

基于光学超构材料的量子物理与 集成光子芯片

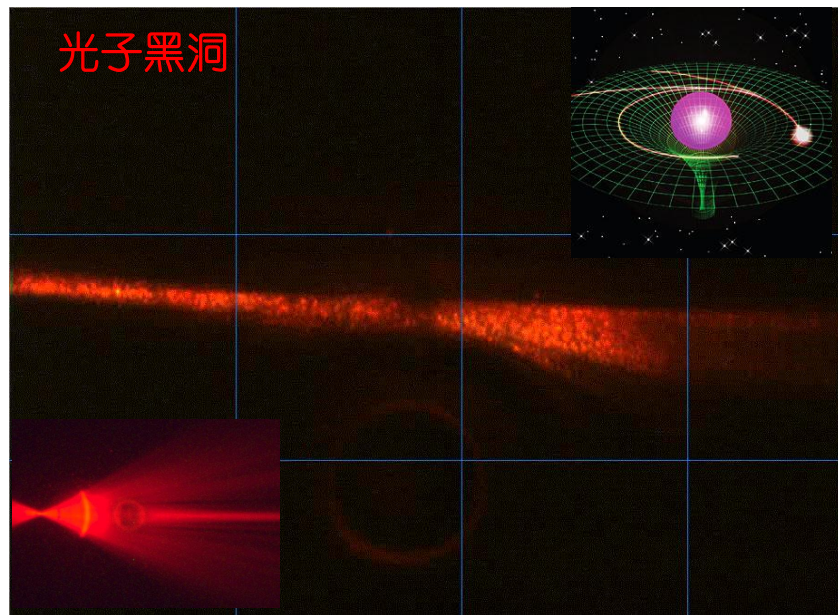
刘 辉

南京大学物理学院, 固体微结构物理国家重点实验室

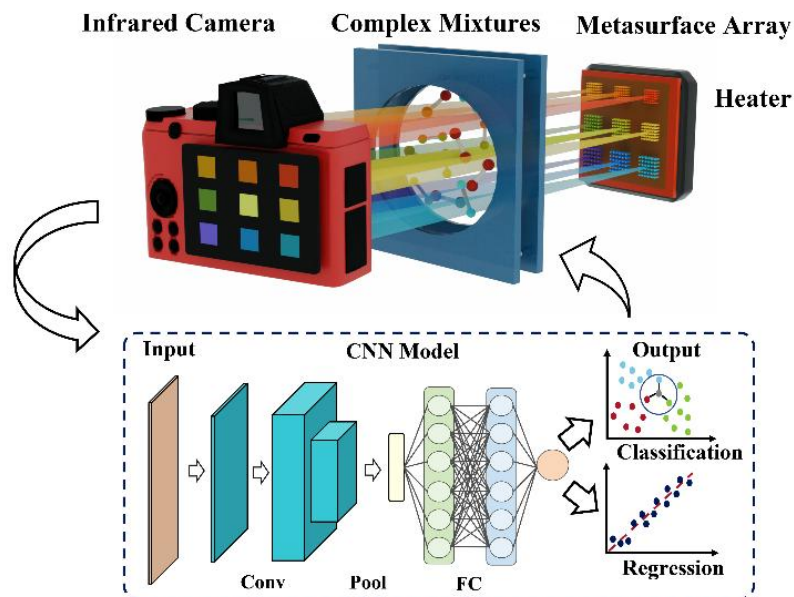
邮箱: liuhui@nju.edu.cn 微信: liuhui5660

光学超构材料与集成光子芯片

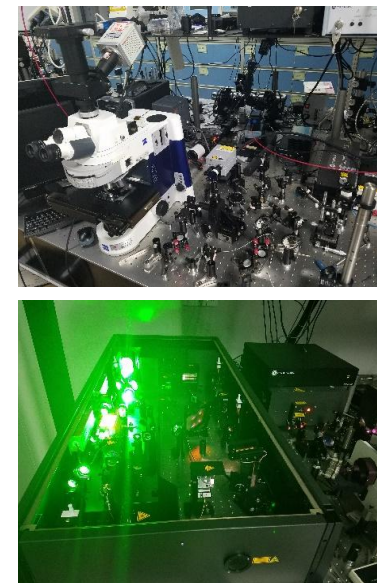
共形变换光学芯片



超构表面热辐射芯片



微纳光学测量



课题组成员



刘辉教授



盛冲副教授



王强副教授



Ryan 博士

毕业生去向

王富明	美国斯坦福大学材料系
卢丹勇	美国加州大学圣地亚哥分校
朱聪	华为公司(上海)
张振国	华为公司(深圳)
汪弋	京东方公司
郑亚建	湖南移动公司
盛冲	南京大学物理学院
仲帆	东南大学物理学院

