

实验 教 学

石墨原子 STM 图像的形变分析

马 进, 俞 焘

(复旦大学, 上海 200433)

摘 要:在原子水平上, 表面上的原子并不是具有明确边界的硬球. 当扫描隧道显微镜的图像对应于表面原子形貌时, 实际上是测量表面的态密度. 因此要结合原子态而不仅仅从晶体结构出发解释得到的图像. 由于噪声、温度漂移等干扰是不可避免的, 在室温下获得的样品表面原子级图像经常会有形变. 初步解释了漂移的来源, 采用估算法对图像进行了修正, 通过适当扩大扫描范围降低了温漂的影响.

关键词:扫描隧道显微镜; 石墨; 图像形变; 温度漂移

中图分类号:TH742

文献标识码:A

文章编号:1005-4642(2008)05-0001-04

1 引 言

1982 年, IBM 的 G. Binnig 和 H. Rohrer 发明了扫描隧道显微镜 (scanning tunneling microscope, STM), 能够获得样品表面原子级信息^[1], 并且发展迅速, 近十几年来 STM 在原子、分子观察、修饰、加工等各方面都取得了巨大的成就, 广泛应用于物理、化学、生物、材料等学科.

STM 主要应用电子的隧道效应. 金属中的电子并不完全局限于表面边界之内, 即电子密度并不在表面边界突然降为零, 而是在表面以外呈指数衰减, 衰减长度约为 1 nm, 它是电子逸出表面势垒的量度. 如果探针和待测样品互相靠得很近, 那么它们表面的电子云就可能发生重叠. 如果在两金属之间加一微小电压 V_T , 就可以观察到它们之间的隧道电流 J_T :

$$J_T \propto V_T e^{-As/\phi} \quad (1)$$

式中 A 为常数, s 为两金属间距离, ϕ 为样品表面的平均势垒高度. 如果 s 以 0.1 nm 为单位, 则 $A=1$, ϕ 的量级为 eV, 因此, 当 s 变化 0.1 nm 时, J_T 呈数量级变化, 十分灵敏^[2]. 这样, 当探针在样品上扫描时, 表面上小到原子尺度的特征就显现为隧道电流的变化. 依此, 可以分辨表面上分立的原子, 提示出表面上原子的台阶、平台和原子阵列^[3].

要获得石墨原子级图像, 针尖 Z 方向起伏仅为 0.05 nm 左右, 0.001 nm 的振动就足以对图像产生干扰, 因此, 合理设置增益和扫描速度以补偿振动带来的干扰, 是获得良好图像的关键^[4]. 得到的石墨原子级图像往往不是严格的六度对称结构, 有一定的扭曲. 笔者从石墨晶体结构和图像漂移角度进行分析, 对这一现象进行了解释^[5].

2 实验仪器和条件

实验使用的仪器为 Nanosurf 公司生产的 easyScan E-STM (图 1). 该仪器样品放置的方位为轴向水平放置 (样品表面竖直放置). X - Y 最大扫描范围为 0.5 μm , Z 方向最大范围为 200 nm, XY 平面分辨率为 0.015 nm, Z 方向分辨率为 0.003 nm. 间隙电压为 ± 10 V (步长 5 mV), 设置参考电流为 ± 100 nA (步长 25 pA). 样品最大



图 1 Nanosurf 公司生产的 easyScan E-STM

收稿日期: 2007-12-21; 修改日期: 2008-03-06

基金项目: 国家基础科学人才培养基金 (No. J0730310), 2007 年度复旦大学青年科学基金 (No. EYH1512025)

作者简介: 马 进 (1986-), 男, 河北沧州人, 复旦大学材料科学系 2005 级本科生.

指导教师: 俞 焘 (1978-), 男, 浙江东阳人, 复旦大学物理系讲师, 博士, 从事低温扫描显微镜成像、核磁共振研究和近代物理教学工作.

直径为 10 mm.

电子设备最大扫描速度为 1 800 数据点/s, 反馈带宽为 3 kHz.

