

荷能团簇束成膜的表面迁移和附着特性的研究

俞国庆 石 瑛 欧阳振乾 陈景升 张志滨 朱德彰 潘浩昌 徐洪杰

(中国科学院上海原子核研究所核分析开放实验室 上海 201800)

摘要 研究了不同能量的团簇碰撞有机物($\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$)衬底形成的表面形貌。结果表明,团簇能量的增大,增加了团簇原子在基片表面的有效碰撞能和迁移力,也改善了沉积薄膜的附着性、致密性、平整性等。特别是有机物上修饰条纹的出现,是迁移力增加的有力证据。

关键词 荷能团簇,原子力显微镜(AFM),迁移性和附着性

中图分类号 O484, O571.33

团簇束碰撞沉积薄膜已制备了许多高质量的薄膜^[1-4]。一般认为,团簇的尺寸和能量是影响薄膜的两个重要参数。然而,一方面由于在各种团簇源中团簇本身形成的机制还存在争议;另一方面是因为团簇特别是大团簇的探测技术各有缺陷;此外,团簇自身的奇特性质和碰撞时复杂的多体碰撞,增加了揭示机制的难度,也使计算机模拟中势的选择大多带有一定的任意性,并不能代表真正的物理过程,因此,至今对团簇束碰撞沉积薄膜的物理机制还不甚了解^[5,6]。在制备薄膜的过程中,沉积的初始阶段对薄膜的生长方式起着决定性的作用,进而影响薄膜的结构和性能。为此,我们通过不同动能的团簇束碰撞沉积,结合 AFM 观察表面的形貌,开展了荷能团簇束碰撞有机物表面的研究。

1 实验方法

实验装置及其原理见文献[7-8]。实验中,通入高纯(99.999%)的 Ar,溅射高纯的 Ti 靶,在溅射气压 $p_s = 16 \text{ Pa}$ 、溅射电流 $I_s = 0.4 \text{ A}$ 、沉积时间 $t_d = 5 \text{ min}$,在有机物 $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$ 上进行不同能量的沉积。在正式沉积薄膜前,用挡板挡住团簇束流,预溅射数十分钟,这样以避免靶表面上的杂质混入薄膜,对薄膜的沉积初始阶段产生影响。考虑到团簇束沉积时间长和束流太大可能不利于分析,我们选择 $I_s = 0.4 \text{ A}$ 、 $t_d = 5 \text{ min}$ 的沉积条件。选用原子级水平的有机物($\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$)作为基片,是基于这种基片的初始形貌可能不同于 Si 基片的考虑。在下面的实验分析中,我们会进一步论证这一点。

2 实验结果和讨论

用本所核分析开放实验室 STM 组的 AFM 进行表面扫描,并采用轻敲模式。图 1 示出了相同范围($1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$)内不同能量团簇在有机物($\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$)上沉积的表面形貌。图中第一个图是未轰击的基片表面形貌,其余为不同能量的团簇沉积形貌。

