

硅发光? 答案在新型硅锗合金里

■本报记者 胡珉琦

随着摩尔定律行将失效,用光学链路替代芯片间电学信息互连被认为是一种新的选择。如今,硅基光电子学几乎所有的光电子器件都被研制出来,唯有高效光源还没有一个很好的解决方案,它也因此成为了光电集成领域的必争之地。

最近,荷兰埃因霍芬理工大学的科研团队开发了一种能发光的硅锗合金,研究成果发表在《自然》上。这种全新的材料可以为硅基光源开辟一条新的出路。而目前,团队正在用它创造一款能够集成到现有芯片中的硅基激光器。

最后的“圣杯”

电子芯片自产生以来一直遵循着摩尔定律集成化的发展道路,即每隔18~24个月,单位面积集成电路上可容纳的元器件的数目就会增加一倍,性能提升一倍。然而,自上世纪90年代以来,芯片的集成速度开始放缓,甚至趋于停滞。

随着信息数据的爆炸式增长,为了大容量和高速率传输的需要,我们必须寻求新的技术途径。

硅基光子芯片应运而生。硅基光子芯片具有电子芯片尺寸小、耗电少、成本低、集成度高等特性,同时吸收了光子芯片多通道、极带宽、超快传输速率和高抗干扰性的优势,能满足未来芯片进一步发展的要求。

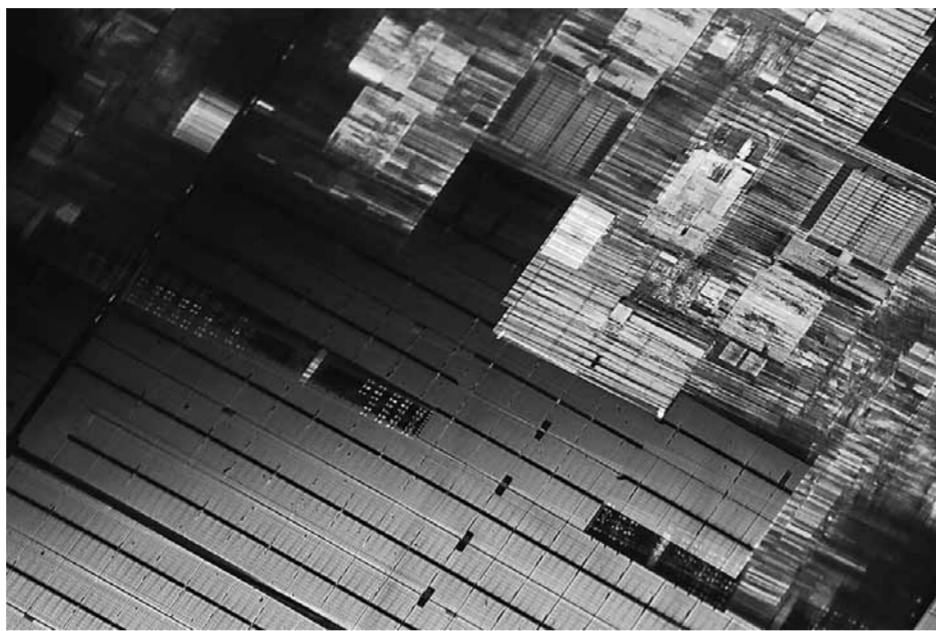
所谓硅基光子技术,是指以硅和硅基衬底材料作为光学介质,通过集成电路工艺制造相应的光子器件和光电器件,并利用这些器件对光子进行操纵和探测,以实现它在光通信、光互连、光传感、光计算等领域中的实际应用。

4月11日,中国光子芯片公司曦智科技刚刚完成2600万美元融资,成为目前全球融资额最高的光子计算创业公司。两年来,为了给机器智能提供更强大的算力,基于硅光子技术的光子计算越来越受关注。

不过,在广受关注的背后,市场上尚未真正出现硅光子技术“杀手级”的应用。清华大学电子工程系教授甯存政告诉《中国科学报》,要利用硅基光子技术实现真正光电集成,有两大问题始终悬而未决。

首先,传统的光子材料与硅基互补金属氧化物半导体(CMOS)工艺难以兼容,缺乏高效发光的硅基片上光源成了光电“携手”的一道鸿沟。因此,硅基高效光源也被视为是硅基光电子学领域最后的“圣杯”。

