

“2011 中国光学重要成果”入选成果介绍

(排序不分先后)

基于测量的关联空间的量子计算

采用线性光学器件配合辅助光子,利用单光子探测器进行后选择测量能够实现普适量子计算,它又分为传统的电流式量子计算和基于测量的一次性量子计算。在一次性量子计算中,中国科学技术大学潘建伟院士等(Nature Photon., 5, 117~123)首先制备出高度纠缠的多量子比特态。当进行量子计算时,只需要根据想实现的量子算法在此纠缠态上进行一系列的单量子比特测量即可。但与此同时,此纠缠态也将被破坏,所以这种计算机被称为一次性或单向量子计算机。该工作研究制备可用于量子计算的簇态和关联空间纠缠态,并将探索把他们应用于量子计算当中,并基于多比特关联空间非簇态实现单比特量子门和单向双比特量子门,并实现在关联空间中的 Deutch 算法演示。

负折射材料中光频段反常多普勒效应的观测

在负折射率材料中,由于介质折射率为负,多普勒频移在相对运动使波源和接收器之间的距离增加时蓝移,距离减小时红移,因此称为反常多普勒效应。这一违反物理常识的效应最早由前苏联物理学家 Veselago 在 1968 年理论预言,但一直未得到直接的实验证实,只有在吉赫兹和音频段的间接测量实验报导。

反常多普勒效应的测量有两大难点,其一,要研究多普勒效应是否反常,光源与接受器需要置于介质中,而且要能够在介质中相对于介质运动,这对于人工制作的微纳结构材料是难以做到的。其二,光频的测量,目前实验上均采用探测拍频信号的方法,而实际测量到的拍频始终为正,因此必须找到一个明确的判据来区分正常和反常多普勒效应。为了解决这些问题,上海理工大学庄松林院士等(Nature Photon., 5, 239~245)利用透射光束来实现多普勒频移的测量,通过巧妙设计光路,使二维光子晶体棱镜运动时透射光束光程发生变化,利用与双光束拍频干涉法,产生一个能够判断多普勒频移的正负特性的阈值,在国际上首次观测到了光频段的反常多普勒现象。

光纤中基于布里渊激光振荡的负群速度超光速传输

加快或者减慢光信号的群速度能实现光信号的可控延迟或存储,在全光通信中具有重要的应用前景。近年来,已有不少方法实现减慢或者加快光速,但迄今为止所有实验仅限在短距离的传输介质中实现超光速传输。相对于慢光在增益带产生,快光需要在强烈吸收的反常色散带中实现,这使得快光信号需经历强烈吸收从而限制了其长距离的传输。虽然电磁诱导透明(EIT)可以实现无损耗超光速传输,但需要极低温下原子蒸气的工作中,很难使超光速现象传输较长的距离。

上海交通大学詹黎教授等(Phys. Rev. Lett., 107, 093903)提出了基于光纤布里渊激光共振腔的超光速传输的新方法,使得进入 10m 光纤之前光信号提前 221.2ns 输出。因信号提前时间与布里渊激光器的腔内功率成正比,而损耗仅与转换效率有关,因此一个低转换效率但高腔内功率的激光振荡器能够避免两者的矛盾,从而使得提前时间对损耗的斜率比提高两个量级,实现负群速度超光速的低损耗长距离传输。实验结果似乎让“时光倒流”,但并没有违反相对论,因为信号的前沿速度并没有超过光速。然而,从理论上讲它能加快光通信,因为光通信系统中信号的接收主要依据光信号峰值的群速度,而不是前沿速度。评审人认为“开创了光纤中超光速通信的新方法……为研究超光速物理提供了一个良好的技术平台”。

相对于传统的超光速方法,基于布里渊激光共振腔结构的超光速传输方案具有低损耗、室温工作、可调控以及长距离传输等巨大优势,在全光存储器、光学延迟线、超级计算机互联以及引力波探测等诸多领域有着极大的潜在应用。

电离注入全光级联激光尾波场加速器

中科院上海光学精密机械研究所徐至展院士等(Phys. Rev. Lett., 107, 035001)利用自行研制成功的飞秒拍瓦级超强超短钛宝石激光实验装置,提出了独具特色的两段气体喷流池的新型设计,国际上首次成功实现全光驱动电离注入的双尾波场级联电子加速器新方案,突破了传统单级方案中电子注入与电子加速两个基本物理过程无法分离与分别控制的重大瓶颈。

