

文章编号: 1672-8785(2008)08-0026-04

沉积温度对 PbTe 薄膜结构和光学性能的影响

魏迎春 马勉军

(中国空间技术研究院兰州物理研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 采用电阻热蒸镀法, 分别以不同的沉积温度在锗基底上制备了 PbTe 薄膜。用 X 射线衍射仪 (XRD)、原子力显微镜 (AFM) 和红外光谱测试仪 (System2000) 表征了不同沉积温度下薄膜的微结构和光学特性。结果表明, 沉积温度对 PbTe 薄膜的结构、择优取向、生长方向、晶粒大小、禁带宽度以及短波吸收限均有明显影响。

关键词: PbTe; 沉积温度; XRD; AFM

中图分类号: O408 **文献标识码:** A

Effect of Deposite Temperture on PbTe Film Structure and Its Optical Property

WEI Ying-chun, MA Mian-jun

(Lanzhou Institute of Physics, Chinese Academy of Space Technology, Lanzhou 730000, China)

Abstract: The PbTe films are fabricated respectively on the Ge substrates by using a resistance thermal evaporation deposition method at different deposition temperatures. The microstructures and optical properties of the PbTe films deposited at different temperatures are characterized with a X-ray Diffractor (XRD), an Atom Force Microscope (AFM) and an Infrared (IR) spectrometer (System 2000). The results show that the deposition temperature has an evident effect on the structure, optimal orientation, growth orientation, grain size, band gap and short-wave absorption edge of a PbTe film.

Key words: PbTe; deposit temperature; XRD; AFM

1 引言

PbTe 是制作长波红外滤光片的主要材料, 它是窄禁带半导体化合物, 其禁带宽度仅为 0.33eV。由于它在红外探测、温差致冷等领域具有广阔的应用前景, 因此近年来人们对其进行了多方位的研究。特别是在设计中波红外或者长波红外薄膜干涉滤光片时, 由于 PbTe 薄膜的短波吸收限为 $3.4\mu\text{m}$, 同时透明波段宽, 一般可以延伸到 $50\mu\text{m}$, 而且与 ZnS、ZnSe 等低折射率材料膜层有良好的应力配合, 膜层的牢固度好, 光学性质稳定, 因而是重要的红外光学薄膜

材料, 用它制成的红外薄膜器件的应用也非常广泛。

目前, 国内外许多研究者已对 PbTe 薄膜的制备、结构和性能进行了深入的研究。但是相关的工作大多集中在硅基底上沉积的 PbTe 薄膜上, 对在锗基底上沉积的 PbTe 薄膜的结构和光学性能尚未见到相关报道, 而基底材料的特性与沉积薄膜的微结构和性能却有着密切的关系。因此对在锗基底上沉积的 PbTe 薄膜在不同沉积温度下的薄膜结构和光学特性进行研究有着重要的现实意义和应用价值。

2 实验部分

收稿日期: 2008-04-23

作者简介: 魏迎春 (1974 —), 男, 甘肃皋兰人, 工程师, 硕士研究生, 主要从事光学薄膜设计及工艺的研究。

为了分析沉积温度对薄膜结构的影响, 实验在 175 °C ~ 250 °C 的范围内选 175 °C、200 °C、225 °C 三个温度点作为沉积温度, 在真空度为 4.5×10^{-3} Pa、蒸发电流为 120A 和样品架旋转速率为 8r/min 不变的情况下, 在直径为 13mm、厚度为 1.4mm 的 Ge[111] 基底上, 镀制了厚度为 4.2 μ m 的 PbTe 薄膜, 对其表面形貌进行了 XRD、AFM 表征, 并通过对薄膜透射率曲线的外推, 获得了薄膜的禁带宽度。

3 薄膜的 XRD、AFM 表征

用 X 射线衍射仪对 PbTe 薄膜进行了测试分析, 测试用辐射为 CuK_{α} 辐射, 波长为 0.1541nm, 管压为 40kV, 管流为 100mA。以薄膜附件固定的入射角进行 2θ 扫描, 扫描步长为 0.02°, 扫描速度为 8.00°/min。

图 1 至图 3 为在不同沉积温度下制备的 PbTe 薄膜的 XRD 谱图。可以看出, 在沉积温度为 175 °C 时, 薄膜仅有明显的 [200] 择优取向, 没有其它的衍射峰出现, 薄膜呈现单晶组织结构; 温度上升为 200 °C 时, 除了 $2\theta = 27.14^\circ$ 处的 [200] 晶面衍射峰外, 还出现了较明显的 [220]、[311]、[331] 衍射峰; 当温度为 225 °C 时, [400] 衍射峰的强度增大。XRD 衍射图谱说明, 随着沉积温度的上升, PbTe 薄膜结构会由单晶结构向多晶结构转变。

