

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0456-03

InGaAsP 材料的厚度增强因子随选择外延 MOVPE 生长条件的变化

邱伟彬 董杰 周帆 王圩

(中国科学院半导体研究所国家光电子工艺中心, 北京 100083)

摘要 利用扫描电子显微镜(SEM)研究了在选择外延 MOVPE 生长 InGaAsP 材料中,厚度增强因子随 SiO₂ 掩模宽度的变化,生长条件(如生长压力、Ⅲ族源流量等)对厚度增强因子的影响。随着生长压力的增加,生长速率下降,选择性增强;随着 In 源流量的增加,生长速率上升,选择性下降。制备了最大厚度增强因子达 3.4 的 InGaAsP 体材料。通过扫描电镜观察,得到了较平坦的生长界面和表面形貌。为用选择生长法制备分布反馈激光器与模斑转换器集成器件提供有效的方法。

关键词 选择外延, InGaAsP, 厚度增强因子

中图分类号 TN304.054 文献标识码 A

Variation of the Thickness Enhancement Factors Selective Area Grown InGaAsP with the Growth Conditions

QIU Wei-bin DONG Jie ZHOU Fan WANG Wei

(National Research Center for Opto-Electronic Technology, Institute of Semiconductors, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Abstract The influence of growth conditions (such as growth pressure and the flux ratio of group III precursor) and the widths of SiO₂ mask upon the thickness enhancement factors of selectively grown InGaAsP were studied in this paper. The growth rate decreased and the selectivity increased with the increasing of the growth pressure; the growth rate increased and the selectivity decreased with the increasing of the flux ratio of group III precursor. The InGaAsP bulk material with high thickness enhancement factor was grown by selective MOVPE.

Key words selective area growth, InGaAsP, thickness enhancement factor

1 引言

随着光纤通信网的快速发展,越来越需要高速、低啁啾的光电子器件,特别是分布反馈激光器(DFB)及其集成器件^[1]。为了降低成本,提供耦合效率和集成度,需要在同一衬底上实现这些器件的单片集成。选择外延 MOVPE 生长无疑是一种突破性的技术。选择外延不仅可以在同一衬底上生长不同带隙的半导体材料,而且还可以根据掩模宽度的变化,生长不同厚度、组份和应变的体材料和量子阱材料,从而实现了不同器件的一次外延生长,减少了外延次数和工艺复杂性。

本文主要研究了选择外延 MOVPE 生长 InGaAsP 体材料的厚度增强因子随着 SiO₂ 掩模宽

度的变化,以及随生长条件(如生长压力, In 源流量)的变化规律。为今后研制分布反馈激光器和模斑转换器的集成器件提供高质量的 InGaAsP 体材料。

2 实验过程

为了实验的方便,我们设计了如图 1 所示的掩模图形,掩模对的宽度分别为 10 μm, 20 μm, 30 μm, 40 μm, 50 μm 和 70 μm, 长度为 3000 μm。掩模对中间的窗口为选择生长区,宽度固定为 15 μm,每对掩模之间的距离为 300 μm,相同宽度的掩模为一排,相邻两排之间的距离为 300 μm,这样可以保证大面积部分的生长不受掩模的影响。

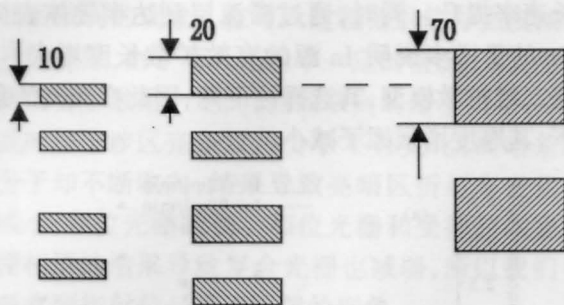


图1 选择外延实验的掩模板

Fig. 1 Mask shape of selective area growth

掺 S 的(100)晶向 InP 衬底经过严格的清洗后, 长上 100 nm~150 nm 的 SiO₂。利用上述的光刻版光刻后在衬底上形成[110]方向上的条形。在衬底上利用 MOVPE 技术生长 InP/InGaAsP/InP 的三明治结构。实验所采用的 MOVPE 设备为 AIXTRON-200 型低压系统。反应室是水平型, 内置半圆形高纯石墨舟, 石墨舟中是可以高速转动的石墨托盘, 可承载 $\phi 5$ cm 衬底。反应室压力在 0~1000 mbar 可控。Ⅲ族源为 TM In 和 TM Ga, V 族源为 PH₃ 和 AsH₃, 生长温度在 650 °C。生长后解理出[110]方向上的条形, 经过 H₂SO₄:H₂O₂:H₂O = 3:1:1 溶液腐蚀后, 在扫描电子显微镜(SEM)下观察和测量不同掩模宽度的选择生长区域的厚度和大面积生长区域厚度。实验使用的扫描电子显微镜是 Amray 1910FE 场发射扫描电镜, 其最小分辨率是 1.5 nm。

