

水平式 MOCVD 系统生长速率均匀性的研究

刘国军 徐 莉 史全林 王喜祥 张千勇

(长春光学精密机械学院, 长春, 130022)

摘要: 本文讨论了影响生长速率的因素, 如主载气流量、金属有机源流量(在一定蒸汽压下), 衬底放置位置, 及掺杂和非掺杂情况等。对实验结果进行了讨论, 并与其它文献进行了比较。着重阐述了改善侧向均匀性问题。

关键词: MOCVD 生长速率 均匀性

Research on growth rate uniformity in horizontal MOCVD systems

Liu Guojun, Xu Li, Shi Quanlin, Wang Xixiang, Zhang Qianyong

(Changchun College of Optics and Fine Mechanics)

Abstract: This paper discusses the main factor of affecting growth rate in MOCVD system, such as the flow rate of carriers gas and organometallic source, position of substrate, doping and undoping, etc. The experimental results are discussed and compared with other literatures. The lateral uniformity problem has been emphasized.

Key words: MOCVD growth rate uniformity

一、引 言

金属有机化合物化学汽相淀积系统(MOCVD)广泛用于大面积均匀的半导体材料的生长及高质量光电子器件的制造。这些器件对外延层的厚度均匀性和组分均匀性要求非常高, 而外延层的均匀性依赖于气体的流动形式, 固-气交界处附近的热传递和质量输运以及均相(汽相)反应和异相(表面)化学反应等。这是一个相当复杂的问题。以往许多作者从理论和实验方面研究了各种 MOCVD 系统中流体的动力学问题^[1~15], 研究了水平式 MOCVD 系统^[1~10]和垂直式 MOCVD 系统^[11,13,14], 分别提出了一维^[1]、二维^[2]和三维^[3,10~14]理论模型。研究了各系统中的流体流场分布、温度场分布、组元浓度分布、生长速率分布及影响这些分布的诸因素。

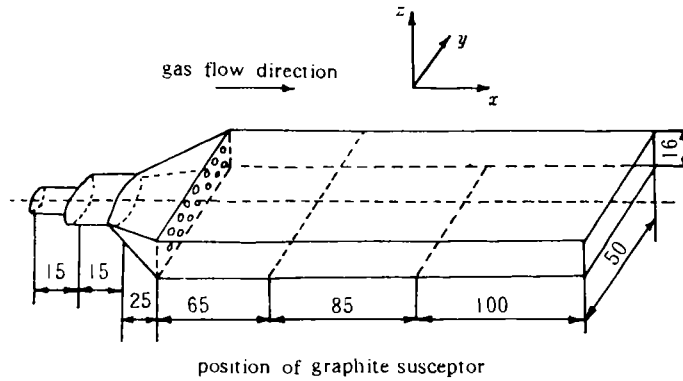
本文结合我们的实验研究, 讨论了水平式 MOCVD 系统中生长速率的分布特性, 解释了实验曲线, 对改善生长厚度均匀性进行了研究。

二、实 验 研 究

用国产 MOCVD 系统进行了 GaAs 或 GaAlAs 材料生长研究。所用水平式 MOCVD 系统

全为国产系统(长春物理所设计制造),所用金属有机源TMGa, TMAI, DEZn, DETe由南京大学提供。所用AsH₃由H₂稀释成9.84%浓度。生长厚度的结果用金相显微镜或SEM测量。

图1为反应室的结构,反应室由石英材料制成,反应室由RF高频感应加热、冷却水冷却。如图1所示,所用反应室宽高比为(aspect ratio)50/16≈4。



position of graphite susceptor

Fig.1 Diagram of reactor structure

1. 生长速率随轴向(x方向)坐标变化关系。生长材料:GaAs:Zn。

生长日期:1991.09.13,

主载气(H₂)流量为3L/min,生长温度680℃,TMGa冷阱温度:-12℃,DEZn冷阱温度:2℃。结果如表1所示。

Table 1 Growth parameters summary

growing layer	flow (ml)			time (min)	thickness (μm)			
	Ga	Zn	AsH ₃		1.6	1.6	1.4	1.2
GaAs ₁ Zn	10	10	120	15	1.6	1.6	1.4	1.2

