

- 它是在硅基平台上将光电子和微电子融合起来的一种新技术
- 它显示出的优异性能,为芯片研发“换道超车”带来希望
- 它发展方兴未艾,军事应用潜力巨大、前景非常广阔

国防科技大学前沿交叉学科学院研究员江天为您讲述

硅光芯片：突破『摩尔定律』曙光初现

■本报记者 王握文 通讯员 任永存 朱晰然

光电优势互补,硅光芯片迎来曙光

在半导体领域,微电子器件的进一步小型化,使得集成电路的互联延迟及能耗问题成了高速集成电路一个不可逾越的障碍。此时,科学家便想到了另辟蹊径。

与电子相比,光子作为信息载体有其独特优势:光子没有静止质量,光子之间的干扰相对更弱,光的不同波长可用于多路同时通信,使其带宽更大、速率更高。

那么,用光子代替电子,以光运算代替电运算,研制开发光子芯片,问题不就迎刃而解了吗?理想很丰满,现实却很骨感。一度被科学家寄予厚望的光子芯片在现实中行不通。因为,制造用于光子芯片的纳米级光学器件现阶段难以实现,而光的集成度也达不到现有微电子集成电路水平。

这并没有阻止科学家探索创新脚步。他们想到,既然电子和光子各有利弊,那么,将两者取长补短融合在一起,是否会产生意想不到的效果呢?科学家经过研究发现:光子作为信息传递的载体,具有稳定可控的调制和复用维度,具有更大的带宽、更高的频谱利用率和通信容量。

更重要的是,基于微电子技术先进、成熟的互补金属氧化物半导体工艺,在传统硅芯片上集成光电器件难度不算太大,它无须通过缩小器件尺寸,便可大大提升芯片性能。因此,在传统硅芯片上,加入光子用来传输数据,是一个很有潜力的研究与应用方向。

早在1985年,被誉为“硅基光电子之父”的理查德·索里夫,首次提出并验证了单晶硅作为通信波长的导波材料。这意味着在硅基平台上成功“捕获”了光子,实现了光子器件集成于硅片之上。

随着硅光相干收发器、硅光收发模块、微波光子链路等光子器件在新世纪相继问世,硅基光电子技术进入系统应用阶段。不久的将来,大规模光电集成片上可重构系统也将变成现实,硅基光电子技术将进入自动化、集成化的新阶段,硅光芯片从此迎来曙光。

这种采用微电子和光电子取长补短相融合的硅基光电子技术,能在原来的硅芯片上,让微电子与光电子同时工作,彼此优势互补,使其性能得到大幅提升。

如果将融合了光电子和微电子的硅光芯片看成是一个联合进行信息作战的“兵团”,那么,在它纳米量级的“战场空间”上,光子、电子以及光电子器件等“士兵”进行协同作战,在高速、驱动放大、读出等“友军”的积极配合下,高精尖的光电耦合封装技术就会让其形成功能模块集成。

硅光芯片问世,性能卓越身价不凡

任何一项新技术的诞生,都不可能一蹴而就。硅基光电子技术虽然已取得一系列技术突破,但受限于光源、调控、光子器件研制等技术难题,目前还处于“量少价高”阶段,离大规模市场应用还有一段路要走。

面对目前芯片发展的“窘境”,硅基光电子技术无疑是未来信息技术发展的一大趋势。作为“后摩尔定律”时代的一项颠覆性技术,它既具有微电子尺寸小、耗电少、成本低、集成度高等特点,也有光子多通道、大带宽、高速率、高密度等优点,已显示出卓越性能。

——集成强,整合易。硅基光电子技术利用大规模半导体制造工艺这一平台,可在绝缘体薄膜硅片上,集成信息吞吐所需的各种光子、电子、光电子器件,包括光源、光波导、调制器、探测器和晶体管集成电路等,从而在一个小小的芯片上实现光电子技术和微电子技术的高效整合。在量子通信、数据中心、智能驾驶、消费电子等对尺寸更加敏感的区域,

有很大的应用空间,将会颠覆性改变人们未来生活方式。

——带宽大,速度快。在大数据时代,数据中心内的流量爆炸式增长,传统铜电路传输显得捉襟见肘。硅基光电子技术用光通路取代芯片间的数据电路,光模块的大带宽,不仅可降低能耗和发热,还能实现大容量光互连,有效解决网络拥堵和延迟等问题。同时,用激光束代替电子信号传输数据,可实现数据高速率传输。用户与数据中心之间、芯片与芯片之间、计算机设备之间以及长距离通信系统的信息发送和接收,都将因此变得快速、稳定。

