

研究快报

非晶 InP 薄膜的光学性质与退火效应

陈树光

(中山大学物理系, 广州)

黎锡强

(中国科学院上海冶金研究所)

1988年3月8日收到

本文研究由射频溅射法制备的非晶 InP 薄膜的光学性质及其退火效应。薄膜光学性质由椭圆偏振光谱法测量。退火是在 300、350、400、420℃ 的温度下于密闭容器中进行。结果表明, 经 400℃ 退火后, 薄膜光学性质发生明显改变, 反映薄膜已由非晶态转变为多晶态。指出用光学性质的改变来描述晶化过程可能更加灵敏。

主题词: 非晶态, InP, 光学性质, 退火效应

近年来, 由于 III-V 族化合物半导体在光电器件、微波器件等方面得到广泛应用, 促使制备这些化合物薄膜的新方法相继出现^[1,2]。非晶 III-V 族化合物薄膜的制备和性质也已有报道^[3,4], 但主要集中在 GaAs 和 GaP 方面。

本文采用的非晶 InP 薄膜是在高纯 Ar 气氛中由射频溅射法获得, 溅射频率为 13.5 MHz, 靶用 InP 多晶片, 衬底采用抛光 Si(111)、GaAs(100)、InP(100) 等。溅射时, 衬底保持低温, 以获得非晶态; 为了满足化学计量比, 工作室中须适当增加磷的分压。薄膜的组分和结构由 X 光衍射法、反射电子衍射法、扫描电镜、俄歇能谱等方法确定。已经证实, 在适当条件下可以由本法获得符合化学计量比的非晶 InP 薄膜^[5]。

InP 薄膜的光学性质由椭圆偏振光谱法测量^[6], 测量的波长范围为 3000—8000 Å, 由三相模型进行数据处理。退火在密封的真空容器中进行, 为了防止 InP 薄膜受热时产生磷的缺位, 已预先在容器中放入适量的高纯磷。退火温度分别为 300、350、400、420℃, 时间 40 分钟, 每次退火后立即进行清洁处理和光学性质测量, 并进行 X 射线衍射的研究。

表 1 表示非晶 InP 薄膜的制备条件与光学能隙 E_0 及参数 B 的关系。 E_0 及 B 的数值由 Tauc 方程

$$\alpha h\nu = B(h\nu - E_0)^2$$

确定, 式中 α 为光吸收系数。在测量的能量范围内, $(\alpha h\nu)^{\frac{1}{2}}$ 与 $(h\nu - E_0)$ 的关系通常具有较好的线性, 可知吸收曲线中尚未出现指数吸收区。

非晶薄膜的光学性质与其组分及结构密切相关, 为了能同时满足化学计量比及非晶态的要求, 制备条件必须受到一定限制。若溅射电压超出这一范围, 或衬底温度太高, 都不能获得符合上述要求的样品。反之, 满足上述要求的样品, 其光学性质也应相近。表 1

表 1 非晶 InP 薄膜的制备条件与某些光学性质

样品编号	衬底材料	溅射电压 (V)	溅射时间 (分)	光学能隙 E_g (eV)	B $\text{cm}^{-1} \text{eV}^{-1}$
No. 43	Si	1500	40	0.77	3.91×10^6
No. 49	GaAs	1500	45	0.84	3.94×10^6
No. 53	Si	1600	40	0.62	3.25×10^6
No. 77	GaAs	1350	40	0.52	2.83×10^6

中各样品的 E_g 值及 B 值比较接近, 反映这些样品的 $\alpha \sim h\nu$ 曲线形状相似。而各样品光学性质的不完全一致, 则与样品中空洞所占的比例有关。根据有效介质理论, 薄膜中空洞所占比例的改变必然引起复介电常数的改变, 因而导致光学常数的差异。

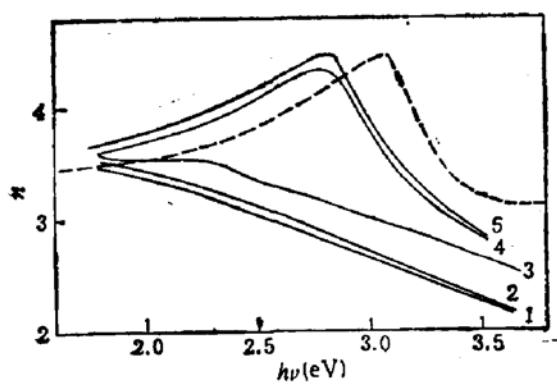


图 1 不同温度退火后, InP 薄膜的 $n \sim h\nu$ 曲线。
1—5 分别为未退火、300、350、400、420℃退火。虚线表示单晶 InP 的结果

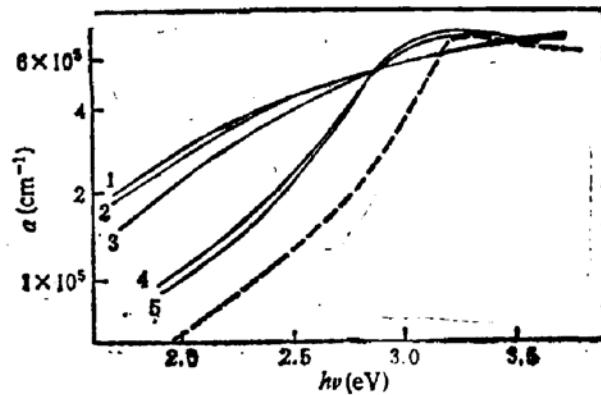


图 2 InP 薄膜的 $\alpha \sim h\nu$ 曲线(1—5 意义同图 1)

