

纳米硅薄膜的扫描隧道显微镜研究*

王忠怀 戴长春 张平城 白春礼

(中国科学院化学研究所, 北京 100080)

何宇亮

(北京航空航天大学非晶态物理研究室, 北京 100083)

关键词 扫描隧道显微镜 (STM)、纳米硅、薄膜

纳米硅薄膜 (nc-Si:H) 是由纳米尺寸超细微晶粒构成的一种纳米材料^[1,2]。其晶粒所占体积百分比为 50%, 其它 50% 则为大量晶粒之间的界面原子所占据, 而界面对纳米材料的结构和物性具有重要作用^[3]。由于纳米硅薄膜结构上的新颖性, 使它具有一系列不同于同类物质晶态材料或非晶态材料的特殊性能, 有利于在器件中的应用^[4,5]。

80 年代初发展起来的扫描隧道显微镜 (STM) 已被广泛地应用到各个领域^[6,7]。利用 STM 对多晶硅薄膜的研究已取得一些结果^[8-11], 主要是探讨表面特性及观察表面形貌。然而, 迄今未见有用 STM 对纳米材料的结构和物性具有重要作用的晶粒之间界面进行研究的报道。在本工作中, 利用自行研制的 STM^[12], 从亚微米尺度到原子尺度对纳米硅薄膜表面进行研究, 特别是对晶粒之间的界面结构进行探索, 获得了一系列信息。

1 实验方法

纳米硅薄膜样品是在常用的等离子体化学汽相电容式耦合沉积 (PECVD) 系统中, 使用高氢稀释硅烷为反应气氛, 在 r.f. + DC 双重功率源激励下制备而得到的^[1,2]。

所用仪器为中国科学院化学所研制的 CSTM-9000 型大气工作下的 STM^[12], 机械剪切的 Pt/Ir (Pt:Ir 比 80:20) 针尖 (直径为 0.25mm) 和电化学腐蚀的钨针尖 (直径 0.25mm)。采用 恒定电流工作模式, 每幅图象的采样点数为 180×180 点, 表面的高低在图象上是用不同的灰度级别反应出来的。加于 针尖和样品隧道结之间电压的数值在 0.5V 到 2V 之间, 采用的是针尖为正电压。最大的隧道电流曾选用到 1nA, 一般设置为 0.5 nA 左右。以下实验结果中所给出的 STM 图象都仅仅是 对原始数据作光滑之后的结果。扫描一幅图象所需的时间是可变的: 从 3min (对于大范围成像) 到 15s (对于小范围成像)。

2 结果与讨论

从亚微米尺度到原子尺度展示了在空气中不同放大倍数的纳米硅薄膜的 STM 像。图 1 显示的是用钨针尖得到的纳米硅薄膜的 STM 正面图象。所用针尖偏压为 1V, 采用电流是 0.45nA。图 1(a), (b) 的扫描范围分别为 40.9nm (x 方向) \times 48.8nm (y 方向), $20.5\text{nm} \times$

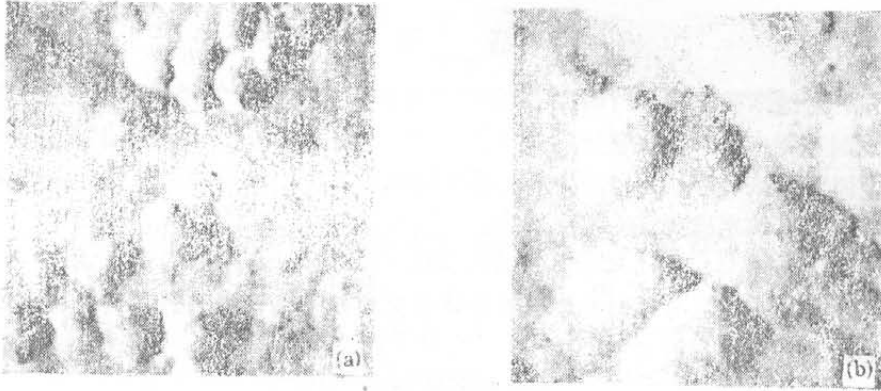


图 1 纳米硅薄膜的 STM 平面图象

扫描区域分别为:

