

## 公示内容

- **项目名称：**多维度光场调控与超极限光学成像
- **提名者：**中国物理学会
- **提名意见：**

该项目围绕“超极限光学成像”这一目标，发展了多维度光场调控的新手段，探索了克服衍射极限和信道复杂这两个不利因素的新成像原理与方法，具有通用性与常规光学显微技术兼容性等优点，因而具有可拓展的广泛应用推广价值。实现了分辨率达到70纳米的无标记远场超分辨光学成像和突破光学散射限制的全彩色动态非侵入式成像，在此过程中，开发了多种对光场的时间-空间特性进行多维度调控的新方法。项目成果发表在 *Physical Review Letters* 等高水平学术杂志上，受到国内外同行及主流科技媒体的广泛关注与跟进研究，获得2014年度中国光学重要成果奖，单篇论文他引次数达到287次，入选ESI高被引论文。

鉴于此，中国物理学会郑重提名该项目申报国家自然科学奖二等奖。

## ● 项目简介

成像技术是人类探索自然科学极为重要的工具。电子显微、相衬显微、荧光超分辨等多项诺贝尔奖成果不断地扩展着人们的“视域”。然而成像技术始终受限于基本的物理极限，在许多情况下无法克服衍射极限和信道复杂两个不利因素。传统标量衍射理论、变换光学和光场汇聚显然也无法带来新的技术革命。项目从成像的基本物理过程，以多维度光场调控为技术手段，重新审视了上述两个不利因素。利用光场在空域、时域和频域调控的新方法，复杂体系中光场能被高效的定向传输、极限汇聚和反演，噪声中的微弱信号能被有效的提取、筛选和实时演化。随着光场时空合成新原理的提出，光场传播全矢量描述的完善以及多参量光场调控技术的成熟，取得的成果包括以下三项科学发现：

### 1、利用调控光场实现极小空间光场与超分辨光学成像

从光场调控新原理和新技术出发，生成具有奇异性质的复杂光场，研制出精准光场参数调控和表征装置，探索调控光场的传输和紧聚焦特性。系统性地开展了远场紧聚焦光学以及超分辨光学成像研究，取得了迄今最优异的远场聚焦与线性无荧光标记远场光学成像。在可见光范围内能够实现 70nm 的空间分辨率。研制了专用光场调控模块（兼容于商用共聚焦显微镜），使得系统的操作如同普通共聚焦显微。

### 2、建立了基于光场相位控制的先进光学成像技术

通过对光场的振幅、波矢、相位空间分布等因子开展调控，合成了新型三维空间光场结构，并将之应用于光刻与成像。通过对散射光场的探测与相位优化首次实现了散射体后实时、动态、彩色三维透视成像，这种成像方法突破了常规光学散射限制，提升了人类视觉本领与能力，有望为散射显微和透视成像带来新的技术手段和应用。

### 3、多维度光场调控的新手段

利用新型的自适应设计光学方案，设计出新的微纳结构，对光场的空间分布、传播方向和传输速度进行调控。同时通过设计并制备新型微纳光学结构，实现了对光场的传输方向、空间分布、传输速度和持续时间的操控。为在时间和空间多维度上的极限光学成像提供了新手段。

超分辨光学成像显微技术获得 2014 中国光学重要成果奖；在 SPIE Optics and Photonics 2016 等多个国际学术会议上被邀为大会主题报告。项目成果发表在“Physical Review Letters”、“Nature Communications”、“Advanced materials”等杂志，其中 Physical Review Letters 2 篇，ESI 高引论文一篇，8 篇代表性成果总被引 610 次。科学网及中国光学网等科学网站对本成果予以报道，引起了社会关注与讨论，成果更以科普论文的形式发表在“物理”杂志上，受到产业界的重视。项目成果也得到国际主流科学媒体的关注，美国科学促进会新闻网站（AAAS EurekAlert!）以及欧洲科学新闻（AlphaGalileo）等媒体对项目成果进行了报道。

