

分会场十四：超表面透镜的设计、加工及应用

主 席：黄文浩（中国科学技术大学）、黄坤（中国科学技术大学）

特邀报告 1：超构表面成像研究



王濂明，2006 年于南京大学物理学院获得理学博士。现任南京大学物理学院副教授。主要从事超构表面（Metasurface），金属表面等离子学（Plasmonics），量子光学和非线性光学等方面的研究。在 Nature Nanotechnology, Nature Communications, Physical Review Letters, Nano Letters, Light: Science & Applications 等 SCI 学术刊物上发表论文 60 余篇，总引用次数超过 1000 次。

报告摘要：

色差是影响成像效果的最主要问题。我们使用相位分离的原理，将理想消色差所需要的复杂的相位分解成相对简单的基础相位和色差相位。使用描述对称性的几何相位得到基础相位；使用电磁共振得到的共振相位实现色差相位，并将两者结合起来，就可以得到宽带连续消色差器件。我们使用这个设计原理，实现了在近红外波段的消色差反射聚焦镜和反射。在可见光频段，实现了覆盖整个可见光频段的消色差透镜，并第一次得到了基于超构表面透镜的全彩成像。将超构表面的应用向前推进一大步。但是这样的可见光宽带消色差透镜存在数值孔径和通光口径不能同时很大。为了解决这个问题，我们引入了超构透镜阵列的体系，不但实现了成像效果的提升，同时可以实现光场成像的效果。使用超构透镜阵列，我们尝试在高维纠缠和多光子源方面做进一步的拓展。

特邀报告 2: Large NA and achromatic dielectric Metalens



俞叶峰，南京理工大学电子工程与光电技术学院，教授。分别于 2002 年和 2006 年获得武汉大学物理科学与技术学院学士和硕士学位，于 2012 年获得法国巴黎东大学（University of Paris-Est）博士学位，先后在新加坡南洋理工大学和新加坡数据存储研究院从事科研工作，于 2018 年 6 月加入南京理工大学电子工程与光电技术学院。他长期从事介质超表面和纳米天线等方面的研究工作，回国后主要从事平面透镜以及太赫兹成像系统等方面的研究，获国家高级人才项目资助。

报告摘要:

I will firstly introduce our previous works related to a dielectric metalens with a near-unity numerical aperture ($NA > 0.99$) based on diffractive elements. Through asymmetric nano-antenna designs, these diffractive elements can efficiently bend light to angles as large as 82° . This large NA metalens is demonstrated for signal collection from a single photon source. Then, I will introduce our recent research progresses on a dual-layer achromatic dielectric metalens. We designed and numerically demonstrated a metalens doublet with constant focal lengths in a wide wavelength range through dispersion compensation method. This method is also suitable for the design of other broadband multi-layer meta-devices. These dielectric metalenses have potential applications in light beam shaping and signal detections for integrated optical devices.

特邀报告 3: 基于悬链线光学的超表面大视场透镜



蒲明博，中国科学院光电技术研究所，博士，博士生导师。先后获得中科院院长特别奖、中科院优秀博士论文、四川省科技进步特等奖、中科院杰出成就奖等荣誉，主要研究领域包括微纳光学和亚波长电磁学。

报告摘要:

作为一种特殊曲线，悬链线被誉为力学和数学的完美结合。本报告主要介绍亚波长尺度悬链线结构的奇异光学特性，以及基于悬链线结构和悬链线光场的超表面透镜。

特邀报告 4: Silicon nitride-based metasurface



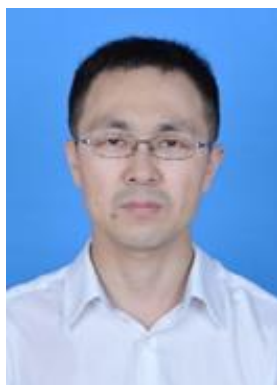
Yujie Chen, Dr. & Associate Professor, State Key Laboratory of Optoelectronic Materials and Technologies, School of Electronics and Information Technology, Sun Yat-sen University. Yujie Chen received his PhD degree in Physics (Photonics) from the Institute of Photonics, University of Strathclyde, Glasgow, UK, in 2012. He is currently an associate professor in School of Electronics and Information Technology at Sun Yat-sen University, Guangzhou, China. His research is mainly focused on the interaction of light with micro/nano-

structures and their applications in integrated photonic devices. Up to date, he has authored/co-authored for more than 50 peer-reviewed articles, 40 conference papers, 2 book chapters, as well as several patent applications.

