物理所石墨烯摩尔超晶格研究取得系列进展

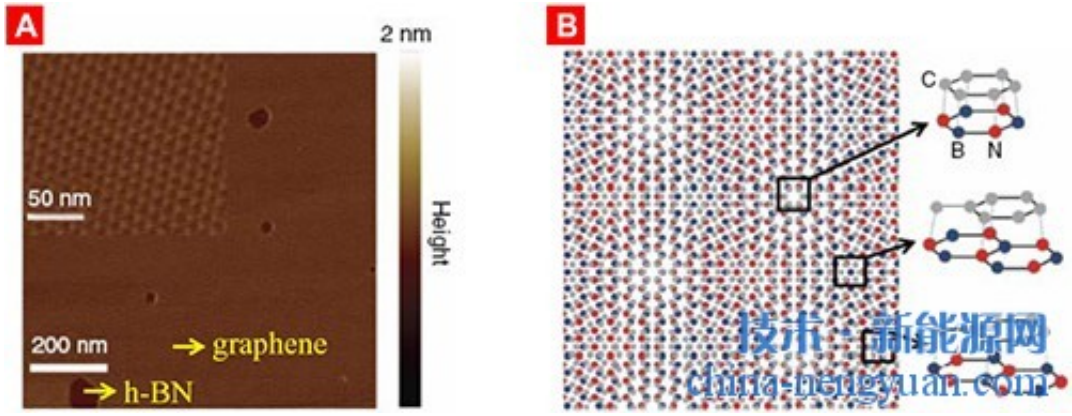

图1：石墨烯摩尔超晶格结构(A)及示意图(B)

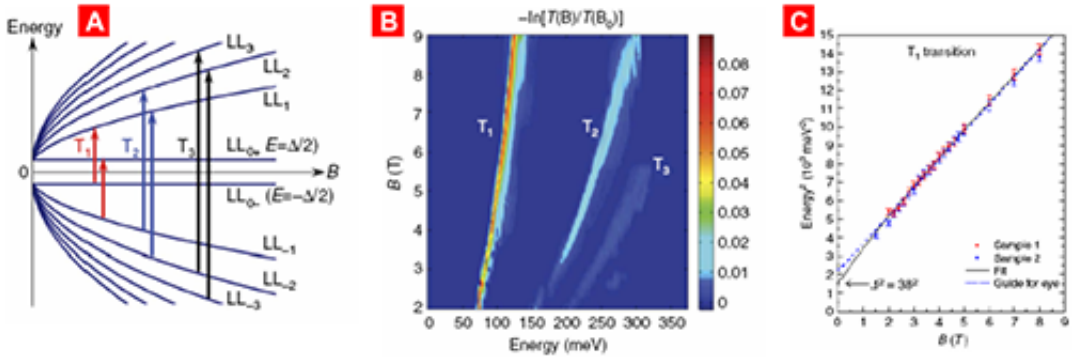

图2：(A)不同朗道能级间跃迁的选择定则示意图。(B)实验上测量的三种跃迁T1T2T3对应的红外透射谱。(C)T1跃迁数据的拟和，得到Δ=~38meV。

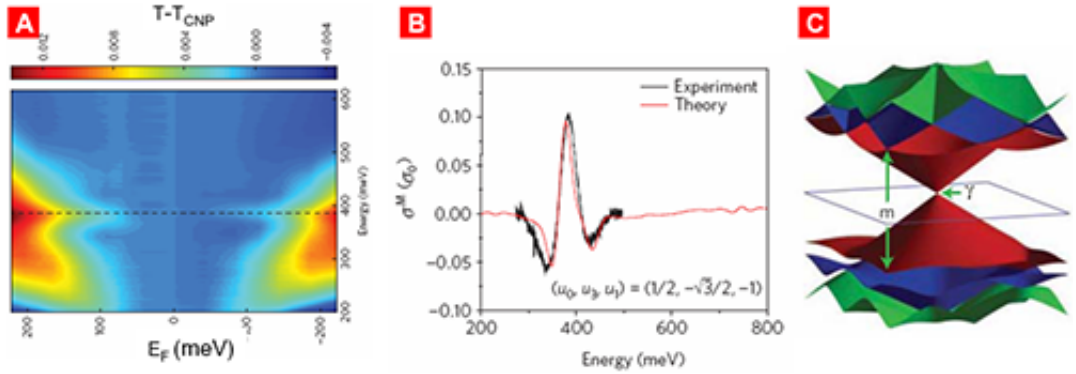

图3：(A)石墨烯摩尔超晶格的显微红外透射谱。在费米能处于380 meV处出现异常光学吸收峰。用三个势分量拟和实验结果得到的势分量参数(B)及利用这三个参数反推石墨烯摩尔超晶格能带图。

