

非硅晶体管：新材料能否派上大用场

■本报记者 秦志伟

最近,美国麻省理工学院(MIT)研究团队在 IEEE 国际电子元件会议上发表文章称,用纳米级砷化镓(InGaAs)可以构建集成度更高、功耗更低的晶体管。InGaAs 晶体管技术被认为是为计算机领域带来了新的希望,甚至可与硅(Si)技术相竞争。

中国科学院上海技术物理研究所研究员王建禄认真研究了 MIT 团队这项工作,尤其是该项工作的原始数据。“该团队发现了 9 纳米(nm) InGaAsFinFET 结构晶体管的弹道迁移率特性,是 InGaAs 晶体管技术上的一个突破。”他在接受《中国科学报》采访时表示,但其对 Si 主导的集成电路芯片技术,尚无法形成实质性改变。

“硅晶体管在可预见的未来都将是不可替代的。”中国科学院半导体研究所研究员李晋闾补充道。

晶体管尺寸不断缩小

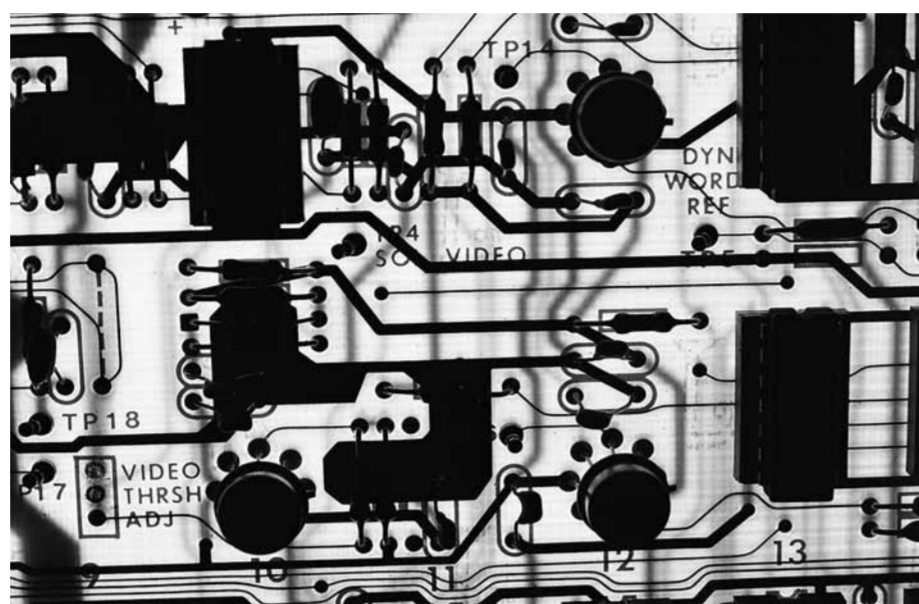
人类使用的电脑、智能手机、智能硬件等,都离不开晶体管。作为人类史上最伟大的发明之一,晶体管具有整流、稳压、信号调制等多种功能,通常用作放大器和电控开关。但在集成电路技术出现后,大量晶体管可以封装在一片指甲盖大小的芯片内。

摩尔定律显示,当价格不变时,集成电路上可容纳的晶体管数量,每隔约 18 个月会增加一倍,性能也将提升一倍。

随着半导体技术的发展,晶体管尺寸不断缩小,芯片制程不断提高,从 32nm 到 22nm、16nm、14nm、7nm,一直到 5nm,不难看出,单颗芯片上可容纳晶体管数量不断增加,最先进的芯片上容纳的晶体管数量已达到了几十亿至上百亿。

然而,辉煌了 55 年的摩尔定律逼近极限,冯·诺依曼计算架构也遇到“内存墙”(Memory Wall)问题。

传统晶体管主要以 Si 材料制作而成。对于 Si 基晶体管而言,7nm 堪称物理极限。专家表示,一旦晶体管尺寸低于 7nm,电子的行为将受限于量子不确定性,晶体管中的电子容易产生隧穿效应,晶体管将变得不再可靠,芯片制造必将面临巨大挑战。



也就是说,虽然 Si 半导体材料和晶体管框架的创新持续推进摩尔定律发展,但摩尔定律确实逐步逼近物理极限。

后摩尔时代将会是什么样的,正成为业界当下讨论的焦点。“目前摩尔定律要想进一步延伸,主要是要解决集成度和能效的关系。”王建禄说。

他向《中国科学报》进一步解释道,晶体管体积越来越小,种种物理限制制约着其进一步发展。比如当晶体管沟道区域长度足够短的时候,量子隧穿效应就会发生,会导致漏电流增加,进而导致晶体管效能的下降。