研究背景 - 光子集成

电子集成

第一台人造计算机

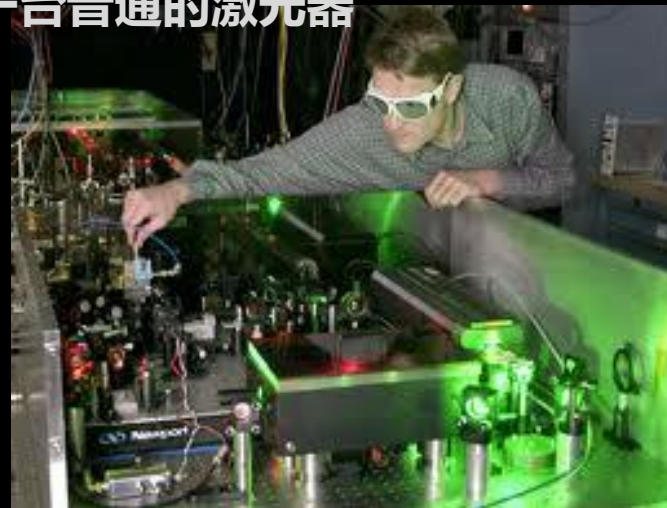


电子芯片技术



光子集成

一台普通的激光器



光子芯片技术



光子计算机



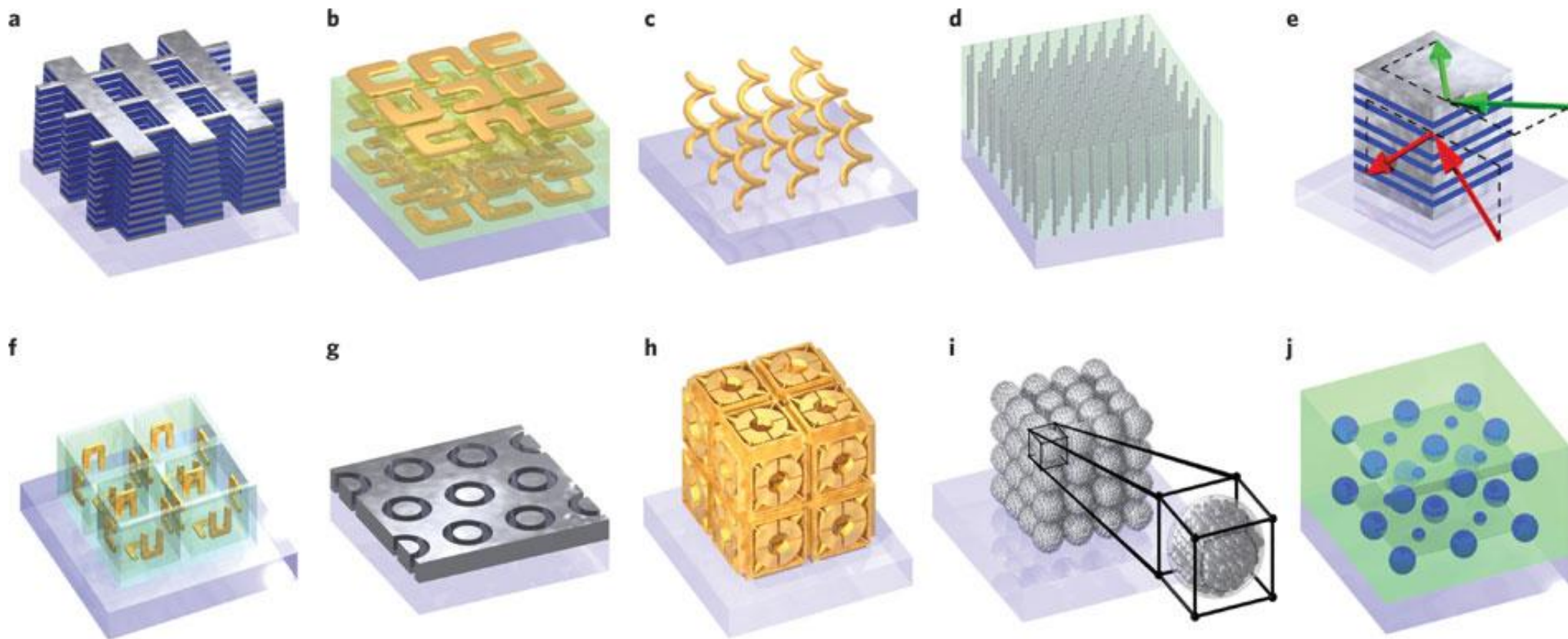
研究背景：光子芯片





研究背景：超材料光子芯片

美国《科学》：2003、2006、2016年十大科学进展



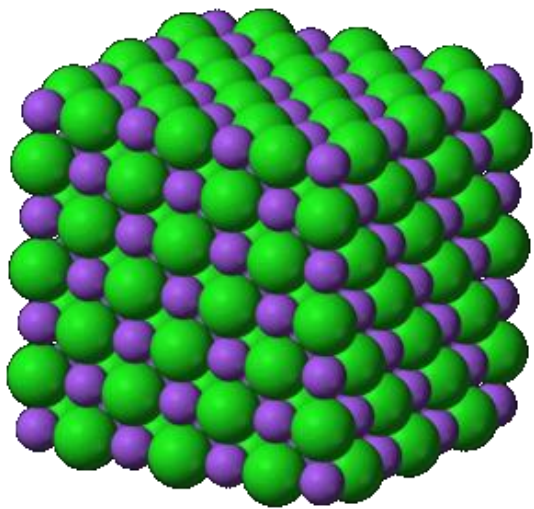
参加工作10多年来，我们主要围绕光子集成国家需求和超材料科学前沿开展研究。



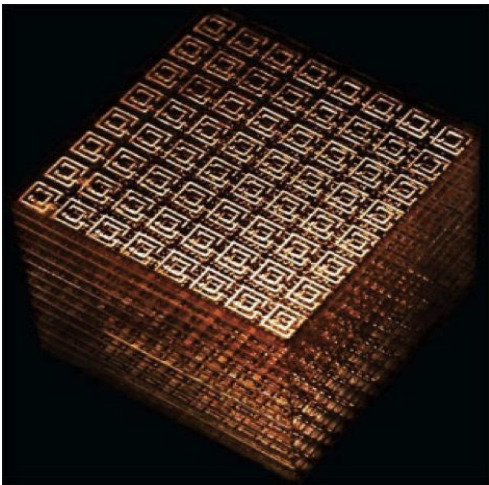
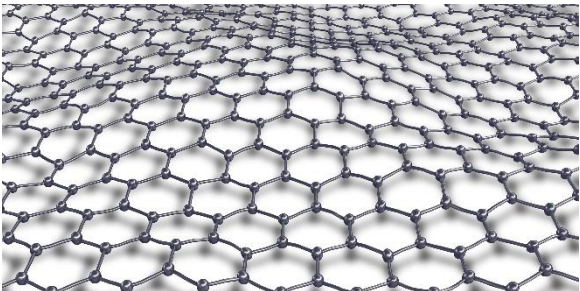
超构材料：模拟凝聚态材料

