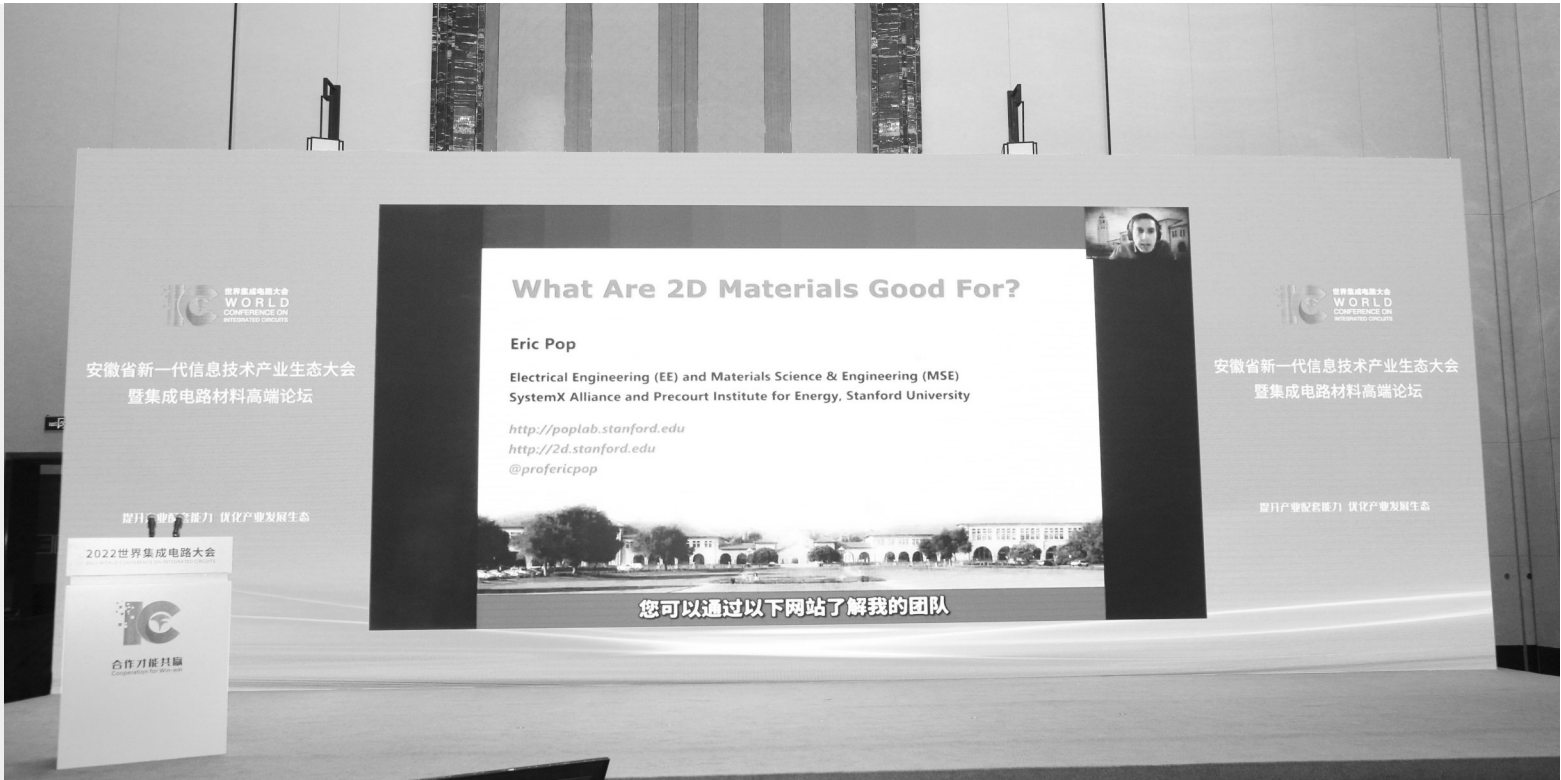




二维半导体材料为异构集成打开新路径

本报记者 张心怡

在传统的计算架构中,计算机由计算、存储等独立芯片组成,数据在不同芯片之间进行传输和处理。随着智能化技术和数据洪流的到来,芯片之间的通信速率限制了计算效率的进一步提升。在这种背景下,三维异构集成被产业界寄予厚望。二维材料的超薄、高迁移率、可低温制备、便于转移和集成等优势属性,为三维异构集成以及半导体器件性能提升打开了新的思路。斯坦福大学电气工程及材料科学与工程教授埃里克·波普在11月18日举办的安徽省新一代信息技术产业生态大会暨集成电路材料高端论坛上表示,二维材料具备的可以在低温条件下进行制备和移层的特点,使其能够作为一个优选项,融合到三维异构集成工艺的后道工序中。

材料发展推动半导体及电子设备演变

在英特尔和美光的推动下,20世纪60年代提出的相变材料理论于2010年前后进入商业化进程,并用于数据存储领域。20世纪80年代,法国科学家阿尔贝·费尔和德国科学家彼得·格林贝格发现了巨磁阻效应。接下来,OLED、蓝光LED、碳纳米管、石墨烯等材料陆续被发现或论证,目前IGZO、OLED、蓝光LED已经实现了商业化并用于显示等产业。

二维材料的提出和论证,为半导体器件的性能提升带来了全新的想象空间。二维材料是指厚度约为1~3个原子层的材料,有金属、绝缘体、半导体等种类。二维材料最经典的例子是石墨烯,这种由碳原子形成的单层正六边形薄膜厚度仅约3埃,这也是2010年诺贝尔物理学奖的主要研究对象。