其次,传统光子器件尺寸太大,如何将光子器件缩小至电子器件的尺寸,也是实现光电集成芯片的一大阻碍。对此,甯存政有个形象的比喻:传统光子器件相当于一座六



硅基光子芯片的发展正处于爆发的前夜。 图片来源:Unplash

七百米高的摩天大楼,电子器件相当于摩天大楼旁边放着的小板凳,它们之间整整差了3个数量级。

对于横亘在理想和现实之间的这两座大山,研究界没有成熟的解决办法。甯存政形容当前的硅基光子技术领域,“正是百家争鸣、百花齐放的时候,面前摆着各种不同的技术路径”。

会发光的六方结构硅锗合金

埃因霍芬理工大学 Erik Bakkers 领导的研究团队研发了一种新型硅锗合金发光材料,并且正在制造一款能够集成到现有芯片中的硅基激光器。他们所寻找的,正是硅基光电集成芯片上那块最重要的“拼图”——硅基高效光源。

研究团队究竟使用什么方法让硅材料发出光来? 半导体材料可以分为直接带隙和间接带隙材料。前者的导带最小值和价带最大值具有同一电子动量,导带底的电子与价带顶的空穴可以通过辐射复合而发光,复合概率大,发光效率高;而后的导带最小值和价带最大值的动量值不同,根据动量守恒要求,导带底的电子与价带顶的空穴通过辐射复合发光时必须有声子的参与才能完成,所以是一个多体互作用过程,发生的概率很低,因此发光效率也很低。通常立方相的硅、锗都属于后者。

然而,物理学家曾提出,改变硅晶格的

形状,使其从立方结构变为六方结构。能带结构的改变也许可以使这些材料成为有效的发光材料。

经过最近十几年的研究,埃因霍芬理工大学团队发现,虽然六方结构的硅仍然是间接带隙,但六方结构的锗材料会变成直接带隙,而且硅锗两种材料按一定组分构成的合金也可以成为直接带隙,发光效率因而会大幅度提高。

只是,要得到这种材料并非易事。中科院半导体研究所研究员成步文介绍说,尽管可以采用气液反应合成法(VLS)生长纳米硅线、应变、激光微晶沉积等方法制备六方结构硅材料,但很难控制其晶相,保持结构的稳定性。因此,要实现六方结构必须采用非常规方法。

“2015年,该研究团队就曾提出一种新颖的制备六方结构硅材料的方法。他们以金催化VLS生长的磷化镓纳米线为模板,生长硅壳结构,获得了六方结构的硅材料。此次研究是他们在已有工作的基础上,采用了类似的方法,以VLS生长的磷化镓纳米线为模板,生长六方结构的锗和硅锗材料。之所以切换模板材料,是为了使外延的锗和硅材料与模板材料的晶格常数更加匹配。”成步文说。

Bakkers表示:“目前,我们已经实现了几乎可与磷化铟和磷化镓媲美的光学特性,并且材料的质量正在逐步提高。如果一切进展顺利,可以在今年创造出硅基激光器。这将为芯片上的光学通信以及基于光谱学的廉价化学传感器开辟新的前景。”

硅基光子芯片爆发前夜

早在多年前,甯存政就曾访问过埃因霍芬理工大学该研究小组。他告诉《中国科学报》,从材料科学的角度,六方结构硅锗合金的制备以及高效发光的实验验证是一项非常重要的研究进展。接下来,要解决如何在硅基底上生长出高质量的六方相硅锗合金的问题,这才是真正意义上的硅基发光材料。

“现在报道的这种新型材料并不是在硅衬底上实现的,而是基于砷化镓的化合物半导体衬底。但由于世界上已经有很多组可以在硅基底上生长砷化镓纳米线,下一步自然的做法便是先在硅基底上生长砷化镓纳米线模板,然后再以该文报道的方法生长硅锗纳米壳层。”甯存政强调。

目前,除六方结构硅锗合金直接带隙发光这一新的技术路线外,国际上实现硅基光源主要有几个途径:硅纳米结构的发光、稀土掺杂的硅材料发光、硅基锗以及锗锡和锗铅直接带隙材料发光、硅基化合物半导体材料的发光。

成步文解释,前两种均以硅为基材料,与CMOS工艺兼容性最好,但目前不能实现直接带隙材料,所以很难制备激光器。

“锗的准直接带隙结构使它比硅更高的发光效率,并且通过应变、掺杂等手段进一步提高其发光效率。锗锡和锗铅合金材料与CMOS工艺兼容,在锡和铅组分合适时可以实现直接带隙,是很有前途的研究路线,现在已经开发出光泵浦激光器,人们正在努力实现电泵浦激光器。但其主要难点在于高质量的直接带隙材料的生长很困难,预计在5年内可能实现电注入激光器。”