	形成方式	组成单元
凝聚态物质(电子)	微观→宏观	自然界中原子、分子
超材料(光子)	介观→宏观	介观纳米结构单元

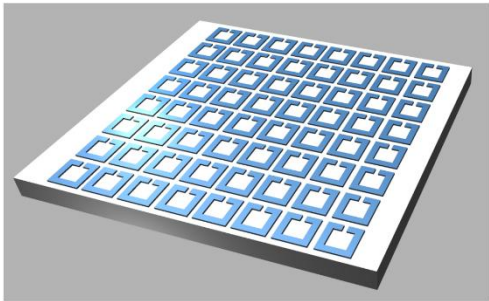
三维凝聚
态物质



低维
材料



三维
超构材料



低维
超构表面



代表性工作

- ❑ Nature Photonics 18, 471 (2024)
- ❑ Nature Photonics 7, 902 (2013)
- ❑ Nature Photonics 3, 157 (2009)
- ❑ Nature Communications 7:10747 (2016)
- ❑ Nature Communications 6:8360 (2015)
- ❑ Phys. Rev. Lett. 134, 106601 (2025)
- ❑ Phys. Rev. Lett. 127, 013901 (2021)
- ❑ Phys. Rev. Lett. 120, 243901 (2018)
- ❑ Phys. Rev. Lett. 119, 033902 (2017)
- ❑ Phys. Rev. X 7, 031032 (2017)
- ❑ Phys. Rev. Lett. 106, 087401 (2011)
- ❑ Phys. Rev. Lett. 97, 243902 (2006)

宽带非线性变换光学芯片

A conformal mapping approach to broadband nonlinear optics on chip
Nature Photonics 18, 471 (2024)

变换光学芯片模拟广义相对论黑洞捕获光子

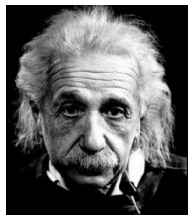
Trapping light by mimicking gravitational lensing
Nature Photonics 7, 902 (2013)

立体手性超构材料

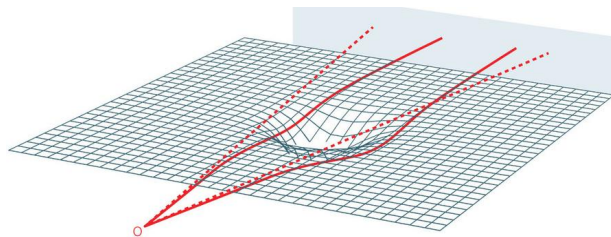
Stereometamaterials
Nature Photonics 3, 157 (2009)



变换光学光学芯片, 模拟黑洞捕获光子



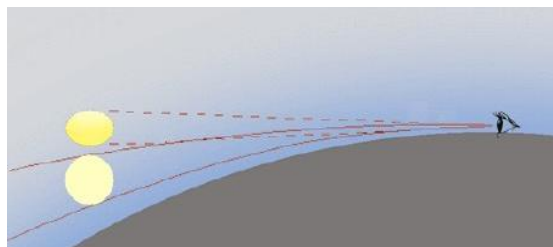
爱因斯坦
方程



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu} \cdot R = -\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



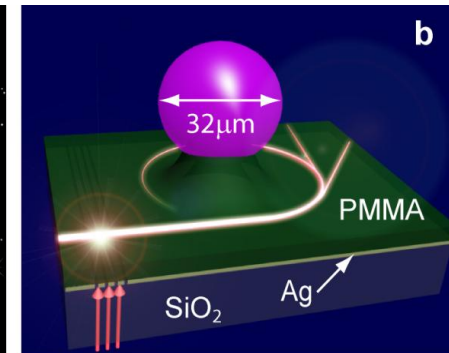
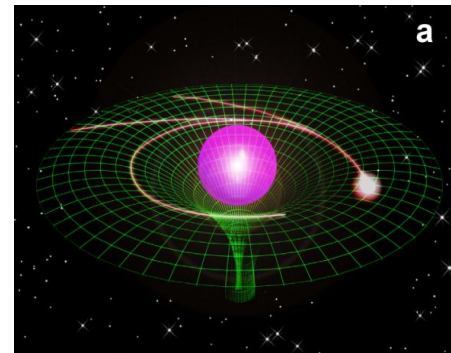
麦克斯韦
方程



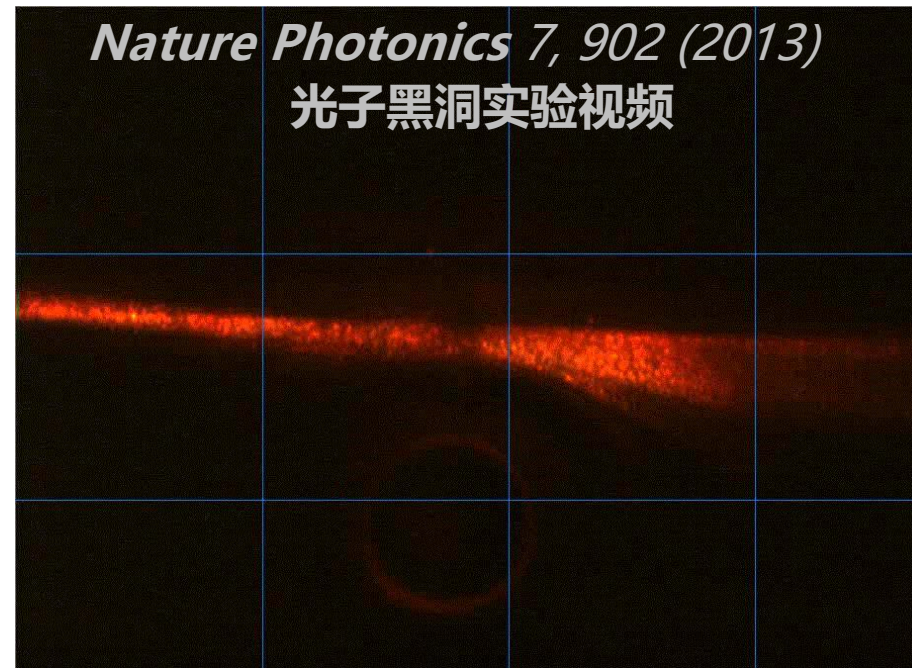
$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu(\mathbf{r}) \cdot \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad \nabla \times \mathbf{H} = \varepsilon(\mathbf{r}) \cdot \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}$$