实验中第一段采用较高密度的氦氧混合气体以实现电离注入,第二段采用较低密度的纯氦气体以实现等离子体尾波场加速。通过独立控制电子注入和电子加速两个基本物理过程并实现电子束在双尾波场间的高效耦合以及激光相对论自导引传输等,成功地将第一级注入器产生的具有麦克斯韦分布(能散度 100%)的低能电子束注入到第二级尾波场加速器(气体喷流池长度仅为 3 mm)中加速,获得了能量近 GeV 的准单能电子束,对应的加速梯度达到了 187 GV/m 的超高量级。

该全光双尾波场级联加速新方案的成功实现,解决了高能量和低能散度的矛盾,为未来产生 10 GeV 量级甚至更高量级的高性能高能电子束提供了可行途径,将对台式化高能电子加速器及 X 射线自由电子激光等领域的发展与应用带来深远影响。

审稿人认为,该论文研究了台式化粒子加速器发展中关于级联技术的非常重要且引人注目的课题。论文中报告的实验工作展示了一种可行的解决方案及其发展潜力等。该研究成果被中国科学院《2012 年科学发展报告》遴选为“2011 年中国科学家具有代表性的工作”之一。

周期量级强激光场中分子高阶电离解离通道的选择性控制

分子在超快激光场中解离发生的时间尺度是在电子态(阿秒)的水平上,实现对分子解离过程的控制一直是科学家追求的目标,揭示分子激发态的解离动力学过程,实现对化学反应通道的选控具有重要科学意义。北京大学龚旗煌教授等(Phys. Rev. Lett., 106, 073004)采用周期量级飞秒激光系统和冷靶反应谱仪装置,首次在实验中通过改变周期量级飞秒激光场的载波相位,实现了对一氧化碳二价分子离子的非对称解离通道的控制,同时也实现三价分子离子的非对称解离通道的控制。通过实验,证实了在一氧化碳分子电离和解离过程中,电子再碰撞激发引起的解离以及电子再碰撞引起电离是主要过程,这两个过程是相互竞争的,并均可通过改变周期量级激光场的载波相位进行调控。该研究工作表明,通过超快光场控制分子中电子运动,可以在分子电子态水平上实现对分子高阶电离和解离通道过程的超快光场操控,从而实现了小分子体系的超快光场的量子调控。

高对比度 PW 钛宝石超强激光装置

飞秒超强激光的产生是激光技术最有挑战性的研究内容之一,也是开展诸多超高强度前沿物理研究的重要平台。近年来随着这类激光峰值功率的不断提高和应用研究工作的深入发展,对脉冲对比度也提出了越来越高的要求。针对该问题,中国科学院物理研究所魏志义研究员等采用飞秒光参量放大做为前级系统,获得了对比度到 10^{10} 量级的结果(Opt. Lett., 36, 3194~3196),在此基础上通过进一步设计采用双啁啾脉冲放大方案(DCPA)并提高主放大激光能量,得到了 1.16 PW 峰值功率的超强激光输出(Opt. Lett., 36, 3194~3196),测量结果表明最短的脉冲宽度为 27.9 fs,典型的脉冲对比度为 10^9 量级,这也是迄今国际上

用基于钛宝石激光装置取得的最高峰值功率。该结果在 2011 年的 CLEO 会议上作为 Postdeadline 论文报道后,又应邀在 Ultrafast Optics 等国际会议上做邀请报告,并已在质子加速的应用中取得初步结果。

单纳米线单模激光器

作为微型相干光源,基于单根纳米线的激光器具有尺寸小、可波导集成和调制等优点,是近年来纳米线等有源低维结构的研究重点和研究热点之一。目前已经报道的大部分纳米线激光器由于仅存在单一谐振腔,缺乏有效的激光选模机制,因此产生的激光通常是多模的,而通过减小激光腔腔长的办法,利用自由光谱范围的拓宽而实现的选模又会出现由于增益长度的减少而使得激光阈值提高。另一方面,在绝大多数光信息技术(比如光通信、传感、计算等)应用中,都需要激光器工作在单模状态。因此,实现纳米线激光器的低阈值单模运行具有重要意义。