3 实验结果及讨论

根据 M. Gibbon 等人^[2]的模型, 选择外延 MOVPE 的主要机理是由于Ⅲ族反应物(TM In, TM Ga)的横向扩散结果。这样到达选择外延区域的Ⅲ族源的量就比大面积生长区域多, 从而导致了选择生长区域的生长速率比大面积区域的生长速率高。Ⅲ族源的横向扩散由有效扩散长度(D/k)决定。对于 TM In 和 TM Ga 来说, $(D/k)_{\text{TM In}} < (D/k)_{\text{TM Ga}}$, 所以 TM In 的扩散弛豫长度比 TM Ga 的扩散弛豫长度小, 导致在选择生长区域的 InGaAsP 材料富 In, 而远离掩模的大面积生长区域的材料富 Ga^[3]。这也就是由于掩模的存在, 使得不同位置的外延材料有不同的组份、厚度、带隙和失配的原因。可以通过控制掩模的大小、形状来获得所需的外延材料。

3.1 厚度增强因子随掩模宽度的变化

图 2 所示的是不同掩模宽度的选择生长区域经

过横向解理后的扫描电镜图。从图中可以清楚地看出界面平直, 有较平的晶体形貌。同时随着掩模宽度的增加, 选择生长区域的 InGaAsP 的厚度增加。

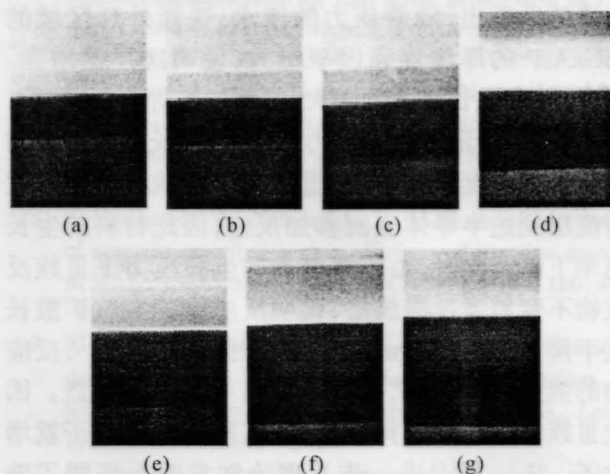


图 2 不同掩模宽度的选择外延区域的厚度比较. (a)大面积区域; (b) $W_m = 10 \mu\text{m}$; (c) $W_m = 20 \mu\text{m}$; (d) $W_m = 30 \mu\text{m}$; (e) $W_m = 40 \mu\text{m}$; (f) $W_m = 50 \mu\text{m}$; (g) $W_m = 70 \mu\text{m}$

Fig. 2 Different thickness of InGaAsP in selective region with different mask widths. (a) Large area region; (b) $W_m = 10 \mu\text{m}$; (c) $W_m = 20 \mu\text{m}$; (d) $W_m = 30 \mu\text{m}$; (e) $W_m = 40 \mu\text{m}$; (f) $W_m = 50 \mu\text{m}$; (g) $W_m = 70 \mu\text{m}$

图 3 为厚度增强因子(选择外延区域的 InGaAsP 厚度与大面积生长区域的 InGaAsP 厚度的比值, 又称归一化厚度)随 SiO₂ 掩模宽度 W_m 的变化关系, 可以看出是线性关系的。由于Ⅲ族源无法在 SiO₂ 掩模区域成核, 所以就积聚在掩模的上方, 从而使得掩模上方和选择外延区域上方的Ⅲ族源存在浓度梯度, 掩模上方的Ⅲ族源就会扩散到选择外延区域, 随着掩模宽度 W_m 的增加, 能够到达选择外延区域的Ⅲ族源的量增多, 这个区域的生长速率增大, 在相同的生长时间内厚度上升。

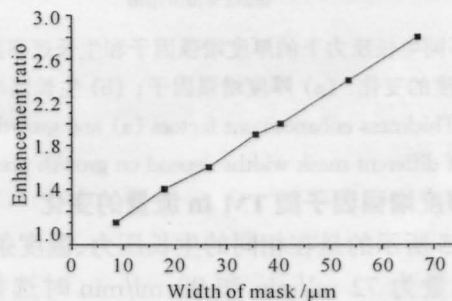


图 3 厚度增强因子随掩模宽度的变化

Fig. 3 Thickness enhancement factors depend on mask widths

3.2 厚度增强因子随生长压力的变化

为了研究在不同生长压力下选择外延 MOVPE 的生长规律, 我们在相同衬底和相同的源流量下, 分

别在生长压力为 76 Torr 和 100 Torr 下生长了 InGaAsP。图 4 所示为在两种压力下的生长速率和厚度增强因子随着掩模宽度的变化规律。从图中可以清楚地看出,随着压力的增大,选择外延区域的 InGaAsP 的厚度增强因子增大,说明选择性增强。同时,随着生长压力的增大,材料的绝对生长速率下降,这是由于随着生长压力的增大,生长区域上面的滞流层的厚度增大,这样 III 族反应物就不容易通过滞流层到达半导体表面参加反应,因此材料的生长速率下降。同时,由于在较高的生长压力下 III 族反应物不容易通过滞流层,说明反应物的有效扩散长度下降,根据 Gibbon 的二维气相扩散模型^[2],反应物的弛豫长度变小,也就是更集中在掩模附近。因此 III 族反应物的选择性增强,其厚度增强因子就增大了。Fujii 等^[4]进一步从理论和实验上证明了选择性(也就是厚度增强因子)和生长压力成正比关系。