变换
光学

$$\varepsilon^{ij} = \mu^{ij} = \mu \frac{\sqrt{-g}}{g_{00}} g^{ij} \quad w_i = \frac{g_{0i}}{g_{00}}$$



Nature Photonics 7, 902 (2013)
光子黑洞实验视频





变换光学实现宽带非线性光学芯片

Article <https://doi.org/10.1038/s41566-024-01386-2>

A conformal mapping approach to broadband nonlinear optics on chip

基于共形变换光学原理, 实现集成宽带非线性光学器件

Received: 7 November 2022

Accepted: 8 January 2024

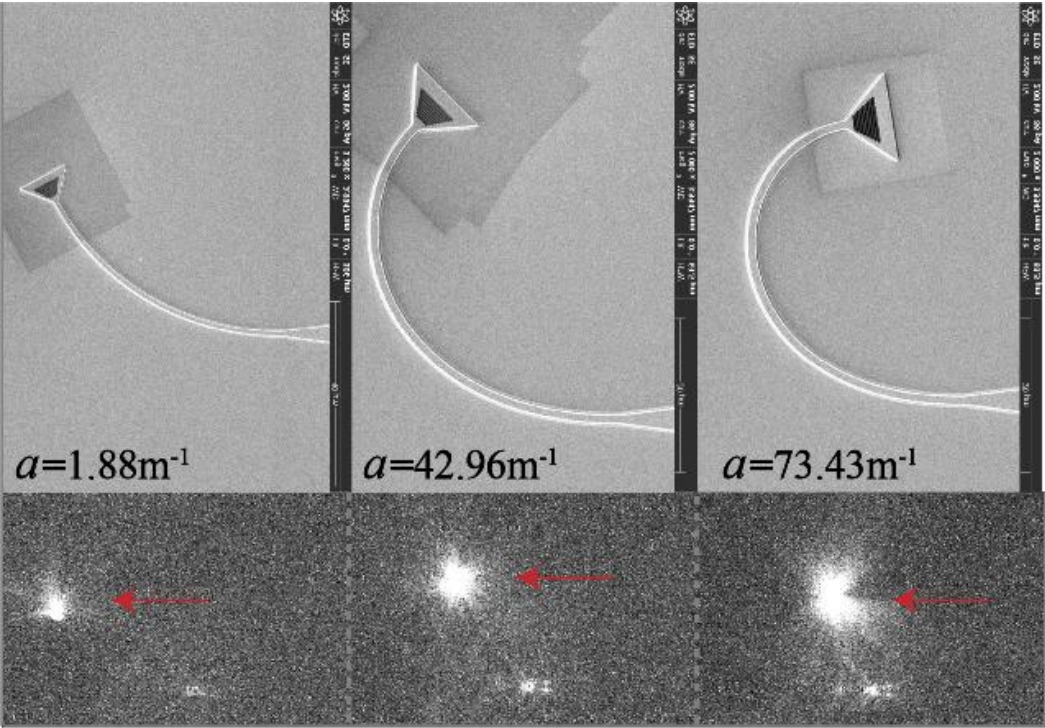
Published online: 12 February 2024

Chunyu Huang¹, Yu Luo^{2,3}✉, Yule Zhao¹, Xiaofei Ma¹, Zhiwei Yan¹, Ziyi Liu¹, Chong Sheng¹, Shining Zhu¹ & Hui Liu¹✉

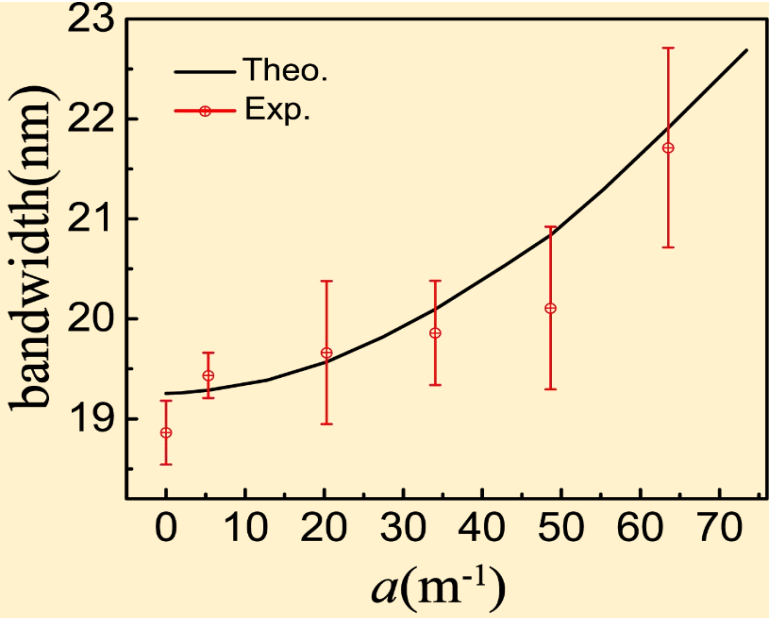
Integrated nonlinear optical devices play an important role in modern

C. Y. Huang, et al.,
Nature Photonics
DOI: 10.1038/s41566-024-01386-2 (2024)

铌酸锂
薄膜共
形变换
光学波
导照片



宽带非
线性光
学和频
测量照
片



注明:
参数 a 表
示波导加
速弯曲程
度, (a=0)
对应普通
直波导

实验结果: 随着共形变换光学波导参数 a 增加, 输出和频带宽也增加



学术评价

NATURE PHOTONICS

TRANSFORMATION OPTICS

Gravitational lens on a chip

Massive objects in space act as gravitational lenses, bending and focusing light. Scientists have now created a photonic analogue of a gravitational lens on a chip, and have shown that it is strong enough to force light into orbits.

