自带“开关”的，找到了

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/25753.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

自带“开关”的半导体石墨烯，找到了。 自2004年，英国曼彻斯特大学的两位物理学家首次从石墨中分离出石墨烯，这种神奇的材料便因其在光学、电学、力学方面的优异特性，成为诸多领域具有革命性的材料。特别是在微电子学领域，石墨烯被认为是使人类从硅时代迈入碳时代的关键。

然而，要实现这一步跨越却并不容易，其间有诸多必须攻克的关键技术障碍，石墨烯的零带隙特点便是其一。

不久前，天津大学天津纳米颗粒与纳米系统国际研究中心教授马雷团队发布在《自然》杂志上的论文宣告该难题的最终解决，该成果被认为是开启石墨烯芯片制造领域大门的重要里程碑。

零带隙阻碍人类进入碳时代

作为首个被发现可在室温下稳定存在的二维材料，石墨烯因其独特的碳原子排布，形成了特有的电子学特性。

接受《中国科学报》采访时，马雷表示，石墨烯因其独特的能带结构使电子具有极高的迁移率，这意味着电子可以快速移动。例如，典型的悬浮石墨烯具有高达200000
cm2V-1s-1迁移率，而单晶硅的迁移率只有1000
cm2V-1s-1。这种高电子迁移率意味着具有更高的运行效率和运行速度。

除了高迁移率之外，作为二维材料，石墨烯器件还具有高集成度和低功耗的特点。这些特点使得石墨烯材料有望成为人类从硅时代迈入碳时代的核心材料。

然而，正是由于零带隙的特性，导致石墨烯目前仍然无法被应用于大规模数字电路制造。

所谓带隙，就是存在于两个能带之间的间隙。带隙的存在是实现良好开关比的关键。这样，才能有效地控制电流的开启或关闭。

从这个角度来看，可以将带隙比喻成安装在石墨烯上的一种开关。当有了这个开关时，石墨烯展现出半导体特性，因此有效地完成数字电路功能。但是，如果没有这个开关，石墨烯将一直处于打开的状态，表现出金属性质，因此无法用于制造数字电路器件。

遗憾的是，尽管人类已经成功制备出各种类型的石墨烯，但目前没有一种既具有高迁移率，又具

有带隙的石墨烯。因此，寻找具备这种自带开关功能的高迁移率石墨烯，成为了解决石墨烯在微电子领域应用问题的关键挑战。

被找到的针

天津大学马雷团队解决这个难题的做法，听起来并不复杂。

简单地说，我们通过选择不同的碳化硅晶面作为衬底，供石墨烯在上面‘生长’，并在此过程中对石墨烯生长环境的温度、时间及气体流量等条件进行精密调控，确保碳原子在碳化硅衬底上能形成高度有序的结构。马雷说。

他表示，石墨烯作为单层的原子结构，对外界的变化非常敏感。因此，其生长的衬底不同，就会导致石墨烯产生不同的性质。但也正因如此，要找到能够满足科研人员预期特性的石墨烯非常具有挑战性，无异于大海捞针。

好在，这根针最终还是被马雷团队找到了。

据介绍，该团队研发的半导体石墨烯拥有约0.6电子伏（eV）的带隙以及高达5500 cm2V-1s-1的室温迁移率，优于目前所有所知的二维半导体至少一个数量级；同时，以该材料制备的场效应晶体管，拥有高达104的开关比。

据介绍，一个用来实现基本逻辑关系的电路，通常由零和一两种状态组成。然而，为了确保数字信息的正常传输和操控，必须清晰地区分这两种状态。如果‘零’和‘一’之间的区别不明显，数字信息就容易混淆。为此，科学家们引用开关比来度量‘零’和‘一’，开关比的数值越大，表示‘零’和‘一’之间的区分度越高，混淆的可能性越低。

该团队成员表示，此前曾有人通过化学合成方式，得到过带有带隙的石墨烯纳米带，但这种方式获得的石墨烯很难用于器件制造，更不具备半导体石墨烯所具有的高迁移率。

总体而言，这种材料展现的特性可以符合当前工业应用的需求。特别是其在室温下的电子迁移率可以达到硅材料的10倍，因此在电子学器件的应用中有望展现出卓越的性能。马雷说。

此外，在制备该半导体石墨烯时，团队创新性地采用了准平衡退火方法，该方法制备的单层单晶半导体外延石墨烯（SEG）具有生长面积大、均匀性高，工艺流程简单、成本低廉等特点。

让小帆船长成大航母

长期以来，硅一直是现代电子产品的核心材料。然而，随着人们对算力需求的飞速增长，以及硅电子学性能提升空间的捉襟见肘，人们慢慢认识到，硅材料的发展已经逼近其物理极限。

有观点认为，作为信息发展中的黄金规则的摩尔定律，正逐渐失去其指导作用。在这样的背景下，半导体石墨烯的诞生无疑为整个半导体行业带来了新的曙光。

目前，天津大学团队正致力于实现一个更大的目标——迅速实现从毫米级单晶到英寸级单晶半导体外延石墨烯晶圆的技术跨越。

如果我们能够生产出一英寸大小的单晶半导体石墨烯晶圆，这些材料就可以直接用于实现碳基集成电路的制造。马雷说，这一目标的实现并非易事，就好比将一艘小小的帆船进化成为一艘庞大的航空母舰。而该目标一旦实现，人类将有望从此迈入碳基电子学时代。

最初的一台计算机，其体积庞大，可以占满整个房间，但是其所具备的功能甚至不能与现在一个简单计算器相媲美；上世纪90年代的‘386’和‘486’台式计算机，其运算速度甚至远不敌目前最低端的笔记本电脑。当前，随着半导体石墨烯逐步登上下一代集成电路制造的舞台，未来的笔记本电脑在运算速度上有望大幅超越今天的高性能计算机。该团队表示，他们正在全力以赴，以期加快这一进程的到来。（来源：中国科学报 陈彬）

相关论文信息：https://doi.org/10.1038/s41586-023-06811-0

作者：马雷等 来源：《自然》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发