2011 年,浙江大学童利民教授等(Nano Lett., 11, 1122~1126)提出近场自耦合方法,折叠单根 CdSe 纳米线形成耦合腔,产生游标选模机制,从实验上解决了单根纳米线激光器的选模问题,在国际上首次研制成功单纳米线单模激光器,738 nm 波长的边模抑制比高于 20 dB,激光阈值比此前的多模纳米线激光器降低 3 倍以上,并具有波长可调谐特性,使纳米线激光器向实用化迈进一步。该研究结果有可能实现纳米线滤波器的完全调谐,在光通信、传感、微分析等领域具有应用前景。

基于纳米粒子共振模式对称性的光束操控

中科院上海微系统与信息技术研究所甘甫烷副研究员等(Phys. Rev. Lett., 106, 203903)利用硅柱子的单层排列,使入射光束发生 90° 弯曲,弯曲时光束的转弯半径接近零,实现了光束的尖锐转弯。通常情况下,光束转弯半径大于波长,才可能在转弯时能量损耗达到最小。已有研究者通过仔细设计转弯处的粒子排列,光子晶体弯曲波导可以在接近零转弯半径下使光束的传输损耗很小。然而,相比光子晶体复杂的多周期排列,该成果仅使用十几个硅柱子的单层排列,不仅器件自身的物理尺寸大大减小,尖锐弯曲也有效避免了光路间的相互作用,因此这一单层排列特别适合在集成光路中使用,以满足集成光路中高集成度的要求。该成果中发生零曲率半径转弯后的光束,最大能量仍达 92%,而且由于所涉及柱子的数目很少,在实际应用中,柱子的吸收损耗和加工中侧壁粗糙引起的散射损耗都可能降到更小。获得单层粒子操控光束尖锐弯曲的物理机制,是粒子共振模式的对称性。偶极对称的共振态处在一维粒子链中时,存在横和纵两种相互作用的本征模式,造成粒子内等效的旋转偶极矩和负向的透射光,这一负向的透射光即被弯曲 90° 后的出射光。

金纳米棒和 J 聚集强耦合体系的杂化态动力学

基于表面等离子体(SP)的光电器件具有超小型化、超宽的带宽(10 THz)和好的抗外界干扰能力,有望成为下一代光电器件,在纳米尺度上的超灵敏荧光探测、光能转换以及信息存储计算等方面有着重要的应用前景。但是 SP 由于其损耗大通常需要染料增益进行补偿,因此 SP 和染料分子的相互作用的物理机制尤为重要。SP 与染料分子之间的相互作用可以分为弱和强耦合两种,能够调制体系的能量传递、电荷转移、自旋弛豫以及辐射跃迁等过程。在强耦合下强相互作用同时改变了染料分子的波函数和表面等离子体模式,形成了两个新的杂化态(拉比劈裂),这与光学微腔中强耦合现象很类似,如果其物理机制一致,那么光学微腔的功能就完全可以在这一体系实现,从而实现纳米尺度的微腔。但是目前的稳态和非共振激发下的瞬态研究并没有反应其物理本质。

吉林大学孙洪波教授等(Angew. Chem. Int. Ed. 50, 7824)利用静电自组装的方法制备了均一性非常好的金纳米棒/染料分子的杂化结构,实现了 SP 和 J 聚集染料的强耦合,其杂化态能级的拉比劈裂为 190 meV 接

近与类似体系劈裂的最大值。利用抽运—探测技术,分别在非共振激发和共振激发两种条件下测试了杂化态的瞬态吸收光谱。结果表明和以往报道的类似,非共振激发下仅仅反映了热效应主导的弛豫过程,并没有体现杂化态本质的光物理;而在共振激发条件下,实验观测到了一个全新的瞬态光谱结构,这个新的光谱结构具有 200 fs 的寿命。分析表明新的光谱结构是由于表面等离子体与染料分子相干耦合的结果,即光激发在 SP 和染料之间相干振荡。进一步比较了激发杂化结构的上和下能的结果,得到了相似的光谱结构,但弛豫时间有着明显的区别,取决于杂化波函数中 SP 模式的权重,这与光学微腔中的激化子的性质非常相似。