2. 生长速率随侧向坐标(y)变化情况。生长材料:GaAs:Zn。

生长日期:1991.09.12,

主载气(H₂)流量为2L/min,生长温度680℃,TMGa冷阱温度:-12℃,DEZn冷阱温度:2℃。结果如表2所示。

Table 2 Growth parameters summary

growing layer	flow (ml)			time (min)	thickness (μm)			
	Ga	Zn	AsH ₃		2	2	0.5	0.5
GaAs ₁ Zn	10	7	120	15	2	2	0.5	0.5

3. 生长速率随主载气流量变化情况。生长GaAs。

只考虑石墨衬托前沿处的生长速率比较,在其它条件相同的条件下改变主载气流量。以下实验结果为多次实验的汇总(30次以上),把每次TMGa流量都换算成10ml/min进行比较。此外还进行了纯GaAs和GaAs:Zn生长比较,以及GaAs:Zn与GaAs:Te生长结果的比较。结果在实验精度内没有发现生长速率上的差异,其中DEZn和DETe的流量小于TMGa的流量。还比较了使用GaAs:Cr衬底和GaAs:Si衬底,结果类似,即生长速率与这两种衬底无关。

三、讨论

1. 如图2所示,生长速率沿轴向坐标(x)递减,可解释为金属有机源的耗尽(depletion)(在V/Ⅲ比足够大的情况下),这一点比较容易理解。本文的结果与大多数实验结果相符。但文献[9]和[14]有与这点不相符的实验结果,即在衬底(或石墨舟)的前端处生长速率反而低,在中间某一处取最大值。其中文献[9]的解释为:衬底前沿被石墨舟(substrate holder)上的凸沿阻挡所致。文献[14]的解释为:在主载气流量大时产生这种现象,认为有一个最佳流量使之得到均匀生长。

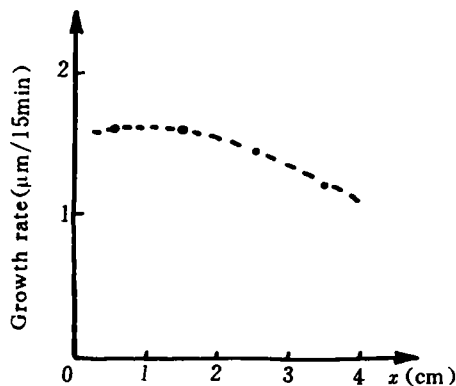


Fig. 2 Growth rate in longitudinal direction

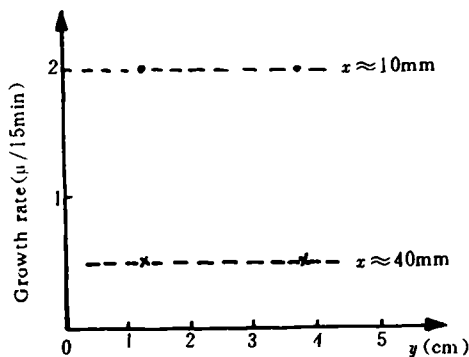


Fig. 3 Growth rate in lateral direction

2. 如图3所示,在我们较少的实验点上没有发现侧向生长率的差异。其实侧向非均匀性问题也是MOCVD中比较麻烦的问题。文献[1]的实验结果中有侧向均匀性结果,也对其进行了讨论。影响侧向均匀性的因素较多,如反应室边缘效应回流;衬底放置时沿轴向有转动(尽管偏转角可能很小),另外由于水平反应室中侧向均匀性的一个致命的缺陷——流速侧向分布不同,造成气体反应物浓度分布不均匀。文献[14]的理论模型讨论了当衬底放置偏离水平位置时温度场左右不均匀性。当衬托有 5.7°C (甚至更小)倾斜时将产生单一的绕轴流动,将强烈地影响侧向均匀性。因此在放置石墨舟和衬底时要十分小心,保持水平放置。另外,载气在入口处(inlet)速度的侧向分布(垂直方向也类似)对整个反应室内速度场及生长速率的侧向分布有很大关系,因为我们从图4看出了载气流速与生长速率的关系,我们容易理解,轴向速度分量沿侧向分布不会是常数。