探针材料为铂铱(质量比为 4:1)合金, 采用机械成型法获得针尖. 避振采用大理石基座和 4 个橡胶垫. 数据分析采用 Image Metrology 公司开发的 SPIP 软件.

实验在室温下进行, 温度控制在 20~25 °C, 湿度则控制在 50% 以下. 像线采用 128×128. 偏置电压为 0.05 V, 参考电流为 1 nA. 为了减少漂移的影响, 扫描速度设得相对较大, Time/Line 为 0.2 s. 由于扫描速度较快, 在恒流模式下, 就要相应地提高 P-Gain, 以使反馈跟得上扫描的速度, P-Gain 为 12 左右, I-Gain 为 13 左右. 在扫描过程中, 不断调节这 3 个参量, 以补偿环境中的噪声干扰, 避免针尖共振, 减小图像中的杂波.

3 结果与讨论

3.1 图像周期性结构的解释

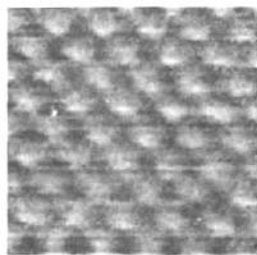
在上述实验条件下得到 1 组较为清晰的石墨 STM 图像.

图 2 的扫描参数为: 扫描范围为 1.39 nm, 扫描速度为 5 Hz, Z 方向显示范围为 0.781 nm, 行扫描方式为 Forward Scan. 其中图 2(a) 为探针向上扫描, 图 2(b) 为探针向下扫描. 可以看到两者对同一区域的扫描得到的图像原子密度有很大差异^[6].

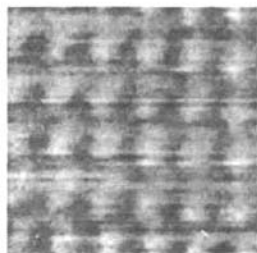
石墨表面晶体结构应该是六度对称的^[7], 但图 2 中显示的周期性结构更像是三角形. 现在观察其 FFT 图像的 3D(图 3). 该图反映的结构仍然是六度对称的, 但图中的石墨晶体结构并不是正六边形, 且某些亮点的亮度不是很高, 说明图像周期性并不是很好.

图 2 中石墨的周期性结构似为三角形结构, 但实际上在 3 个亮点之间还存在 1 个较高的暗点, 即仍然组成六边形结构.

在原子水平上, 表面上的原子并不是具有明确边界的硬球. 当 STM 的图像对应于表面原子形貌时, STM 实际上是测量表面的电子态密度. STM 是通过检测电流来进行反馈控制, 调整探针垂直方向位置, 位置高时就显示为图中的亮点. 由式(1)可知, 隧道电流与导体间距呈指数关系, 当 s 变化 0.1 nm 时, J_T 呈数量级变化. 电流的变

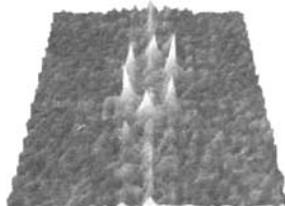


(a) 探针向上扫描

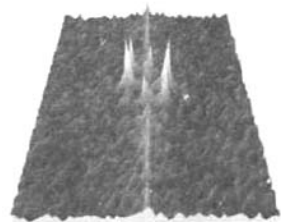


(b) 探针向下扫描

图 2 石墨表面的 STM 图像



(a) 探针向上扫描



(b) 探针向下扫描

图 3 图 2 的 FFT 3D 图

化并不唯一取决于导体间距, 还与表面电子态密度有关.

