

# 石墨烯晶体管

## 简介

### 世界上最小的晶体管

硅材料的加工极限一般认为是10纳米线宽。受物理原理的制约，小于10纳米后不太可能生产出性能稳定、集成度更高的产品。然而英国科学家发明的新型晶体管将延长摩尔定律的寿命。该晶体管有望为研制新型超高速计算机芯片带来突破。值得一提的是世界最小晶体管的主要研制者也是于2004年开发出石墨烯的人，他们就是英国曼切斯特大学物理和天文学系的安德烈·K·海姆（Andre Geim）教授和科斯佳·诺沃谢洛夫（Kostya Novoselov）研究员。正是因为开发出了石墨烯，他们获得了2008年诺贝尔物理奖的提名。

由上述两人率领的英国科学家开发出的世界最小晶体管仅1个原子厚10个原子宽，所采用的材料是由单原子层构成的石墨烯。石墨烯作为新型半导体材料，近年来获得科学界的广泛关注。英国科学家采用标准的晶体管工艺，首先在单层石墨膜上用电子束刻出沟道。然后在所余下的被称为“岛”的中心部分封入电子，形成量子点。石墨烯晶体管栅极部分的结构为10多纳米的量子点夹着几纳米的绝缘介质。这种量子点往往被称为“电荷岛”。由于施加电压后会改变该量子点的导电性，这样一来量子点如同于标准的场效应晶体管一样，可记忆晶体管的逻辑状态。另据报导，英国曼切斯特大学安德烈·海姆教授领导的科研团队，除了已开发出了10纳米级可实际运行的石墨烯晶体管外，他们尚未公布的最新研究成果还有，已研制出长宽均为1个分子的更小的石墨烯晶体管。该石墨烯晶体管实际上是由单原子组成的晶体管。

### 神奇的半导体材料

石墨烯开发者之一的曼切斯特大学诺沃谢洛夫博士指出，石墨烯是研究领域的“金矿”，在很长一段时间内，研究人员将会陆续“开采”出新的研究成果。

那么石墨烯又为何物呢？石墨烯（Graphene）是一种从石墨材料中剥离出的单层碳原子薄膜，是由单层六角元胞碳原子组成的蜂窝状二维晶体。换言之，它是单原子层的石墨晶体薄膜，其晶格是由碳原子构成的二维蜂窝结构。这种石墨晶体薄膜的厚度只有0.335纳米，将其20万片薄膜叠加到一起，也只相当一根头发丝的厚度。该材料具有许多新奇的物理特性。石墨烯是一种零带隙半导体材料，具有远比硅高的载流子迁移率，并且从理论上说，它的电子迁移率和空穴迁移率两者相等，因此其n型场效应晶体管和p型场效应晶体管是对称的。还有，因为其具有零禁带特性，即使在室温下载流子在石墨烯中的平均自由程和相干长度也可为微米级，所以它是一种性能优异的半导体材料。此外，石墨烯还可用于制造复合材料、电池/超级电容、储氢材料、场发射材料以及超灵敏传感器等。因此科研人员争先恐后地投入到如何制备和表征其物理、化学、机械性能的研究。

科学家们对石墨烯感兴趣的原因之一是受到碳纳米管科研成果的启发。石墨烯很有可能会成为硅的替代品。事实上，碳纳米管就是卷入柱面中的石墨烯微片，与碳纳米管一样，其具有优良的电子性能，可用来制成超高性能电子产品。它优于碳纳米管的是，在制作复杂电路时，纳米管必须经过仔细筛选和定位，目前还没有开发出非常好的方法，而这对石墨烯而言则要容易得多。

硅基的微计算机处理器在室温条件下每秒钟只能执行一定数量的操作，然而电子穿过石墨烯几乎没有任何阻力，所产生的热量也非常少。此外，石墨烯本身就是一个良好的导热体，可以很快地散发热量。由于具有优异的性能，由石墨烯制造的电子产品运行的速度要快得多。有关专家指出：“硅的速度是有极限的，只能达到现在这个地步，无法再提高了。”目前，硅器件的工作速度已达到千兆赫兹的范围。而石墨烯器件制成的计算机的运行速度可达到太赫兹，即1千兆赫兹的1000倍。如果能进一步开发，其意义不言而喻。