寻找新材料替代 Si,生产出尺寸更小、性能更佳的材料成为共识。例如,利用碳纳米管和二氧化钨、黑磷、石墨烯、硒化铜等材料制作晶体管,但这些解决方案仍处在实验室实验阶段。

InGaAs 是一种潜在候选材料

李晋闾在接受《中国科学报》采访时说,随着半导体技术不断进步,化合物半导体的比例会越来越大。

除了上述材料外,InGaAs 被看成是一种潜在候选材料。王建禄介绍,InGaAs 这类半导体是 InAs 半导体和 GaAs 半导体的三元合金,是 III-V 族化合物半导体的典型代表,可用于电子和光电子器件。以 InGaAs 制作的高速高灵敏的光探测器广泛应用于光纤通信领域,其他重要应用还包括激光器以及太阳能电池。

近年来,有关 InGaAs 晶体管的报道并不鲜见。例如,2012 年 MIT 研究人员用 InGaAs 构建了当时最小的 22nm 节点场效应晶体管;2014 年美国宾夕法尼亚州立大学研究人员用 InGaAs 纳米线构建了弹道

传输的纳米线晶体管,并预期沟道的长度可达到 14nm 甚至更小;2015 年,英特尔在国际固态电路会议上报道了基于 7nm InGaAs 的互补金属氧化物半导体(CMOS)工艺。

过去,研究人员认为 InGaAs 晶体管的性能在小尺度下退化。但 MIT 最新研究称,这种明显退化不是 InGaAs 材料本身的固有特性,部分归因于氧化物陷阱。

据称,氧化物陷阱将会导致电子在试图流过晶体管时被卡住。“在低频下,纳米级 InGaAs 晶体管的性能似乎退化了;但在 1 GHz 或更高的频率下,它们工作得很好,因为氧化物捕获不再是障碍。当我们在很高的频率操作这些器件时,它们的性能确实很好。”MIT 团队一位研究人员表示,“它们与硅技术相比是有竞争力的。”

在王建禄看来,解决氧化物陷阱问题只是技术层面的问题,任何材料与硅竞争,实际上最终都是产业生态的问题。他进一步解释称,目前主流芯片产业的生产、制造等都主要以硅材料为基础来构建。

“用 InGaAs 来做晶体管的沟道材料确实不是主流关注方向。”南京大学一位专家告诉《中国科学报》,即使在微观电子输运性质上获得进展,考虑到硅的先进制程技术的发展,以及集成电路产业加工工艺对特定沟道材料的重资产投入,这种材料代替硅几乎没有可能。

最新芯片仍采用 Si 基技术

中国工程院院士郑有炔曾在接受媒体采访时表示,5nm 芯片是一个重要阶段,将会孕育出重大创新。

目前台积电和三星的 5nm 技术节点仍然采用 Si 材料作为沟道材料,华为麒麟 9000 和苹果 A14 的最新芯片技术采用的也是 5nm 节点 Si 基技术。

在王建禄看来,近期,业界关注的材料体系仍以 Si、SiGe 等传统半导体材料体系为主;未来随着材料技术的突破,二维半导体、一维碳纳米管等材料有可能进入工业界的视线。

“InGaAs 晶体管尚无法对 Si 基形成威胁。”王建禄再次强调,硅基技术仍然是 3nm 技术节点优选材料。

一所一人一事



周易勇
中国科学院水生生物研究所二级研究员、博士生导师,主要研究方向为环境生物化学。近年来主持了国家重点研发计划、国家自然科学基金面上项目、水专项子课题、“973”子课题等重大项目,同时获与捷克、丹麦、波兰等多国开展政府间科技合作,在国内外学术刊物发表论文 100 余篇。

“英姿飒爽气如虹,沧浪欲寻一抹红。大海航行靠舵手,老当二副也光荣。”这是 2019 年 3 月,中国科学院水生生物研究所研究员周易勇带领团队在马来西亚的柔佛海峽出海巡航时写下七言绝句《三代同舟感怀》。这首诗道出了他对科研的无限热爱,抒发了在困境中砥砺前行的乐观主义精神。

