

## 共聚焦显微拉曼光谱仪在石墨烯材料性能测试上的应用

共聚焦显微拉曼光谱仪把拉曼光谱仪和一个标准的光学显微镜耦合在一起，可以使用高放大倍数物镜观察样品形貌，同时也可以利用显微的激光光斑进行拉曼分析。通过共聚焦针孔阻挡不在显微光路焦平面上的光进入光谱仪，他可以大大提升拉曼成像的横向和深度分辨率，获得更高的成像对比度，在表征材料微小的特征及表面状态、研究薄膜及多层结构等方面有着独特的优势。共聚焦显微拉曼光谱仪可以测量分子振动、转动、固体中晶格振动等，研究拉曼散射现象、分析物质结构组分等，可对物质进行显微分析测量。在当前的热门先进材料如石墨烯、碳纳米管、锂电池、纳米氧化锌（ZnO）的研究中成为不可或缺的表征技术。在产品检测、刑侦、文物鉴定等领域也有重要的应用。

石墨烯（Graphene）是一种由碳原子以  $sp^2$  杂化轨道组成六角型呈蜂巢晶格的二维碳纳米材料。石墨烯具有优异的光学、电学、力学特性，在材料学、微纳加工、能源、生物医学和药物传递等方面具有重要的应用前景，被认为是一种未来革命性的材料。

本文主要介绍了共聚焦显微拉曼在石墨烯领域的应用。爱丁堡仪器最新推出的RM5共聚焦显微拉曼光谱仪，采用独特的真共聚焦设计，可调狭缝结合多位置可调的共焦针孔，使系统具有更高的图像清晰度，更好的荧光背景抑制，且可根据应用进行灵活优化，可以完美应对石墨烯材料特性表征。



天美创科仪器(北京)有限公司  
北京市朝阳区天畅园7号楼(100107)

t 010-64010651  
f 010-64060202  
e [til\\_ai@techcomp.cn](mailto:til_ai@techcomp.cn)  
w [www.techcomp.cn](http://www.techcomp.cn)

就石墨烯的研究来说，确定其层数以及量化无序性是至关重要的。激光显微拉曼光谱恰好就是表征上述两种性能的标准理想分析工具。通过测量石墨烯的拉曼光谱我们可以判断石墨烯的层数、堆垛方式、缺陷多少、边缘结构、张力和掺杂状态等结构和性质特征。

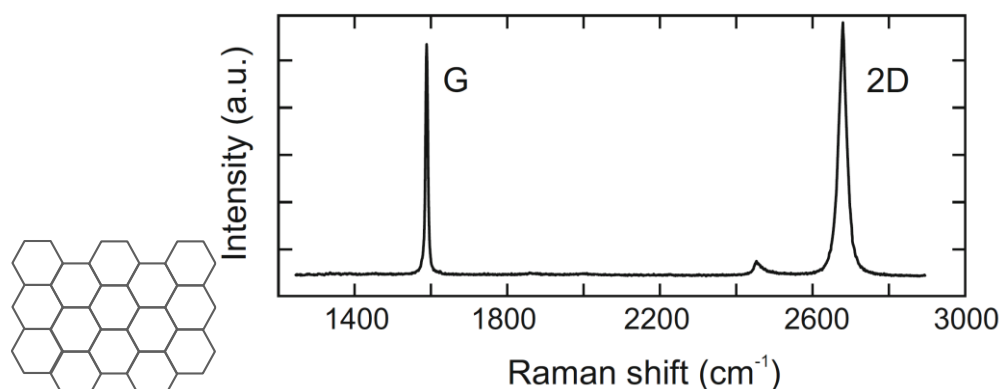


图1-1 纯石墨烯的拉曼光谱

石墨烯的拉曼光谱由若干峰组成,纯净石墨烯的拉曼谱图1-1中，有两个峰，单层石墨烯的典型拉曼光谱图G峰和2D峰都非常明显。主要为G峰及2D峰，其对应的特征峰分别位于1580  $\text{cm}^{-1}$ 附近的G峰和位于2680  $\text{nm}$ 左右的2D峰。G峰是石墨烯的主要特征峰，是由 $\text{Sp}^2$ 碳原子的面内振动引起的，它出现在1580 $\text{cm}^{-1}$ 附近，该峰能有效反映石墨烯的层数，但极易受应力影响。2D峰，是双声子共振二阶拉曼峰，用于表征石墨烯样品中碳原子的层间堆垛方式，它的出峰频率也受激光波长影响。