国家自然科学基金(19675062)和中国科学院基础研究所资助

第一作者 俞国庆,男,1971 年 5 月出生,中国科学院上海原子核研究所,1999 年 7 月硕士研究生毕业,核物理和粒子物理专业,助理研究员

收稿日期 1999-04-13, 修回日期 1999-07-14

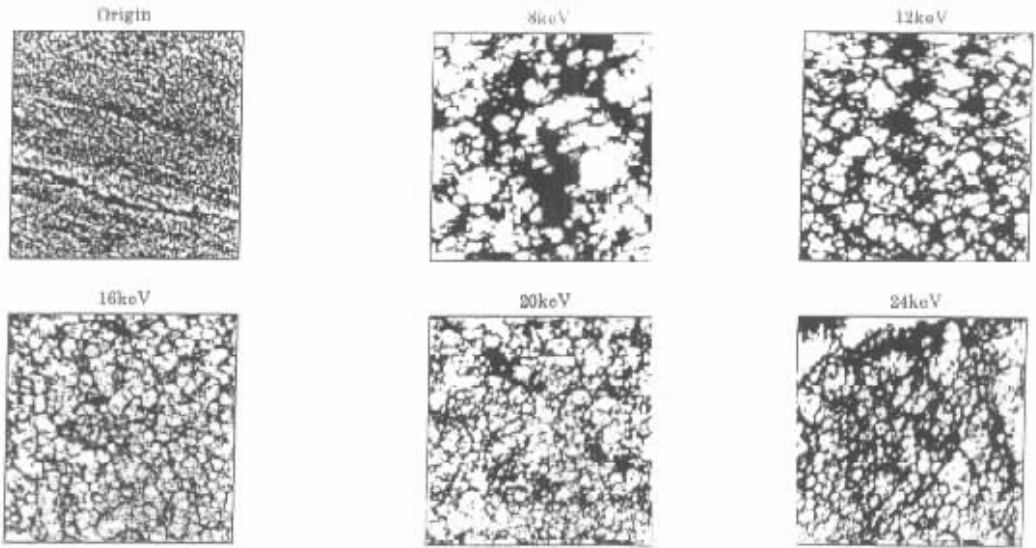


图 1 不同能量的 $(\text{Ti})_n$ 团簇在 $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$ 表面上的 AFM 形貌(范围均为 $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$)

Fig.1 AFM morphology of $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$ bombarded by $(\text{Ti})_n$ with various energies ($1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$)

显然,当团簇能量较低时,团簇束沉积的结构极为松散,薄膜中有许多空洞。衬底表面上的团块(lump)或岛的尺寸和形状,在不同的沉积位置极不相同,形核数目(或形核密度)也少。随着动能的增加,薄膜的结构渐趋致密,空洞明显减小,岛在不同沉积位置的尺寸和形状比较一致,形核数目比前者要大得多。这个实验结果与文献[9]报道的相一致。表面沉积范围也随着团簇动能的增加而显著扩大,这一点用肉眼即可明显地看出。

另外,没有被加速的团簇沉积后,用手轻轻一擦,就可擦掉附着物,而被加速的团簇沉积后,用尖硬的镊子刮,附着物也很难刮掉。这个简单的刮痕实验表明,随着团簇的动能增加,附着在基片表面的薄膜越来越难以刮掉。这说明薄膜的附着性随着动能的增加而提高。

我们认为,发生以上实验现象出于以下的物理机制。团簇在无加速碰撞固体表面时,团簇几乎不碎裂,差不多仍旧保持原来的形态和结构,在衬底上作为一个整体随机地堆积,即所谓的软着陆(soft-landing)现象。这样使得团簇或者偶尔从团簇中分离出来的个别簇原子在基片表面的迁移能力大大降低,形核位置也大大减少,薄膜出现多孔疏松现象。对荷能团簇碰撞表面沉积薄膜而言,情形就不一样。荷能团簇在碰撞表面时,先到达衬底表面的部分簇原子与几乎同时到达的另一部分簇原子(此两部分簇原子组成一个团簇)相互剧烈碰撞,会产生碰撞碎裂现象,结果使得碎裂出来的簇原子获得了平行于衬底表面的侧向动能,有的会克服表面势垒的作用,在表面迁移,既增加了形核位置,又使填充空洞成为可能。因此,团簇动能的增加,实际上导致簇原子迁移力的大幅提高,进而改变薄膜的结构,使薄膜的致密性、均匀性等提高。另外,随着团簇动能的增加,团簇束与基片表面原子的作用程度增加(即团簇有效的碰撞能增加),这样在界面形成了过渡层或原子混合层,从而导致薄膜的附着性提高。因此,我们认为,增加团簇动能,很可能产生了两个效应:簇原子在平行于基片方向上的迁移力增加和垂直方向上的有效碰撞能量的增加。这两个效应将最终改善薄膜的质量。文献[10]进行了 MD 模拟,其结果与我们的实验相吻合。

更值得一提的是,图 2 出现的宽度仅为 nm 级的凸起修饰条纹进一步支持了我们以上的观

点。我们发现在偏压 $V_b = 16、20、24\text{kV}$ 的时候,都存在类似图 2 的修饰条纹。

为确定其来源,我们对未轰击的原始 $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$ 基片进行 AFM 分析,结果如图 3(图 1 中第一个图的放大)所示。图中的凹陷裂纹很可能是因为内应力等对较脆的有机物留下的“天然”印记(这与 Si 表面不同),这个裂纹能够象台阶或其它缺陷一样,能优先收集和捕获粒子。由于簇原子的表面迁移(这种迁移将随着团簇动能的增加而增加),使得大量迁移扩散的粒子附着在凹陷裂纹中,结果出现这样凸起的修饰条纹。如果没有粒子的大量迁移,很难想象会有这种现象。无疑,这是对我们上述观点的强有力支持。