## ● 客观评价

### (1) 极小尺度光场和超分辨成像工作

代表性工作 1 获得 2014 中国光学重要成果奖；第一完成人受邀在意大利举办的第 12 届“光学新材料与应用”(NOMA2015)学术会议上安排为大会主题报告。在国家重大科学研究计划项目《光场调控及与微结构相互作用研究》中，以“光场调控在超分辨光学显微成像中的应用”为名获得重大研究成果推荐。成果也得到国内外同行的关注和认可, Opt. Express, 25, 5821 (2016), Opt. Express 25, 28409 (2016) 和 Photon. Res. 5, 15 (2017) 等文章都报道了该成果并认为矢量光场调控已经在超分辨成像方面展示了重要的应用前景。英国 Thomas F. Krauss 教授也在 The European Conference on Lasers and Electro-Optics 2015 上介绍了这个成果。

代表性工作 4 发表后也受到广泛的关注, 发表的第二个月即获得 Optics Letters 的 top downloads from April 2013 第 4 名(第 1 名为版面扩充通知), 目前他引总次数超过 30 次, 其中大部分文章(如 Opt. Lett. 38, 3700 (2013), Opt. Express. 21.031469 (2013), Sci. Rep. 5, 11793 (2015) 等)均报道了本代表性工作的实验数据, “The smallest focal spot( $0.0711 \lambda^2$ ) was obtained in experiment with 91% blockage at the middle of the beam.”(引自 Opt. Com., 331, 87 (2014))。认为该成果中所描述的矢量光场调制方式, 是这种低阶的径向偏振光调制紧聚焦获得的最小光斑。

### (2) 基于光场相位控制的先进光学成像技术

折射率虚部光子晶体工作(代表性工作 2)发表后, 中国科学网即对该工作发表题为“光子晶格设计制备研究取得进展”的报道。同时其相关工作(Opt. Express, 16, 12899 (2008))较早使用液晶空间光调制器实现了带功能性缺陷光子晶体结构, 因此得到了多篇相关论文的单独重点引用, 被认为是本方向研究的开拓性工作(Micromachines 7, 59 (2016))。其中 Applied Optics 综述文献(Applied Optics, 52, 61 (2013))认为本工作“通过控制的多光束干涉实现了高对比度功能性器件”。

代表性工作 6 发表后, 随即获得了很高的关注度, 被收录到了同年 6 月份的 Virtual Journal for Biomedical Optics (VJBO) 杂志上。作为典型的波前调制技术的代表, 这一成果得到了国际同行的肯定, 多篇高水平文章(如 Nature Photonics, 8, 784 (2014), Optica 2, 424 (2015), Scientific Reports 7, 41789 (2016))

报导并引用了该成果。该成果的后续研究工作于 2016 年 9 月刊登在了国际知名杂志 Scientific Report (Scientific Reports 6, 32696 (2016)) 上。这项工作得到了广泛的认可：中国光学期刊网等报道了该成果；中国物理学会期刊《物理》在前沿进展中专题报道此项技术。

### (3) 多维度光场调控的新方法：

代表性工作 7 被全球最大的科学新闻网美国科学促进会新闻网站 (AAAS EurekAlert!) 以及欧洲科学新闻 (AlphaGalileo) 等媒体进行了题为《科学家的新方法提升了太阳能电池效率 (Scientists' new approach improves efficiency of solar cells)》的报道。论文发表至今被他引 89 次，包括 Nature Nanotechnology 9, 19 (2014), Nature Materials 13, 451 (2014), Advanced Science 3, 1600123 (2016) 等综述论文；提出的准随机结构得到同行认可和使用，被认为可用于“光场调控” (Nature Communications 5, 5517 (2014)) 和“光伏及 LED 器件” (Proceedings of the National Academy of Sciences USA 114, 8734 (2017))。

代表性工作 3 发表后被 Light: Science & Applications (LSA, 4, 294 (2015)) 和 ACS Applied Materials & Interfaces (ACS Applied Materials & Interfaces, 7, 9902 (2015)) 等高水平学术刊物引用。

代表性工作 5 被 SCI 他引 287 次，入选 ESI 前 1% 高被引论文。被 Nature Photonics 4, 518 (2010) 等综述文章重点引用，被认为在光调制器，增强非线性等方面具有重要应用价值；被国际同行认为实现了“低色散” (Nature Photonics 3, 207 (2009), Phys. Rev. Lett 110, 053902 (2013), Phys. Rev. Lett. 118, 183603 (2017) 等)、 “高群折射率、宽带宽和低损耗的慢光光子晶体” (Nature Communications, 8, 14411 (2017))。

