

- 它择频而聚,是光子家族的“栖息地”
- 它性能优越,感知与探测能力超群
- 它应用广泛,是军事领域的“潜力股”

国防科技大学副教授雷兵为您讲述——

本领非凡的“光学回音壁”

■本报记者 王握文 通讯员 朱晰然 毛元昊

科技大讲堂

提起回音壁,许多人都会想到北京天坛公园内的一处著名景点:那道直径61.5米的圆形围墙,就是声名远播的天坛回音壁。如果你置身于围墙下,轻声地说上几句话,站在围墙另一端的人就能清晰地听到。这一奇妙现象,在声学中的原理其实很简单,即反射。由于圆形墙面弧度合理且表面光滑,声波沿墙面多次反射之后,就会形成类似于“圆的内接多边形”的路径,近乎无损地抵达围墙另一端。

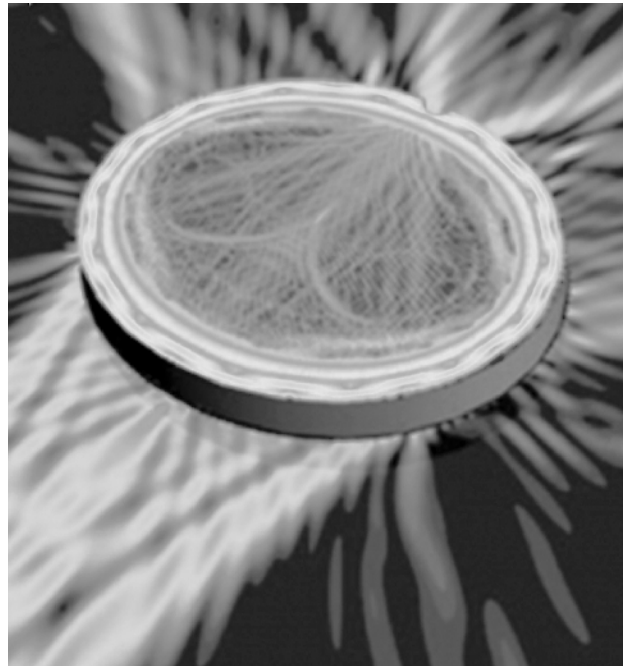
光的传播与声音的传播也很类似。在光学领域,就有一种基于回音壁结构的器件——光学回音壁。其原理与天坛回音壁传声非常类似,但实现起来并没有那么简单,实用价值更是不可估量。

今年3月下旬,2019年度“中国光学十大进展”评选结果揭晓,就有一种与光学回音壁相关的基础研究成果入选,引起光学界的关注。

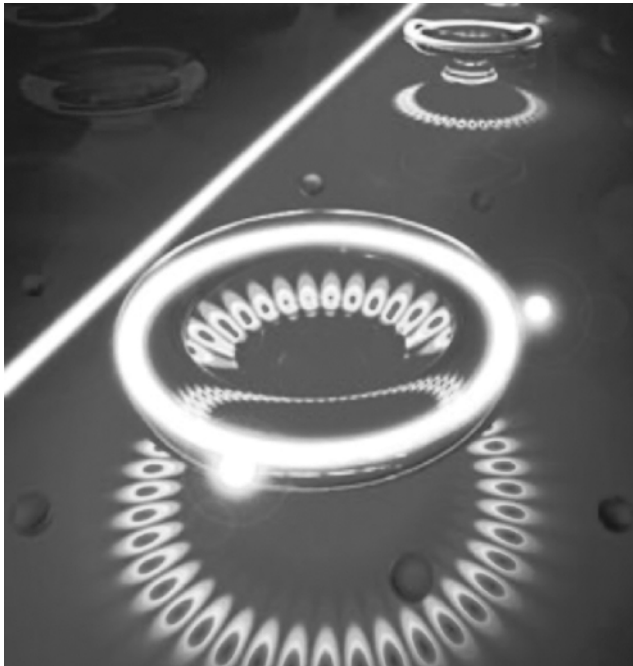
激光器上的重要器件

光学回音壁的学名叫光环谐振腔,它通过将光波限制在腔体内来回反射,使光子几乎无损地沿环路持续传播,从而实现光子的选择和增强,在特定条件下还能实现激光输出。这是光学回音壁拥有的“特殊本领”,因此,它是各类激光器不可或缺的重要组成部分。