埃里克·波普以二硫化钼为例,介绍了二维材料令学术界振奋的特征。二硫化钼的厚度约为3个原子层,钼原子层夹在中间,硫原子位于两侧。其优势吸引了多个研究团队的注意。一来,电

二维材料是三维异构集成的优选项

智能化带来的数据洪流,正在对传统的计算架构带来挑战。当前的计算机大多由不同的独立芯片组成,数据在逻辑芯片和存储芯片间来回穿梭,限制了计算速度的提升。在这种趋势下,从传统平面集成向垂直立体集成延伸的三维集成技术,引起了学术和产业界的重视。

“我们认为未来的计算架构会对逻辑芯片和存储芯片进行三维垂直整合。在这个过程中,上层的设计,即后道工序中可以使用二维材料。只要这些二维材料与硅衬底兼容,低层或底层的硅基层就不需要更换。”埃里克·波普说。

目前,埃里克·波普研究团队能够在相对较低的温度下制备或转移二维材料,并能够在不超过两个小时的制备时间内制造三维异构集成芯片。同时,该团队能够利用二维材料制备具有高深宽比(沟槽的深度/沟槽的宽度)的三维测试结构,在结晶二维半导体上,埃里克·波普团队实现了高达13的沟槽高宽比,这是硅难以做到的。

“如今DRAM和闪存的制造过程通常基于硅,但两者制造所需的温度范围不同。这给了我们一个想法,既然我们可以在相对低的温度下进行二维材料的制备和移层,那我们也可以二维材料垂直搭建三维晶体管。二维半导体其实可以作为一个优选项,融合到三维异构集成工艺的后道工序逻辑之中。”埃里克·波普说。

晶体管是材料特性的试金石。2016年,埃里克·波普团队展示了10nm级二维晶体管,并实现了400微安/微米的创纪录电流密度。但团队很快意识到,彼时的二维晶体管严重受限于接触电阻,较高密度的电流通过原子级薄的材