薄膜的 XRD 衍射峰强度变化表明, PbTe 薄膜在锗基底上生长时, 在不同的沉积温度下, 薄膜的 [200] 晶面的相对衍射强度都最大, 说明薄膜在 [200] 这一特定方向的成键能力明显占有主导优势, 这一特点与 [111] 面的锗基底特性有关。

XRD 的分析说明, 当沉积温度较低时, 吸附粒子的扩散能相应减小, 造成吸附粒子不易在基底上迁移, 同时又由于受到 [200] 取向生长的束缚, 因此形成了单晶结构薄膜; 当温度较高时, 吸附在基底表面上的粒子的扩散迁移能增大, 扩散能力加强, 摆脱了在 [200] 方向成键的优势束缚, 加强了薄膜其它取向生长的成键能力, 如 [220]、[311]、[400] 方向, 因而在高沉积温度条件下, 它们易形成多晶结构的 PbTe 薄膜。

测得薄膜 XRD 衍射峰的半高宽后, 根据 Scherrer 公式 (1) 可计算出薄膜晶粒的大小, 计算结果见表 1。

$$D = K\lambda/\beta \cos \theta \quad (1)$$

$$\lambda_0 = \frac{1.24}{E_g(eV)} \mu m \quad (2)$$

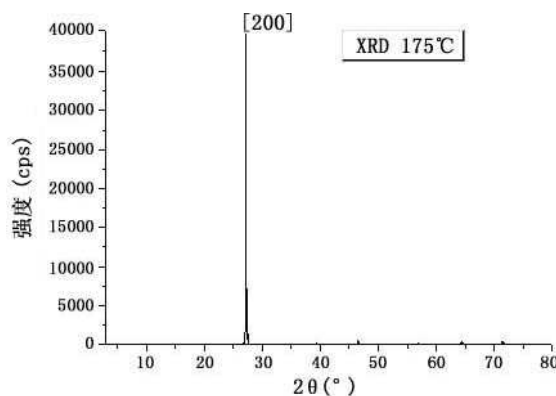


图 1 175 °C PbTe 薄膜的 X 衍射谱

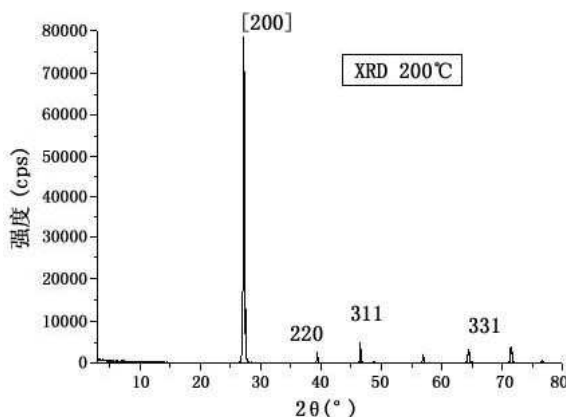


图 2 200 °C PbTe 薄膜的 X 衍射谱

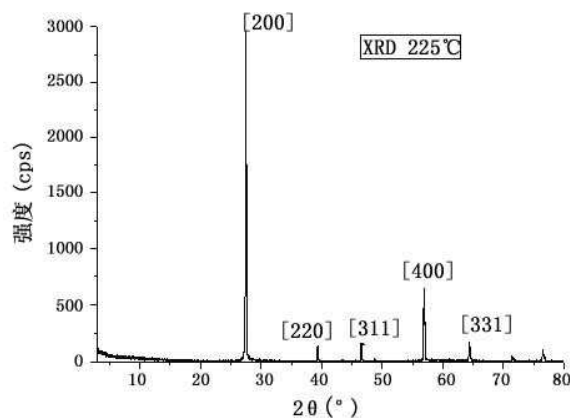


图 3 225 °C PbTe 薄膜的 X 衍射谱

表 1 PbTe 薄膜结构的参数

沉积温度 (℃)	2θ (°)	FWHM (°)	d 值 (nm)	D[200] (nm)	H
175	27.14	0.039	3.2853	262	∞
200	27.48	0.043	3.2431	235	14.2
225	27.52	0.057	3.2384	183	9.4