报告摘要:

Silicon nitride (SiN_x) thin films have been considered as a potential candidate material for various integrated photonic devices recently. In our research group, we have developed processes on the growth of SiN_x thin films at low temperature using inductively coupled plasma CVD (ICP-CVD) technology. Various SiN_x-based integrated photonic devices, including metalens and other metasurface for generating accelerating beams, have been demonstrated. In this talk, I will discuss what SiN_x may offer for the applications of metasurface.

特邀报告 5: 平面超临界透镜及其远场超衍射极限光场调控

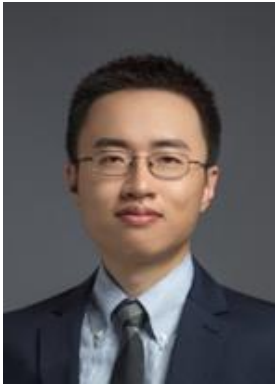


秦飞，暨南大学副教授。2011 年于中科院物理所获得博士学位，2011-2017 年先后任职于南洋理工大学和新加坡国立大学博士后。2017 年 3 月入职暨南大学光子技术研究院。秦飞博士长期从事微纳结构对光场的特殊调控特性研究。近年的研究主要集中在平面超透镜及其在远场超分辨成像方面的研究工作。在 *Science Advances*, *Nature Nanotechnology*, *Advanced Materials*, *Nano Energy* 等刊物上发表文章 30 余篇，总引用 1400 余次。

报告摘要:

突破瑞利衍射极限，实现纯光学的远场超衍射极限聚焦和成像是微纳光学的前沿研究方向。以超振荡透镜和超临界透镜为典型代表的平面超透镜是一种利用光场调控方式实现远场超衍射极限聚焦和成像的光学元件。通过精密调控各衍射结构单元之间的干涉效应，可以在焦平面上局部区域内实现对衍射焦斑横向尺寸的可控调节。秦飞博士与合作者提出平面超临界透镜的概念，基于二元强度构型实验验证了其超衍射极限的聚焦和无标记的远场超分辨成像。基于单层过渡金属硫化物（TMDs）的独特波前调控机制，构建了二元相位型平面超临界透镜，并实验验证了其超衍射极限聚焦特性。结合二维 TMDs 材料直接带隙的优异特性，对于超紧凑光电集成系统的实现具有重要意义。

特邀报告 6: Metasurfaces: towards high performance 3D sensing



Yuanmu Yang (杨原牧), is an Associate Professor at the Department of Precision Instrument, Tsinghua University. He received his PhD degree in Interdisciplinary Materials Science from Vanderbilt University in 2015. From 2015 to 2017, he was a postdoctoral appointee at Sandia National Laboratories. From 2017 to 2018, he was a metamaterials scientist at Intellectual Ventures, and participated in the foundation of Lumotive Inc., the world's first solid-state lidar company based on the metasurface technology. He has co-authored more than 15 scientific contributions published in peer-reviewed journals including Nature Photonics, Nature Physics, Nature Communications, and Nano Letters, receiving over 2000 citations. His research interests include nanophotonics, metamaterials, and nonlinear optics.

报告摘要:

Metasurfaces can provide great flexibility to shape the wavefront of light with a spatial resolution at the sub-wavelength level, which opens up new avenues for many applications including, but not limited to, imaging, display, and holography. One application we are particularly interested in is depth sensing. Sensing 3D (depth) information can enable facial and object recognition, and can be of vital importance in augmented reality, robotics, autonomous driving, and a wide range of other applications. Metasurfaces can play unique roles in both types of mainstream depth sensing approaches, namely structured light, and time-of-flight. In this talk, I will share our preliminary results on how metasurfaces can be used to generate structured light pattern with extremely high efficiency, high uniformity, and large field of view. I will also discuss the opportunities and challenges of using metasurfaces for electro-optical beam steering, towards the realization of integrated 3D sensing, imaging, and display systems.