二维材料的商用要充分考虑工程实现

埃里克·波普注意到,在已经商用化的半导体材料中,IGZO(铟镓锌氧化物)从理论提出到商业化的历时最短。从2004年日本东京工业大学的细野秀雄及其团队发表相关论文到2010年年初面市,IGZO只用了十年左右的时间就被LG和苹果公司用于显示器的制造。“IGZO之所以能够快速完成商业化,一方面源于明确的市场需求。另一方面是该材料的迁移率和透光率都优于当时已有的解决方案。此外,IGZO只需整合已有技术,即当时用于显示器的非晶硅技术就能够加工生产,因此能够迅速应用于消费产品之中。”埃里克·波普表示。

“我们不仅要提出新颖、巧妙的想法,还要考虑制造上是否可行,在基于可信基准的同时尽可能使用现存的制造技术。”埃里克·波普指出。他表示,学术界要充分与行业伙伴交流,弥合业界和学界之间的鸿沟。

二维材料的制备技术正在进步。曾经英国曼彻斯特大学的科学家安德烈·海姆和康斯坦丁·诺沃肖洛夫用胶带从石墨晶体分离石墨烯,并在2010年获得诺贝尔奖。

半导体材料的发展史,也是半导体器材乃至智能终端的演变史。

子和空穴迁移率表现优异,超过同样厚度的硅膜,这对于电子应用非常重要。二来,迁移率能够在薄至亚纳米级别的单层结构中保持,这是目前无法在硅材料实现的。三来,二硫化钼能够在侧壁上制备,且能够以一些创新的方式集成。此外,二硫化钼的片层之间靠结合力较弱的范德华力结合,这就意味着它不会牢牢地黏附在任何基材上,能够与非晶氧化硅等各种类型的基材在低温条件下集成,且不需要晶格匹配。

斯坦福大学教授埃文·里德的研究指出,二维材料的数量在一千种以上,包括带隙基本为零的石墨烯、带隙在1到3eV左右的半导体以及带隙较宽的绝缘体。埃里克·波普表示,二维材料难以直接与硅竞争,但可以弥补硅的短板。“我们团队已经研究了大约10种不同的二维材料,还有一千多种材料有待研究。二维材料需要探索和试验的东西还有很多,前景也非常广阔。”埃里克·波普说。

从传统平面集成向垂直立体集成延伸的三维集成技术,将有助于提升计算速度。

为了解决接触电阻对二维晶体管性能提升的限制,Eric Pop团队使用氧化铝掺杂并作为二维材料的封装层,通过对触点边缘进行掺杂,团队可以获得较高的电流密度和较低的接触电阻。另一个需要解决的问题是发热对于二维晶体管的影响,尤其是在三维异构集成中,存在诸多接触面和低导热率材料,各种材料、器件“互相煎熬”的问题,这会导致晶体管、连接器发热。一旦内存发热,数据保留时间、可靠性等性能都会受到影响。

在研究二维材料热性能的过程中,埃里克·波普团队注意到二维材料在平面内和平面间的导热率是不同的。在平面内,二维材料往往具有良好的导热性。一旦被堆叠起来,二维半导体的导热率会变低。基于这一特性,该团队设计

二维材料的优势和前景虽已得到学界论证,但如何实现商用并真正作用于终端设备,仍需产学研联动。

埃里克·波普表示,如今他的研究团队已经可以通过化学气相沉积或化学气相传输方法来制备二维材料。“在学术实验室,我们可以在25毫米到100毫米的芯片或晶圆上制备二维材料。通过与斯坦福大学教授安迪·曼尼克斯合作,我们已经能够以各种方式从不同角度堆叠二维材料,甚至达到了4英寸晶圆级别。”埃里克·波普说。当前,台积电、英特尔、三星、IMEC都在进行二维材料的研究,从制造技术层面探索二维材料的量产和商用。

“二维材料的量产和商用化已

芯片大厂欧洲建厂道路不平坦

本报记者 张依依

近期,英特尔、台积电、三星等晶圆领先厂商相继宣布,将在欧洲建设晶圆厂。英特尔宣布将斥资880亿美元在欧洲建厂,其中包括在德国建设两座晶圆厂(生产2纳米制程芯片),在意大利建设封装厂以及对原有爱尔兰工厂进行扩产。与此同时,台积电传出在德国建厂的计划;三星也宣布晶圆产能倍增计划,计划瞄准车用芯片市场在欧洲建厂。

