

光电力纳米显微镜探测双层石墨烯异常红外声子增强

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/25876.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！

光电力纳米显微镜探测双层石墨烯异常红外声子增强。近日，韩国标准与科学研究院，高光谱纳米成像研究组首次报道了双层石墨烯异常红外声子增强的纳米成像研究。

研究团队改进了多频原子力显微镜平台，将光致力显微镜与静电/开尔文探针力显微镜相结合，开发了一种新型的混合纳米级光电力成像系统（见图1）。这使得人们能够观察石墨烯层的红外响应、掺杂水平和形貌信息之间的相关性。

通过纳米尺度的光谱图像测量，研究人员证明了石墨烯界面上的电荷不平衡可以通过化学(氧化还原机制的掺杂效应)和机械(掺杂悬臂的摩擦电效应)方法来控制。

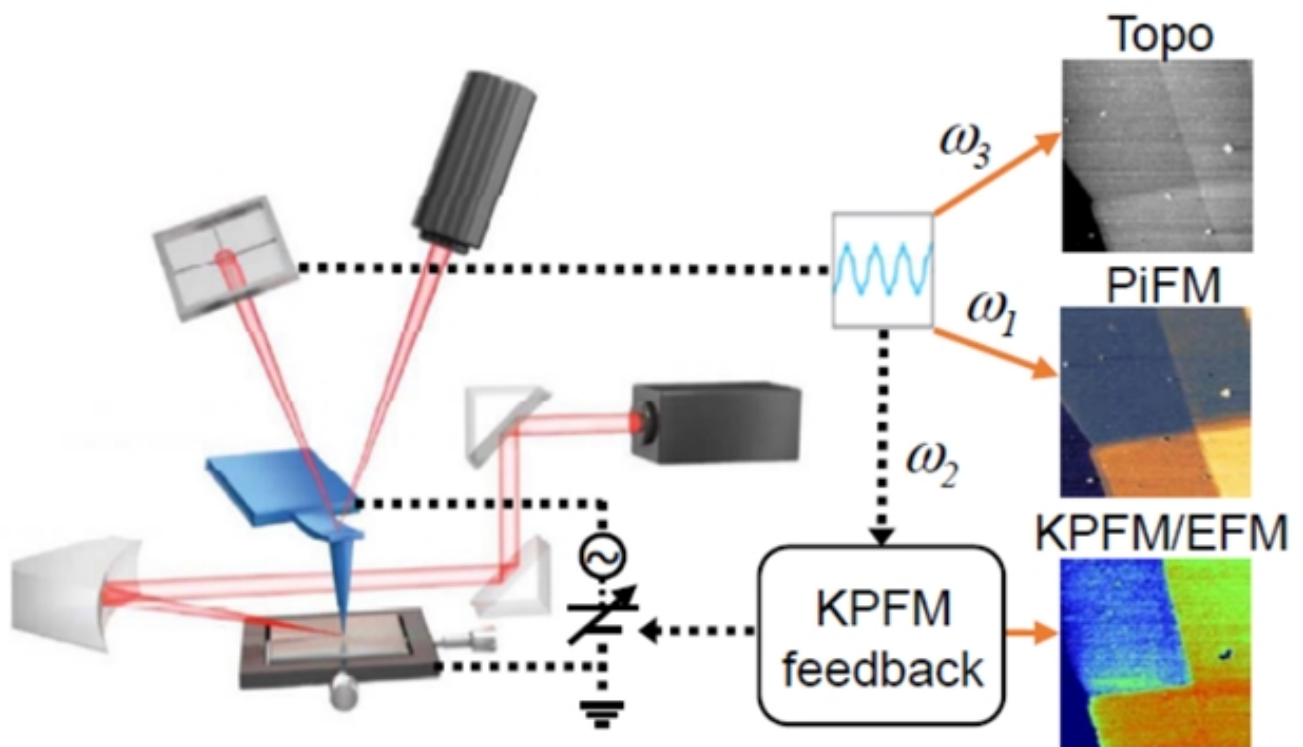


图1：光电力纳米显微镜

该研究方法为基于石墨烯的电子和光子器件的发展及其潜在应用提供了新的见解。

研究背景

近二十年来，石墨烯的研究已成为一个快速发展的领域，其很多卓越的性能被发现，并且在光电学等各个领域具有很多潜在的应用。最近，双层石墨烯因其在栅极电压和扭曲角度方面的可控能带结构而受到关注，提供了更广泛的电子和光子特性。此外，与单层石墨烯相比，双层石墨烯具有更高的机械强度和柔韧性以及更高的导热性，使其适合设计复杂的纳米级器件。特别是光学声子，它是碳原子的集体振动，可以被光的电磁场激发。

拉曼散射和红外吸收光谱一直是石墨烯光学声子研究的主要方法；两种技术由于其不同的选择规则而提供互补的信息。

