

文章编号: 1672-2892(2011)03-0358-03

基于高温扩散的 AlGaAs 靶制备

阎大伟, 吴卫东, 王雪敏, 王瑜英, 沈昌乐, 彭丽萍

(中国工程物理研究院 激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

摘要: 基于高温扩散理论, 研究了不同温度下 Al 在 GaAs 中的扩散情况。利用扫描电子显微镜(SEM)对 Al 在 GaAs 中的浓度分布和 Al 与 GaAs 的界面进行了表征。结果表明: 当扩散温度较低时(650 ℃), Al 在 GaAs 中扩散较快, 可获得较佳的扩散结果。当温度升高后(800 ℃), GaAs 中的 As 挥发增强, 其在 Al 和 GaAs 界面处富集, 阻碍了 Al 向 GaAs 中的扩散。最后根据实验结果, 利用 Fick 定律计算了在 650 ℃下 AlGaAs 靶的制备时间。

关键词: AlGaAs; 高温扩散; 扫描电子显微镜

中图分类号: TN249; O791

文献标识码: A

Fabrication of AlGaAs alloy using diffusion method

YAN Da-wei, WU Wei-dong, WANG Xue-min, WANG Yu-ying, SHEN Chang-le, PENG Li-ping

(Research Center of Laser Fusion, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: AlGaAs alloy was prepared using diffusion method under 650 ℃ and 800 ℃. The effect of temperature on the diffusion rate of AlGaAs alloy was investigated by Scanning Electron Microscopy(SEM). The results showed that diffusion rate decreased as the temperature increased. It was suggested that the high temperature would promote the enrichment of As atoms at the interface of Al and GaAs, which would withdraw the further diffusion of Al. The preparation time of AlGaAs under 650 ℃ was calculated in Fick law according to the experiments.

Key words: AlGaAs; diffusion method; Scanning Electron Microscopy(SEM)

频率在 0.1 THz~10 THz 的电磁波称为太赫兹波, 波段位于电磁波谱中毫米波和远红外光之间(30 μm~3 mm, 所以亦有文献称其为亚毫米波), 是光子学技术与电子学技术、宏观与微观的过渡区域。作为 THz 频段应用的关键器件, THz 辐射源在材料表征、医学诊断、环境检测、THz 成像、宽带无线通信以及短距离保密通信等领域都有广泛的应用前景^[1-8]。可以将 THz 辐射源粗略地分为不相干的热辐射源、宽频带辐射源以及窄频带辐射源。光电导和光整流是最常见的 2 种产生宽频带脉冲 THz 辐射的方法。目前, 这些方法的转换效率低, 发射 THz 光束的平均功率只有纳瓦到微瓦量级。产生窄频带 THz 辐射的方法也有很多种, 包括微波频率上转换、自由电子激光器以及反向波管等等。上述产生窄频带 THz 辐射的方法各有利弊, 例如上转换技术主要用于发射低功率连续的 THz 波; 自由电子激光器体积巨大, 造价昂贵等等。在 THz 激光中, 半导体激光是一种重要的产生窄频带 THz 的辐射源。近年来, 随着半导体薄膜生长技术的进步, 精确控制生长纳米级厚度的半导体薄膜已经成为现实。因此, 基于多量子阱级联结构的 GaAs/AlGaAs 太赫兹量子级联激光器(THz Quantum Cascade Laser, THz QCL)具有能量转换效率高、体积小、轻便和易集成等优点, 成为目前的研究热点。采用激光分子束外延方法制备 GaAs/AlGaAs 量子阱超晶格材料的一个关键问题是如何获取高质量 AlGaAs 靶材。本文基于高温扩散理论, 研究了高温下 Al 在 GaAs 中的扩散情况, 获得了激光分子束外延用 AlGaAs 靶材。

1 实验

基于高温扩散理论, 利用自行设计的高温扩散装置研究了 Al 在 GaAs 中的扩散情况。实验采用 99.999%Al 和 99.999 %GaAs 为原料, 将扩散真空室抽真空至 5×10^{-5} Pa 后充入压强为 1 个大气压的高纯 Ar 气。在 Ar 气保

护下, 通过 24 h 850 °C 高温扩散, 得到了 AlGaAs 三元合金。实验结束后, 利用透射电子显微镜对 Al 在 GaAs 中的扩散进行了表征分析。

2 实验结果

因为 GaAs 熔点为 1 240 °C, 以 Al 的熔点 660 °C 为界, 分别研究了 650 °C 下的固-固和 800 °C 下的固-液 2 种扩散模式下 Al 在 GaAs 中的扩散。图 1 为 650 °C (样品 A) 和 800 °C (样品 B) 下扩散 12 h 后 Al 沿 GaAs 纵向方向的浓度分布。从图中可以发现, 在 650 °C 下, Al 的扩散深度明显大于 800 °C 下的结果。