除了让计算机运行得更快，石墨烯器件还能用于需要高速工作的通信技术和成像技术。有关专家认为，石墨烯很可能首先应用于高频领域，如太赫兹波成像，其一个用途是用来探测隐藏的武器。然而，速度还不是石墨烯的惟一优点。硅不能分割成小于10纳米的小片，否则其将失去诱人的电子性能。与硅相比，石墨烯分割成一个纳米的小片时，其基本物理性能并不改变，而且其电子性能还有可能异常发挥。

### 研究成果陆续发布

马里兰大学纳米技术和先进材料中心的物理学教授Michael S. Fuhrer领导的科研小组的实验表明，石墨烯的电子迁移

率不随温度而改变。他们在50开氏度和500开氏度之间测量了石墨烯的电子迁移率，发现无论温度怎么变化，电子迁移率大约都是150000 cm<sup>2</sup>/Vs。而硅的电子迁移率为1400 cm<sup>2</sup>/Vs。电子在石墨烯中的传输速度比硅快100倍，因而未来的半导体材料是石墨烯而不是硅。这将使开发更高速的计算机芯片和生化传感器成为可能。他们还首次测量了石墨烯中电子传导的热振动效应，实验结果显示，石墨烯中电子传导的热振动效应非常微小。

中科院数学与系统科学研究院明平兵研究员及合作者刘芳、李巨的计算结果表明，预测石墨烯的理想强度为110GPa ~ 121GPa。这意味着石墨烯是目前人类已知的最为牢固的材料。

美国哥伦比亚大学James Hone和Jeffrey Kysar研究组在2008年7月《科学》杂志中宣布，石墨烯是现在世界上已知的最为坚固的材料。他们发现，在石墨烯样品微粒开始碎裂前，其每100纳米距离上可承受的最大压力达到约2.9微牛。这一结果相当于，施加55牛顿的压力才能使1米长的石墨烯断裂。

如果能制作出厚度相当于塑料包装袋（厚度约100纳米）的石墨烯，那么需要施加约两万牛顿的压力才能将其扯断。这意味着石墨烯比钻石还要坚硬。

2008年9月26日的《科学》杂志上公布，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室固态量子信息实验室的博士生蔡伟伟赴美国得克萨斯大学奥斯丁分校期间，在Rodney Ruoff教授和陈东敏研究员指导下，制备出高品质<sup>13</sup>C同位素合成石墨，还进一步把<sup>13</sup>C-石墨解离成<sup>13</sup>C-石墨烯及其衍生物<sup>13</sup>C-氧化石墨烯。分析这种材料揭示出了争议已久的氧化石墨烯化学结构。

### 低噪声 石墨烯晶体管

2008年3月IBM沃森研究中心的科学家在世界上率先制成低噪声石墨烯晶体管。

普通的纳米器件随着尺寸的减小，被称做1/f的噪音会越来越明显，使器件信噪比恶化。这种现象就是“豪格规则(Hooge's law)”，石墨烯、碳纳米管以及硅材料都会产生该现象。因此，如何减小1/f噪声成为实现纳米元件的关键问题之一。IBM通过重叠两层石墨烯，试制成功了晶体管。由于两层石墨烯之间生成了强电子结合，从而控制了1/f噪音。IBM华裔研究人员Ming-Yu Lin的该发现证明，两层石墨烯有望应用于各种各样的领域。

2008年5月美国乔治亚科技学院教授德希尔与美国麻省理工学院林肯实验室合作在单一芯片上生成的几百个石墨烯晶体管阵列。

2008年6月底日本东北大学电气通信研究所末光真希教授在硅衬底上生成单层石墨膜，即石墨烯。可在不缩小情况下实现器件高速度工作，例如可用于制作每秒10<sup>12</sup>赫兹级高频器件和超级微处理器。单层石墨膜很难制作，为厚度仅为一个碳原子的蜂窝状石墨结构。末光教授的团队控制碳化硅形成时的结晶方向和硅衬底切割的结晶方向，得到100 × 150平方微米面积的两层石墨膜，其晶格畸变率仅为1.7%。其他科研团队利用传统方法的晶格畸变率为20%，因而不能制成可实际应用的器件。末光教授的方法是将碳化硅衬底在真空条件下加热至1000多度，除去硅而余下的碳，通过自组形式形成单层石墨膜。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/baike/2347.html>