特邀报告 7: 光学超构表面卡塞格林成像系统



李贵新，副教授，材料科学与工程系、量子科学与工程研究院，南方科技大学。第 12 批国家特聘专家（青年）入选者。于 2009 年毕业于香港浸会大学物理系并取得博士学位，2016 年 10 月回国加入南方科技大学，2009-2016 年于香港浸会大学、英国伯明翰大学物理系、德国帕德博恩大学物理系从事研究工作，任博士后、研究助理教授等职位。研究领域为光学超构材料、超构表面、纳米光学、非线性光学等。在包括《自然-物理学》、《自然-材料学》、《自然综述-材料学》、《自然-纳米技术》、《自然-通讯》、《物理评论快报》等期刊发表研究论文 60 余篇，获美国专利授权 5 项。

报告摘要:

曲面反射镜被广泛应用于卡塞格林光学系统中，曲面镜的存在会不可避免地导致系统体积庞大，既不利于系统的集成也不好实现系统的扩展。传统的卡塞格林物镜是由一个凸面辅镜和一个凹面主镜构成，我们利用平面反射式超构表面来代替传统卡塞格林物镜中的曲面反射镜获得了平面卡塞格林物镜，并实现了高效率的消色散聚焦和成像功能。该平面反射式物镜基于贝里几何相位原理实现，能够内在地消除圆偏振状态未转换的残余光。较基于贝里几何相位原理实现的折射式超构表面物镜相比，它对照明光和纳米加工精度的要求较低。该平面卡塞格林物镜有望简化在不同波段工作的显微镜和望远镜系统中的核心元件，为设计紧凑的光学成像系统开辟新的途径。

特邀报告 8: 二氧化钛超构表面的设计和制备



肖淑敏，哈尔滨工业大学（深圳），教授。中组部第 7 批“青年千人计划”入选者。于 2010 年毕业于美国 Purdue 大学电子工程系并取得博士学位，2012 年 1 月回国加入哈尔滨工业大学（深圳）。研究领域为超构材料、超构表面、纳米光学等。在包括自然、先进材料等期刊发表 SCI 研究论文近 100 篇，专利十余项。

报告摘要：

超构表面是一种基于广义斯涅尔定律，通过控制波前相位、振幅以及偏振进行电磁/光学波束调控的新结构，其新颖的机制和灵活的结构设计展现出广阔的应用前景。传统的超构表面是利用金属天线构建的，因此具有较大的损耗，而高折射率介质材料利用 Mie resonance 的方式实现对光的有效操控，实现了对光相位、波前的改变，从而获得了低损耗的超构表面。本报告将主要介绍课题组近年来在各类介质超构表面上的研究进展，研讨基于二氧化钛低损耗介质材料实现高效超构表面的研究，并探索二氧化硅平面光学器件的制备和应用。

特邀报告 9: 超表面材料在信息光学中的应用研究



郑国兴，男，1977年生，工学博士，武汉大学电子信息学院电科系副主任/教授/博导。近五年来，紧紧围绕超表面光学的三个核心科学问题（相位调控、偏振复用、衍射效率）开展了“新理论突破、新功能发掘、新器件研制、新领域拓展”的原创性科学探索研究。近五年主持国家自然科学基金3项，湖北省杰青人才项目1项，主持和参与其他省部级、横向项目十余项；近五年在微纳衍射光学领域发表了包括 Nature Nanotechnology、Nature Communications、ACS NANO、Science Advances、Light: Science & Applications、Carbon、Optics Letters、Optics Express 等主流期刊在内的学术论文50余篇，其中ESI热点&高引论文2篇，SCI收录20余篇，论文总引用超1200次（平均单篇引用70次），五年论文累计影响因子超130（平均8.9）；申请发明专利50余项，已授权20余项；2013年获教育部高等学校科学研究优秀成果奖一等奖1项（排名第三）。主要学术兼职有：中国光学学会光学教育专业委员会常务委员、湖北省光学学会常务理事、中国光学学会高级会员、《应用光学》编委、教育部/基金委/湖北省科技及人才项目评审专家等。