总之在本工作中,利用抽运—探测技术国际上首次观测表面等离子体/J 聚集染料分子杂化结构中的相干耦合过程,揭示了杂化量子态的光物理本质,即金纳米棒/J 聚集染料分子的杂化结构和光学微腔具有非常相似的光物理过程,表面等离子体模替代光学微腔模和分子耦合,因此有望在这一体系实现在纳米尺度下的光学微腔的功能和相关的光物理研究。

微构造硅太阳光吸收损失和太阳能电池效率分析

提高太阳能电池的转换效率一直是光伏科学发展的主要方向之一,硅在地球上含量第二丰富的材料,然而由于硅禁带宽度的限制,近三分之一的太阳光不能被硅吸收转化,因此基于减少光损失这一思路的中间带太阳能电池和表面微构造硅材料若能完美结合,势必大大推动高效太阳能电池的研究进展。华南师范大学刘颂豪院士等(*Appl. Phys. A*, 103,977~982)研究了微构造硅的光吸收模型,取得了较有意义的最佳杂质能级位置等参数。

该工作主要在三方面进行研究:1)利用三能级光吸收模型分析了微构造硅对太阳光利用的增强,详细研究了硅中掺入杂质的电离能,杂质带宽度与光损失的关系,计算结果显示掺入特定杂质带时,能得到最低约 35.6% 的光损失率;并利用多能级光吸收模型分析了在禁带中引入两个中间能级后的硅对太阳光能利用的增强,详细研究了硅中掺入杂质的位置与光损失的关系。2)根据细致平衡理论计算了基于硅的三能带太阳能电池的极限转换效率,得出结论在硅中引入能带位置为距离导带底 0.362 eV 的中间能带时能获得约为 54.1% 的极限转换效率;3)对表面微构造硅中掺入硫族元素的情况下的光损失及相应中间带太阳能电池的极限转换效率进行了详细分析,并详细讨论了基于表面微构造硅的太阳能电池效率问题。

千瓦光纤放大系统的热效应

光纤激光器具有效率高、稳定性好、光束质量好、结构紧凑等优点,已在很多应用领域可以替代传统固体激光器,如:材料加工、国防、遥感等。由于关键技术上的不断突破,半导体激光光泵器件的高速发展,近年来光纤激光器输出功率不断提高,千瓦以上的光纤激光器已逐步成熟。但是,对于全光纤激光系统而言,热问题依然是限制光纤激光功率继续提升的关键问题之一,其中包括双包层光纤的热效应,光纤耦合器的热效应和光纤之间焊接点的热效应等。

中科院上海光学精密机械研究所楼祺洪研究员等(*Opt. Exp.*, 19, 15162~15172)对全光纤结构的振荡放大系统的热效应进行理论和实验研究,基于接触热阻的分析方法,对全光纤 MOPA 系统中的增益光纤以及连接各部件的光纤熔点的热效应进行了详尽的分析。采用数值模型对放大器增益光纤不同部位的温度分布进行了模拟计算以便给出不同的热处理方案。对于几种冷却方案进行了理论模拟并和实验结果进行对比验证。理论模拟结果和实验能很好的符合。在此基础上,对各种参量和实验条件进行优化,采用高效热管理技术,获得了 1.17 kW 激光输出功率、光光转化效率 82.4%、中心波长 1080 nm、无热损伤运转的全光纤化 MOPA 系统。

高功率多芯光子晶体光纤锁模激光器

光纤激光器将光束束缚在光纤纤芯里,大大增强了环境稳定性,但同时较长的作用距离使得锁模光纤激光器功率受到非线性的限制。大模场面积光子晶体光纤可以极大的提高光纤纤芯直径,同时保持单模,已在高功率飞秒激光技术中充分应用。为了能够进一步提高有效模场面积,多芯光子晶体光纤提供了一种新的解决方案。这种结构的光子晶体光纤不仅能进一步提高有效模场面积,而且由于各个芯之间的离散分布,热应力等问题也得到了缓解,从而能在高功率光纤激光器的应用中进一步提高运转功率,增益饱和阈值,并有效降低非线性效应的影响。

天津大学王清月教授等(Opt. Lett., 36, 1005~1007)实验研究了基于掺镱多芯大模场面积光子晶体光纤的全正色散锁模激光器。增益光纤为 18 个纤芯六角阵列排布,等效的模场直径约为 $52\ \mu\text{m}$ 。激光器基于 σ 腔结构,腔内没有色散补偿元件,通过半导体可饱和吸收镜实现锁模的自启动。实验获得了平均功率 2.6 W,脉冲宽度 1.15 ps,重复频率 14.48 MHz 的锁模脉冲输出,对应的单脉冲能量 180 nJ,脉冲经腔外光栅对压缩为 690 fs。