Ulf Leonhardt

Their device can not only mimic the deflection of starlight that Eddington observed in 1919, it can also reproduce much more drastic effects of extreme gravity that astronomers have yet to observe. The refractive-index profile was strong enough to force light into orbits, like a satellite.

原文：“微球捕获光子的效率非常高，可以在集成光子芯片上产生实际用途”

国际知名超构材料专家
Leonhardt对我们工作的评

原文：“他们的器件不但可以模拟1919年爱丁顿的天文观测，还可以模拟非常强引力场产生的剧烈效果”

Nevertheless, microspheres on chips are very effective in capturing light. The device is not only of great pedagogical value, illustrating general relativity at work, it may also find applications for the trapping of light in integrated photonics.



学术评价



《自然》杂志“新闻&评述”对我们工作进行特别报道

Curved space-time on a chip

Photonic device simulates gravitational lensing predicted by Einstein's general relativity.

Metamaterials scientist Hui Liu of Nanjing University in China and his colleagues mimicked this 'gravitational lensing' — which affects light in the vacuum of space — by making light travel through solid materials instead. Different transparent media have different indexes of

原文：“这个工作是第一次用光学材料对爱因斯坦方程精确模拟，非常漂亮地演示了广义相对论的部分思想。”

原文：“中国南京大学的超构材料学者刘辉与他的合作者在固体材料中通过模拟引力透镜效应控制光的传输。”

“This is indeed the first time an exact solution of Einstein's equations was mimicked” using an optical

model, says Leonhardt. The simplicity of the experiment — microspheres on plastics — “beautifully illustrates some of the ideas of general relativity”, he adds.



国际主流科学媒体报道

SCIENTIFIC AMERICAN™

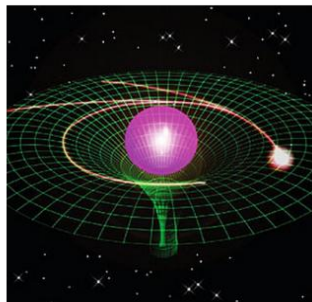
Curved Spacetime Mimicked on a Chip

A photonic device is capable of simulating gravitational lensing, a phenomenon predicted by Einstein's general relativity

Sep 30, 2013 | By Ron Cowen and Nature magazine

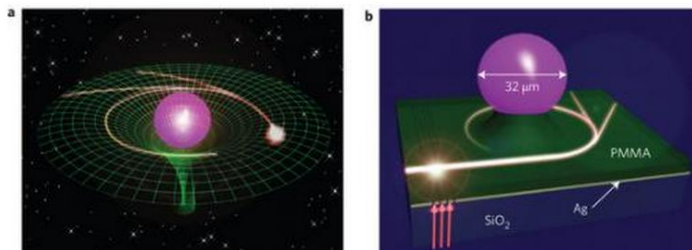
It took two major expeditions charting the solar eclipse of 1919 to verify Albert Einstein's weird prediction about gravity — that it distorts the path of light waves around stars and other astronomical bodies, distorting objects in the background. Now, researchers have created the first precise analogue of that effect on a microchip.

Any large mass distorts the geometry of space around it, for instance making parallel light rays diverge or converge. One consequence, described by Einstein's



Researchers devise a way to mimic gravitational lensing in a way that can be seen

Sep 30, 2013 by Bob Yirka [report](#)



Analogue of light deflection in a gravitational field and microstructured optical waveguide. Credit: *Nature Photonics* (2013) doi:10.1038/nphoton.2013.247

NewScientist

Physics & Math

[Home](#) [News](#) [In-Depth Articles](#) [Opinion](#) [CultureLab](#) [Galleries](#) [Topic Guides](#)

SPACE

TECH

ENVIRONMENT

HEALTH

LIFE

PHYSICS&MATH

[Home](#) | [Physics & Math](#) | [Tech](#) | [News](#)

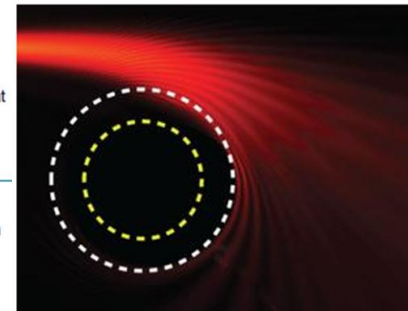
Light-bending black hole mimic is first you can watch

18:00 29 September 2013 by [Jacob Aron](#)

In nature, black holes swallow and trap light via their immense gravity, something that would be difficult, not to mention incredibly dangerous, to recreate in the lab. Instead, Liu's team used a sheet of plastic – and mimicked the effect of gravity by varying its refractive index, the property that determines how much a substance bends light.

Making light curve

The refractive index is different for different materials. That is why a straw poking out of a glass of water appears crooked: water bends light more than air, so has a higher refractive index. A material with a constantly varying refractive index would take this to the extreme, with lots of little bends creating a smooth curve – rather like a black hole's photon sphere.