对于石墨, 它是层状结构, 每层是正六边形的网状结构. 石墨表面的碳原子有 2 种不同的位置, 一种碳原子在下 1 层有相邻的碳原子, 如图 4

(图片来源:www.nanosurf.com)中的灰色原子(α 原子),另一种碳原子在下1层没有相邻的碳原子,如图4中的白色原子(β 原子)。2层之间的距离为0.34 nm,2个相邻白点(或灰点)之间的距离为0.25 nm,相邻的白点与灰点之间的距离为0.14 nm^[8]。

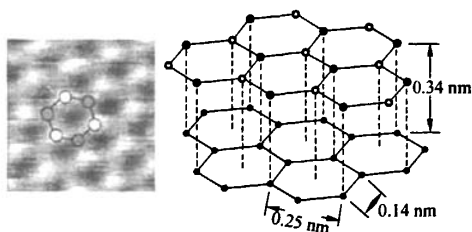


图4 石墨的晶体结构

石墨中的碳原子为 sp^2 杂化,层内每个碳原子中3个电子分别成C-C单键,另一个 $2p$ 电子视为整个层面内的“自由”电子,那么当考虑层间相互作用时范德华力对自由电子作用应是首先给予考虑的。对 β 原子,可以近似认为其零阶哈密顿量^[9]矩阵的非对角元均是零,造成局域电子波函数是二重简并的,这就使得费米能级 E_f 附近的局域电子态密度较大; α 原子由于和其正下方的原子的相互作用较强,哈密顿量矩阵的非对角元不全为零,这样使得 α 位的原子费米能级 E_f 附近的局域电子态密度要有所减少。STM成像时只有费米能级 E_f 附近很窄能量范围内的量子态上蹬电子对隧道电流才会有贡献^[7]。

图4中的白色点对应着石墨STM图像中的亮点(高点),灰点对应着石墨STM图像中的暗点(低点)。这2种原子电子态密度的不同导致石墨表面导电性有所不同^[8],当探针扫到无相邻原子的碳原子时会探测到较大的电流,反馈系统就会控制探针上升,从而就会在STM图像中形成1个亮点(高点)。

3.2 漂移对图像的影响

测量图2(a)中相邻亮点间距。为方便观察和测量,对图2采用低通滤波处理,去除一些高频杂波,所得到的俯视图较为清晰。如图5所示,在滤波后的图像中选相邻两亮点,测量若干次得到平均距离为0.233 nm。比理论值0.25 nm略小,图像在Y方向上有很小的压缩。这有可能是仪器定

标的问题。但观察图2(b)发现有更大的拉伸。如果定标有误差,2次扫描应该都是压缩或都是拉伸。这说明图像相对理论值有漂移且在扫描过程始终作用在图像中。

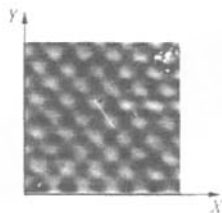


图5 选择石墨图像中沿2个相邻亮点

假设这是固定方向的持续漂移。设图像由下到上为Y正方向,由左到右为X正方向。定义漂移速度为针尖在正常扫描速度外附加的相对于样品固定位置的速度。当漂移速度的Y轴分量(该图为向上扫描即沿Y轴正方向)为正时,Y方向的距离就会被压缩。图2(b)中的图像是图2(a)中图像扫完后再向下扫描得到的。从图2(b)可看出,漂移速度沿Y正方向分量使图像拉伸了。除了在Y方向上的拉伸外,图2(b)中图像在X方向也有拖动,使原子相对位置与图2相比有所变化。说明漂移速度在X方向也有分量。而向上、向下扫描亮点的个数是相同的(均为6个),这是因为,向上与向下扫描在X轴上的方向是一致的(均选择Forward Scan)。

首先估算向上扫描时漂移平均速度的Y轴分量。忽略漂移速度的X轴分量。由图4可知,4个亮点构成菱形,计算可得该菱形的长对角线为0.42 nm,由此,图2中Y方向的实际长度约为1.72 nm,而图像中仅为1.39 nm。扫描时间为 $(128 \times 0.2 \times 2) \text{ s} = 51.2 \text{ s}$,故向上扫描时漂移平均速度的Y轴分量为 $(1.72 - 1.39) \text{ nm} / 51.2 \text{ s} = 0.0064 \text{ nm/s}$ 。