报告摘要：

超表面材料是一种二维的超材料，即在透明材料的表面刻画出周期性的亚波长结构。这种亚波长结构对入射光波具有特殊的调控作用，可等效为逐点调制的各向异性材料，从而精密操控入射光波电磁场的振幅、相位、复振幅、偏振等光波特性及波长响应。本报告将介绍我们课题组的光学超表面材料研究进展，包括：衍射效率高达80%的可见光计算全息术，电磁双磁共振硅界面材料及其应用， 4π 全空间光操控技术，变焦超表面透镜以及基础光电子器件的创新等。研究表明，超表面材料具有精密电磁调制、超大衍射角度、高效率、与半导体工艺兼容等突出优势，有望用于打造新一代新概念、高性能、芯片级的光电子功能器件，在光纤通信（分束、波片、偏振分离、聚焦、成像、耦合、集成等）、激光雷达、偏振干涉、偏振相机、量子通信、光镊、光束整形、全息防伪、体感、照明、光谱、传感、生物医学等领域得到重要应用。

特邀报告 10: Interfacial meta-optics approaching atomic thicknesses



李向平 (Xiangping Li), 男, 暨南大学光子所教授。2009 年获斯威本科技大学光子学博士学位。2011-2014 年获得澳大利亚研究委员会优秀青年项目资助 (ARC APD fellowship)。2013 年荣获维多利亚州政府优秀青年称号 (Victoria Fellowship)。2014 年 10 月再次荣获澳大利亚研究委员会优秀青年项目资助 (ARC DECRA fellowship)。2015 年入选青年千人计划, 受聘暨南大学光子技术研究所, 担任教授及博士生导师。同年荣获基金委优青人才计划资助。主要研究领域包括表面等离子激元、超构表面、光存储等。

报告摘要:

The high demand of miniaturization and integration of optical components has shed light on emerging 2D materials. Although 2D materials have received tremendous investigations on excitonic light-matter interactions, their application in wavefront engineering is appreciated very recently as high refractive index materials, which are achieved in typically subwavelength-scale thicknesses. Here, we demonstrate that meta-optics at the interface can be achieved through integrating atomic-thick 2D materials on a planar substrate. By utilizing the loss-assisted phase regulations, metaholograms and metalens can be demonstrated with the thickness approaching to the physical limit.

特邀报告 11: 超颖表面成像及波前调制研究



黄玲玲，北京理工大学教授、博士生导师。入选教育部青年长江学者、北京市卓越青年科学家、霍英东基金获得者、中国科协青年人才托举计划、北京市科技新星。主要从事微纳光学功能器件及物理机制研究，作为项目负责人承担国家重点研发计划课题，国家自然科学基金委国际合作项目、面上项目、青年项目，北京市自然科学基金等十余个项目。获得中国仪器仪表学会金国藩青年学子奖，博士论文获首届全国光学工程学科优秀博士学位论文。

报告摘要:

超颖表面通常是由单层亚波长尺寸的金属或介质纳米天线阵列构成，具备任意调制入射电磁波的相位、振幅和偏振的功能，能够灵活调控入射光的波面。超颖表面提供了光场调控的新方法和新机理，在波前整形、隐身斗篷以及全息防伪等领域展现出了独特的应用前景。针对当前传统光学元件所面临的瓶颈挑战，利用超颖表面实现非对称传播波前调制、涡旋光成像及超透镜成像等研究。