利用更多纤芯或单芯模场面积更大的多芯光子晶体光纤进一步提高模场面积,能进一步提升锁模光纤激光器的输出能量。

光纤激光相干合成千瓦级高功率输出

光纤激光具有转换效率高、光束质量好、结构紧凑等优点,在国民经济、国防领域有广泛的应用前景。但受限于非线性效应、光纤端面损伤等因素,单束光纤激光输出功率存在极限。对于需要高功率和高光束质量的应用而言,构建模块化的光纤激光阵列,并对阵列光束进行相干合成是最理想的解决方案。然而,实现大阵元、高功率光纤激光相干合成,在非线性效应抑制、相干合成物理机制等领域还存在大量的基础理论和技术问题亟待解决。

国防科学技术大学刘泽金教授等(Opt. Lett., 36, 3121~3123)以高功率光纤激光相干合成系统为研究对象,在大功率光纤放大器非线性效应抑制、阵列光束相位控制等方面取得了一系列创新研究成果。提出了准单频光纤激光放大器的概念,建立了其相干合成的理论,使可用于相干合成的光纤放大器理论功率极限提高 5 倍以上;在锁相控制方面,提出了单频抖动法,混合相位控制法,基于 SPGD 低通滤波的脉冲相干合成控制算法等,实现了单频/多频激光、连续/脉冲激光的相干合成。在上述工作的基础上,课题组研制出“千瓦级光纤激光相干合成试验系统”,总输出功率达 1.56 kW。

基于非对称结构设计和垂直耦合的二元闪耀亚波长光栅耦合器

随着集成光电子器件在光通信系统中的应用,如何实现光纤与光电集成芯片高效、低成本的耦合具有重要的作用。由于硅基微纳光波导器件中导波的模斑尺寸一般为几百个纳米,而单模光纤的直径通常为 $10\ \mu\text{m}$ 左右,光从光纤进入这种小尺寸的波导时,两者之间模斑尺寸以及有效折射率的失配会导致辐射模和背向反射的出现,产生很大的损耗。因此,降低光纤和光电集成芯片以及波导间的模式失配和折射率差异造成的能量损耗,有效提高器件间的耦合效率是一个严峻的挑战。

北京大学周治平教授等(Opt. Lett., 36, 2614~2617)根据传统锯齿型闪耀光栅衍射效率高的特点,结合 CMOS 工艺的制备要求和特点,将锯齿型光栅利用光程对波前调控的方式,通过对光栅高度的离散化处理转变为光栅脊宽对信号光相位的调制,不仅具有衍射效率高的特点,同时,由于采用等高的设计,因此,与传统 CMOS 工艺兼容并且具有一步刻蚀的优点。综合考虑耦合效率和制备工艺的限制,本文采用等高不等宽的双子光栅设计,采用这种不对称的结构设计能够有效的模拟和调控光栅区域导波模场与光纤模斑能量

分布的匹配,从而有效提高光栅的耦合效率。

利用严格耦合波理论以及等效介质理论,根据 SOI 材料的特点,能够对亚波长光栅的设计参数:周期、占空比、刻蚀深度等进行优化,进一步提高光栅的耦合效率。利用光栅的位相匹配方程和考虑布拉格反射层的特点,通过在基底材料下面增加不同厚度的 Si/SiO₂ 反射层,能够显著的提高亚波长二元闪耀光栅的耦合效率。

理论计算和模拟仿真表明,该非对称双子光栅耦合器能够实现垂直耦合,1.52 μm 波长处的耦合效率为 69%,而 1.55 μm 波长时的耦合效率能够达到 65%。同时,1 dB 波长带宽大约是 80 nm。如果增加布拉格反射层,则耦合效率能够超过 80%。