——能耗少,成本低。得益于硅基材料高折射率、高光学限制能力的天然优势,可将光波导宽度和弯曲半径分别缩减至约0.4微米和2微米,使其集成密度相对更高。密度增高带来的是芯片尺寸的缩减,这势必会带来低成本、低功耗、小型化等独特优势。

未来,实现微电子器件和光电子器件大规模集成的硅光芯片,不仅能有效解决传统硅芯片面临的技术瓶颈,而且能为半导体行业带来新的发展机遇,推动信息技术迈上新台阶。

发展方兴未艾,军事应用前景广阔

硅基光电子技术,是当前受到国际重点关注的一项战略前沿技术,呈现出方兴未艾之势,将在5G网络、生物医疗、量子信息、数据中心光互连等领域刮起一场深刻的变革风暴。

在军事领域,硅基光电子技术同样显示出广阔的应用前景——

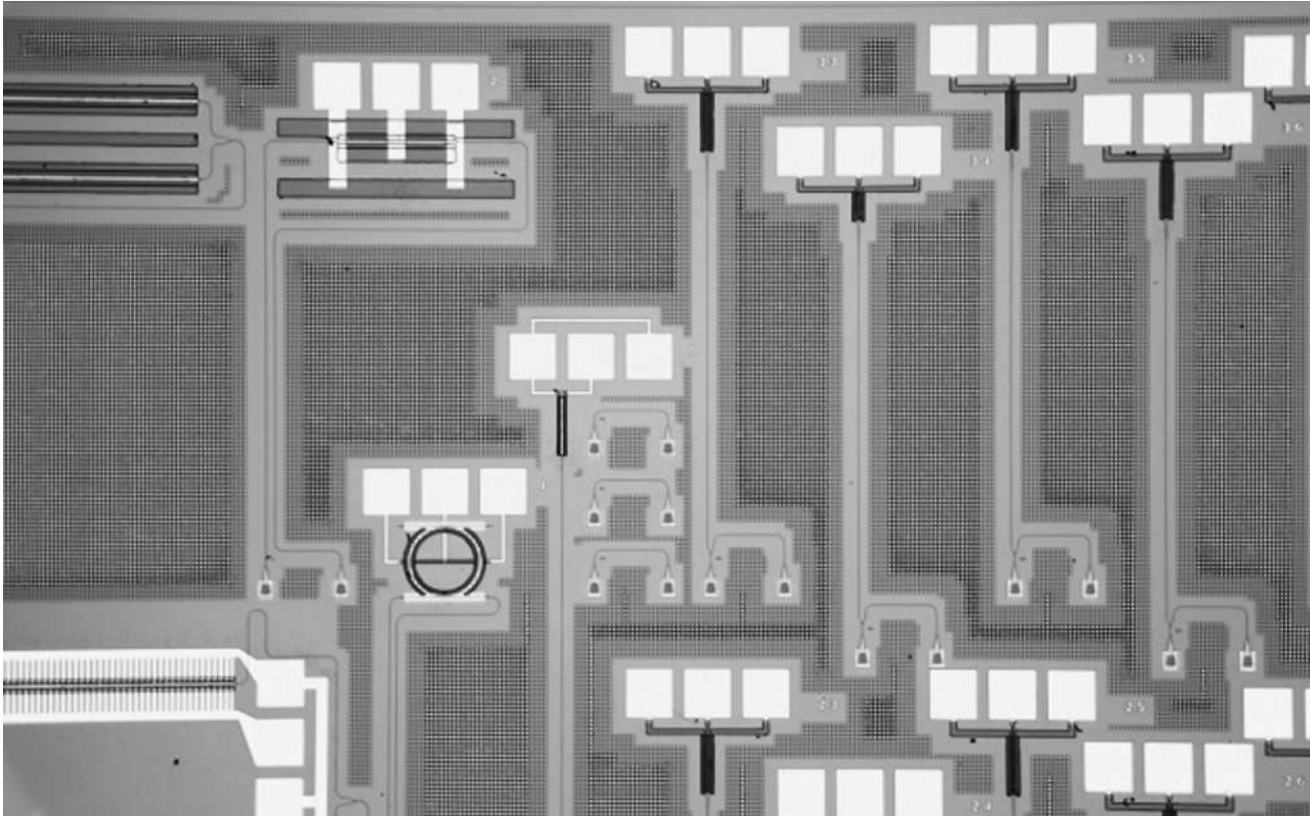
军事通信方面,硅基光电子技术最大的优势在于拥有相当高的传输速率,可使处理器内核之间的数据传输速度快100倍甚至更高,能为未来信息化联合作战提供高速、海量的数据支撑。目前,400G硅光模块在一些国家已成功实现量产,在数据中心光互连架构中的应用价值已得到充分证明,可有效满足高速军事通信对超高传输速率、超低延时、超高稳定性、超低成本、低干扰的要求。