● 代表性论文专著目录

代表性论文专著目录（不超过 8 篇）						
序号	论文专著名称	刊名	发表时间	通讯作者	第一作者	论文署名单位是否包含国外单位
1	Harnessing the point-spread function for high-resolution far-field optical microscopy	Physical Review Letters	2014	周建英	谢向生	否
2	Photonic crystal formed by the imaginary part of the refractive index	Advanced Materials	2010	周建英	李俊韬	是
3	Efficient color routing with a dispersion-controlled waveguide array	Light: Science & Applications	2013	周建英	刘忆琨	是
4	Minimized spot of annular radially polarized focusing beam	Optics Letters	2013	谢向生	杨良信	否
5	Systematic design of flat band slow light in photonic crystal waveguides	Optics Express	2008	Thomas. P .White	李俊韬	是
6	Image restoration through thin turbid layers by correlation with a known object	Optics Express	2013	周建英	和河向	否
7	Deterministic quasi-random nanostructures for photon control	Nature Communications	2013	李俊韬, Emiliano R. Martins	Emiliano R. Martins	是
8	Optically induced indirect photonic transitions in a slow light photonic crystal waveguide,	Physical Review Letters,	2014	李俊韬, Michel Castellanos Munoz	Michel Castellanos Munoz	是

● 主要完成人情况表

主要完成人情况						
第 1 完成人	姓名	周建英	行政职务		技术职称	教授
	完成单位		中山大学		工作单位	中山大学
	对本项目贡献：发现点 1、2、3 中科学问题的提出与执行过程中的方向指导					
第 2 完成人	姓名	谢向生	行政职务		技术职称	副教授
	完成单位		中山大学		工作单位	汕头大学
	对本项目贡献：发现点 1、2 中基于点扩散函数的超极限成像技术					
第 3 完成人	姓名	李俊韬	行政职务		技术职称	副教授
	完成单位		中山大学		工作单位	中山大学
	对本项目贡献：发现点 3 中微纳光场调控器件的设计与制备					
第 4 完成人	姓名	刘忆琨	行政职务		技术职称	副教授
	完成单位		中山大学		工作单位	中山大学
	对本项目贡献：发现点 3 中超快液晶微纳光场调控器件					
第 5 完成人	姓名	黎永耀	行政职务		技术职称	副教授
	完成单位		中山大学		工作单位	佛山科学技术学院
	对本项目贡献：发现点 1、3 中光场的传输模拟					

## ● 完成人合作关系说明

主要完成人 1：周建英

系统性地提出了开展超极限光学成像的光场调控研究，提出了光场调控用于先进光学成像的研究，提出了调控光场进行光传输优化的研究。为项目开展提供主要的科研条件，指导研究生开展平台建设和系统研究工作，主导和促进项目的国际交流。主持两项国家自然科学基金重点项目（结题一项，在研一项）以及国家重点研究计划子项目（结题）。作为代表性论文 1, 2, 3, 6 的通信作者，代表性论文 4、7 的主要作者参与了主要论文的撰写、修改与定稿。

主要完成人 2：谢向生

第 1 发现点：具体开展矢量光场调控技术及其超分辨应用的平台搭建和研究工作；设计了紧聚焦光场的三维测量装置；搭建极小空间光场的生产装置；推导出矢量光场的多参量调控共聚焦成像理论并实现超分辨光学成像实验。第 2 发现点：为先进光学成像技术设计特殊的空间光调制器件。为代表性论文 1 的第一作者，代表性论文 4 的通信作者，代表性论文 3 的主要作者。主持国家自然科学基金面上（在研）和青年（结题）项目。

主要完成人 3：李俊韬

第 3 发现点：利用电子束直写、全息光刻等方法设计制备了虚部光子晶体，慢光光子晶体波导以及准随机等平板微纳结构，用于光场在空间分布、传播方向和传输速度等方面的调控。为代表性论文 7, 8 的通信作者和 2、5 的第一作者。主持国家自然科学基金面上（在研）、中德合作研究（在研）及青年（结题）项目。

主要完成人 4：刘忆琨

第 3 发现点：设计并制备了色散控制波导阵列，并开展相应的理论和测试工作，参与设计了准无序光子晶格第 2 发现点：参与制备和测试了折射率虚部光子晶体，通过控制光场的相位分布实现了带缺陷的干涉光场。为第 3 代表性论文的第一作者，第 2、7 代表性论文的主要作者。主持国家自然科学基金青年（在研）项目。