具体来说，在双层石墨烯中，存在频率约为0.2 eV的面内光学声子模式，称为E_{2g}和E_{1u}模式，它们是层间对称和反对称模式，如图2A所示。E_{1u}模式只能通过红外光谱检测，而E_{2g}模式只能通过拉曼光谱检测。由于红外主动振动需要偶极矩的变化，因此如果所有碳原子相等，则不期望有红外强度。但是当考虑石墨烯是单原子化合物时，原始未掺杂双层石墨烯中有限红外声子强度的存在是相当令人费解的。图2B绘制了双层石墨烯相对于掺杂水平的简化能带图，其中与异常红外声子增强相关的电子跃迁被描绘为红色箭头。

由于双层石墨烯的红外光学声子模式高度依赖于局部掺杂水平的空间分布以及局部应变，因此设计基于石墨烯的纳米级器件需要高空间分辨率的光学，电学和机械信息之间的综合理解。然而，传统的光学技术探测单个纳米结构的能力受到限制。这是因为这些技术的空间分辨率通常在几百纳米到微米的数量级，这比单个纳米结构的尺寸大得多。为此，采用尖端增强拉曼光谱和扫描近场光学显微镜等近场成像技术来根据纳米尺度的形貌可视化光学声子模式。然而，这些技术仍然无法探测纳米尺度上的相关光电信息。

使用具有几十纳米空间分辨率的开尔文探针力显微镜可以探测局部电学特性。

当接触时，两种不同的金属或半导体材料会产生接触电位差，如图2C所示。尖锐金属探针和样品之间的接触电位差提供了一种通过检索其功函数来监测样品的局部电掺杂水平的方法。

创新研究

在这里，研究团队提出了一种新的方法来表征和控制双层石墨烯的红外声子异常。研究人员将光致力显微镜与开尔文探针力显微镜相结合，通过力检测方法开发出混合光电纳米显微镜（见图1）。

通过同时测量双层石墨烯的纳米红外响应和表面电位，研究人员发现双层石墨烯存在异常的红外声子增强（见图3），这源于双层石墨烯顶层和底层之间的电荷不平衡，导致双层石墨烯的E_{1u}模式在0.2 eV附近得到增强。

研究人员还证明，这种异常响应可以通过化学（氧化还原机制的掺杂效应）和机械（高掺杂悬臂梁产生的摩擦电效应）方法来控制。

此外，研究人员还将研究扩展到了更复杂的例子，例如通过诊断其结晶度(如晶格错配或不完整重组)来诊断外部堆叠的少层石墨烯，以及通过监测应变诱导的红外声子位移来检测其亚表面裂纹。

