

221-223

硅基 GaAs/GaAlAs 平面光波导的研究

赵策洲 朱作云 李跃进

(西安电子科技大学微电子所, 陕西, 西安, 710071)

刘恩科 李国正 刘西钉

(西安交通大学电子工程系, 陕西, 西安, 710049)

TN252

A

摘要 分析了金属有机化合物化学气相淀积(MOCVD)GaAs/GaAsAl/GaAs/Si 材料结构的性能, 用 MOCVD 法在硅衬底上生长了 GaAs/GaAsAl/GaAs 材料, 并用这种材料制备了平面光波导样品, 测出 1.3 μ m 单模激光的传输损耗小于 0.65dB/cm.

关键词 GaAs/GaAsAl/GaAs/Si 结构, MOCVD, 光波导.

砷化镓

引言

(14)

目前, 硅光集成器件的主要材料是 Si 和 SOI(Silicon on Insulator). 由于硅和 SOI 材料能形成光波导结构, 而且具有低的传输损耗, 加上硅的非线性电光效应—等光子体色散效应, 使得硅集成光学器件有很大的发展^[1~3]. 但是, 由于硅是间接带隙半导体, 在集成光路中难以作为光源, 因此发展了硅基集成光学^[4~5]. 把半导体激光器做在硅衬底上^[5~6], 是解决硅基集成光路光源的有效途径. 由于硅材料具有加工工艺成熟, 材料稳定, 兼容性好, 材料价格低, 尺寸大, 以及易于超大规模集成等优点, 硅基材料比 GaAs 基材料更有优越性.

硅基集成光路的基本结构是平面波导, 制备高性能的硅基材料是硅基集成光路的前提. 本文报道了用常压 MOCVD 技术制备了高性能的 GaAs/GaAsAl/GaAs/Si 材料, 试制了硅基平面光波导样品, 并测试了它的传输特性.

1 GaAs/GaAsAl/GaAs/Si 材料结构与性能

1.1 GaAs/Si 缓冲层的生长

以常压 MOCVD 技术, 采用直接生长法(两步法)进行 GaAs/Si 缓冲层的生长, 其生长步骤如下: (1)衬底片采用 P 型 [100] 向 [011] 偏 4° 的单晶抛光硅片, 硅片 $\rho = 35\Omega\text{cm}$, 厚度为 300 μm ; (2)在硅片进反应室前对其进行常规清洗; (3)在 $\text{H}_2 + \text{AsH}_3$ 气氛下, 对硅片进行 1000°C 高温处理; (4)在 400~450°C 下通入 $\text{TMG} + \text{AsH}_3 + \text{H}_2$ 气氛, 生长 20~25nm 过渡层.

1.2 GaAs/Ga_{0.7}Al_{0.3}As/GaAs/Si 材料多层结构的生长

在缓冲层生长的基础上进行多层结构的生长. 其工艺步骤如下: (1)在 700~750°C 条件下, 通入 $\text{TMG} + \text{AsH}_3 + \text{H}_2$ 气氛生长 GaAs 层, 其厚度约为 1.5 μm ; (2)在 720~750°C 下通入 $\text{TMG} + \text{AsH}_3 + \text{TMA} + \text{H}_2$ 气氛, 生长 Ga_{0.7}Al_{0.3}As 衬底层, 其厚度约为 2 μm ; (3)在 700~750°C 下再通入 $\text{TMG} + \text{AsH}_3 + \text{H}_2$ 气氛, 生长 GaAs 波导层, 其厚度为 0.42 μm .

1.3 材料性能

1989 年文献[7]报道用 LP-MOCVD 技术生长的材料参数为:(1)GaAs/Si (100) 77K PL 谱半峰宽为 20meV;(2) GaAs/Si(100) X-射线双晶衍射回摆曲线半峰宽为 250arcs. 本文用常压 MOCVD 技术生长的材料测试参数为:(1)GaAs/Si 和 GaAsAl/GaAs/Si (100) 77K PL 谱半峰宽分别为 17meV 和 24meV;(2)GaAs/Si 和 GaAsAl/GaAs/Si (100) X-射线双晶衍射回摆曲线半峰宽分别为 200arcs 和 260arcs;(3)GaAs/Si 和 GaAsAl/GaAs/Si (100) 电化学 C-V 曲线表明,非人为掺杂时最低载流子浓度分别为 $2.5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 和 $3 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$, GaAs 厚度为 $1.5 \mu\text{m}$. 从以上结果可见,本文报道的材料对光的吸收接近本征材料的吸收,材料的单晶性及晶格的完整性都较理想.