成步文说:“硅基化合物半导体材料激光器已经实现,键合结构的激光器已有少量应用,外延的硅基化合物半导体激光器也取得了很好的进展,但是由于与CMOS工艺兼容性比较差,目前还没有应用。”

事实上,除了硅基光源以外,硅基光电集成系统中的SOI波导、调制器、光开关、探测器等均已陆续实现。硅基光子芯片中的其他一些关键光子器件也已经研制出来,国内有些器件已经达到国际先进水平。

由此可见,一旦硅基光电集成的核心要素取得突破,硅基光电子学的时代就有望真正到来。现在,硅基光子芯片的发展正处于爆发的前夜。

不过,甯存政也坦言,国内硅基光电子技术的整体研究规模和工业规模都非常有限,特别是硅基光子器件及其集成的研发能力与国际水平有较大差距,亟须依靠充足的投入来推动该领域的发展。

相关论文信息: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2150-y>

一 所 一 人 一 事



赵永恒

国家天文台党委委员、研究员,现任郭守敬望远镜(The Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope,简称LAMOST)运行和发展中心常务副主任等,曾任国家重大科学工程LAMOST项目总工程师、北京天文学会理事长、世界数据中心天文学科中心主任。带领LAMOST团队,圆满完成一期光谱巡天观测工作。

LAMOST 巡天引领者

——记国家天文台研究员赵永恒

■王丹李伟

听从祖国召唤,结缘LAMOST

赵永恒与LAMOST结缘,还要从一通电话讲起。1995年,还在德国深造的赵永恒,接到北京天文台台长的电话,邀请他回国筹建大型天文项目LAMOST。他毅然放弃了国外优厚待遇,回到祖国,怀着激动和热切的心情,投入到深爱的天文事业,成为LAMOST项目工程指挥部中最年轻的一员。

LAMOST望远镜是我国自主创新研制的首台具有国际竞争力的天文大科学装置,也是目前世界上光谱获取能力最高的望远镜。

2011年9月LAMOST开始为期一年的先导巡天,随后于2012年9月至2018年6月开启一期五年正式巡天。六年来,LAMOST望远镜共发布近千万条天体光谱,数量远超世界其他巡天项目发布光谱数总和,比国际同类望远镜发布的光谱数提高了一个数量级。该光谱集是目前世界上天区覆盖最完备、巡天体积和采样密度最大、统计一致性最好、样本数量最多的天文数据集,填补了国内天文基础数据库的空白。

赵永恒在2003年临危受命赴任LAMOST项目第三任总经理,开始每天硬着头皮与形形色色的人打交道。为了提升管理能力,十多年来赵永恒翻阅各类专业书籍,书中精髓他铭记于心。尽管肩上的担子越来越重,他却总是积极乐观,不畏困难,勇挑重担,刻苦攻关。

“和蔼可亲、平易近人,从不摆官架子”“始终与群众在一起”是大家对他最深的印象。他总是鼓励项目组成员,坚信关键技术一定能够突破。由于承接LAMOST项目的单位不止国家天文台一个,为了协调各个单位的工作,他时常奔走于几家单位之间,被戏称为“空中飞人”。

在赵永恒的带领下项目组齐心协力,攻坚克难。项目最终于2009年6月顺利通过国家验收。

为了LAMOST项目,赵永恒耗尽了青春年华,华发早生,但他仍然“衣带渐宽终不悔,为伊消得人憔悴”。

做团队的防火墙和救火员

赵永恒常戏称自己像一道“防火墙”,保证科研人员专家们全身心地投入项目工作,不受外界因素影响。有时,又要做一名“救火队员”,哪里出现问题,他都会马上出现,动用一切力量解决问题。这就是赵永恒工作状态的真实写照。

转入正式巡天以来,作为望远镜运行团队的领头羊,赵永恒以敏锐的视角发现望远镜运行中的技术问题,带领项目成员攻克一个个难关。白天他忙于处理项目大小事务,晚上还要投入到紧张的观测工作中,经常一干就是一个通宵。

这些年来为了尽量减少经济发展带来的光污染、雾霾引起的大气透过率降低,及全球气候变暖给望远镜带来的一系列影响,赵永恒大部分时间都是在河北兴隆观测站度过的,除夕、春节和自己的生日,他都没能和家人团聚,一度扑在项目上。