该亚波长光栅耦合器特征尺寸小,设计结构简单可行,一步刻蚀成型,与传统 CMOS 工艺兼容。该研究工作将有助于揭示和深入探索亚波长周期型微纳结构对光信号的波长、模场形态、偏振、色散、滤波、速度控制与操作的新方法,为成功研究出耦合效率高、易集成、易制备、与 CMOS 工艺相兼容的低成本的面向微纳光电集成和片内多核系统高速传输的光栅耦合器件奠定了基础;为解决片内或片间微纳光电子器件间光信号的高速传输与高效耦合问题提供了一种很好的思路和方法。

高效自倍频 Nd:GdCOB 激光及其光学漩涡

功能晶体和器件是全固态激光器的基础,目前其正向复合化、小型化、材料器件一体化的方向发展。将激光发射与非线性光学特性集于一身的自倍频晶体由于其激光器具有操作简单、结构紧凑等优势,一直以来是人们探索的热点。

自 20 世纪 90 年代开始,山东大学晶体材料国家重点实验室王继扬教授领导的课题组与中国科学院理化技术研究所许祖彦院士领导的课题组(Opt. Lett., 36,3852~3854)就进行合作开展对于该类自倍频晶体和器件的研究。通过十几年不懈努力和探索,从理论和实验中筛选出了 Nd:GdCa₄O(BO₃)₃ (简称:Nd:GdCOB)晶体为最优自倍频晶体,通过晶体和激光实验两方面进行的优化,获得了输出功率的 3 W,545 nm 激光输出,其光光转化效率为 20.7%。这是到目前为止,在自倍频激光领域所获得的最高自倍频激光功率和最高转化效率;针对激光显示的巨大需求,通过波长调节,实现了 1.32 W,530 nm 激光输出,证明了该类晶体在激光显示等方面的重要前景。

Er³⁺ 掺杂 TiO₂ 纳米晶:晶体场能级、激发态动力学、上转换以及缺陷发光

三价稀土离子掺杂半导体纳米晶是一类新型的发光材料,由于其在纳米光电器件、平板显示、生物标记等领域的潜在应用,引起了国内外学者的密切关注。相比于绝缘体,半导体一般具有较大的激子波尔半径,因而

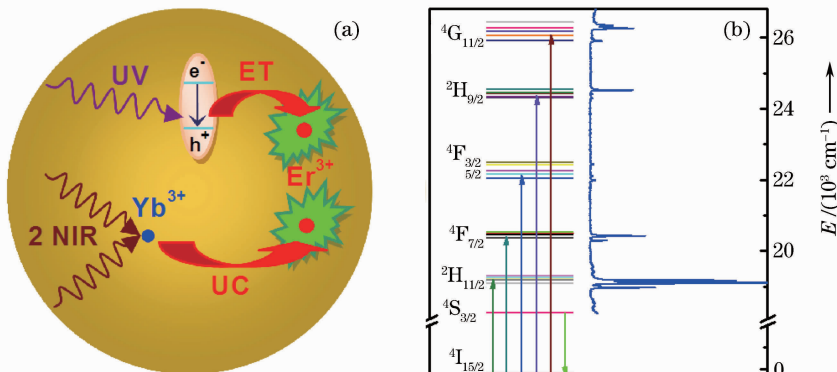


图 1 (a) Er³⁺ 掺杂 TiO₂ 纳米晶中基质到稀土离子能量传递以及上转换发光过程示意图;

(b) Er³⁺ 在 TiO₂ 纳米晶中的晶体场能级结构和 10 K 激发谱(监测波长为 566.5 nm)

小尺寸的半导体纳米晶具有明显的量子限域效应,预期可以通过控制半导体纳米晶的大小来调控掺杂稀土离子的发光。同时,借助于半导体纳米晶的强带隙吸收,利用半导体纳米晶到稀土的能量传递,可以有效克服稀土离子对称性禁戒的 4f-4f 跃迁吸收弱的缺点,实现稀土的高效敏化发光。 TiO_2 是一种常见的宽带隙半导体材料。由于在紫外-可见-近红外区域的良好光透过性,以及优异的物理化学稳定性,它也是一种理想的稀土发光基质材料。但是,由于稀土离子的半径和 Ti^{4+} 的半径差异较大,同时电荷也不匹配,稀土离子一般很难掺杂进入 TiO_2 纳米晶的体相。目前文献报道的大多都是稀土离子在 TiO_2 表面或近表面的发光。