假设漂移速度不变,即向下扫描时漂移平均速度的Y轴分量为0.0064 nm/s,计算图2(b)中Y方向实际长度 $[1.39 - (1.72 - 1.39)] \text{ nm} = 1.06 \text{ nm}$ 。图2(b)中Y方向的实际长度约为1.06 nm, $1.06 / 0.42 = 2.5$,有2.5个长对角线长度,即应有3个长对角线上的亮点,与图中呈现的情况一致。

Forward Scan沿X负方向扫描,从图2(b)

可以看出,漂移速度有 $-X$ 分量. 同样假设漂移速度不变. 如图6测得短对角线上两亮点间距为 0.242 nm , 估算可得漂移速度 $-X$ 分量为: $(1.39-0.242\times 5.5)\text{ nm}/0.2\text{ s}=0.3\text{ nm/s}$.

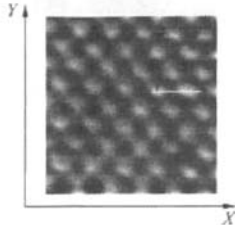


图6 短对角线上两点距离(近似)

由于 X 方向扫描速度很快,为 0.200 s/行 ,故该值误差很大.

X 方向扫描速度很快,而 Y 方向扫描速度很慢(要等探针扫完1行再扫下1行),所以当扫到下1行时,漂移速度 X 分量就会使应扫的点偏离了它的位置. 又由于漂移速度沿正 Y 方向,所以向下扫描时 v_y 小于向上扫描时 v_y ,故向下扫描时 X 方向上错位的幅度要比向上扫描时大. 这样就解释了出现图2(b)情况的原因. 由于漂移速度不是固定不变的,故得到的图3中显示的周期性受到影响.

由以上分析可知,漂移速度的方向不随扫描方向变化,所以不是针尖拖拽造成的. 首先在STM扫描过程中针尖与样品表面是有间隙的,其次如果是针尖拖拽上下2次扫描拉伸的方向应该是对称的.

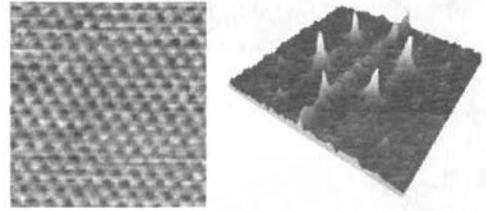
由于该实验所用的STM样品是竖直放置的,所以也有可能是重力使样品有竖直向下的漂移. 但无法解释 X 方向的漂移.

还有一种可能是温度漂移造成的,温度变化造成控制信号输入失调,使针尖附加了不应有的移动^[10]. 该解释更加符合实验结果.

3.3 降低漂移对图像的影响

对于相同的漂移速度,扫描1个周期的漂移位移是固定的,如果扫描范围较大,偏差会均分到更多的结构单元中,这样就可以有效降低漂移带来的影响. 图7是扫描范围为 2.79 nm 时(其他参数不变)得到的图像. 在该图中,石墨STM图像的三角形结构更加清楚. 从FFT的3D图中可以清楚地看到,扩大扫描范围后,周期性重复单元

为更加标准的正六边形,且周期性更好.



(a)STM图

(b)FFT 3D图

图7 扫描范围为 2.79 nm 时的石墨STM图像及其FFT的3D图

4 结论

由上面的分析可以知道,因为石墨晶体结构导致其表面相邻碳原子的电子态密度是不同的,由STM扫描得到的石墨图像重复结构单元不是标准的正六边形而是三角形(或菱形). 但由于温度变化造成的控制信号漂移(温漂),图像会有一些的压缩、拉伸形变. 因此要尽量避免温漂,尤其是在扫描范围比较小时,应加快扫描速度. 否则,温漂甚至会使针尖移出待测区域. 但由于仪器散热等原因和扫描速度的限制(速度太快反馈将来不及响应,无法得到样品表面的详细信息),很难完全避免温漂,所以在对得到的图像进行分析时要考虑温漂的因素. 可利用本文使用的估算法对图像进行修正,也可以通过适当扩大扫描范围来降低温漂的影响.