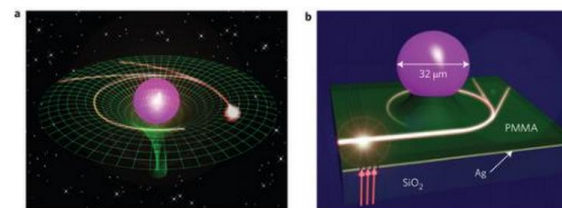


TECHNOLOGY.ORG

27,431 science & technology articles

Researchers devise a way to mimic gravitational lensing in a way that can be seen

Posted on **October 1, 2013**



Analogue of light deflection in a gravitational field and microstructured optical waveguide. Credit: *Nature Photonics* (2013) doi:10.1038/nphoton.2013.247



[Meetings & Events](#)

March Meeting

- Scientific Program
- Registration
- Hotel & Travel
- Events & Activities
- Services & Support
- Exhibits

[April Meeting](#)

[Meeting Calendar](#)

[Abstract Submission](#)

[Archives of the Bulletin of the American Physical Society](#)

[Policies & Guidelines](#)

[Meeting Presentations](#)

[Virtual Press Rooms](#)

[Email](#) [Print](#) [Share](#)

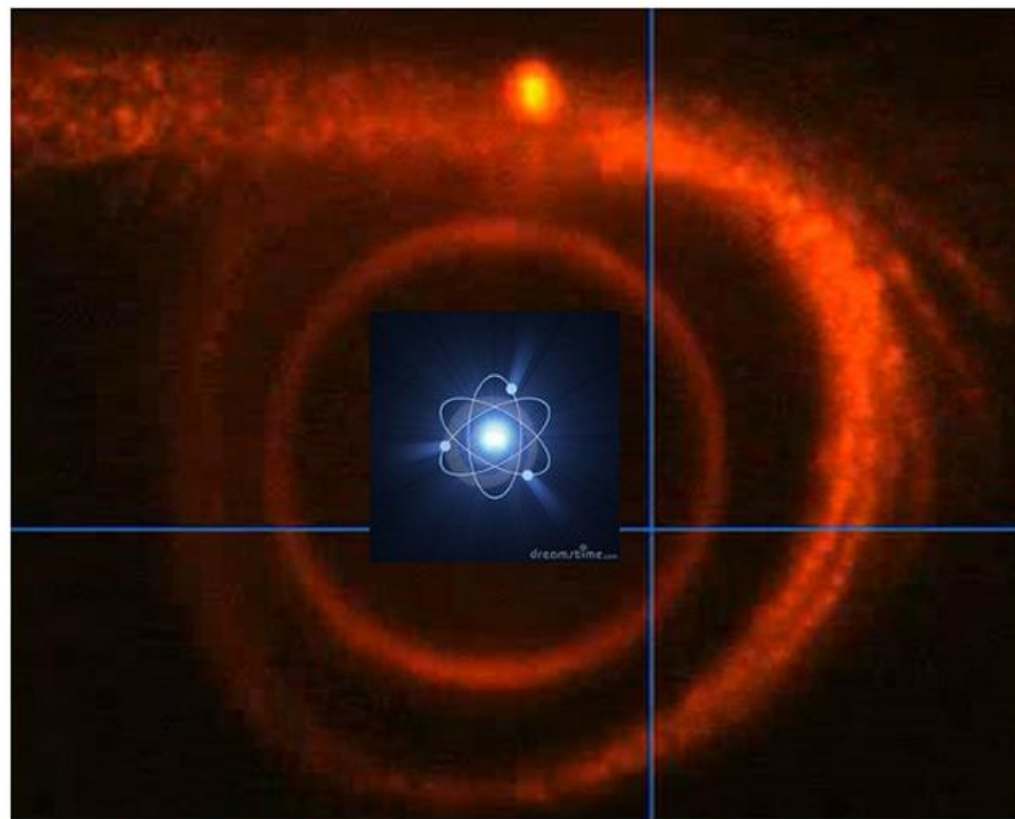
Pages For:

[Physicists/Scient](#) [Go](#)

[Home](#) | [Meetings & Events](#) | [March Meeting](#) | [Press Room](#) | [Virtual Press Room March 2014](#) |

[Image Gallery](#) | [Gravitational Lensing on a Chip](#)

Gravitational Lensing on a Chip



Hui Liu, Nanjing University. Image courtesy of Ying Jiang, Peking University

Photonic chip simulates gravitational lensing predicted by Einstein's general relativity.

我们的实验照片被美国物理学会APS March Meeting 选为会议推荐报告图片



刘辉老师介绍

2003年 南京大学物理系博士毕业

指导老师：祝世宁教授

研究课题：介电体超晶格的非线性光学

2004-2006年 美国加州大学Berkeley分校

指导老师：张翔教授

研究课题：超构材料中负折射与超透镜成像

2006-现在 南京大学物理学院光电科学系

PI：祝世宁教授

研究课题：光学超构材料芯片

主讲课程：

微纳光子学

凝聚态光物理



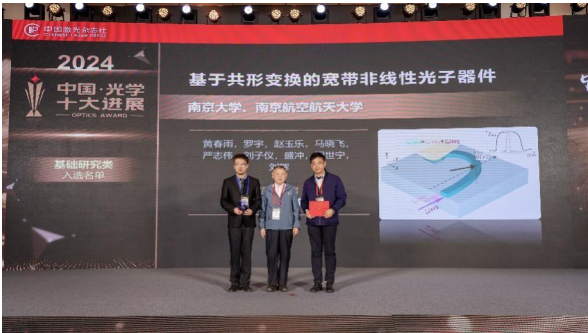
学术兼职和科研奖励

行政职务和学术兼职：

- 南京固体微结构物理国家重点实验室副主任，
- 南京大学物理学院副院长，
- 陶行知教育学院兼职副院长.
- 国家杰出青年科学基金获得者，
- 全国电磁研究会常务理事，
- 光学学报副主编，
- 中国感光学会非线性专委会副主任

科研学术奖励

- 2014年 中国光学学会王大珩光学奖 (中国光学学会)
- 2019年 中国光学科技奖一等奖 (中国光学学会)
- 2015年 江苏青年光学科技奖 (江苏省光学学会)
- 2022年 江苏省科学技术奖一等奖 (江苏省科技厅)
- 2022年 国家教学成果一等奖 (教育部)
- 2025年 中国光学十大进展 (中国激光杂志社)





