

石墨烯晶体的微观起伏

最近发现石墨烯晶体具有独特的电子结构,其载流子的运动规律与无质量的相对论粒子相同。虽然石墨烯被认为是由碳原子紧密排列而成的单层蜂窝状结构,但其物理结构依然有令人不解之处。一方面,石墨烯表面上看是严格的二维晶体,电子可以在其中传输近 $1\ \mu\text{m}$ 而不会被散射;而另一方面,根据简谐近似理论和实验观测,完美的二维晶体不可能在自由状态下存在。这种矛盾在现实中可以在一定程度上得到缓解。因为石墨烯晶体一般情况下生长在衬底上,或者嵌在某些三维基体里,从而可以认为它是某个大的三维晶体的一部分,而非独立的二维晶体。

封面图为处于自由状态的悬空石墨烯的原子结构示意图,它是根据亮场透射式电子显微镜下观测到的图形绘制的。图中的石墨烯晶体薄膜自由地悬空置于微小的脚手架上,与外界没有直接的接触作用,也不是某个大的三维晶体的一部分。在电子显微镜下,可以看到单原子层薄膜并不是完美的二维平面,它的表面折皱与水平面有时有数度的夹角,这种折皱起伏的广度在 $10\text{--}25\text{nm}$,高度可达 1nm 。更进一步,电子衍射谱可以用来研究石墨烯晶体的表面状况。由于表面的起伏,入射电子束感受到不同角度微观折皱的影响,因此改变电子束入射角度对衍射强度的影响不大,而多层石墨烯的表面起伏很小,衍射强度随电子束入射角的变化而改变很大。这种折皱起伏的分布是基本稳定的,不随时间变化。根据热动力学理论,完美的二维晶体是不稳定的。这种在第三维的微观折皱起伏是石墨烯晶体的固有性质,使得高质量的晶体结构更加稳定。折皱的物理起因可能是平面外的弹性张力引起的弯曲形变,而且不产生缺陷。这种弹性折皱与石墨烯中载流子的高迁移率吻合,而且可以用来解释其独特的传输性质,例如石墨烯对弱局部化的抑制等。

感谢德国 Ulm University 的 Jannik Meyer 博士提供并授权使用此图片。

(美国伦斯勒理工学院太赫兹研究中心 韩鹏昱)