参考文献:

- [1] Binnig G, Rohrer H, Gerber C, et al. Surface studies by scanning tunneling microscopy [J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1982,49:57.
- [2] 杨福家. 原子物理学[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,1990.
- [3] 白春礼. 扫描隧道显微术及其应用[M]. 上海:上海科学技术出版社,1992.
- [4] 张颜萍. 怎样获得一幅效果良好的STM图像[J]. *甘肃高师学报*,2006,11(5):14-15.
- [5] Masayuki A, Yoshiaki S, Takashi N. Drift-compensated data acquisition performed at room temperature with frequency modulation atomic force microscopy [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 2007, 90: 203 103. (下转第8页)

用,则应对分光计的某些结构做必要的改动,使用时更方便。

4)为阅读方便,在定标时,可调整电源电压,使输出电压和转动角度的关系为简单数字,如 $10'/\text{mV}$ 。

参考文献:

[1] 胡德敬,谢嘉祥,曹正东. 设计性物理实验集锦——

创新教育之实践[M]. 上海:上海教育出版社, 2002.

[2] 夏湘芳,陈光炜,李陵玲. 分光计的激光辅助调节装置[J]. 物理实验,2007,27(4):34-36.

[3] 陈红,张伟森,王德军,等. 分光计实验研究[J]. 长春大学学报,2006,16(4):23-25.

[4] 陈一军,朱利超. 角度传感器灵敏度超差的原因分析及改进[J]. 仪表技术与传感器,2006,(10):1-3.

Application of angular transducer in the spectrometer experiment

CHEN Jian-bo, WANG Shu, WAN Zhen-mao, CAO Zheng-dong

(Department of Physics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Using precise plastic variable resistor to replace the dial of the spectrometer, the refraction angle of light is measured. $r=0.9999$ indicates that the output voltage and the angle are linearly correlated. The difference between the results of the top angle of the triangular prism, the angle of minimum deviation and the grating constant obtained with this new method and that obtained with traditional method is less than 1%.

Key words: spectrometer; angular transducer; triangular prism; gating

[责任编辑:任德香]

(上接第4页)

[6] 庞金鹏,袁观宇,李志扬,等. 扫描方向对STM图像的影响[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2000,34(2):171-174.

[7] 黄昆. 固体物理学[M]. 北京:高等教育出版社, 1988:35,220.

[8] Nanosurf A G. E-STM Operating Instructions

[M]. Switzerland; Nanosurf Ltd., 2004:34.

[9] 喀兴林. 量子力学[M]. 北京:高等教育出版社, 2000:63.

[10] Wiczorek P Z. Measurement system for thermal drift of propagation time in fast pulse circuits [J]. SPIE, 2006:63472F.

Analysis of the deformation of graphite STM image

MA Jin, YU Xi

(Department of Physics, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: At the atomic scale, the surface atoms are not rigid balls which have definite borders. Therefore scanning tunneling microscope (STM) is used to measure the intensity of electronic states. In order to elaborate the obtained images, the atomic states and the crystal structures should be considered. Since the disturbance of noise and temperature drift is irresistible, the deformation of images obtained under atmosphere and room temperature is always observed. This article aims to explain the possible source of the drift and to recommend the avenue to decrease the effect of the deformation.

Key words: scanning tunneling microscope; graphite; deformation; temperature drift

[责任编辑:任德香]

石墨原子STM图像的形变分析

作者: [马进](#), [俞熹](#), [MA Jin](#), [YU Xi](#)
 作者单位: [复旦大学, 上海, 200433](#)
 刊名: [物理实验](#) **PKU**
 英文刊名: [PHYSICS EXPERIMENTATION](#)
 年, 卷(期): 2008, 28(5)
 引用次数: 0次

参考文献(10条)