中国科学院福建物构所陈学元研究员等(Small, 2011, 7, 3046~3056)发展了一种溶胶-凝胶-溶剂热法,巧妙地把稀土离子掺杂进入 TiO_2 纳米晶的晶格中,实现了稀土尖锐的强发光(图 1)。通过低温高分辨荧光光谱实验,他们对 Er^{3+} 在 TiO_2 纳米晶中的局域电子结构和晶体场能级进行了系统的分析和计算,首次实验确定了占据单一格位的 Er^{3+} 在锐钛矿 TiO_2 中的全部晶体场参数。同时,通过变温激发态动力学实验,确定了 $\text{Er}^{3+} \ ^4\text{S}_{3/2}$ 和 $^2\text{H}_{9/2}$ 能级的辐射跃迁寿命分别为 $3.70 \mu\text{s}$ 和 $1.73 \mu\text{s}$ 。此外,他们还对 Er^{3+} 在 TiO_2 中的上转换发光行为和发光机理进行了系统的研究,通过变温荧光光谱揭示并澄清了分别属于 Er-掺杂诱导缺陷和 TiO_2 纳米晶自身表面缺陷所产生的发光现象。

基于聚合物纳米光纤的微纳全光彩色显示研究

纳米光纤是纳米光子学中的一个重要研究方向。对于纳米光纤来说,其直径比在其中传输的光的波长还要小,由于衍射,光不可能被限制在纳米光纤中,相当一部分光功率在纳米光纤物理边界的外部传输。比如,当纳米光纤直径接近 100 nm 时,波长为 $1.55 \mu\text{m}$ 的光就会在很大程度上发生衍射,其光斑尺寸比纳米光纤的物理尺寸大 100 倍左右。换句话说,99% 以上的光功率以倏逝场的形式在纳米光纤外部传输。这种大的倏逝场是纳米光纤最吸引人的特性之一,除了在纳米光子器件、纳米传感器等方面的应用外,在微纳光学图像的产生和显示方面也有重要的应用前景。

中山大学光电材料与技术国家重点实验室李宝军教授等(ACS Nano, 5, 2020~2025)将纳米光纤用到微纳光学图像的产生和显示研究中,借助显微操作技术组装成功微纳全光彩色显示器件。将红、绿、蓝三色光通入到所组装的器件中,通过控制其功率比率,得到了颜色可调的微纳全光彩色显示斑点,并且合成了白光(图 1)。他们还将这种彩色显示做到柔性衬底上,进行了柔性实验演示研究。