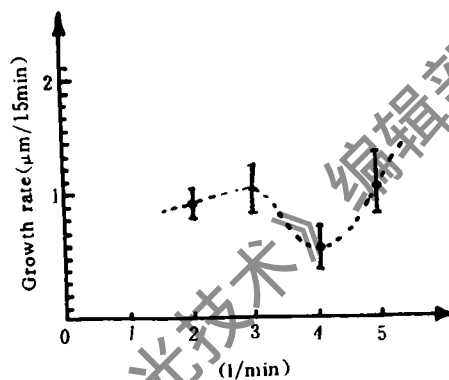


Fig. 4 Growth rates as a function of flow rate of the carrier gas

如文献[3]给出的关系式:

$$u = \frac{48u_0}{\pi^3} \sum_{i=1, \text{ odd}}^{\infty} \frac{1}{i^3} (-1)^{(i-1)/2} \times \left[1 - \frac{\cosh[i\pi/W(x-H/2)]}{\cosh(i\pi H/2W)} \right] \times \cos[i\pi/W(y-W/2)] \times \left[1 - \frac{192}{\pi^5} \frac{W}{H} \sum_{i=1, \text{ odd}}^{\infty} \frac{1}{i^5} \tanh(i\pi H/2W) \right]^{-1} \quad (1)$$

式中, u 为速率的轴向(x)分量, W 为衬底(或反应室内侧)宽度, H 是反应室高度(free height).

文献[1]把轴向速度分量沿 z 轴的分布取为

$$v(z) = 6v_0 \times (z/h - z^2/h^2) = 6v_0 \times (z/h)(1 - z/h) \quad (\text{即伯萧分布}) \quad (2)$$

文献[15]也给出了气流流速的侧向分布。

通常情况下,实验结果中生长速率侧向分布是对称的,中间厚两边薄,即与流速轴向分量的侧向分布相类似。因此,我们设想,如果改变气体在入口的流场分布,提高边缘的通量(即相

对降低中心处的通量),会有助于改变生长速率的侧向均匀性。这可以借助于反应室入口附近的气流分散器(distribution element)(中间带有一定数量的小孔)(见图1)。

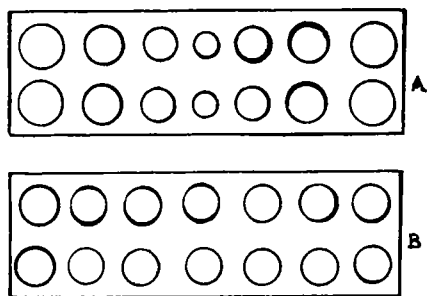


Fig. 5 Diagram of the proposed distribution element
A. holes with different diameters
B. the diameters of the holes are the same, but with unequal distances

设想:(1)在小孔直径不变的情况下,改变小孔在同一水平线上的分布,如图5A。

(2)保持小孔中心距离不变,改变小孔的直径,如图5B。

这样将改变气体通量沿侧向的分布,提高反应室边缘附近的反应物的浓度(主要Ⅲ族),可望改善生长速率的侧向均匀性。

3.如图4,在生长速率随载气流量的变化曲线中,我们看到实验曲线并不呈单调变化,而大多数研究(包括理论和实验)中得到的皆是单调的变化,即随主载气流量增大,生长速率加大。