承担科研项目情况

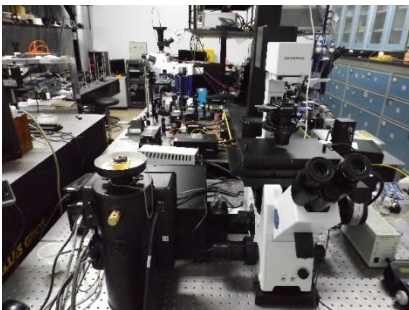
研究内容	项目类别	项目名称	项目经费(万元)	主持/参与
超表面光子芯片	科技部重点研发计划项目 (2017-2022)	极端环境中微纳结构材料的热辐射调控机理与应用研究 (项目号: 2024YFA1210500)	1500	主持(在研)
变换光学光子芯片	国家自然科学基金重大项目课题 (2017-2021)	“变换光学结构的制备与弯曲时空的模拟” (项目号: 11690033)	367	主持(结题)
超表面光子芯片	科技部重点研发计划项目课题 (2017-2022)	“表面等离激元光热吸收研究” (项目号: 2017YFA0205702)	926	主持(结题)
拓扑光子芯片	国家自然科学基金面上项目 (2014-2017)	“金属/介质多层手征超材料对量子点辐射的调控” (项目号: 11374151)	89	主持(结题)
集成光子芯片	基金委重大研究计划重点支持项目 (2022-2025)	“基于非线性光子晶体的片上集成高速太赫兹调制器” (项目号: 9216320045)	350	主持(在研)
集成	基金委重大研究计划集成项目	“基于复合微纳结构的多维光场调控芯片及应用研究”	700	参与(在研)



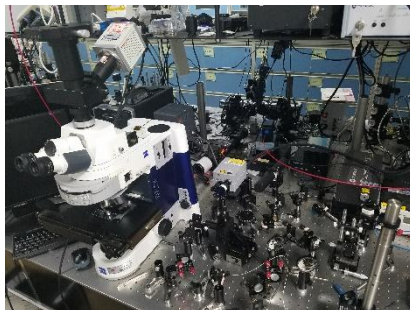
实验平台条件

实验室平台：已经自行搭建了较为完备的微纳光学、非线性光学的测试平台

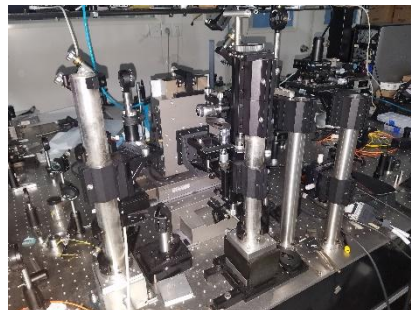
倒置荧光测量



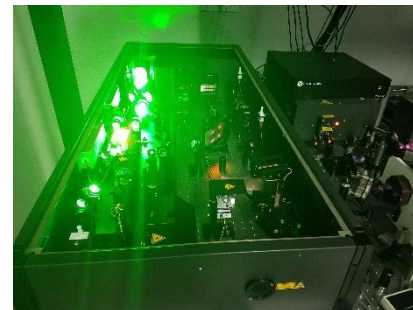
显微光谱测量



飞秒微加工



超快光学测量



公共仪器平台：

南京大学物理学院
南京微结构物理国家重点实验室
南京大学分析测试中心

聚焦离子束加工



电子束蒸发镀膜





优秀毕业生代表

李天启 美国衣阿华大学物理系

王富明 美国斯坦福大学材料系

卢丹勇 美国加州大学圣地亚哥分校

王强 新加坡南洋理工大学

朱聪 华为公司(上海)

王向阳 华为公司(上海)

张振国 华为公司(深圳)