由表 1 可知, PbTe 薄膜随沉积温度的升高, 薄膜的晶粒大小由 274nm 减小到 183nm; 说明晶

粒大小有下降的趋势。将 [200] 衍射峰强度 I_{200} 与其它峰强度 I_i 之和相比, 即 $H = I_{200} / \sum I_i$, 并用比值 H 描述薄膜 [200] 面的取向程度, 结果见表 1 所列。可以看出, 衬底温度为 175 ℃ 的薄膜的 H 值最大, 沿 a 轴的取向最好。由表 1 可知, 在 175 ℃ 温度下生长的薄膜的 [200] 晶面间距最大, 半高宽最小, 为单晶结构, 取向最好, 表明 175 ℃ 是获得好的薄膜结晶性能的生长温度。

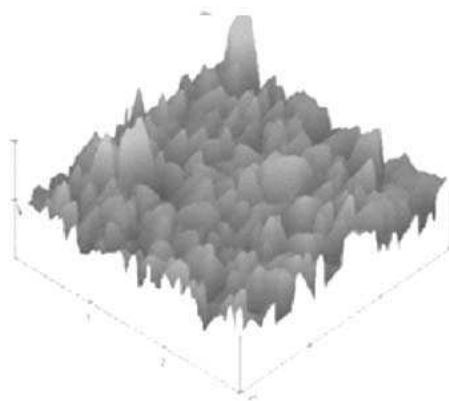
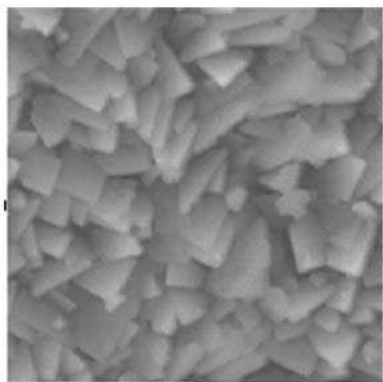


图 4 以 175 ℃ 温度生长的 PbTe 薄膜的 AFM 测试图

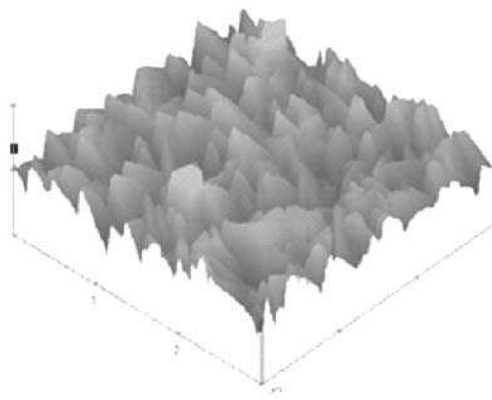
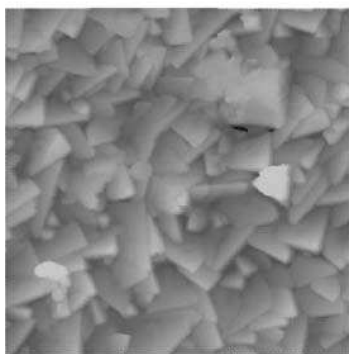


图 5 以 200 ℃ 温度生长的 PbTe 薄膜的 AFM 测试图

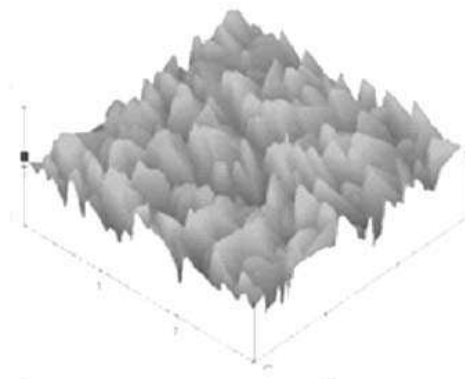
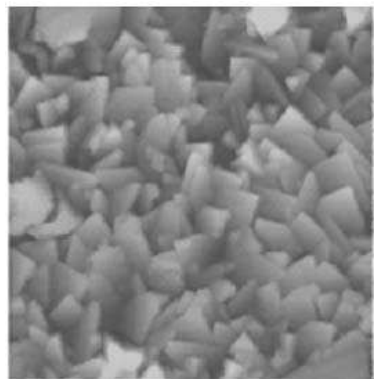


图 6 以 225 ℃ 温度生长的 PbTe 薄膜的 AFM 测试图

图 4 至图 6 分别为在 175 °C、200 °C、225 °C 沉积温度下制备的薄膜的原子力显微镜 (AFM) 测试图。由图可以看出, PbTe 薄膜表面比较粗糙, 晶粒呈现为片状形态, 晶粒尺寸大, 薄膜表面颗粒大小在 200nm ~ 300nm 之间, 与 XRD 的表征结果基本一致; 图 4 的薄膜的均方根粗糙度 (RMS) 为 36, 图 5 的 RMS 为 33nm; 图 6 的 RMS 为 31nm; 通过 AFM 观察薄膜形貌, 发现在 175 °C ~ 225 °C 范围内与 A. Dauscher 用脉冲激光沉积 (PLE) 方法在 BaF₂(111) 基底上制备的 PbTe 薄膜有基本一样的粗糙度, 说明使用电阻热蒸镀法在 Ge[111] 上也可以得到表面粗糙度几乎不变的高质量 PbTe 薄膜。

