

半导体材料将迎来“黄金时代”

本报记者 姬晓婷 实习记者 赵宇彤

近日，天津大学纳米颗粒与纳米系统国际研究中心的马雷团队攻克了长期以来阻碍石墨烯电子学发展的关键技术难题，创造了一种新型稳定的半导体石墨烯，再次引发行业对石墨烯的关注。

事实上，在摩尔定律逼近极限之际，通过半导体材料创新提升集成电路性能早已成为行业关注的焦点。此前，继荷兰ASML、日本佳能相继官宣2nm制造设备最新进展后，众多半导体制造材料厂商纷纷表示，未来十年，半导体制造材料领域将迎来“黄金时代”。

下一个十年是“材料时代”

德国默克集团电子业务CEO凯·贝克曼说，现在电子行业正在从过去二十年依靠工具推进技术的时代，转向“材料时代”的下一个十年。半导体2nm时代，工艺逐渐逼近物理极限，简单依赖更小的尺寸、更高的集成度实现集成电路更新迭代的方式已难以继。

在半导体材料制造商英特格CEO詹姆斯·奥尼尔看来，三十年前，先进生产工艺需要利用光刻机制备更小尺寸的晶体管，进而提升半导体性能，但当前，材料创新已成为半导体性能提升的主要驱动力；凯·贝克曼支持这一观点，认为尽管光刻工具非常重要，但现在更重要的是半导体材料。

具体而言，芯片内部晶体管的设计和堆叠日渐复杂，芯片制造已经接近原子尺度的极限，未来半导体的发展不能仅仅依靠光刻技术，也需要新材料来共同推进。这一点在2nm时代显得更为重要。

“2nm制程的芯片代工制造，对半导体材料性能提出了更高的挑战。”赛迪四川平台运营部兼产业创新小组经理池宪念向《中国电子报》记者表示，“一是在光刻方面需要光刻胶及辅材满足更小线宽制造的需求；二是在小线宽布线方面需要接触电阻低、较大温度范围内热稳定好、附着好、横向均匀、扩散层薄等性能更高的金属材料；三是在精细化硅晶圆加工和清洗方案方面，需要更多超细抛光材料和高纯特气等先进半导体材料。”

理论概念中的“完美设计”无远弗届，现实中的芯片制造却在物理边界。无论是针对设计越发复杂的逻辑芯片，从传统的平面



型晶体管到鳍式场效应晶体管(FinFET)，再到全环绕栅极晶体管(Gate-All-Around FET)的多级跨越；还是存储芯片在3D NAND领域的激烈竞争，以更多的芯片堆叠层数争取更大的存储容量，就像现在三星、SK海力士和美光等厂商生产的芯片层数已突破230层，正向300层乃至更多层数发起冲锋。这两个领域能否取得进一步发展，都不再简单地依赖光刻设备的升级，而是呼唤着全新的尖端材料。

当制造工艺和设备的“内卷”逼近天花板，半导体材料有望成为行业的下一个风口。詹姆斯·奥尼尔将当前生产3D晶体管芯片比喻成“在直升机上给建筑喷漆”，需要将创新材料“均匀地覆盖顶部、底部和侧面”，目前材料行业正在想办法从原子尺度上实现这一点。

什么样的材料能担当大任？

什么样的材料能担当如此重任？凯·贝克曼举了个直接的例子，在当前芯片制造

中，铜被广泛用作导电层，但为了制造更小、更先进的芯片，行业正在探索以钼为代表的新材料。

以金属钼为例，其密度、硬度和熔点较高，导电性和耐高温性较强，具有很好的抗氧化性和抗腐蚀性，可应用于加热元件、薄膜晶体管(TFT)和离子注入工艺等半导体关键领域。然而，以钼为代表的贵金属新材料开发也面临诸多挑战。“比如如何在更小尺度上保持钼材料的低接触电阻、高电导率、低电迁移率、薄膜均匀结晶性、高热扩散性、工艺可集成性等特性。”池宪念向记者表示。

虽然钼的研究探索还在路上，但半导体材料领域的另一位“老朋友”——半导体石墨烯的研究却取得了重大突破。

近日，天津大学天津纳米颗粒与纳米系统国际研究中心的马雷团队，通过对外延石墨烯生长过程的精确调控，成功地在石墨烯中引入了带隙，创造了一种新型稳定的半导体石墨烯，实现了零的突破。

据了解，石墨烯是目前已知的最薄、最

坚硬的纳米材料，不仅轻薄柔韧，还具有宽带光响应、高载流子迁移率、高热导率等特性。但其独特的狄拉克锥能带结构，导致了零带隙的特性，成为长期阻碍“石墨烯电子学”的难题，研究者们采用栅压调控、化学修饰、缺陷工程及外部场效应调控等多种外部干预手段均无法攻克。