富营养化问题是我国乃至全世界面临的最严峻的水环境问题之一。周易勇率先从生物化学的角度研究水环境问题,努力将生态毒学的理论与方法引入水污染生物学,于 2001 年成立了环境生物化学学科组。

几乎与此同时,周易勇眼疾发作,视力逐渐下降,几乎失明。但这没能让他放弃工作,反而让他更加深入地思考科学问题,指导学生设计科学实验。他依靠学生和同事的阅读,学习最新的文献。他甚至亲赴野外现场,积极申报各级各类课题,以生态毒学为重点切入中科院知识创新工程重大项目、中科院方向性项目、国家自然科学基金面上项目和重点项目等。

周易勇还积极参与国际交流。自 2003 年至今,就湖泊富营养化问题,他与捷克科学院水生生物研究所、丹麦哥本哈根大学、俄罗斯科学院动物研究所、意大利国家研究理事会海岸研究所、乌克兰科学院南海生物研究所、匈牙利布达佩斯技术与经济学院、波兰罗兹大学应用生态学系、波兰科学院自然保护研究所、保加利亚渔业资源研究所、斯洛文尼亚约瑟夫·斯蒂芬研究所、韩国先进科技学院等研究机构开展了广泛的交流与合作,聚焦环境生物地球化学研究,系统融合了分子生物学、微生物学、生物化学、湖沼学、环境科学的理论和方法,构建了生态毒学的理论体系,进一步阐明了营养元素氮和磷循环对水污染过程与格局的关键调控作用。

在学术思想上,周易勇注重基础性与大尺度、注重国家需求与国际前沿,力求从生物化学的角度描述水环境变化的格局与过程。其研究成果揭示了富营养化与有机质富集和分解之间的内在联系,为我国水环境的改善与管理以及水资源的可持续利用提供了科学依据。这些研究体现了宏观的环境科学背景与微观的生物化学层次相互融合的重要性。

在上述努力的基础上,周易勇带领环境生物化学学科组联合藻类资源与藻类毒理学学科组,以及国内外多家学术机构,以“一带一路”沿线国家海洋赤潮与低氧等生态灾害的发生机制、早期预警和应急响应系统的关键技术为主题,牵头申请了国家重点研发计划战略性新兴产业国际科技创新合作重点专项。项目的实施将极大地发挥我国科学技术优势和影响力,同时体现中科院在“一带一路”倡议实施过程中起到的积极推动作用。

在项目组织实施过程中,环境生物化学学科组团队 2 名成员曾登上福建海洋研究所“延平二号”科考船,参加了由国家自然科学基金委员会组织的 2018 年春季台湾海峡共享巡航,从近海到远海采集水柱和底泥样品,获得了大量的第一手资料。

在大海中航行,船摇晃得厉害。团队成员克服了严重的晕船症状,不分昼夜地工作,不辞辛苦,为科学研究事业贡献自己的力量。周易勇更是亲力亲为,虽然他的眼睛不好,但是却从未将其当成科研路上的绊脚石,反而更加坚毅、更加顽强。他亲自带领团队成员远赴海外合作单位,并赴不同海域巡航采样,分别在中国南海、黑海瓦尔纳海湾、地中海和马来西亚柔佛海峽组织了多次联合巡航,在获得第一手资料的同时,与各国专家深入交流,互相学习。

在上述项目的研究中,周易勇和团队成员充分探讨了浮游生物群落结构和分布及其与环境因子的关系,以及氮和磷等营养物质在赤潮消长过程中的关键驱动作用,相关研究不仅有效整合了“一带一路”沿线国家赤潮研究的学术优势与信息资源,更有效推动了相关领域学术研究的深化。此外,项目组骨干成员以东南亚地区为重点开展了科学传播与技术推广工作,受训人员达百余人,提升了中国的国际影响力,实现了良好的社会效益。

周易勇用实际行动践行并诠释了中科院“创新科技、服务国家、造福人民”的科技价值观,把个人理想自觉融入国家发展。他爱岗敬业和开拓开拓的精神激励并鼓舞了身边一大批人,是真正的“先锋”和榜样。

(作者单位:中科院水生生物研究所)

为青山绿水鞠躬尽瘁

记中科院水生生物研究所研究员周易勇

■曹秀云

速递

中国 AI 基础设施市场规模同比增长 26.8%

本报讯日前,由市场研究机构 IDC 与浪潮联合发布的《2020~2021 年中国人工智能算力发展评估报告》(以下简称《报告》)显示,人工智能(AI)是全球 IT 产业发展最快的新兴技术应用之一。而中国 AI 基础设施(包括服务器、存储和网络设备)市场规模在 2020 年达到 39.3 亿美元,同比增长 26.8%。