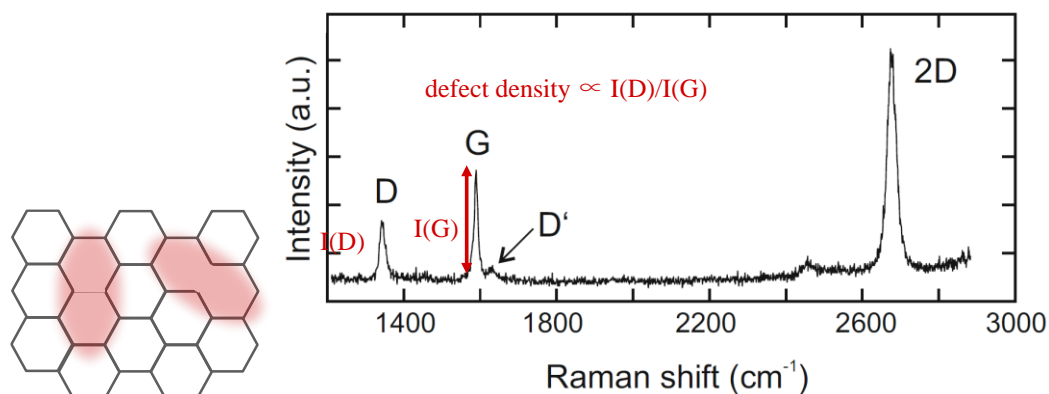


图2 有缺陷的单层石墨烯拉曼光谱

人们通过给石墨烯引入缺陷来打开带隙，拓展应用，例如：打孔，用硼或氮掺杂和化学修饰等，这样就会给石墨烯引入缺陷，从而对其电学性能和器件性能有很大的影响。拉曼光谱在表征石墨烯材料的缺陷方面具有独特的优势，如图2，如果石墨烯的

边缘较多或者含有缺陷，也就是碳晶格中有缺陷，会出现位于1350左右的D峰，以及位于1620  $\text{cm}^{-1}$ 附近的D'峰。D峰通常被认为是石墨烯的无序振动峰，该峰出现的具体位置与激光波长有关，它是由于晶格振动离开布里渊区中心引起的，用于表征石墨烯样品中的结构缺陷或边缘。因此检测D峰的强度就可以对缺陷密度等做一些定量的分析。D峰与G峰的强度比通常被用作表征石墨烯中缺陷密度的重要参数。一般用D峰与G峰的强度比（ $I_D/I_G$ ）以及G峰的半峰宽（FWHM）来表征石墨烯中的缺陷密度。

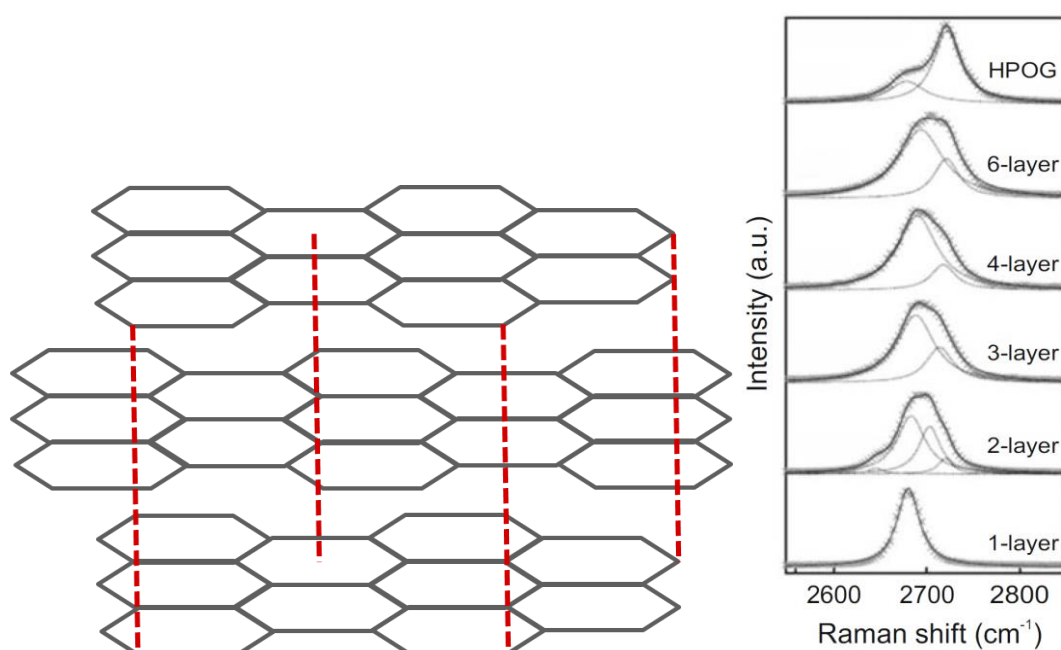


图3 不同层数石墨烯的2D峰形状改变

石墨烯的电学特性会受层数的改变而改变，可以使用共聚焦显微拉曼光谱进行测试。如图3，不同层数石墨烯的拉曼光谱的G峰、2D峰的强度比及2D峰的峰型随着层数的增加而发生变化，使得其成为了常用的石墨烯层数的判断依据。

#### 参考文献：

1. Lee et al. *Nature Nanotechnology* **11** 566-572 (2016)
2. Yoon et al. *Energy Environ Sci.* **10** 337-345 (2017)
3. Kady et al. *Nature Reviews Materials* **1** 16033 (2016)
4. Data: J. Toporski, T. Dieing, O. Hollricher, *Confocal Raman Microscopy* 2<sup>nd</sup> Ed.