

Mg 在 GaP 材料中掺杂行为的 SIMS 分析

曹永明 纪刚 李越生 方培源 宗祥福
(复旦大学材料科学系 上海 200433)

1 引言

超高亮度可见光发光二极管(LED)已广泛应用于户外显示系统、信息显示系统和光通讯等领域。常用的超高亮度发光材料是生长在 GaAs 衬底上的四元化合物半导体 InGaAlP。为了使 LED 的电极具有较好的欧姆接触性能^[1]、提高电流扩展及出光率,一般采用掺有高浓度 P 型杂质的 GaP 为窗口层材料。选择 Mg 作为掺杂元素。本文应用二次离子质谱技术(SIMS),研究了衬底温度和掺杂气体流量对 Mg 的掺杂浓度的影响。

2 实验过程

2.1 样品 采用 LP-MOCVD 技术在长有 AlInP 过度层的 GaAs 衬底上外延生长掺高浓度 Mg 的 GaP 层。外延生长过程中, Ca、P 和 Mg 分别来源于 TMGa(三甲基镓)、PH₃(磷烷)和 Cp₂Mg。外延过程在垂直生长腔系统中进行。为了获得 5.1cm 衬底上优于 1% 的外延层组分均匀性和优于 1% 的厚度均匀性,采用了 Turbo-Disc 技术。TMGa、PH₃ 的输运载体和 Cp₂Mg 的稀释气体都为高纯氢气。外延生长的反应腔内压强约为 15Torr,衬底温度变化范围 600℃-700℃。先固定衬底温度(790℃),改变掺杂源的氢气流量(495ml, 325ml, 235ml, 125ml);然后固定氢气流量(325ml),依次降低衬底温度(770℃、750℃、730℃、710℃、690℃),在不同条件下外延生长 GaP 层。

2.2 实验仪器和条件 利用法国 CAMECA 公司的 IMS-6F 型 SIMS,剖析 Mg 在 GaP 中的深度分布。能量为 15keV 的一次离子束 O₂⁺(束流 100nA)在样品表面 250μm×250μm 范围内扫描轰击;二次离子取 24Mg⁺、31P⁺、115In⁺和 75As⁺,分别表示掺杂元素 Mg、外延层 GaP、过度层 AlInP 和衬底 GaAs,二次离子萃取电压 4.5KV,能量狭缝全开,分析区域 Φ60μm。

3 实验结果与讨论

Cp₂Mg 流量和衬底温度的变化对 Mg 的掺杂行为有明显的影响。

随着流量的增加, Mg 的浓度呈增加趋势(见图 1)。进一步的实验指出,当 Cp₂Mg 流量足够高时,外延层内的载流子浓度并没有随流量改变而发生变化。这是因为在闪锌矿结构的 GaP 中, Mg 属于置换填隙机制^[2],只有占据晶格位置的 Mg 决定了载流子的浓度。在本实验条件下,当 Cp₂Mg 流量足够高时,外延层内的空穴浓度趋向饱和(约 3×10¹⁸cm³)。这时占据晶格位置的杂质 Mg 的浓度已达到最大值。再增加流量,只能使过剩的 Mg 占据填隙位置,形成间隙原子或产生缺陷。过剩的 Mg 的存在并不能提高载流子浓度,却导致了较严重的 Mg 的扩散。

在所研究的衬底温度范围内, Mg 的浓度随衬底温度增加反而呈下降的趋势。在样

品制备中, 仅改变衬底温度, 其他生长条件保持不变。这时[Mg]与温度的关系可表示为

$$[Mg] = A \exp\left(\frac{e}{k_B T}\right)$$

[Mg]、 ε 和 k_B 分别表示 Mg 的浓度、在生长面处的再蒸发激活能和波尔兹曼常数 ($1.28 \times 10^{-23} \text{JK}^{-1}$), T 是衬底的温度, A 为常数。通过计算得到 Mg 在生长面处的再蒸发激活能约为 1.1eV。

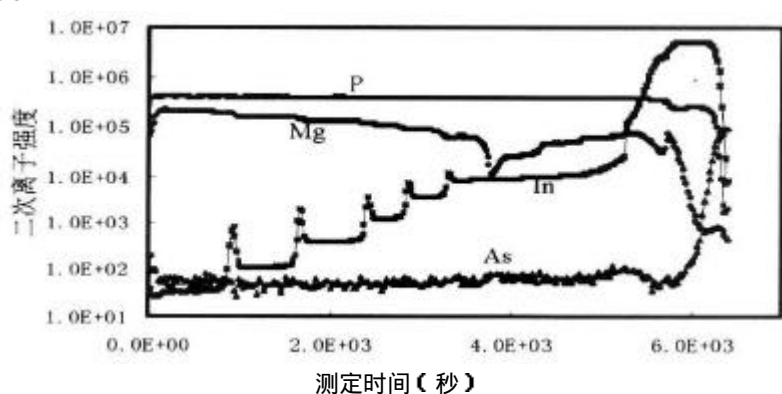


图 1

在外延长过程中, Cp_2Mg 流量对 In 在 GaP 中的扩散影响不明显。随着衬底温度的下降, In 的扩散现象逐渐减小。

4 结论

在 MOCVD 工艺中, Cp_2Mg 流量和衬底温度的变化是重要的生长参数。GaP 中载流子的浓度随 Cp_2Mg 流量的增加而增加, 最后达到饱和。在较高温度下, 随衬底温度的上升, Mg 的浓度呈指数下降。通过计算得到 Mg 在 GaP 中的再蒸发激活能约为 1.1eV。

Study of Doping Characteristics for Mg in GaP by SIMS

Cao Yongming, Ji Gang, Li Yuesheng, Fang Peiyuan, Zong Xiangfu

(Department of Materials Science, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract

Mg of GaP doping characteristics in MOCVD have been studied by using SIMS (Secondary Ion Mass Spectrometry) measurement. The experimental results show that the Mg incorporation is considered to be limited by Mg reevaporation from the growth surface under the higher temperature and the Mg electrical activity decreases with increasing Cp_2Mg flow-rate. The activation energy of Mg in GaP is also respectively obtained.