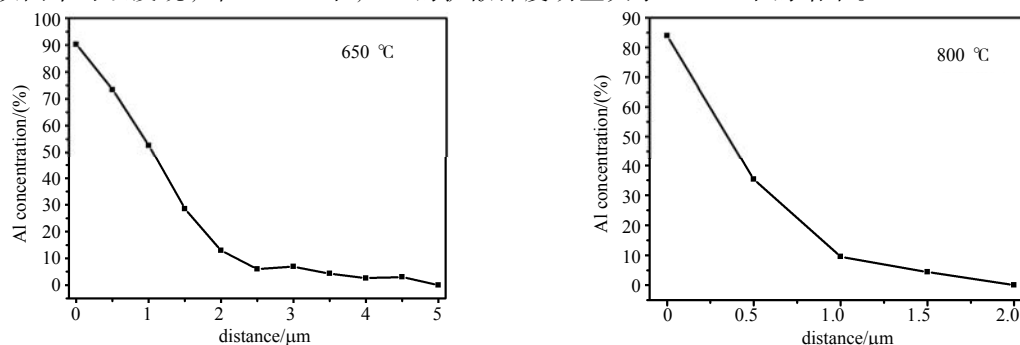


Fig.1 Al concentration vs. diffusion depth under 650 °C and 800 °C

图 1 650 °C 和 800 °C 下扩散 12 h 后 Al 在 GaAs 基片内的浓度分布

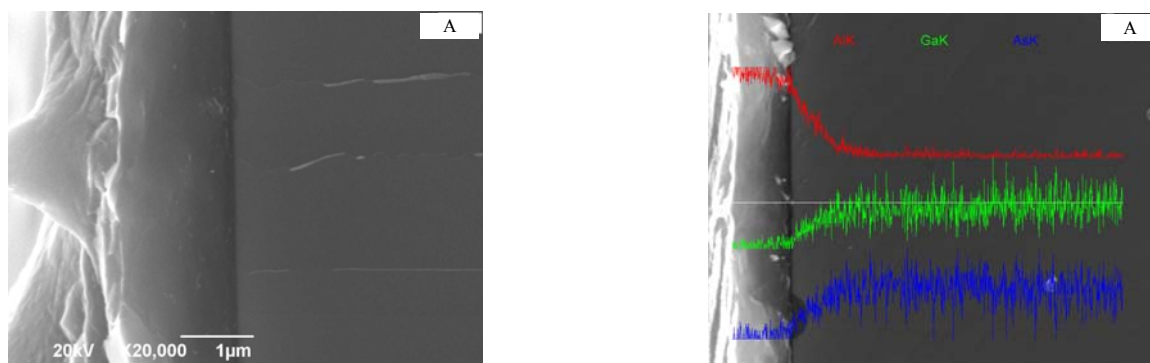


Fig.2 Cross-section image and line scan pattern of sample A

图 2 样品 A 的断面图和线扫结果

为进一步研究温度对 Al 在 GaAs 中扩散的影响, 对这 2 个样品的界面进行了表征, 并利用线扫得到了 Al, Ga, As 和 O 元素的分布。图 2 为样品 A 的断面图和沿断面的线扫图, 图 3 为样品 B 的断面图和沿断面的线扫图。从图中可以看到, 当扩散温度为 650 °C 时, Al 和 GaAs 基底界面清晰, 并且没有发现 O 元素的分布。当温度升高到 800 °C 后, 可观察到断面明显分为 3 部分。通过线扫结果可知, 最外层为 Al 的氧化物, 中间层为 Al, 内层为 GaAs 基底。从线扫结果还可发现, Al 中间层中含有 Ga 和 As 元素, 说明 Al 膜与 GaAs 基底发生了互扩散。同时 As 元素在 Al 膜和 GaAs 基底界面处发生了富集, 作者认为这是由于温度升高后 As 的挥发性增强所致。由于 As 的富集, 阻碍了 Al 进一步向 GaAs 基底的扩散, 使得温度升高后扩散速度反而降低。