天津大学天津纳米颗粒与纳米系统国际研究中心向记者表示，这项前沿科技是通过严格控制实现的，确保了碳原子在碳化硅衬底上能形成高度有序的结构。这种半导体石墨烯的电子迁移率远超硅材料，表现出了10倍于硅的性能，并且拥有硅材料所不具备的独特性质。

“在主流石墨烯研究兴起之前，外延石墨烯纳米电子研究的核心目标就是构建一个能够替代硅电子的2D纳米电子平台。这项研究证明原子排列高度有序的半导体石墨烯是一种性能优异的2D半导体材料，与其他衬底上的石墨烯相比，外延石墨烯在纳米尺度上的边缘结构更加有序，在其边缘同

样可以表现出良好的一维导电特性。毫无疑问，该方法制备的超大单层单晶畴半导体外延石墨烯已经为2D纳米电子领域带来了全新的可能性。”天津大学天津纳米颗粒与纳米系统国际研究中心告诉记者。

材料开发并非“另立门户”

“随着先进制程的尺寸不断缩小，半导体制造已经从依赖设备的情况逐渐过渡到通过优化先进半导体材料来掌控‘更精细’工艺技术的局面。”池宪念告诉记者。

当拉长时间线，在过去几十年里，半导体行业的进步在很大程度上是由设备，尤其是光刻设备的发展推动的。自1958年美国德克萨斯公司利用光刻技术试制世界上第一块平面集成电路以来，光刻技术已经支撑了半导体60余年的发展，这在历史进程中已被反复验证。

因此，更确切地说，正是由于芯片工艺的不断提升，所需的设备精密密度也越来越高，才相应地对材料纯度也提出了更高要求。

“举个例子，环绕栅极场效应晶体管(GAAFET)工艺的应用，需要配套更高级别的电子设计自动化(EDA)工具，这些工具需要与半导体材料进行同步实验测试，才能实现2nm乃至更先进制程。”业内专家告诉记者，材料的创新应用仍需要与半导体设备相配合，才能最大限度发挥其重要性。与其说材料科学的开发探索是“另立门户”，不如说是“锦上添花”的创新尝试。

“当然，新型半导体材料具备的电子迁移率、热稳定性和制造兼容性等属性，将是实现更小、更高效芯片的关键。”业内专家向记者进一步解释，“但新材料的开发也面临多重困难，最主要的是对现有半导体制造过程的改变。以钼为例，化学机械抛光过程需要对浆料、垫片、垫片调节器、清洁剂等进行优化，沉积过程也需要高纯度的原材料和严格的过滤控制，以避免污染。”

不难看出，半导体新材料的开发也要充分考虑设备基础，能否利用现有的制备设备和方法操作，成为新材料未来大规模应用的重要因素。“这款半导体外延石墨烯是在太赫兹(THz)兼容的SiC衬底上生长的。”天津大学研究团队告诉记者，“SiC本身已经成为越来越重要的商业半导体，能与传统的微电子加工方法兼容。”

中国电子报

全媒体

权威性高 传播力强 覆盖面广 影响力大

融媒体服务



- 报纸出版
- 官方网站 (电子信息产业网www.cena.com.cn)
- 官方微信 (公众号cena1984)
- 官方微博 (http://weibo.com/cena1984)
- 视频平台
- 视频服务 (视频制作、在线直播、在线会议等)
- 平台推广
- 内参专报
- 行业报告
- 图书出版

会赛展服务



- 会议活动
- 专业大赛
- 展览展示
- 专业培训
- 政府服务
- 指数发布
- 编辑推荐
- 产品评测
- 企业定制
- 舆情监测
- 数据营销
- 招商引资

立足电子信息业 服务新型工业化

中国电子报社创建于1984年。目前拥有集报纸、网站、微信、微博、音视频、第三方平台等全媒体服务，集会议活动、展览展示、专业大赛、定制服务等会赛展训服务于一体的立体化、多介质系列产品，是促进行业高质量发展的“喉舌”与“纽带”。

《中国电子报》是具有机关报职能的权威媒体。《中国电子报》全媒体面向工业和信息化领域，聚焦集成电路、新型显示、智能终端、信息通信、人工智能、物联网、工业互联网、移动互联网、大数据、云计算、区块链、应用服务等电子信息完整产业链。

《中国电子报》全媒体日均触达用户量超过200万。

国内统一连续出版物号：CN11-0005

邮发代号：1-29



官方微信



官方网站

在这里让我们一起把握行业脉动
www.cena.com.cn

地址：北京市海淀区紫竹院路66号赛迪大厦18层
电话：010-88558808/8838/9779/8853
传真：010-88558805