只有文献[4]对滞点邻域流动系统(stagnation point flow)给出了与我们实验相类似的实验结果。其解释为Ⅲ族流量不变的情况下,在一定范围内增加载气流量(即稀释剂增多),使得在某些载气流量下生长速率降低,其根本原因可能是由浮力引起的循环流动。

此外,文献[6]还给出了扩散式反应室(diffuser shaped reactor)中生长速率与载气流量平方根的关系:

$$\text{速率} \propto \sqrt{\text{气体流量}} \quad (3)$$

其它大多数实验结果与我们的实验曲线右半边相符(即流量 $>4\text{L}/\text{min}$)。

四、结 论

通过实验研究了水平式 MOCVD 系统中生长速率沿轴向、侧向分布情况,以及随主载气流量的变化关系。在我们的实验条件下,轴向分布情况呈递降变化,其原因是Ⅲ族源的耗尽;速率侧向分布与入口处气流分布有关,通过改变入口的形式将改善侧向均匀性;生长速率与主载气流量不呈单调变化关系。进一步的研究仍在进行中。

作者感谢张兴德教授对本项工作的支持。

参 考 文 献

- 1 Vandeven J, Rutten G M J, Raaijmakers M J. *J Crystal Growth*, 1986;76:352
- 2 Ouazzani J, Chiu K C, Rosenberger F. *J Crystal Growth*, 1988;91:497
- 3 Ouazzani J, Rosenberger F. *J Crystal Growth*, 1990;100:545
- 4 Lee P, McKenna D, Kapur D. *J Crystal Growth*, 1986;77:120
- 5 Stock L, Richter W. *J Crystal Growth*, 1986;77:144
- 6 Matsumoto K, Itoh K, Tabuchi T *et al.* *J Crystal Growth*, 1986;77:151
- 7 Ikeda M, Kojima S, Kashiwayanagi Y. *J Crystal Growth*; 1986;77:157
- 8 Landgren G, Andersson S G, Andersson J Y. *J Crystal Growth*, 1986;77:67
- 9 Soga T, Takahshi Y, Sakai S *et al.* *J Crystal Growth*, 1984;68:169
- 10 Woffat H, Jensen K. *J Crystal Growth*, 1986;77:108
- 11 Evans G H, Greif R. Computational mechanics division sandia national laboratories, CA94550 SAND86-8843, Livermore, July, 1986

单量子阱半导体激光器的调谐特性

曹三松

(西南技术物理研究所,成都,610041)

摘要: 本文根据量子理论的薛定谔方程,推导出在有限深势阱条件下载流子满足的能量本征值方程,并给出理论计算结果,为设计用于泵浦固体激光器的激光二极管提供了理论依据。

关键词: 单量子阱 半导体激光器 调谐特性

Characteristics of wavelength tailoring to single-quantum-well semiconductor laser

Cao Sansong

(Southwest Institute of Technical Physics)

Abstract: In this paper, the eigenenergies equation of carriers in finite deep potential well has been deduced, based on Schrodinger equation. The theory calculation results are presented. The method of wavelength tailoring to laser diode for solid-state laser pumping is proposed.

Key words: single-quantum-well semiconductor laser tunable characteristics

一、引言

量子阱半导体激光器理论和技术是近年来国内外十分活跃的研究领域,量子阱半导体结构优异的物理特性对半导体激光器的设计和应用产生了巨大的影响^[1]。量子阱半导体激光器

- 12 Fotiadis D I, Boekholt M, Jensen K F, J Crystal Growth, 1990;100:577
 13 Fotiadis D I, Kieda S. J Crystal Growth, 1990;102:441
 14 Jensen K F, J Crystal Growth, 1991;107:1
 15 Holmes D E. Chem Engng Sci, 1986;23:717

* * *
作者简介:刘国军,男,1963年1月出生。讲师,博士。现从事半导体材料、器件研制工作。
徐莉,女,1962年8月出生。讲师。现从事半导体材料、器件研究工作。

收稿日期:1993-05-08 收到修改稿日期:1993-06-14