军事传感方面,应用硅基光电子技术的传感器,具有探测灵敏度高、尺寸小、战场适应性强、成本低等优势,将其用于下一代智能探测装置,可优化并升级作战性能。激光雷达已成为军事探测和侦察不可或缺的关键传感器,由于硅光芯片使用的SOI材料具有大折射率差,因而可对光实现更强束缚,其器件能得到显著缩小。目前激光雷达普遍庞大笨重,未来应用硅基光电子技术传感器的激光雷达将变得跟邮票一样大,从而使得军事探测和侦察目标更加精确且更具隐蔽性。有资料显示,一些国家已研制出基于硅基光学相控阵芯片的全固态激光雷达,其高集成度、快速扫描、小体积、低成本等优势,将成为下一代军用激光雷达的重要技术支撑。

军事高性能计算方面,能耗和信息读取速度成为制约高性能计算发展的两大因素,与电路相比较,光互连具有低损耗、低色散特点,且不存在寄生现象。其性能与成本不会随着距离增加而显著增加,可使计算机并行处理能力和计算能力得到大幅提升。应用硅基光电子芯片的军事高性能计算机,将在导弹弹道计算、核爆炸计算等方面发挥重要作用。

此外,硅基光电子技术在军事医疗、军事侦察、军事智能化等领域也展现出广阔的应用前景。目前,在生物医疗方面,已研制出生物传感器芯片;在军事智能化领域,硅光神经网络的建成和投入使用,将充当军事智能化发展的“催化剂”。

下图为光学元件集成于硅芯片示意图。
版式设计:梁晨



揭开生物起源面纱

■史利鹏 于童



达尔文与进化论示意图。

刻进历史的经典创新

当今,人类科技发展达到了前所未有的高度:航天器扶摇而上,深潜畅游海底,半导体制造工艺突破纳米级,5G技术逐步使万物互联成为现实……

除了向外部拓展认知的疆域,人类也在不断向内问自己:我们从何而来?许多人自然而然地会从达尔文的著作《物种起源》中去找答案。

这部著作,达尔文通过大量证据,将全新的科学的生物进化思想展现给世人。

小时候的达尔文,对下河、爬树、打猎、捉耗子等样样精通,却偏偏不爱读书。父亲、老师曾斥责达尔文是无用之人。无奈之下,父亲只好将这个“浪子”送往剑桥大学主修神学。

没想到,这个决定影响了达尔文一生。

1831年,达尔文刚刚从剑桥大学毕业,就听从大学老师的建议,从事博物学家工作,跟随贝格尔号轮船前往南美洲绘制地图。

这趟长达1700多个日夜的旅行,达尔文每天都在详尽地记录航海日记。每次靠岸,他都尽可能地采集各种各样标本:动物、植物、矿物、化石等。除了阅读船上图书馆收藏的书外,达尔文把其他时间全花在了对这些标本的清洁、详细描述、贴标签

和妥善保存上。

远离繁华的都市生活,达尔文在旅行中吃了很多苦头,养成了耐心细致的习惯和坚韧不拔的性格。那时,进化论的雏形已在他的头脑中搭构起来。

就在这达尔文完成《物种起源》的简要提纲,搜集到大量例证时,身处大洋彼岸马来群岛的华莱士,也提出生物进化论。相见恨晚的二人鸿雁传书,研究理论互为补充,共同创造进化论。

达尔文卧薪尝胆、厚积薄发,于1859年发表了《物种起源》一书。本书一经出版,就在欧洲引起轰动,并很快传播到全世界。

这部著作第一次把生物学建立在全新的进化思想基础之上,书中用翔实的资料,证明这世间形形色色的生物并非上帝所造,而是在遗传、变异、生存斗争和自然选择中进化而来。

达尔文将人们的思想带到了一个全新领域,各大主教支撑下的神学在科学面前不得不低下“高贵”的头颅,达尔文进化论掌门人的地位也因此被确立。遗憾的是,华莱士的功绩在那时被达尔文的光芒所遮盖。直到1908年,人们才为华莱士正名。

经此一役,人们更有理由相信,科学是一个不断质疑、不断验证、不断创新的过程。这样的过程,使科学在猜想中成真、在完善中接近真理的彼岸。

软体机器人成“挖洞专家”