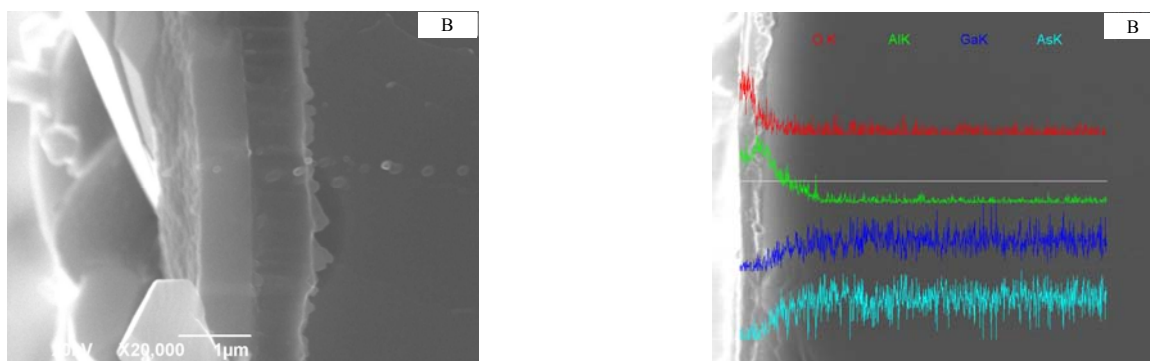


Fig.3 Cross-section image and line scan pattern of sample B

图 3 样品 B 的断面图和线扫结果

因为 Al 和 GaAs 构成的扩散层在界面 $x=0$ 处浓度相差接近于 100%，采用半无限长棒扩散模型计算了扩散温度为 650 °C 时制靶所需时间。Fick 第二定律：

$$\frac{\partial C}{\partial T} = D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad (1)$$

可描述此扩散问题。初始条件如下：

$$T = 0, X > 0, C = 0 \quad (2)$$

边界条件为：

$$T \geq 0, X > 0, C = C_s \quad (3)$$

$$X = \infty, C = 0 \quad (4)$$

式中： T 为扩散时间； X 为某点距 Al 和 GaAs 界面的距离； C 为 X 处 Al 的浓度； C_s 为界面处 Al 浓度，此处可取为 100%； D 为扩散系数，可由实验测得。此处定义 $\beta = X / 2\sqrt{DT}$ ，结合式(2)和式(3)，采用式(4)，求解式(1)，可得：

$$C(X, T) = C_s [1 - \operatorname{erf}(\beta)] \quad (5)$$

式中 $\operatorname{erf}(\beta)$ 为高斯误差函数，可查表求解。根据制靶要求，设 $X=1.5 \text{ mm}$ ， $C(X, T)=15\%$ ，通过求解方程(5)可得出在此温度下制靶时间约为 1 428 h。

3 结论

- 1) 高温下 GaAs 易挥发，降低了 Al 在 GaAs 中的扩散，使得固-固扩散速率大于固-液扩散速率。
- 2) 温度对扩散速率具有很大影响，要获得最佳扩散结果需采用相对较低温度(650 °C)。
- 3) 结合实验数据，由 Fick 扩散定律得到了在 650 °C 下制靶时间约为 1 428 h。

参考文献：

- [1] Ferguson B, 张希成. 太赫兹科学与技术研究回顾[J]. 物理, 2003, 32(5): 286-293. (Ferguson B, ZHANG Xicheng. Materials for terahertz science and technology[J]. Physics, 2003, 32(5): 286-293.)
- [2] Siegel P H. Terahertz technology[J]. IEEE Trans. Microw Theor. Tech., 2002, 50(3): 910-928.
- [3] 曹俊诚. 太赫兹辐射源与探测器研究进展[J]. 功能材料与器件学报, 2003, 9(2): 111-117. (CAO Juncheng. Research progress of terahertz source and detectors[J]. Journal of Functional Materials and Devices, 2003, 9(2): 111-117.)
- [4] Cao J C. Interband impact ionization and nonlinear absorption of terahertz radiations in semiconductor heterostructures[J]. Phys. Rev. Lett., 2003, 91(23): 237401-237404.
- [5] Liu H C, Song C Y, Wasilewski Z R, et al. Coupled electron-phonon modes in optically pumped resonant intersubband lasers[J]. Phys. Rev. Lett., 2003, 90(7): 077402-1-077402-4.
- [6] Faist J, Capasso F, Sivco D, et al. Quantum Cascade Laser[J]. Science, 1994, 264(5158): 553-556.
- [7] Shen Y C, Lo T, Taday P F, et al. Detection and identification of explosives using terahertz pulsed spectroscopic imaging[J]. Appl. Phys. Lett., 2005, 86(24): 241116-241118.
- [8] Kemp M C, Taday P F, Cole B E, et al. Security applications of terahertz technology[C]// Proc. SPIE, 2003, 5070: 44-52.

作者简介：



阎大伟(1984-), 男, 河南焦作人, 在读博士研究生, 研究方向为新型多功能薄膜材料及光电器件. email: clever1984@gmail.com.

吴卫东(1967-), 男, 湖北武汉人, 博士, 研究员, 研究方向为 ICF 薄膜科学与制备技术及纳米材料等领域.

王雪敏(1975-), 男, 四川泸州人, 博士, 副研究员, 研究方向为新型薄膜材料及光电器件.

王瑜英(1987-), 男, 江西赣州人, 博士, 研究方向为新型多功能薄膜材料及光电器件.

彭丽萍(1979-), 女, 河南周口人, 博士, 主要研究方向为新型多功能薄膜材料及光电器件.

沈昌乐(1981-), 男, 上海市人, 博士, 教授, 研究方向为多维信号与信息处理、先进探测技术.