这项技术有可能为基于二维材料的电子和光子器件的优化提供新的见解，从而彻底改变材料科学领域。

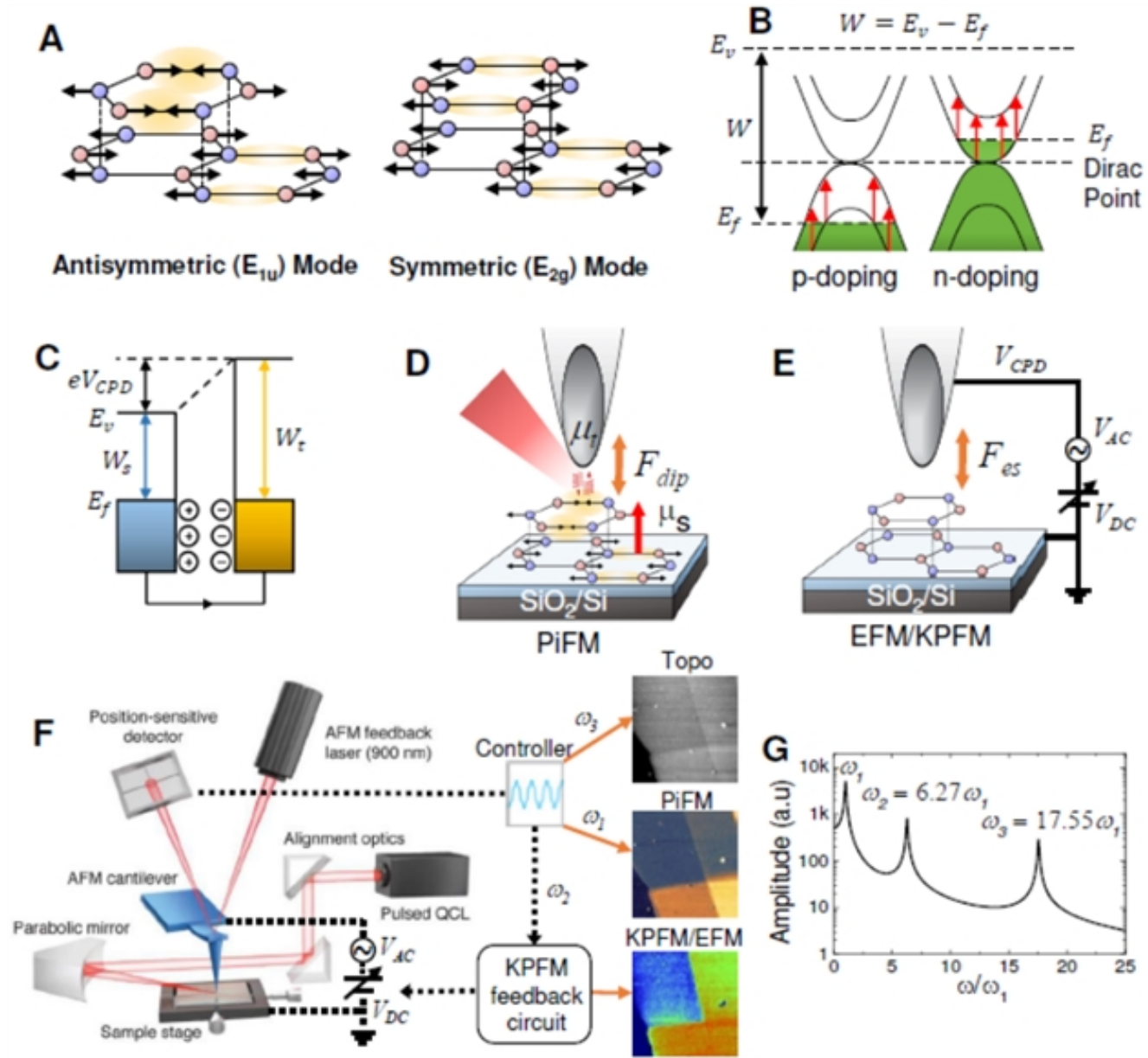


图2：双层石墨烯红外声子模式及光电力检测混合纳米显微镜示意图。A.在0.2 eV附近双层石墨烯的对称和反对称平面内光学声子模式。B.双层石墨烯相对于掺杂水平的简化能带图。红色箭头表示导致双层石墨烯中红外声子异常增强的相关电子跃迁。C.两种金属材料欧姆接触时的接触电位差图。D.采用金属尖端和(E)双层石墨烯的光电力检测结构。F.光电力检测混合纳米显微镜示意图。G.微悬臂梁的理论期望力学本征模态。