■沈业宏 郭子涵



从沙土中钻出的一款软体机器人。

新看点

近期,国外一家科研团队研制出一款可用于挖洞的软体机器人,吸引了人们目光。

这款软体机器人身体酷似藤蔓,具有喷气功能,能控制地下相互作用力,进行三维挖掘。

据悉,该软体机器人的设计灵感,来自藤蔓在颗粒介质中的生长特性。在地下世界,运动会挤压大片空间,如果软体机器人全身部位都与沙土接触,表面的摩擦力会急剧增加,阻碍软体机器人继续前进。于是,研究人员将水凝胶这种新材料用于制作软体机器人组件。

有了柔软的水凝胶,软体机器人就像一块橡皮泥,在一定限度内可任意变化形态,像藤蔓一样以顶端“生长”来移动。

研究中还有一个最大挑战:软体机器人从垂直方向切换到水平方向上挖

洞时,总会受到升力作用浮出。这是因为在流态化的沙土中,力的分布并不平衡,会对水平运动的软体机器人产生向上作用力。为解决这一问题,研究人员将软体机器人的头部改装成楔形,用来调节升力。

楔形头部上装有一种基于尖端的流动装置。该装置将空气喷射到尖端面前区域,形成不对称向下气流,可在调节升力的同时,还会替软体机器人“开路”,将面前沙土转化成类似悬浮流体的状态。

有了这些装具,软体机器人就成了“挖洞专家”。它在长、浅、定向挖洞方面有良好性能,可适应复杂多变环境,进行快速、精确、小范围运动,代替人类完成地下救灾、安装防侵蚀工程等复杂工作。

研究人员表示,软体机器人能控制尖端延伸方向,并调节它在介质中锚定的牢固程度。这种控制能力,有望帮助人类在月球等低重力环境中实现深度探索。

科技云

科技连着你我他

■本期观察:杨季鑫 胡楠 王威澄

“人造肌肉”——

举重若轻不是梦



“人造肌肉”在制动器、机器人技术和医疗器械方面,有着广阔的应用前景。目前,将骨骼肌的全部特性模拟成合成材料,对于科研人员来说仍是一个巨大挑战。

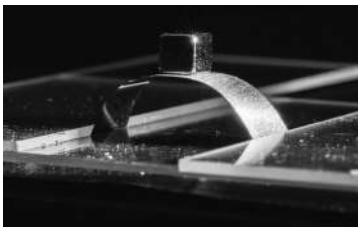
近日,国内研究人员发现,通过重复的机械训练过程,对聚烯烃弹性体中的一种配位键进行重新排列,可制备出高性能人造肌肉材料。

实验过程中,他们将生物物质素作为一种绿色增强剂,用于构建界面配位键。制备出的人造肌肉材料,具有高驱动应变和高驱动应力两大特性,可举起远远超出自身重量的重物。

目前,该研究成果已被《自然通讯》杂志刊发,有望为“人造肌肉”的广泛应用提供新的方向。

“金属木材”——

承重超大不弯曲



国际权威期刊《自然材料》杂志日前披露,限制“金属木材”材料应用的一个主要问题已被解决——即消除了该材料从数百万个纳米级颗粒生长到足够大的金属薄膜时形成的倒裂纹。

研发人员表示,一条比家用铝箔还要薄,长约2.5厘米、宽约0.8厘米的“金属木材”,可支撑超过自重50倍的重量而不弯曲。该材料承重能力强的原因,主要得益于其天然对应物的一个关键结构特征:孔隙率。作为纳米级镍支柱的晶格,“金属木材”内部充满规则间隔的细胞大小的孔,能做到在不牺牲材料强度的情况下,从根本上降低其密度。

未来,这项技术将用来制造许多以前不可能造出的设备,例如保护涂层和柔性传感器中的生物材料等。

“电子皮肤”——

贴合呵护不含糊



日前,国际权威期刊《科学进展》披露,国外研究人员研发出了一种被称为“电子皮肤”的新型防汗材料。该材料是一种佩戴舒适、嵌入传感器的黏性贴片,不仅能对佩戴者健康状况实施监测,而且能保证在出汗时不会出现故障或从身体上脱落。

该材料在出汗时能与身体保持接触的原因,主要归功于蚀刻在材料超薄层中的类似于人体皮肤毛孔的人工汗液通道。这些通道能确保汗水通过贴片排出,在防止皮肤受到刺激的同时,能避免嵌入其中的传感器受损。这种设计还使贴片贴合人体皮肤,使其能伸展和弯曲。

灵活性和耐汗能力,保证了该材料能够长期监测佩戴者的健康。研究人员认为,这一研究成果,正朝着长效智能皮肤迈出重要一步。