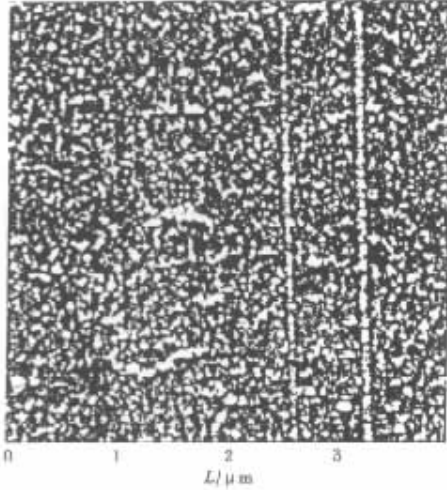


图 2 $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$ 表面上($4\mu\text{m} \times 4\mu\text{m}$) ECI 沉积形成的“修饰条纹”

Fig.2 "Decorated stripes" on $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$ surface deposited by ECI

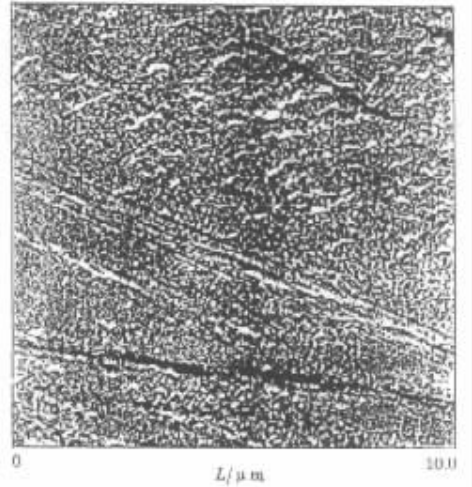


图 3 未轰击的 $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$ 表面 ($10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$) 的 AFM 形貌

Fig.3 AFM surface morphology of original $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$

3 结论

通过不同能量的团簇束碰撞有机物 $\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$ 的实验,我们认为团簇束动能的增加,实际上增加了团簇原子在基片表面的有效碰撞能和迁移力,改善了沉积薄膜的附着性、致密性、平整性等。特别是有机物上修饰条纹的出现,是迁移力增加的有力证据。

参 考 文 献

- 1 Yamada I, Takaoka G H. Jpn J Appl Phys, 1993, **32** 2121
- 2 Haberland H, Mall M, Moseler M, *et al.* J Vac Sci Technol, 1994, **A12** 2925
- 3 Yamada I, Takaoka G H, Usui H, *et al.* Nucl Instr Meth, 1991, **B59/60** 216
- 4 Yamada I, Usui H, Tanaka S, *et al.* Nucl Instr Meth, 1991, **B59/60** 302
- 5 Urban III F K, Feng S W, Nainaparampil J J. J Appl Phys, 1993, **74** 1335
- 6 Turner D, Shanks H. J Appl Phys, 1991, **70** 5385
- 7 YU Guoqing, CHEN Jingshen, SHI Ying, *et al.* Thin Solid Films, 1998, 59

8 YU Guoqing, SHI Ying, XIE D Z, *et al.* Nucl Instr Meth, 1998, **B135** 382—387
9 Muller K H. J Appl Phys, 1987, **61** 2516
10 Haberland H, Insepov Z, Moseler M. Phys Rev, 1995, **B51** 11061

A study on the properties of surface migration and adhesion during energetic cluster impact deposition

YU Guoqing SHI Ying OUYANG Zhenqian CHEN Jingshen ZHANG Zhibin
ZHU Dezhang PAN Haochang XU Hongjie
(*Shanghai Institute of Nuclear Research , the Chinese Academy of Sciences , Shanghai 201800*)

Abstract

The surface morphology of organic material ($\text{CH}_3\text{SiO}_{3/2}$) bombarded by energetic cluster beam was investigated by Atomic Force Microscopy (AFM). The results showed that the migration and adhesion of cluster constituent atoms on the surface would be improved if the cluster energy gradually increased, accordingly improving the quality of film. Especially, the existence of convex stripes on the surface indicated the diffusion ability increased with the increasing cluster energy.

Key words Energetic cluster, AFM, Surface migration and adhesion
CLC O484, O571.33