《报告》显示,2019~2024 年中国 AI 整体市场规模将保持 30.4% 的复合增长率,预计到 2024 年将达到 172.2 亿美元的市场规模,这意味着,全球 AI 算力中国占比近三成。

同时,《报告》还发布了 2020 年中国 AI 城市排行榜。排名前五的城市依次为北京、深圳、杭州、上海、重庆,排名 6~10 的城市为广州、合肥、苏州、西安、南京。与 2019 年相比,深圳超过杭州位居第二,重庆进入第一梯队,西安超过南京位居第九。(闫洁)

OpenNetLab 开放网络平台联盟成立

本报讯 12 月 18 日,微软亚洲研究院宣布,将联合清华大学、北京大学、南京大学、兰州大学、新加坡国立大学、首尔国立大学等多所亚洲地区高校,成立 OpenNetLab 开放网络平台联盟。微软亚洲研究院常务副院长周礼栋告诉《中国科学报》:“网络是‘新基建’的核心基础设施之一,重要性日益凸显。随着 5G 时代来临,应用越来越多样,网络环境也更加复杂。此外,今年随着新冠疫情的暴发,在线会议、在线教育、网络直播等实时通信需求激增,也对底层的网络基础提出巨大挑战。在此情况下,通过人工智能技术来应对网络这种前所未有的复杂性挑战将成为一种趋势。”基于此,微软亚洲研究院将与高校共同构建新一代的开放网络平台 OpenNetLab,通过为研究人员提供通用的分布式网络测试平台,以及真实的网络评测数据集,OpenNetLab 将推动人工智能(AI)在网络研究中的应用与发展,构建健康、可持续的网络研究生态系统。(计红梅)

提升 1000 倍! 未来计算“加速度”

■本报记者 计红梅

作为一种小型鸟类,玄凤鹦鹉的大脑仅有 2 克重,能耗仅 50 毫瓦,飞行速度却可达每小时 22 英里。相比之下,无人机的板载处理器重量是它的 20 倍,能耗是它的 350 倍,充电一次却只能飞行 10 到 20 分钟。

虽然传统计算架构在过去 70 年取得了巨大进步,但与现有的计算性能相比,大脑仍然是最无敌的计算设备。现实和未来的距离如何拉近?

“未来已来,只是分布不均。”在近日以线上形式举行的 2020 英特尔研究院开放日活动上,英特尔研究院院长 Rich Uhlig 援引科幻小说家 William Gibson 的话如此作答。

当天,该研究院集成光电、神经拟态计算、量子计算、保密计算和机器学习等领域的负责人悉数到场,揭秘了他们计划开启未来计算,致力于 1000 倍性能提升的诸多颠覆性研究。

拐点已至

2004 年,英特尔提出了一个宏大的目标,让光作为连接技术的基础。当时,他们看到,随着计算带宽需求不断增长,电气输入/输出(I/O)的规模无法保持同步增长,从而形成了“I/O 功耗墙”,限制了计算运行的可用能源,由此开始将目光转向光通信和硅光子技术。

十多年后,在此次活动上,英特尔研究院 PHY 研究室主任 James Jaussi 断言:“光互连和电气互连这两种连接方式之间已经有了一个明显的拐点。”其主要原因有二:首先,我们正快速接近电气性能的物理极限。如果不进行根本性的创新,高效电路设计将存在诸多限制。其次则是由于“I/O 功耗墙”面临与日俱增的挑战。

为此,他首度提出了“集成光电”的概念,即通过协同集成将 CMOS 电路与光子技术整合起来。他认为,此举“能够系统地消除成本、能源和尺寸限制方面的障碍,为服务器封装赋予光互连的变革性能力”。开放日上,作为英特尔在关键技术构建模块方面的重大进展之一,他们最新研发的比传统组件小 1000 倍的微型环调制器首次亮相。“传统的芯片调制器占用面积太大,并且 IC 封装的成本很高。而此次开发的微型环调制器,将调制器尺寸缩小到原来的 1/1000 的大小,从而可以消除硅光子集成到计算封装中的主要障碍。”Jaussi 说。

近一年多来,量子计算机成为业界关注的焦点之一。作为英特尔研究院量子应用与架构总监,Anne Matsuura 在开放日上宣布,该公司第二代低温控制芯片 Horse