功夫不负有心人,在赵永恒带领下,到正式巡天的最后一年,LAMOST观测成功率提高了近30%,故障率下降了10%,为高效地、保质保量完成一期巡天观测工作做出了重要贡献。

聚少离多,舍小家为大家

自古忠孝不能两全。在事业与家庭、大家和小家之间,赵永恒毫不犹豫地选择了事业和大家,与家人聚少离多。

赵永恒从小与父亲感情笃深,可为了事业,在父亲病重时,他仍然坚守岗位。这些年来,赵永恒忙于LAMOST项目,无暇照顾妻儿。不过,爱人的理解和默默支持是他前进的最大动力。在掌声、鲜花和荣誉的背后,有几多辛苦和辛酸,只有身临其境的人,才能体会。

一期巡天圆满结束,赵永恒带领团队向LAMOST第二个高峰——中分辨率光谱巡天进军。如今的兴隆与上世纪90年代相比观测条件越来越差,赵永恒又开始了LAMOST二期工程的探讨,希望在条件更好的观测地修建一个观测能力更强大的LAMOST望远镜,将光纤数量提高到史无前例的一万余。

正值LAMOST国际评估报告所说,LAMOST是世界级的巡天设备,一定能够产生世界级的研究成果。为了实现这个目标,赵永恒还将自己的本职岗位上继续发挥模范带头作用,孜孜不倦地努力前行。

(作者单位:中国科学院国家天文台)

疫情下,大数据与AI做了什么

■本报记者 倪思洁

疫情之下,大数据与人工智能(AI)等技术手段正在成为人类战胜病毒的新型“武器”。它们能够为疫情的预防控制做些什么?4月18日,在爱思唯尔云论坛上,多位来自学术界和工业界的专家分享了此次新冠肺炎疫情中大数据与AI的相关研究与应用。

做防控的“先知”

疾病预测将是被动预防转化为主动预防的重要环节。在上海交通大学计算机科学与工程系教授高晓晖看来,在疾病预测工作中,可以利用数学模型、大数据分析、机器学习技术,精确刻画疫情变化规律,在疫情防控上掌握主动。

“可以采用基于概率统计的回溯模型、基于传播动力学的模型、基于大数据的机器学习模型、基于社交模式的疫情分析、基于信息扩散的网络传播模型、基于复杂网络流的传播预测模型等,对疫情进行预测和分析。”高晓晖说。

她介绍,目前全球已经有一些科研团队聚焦疫情动态的建模与数据分析,如麻省理工学院团队、牛津大学团队等,国内也有一些相关的研究团队,如上海财经大学团队等。此外,全球已经有团队在做数据的可视化分析。

“基于社交的疫情建模,可以帮助我们及时发现高危个体,阻止疫情传播,缩小病毒传播范围,部署防疫力量,减少损失。”高晓晖说。

做社会的智囊

疫情期间,研究刊物、新闻媒体、官方文件中充斥着大量新冠肺炎的相关信息,能否对这些过载信息进行整合,决定着信息价值是否能得到充分利用。

从春节开始,清华大学计算机系教授唐

杰就和学生一起,探讨如何进行疫情信息的有效利用。最终他们决定汇聚新冠病毒的各种数据,在可视化的基础上对疫情发展趋势、各地风险指数等作出智能预测,并尝试构建新冠病毒的知识图谱,为科研人员、社会公众服务。

“目前,新冠肺炎开放数据库已经汇聚了近200项数据资源,并且还在不断更新中,数据范围覆盖了疫情现状、科研动态、政策等多个方面。”唐杰说。

除了为复工复产等社会决策提供信息支持,他们还汇总了国内外专家信息,对高关注度专家学者的研究兴趣、领域、科研成果影响力、学术动态等信息进行深度挖掘,对新冠疫情相关学术成果的时间线、相关性进行汇总分析,为科研人员提供参考。

做医生的助手

疫情给医护人员带来了庞大的工作量,而AI正在成为新冠肺炎疾病诊治的助手。

“新冠肺炎影像人工诊断面临挑战。”阿里巴巴集团副总裁华先胜表示,在效率方面,CT影像人工阅片量大,影像医生阅片耗时长;在精确度方面,疫情期间影像检查业务量极大,医生容易因过度疲劳导致误诊、漏诊率增加,诊断准确率不稳定;此外,人工阅片定量分析少,对临床诊断的支持性定量分析存在不足。