汪弋 京东方公司

高飞 京东方公司

郑亚建 湖南移动公司

盛冲 南京大学物理学院

仲帆 东南大学物理学院

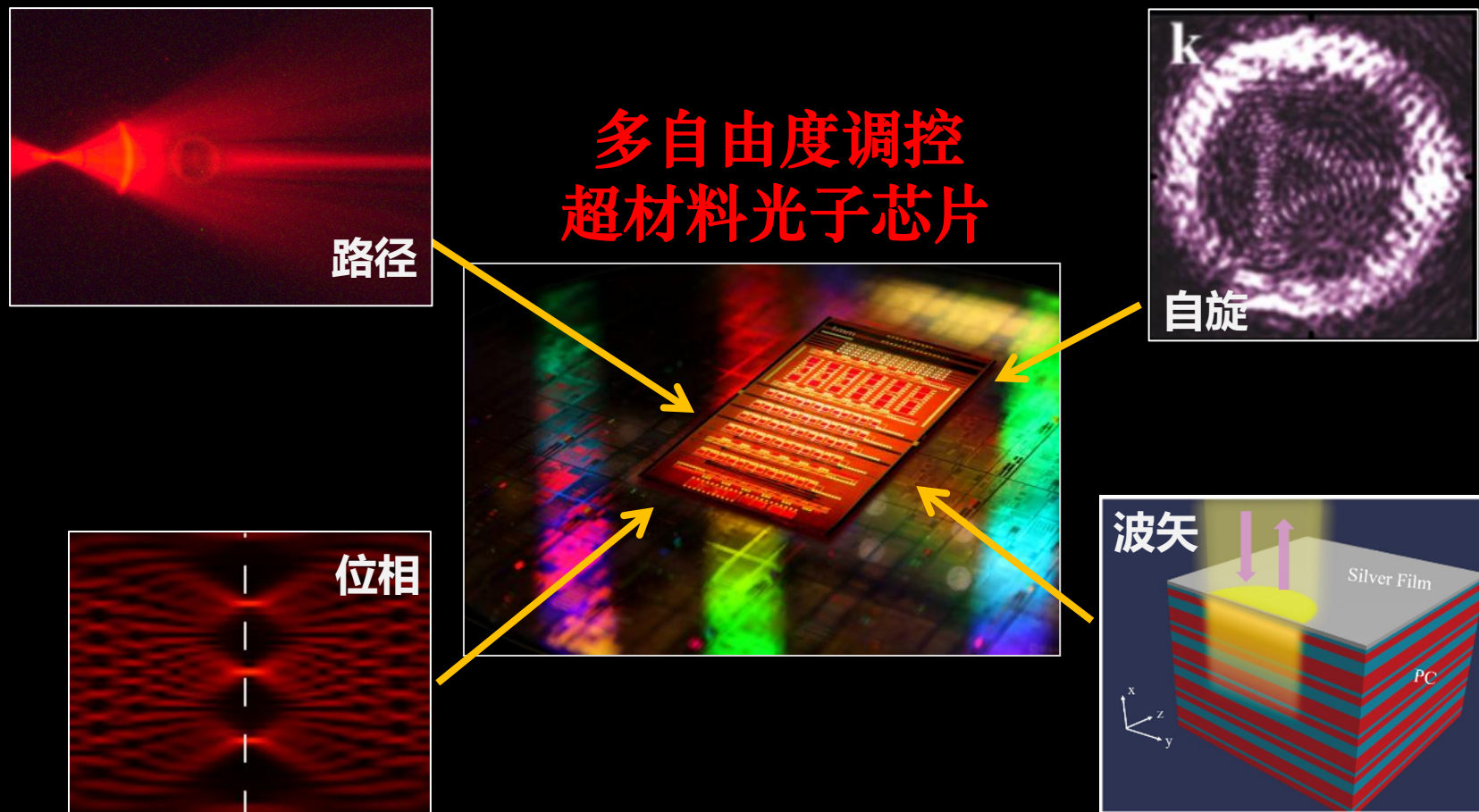


- 李天启 Graduate and Professional Student Senate Peer Research Award, Iowa State University
- 李天启 G. W. Fox Memorial Award for outstanding research, Iowa State University
- 李天启 Professional Advancement Grant, Iowa State University
- 李天启 Travel Award, Materials Research Society Fall meeting
- 李天启 Chinese Government Award for Outstanding Self-Financed Students Abroad

- 盛冲博士生获得"第十二届王大珩高校研究生奖" (2016年);
- 盛冲博士生获得中国激光杂志是评选的“中国光学重要成果奖”
- 盛冲博士后入选首批“博士后创新人才支持计划” (2016年);
- 盛冲博士生应邀参加中美两国青年科学家论坛并作邀请报告 (2015年);
- 盛冲博士生应邀参加中日韩三国超构材料论坛并作邀请报告 (2016年)
- 盛冲博士获得“江苏省优秀博士论文” (2017)

- 王向阳博士生获得FOP5 Best Poster Awards (2018年)
- 王向阳博士生获得固体微结构物理国家重点实验室研究生优秀成果奖 (2017年)
- 王向阳博士生获得江苏青年光学科技奖 (2017年)
- 王向阳博士生获得五校联盟博士生学术论坛口头报告一等奖 (2017年)
- 王向阳博士生获得年度五校联盟年度优秀博士生 (2017年)
- 王向阳博士生获得第十届海峡两岸光电科技博士生论坛最佳人气奖 (2017年)
- 王向阳博士生获得中国光学学术大会优秀学生报告奖 (2017年)

未来工作计划



- 实现光子不同自由度之间的耦合，在高维自由度空间调控光子态；
- 超材料光子芯片与量子光学技术结合，实现多自由度调控功能的量子芯片；
- 尝试将人工智能用于光子芯片，利用机器学习实现智能光子芯片。



课题组网页

课题组成员：

刘辉教授，盛冲副教授，王强副教授
博士后(1)，博士生(6)，硕士生(5)

课题组网页 <https://einstein.nju.edu.cn/index>

邮箱：liuhui@nju.edu.cn

微信：liuhui5660

欢迎到我的课题组攻读研究生

南京大学

NANJING UNIVERSITY

物理学院刘辉课题组

中文

EN

查询论文

网站首页

研究方向

组员介绍

研究成果

仪器设备

学习资料

相关链接

文化活动

招生招聘

联系我们

2023年6月 毕业生答辩合影

课题组简介

现代信息技术的发展对人类社会生产和生活产生了深远的影响。而光子是宇宙中运动最快的粒子，也是人类信息技术的主要载体。人类未来信息技术的革命将依赖于光子科学和技术的重大突破。我们课题组主要从基本物理原理出发，通过引力弯曲时空模拟、拓扑光学方法等，提出新理论、新方法和新技术，设计和制备新型的微纳光子材料和器件，在集成光子芯片中实现新颖的光传输、非线性光学、量子光学调控过程，在光子通信、光子热辐射、光子传感等领域产生实际的应用。我们研究的具体结构体系包括：变换光学波导、超构材料&超构表面、金属表面等微激元、光子晶体等。

了解更多>

科研动态

更多>

[3-12-2025] Our paper titled "Topological degeneracy induced by twisting" is published at Physical review letters...

This work was done in collaboration with with Prof.M.X in Key Laboratory of Artificial Micro- and Nano-structures of Ministry of Education and School of Physi...

[7-2-2021] Our paper titled "Probing Rotated Weyl Physics on Nonlinear Lithium Niobate-on-Insulator Chips" is published at Phys. Rev. Lett. 127,013901...

This work was done in collaboration with Prof. Meng Xiao in Wuhan University and Dr. Qiang Wang in Nanyang University of Technology.

[2-12-2024] Our paper titled "A conformal mapping approach to broadband nonlinear optics on chip" is published at nature photonics, ...

This work was done in collaboration with with Prof.Y.L in School of Electrical and Electronic Engineering, Nanyang Technological University, Singapore.

[10-15-2018] Our paper titled "Definite photon deflections of topological defects in metasurfaces and symmetry-breaking phase transitions with material...

This work was done in collaboration with with Prof. Huangyang Chen in Xiamen University.