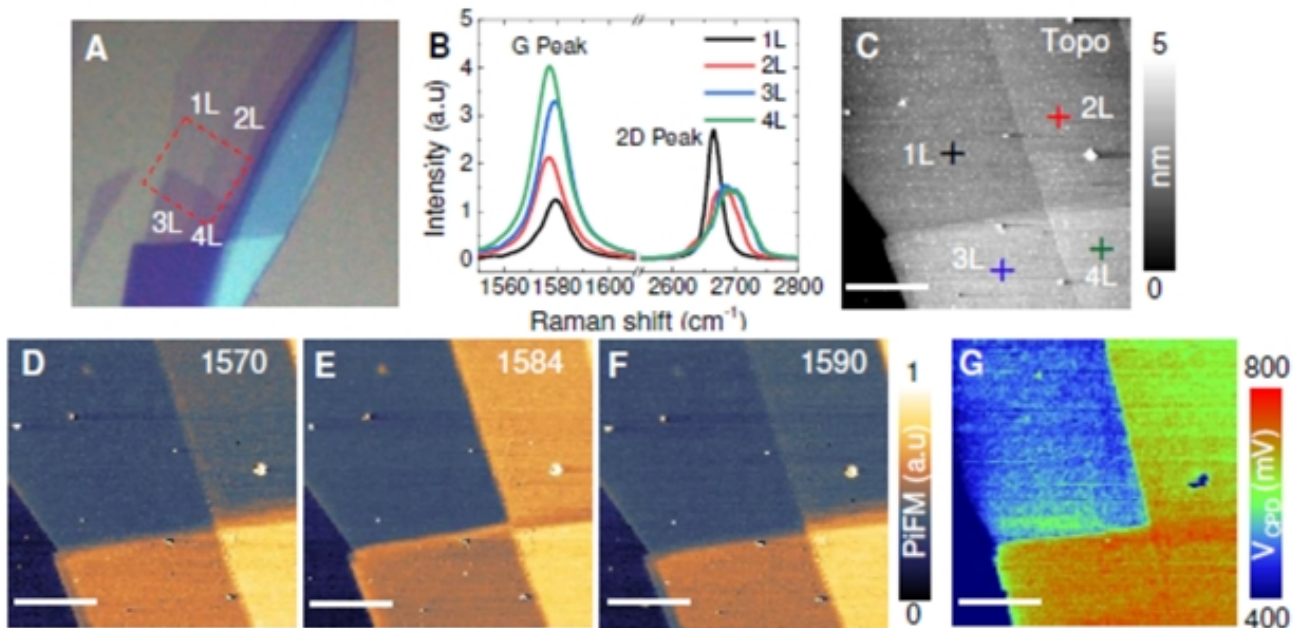


图3：利用光电力检测混合纳米显微镜测量SiO₂衬底上脱落的少层石墨烯中双层石墨烯的异常红外声子增强。

该文章近日发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Characterizing and Controlling Infrared Phonon Anomaly of Bilayer Graphene in Optical-Electrical Force Nanoscopy，Junghoon Jahng为论文的第一兼通信作者，Eun Seong Lee教授为论文的共同通讯作者。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://www.nature.com/articles/s41377-023-01320-1>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性；如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任；作者如果不希望被转载或者联系转载稿费事宜，请与我们联系。
作者：Eun Seong Lee 来源：《光：科学与应用》

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](https://www.iikx.com)转发