2 光波导样品的制备及传输损耗的测量

沿 GaAs/Si 多层材料园片的径向,依次分割若干块 $8 \times 10 \text{mm}^2$ 样品,并将较长的对边的侧面用化学机械抛光成镜面,要求这两侧面平行,而且都与表面垂直. 这样,在 $1.3 \mu\text{m}$ 波长下,由于平面波导衬底 $\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$ 的折射率(为 3.612)^[8]和包层空气的折射率(为 1)比导波层 GaAs 的折射率(为 3.4049)^[9]都小,因此,从一个抛光端面入射的光在衬底和包层的两界面上全反射,在另一个端面出射,从而形成平面波导.

用波长为 $1.3 \mu\text{m}$ 带尾纤的 InGaAsP 半导体激光器进行测试,样品装在能进行多维调节(指 x, y, z 方向的平动和 θ 角水平面的转动)的平台上,入射激光通过芯径为 $9 \mu\text{m}$ 的尾纤入射到 100 倍的物镜上,然后聚焦于波导样品的入射面,导波光束被聚焦在出射端面的另一 40 倍的物镜上,并成像在红外变像管上,以便观察波导的近场光斑. 两个物镜同样可进行多维调节. 用光功率计取代红外变像管,通过测试并由下式计算得到光波导样品的传输损耗(平均小于 0.65dB/cm).

$$L_t = \frac{L_i - L_f - 2L_m}{l} (\text{dB/cm}),$$

式中 l 为经抛光后不同样品沿测试方向的长度,单位为 cm. L_m 为失配损耗,由入射光束和波导传输光束的模式失配以及出射光束和波导传输光束的模式失配引起. 本平面波导是单模波导(维持单模条件要求导波层的厚度在 $0.2675 \sim 0.9317 \mu\text{m}$ 之间^[8]), $L_m = 1.6 \text{dB}$ ^[10], 所引入的误差为 $\pm 0.1 \text{dB/cm}$. L_f 为非涅耳反射损耗,它由空气和半导体界面性质决定. 在光正入射端面时,每个端面的反射损耗 $L_f = 10 \lg[1/(1-R)]$, 其中 R 是反射系数. L_i 为插入损耗,它的大小由波导材料的吸收、波导结构上下两界面对光的散射和耦合等损耗决定,它的表达式为 $L_i = 10 \lg(P_i/P_0)$, 其中 P_i 和 P_0 分别为无样品时和光经波导出射后光功率计探测的功率大小.

3 结论

硅基砷化镓多层材料是一种很有前途的光波导材料. 本文应用常压 MOCVD 技术生长了性能良好的硅基砷化镓多层结构材料,由该材料制成的平面光波导在 $1.3 \mu\text{m}$ 光波时单模传输损耗平均小于 0.65dB/cm.

致谢:对中国科学院长春物理研究所激发态开放实验室和中国科学院半导体研究所理化分析测试中心 X 光实验室帮助完成低温光致发光谱的测量和 X 射线双晶衍射回摆曲线的测量,以及中国科学院半导体研究所理化室和电子部 13 所测试中心帮助完成电化学 C-V 特性的测量表示感谢。

参考文献

- 1 Fischer U, Zinke T, Schuppert B, et al. *Electronics Lett.*, 1994; **30**(5): 406~408.
- 2 Liu Y L, Liu E K, Li G Z, et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1994; **64**(16): 2079~2080.
- 3 Liu Y L, Liu E K, Li G Z, et al. *Electronics Lett.*, 1994; **30**(2): 130~131.
- 4 Mui Y L, Karunasiri R P G, Wang K L. *Appl. Phys. Lett.*, 1988; **53**(21): 2050~2052.
- 5 Zie J P, Dupuis R D, Logan R A, et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1987; **51**(2): 89~91.
- 6 Murray R, Roberts C, Woodbridge K, et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1993; **62**(23): 2929~2931.
- 7 Razeghi M. *Pro. Crystal Growth and Charact.*, 1989; **19**(1): 21~48.
- 8 刘式塘. *半导体集成光学*, 长春: 吉林大学出版社, 1986: 19~48.
- 9 Bennett B R, Soref R A, Alamo J A. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1990; **26**(1): 113~122.
- 10 Soref R A, Lorenzo J P. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1986; **22**(6): 873~879.

INVESTIGATION OF SI BASED GaAs/GaAlAs PLANAR OPTICAL WAVEGUIDE

Zhao Cezhou Zhu Zhuoyun Li Yaojing

(*Microelectronics Institute, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China*)

Liu Enke Li Guozheng Liu Xiding

(*Electronic Engineering Department, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi 710049, China*)

Abstract The structure characteristics of MOCVD GaAs/GaAlAs/GaAs/Si were analyzed. Some planar optical waveguides samples were fabricated with the structure of GaAs/GaAlAs/GaAs grown on Si substrates by MOCVD. The single-mode propagation losses of the planar optical waveguides were measured and they are less than 0.65 dB/cm at the wavelength of 1.3 μ m.

Key words GaAs/GaAlAs/GaAs/Si structure, MOCVD, optical waveguide.