那么,光学回音壁是如何产生激光的呢?这要从它的特殊结构说起。通常情况下,光学回音壁腔体由两块与轴线垂直的平面或是球面反射镜构成,光子在腔体内来回反射时,一些体力不支的光子,或是不守交通规则的光子,在中途掉队或是逃逸了,就会不由自主地被“甩”出腔体;只有“体力强、守规矩”的光子继续沿轴线运动,



光波在光学回音壁中传输示意图。



经过多个周期的反射往返后聚在一起。在这一过程中,光学回音壁好比一个筛子,在光子来回反射过程中,对光子进行筛选,选择出特定频率光子,实现“物以类聚”,可谓“不是一家人,不进一家门”。

不同的谐振腔可以实现不同频率的选择,这主要取决于谐振腔腔长、腔镜反射率及组合方式等因素。实现“物以类聚”后的光子,在腔体内进行“繁殖”,即同一家族的光子与被激活的粒子相遇,发生受激辐射而实现能量的放大。最终在腔内形成了传播方向一致、频率和相位相同的强光束,即激光。因此,光学回音壁堪称光子家族的完美“栖息地”。

光学回音壁原理并不复杂,早在上世纪初,科学家就发现了它的存在。但研制真正实用的器件,则是上世纪末的事了。此后,随着现代科技的发展,光学回音壁已从单一的微球腔发展到微环腔、微泡腔、微盘腔等多种模式,并逐渐由实验室走进日常生活。

优异特性堪称完美

在光学领域,激光堪称“神奇之光”,被誉为“最亮的光、最快的刀、最准的尺”。作为研制各类激光器不可或缺的重要器件,光学回音壁凭借优异的特性脱颖而出,被称为光学领域“最完美的器件”。

——因子品质高,能量损耗低。能够获得高品质因子是描述谐振腔质量的一个重要参数。一般的谐振腔对光学镜片的质量、对准和组合方式等要求较高,获得更高质量的因子较为困难。光学回音壁则完全可以克服镜片对准、组合难的问题,且光在腔内全反射时,几乎不会有光折射射入所接触的介质,所以损耗非常小。如果选择诸如晶体、液体等对光吸收小的材料,就更容易获得超高品质因子。谐振腔因子品质越高,腔损耗越低、寿命越长、精度越高。

——模式体积小,非线性效应强。模式体积是光学回音壁性能的一个重要参数。体积越小,光的能量越高,非线性效应就越强,利用谐振腔内的非线性光学效应,可以产生许多新奇的物理现象。比如利用二阶非线性效应,可在光学回音壁上实现光学倍频,使光波的频率增加一倍、波长减少一半。将红外光变成可见绿光,就是一种很典型的光学倍频。如果利用三阶非线性效应,则可以观察到光频梳现象,实现对光学频率极其精密的测量。光频梳如同梳头发的梳子一样,只不过它“梳”的不是头发而是光子,最后在频谱上得到一系列离散等间距的光谱,因此光频梳也被称为光尺。总之,利用光学回音壁中的非线性效应,可使原本单一的光子家族实现特定的“基因突变”,极大拓展其应用领域。

——制备容易,加工成本低。光学回音壁拥有一系列优越性能,而制备过程比一般的谐振腔更简单。最简单的光学回音壁,只需要熔融光纤制备即可得到,复杂一点的微环谐振腔,也可以直接在硅衬底上利用现有的湿法蚀刻等一般制备工艺完成。制备简单,成

本自然低廉。因此,它虽然诞生较晚,但犹如一颗冉冉升起的新星,在现代光学领域绽放出绚丽光彩。

军事应用的“潜力股”

光学回音壁的一系列优异特性,使得它在单原子分子检测、精密探测、激光发射等领域得到一系列应用,但它的应用潜力还有待于进一步挖掘。在国防和军事领域,它被视为一支后劲十足的“潜力股”。

——用于战场环境侦察。光学回音壁具有超强的感知和探测能力,对环境变化非常灵敏,即便是单纳米颗粒等级的极微小变化,都能实现近乎“万能”的感知和探测。而对环境温度、压力、压强、磁场等变化的感知和探测能力更是不在话下,可运用它对战场环境进行侦察、实时气象保障等,还可用来对极低浓度下有毒有害物质进行探测,为部队作战提供精细的实时战场环境监测保障,并对部队行动进行预警。

