

文章编号: 0258-7025(2004)06-0698-03

环境气压对脉冲激光烧蚀沉积纳米 Si 薄膜 表面粗糙度的影响

王英龙¹, 张荣梅¹, 傅广生¹, 彭英才², 孙运涛¹

(河北大学¹ 物理科学与技术学院,² 电子信息工程学院, 河北 保定 071002)

摘要 薄膜表面粗糙度是表征薄膜质量的重要指标,为了探求环境气压对脉冲激光烧蚀沉积纳米 Si 薄膜表面粗糙度的影响,采用 XeCl 脉冲准分子激光器,分别在惰性气体氦气和氩气的不同气压环境下烧蚀沉积了纳米 Si 薄膜,用 Tencor Instruments Alpha-Step 200 台阶仪对相应薄膜的表面粗糙度进行了测量。结果表明,薄膜表面粗糙度开始随着气压的增大而逐渐增加,在达到一最大值后便随着气压的增大而减小。由不同气体环境下的结果比较可以看出,充氩气所得 Si 薄膜表面粗糙度比充氦气的小,最大粗糙度强烈地依赖于气体种类。对于原子质量较大的氩气而言,其最大粗糙度仅比低气压时高出 11%,而对于原子质量较小的氦气来说,其最大粗糙度比低气压时高出 314%。

关键词 薄膜物理学; Si 纳米薄膜; 脉冲激光烧蚀; 表面粗糙度

中图分类号 O 484.1 文献标识码 A

Influence of Inert Gas Pressure on the Surface Roughness of Silicon Film Prepared by Pulsed Laser Deposition

WANG Ying-long¹, ZHANG Rong-mei¹,

FU Guang-sheng¹, PENG Ying-cai², SUN Yun-tao¹

(¹Institute of Physics Science and Technology, ²Institute of Electronic and Information Engineering, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China)

Abstract The surface roughness of Si film is an important parameter to describe its quality. In order to investigate the correlation between the surface roughness of silicon film prepared by pulsed laser deposition and gas pressure, by using Lambda Physik XeCl excimer laser, nanocrystalline silicon film is deposited in different inert gas atmospheres such as He and Ar, by using Tencor Instruments Alpha-Step 200, the surface roughness of the sample is measured. The results show that with increasing gas pressure, the roughness of Si film first increases and reaches its maximum and then decrease, furthermore, the numerical value in Ar is less than that in He. The roughness maximum strongly depends on the inert gases used. For the heavier gas, Ar, the maximum is 11% higher than that in the case of very-low pressure, for the gas He, the corresponding values are 314%.

Key words physics of thin film; nanocrystalline silicon film; pulsed laser ablation; surface roughness

1 引 言

Si 基纳米发光材料的制备是 Si 基光电子学研究中的一个重要方面,目前人们已提出了各种用于

具有各种结构特征 Si 基纳米材料的制备方法^[1~3]。在这些制备方法中,激光烧蚀沉积(LAD)技术因具有玷污小和生长速率快等优点,引起了人们的广泛关注^[4]。为获得高质量的 Si 基纳米薄膜,常在系统

收稿日期:2003-02-19

基金项目:河北省自然科学基金(编号:500084,503125)资助项目。

作者简介:王英龙(1965—),男,河北定州人,河北大学物理科学与技术学院副教授,博士,主要从事激光与物质相互作用研究。E-mail:hdwangyl@sina.com

中充入起缓冲作用的某种惰性气体。其中,环境气压对生长速率、薄膜质量有重要影响^[5,6]。

如何调整和优化工艺参数,以获得晶粒尺寸和密度分布均匀的薄膜是 Si 基纳米材料能否实用化的关键,而薄膜的表面粗糙度与晶粒尺寸、密度分布以及晶态比等密切相关。最近, Hadjadj 等实验研究了表面粗糙度对激光退火晶化过程的影响,结果指出,表面粗糙度可以有效降低晶化阈值^[7]。

本工作采用 XeCl 脉冲准分子激光器,分别在惰性气体氦气,氩气环境下烧蚀沉积了纳米 Si 薄膜,实验研究了环境气压对薄膜表面粗糙度的影响,并从机理上给出了相应的理论解释。

2 实验方法

使用 Lambda Physik XeCl 脉冲准分子激光器(波长为 308 nm,脉宽为 15 ns,频率为 3 Hz),固定激光能量密度为 4 J/cm²。当真空反应室的真空度达 2×10^{-4} Pa 后,充入所需的惰性气体(氦气或氩气)。在不同惰性气体的压力下,激光烧蚀电阻率为 3000 $\Omega \cdot \text{cm}$ 的高纯单晶 Si 靶材料,靶衬间距为 3.5 cm,调整环境气压,在(100)单晶 Si 衬底上沉积纳米 Si 薄膜。沉积时间均为 40 min。用 Tencor Instruments Alpha-Step 200 型台阶仪测量相应位置处的薄膜粗糙度。

3 实验结果和讨论

对所得样品进行 Raman 光谱测量,表明薄膜中纳米颗粒已形成。以氩气为环境气体,气压为 7 Pa 时所制备的薄膜的 Raman 谱如图 1 所示,计算可知其纳米颗粒尺寸约为 2.8 nm。