他介绍,在此背景下,阿里云创立了新冠肺炎CT辅助诊断系统方案,平均最长20秒钟处理一个病例,读片速度是医生的50倍,每天可以分析大约13000例样本。

“目前该方案已经为国内包括火神山医院在内的168家医院提供服务,并向海外各国开放。”华先胜说。

此外,他表示,阿里云还提供了新冠病毒全基因组检测方案,以解决全国范围内核酸检测能力不足、PCR方法假阴性率高及病毒可能发生变异等问题。

“全基因组分析可以通过序列分析和序列表拼接,分析与病毒序列的同源性,定制化地给出最终诊断报告;可以构建进化树,智能分析病毒传播或演化的时间图谱,智能分析患者感染事件;还可以预测病毒蛋白二级结构和三维结构。”华先胜说。

此次论坛上,多位专家也呼吁,大数据时代应加强科研合作与交流,工业界与学术界的互动及学科间的交叉将碰撞出更多智慧火花。

中国工程院院士王恩东: 智算中心将成智慧时代“新基建”

■本报记者 闫洁

从通信大数据行程卡、健康码,到网课辅导、线上招聘……新一代信息技术在抗击疫情和复工复产中发挥了巨大作用,同时加速了社会的智慧进程。

在近日举行的浪潮云数据中心合作伙伴大会上,中国工程院院士、浪潮集团首席科学家王恩东表示,支撑智慧化转型的,“正是我们一直所说的云计算、大数据、人工智能(AI)为核心的智慧计算”。

他表示,3月4日中央决定对人工智能、大数据中心等新型基础设施建设(以下简称新基建)提速,其实也是在为智慧计算的发展提速,而承载这种计算需求的生产中心——智算中心将成为智慧时代经济社会运行所必需的重要基础设施。

智慧时代的算力中心

王恩东介绍说,计算是发展的,已从最初的数值计算逐渐演变为科学计算、关键计算和智慧计算,而每种计算都有相应的算力中心去支撑。

承载科学计算的是超算中心,承载当下企业、政府及个人应用的是数量众多的各类数据中心。当前AI计算需求正呈指数级增长,未来在社会总计算需求中将占据80%以上。承载这种需求的就是AI算力中心,即智算中心。

在王恩东看来,智慧计算改造升级了生产力三要素,最终驱动了人类社会的转型升级。智慧计算将劳动者由人变成了人+AI,劳动者可呈现指数增长;智慧计算将数据变成了一种新的生产资料,从有形到无形,生生不息,越用越多;智慧计算将算力驱动的信息设备变成了生产工具,也是指数增长,人类的生产力得到了前所未有的解放。

伴随生产力的升级,社会基础设施也在产生变化。“智算中心将成为智慧时代的基础设施。智算中心之于智慧社会,就

像水利、交通之于农业社会,‘铁公机’、电网之于工业社会。”王恩东说。

他认为,智算中心是智慧时代最主要的计算力生产中心和供应中心,以融合架构计算系统为平台,以数据为资源,能以强大算力驱动AI模型对数据进行深度加工,源源不断地产生各种智慧计算服务,并通过网络以云服务形式向组织及个人进行供应。

成为新基建须满足三大条件

王恩东提出,智算中心要成为“新基建”,必须满足三大条件,即开放标准、集约高效和普惠普惠。

开放标准,要求智算中心从硬件到软件、从芯片到架构、从建设模式到应用服务都是开放的、标准的;集约高效,要求智算中心的建设规模要大,要采用领先的技术,保证自身的先进性;普惠普惠,则要求智算中心发挥基础设施的社会价值,服务大众。

与此同时,AI能力将成为智算中心输出的主要计算力形态。

王恩东认为,基于智算中心先进的AI算力基础平台、AI算力调度平台、AI算法模型来打造AI开放服务平台,汇聚并赋能行业AI应用的开发者,加速开发各种各样的行业智慧应用,必将加速行业AI化、产业AI化。

当前人类社会正处于智慧发展的转型期,计算力成为社会经济水平的重要指征,各国政府对于IT基础设施的投资不断增加,新型的计算力竞争已经开始。

王恩东表示,智算中心以社会智慧化需求为目标,基于最新的技术和产业生态,在新基建的背景下,将成为未来计算力的主要生产中心。“智算中心,不管你看得见或者看不见,它就在那里,源源不断产生智慧时代的动力:计算力。”