(a) 40.9nm × 48.8nm, (b) 20.5nm × 24.4nm

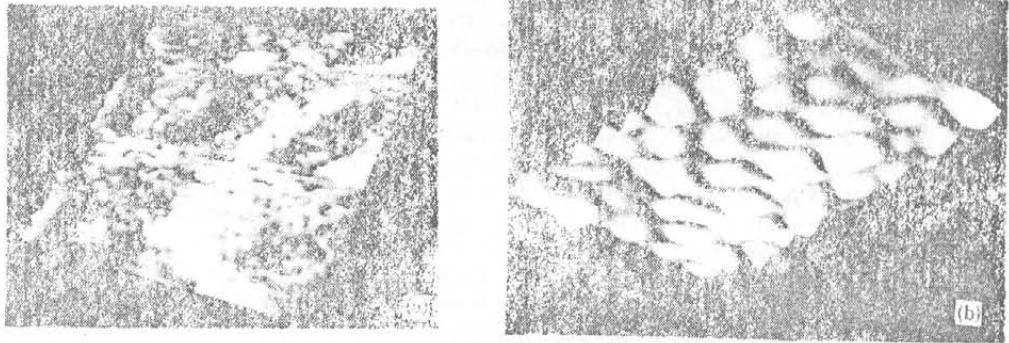


图 2 纳米硅薄膜的三维 STM 近原子图象

扫描区域分别为:

(a) 4.10nm × 4.88nm, (b) 1.7nm × 1.0nm

24.4nm。图 1 表明纳米硅薄膜是由一些超细颗粒构成,而且表面上颗粒排列紧密程度不一样,颗粒之间界限分明。从图 1(a) 特别是从图 1(b) 可估算出组成纳米硅薄膜颗粒的平均尺寸为 3nm—5nm, 这与高分辨电镜 (HREM) 的结果吻合得较好^[1,2]。用机械剪切的 Pt/Ir 针尖对纳米硅薄膜的研究表明纳米颗粒之间区域较平缓,这是由于剪切 Pt/Ir 针尖头部的曲率半径大的缘故^[13]。图 2 给出的是用 Pt/Ir 针尖得到的纳米硅薄膜三维 STM 近原子像。STM 的工作条件是针尖偏压 $V_t = 1.0\text{V}$ 、隧道电流 I_t , 对于图 2(a) 及图 2(b) 分别为 0.4nA 和 0.6nA, 视场区域分别为 4.10nm × 4.88nm (图 2(a))、1.7nm × 1.0nm (图 2(b))。图 2(a) 较亮的部分原子呈有序排列,是纳米晶粒;而暗的区域则为晶粒之间的界面,原子排列较混乱。这与 Gleiter 提出的纳米材料结构模型基本吻合^[3]。图 2(a) 中由于针尖的不稳定性造成两处有拉痕。从图 2(b) 可知原子呈有序排列,相邻原子之间的间距约为 3Å。我们认为此时 STM 所观察到的区域位于颗粒上,因为颗粒处于晶相状态^[1,2],所以能观察到原子有序排列。

实验中发现对纳米硅薄膜成像时选用的针尖偏压不能太小,否则状态不稳定,这可能是由于纳米硅薄膜表面氧化所致。另一方面,在制备纳米硅薄膜样品时,氢的存在使得硅与氢结合对表面的氧化起到阻碍作用。当然,这些结果仅仅是初步的,进一步的工作正在进行之中。

3 结 论

利用 STM 对纳米硅薄膜进行研究,表明纳米硅薄膜由纳米颗粒组成,颗粒的平均大小为 3nm—5nm.同时利用 STM 具有高分辨率的优点,直观地观察到纳米薄膜表面的近原子像,表明纳米颗粒上原子排列有序,而颗粒之间的原子排列较无序.这些结果与高分辨电镜结果相吻合,进一步揭示了纳米硅薄膜的微观结构.

致谢 作者十分感谢与中国科学院半导体研究所褚一鸣研究员、何良高级工程师及北京理工大学林鸿溢教授有益的讨论.

参 考 文 献

- [1] 何宇亮、殷展钟、程光照等,半导体学报,1992,13(11): 683—689.
- [2] 何宇亮、刘湘娜、王志超等,中国科学,A辑,1992,(9): 995—1001.
- [3] Gleiter, H., *Europhysics News*, 1989, 20(9):130—133.
- [4] Zook, J. D., *Appl. Phys. Lett.*, 1980, 37(2):223—226.
- [5] Ashburn, P., Soerowirdjo, B., *IEEE Trans. Electron. Devices*, 1984, Ed-31, 853—860.
- [6] 白春礼编著,扫描隧道显微术及其应用,上海科学技术出版社,1992.
- [7] 王忠怀、戴长春、孙红等,科学通报,1993,38(5): 433—435.
- [8] Gimzewski, J. K., Humbert, A., Pohl, D. W., *Surface Science*, 1986, 168: 795—800.
- [9] Hosaka, S., Sagara, K., Hasegawa, T. et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, 1990, A8(1):270—274.
- [10] Carrejo, J. P., Thundat, T., Nagahara, L. A. et al., *J. Vac. Sci. Technol.*, 1991, 9(2):955—959.
- [11] Sugawara, Y., Fukano, Y., Kamihara, Y. et al., *Ultramicroscopy*, 1992, 42—44:1372—1375.
- [12] 白春礼,科学通报,1989,34(5): 339—340.
- [13] Musselman, I. H., Russell, P. E., *J. Vac. Sci. Technol.*, 1990, A8(4):3558—3562.