特邀报告 12: 线描轮廓加工: 一种颠覆性跨尺度超表面结构制造工艺



段辉高, 1982 年生, 湖南大学机械与运载工程学院教授、博士生导师。兰州大学获学士和博士学位, 曾先后在中科院电工所、美国麻省理工学院、新加坡科技研究局材料工程研究院、德国斯图加特大学及马普固体所等机构从事科研工作, 2012 年加入湖南大学成立微系统技术实验室。主要从事微纳制造及微系统技术相关研究, 主持和完成国家自然科学基金 5 项, 基金委中英合作交流项目 1 项, 发表 SCI 论文 120 余篇, 他引 2500 余次。申请 PCT 国际专利 1 项、美国专利 2 项, 中国专利 3 项。

报告摘要:

先进微加工工艺是超表面研究及应用的基础。本报告将分享本课题组近些年来在高精度灰度台阶超表面、高深宽比介质超表面、超跨度金属超表面制造工艺及其器件应用方面的研究, 拟重点介绍线描轮廓加工作为一种颠覆性解决方案在跨尺度金属超表面制造中的应用。

特邀报告 13: 微纳超构表面对近场的奇异调控



孙树林, 复旦大学信息学院光科学与工程系, 副研究员, 研究方向为电磁超材料和光子晶体、等离子光学、光学微腔, 曾提出传输波到表面波完美耦合的等新概念。发表 *Nature Materials*, *Nano Letters*, *Advances in Optics and Photonics*, *Light: Science & Applications* 等 60 余篇论文, 获 3300 余次引用, 单篇最高引用 970 余次, 6 篇文章入选 ESI 高被引论文。曾获“上海市自然科学一等奖”(第二完成人), “中国光学重要成果”(第一完成人) 等, 研究工作曾被 *Nature Photonics*, *Phys. Org* 等杂志和媒体报道。

报告摘要:

认识并调控光始终是光学核心主题, 尽管人类对光的认识已逾千年, 调控光的手段却仍传统而有限。以光的聚焦为例, 加工特殊曲面的光学棱镜长期是赖以实现这一目的的主要手段。而这些传统器件存在尺寸大、重型化、功能有限等缺陷, 并不满足未来光学应用的需求。最近, 我们利用超表面对电磁波的强大调控能力[1][2], 实现众多奇异的光学效应, 包括奇异反射/折射[3][4]、光的自旋霍尔效应[5][6]、平面棱镜[7][8]、全息成像[9]等。

最近, 我们团队进一步将超表面的概念从远场调控拓展至近场调控, 该研究在纳米光子学领域具有重要意义。最近, 我们提出利用设计超表面来实现传输波到表面波高效转换的新概念, 巧妙地利用人工超表面提供的相位梯度来补偿两者间波矢差, 解决了纳米光学领域非常关心的如何高效率耦合近场的难题[8,9]。另外, 我们还探索利用超表面直接对两维表面等离激元进行调控, 并借助数值模拟实现了表面等离激元所满足的广义斯涅尔定律, 实现了奇异反射、表面等离激元点聚焦、表面波贝塞尔光束等效应[12,13]。

[1] S. Sun, Q. He, J. Hao, S. Xiao, L. Zhou, *Adv. Opt. Photonics* 2019, 11, 380.

[2] Q. He, S. Sun, S. Xiao, L. Zhou, *Adv. Opt. Mater.* 2018, 6, 1800415.

[3] N. Yu, P. Genevet, M. A. Kats, F. Aieta, J.-P. J. P. Tetienne, F. Capasso, Z. Gaburro, *Science* 2011, 334, 333.

[4] S. Sun, K.-Y. Yang, C.-M. Wang, T.-K. Juan, W. T. Chen, C. Y. Liao, Q. He, S. Xiao, W.-T. Kung, G.-Y. Guo, L. Zhou, D. P. Tsai, *Nano Lett.* 2012, 12, 6223.

[5] W. Luo, S. Xiao, Q. He, S. Sun, L. Zhou, *Adv. Opt. Mater.* 2015, 3, 1102.