主要完成人 5：黎永耀

第 1 发现点：参与完善光场的传输理论。第 3 发现点：利用自适应相位控制技术产生的缺陷光子晶体波导研究对空间离散孤子的非线性操控规律并为后续研究工作提供理论基础；协助研究了主动光子晶体基色分离效应理论模型建立和承担部分数值模拟的工作。为代表性论文 3 的主要作者。主持国家自然科学基金面上（在研）和青年（结题）项目。

- 知情同意证明

知情同意书

我是学术论文“Image restoration through thin turbid layers by correlation with a known object”, Optics Express, 21, 12539 (2013). 的第一作者和河向, 该论文是我在中山大学就读期间在周建英教授的指导下完成的研究成果。在此, 我知悉并同意周老师将此论文作为申报国家自然科学基金的支撑材料。同时我也知晓“获奖项目所用论文专著不得再次用于申报国家科技奖、未获奖项目所用论文专著不得连续两年使用”等有关规定。

和河向

和河向

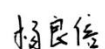
2017-04-26



## 知情同意书

我是学术论文 “Minimized spot of annular radially polarized focusing beam”, (Liangxin Yang, Xiangsheng Xie, Sicong Wang, and Jianying Zhou, Opt. Lett. 38, 1331 (2013)). 的第一作者杨良信, 该论文是我在中山大学就读期间在周建英教授的指导下完成的研究成果。在此, 我知悉并同意周老师将此论文作为申报国家自然科学基金的支撑材料。同时我也知晓 “获奖项目所用论文专著不得再次用于申报国家科技奖、未获奖项目所用论文专著不得连续两年使用” 等有关规定。

杨良信



2017-12-30

## Certification of agreement

I am one of the corresponding authors of the paper "Efficient color routing with a dispersion-controlled waveguide array, *Light: Science & Applications* 2, e52 (2013)". In this work, we worked with Prof. Jianying Zhou's group from Sun Yat-sen University. The contributions of our Chinese colleagues from Sun Yat-sen university are proposing the concept of dispersion controlled waveguide array, the designation and fabrication the sample. The intellectual property rights of this paper is not controversial. I agree that they use this paper as a part of supporting materials to apply for THE STATE NATURAL SCIENCE AWARD of P. R. China.

Department of Physics  
University of York



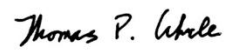
Prof. Thomas F. Krauss

30, Dec, 2017

## Certification of agreement

I am one of the corresponding authors of the paper "Systematic design of flat band slow light in photonic crystal waveguides, Optics Express 16, 6227 (2008)". In this work, we worked with Prof. Juntao Li's group from Sun Yat-sen University. The contributions of our Chinese colleagues from Sun Yat-sen university are proposing the concept of slow light photonics crystals waveguide, the designation and fabrication the sample. The intellectual property rights of this paper is not controversial. I agree that they use this paper as a part of supporting materials to apply for THE STATE NATURAL SCIENCE AWARD of P. R. China.

Australian National University



Dr. Thomas P. White

30, Dec, 2017

## Certification of agreement

I am the first author and one of the corresponding authors of the paper "Deterministic quasi-random nanostructures for photon control, Nature Communications 4, 2665 (2013)". In this work, we worked with Prof. Jianying Zhou's group from Sun Yat-sen University. The contributions of our Chinese colleagues from Sun Yat-sen university are proposing the concept of quasi-random nanostructures and the designation of the sample. The intellectual property rights of this paper is not controversial. I agree that they use this paper as a part of supporting materials to apply for THE STATE NATURAL SCIENCE AWARD of P. R. China.

University of Sao Paulo



Dr. Emiliano R. Martins  
30, Dec, 2017

## Certification of agreement

I am the first author and one of the corresponding authors of the paper "Optically Induced Indirect Photonic Transitions in a Slow Light Photonic Crystal Waveguide, Physical Review Letters 112, 053904 (2014)". In this work, we worked with Prof. Juntao Li's group from Sun Yat-sen University. The contributions of our Chinese colleagues from Sun Yat-sen university are the designation and fabrication the of the slow light photonic crystal waveguide. The intellectual property rights of this paper is not controversial. I agree that they use this paper as a part of supporting materials to apply for THE STATE NATURAL SCIENCE AWARD of P. R. China.

Hamburg University of Technology



Dr. Michel Castellanos Muñoz

30, Dec, 2017