1. [Binnig G. Rohrer H. Gerber C. Surface studies by scanning tunneling microscopy](#) 1982
2. [杨福家. 原子物理学](#) 1990
3. [白春礼. 扫描隧道显微术及其应用](#) 1992
4. [张颜萍. 怎样获得一幅效果良好的STM图像](#) [期刊论文]-[甘肃高师学报](#) 2006(5)
5. [Masayuki A. Yoshiaki S. Takashi N. Drift-com-pensated data acquisition performed at room temperamre with frequency modulation atomic force microscopy](#) 2007
6. [庞金鹏, 袁观宇, 李志扬, 刘武. 扫描方向对STM图像的影响](#) [期刊论文]-[华中师范大学学报\(自然科学版\)](#) 2000(2)
7. [黄昆. 固体物理学](#) 1988
8. [Nanosurf A G E-STM Operating Instructions](#) 2004
9. [喀兴林. 量子力学](#) 2000
10. [Wieczorek P Z. Measurement system for thermal drift of propagation time in fast pulse circuits](#) 2006

相似文献(10条)

1. 学位论文 [杜文峰. 有机分子在石墨表面吸附行为的扫描隧道显微镜研究](#) 2004
 为了观察有机芳香类化合物在无机物衬底上的吸附行为, 进而拓展我们对有机分子在固体表面吸附性质的认识, 我们利用扫描隧道显微镜(Scanning Tunneling Microscope, STM)研究了色氨酸分子(Tryptophane)和DDME分子在石墨表面的吸附行为. 这些工作表明, 具有 π 共轭体系的有机分子吸附在石墨表面时, 分子间的 π 堆积相互作用(π -stacking interaction)对于分子的吸附行为具有很大的影响. 用扫描隧道显微镜对于室温下色氨酸分子在石墨表面吸附所形成的二维有序结构及其形成机理进行了研究. 实验中发现, 在室温下色氨酸分子可以在石墨表面形成均匀的吸附层, 并形成两种有序的二维超结构: 较低覆盖度下形成条纹结构, 而在较高覆盖度下形成二维单斜晶格. 针对这两种结构的STM图像和色氨酸分子尺度, 我们认为色氨酸分子吸附在石墨表面时分别采取“侧立”和“站立”的取向, 侧链的咪唑基并非平行于石墨平面, 而是与石墨平面存在着一定的倾角. 最终我们针对这两种结构给出了可能的吸附模型, 吸附模型能够比较好的解释STM图像. 用扫描隧道显微镜研究室温下DDME分子在石墨表面的吸附行为. DDME分子物理吸附在石墨表面, 即使在常温下也很容易吸附. 在大尺度条件下进行观察可以看到DDME分子在石墨表面形成十分平整的薄膜. 而高分辨STM图像中可以观察到随着覆盖度的不同, DDME分子在石墨表面形成的两种不同尺寸的二维单斜结构. 针对这两种结构的STM图像对其形成机理进行了研究. 并且给出了可能的吸附模型. 认为DDME在石墨表面吸附时, 与色氨酸分子类似, 存在不同的取向. 而相邻DDME分子之间的多种相互作用使得DDME分子在石墨表面的吸附取向可以随着覆盖度的改变而发生变化.
2. 期刊论文 [陈永军, 赵汝光, 杨威生. 长链烷烃和醇在石墨表面吸附的扫描隧道显微镜研究](#) -[物理学报](#)2005, 54(1)
 用扫描隧道显微镜(STM)研究了室温下十八醇(1-C18H37OH)和十四烷(C14H30)在石墨表面的吸附行为. 十八醇在石墨表面自组装形成条状结构. 实验发现了十八醇分子在石墨表面的两种不同的排布方式, 它们形成并列的不同宽度的条状结构. 还发现, 由于溶剂(正十四烷C14H30)的完全蒸发, 留下的十八醇分子在石墨表面吸附的自组装结构与固液界面中十八醇分子在石墨表面的吸附形成的结构在分子方向、表面分子晶体的晶格常数及条状结构宽度等方面有很大的不同. 此外, 实验中也发现溶剂十四烷在某种情况下也能在石墨表面吸附形成可供STM观察的有较长时间稳定性的条状周期结构. 实验观察到的十四烷在石墨表面形成的晶体结构与固液界面中观察到的有序结构的晶体结构常数和分子排列方向也是不同的. 根据STM图像, 提出了十八醇和十四烷在石墨表面吸附的结构模型.
3. 期刊论文 [宋永海, 汪莉, 姚勇, 催康, 谌创业, SONG Yong-hai, WANG Li, YAO Yong, CUI Kang, CHEN Chuang-ye. 高定向热解石墨表面超大结构的扫描隧道显微镜研究](#) -[江西师范大学学报\(自然科学版\)](#)2007, 31(6)
 用扫描隧道显微镜(STM)对高定向热解石墨(HOPG)表面的超大结构进行了研究, 观察到的超大结构是2.4~5.7 nm. 峰与峰之间的距离为1.0~3.8 Å. 相对于HOPG表面的原子结构转动30°角. 推测这种超大结构是由于电解质和溶剂小分子嵌入HOPG表面层所引起层间相互作用改变引起的表面电子态变化.
4. 期刊论文 [杜文峰, 刘锴, 葛四平, 赵汝光, DU Wenfeng, LIU Kai, GE Siping, ZHAO Ruguang. 色氨酸分子在石墨表面吸附的扫描隧道显微镜研究](#) -[北京大学学报\(自然科学版\)](#)2005, 41(3)
 用扫描隧道显微镜(STM)研究了室温下色氨酸分子(L-Tryptophane)在石墨(HOPG)表面的吸附行为. 实验发现, 在室温下色氨酸分子可以在石墨表面形成均匀的吸附层, 并形成二维条状结构和二维单斜晶格两种有序结构. 针对这2种结构给出了可能的吸附模型. 这2种有序结构的形成原因被认为与相邻色氨酸分子侧链之间的 π 堆积相互作用有关.
5. 期刊论文 [蔡从中, 王万录, 陈新镛, 舒启清. 石墨表面扫描隧道显微镜纳米级加工研究](#) -[微细加工技术](#)2001(4)
 利用自制的扫描隧道显微镜(STM), 进行了石墨表面的纳米级加工研究. 在用STM对固体材料表面进行纳米级超微加工过程中, 当探针-试样间施加一高