——助力军事智能化发展。光学回音壁成本低、体积小,对外界温度、压力等十分敏感,可利用这一传感特性研制集成光路元件,在实现武器装备小型化、智能化方面提供元器件支撑,实现对极端战场环境的测绘和传感。据报道,2018年,国外光学专家将光学回音壁、光电探测器、信号放大模块和光电处理模块、WiFi模块等封装成一个传感系统,实现了数据的无线读取和分析,并在航天领域成功应用。另外,集成化的光学回音壁能够实现远程控制和无线传感,有望在智能化的战场物联网系统中发挥作用。

——提高数据处理能力。目前,已有研究团队利用光学回音壁中的腔量子动力学理论,实现原子(或离子)与电磁场的相互作用,能够在芯片尺度上进行量子计算和光信息处理。量子计算能够突破摩尔定律,具有经典计算机不可比拟的优点,可极大提高计算机处理性能。在军事上,利用基于回音壁模式的光子芯片,有望提高数据处理能力。这将为军事通信、信息处理等信息化建设提供有力支撑。

科技云

科技连着你我他

■本期观察:任增荣 赵蓉 赵冬

微动雷达生命探测仪——精准救援



在地震发生后的“黄金72小时”内,如何快速准确地找到掩埋在瓦砾、混凝土等废墟中的生命信号,一直是灾难救援工作的关键性技术难题。前不久,由国防科技大学自主研发的一款微动雷达生命探测仪,能够探测地下生命信息,实现精准救援。

据研究人员介绍,他们研发的这款微动雷达生命探测仪,内置系统使用了基于深度神经网络的微动模式分析技术,可在生命检测的基础上,实现对生命体心跳、呼吸特征的分析和识别,有效地将人和其他动物加以区分,提升灾难救援效能。同时,这款微动雷达生命探测仪在经过小型化和一体化改造之后,还能够更加便利地在发生地震、山体滑坡等自然灾害需要快速检测和定位人体目标时发挥重要作用。

防爆多模式雷达生命探测仪——快速搜救



在应急救援的生命搜救中,国内另一款防爆多模式雷达生命探测仪也得到广泛应用。这款雷达生命探测仪集音、频、电、磁、波等多种技术于一体,运用声音探测、微波探测、电磁感应、视频探测等手段,可一次性、全方位探测被测区域3个以上的生命体。

研究人员称,这种防爆多模式雷达生命探测仪由无线视频伸缩探测器、无线音频探测器、防爆接收显示器等器件组成,并配备了高清摄像头、碳纤维伸缩杆、鹅颈管,在工作中可轻松将摄像头模块伸入狭小区域,将高清画面实时传回。同时,设备配置多个震动模块和高灵敏度传感器,能有效探测人体呼吸、心跳等各种频率的信息,从而快速寻找幸存者,提升救援效能。

手持3D穿墙雷达探测仪——隔墙识人



在军用方面,一款产自俄罗斯的手持3D穿墙雷达探测仪,目前广泛应用于人质解救、生命探测、伤员搜救等领域。该穿墙雷达探测仪专为特种作战、紧急救援而设计,其发射的无线电波可轻松穿透钢筋混凝土、石板、砖等材料的墙体,在快速接收到探测目标的信息后,实时以红色波浪线或蓝色直线方式,在3D显示屏上显示生命体运动方向、位置、距离等数据。

研究人员称,手持3D穿墙雷达探测仪的工作原理其实并不复杂:让设备的无线电波穿透障碍物来探测各种移动的目标,无线电波遇到不同电容率的介质表面会被反射回来,被探测物体的电介质性能差异越大,在雷达探测仪上显示出来的对比度就越大。因此,这使得它能有效探测到37厘米厚实体混凝土墙后、范围在11.7米以内的运动生命体。

科技快讯

日前,我国首次完成珠峰区域航空重力测量。其中,承担本次测量任务的国产测绘仪器装备,是国防科技大学智能科学学院与中国地质调查局自然资源航空物探遥感中心自主研发的新一代捷联式航空重力仪。