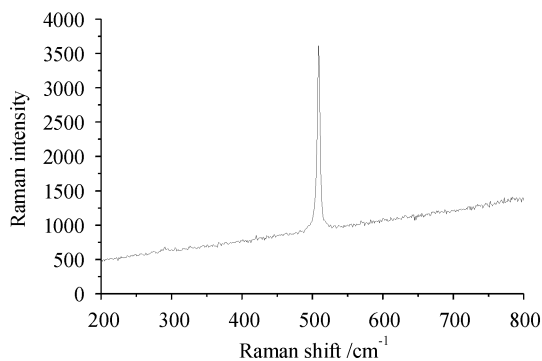


图 1 在 7 Pa Ar 气压下制备的样品 Raman 谱
Fig. 1 Raman spectra of the sample grown at 7 Pa for Ar gas

图 2 实曲线给出了充氦气压为 8.3 Pa 条件下由台阶仪测量的样品厚度分布结果。以图中虚线为分界,右侧平坦区为未成膜的单晶 Si 表面,左侧为制备的薄膜区。以单晶 Si 表面为基准,计算薄膜的平均厚度,将各点厚度与平均厚度差的绝对值再取平均,即得绝对值平均粗糙度。图 2 情况下的粗糙度为 40.5 nm。

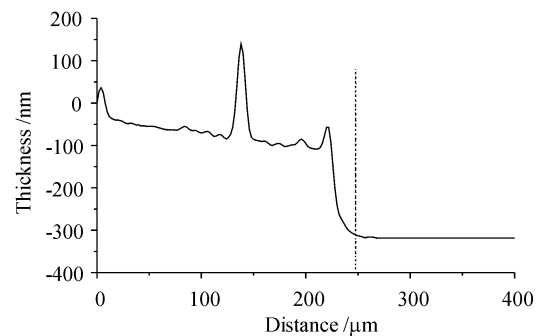


图 2 在 8.3 Pa He 气压下制备的薄膜样品厚度分布
Fig. 2 Thickness of the film at different spots when gas pressure is 8.3 Pa for He

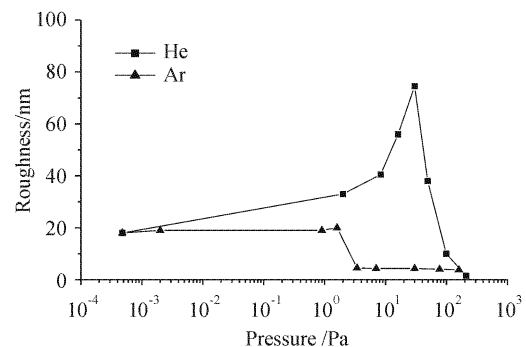


图 3 充 He 或 Ar 时样品粗糙度与气压的关系曲线
Fig. 3 Roughness vs gas pressure for He and Ar

对不同气体种类和不同气压下获得的薄膜表面粗糙度进行了实验研究,其结果示于图 3。由图可知,随着气压增大, Si 纳米薄膜表面粗糙度亦逐渐增加,在达到一最大值后便逐渐减小。对氦气、氩气两种气体,其最大粗糙度分别发生在 30 Pa, 1.6 Pa。同时实验结果还表明,在低气压(4.8×10^{-4} Pa)时,两种气体下制备的薄膜表面粗糙度相同,增大气压,充氦气表面粗糙度比充氩气情况下的相应结果要大,200 Pa 附近,二者又趋于相近。最大粗糙度强烈地依赖于气体种类。对于原子质量较大的氩气而言,其最大粗糙度仅比低气压时高出 11%,而对于原子质量较小的氦气来说,其最大粗糙度比低气压时高出 314%。这可能是由于氩原子与 Si 原子质量

相接近,可以比氦原子更有效地阻止大颗粒沉积的缘故。

因此,从薄膜平整度上讲,采用氩气作为缓冲气体较好,而从后退火以提高晶态比的角度看^[7],采用氦气作为缓冲气体是一种较理想的选择。

4 结 论

采用台阶仪测量,研究了不同环境气体、不同气压下激光烧蚀沉积纳米 Si 薄膜的表面粗糙度,结果指出,表面粗糙度开始随着气压的增大而逐渐增加,在达到一最大值后便随着气压的增大而减小,峰值气压与气体种类有关,充氩气比充氦气的结果小。

参 考 文 献

- 1 T. Inokuma, Y. Wakayama, T. Muramoto *et al.*. Optical properties of Si clusters and Si nanocrystallites in high-temperature annealed SiO_x films [J]. *J. Appl. Phys.*, 1998, **83**(4):2228~2234
- 2 T. S. Iwayama, K. Fujita, S. Nakao *et al.*. Visible photoluminescence in Si⁺-implanted silica glass [J]. *J. Appl. Phys.*, 1994, **75**(12):7779~7783
- 3 T. Yasuda, M. Nishizawa, S. Yamasaki *et al.*. Controlled bond formation between chemical vapor deposition Si and ultrathin SiO₂ layers [J]. *J. Vac. Sci. Technol. B*, 2000, **18**(3):1752~1756
- 4 E. Werwa, A. A. Seraphin, L. A. Chiu *et al.*. Synthesis and processing of silicon nanocrystallites using a pulsed laser ablation supersonic expansion method [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1994, **64**(14):1821~1823
- 5 T. Scharf, H. U. Krebs. Influence of inert gas pressure on deposition rate during pulsed laser deposition [J]. *Appl. Phys. A*, 2002, **75**(5):551~554
- 6 T. Yoshida, S. Takeyama, Y. Yamada *et al.*. Nanometer-sized silicon crystallites prepared by excimer laser ablation in constant pressure inert gas [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1996, **68**(13):1772~1774
- 7 A. Hadjadj, L. Boufendi, S. Huet *et al.*. Role of the surface roughness in laser induced crystallization of nanostructured silicon films [J]. *J. Vac. Sci. Technol. A*, 2000, **18**(2):529~535