电压脉冲时,电子反馈回路将使探针急速回缩,导致实际有效电压脉冲宽度远小于所施加的电压脉冲宽度.我们专门设计了由计算机编程控制的瞬时“保持”功能,即在高电压脉冲作用过程中,使探针始终固定在原有位置,并保持原有探针-试样间距不变.因而在进行固体材料表面纳米级超微加工时,可准确地测得有效电压脉冲宽度.通过在大气中对石墨表面的蚀刻研究,首次测得在电压脉冲幅值为4V时,有效脉宽阈值为 $(0.04 \pm 0.01) \mu\text{s}$.

6. 期刊论文 [张剑飞, 曹更玉, Jian-fei Zhang, Geng-yu Cao 扫描隧道显微镜研究石墨表面的莫尔图 -化学物理学报](#) 2006, 19(3)

利用扫描隧道显微镜研究石墨表面的大尺度周期性图样. 研究表明, 莫尔图起源于石墨深层的缺陷, 实验结果与理论完全吻合, 并且第一次在实验上证明了纳米波可以穿透多层石墨而没有明显衰减.

7. 会议论文 [翟鹏济, 刘杰, 王琛 扫描隧道显微镜观测研究Ar⁺8>轰击石墨表面损伤](#) 1998

该文报道用10-112MeV能量的Ar⁺8>离子轰击高定向石墨(HOPG)造成损伤的原子水平观测结果, 讨论了损伤与表面能损的关系损伤过程的可能机制.