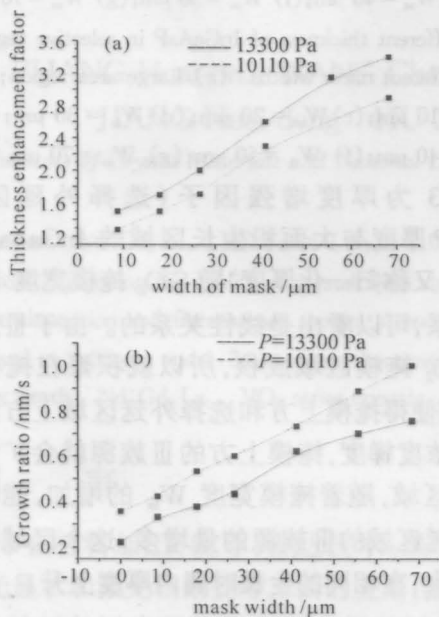


图 4 不同生长压力下的厚度增强因子和生长速率随掩模宽度的变化。(a) 厚度增强因子; (b) 生长速率

Fig. 4 Thickness enhancement factors (a) and growth ratios (b) of different mask widths depend on growth pressure

3.3 厚度增强因子随 TM In 流量的变化

图 5 所示的是在相同的生长压力、温度条件下, In 源流量为 72 ml/min 和 90 ml/min 时选择外延 MOVPE 生长 InGaAsP 体材料的生长速率和厚度增强因子的比较。从图中可以看出,随着 In 源流量的增大,材料的生长速率增大,这是由于在相同的生长条件下随着 In 源流量的增大,能够通过滞流层到达半导体表面参加反应的 In 的量就增多,因此材料的

生长速率提升。同时,通过滞流层到达半导体表面的 In 的量增多说明 In 源的有效扩散长度增大^[2],根据二维扩散模型,其选择性下降,因此在相同的条件下,其厚度增强因子减小。

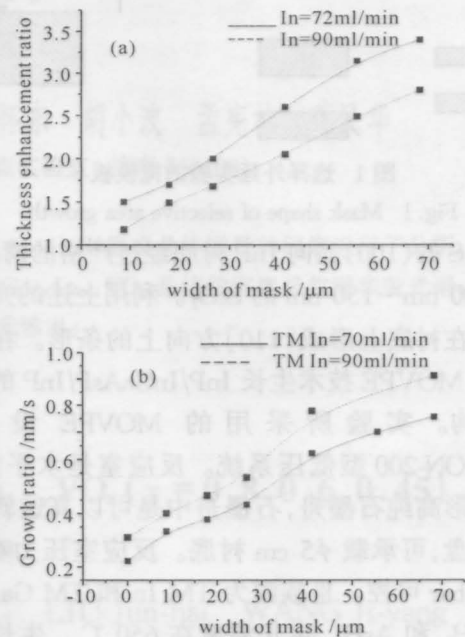


图 5 厚度增强因子和生长速率随 In 流量的变化 (a) 厚度增强因子; (b) 生长速率

Fig. 5 Thickness enhancement factors (a) and growth ratios (b) depend on In flow ratio

4 结 论

本文利用扫描电子显微镜研究了在不同掩模宽度和生长条件(如生长压力, In 源流量)下,选择外延生长体材料 InGaAsP 的厚度增强因子的变化规律。在相同的生长条件下,厚度增强因子随着掩模宽度的变化呈线性关系。随着生长压力的增大,材料的生长速率下降,但度增强因子上升,随着 In 源流量的增加,材料的生长速率上升,但厚度增强因子下降。制备了最大增强因子达 3.4 的 InGaAsP 体材料,可为研制分布反馈激光器和模斑转换器的集成器件提供高质量的材料。

参 考 文 献

- 1 T. Sasaki, M. Yamaguchi, K Komatsu *et al.*. *IECIE Electron. Tron.*, 1997, **E80-C(5)**:654
- 2 M. Gibbon, J. P. Stagg, C. G. Cureton *et al.*. *Semicond. Sci. Technol.*, 1993, **8**:998
- 3 C. Caneau, R. Bhat, C. C. Chang *et al.*. *J. Crystal Growth*, 1993, **132**:364~370
- 4 T. Fujii, M. Ekawa, S. Yamazaki *J. Crystal Growth*, 1995, **156**:59~66