

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0462-03

衬底温度对 ZnO 薄膜晶体结构和迁移率的影响

潘志峰^{1,2}, 袁一方¹, 孔繁之²

(¹上海理工大学 光电学院, 上海 200093; ²济宁医学院 物理教研室, 山东 济宁 272013)

摘要 衬底温度是影响 ZnO 薄膜特性的重要因素,可以在很大程度上改变薄膜的结晶结构,温度高低直接影响衬底表面吸附原子的表面迁移率,再蒸发和结晶情况。在室温下测量了不同温度生长的 ZnO 薄膜的 X 射线衍射(XRD)曲线,探讨了最佳结晶质量所需的衬底温度。另外,从迁移率随温度的变化曲线上也得到同样的结果。

关键词 ZnO 薄膜; 晶体结构; 迁移率

中图分类号 O484.4

文献标识码 A

Effect of Substrate Temperature on the Structure of Crystallization and Transfer Rate of ZnO Thin Film

PAN Zhi-feng^{1,2}, YUAN Yi-fang¹, KONG Fan-zhi²

(¹College of Optics and Electronics Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;
²Department of Physics, Jining Medical College, Jining, Shandong 272013, China)

Abstract The substrate temperature is an important factor which affect the character of ZnO thin film and to a great extend, it can change the structure of crystallization of the thin film. The temperature can directly affect the transfer rate of the surface atom of the substrate, reaporize and crystallization. Under the indoor temperature, the XRD curve of the ZnO thin film was measured which grow in the different temperature and the best substrate temperature for the best quality of crystallization was probed. From the temperature curve of the transfer rate, the same result was also got.

Key words ZnO thin film; the structure of crystallization; transfer rate

1 引言

ZnO是一种宽禁带直接带隙II-VI半导体材料,室温下带隙能量为3.37 eV^[1],激子结合能高达60 meV,具有在室温下发射紫外光的必要条件。另外,ZnO还具备较高的导电性能,化学稳定性好,材料来源非常丰富,价格低廉,无毒,易实现掺杂等,这些优点使得它成为一种很有前途的紫外光电子器件材料,极具开发和应用价值^[2-7]。

近年来短波长发光管和激光器一直是半导体光电器件研究的热点。ZnO作为一种直接带隙的宽禁带材料,是继GaN之后光电研究领域又一热门研究课题。与GaN相比,ZnO和GaN的能带间隙和晶格常数非常接近,可互为缓冲层,有相近的光电特性,在某些应用领域显示出比GaN更大的发展潜力。生长ZnO薄膜所用的衬底一般是蓝宝石^[4],但是用蓝宝石作衬底有价格较贵,不易解理以及难以与其他

光电器件集成等缺点。Si是半导体材料生长的常用衬底,不但容易解理、价格便宜,而且目前的主要光电集成器件都是集成在Si衬底上,所以在Si衬底上生长ZnO薄膜具有重要意义。制备ZnO的方法有很多种,如磁控溅射、化学气相沉积、等离子溅射、激光蒸发及分子束外延等。射频磁控溅射法是目前制备ZnO薄膜采用比较多的一种方法,但磁控溅射的生长参量会影响ZnO薄膜的性能,在溅射功率、射频电流等制备参量保持一致的条件下,衬底温度的改变会影响薄膜的结晶程度,从而影响薄膜的结构性质、光学和电学性能。本文主要讨论衬底温度对ZnO薄膜的晶体质量和迁移率的影响。

2 实验

室温下,用射频磁控溅射的方法在n-Si(001)上生长ZnO薄膜。制备前用甲苯、丙酮、酒精、去离子水

基金项目: 山东省教育厅(03C08)资助项目

作者简介: 潘志峰(1969-),男,上海理工大学博士研究生,主要从事薄膜技术方面的研究。E-mail: panzf3780@sina.com.cn

对衬底进行超声清洗, 用比例为 $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=1:1:5$ 的混合溶液加热到 $160\text{ }^\circ\text{C}$ 刻蚀 10 min , 然后用去离子水并用高纯氮气吹干。金属锌的纯度为 99.999% , 靶直径为 76.2 mm 。氧气、氩气分别为反应沉积过程的反应气体和溅射气体, 氧氩比为 $1:3$, 溅射功率为 300 W , 薄膜生长时的真空度为 $3.00\times 10^{-4}\text{ Pa}$ 。

室温下, 用北京大学的 BD90X 射线衍射仪测量样品的 X 射线衍射(XRD)曲线, 通过比较 X 射线衍射谱的差别以及衍射峰的强度和半峰全宽, 分析和判断不同样品的结晶状况。

3 结果和讨论

衬底温度是影响 ZnO 薄膜特性的重要因素, 可以在很大程度上改变薄膜的结晶结构, 使薄膜晶粒取向的偏离度发生大的变化。温度高低直接影响衬底表面吸附原子的表面迁移率、再蒸发和结晶情况。衬底温度较低, 表面吸附原子的迁移率较低, 容易凝聚形成多晶态薄膜。图 1 是一个衬底温度偏低的例子, 在其他条件相同的情况下, 从 X 射线衍射图上可以看到在 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 时溅射获得的薄膜, 出现多个衍射峰, 说明是多晶态薄膜。

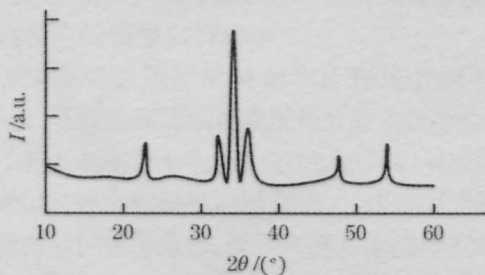


图 1 ZnO 薄膜的 X 射线衍射图($120\text{ }^\circ\text{C}$)

