

# STM 金刚石针尖及其在 纳米机械加工中的应用

刘 宁 马自力 褚 星 胡天苗

(中国科学院北京真空物理实验室)

**摘要** 我们采用微波等离子体化学气相沉积(MPCVD)法将金刚石微晶生长在钨针尖上,从而制成 STM 金刚石针尖,利用装有金刚石针尖在国际上首次在纳米尺度下对各种金属表面进行表面修饰和纳米机械纳米加工的研究。实验结果证明这种金刚石针尖硬度很高而且稳定,这一技术在纳米机械加工等领域有广泛的应用前景和重要意义。

## 0 引 言

扫描隧道显微镜(Scanning Tunneling Microscope, 简称 STM)不但在纳米和原子级的表面结构、形貌的观察分析中取得了令人瞩目的突出成就,而且近年来又向人们展示了其在表面修饰和操纵方面的潜力,它有可能扮演作为认识手段和改造工具的双重角色。由于在大多数情况下普通的 STM 针尖(如钨针尖、铂-铱合金针尖等)经与样品表面进行机械接触后会遭到损伤,因此在进行纳米加工时就需要非常坚硬和稳定的针尖。我们采用微波等离子体化学气相沉积(MPCVD)法将金刚石微晶生长在钨针尖上,从而制成 STM 金刚石针尖,利用装有金刚石针尖在国际上首次在纳米尺度下对金、铂、镍等各种金属表面进行表面修饰和纳米机械纳米加工的研究<sup>[1-11]</sup>。这一技术在纳米材料、纳米机械加工等领域有广泛的应用前景和重要意义。

## 1 实 验 过 程

我们用直径 0.2 mm 的钨丝,在 NaOH 溶液中用电化学刻蚀法制备出 STM 针尖,这种针尖的曲率半径通常小于 100 nm 如图 1 所示。将钨针尖放入反应器中,以 CH<sub>4</sub> 或 CO 和 H<sub>2</sub> 为反应气体,采用微波等离子体化学气相沉积(MPCVD)法,将金刚石微晶生长在钨针尖上。用装有金刚石针尖的 STM 先得到金属表面的 STM 像,然后再进行纳米级机械加工,加工后再用原针尖观察加工的结果。

## 2 结果与分析

在 STM 针尖上生长金刚石微晶颗粒与常规的金金刚石薄膜沉积过程有所不同,我们是首次在这个世界上开展这方面的研究工作。针尖的形状用扫描电子显微镜(SEM)进行了检测,如图 1 所示,表明钨针尖已被金刚石微粒所覆盖,金刚石晶粒的某个棱角作为针尖取代了原钨针尖的作用。将装有 MPCVD 金刚石针尖的 STM 用于表面修饰与纳米加工的研究,亦在国际上属于首创,并已取得了一些成果<sup>[1-11]</sup>。虽然天然金刚石为绝缘体,但人们得到了金刚石薄膜的 STM 形貌像<sup>[12]</sup>,说明人工合成的 CVD 金刚石薄膜在 STM 的工作条件下有隧道电流存在。在实验中,我们用 CVD 金刚石针尖也得到了 STM 的图像。但到目前为止它的导电机理仍不清楚,因为制备金刚石针尖本底真空度为  $10^{-2}$  Torr,也许是由于杂质、缺陷等因素的影响导致了隧道电流的结果。

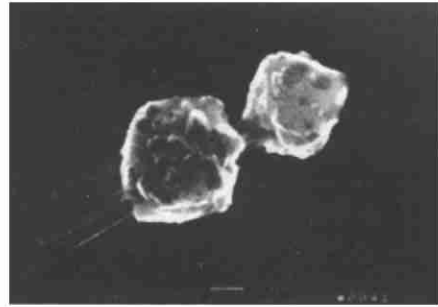
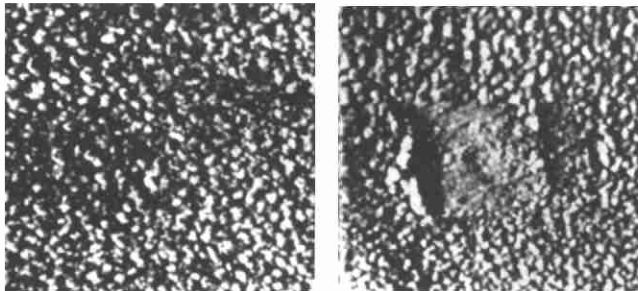


图 1 MPCVD 金刚石针尖的 SEM 形貌像

图 2 的 A 和 B 分别为加工前后金膜的 STM 像,加工范围为  $200\text{ nm} \times 200\text{ nm}$ 。从图中可以看出,加工后表面起伏变小,从  $30\text{ nm}$  减小到  $3\sim 5\text{ nm}$ ,形成一较为平滑的区。



A 加工前

B 加工后

图 2 加工前后金膜的 STM 像(扫描范围: $400\text{ nm} \times 400\text{ nm}$ )