最近，中国科学院物理研究所/北京凝聚态物理国家实验室（筹）纳米物理与器件实验室在《自然·材料》、《自然·纳米技术》、《自然·物理》、《自然·通讯》刊登了系列研究成果。针对石墨烯/氮化硼异质结构，他们系统研究了氮化硼基底调制下的摩尔超晶格以及相关物理现象，为石墨烯能带及电子学性质调控提供了新思路。

石墨烯/氮化硼异质结构近两年来在国际二维材料和物理研究领域引起了广泛的研究兴趣。石墨烯和六方氮化硼具有相似的原子结构，都具有两个子晶格；不同之处在于前者的两个子晶格都是由碳原子构成，而后者的两个子晶格分别由氮和硼原子构成。另外，两者存在大约1.7%的晶格失配，这种晶格失配会导致摩尔斑图的出现，且摩尔斑图的周期和两者的相对晶格转角密切相关。

相对晶格转角为零时出现最大摩尔斑图周期，约15纳米。摩尔斑图可以看成是一种六方氮化硼衬底对石墨烯的二维周期势调控，即二维超晶格。超晶格会改变本征石墨烯的能带，产生自相似的超晶格子带，具有独特的输运性质。理论上预测，由于氮化硼衬底上两个子晶格的化学势不同，会局域地打破石墨烯的子晶格对称性，从而导致石墨烯带隙的出现。然而这种推测缺乏相关的实验证据；另外，氮化硼衬底如何和石墨烯的两个子晶格相互作用，也缺乏深入的实验探究。

为得到石墨烯/氮化硼异质结构，物理所纳米物理与器件实验室张广宇研究员、时东霞研究员、杨蓉副研究员、博士生杨威、史志文、卢晓波等发展了一种气相外延技术，国际上首次在六方氮化硼基底上外延了大面积单晶石墨烯，使石墨烯和氮化硼之间的晶格相对转角为零。在输运测量中，他们观察到超晶格子带以及磁场下形成的超晶格朗道能级。

利用这种高质量的石墨烯/氮化硼异质结构样品，他们和美国加州大学伯克利分校的王枫教授、史志文博士、以及美国佛罗里达国家强磁场实验室的李志强教授、谌志国博士等合作，利用红外光谱的实验手段研究了这种摩尔超晶格的本征带隙以及氮化硼基底对石墨烯摩尔超晶格中的电子赝自旋的调控。

他们首先给石墨烯摩尔超晶格样品施加了一个垂直磁场，在不同磁场下测量了朗道能级之间的跃迁。实验发现能量（E）随磁场（B）的变化曲线符合关系，表明石墨烯超晶格中的准粒子是有质量的狄拉克费米子，在本征狄拉克点处存在带隙。实验测量的带隙为Δ=~38meV(~440K）。此外还发现朗道能级跃迁时的有效费米速度随磁场的增大而减小，这种现象不能用单粒子近似的理论来解释，表明多体相互作用在这个体系里面起了重要的作用。在此基础上，他们利用美国劳伦斯伯克利国家实验室的同步辐射光源，在石墨烯摩尔超晶格中观察到一个与超晶格能量相符的一个光学吸收峰。

该光学吸收峰对应于超晶格狄拉克点附近的电子跃迁。进一步理论分析得出，在超晶格中石墨烯所受到的来自氮化硼基底的周期势并不能用简单的静电势标量函数来描述，而是需要用一个2X2矩阵来表述。这个张量周期势中包含三个有特定物理意义的分量（μ0，μ3，μ1），分别描述不同类型的周期势：用来刻画对于两个子晶格对称的势分量；用来描述对于两个子晶格反对称的势分量；以及会将电子波函数中来自两个子晶格的贡献翻转的势分量，称之为赝自旋杂化势。

通过对比理论与实验，他们发现赝自旋杂化势在这三个势分量中占主导作用。进一步的实验表明，来自基底的周期势对石墨烯中电子态光跃迁的影响会随着石墨烯中费米能级的增加而减小，一个合理的解释是石墨烯中自由电子部分屏蔽了来自基底的周期势。这些结果加深了对石墨烯赝自旋结构的认识，并指出了一个通过超晶格来调控石墨烯赝自旋的途径。

系列工作得到了科技部重大科学研究计划青年科学家专题（纳米专项）、国家自然科学基金委重大研究计划（纳米制造的基础研究）及杰出青年基金，以及中科院B类先导等项目支持。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/68437.html