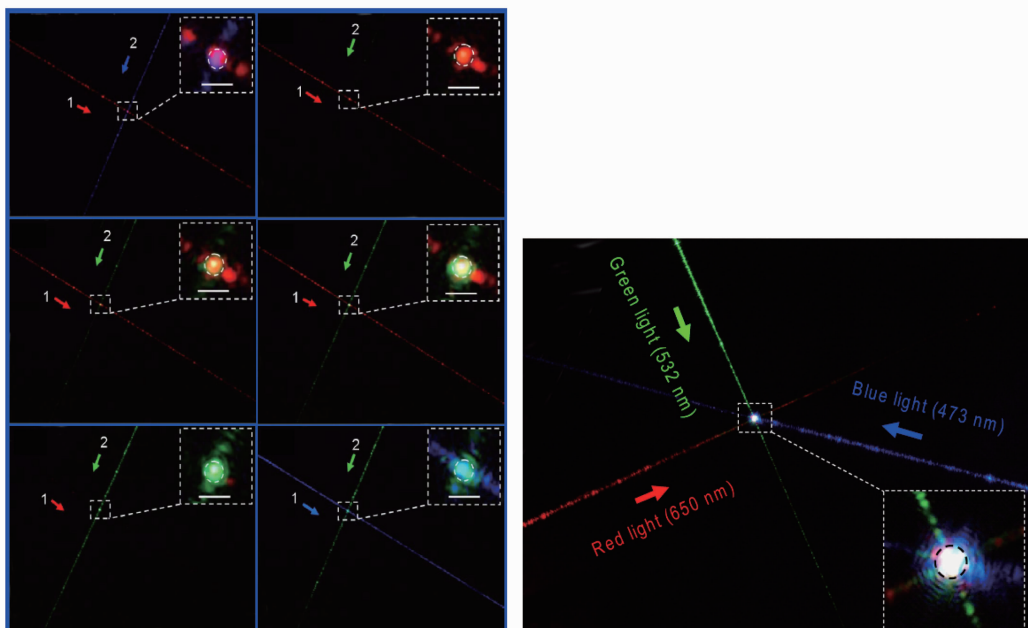


图 1 将红、绿、蓝光通入纳米光纤后在其交叉点处形成的颜色斑点

基于自由曲面光学拼接的大视场轻型头盔显示器设计

为了从根本上解决头盔显示器的分辨率和视场角之间存在着固有的矛盾,北京理工大学王涌天教授等(Opt. Lett., 36, 2098~2100)在超轻薄光学透视式头盔显示器的研究成果基础上,发挥光学自由曲面和离轴结构相结合的优势,提出了基于自由曲面光学拼接的大视场高分辨率头盔显示器设计方案。利用他们提出的优化算法对自由曲面棱镜目镜进行特殊设计,使各子显示通道的光轴与人眼的视轴重合。这样完成的棱镜目镜设计无需旋转就可直接进行拼接,形成大视场高分辨率的头盔显示器,保证显示图像的整体感与一致性,大幅降低系统的加工和装调难度。这种新方案不仅实现了轻型大视场高分辨率头盔显示,而且可以提供光学透视功能。

他们利用加工出的自由曲面棱镜,成功地研制了拼接式头盔显示样机,验证了自由曲面拼接式头盔显示系统的可行性。进一步提出采用多个自由曲面棱镜,在其侧面和底面同时进行拼接的方案,视场角可达 $119^\circ \times 56^\circ$,全视场分辨率均保持为3毫分。

他们已就自由曲面头盔显示技术申请了两项国际PCT专利,均已进入国家申请阶段,正在与有关企业合作实现其产业化。

近无衍射亚波长空心光束的产生

近几年,径向偏振和方位角偏振光束的传输和聚焦引起了研究人员的关注。研究表明,与线偏振光相比,径向偏振光经过大数值孔径透镜聚焦之后,可以获得更小的光斑,并且还能产生一个很强的纵向电场。有研究人员提出,径向偏振光经过大数值孔径透镜聚焦可以获得较长焦深的亚波长光斑,但相关的研究报道所得到的均为亮斑的光强分布,且焦深只有波长量级。

华侨大学蒲继雄教授等(Opt. Lett., 2011, 36, 2014)提出了获得长焦深的亚波长空心光束(也称为“暗通道”)的一种新方法。对方位角偏振的入射光进行相应的调制,然后用一个大数值孔径聚焦系统聚焦。由此,他们获得了长焦深的亚波长空心光束。该光束的长度达到26个波长,而空心的宽度仅为0.5个波长,并且基本保持了无衍射的特性。通过对入射光的调制,还能改变所获得的近无衍射亚波长空心光束的偏振态。

基于部分灌入的空心光子带隙光纤偏振器件的研究

随着光纤通信和光纤传感技术的迅猛发展,光纤偏振器件作为偏振器的一个重要分支,发挥着独特且重要的作用。中国计量学院赵春柳教授等(Opt. Lett., 36, 3296~3298)利用光子晶体光纤可填充的特点,提出并实现了一种新颖的光纤偏振器件。这种新颖的光纤偏振器件是基于部分灌入的空心光子带隙光纤来实现的,由于部分灌入液体的空心光子带隙光纤结构有很大的不对称性,导致在光纤中传输的一个偏振模能量大量泄漏,而另一个正交偏振模在光纤中低损耗传输,从而实现良好的偏振效果。利用首次提出的一种简单错位熔接技术,使用商用光纤熔接机即可实现基于部分灌入的空心光子带隙光纤偏振器件的制作。实验获得的光纤偏振器件长度仅为6 mm时,器件的偏振消光比就可达到18 dB,插入损耗1.5 dB,波长工作范围宽达120 nm (1480~1600 nm);器件优化长度为10 mm时,可以实现偏振消光比高达32 dB和插入损耗小于3 dB的高性能光纤偏振器件。

这种新颖的光纤偏振器件体积小、性能优良,在很多领域具有潜在应用价值,如光无源器件的实现、光器件的系统测试等。在以偏振或者相位为主要检测特征的光纤系统,如光纤陀螺、光纤电流传感器、光纤水听传感以及相干光通信系统等,这种新颖的光纤偏振器件也将有潜在的作用。