Ridge II 已准备就绪。这标志着英特尔在突破量子计算可扩展性方面又取得一个里程碑式成果。

可扩展性是量子计算的最大难点之一。据介绍,在 2019 年推出的第一代 Horse Ridge 控制器的创新基础上,Horse Ridge II 支持增强的功能和更高集成度,以实现量子系统的有效控制。新功能包括操纵和读取量子位状态的能力,以及多个量子位纠缠所需的多个量子门的控制能力。

“我们正在逐步实现商用级量子计算的愿景。”Matsuura 说。不过,她坦言,目前仅有 100 个量子位,甚至数千个量子位的量子计算系统,无法实现商用化这一目标。“我们需要开发包含数百万个量子位的全线商用级量子计算系统,才能达到实用性的目标。”

释放数据潜力,安全性是重要考量因素之一。为了解决这一问题,英特尔一直在推动保密计算的发展。英特尔研究院安全智能化项目首席工程师 Jason Martin 介绍了其最新的软件保护扩展技术。它可以将保密性、完整性和认证功能整合在一起,以确保使用中的数据安全可靠。不过,这一技术只能保护单个计算机上的数据。而为了支持更多机构在协作中安全地使用敏感数据,英特尔和美国宾夕法尼亚大学佩雷尔曼医学院正在合作探索采用联邦学习技术,消除不同数据所有者在整合数据时所遇到的障碍,在获得洞察的同时确保数据隐私,以追求计算性能 1000 倍的提升。

此外,Martin 透露,他们还在研究一种不需要解密数据的方法,即同态加密技术。它允许应用在不暴露数据的情况下,直接对加密数据执行计算操作。然而,这一技术也面临一些挑战,如数据处理的成本会随着数据的增加而剧增,使得同态加密未能得到广泛使用。“我们希望未来普及这项技术。为此,我们正在研究新的软硬件方法,并与合作伙伴和标准机构展开合作。”Martin 说。

冰山一角

在展望第三代人工智能发展路径时,“类脑”是学术界提出的重要思路之一。2017 年,英特尔推出首款神经拟态研究芯片 Loihi,在神经拟态硬件的开发上迈出重要一步。

时隔几年,英特尔研究院神经拟态计算实验室主任 Mike Davies 宣布,该项研究很快将进入下一个阶段,即携手生态系统合作伙伴一同探索实际应用,扩大该技术的适用范围。

Davies 表示,通过对神经拟态系统上



的应用进行持续开发、原型设计和测试,该公司和合作伙伴已获得了越来越多的成果,并显示在各种工作负载中神经拟态计算都能带来性能的一致性提升。例如,埃森哲测试了在 Loihi 芯片上识别语音命令的能力和标准图形处理单元(GPU)上识别语音命令的能力,发现 Loihi 不仅达到了和 GPU 类似的精度,而且能效提高 1000 倍以上,响应速度快 200 毫秒。

他坦言,短期内,由于成本问题,神经拟态计算只适用于边缘设备、传感器等小规模设备,或是对成本不敏感的应用,如卫星、专用机器人等。“随着中间件的推移,我们预计内存技术的创新将降低成本,让神经拟态解决方案扩大适用范围,运用于各种需要实时处理数据但受限于体积、重量、功耗等因素的智能设备。”Davies 说。

和神经拟态计算一样,机器编程是此次开放日上英特尔展示的重点之一。当天,英特尔研究院机器编程研究主任及创始人 Justin Gottschlich 宣布,该公司推出了机器编程研究系统 ControlFlag,它可以自主检测程序代码中的错误。“虽然仍处于早期阶段,这个新颖的自我监督系统有望成为一个强大的生产力工具,帮助软件开发者进行耗时费力的 Debug。在初步测试中,ControlFlag 利用超过 10 亿行未标记的产品级别的代码进行了训练并学习了新的缺陷。”

展望未来,我们是否可以设想一个人都能创建高质量软件的未来?Gottschlich 的回答是肯定的。通过构建机器编程的三大支柱,即意图、创造和适应,他们希望未来能够实现这一蓝图:人类向机器表达他们的意图,机器就会自动创建并完成该意图所需要的所有软件。

“我们刚刚介绍的这五项正在进行的颠覆性研究项目,只是冰山一角。在追求 1000 倍性能提升目标的路上,我们还会有更多的成果和大家分享。”Uhlig 最后说。