- [6] W. Luo, S. Sun, H.-X. Xu, Q. He, L. Zhou, *Phys. Rev. Appl.* 2017, 7, 044033.
- [7] X. Li, S. Xiao, B. Cai, Q. He, T. J. Cui, L. Zhou, *Opt. Lett.* 2012, 37, 4940.
- [8] S. Wang, P. C. Wu, V.-C. Su, Y.-C. Lai, C. Hung Chu, J.-W. Chen, S.-H. Lu, J. Chen, B. Xu, C.-H. Kuan, T. Li, S. Zhu, D. P. Tsai, *Nat. Commun.* 2017, 8, 187.
- [9] W. T. Chen, K. Yang, C. Wang, Y. Huang, G. Sun, I.-D. Chiang, C. Y. Liao, W. Hsu, H. T. Lin, S. Sun, L. Zhou, A. Q. Liu, D. P. Tsai, *Nano Lett.* 2014, 14, 225.
- [10] S. Sun, Q. He, S. Xiao, Q. Xu, X. Li, L. Zhou, *Nat. Mater.* 2012, 11, 426.
- [11] W. Sun, Q. He, S. Sun, L. Zhou, *Light Sci. Appl.* 2016, 5, e16003.
- [12] S. Dong, Y. Zhang, H. Guo, J. Duan, F. Guan, Q. He, H. Zhao, L. Zhou, S. Sun, *Phys. Rev. Appl.* 2018, 9, 014032.
- [13] S. Dong, Z. Wang, H. Guo, F. Guan, X. Li, Q. He, H. Zhao, L. Zhou, S. Sun, *EPL* 2018, 122, 67002.

特邀报告 14: Polarization-dependent optical response using subwavelength structures



张磊，西安交通大学，特聘研究员。博士分别于 2005 年在西北大学物理系取得学士学位，2008 年在中国科学院西安光学精密机械研究所取得硕士学位，2012 年在香港中文大学取得博士学位。后于 2012 年至 2016 年分别在香港中文大学和新加坡国立大学从事博士后研究工作。于 2016 年 12 月以特聘研究员身份加入西安交通大学电子科学与工程学院工作，并于 2017 年 5 月入选陕西省“百人计划”青年项目。发表 SCI 论文 50 余篇，主要从事表面等离子体、超构表面材料的光学特性研究及其在发光增强、非线性光学和光场调制方面的应用。

报告摘要:

Metasurfaces consisting of subwavelength building blocks provides an efficient way to manipulate electromagnetic field due to its deep subwavelength confinement. In principle, the optical responses of a given metasurface are highly dependent the composite material and geometry of unit cells. Therefore, two ways are mainly developed to realize tunable metasurfaces, i.e., by changing the permittivity of either construction material (such as phase change materials, graphene, etc.) or engineering the geometric shapes. However, previous methods suffer from various challenges, such as complex sample preparation, slow response and moderate tuning amplitude. Here, we present a favorable way to realize a tunable metasurface using polarization-dependent excitation and detection, which is termed as an extrinsic polarization response. The big contrast in the tunable reflection or transmission spectra readily enable promising applications, such as color decoding and sensing.

特邀报告 15: 基于高效介质超表面透镜实现偏振信息获取



郭忠义, 安徽阜南人, 博士, 合肥工业大学, 计算机与信息学院, 教授。分别于 2003 年、2005 年、2008 年获哈尔滨工业大学学士、硕士、博士学位; 2008 年-2009 年工作于哈尔滨工业大学物理系, 讲师; 而后分别在韩国汉阳大学、香港理工大学进行博士后研究; 2011 年以黄山青年学者进入合肥工业大学计算机与信息学院工作。目前, 主要研究方向包括偏振智能信息处理、先进光通信技术、复杂电磁环境、纳米光子学等方面的研究。

报告摘要:

偏振信息由于其独特的信息承载、传输能力, 受到越来越多的关注, 但是对偏振信息的正确探测与感知一直都还没有很好的得以解决。为了实现偏振信息的全部参量进行直接、高效探测, 基于电介质超表面结构的设计方案, 对任意入射光实现 X、Y、 45° 和 135° 线偏振, 以及左右旋圆偏振分别调制, 并对相应的偏振态能量进行探测, 进而恢复出斯托克斯参数, 从而实现对所探测的偏振信息中全部 Stokes 矢量参数的高效、直接探测。