图 1 表示 No.77 样品经不同温度退火后的 $n \sim h\nu$ 曲线, n 为 InP 薄膜的折射率。可以看到, 经 300℃ 退火后, 曲线与未退火前非常接近, 说明在该温度下退火尚不足以改变薄膜的结构; 350℃ 退火后曲线略有改变, 但变化不大, 而经 400℃ 退火后, $n \sim h\nu$ 曲线发生了明显变化, 由原来单调下降变为出现单峰结构, 峰对应的光子能量为 2.8 eV, 对应的 n 值约 4.28, 远大于未退火时的 n 值。图中虚线表示 InP 单晶的 $n \sim h\nu$ 关系^[7], 在图中所显示的能量范围内, 它也出现单峰, 并且与退火样品曲线形状相似, 这反映非晶 InP 经 400℃ 退火后其结构已发生转变, 从非晶态转变为多晶态。两者峰值对应的光子能量不一致, 说明单纯热退火尚不能获得单晶。420℃ 下退火的 $n \sim h\nu$ 曲线与 400℃ 退火的曲线很接近, 峰值稍高, 并略向高能方向移动, 反映薄膜中的晶粒逐渐变大。

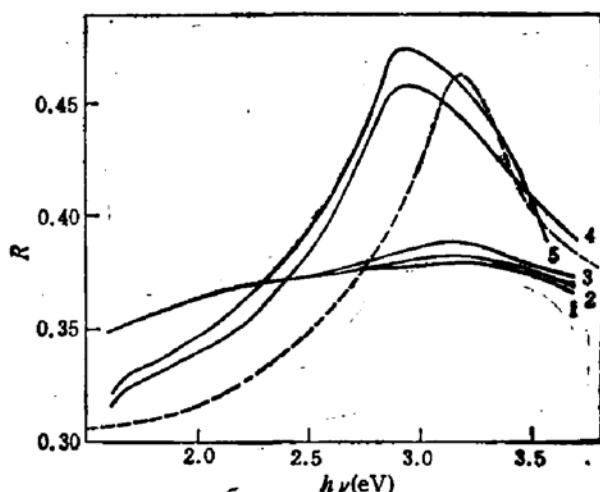


图 3 InP 薄膜的 $R \sim h\nu$ 曲线(1—5 意义同图 1)

图 2 及图 3 分别表示同一样品经上述温度退火后的 $\alpha \sim h\nu$ 及 $R \sim h\nu$ 曲线, R 为,

InP 薄膜的反射率。像图1一样,在300℃下退火,曲线基本没有变化,而经400℃退火后,曲线都发生突变,趋向于单晶InP的对应曲线^[7](用虚线表示)。退火后 $\epsilon_1 \sim h\nu$ 、 $\epsilon_2 \sim h\nu$ 关系的研究也得到与以上相同的结果, ϵ_1 、 ϵ_2 分别为薄膜复介电常数的实部和虚部。由此可以得到结论, InP 薄膜从非晶态到多晶态的转变温度约为400℃。

用X光衍射法研究了每次退火后 InP 薄膜结构的变化,结果发现在420℃退火后, InP 衬底上生长的薄膜有衍射峰出现^[8]。这与上述由光学性质的改变所得到的转变温度基本一致,而由光学性质的改变来判断从非晶态到多晶态的转变或许更加灵敏。

魏斌同志参加部分实验工作,作者表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Shosan Iida, *Appl. Phys. Lett.*, **46**, 496(1985).
- [2] V. M. Donnelly, D. Brasen, A. Appelbaum, and M. Geva, *J. Vac. Sci. Technol.*, **A4**, 716(1986).
- [3] Adriana Gheorghiev and Marie-Luce Theye, *Philosophical Magazine* **B44**, 285(1981).
- [4] Z. P. Wang, L. Ley, M. Cardona, *Physical Review*, **B26**, 3249(1982).
- [5] 黎锡强,应用科学学报, **5**,66(1987).
- [6] 陈树光、叶贤京、莫党,半导体学报, **3**,23(1982).
- [7] D. E. Aspnes and A. A. Studna, *Physical Review*, **B27**, 985(1982).

Optical Properties and Annealing Effects of Amorphous InP Films

Chen Shuguang

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou)

Li Xiqiang

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

Abstract

The optical properties and annealing effects of amorphous InP films prepared by rf sputtering have been investigated. The optical properties were measured with a spectroscopic ellipsometry and the thermal annealing was carried out in a tight chamber under 300, 350, 400 and 420°C. The results show that the optical properties of InP films changed distinctly, indicating the film transformed from amorphous to crystalline InP after annealing at 400°C. We propose that the changes of optical properties can be used to describe the crystallization process and it is probably more sensitive than other descriptions.

KEY WORDS: Amorphous, InP, Optical properties, Annealing effects