2、4、5、6、7 篇代表性论文专著的共同通讯作者。

李鹏：项目主要完成人。负责超构表面设计、制备和应用研究。对主要发现点中超构表面的光场多维解耦调控原理、结构设计、信息编码和感知集成系统等均有突出贡献。是第 1、2、4、5 篇代表性论文专著的共同通讯作者，第 3 篇代表性论文专著的共同第一作者，第 6 篇代表性论文专著的第一作者。

刘圣：项目主要完成人。负责超构表面调控光自旋-轨道耦合和光场多维信息单曝光成像研究，对主要发现点中自由空间中旋光效应及光波非互易传输调控、多维光场定量成像系统等有突出贡献。是第 4 篇代表性论文专著的第一作者，第 6 篇代表性论文专著的主要完成人之一。

魏冰妍：项目主要完成人。负责超构表面调控光场传输演化研究，对光自旋霍尔效应的巨大增强和可控应用等具有重要贡献。是第 4 篇代表性论文专著的共同通讯作者。

孔令军：项目主要完成人。负责拓扑结构光场的构建与信息编码研究，对发现点中嵌套纽结拓扑结构的提出、实验实现及信息编码等具有重要贡献。是第 3 篇代表性论文专著的共同第一作者。

张向东：项目主要完成人。负责拓扑光场构建与高容量信息编码研究，发现点中嵌套纽结拓扑结构的提出、实验实现及信息编码等具有重要贡献。是第 3 篇代表性论文专著的通讯作者。

完成人依照对成果的实际贡献依次排名。经项目组成员协商，按完成人承担完成研究任务、创新点、工作量等综合实际绩效排名。

第一完成人签名：赵建林