捷联式航空重力仪 参与珠峰高程测量

2003年,国防科技大学智能科学学院与中国地质调查局自然资源航空物探遥感中心合作,进行捷联式航空重力仪的研制。经过多年自主攻关,现已研发出三代四型重力仪。航空重力测量是将重力仪放置在飞机上进行动态重力测量的一种方式,可在空中像犁地一样沿着事先设计好的测线飞行,获取飞机经过的空间位置点的重力数据值。在珠峰高程测量中,采用航空重力测量的方式,可以快速获取珠峰地区大面积、高精度的重力测量数据,实现珠峰地区厘米级的大地水准面测量精度。这对于珠峰高程的精确测定有着重要意义。

(焦西凯、蔡劲理)

论 见

借“AI之手”拨开战争迷雾

■魏军民

动下的“人脑+机器”“智慧+智能”耦合体决策,才能弥补时空差和机脑差,确保指挥控制上的优势。

人工智能(AI)通过对海量数据自动分析与识别,来提升信息处理速度和质量,完成处于认知链后端的信息理解、关联、归纳、预测、演绎、推理、判断等工作,从语义、语用层面实现信息处理过程的全部或部分自动化,通过智能增加知识、智慧含量,有效突破人类分析能力局限性。如此,可将人的主要精力解放出来,用于需要主观判断、综合预测的高价值任务,实现人脑创造性与人工智能精准性的有机结合、优势互补,保证指挥员最大程度拨开战争迷雾,及时准确理解战场态势

和预测战局发展,迅速捕捉战机、定下决心,形成对敌决策优势。

可以预见,借“AI之手”有效拨开战争迷雾、夺取决策优势,将是赢得未来战争至为关键的一环,围绕其主导权的争夺将日趋激烈。应当把握好人工智能发展的难得机遇,超前谋划、主动跟进,下好先手棋、打好主动仗。以构建网络信息体系为抓手,将信息化建设网络化和智能化两个阶段融合推进,建设在智能化牵引下的高水平信息化。

同时,应充分发挥科技创新驱动作用,以遥感、量子、人机协作等技术为支撑,推动智能化感知力量建设,提升作战平台全域、全频、全时战场感知

能力和自主决策能力。加快建设“云端大脑”“数字参谋”“虚拟物流”等智能机构,对海量纷繁复杂的战场信息精准识别、提炼、处理和实时传输。

还应看到,组织形式、运转机制、信息流动、规则方式等是否科学,直接影响着新的战争迷雾消解的质效。因此,应发挥人工智能“深度学习”的优势,持续推进组织结构变革。特别是以提高认知链运转质效为着眼点和落脚点,超越隶属关系、军种界限,按照“网-云-端”架构,采取云平台 and 智能终端两级直达的信息模式,减少数据信息层级带来的延迟,实现信息广域获取、全域共享、分布处理和高效决策。



我国自主研发的万米载人潜水器“深海勇士”号。

近年来,随着高技术深潜装备的不断发展,世界主要海洋强国都相继开

“深海勇士”挺进万米海底

■田磊 夏昊 王威澄

展深海科学研究和深海资源调查。万米载人潜水器“深海勇士”号,为中国建设海洋强国、维护国家海洋权益提供了新的利器。

向万米深海进军并非易事。就拿深海潜水器都要面对的海水压强问题来说,它需要承受超过1000个大气压,这相当于每平方米的面积上要承载一万多吨的重物。这么大的压力加在潜水器上,对其材料、结构设计等都提出了巨大挑战。

为了满足设计要求,研发人员为

“深海勇士”号的球壳选择了钛合金材料,并大胆创新设计,用半球焊接代替瓜瓣焊接,减少了接缝数量,显著提升了潜水器的可靠性。此外,他们还重新设计了机械臂、观察窗、锂电池组、推进器、可调节载水箱和海水泵等关键部位,确保潜水器能在黑暗、高压的作业环境中高效运转。

从某种程度上看,像“深海勇士”号这样的万米载人潜水器,复杂程度和研发难度甚至可与太空站相提并论,二者都是在极端环境中运载科研

人员进行科学探测和实验,因此必须保证每个子系统高度安全可靠。潜水器涉及多个领域,从设计技术、材料技术、密封技术,到通信技术、试验技术、安全技术,每个领域都需要“深耕”多年才能具备相应的研发实力。放眼全球,能进军万米深海的载人潜水器屈指可数。

新看点