不过,乌克兰局势造成的能源危机,以及欧洲当地化学品、气体供应商设备投资意愿低、供给不足等供应链上的不稳定因素,依然是阻碍各大晶圆厂商在欧洲布局的潜在问题。

晶圆厂商奔赴欧洲建厂

今年以来,各大晶圆厂商纷纷宣布了在欧洲建厂的计划。SEMI在其最新季度的《世界晶圆厂预测报告》(World Fab Forecast)中宣布,预计全球半导体行业将在2021至2023年间开始建设的84座大规模芯片制造工厂中投资5000多亿美元。《世界晶圆厂预测报告》显示,从2021年到2023年,欧洲将有17座工厂开工建设。

今年3月,英特尔对外表示,计划近期在欧洲投资超过330亿欧元来推动当地芯片制造业发展。根据投资计划,英特尔在德国的投资将占据较大份额。英特尔计划投资170亿欧元,在德国马格德地区建立两座半导体工厂。据了解,施工将于2023年上半年开始,生产将于2027年开始,该工厂主要用来生产2nm及更先进制程的芯片。

英特尔在爱尔兰的投资规模同样不小。英特尔将在当地投入120亿欧元来扩大现有工厂的产能并提升服务能力。英特尔在意大利的投资也高达45亿欧元,还将在法国建立一个新的研发中心。同时,该公司还计划在波兰和西班牙进行投资,布局研发、制造和代工服务。

三星近期也将目光转向了欧洲。在《芯片法案》等政策推动下,欧洲正在积极发展半导体产业,迫切希望将本地发展为半导体制造中心。这或许是三星近期表露在欧洲投资建设新晶圆厂的重要推动因素之一。

近期,三星电子为其合作伙伴和客户举办了技术论坛。在该技术论坛上,三星表达了加强汽车半导体业务的意愿,随后三星计划在欧洲投资建立新晶圆厂的消息传出,其目标客户正是欧洲的汽车电子厂商。业界认为,因为欧洲当地集聚了大量整车和零部件企业,所以三星要想加强其汽车芯片代工业务,就有必要在欧洲建立新工厂。

当前,台积电正与德国就在当地建厂事宜进行谈判,二者有望在选址和政府补贴上达成一致意见。据悉,台积电希望在德国制造16至28纳米制程的芯片,此举意在为德国及其他欧洲国家提供市场急需的汽车芯片,新厂选址可能就在“萨克森硅谷”,即德国东部萨克森州首府德累斯顿地区。

针对欧洲建厂传闻,台积电总裁魏哲家在10月召开的法说会上指出,台积电将会持续推动扩产布局,不排除任何可能性。不过,台积电将根据客户需求、商业机会、运营效率和成本来进一步确定扩产计划。

总体来看,此次英特尔、台积电

较高的人力和环境成本是欧洲面临的第四个问题。步日欣特别强调了人才成本问题。他表示,半导体制造虽然不是劳动密集型产业,但对人才能力要求较高。一个合格有经验的芯片制造工程师需要经过长期培养,这一过程并不能一蹴而就。

欧盟各国之间的资源整合是各大晶圆厂商在欧洲建厂时需要考虑的第五个问题。集邦咨询分析师乔安在接受《中国电子报》记者采访时表示,由于欧盟成员国数量较多,各国都希望半导体厂能够设立在本国内以使本国厂商享有地利之便。这不仅能够增加当地的就业率,也能够提升本国的高科技水平。

“如果半导体厂商在某一国家设厂,就必须优先解决税务问题,以及与其他成员国之间的公平性问题。”乔安表示,“这不仅需要该企业提供更多资源,避免各成员国在经济发展方面产生不平衡问题,欧盟内部也必须严格进行环境影响评估、水源及环保等问题。”