图 3 的 A 和 B 分别为用金刚石 STM 针尖在镍的(100)面上连续进行两次加工的结果,从图中可以看到两次加工的结构相似,图象的分辨率不变,说明针尖的形状在加工前后没有改变,稳定性好。图 4 的 A 和 B 分别为用金刚石 STM 针尖在钨的(111)面上连续进行两次加工的结果,它与图 4 的结果类似,图象的分辨率前后保持不变,这进一步证实金刚石 STM 针尖的高硬度和稳定性。此外,我们用扫描电镜对抛光前后的金刚石针尖进行比较,发现它们几乎没有变化,说明这种金刚石针尖很硬很稳定,可用于金属和固体表面的纳米加工。这种技术有可能成为进行纳米科技研究的有力工具。

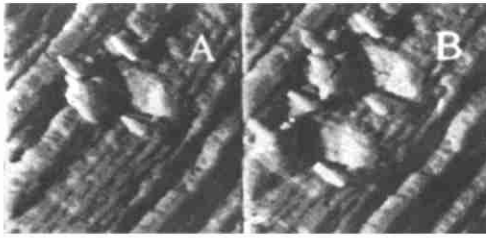


图 3 在镍的(100)面上连续进行两次加工的结果  
(扫描范围:600 nm×600 nm)

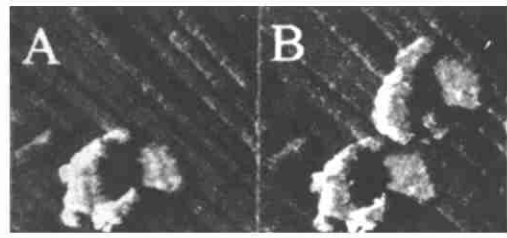


图 4 在钯的(111)面上连续进行两次加工的结果  
(扫描范围:600 nm×600 nm)

### 3 结 论

我们采用微波等离子体化学气相沉积(MPCVD)法制成了 STM 金刚石针尖,并利用装有这种金刚石针尖在国际上首次在纳米尺度下对金、镍、钯等各种金属表面进行表面修饰和纳米机械纳米加工的研究。实验结果证明这种金刚石 STM 针尖具有很高的硬度和稳定性,这一技术在纳米材料、纳米机械与工程学等领域有广泛的应用前景。

### 参 考 文 献

- [1] Zhipeng Chang, Zili Ma, et al, Applied Surface Science, 70/71, 1993, 407-412
- [2] Xing Chu, et al, Appl. Phys. Lett., 63(25), 20 December, 3446, 1993
- [3] N. Liu, et al, J. Vac. Sci. Technol., B12(3), 1712, 1994
- [4] N. Liu, et al, J. Vac. Sci. Technol., B12(3), 1856, 1994
- [5] N. Liu, Z. L. Ma, et al, Proceedings of the 40th National Symposium and Topical Conference of the American Vacuum Society, November 15-19, 1993, Orlando, USA
- [6] N. Liu, X. Chu, et al, The 2nd International Conference on Nanometer-scale Science and Technology, Aug. 2-6, Moscow, Russia
- [7] N. Liu, Z. L. Ma, et al, The 2nd International Conference on Nanometer-scale Science and Technology, Aug. 2-6, Moscow, Russia
- [8] N. Liu, Z. L. Ma, et al, The 7th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy (STM'93), Aug. 9-13, Beijing, China
- [9] N. Liu, X. Chu, et al, The 7th International Conference on Scanning Tunneling Microscopy (STM'93), Aug. 9-13, Beijing, China
- [10] 刘宁等,中国真空学会第四界年会论文集,1993,10,上海
- [11] 刘宁等,金刚石针尖和表面修饰及纳米加工研究,即将发表于中国学术期刊文摘科技快报专栏
- [12] Zhipeng Chang, Ning Liu, et al, 真空科学与技术, Vol. 12, No. 2-3, 1992, 275

## Diamond Coated STM Tips and Their Application in Nanometer-scale Machining

(下转 121 页)

[17] 古乾军等, 95 年全国表面科学与纳米科技研讨会论文集, 1995, 4, 河北承德

## Regular Nanometer—scale Structures created on Si(111)7×7 Surfaces by Atomic Manipulation

Liu, Ning Gu, Qian—jun Ma, Zi—li Zhao, Wen—bin  
(Beijing Laboratory of Vacuum Physics, Chinese Academy of Sciences)

**ABSTRACT:** With scanning tunneling microscope (STM), regular nanometer—scale structures, which have atomically straight edges, can be prepared on Si(111)7×7 surfaces by atomic manipulation along a direction of the base vectors of a sample surface (i. e.,  $[\bar{1}10]$ ,  $[\bar{1}01]$ ,  $[0\bar{1}1]$ ). This kind of regular structures has lateral features as small as a 7×7 unit cell wide. They are stable structures (compared with artificial structures on Si(111)7×7 surfaces that has rough edges). The inherent structure properties of Si(111)7×7 surface play an important role in the formation of regular structures. Certainly, it requires that the Si atoms must be removed one by one to reate this kind of regular structures on Si(111)7×7 surfaces.

(上接 111 页)

Liu, Ning Ma, Zi—li Chu, Xing Hu, Tian—miao  
(Beijing Laboratory of Vacuum Physics, Chinese Academy of Sciences)

**ABSTRACT:** A new kind of diamond coated tip for the scanning tunneling microscope has been fabricated by a microwave plasma chemical vapor deposition method. The extreme hardness of the tips is demonstrated by doing nanometer—scale controlled direct machining on various metal surfaces using these tips. The results indicate the potential of such diamond coated tips for nanometer—scale mechanical machining.