4 沉积温度对薄膜光学性能的影响

用 System2000 测试了 PbTe 薄膜的透射率, 结果如图 7 所示。在 4μm ~ 15μm 的波长范围内, 以 175 °C 温度制备的薄膜的平均透射率为 35.5%, 200 °C 为 37.2%, 225 °C 为 38.6%。可以看出, 225 °C 薄膜的透射率明显优于 175 °C 薄膜的透射率, 说明在高沉积温度条件下, 薄膜的透射性能可得到改善。

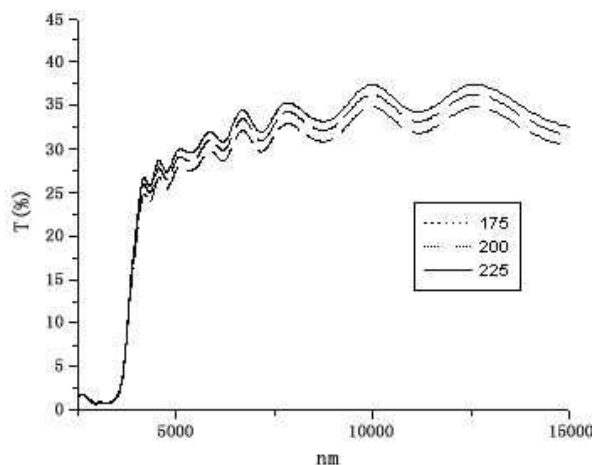


图 7 以不同沉积温度制备的 PbTe 薄膜的透射率曲线

PbTe 薄膜的透射率与沉积温度的关系和薄膜的取向度随温度变化的关系并不一致。这表明结晶好、取向好的薄膜未必有好的光学特性, 因此, 影响薄膜透射率的关键因素并不是薄膜取向, 而是由沉积温度决定的薄膜的其它内部细微结构。

依据图 7 的透射率曲线绘制的 $(\alpha d)^2$ 和光子能量 $h\nu$ 的关系图见图 8。在 $\alpha d = 0$ 时, 由图外推可得到薄膜禁带宽度 E_g , 并根据半导体材料的禁带宽度与短波吸收限关系式 (2) 算出相应的短波吸收限, 结果见表 2。

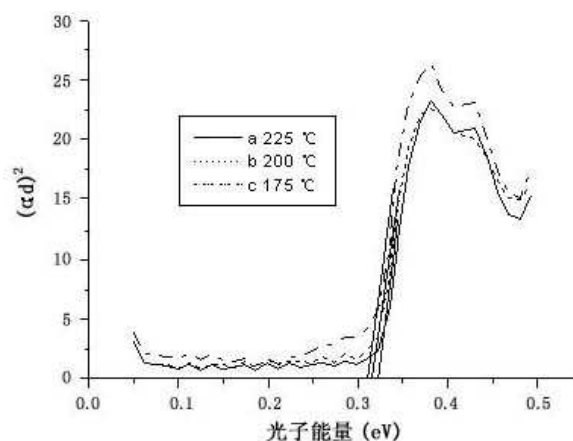


图 8 以不同沉积温度制备的薄膜的 $(\alpha d)^2$ 与光子能量的关系图

表 2 以不同沉积温度制备的薄膜的禁带宽度、短波吸收限

参数 温度 (°C)	禁带宽度 (eV)	短波吸收限 (μm)
175	0.311	3.98
200	0.316	3.92
225	0.323	3.83

表 2 的数据显示, 随着沉积温度的升高, PbTe 薄膜的禁带宽度变宽, 说明沉积温度导致薄膜微观结构发生了微细的变化, 从而影响了薄膜的禁带宽度, 使薄膜的光学性质发生了改变。并且, PbTe 薄膜的短波吸收限也受沉积温度的影响。数据的变化说明, 随着沉积温度的降低, PbTe 薄膜的短波吸收限会向长波方向移动。尤其在较高的沉积温度下 (200 °C ~ 225 °C), 薄膜的短波吸收限受沉积温度的这一影响更为明显。

5 结语

实验结果表明, 沉积温度对 PbTe 薄膜的表面形貌有明显的影

(下转第 48 页)