Fig.1 XRD pattern of ZnO thin film($120\text{ }^\circ\text{C}$)

适当的衬底温度($260\text{ }^\circ\text{C}$), 表面吸附原子的迁移率较大, 而吸附不良的原子将发生再蒸发过程, 逸出表面, 因而有利于形成平整光亮的薄膜表面和 C 轴取向良好的薄膜。如图 2, 该衍射峰位于 34.36° , 半峰全宽(FWHM)为 0.22° 。由图 2 可知, 用溅射法制备的

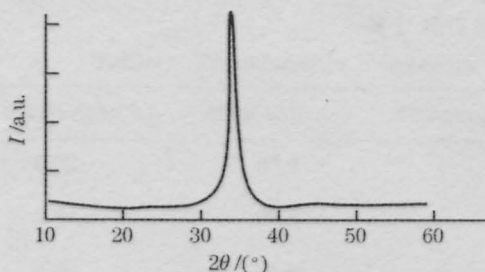


图 2 ZnO 薄膜的 X 射线衍射图($260\text{ }^\circ\text{C}$)

Fig.2 XRD pattern of ZnO thin film($260\text{ }^\circ\text{C}$)

ZnO 薄膜为六角晶系结构, 如图 3, 并具有(002)晶向的择优取向, 即沿纤锌矿结构 C 轴取向生长。

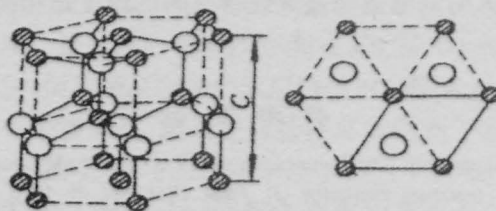


图 3 ZnO 六角晶系结构

Fig.3 Hexangular crystal system structure of ZnO

若衬底温度过高($350\text{ }^\circ\text{C}$), 则晶粒粗大, 取向一致性差, 结晶质量又重新变坏(结晶质量的好坏由 XRD 和 FWHM 可知), 如图 4, 半峰全宽变大, 结晶质量变坏。实验表明, 要生长结晶质量好的 ZnO 薄膜必须找到最佳衬底温度, 最佳的衬底温度选择在 $260\text{ }^\circ\text{C}$ 附近。

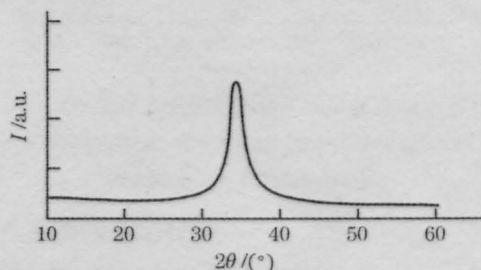


图 4 ZnO 薄膜的 X 射线衍射图($350\text{ }^\circ\text{C}$)

Fig.4 XRD pattern of ZnO thin film ($350\text{ }^\circ\text{C}$)

在衬底温度较低时, 迁移率随衬底温度升高而升高, 到一定温度时, 迁移率达到最大, 而后又随衬底温度的升高而下降。即迁移率存在一个最大值, 如图 5。

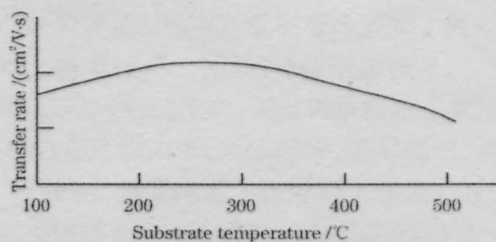


图 5 ZnO 薄膜的迁移率随基片温度的变化

Fig.5 Substrate temperature curve of ZnO thin film transfer rate

迁移率与晶粒的尺寸大小有关, 晶粒尺寸小时, 晶粒与晶粒之间的晶界变大, 载流子迁移时受到散射中心的散射更强, 从而迁移率变小。结晶质量和晶粒尺寸随衬底温度的升高先逐渐变好, 逐渐变大, 到某一温度时, 结晶质量达到最佳, 晶粒尺寸达到最大, 衬底温度再升高时, 结晶质量变差, 晶粒尺寸变

小。对比最大迁移率和最大晶粒尺寸出现时的衬底温度发现,出现在同一温度、结晶质量最好、晶粒尺寸最大时的温度与最大迁移率时的温度是相同温度的。

参 考 文 献

- 1 C. Klingshirn. The luminescence of ZnO under high one- and two-quantum excitation [J]. *Phys. Stat. Sol. B*, 1975, **71**(2): 547-559
- 2 Z. K. Tang, P. Zu. Room temperature ultraviolet laser emission from microstructured ZnO thin film [J]. *Nonlinear Opt.*, 1997, **18**(1):355-359
- 3 D. M. Bagnall, Y. F. Chen. High temperature excitonic stimulated emission from ZnO epitaxial layers [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **73**(8): 1038-1040
- 4 Z. K. Tang, G. K. L. Wong. Room-temperature ultraviolet laser emission from self-assembled ZnO microcrystallite thin films [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1998, **72**(25): 3270-3275
- 5 L. X. Yi, Z. Xu. The ultraviolet and blue luminescence properties of ZnO: Zn thin film [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2001, **46**(1): 1223-1226
- 6 P. Yu, Z. K. Tang. Room-temperature gain spectra and lasing in microcrystalline ZnO thin film [J]. *Cryst. Growth*, 1998, **184**(2): 601-605
- 7 D. M. Bagnall, Y. F. Chen. Optically pumped lasing of ZnO at room temperature [J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1997,**70**(17):2230-2232