8. 学位论文 [孙海林 纳米管、石墨本征缺陷和银纳米颗粒的扫描隧道显微镜研究](#) 2002

该文的实验工作是在Park Scientific Instruments VP UHV-STM进行的. 我们基本解决了该系统的原有的振动问题, 在石墨表面得到了原子分辨的图像. 论文的第一部分是对纳米管的研究, 我们系统的研究了氮掺杂的聚合纳米管以及一些无机的纳米管, 如二硫化钨的原子和电子结构. 对于氮掺杂的纳米管结构, 我们发现了沿着管子的径向有成列的局域增强的电子态密度. 用这个实验事实可以很好的解释纳米管的侧壁场发射原理. 在扫描隧道谱的研究中, 我们发现在费米能级以下0.3eV处有一个峰, 我们把这个峰归为氮掺杂引起的. 这样, 我们首次用STS确定的氮在这种纳米结构中掺杂. 在对WS₂纳米管的研究中, 我们发现了螺旋状的结构, 这也是该种纳米管中首次发现这种结构. 论文的第二部分是对石墨表面本征缺陷的研究. 观察到了莫尔条纹的转动畸变和滑动畸变. 论文的第三部分是对银的纳米颗粒在石墨表面的扩散行为的研究. 我们发现银在石墨表面形成十几个纳米大小的团簇, 这些团簇可以在石墨表面扩散, 然后吸附在石墨的台阶上, 形成纳米线阵列. 通过退火, 纳米线退化成大小较为均匀的银的纳米岛. 我们还发现银颗粒在表面的扩散行为和速流的大小有关, 在较为合适的速流的情况下, 可以长成银纳米颗粒的单层膜, 而在较大的速流情况下, 则形成粗大的银的纳米线.

9. 学位论文 [刘锴 扫描隧道显微镜对有机分子在石墨表面吸附的研究](#) 2004

该论文的工作主要是利用扫描隧道显微成像技术研究有机分子在石墨基底表面吸附行为, 同时利用扫描隧道谱对巨磁电阻材料的导电特性进行了测量. 对于DDME分子, 我们发现它物理吸附在HOPG基底形成大面积平整的薄膜. 但是吸附在HOPG表面的DDME分子在常温下很容易脱附, 3到4周左右就能从石墨表面完全脱附. 随着覆盖度的不同DDME分子在HOPG表面吸附形成两种不同二维有序结构, 即DDME分子分别采取“直立”和“平躺”两种不同取向吸附在HOPG表面. 我们认为由于氟基和次甲基之间的相互作用形成氢键是形成这些结构的主要因素. 用扫描隧道显微镜对于室温下液体环境蛋氨酸分子在HOPG表面吸附形成的二维有序结构. 实验发现, 在大气环境下蛋氨酸分子在HOPG基底表面吸附形成多种结构. 蛋氨酸分子之间Van der Waals力的作用和氢键作用是形成这些有序结构的动因. 由于吸附物蛋氨酸同HOPG衬底相互之间作用较弱, 因此HOPG是一种用来研究二维情况下氨基酸和有机分子吸附的理想衬底. 另外, 我们还应用STS研究了巨磁电阻材料在常温下空间不均匀性, 第一, 在STS图中看到了相分离产生的不同隧道电导区域, 在常温铁磁相同时观察到了空间局域金属电态和绝缘电态. 第二, 通过STM直流形貌图和STS图的对比, 看到了LSMO材料不同的相区域, 和表面起伏并没有很大关系. 这些对于揭示CMR现象提供了很好的实验数据.

10. 期刊论文 [冯传良, 张彦杰, 靳健, 宋延林, 渠桂荣, 谢连营, 江雷, 朱道本 用扫描隧道显微镜观察偶氮苯衍生物在液体/石墨界面的组装 -电子显微学报](#)2001, 20(5)

本文主要报道了化合物4-羟基-3'-三氟甲基偶氮苯 (FAzoH) 的合成及利用扫描隧道显微镜 (STM) 对该化合物在十一醇溶剂/石墨界面的物理吸附的单分子膜进行了研究. 从得到的扫描隧道显微像观察到了分子级别分辨率的单分子膜中的分子排列. 主要原因是由于溶质分子中含有三氟甲基集团, 而氟又具有强极性, 它能与含羟基的另一相邻的溶质分子形成稳定的氢键以利于用扫描隧道显微镜得到图像, 所以三氟甲基的引入对单分子膜的结构有着重要的影响.

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wlsy200805001.aspx

下载时间: 2009年12月9日