

# MOVPE 生长 GaAs 薄层的线偏振 光吸收系数的电流感生变化

王德煌 王威礼 李桂棠

(国家集成光电子联合实验室, 半导体所区, 北京大学物理系, 北京, 100871)

段 树 坤

(中国科学院半导体研究所, 北京, 100083)

1990年9月8日收到, 同年12月26日修改定稿

MOVPE 生长不掺杂 GaAs 薄层的线偏振光吸收系数电流感生变化  $\Delta\alpha$  的实验结果表明,  $\Delta\alpha$  随光波长  $\lambda$  呈脉冲线型非线性变化; 注入电流增加,  $\Delta\alpha$  明显增大, 且  $\Delta\alpha(\lambda)$  谱极大值位置向长波端有一个小移动以至  $\Delta\alpha(\lambda)$  谱线半值全宽也有增宽.  $\lambda = 900\text{nm}$  处,  $\Delta\alpha$  值基本上随电流线性增加.

GaAs 是近年来半导体光电子器件和集成光学元件的重要材料之一, 其光吸收特性已被研究, 但 GaAs 薄层的线偏振光(激光波一般是线偏振光)吸收特性没有给予重视<sup>[1]</sup>. 半导体光电子器件和集成光学元件一般是具有多薄层结构的电流注入型器件<sup>[2,3]</sup>. 因此, GaAs 薄层的光学性质对上述器件设计和性能改进很有必要. 本文报道在半绝缘 GaAs 衬底上, MOVPE 生长的不掺杂 GaAs 薄层的线偏振光吸收系数电流感生变化的实验结果.

半导体的光吸收系数  $\alpha$  一般测量不同波长处样品透过率  $T$  而确定. 波长  $\lambda$  的线偏振光垂直入射于光滑的两平行端面的样品表面, 该样品的  $\alpha$  值为<sup>[4]</sup>:

$$\alpha = \frac{1}{L} \ln \left\{ \frac{[1 + \sqrt{1 + 4R^2T^2/(1-R)^4}]/[2R^2T/(1-R)^2]}{[1 - \sqrt{1 + 4R^2T^2/(1-R)^4}]/[2R^2T/(1-R)^2]} \right\}, \quad (1)$$

式中  $L$  是样品厚度. 反射系数  $R$  是:

$$R = (n - n_0)^2 / (n + n_0)^2, \quad (2)$$

这里  $n_0$  是空气折射率.  $n$  是样品折射率, 它与波长  $\lambda$  和温度有关. 对 GaAs,  $\lambda = 900\text{nm}$ , 室温下  $n = 3.60$ <sup>[5]</sup>. 电流注入样品后, 其  $\alpha$  值变化  $\Delta\alpha$  为:

$$\Delta\alpha = \alpha(I) - \alpha(0), \quad (3)$$

式中  $\alpha(0)$  和  $\alpha(I)$  分别是电流  $I$  注入前后样品的  $\alpha$  值. 样品透过率  $T$  用常规实验方法测定后<sup>[4]</sup>,  $\Delta\alpha$  值可确定. 实验样品是在半绝缘 GaAs(100) 面上, 用 MOVPE 生长单层不掺杂 GaAs 薄层.

图 1 和 2 给出两个样品的实验结果. 图 1 的样品是在掺 In 的 GaAs 衬底上, MOVPE 生长  $2.24\mu\text{m}$  不掺杂 GaAs 层. 其室温迁移率和载流子浓度分别是  $5111\text{cm}^2/\text{Vs}$

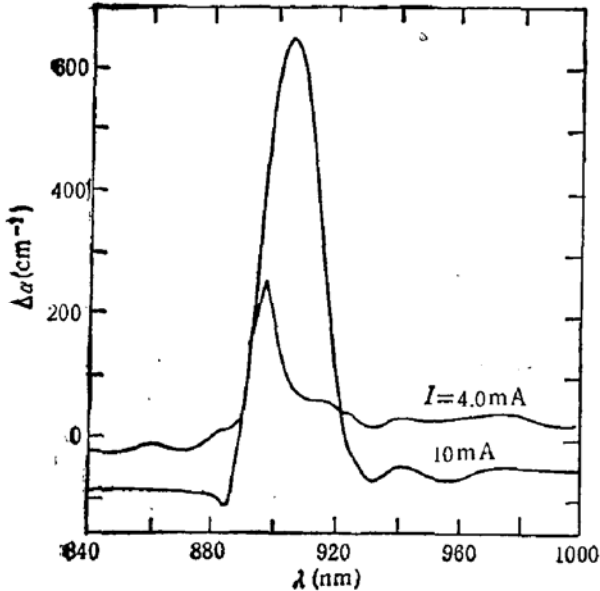


图1 电流注入后,掺 In 的半绝缘 GaAs 衬底上,MOVPE 生长  $2.24\mu\text{m}$  不掺杂 GaAs 层的  $\Delta\alpha(\lambda)$  谱

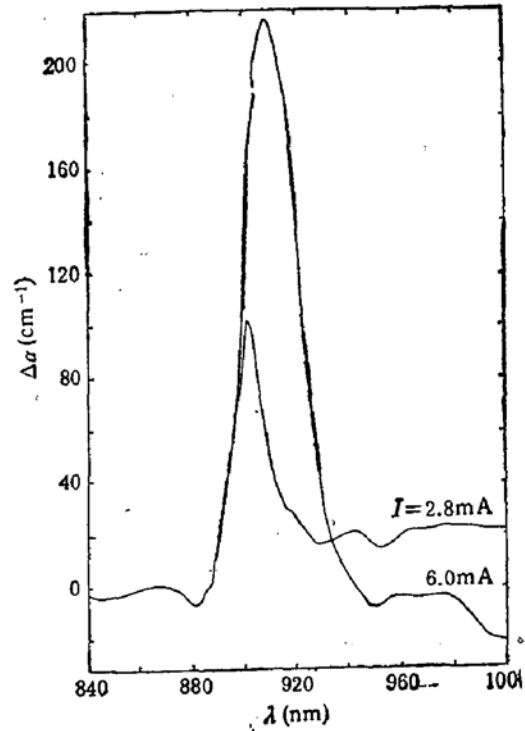


图2 电流注入后,掺 Cr 的半绝缘 GaAs 衬底上,MOVPE 生长  $6.82\mu\text{m}$  不掺杂 GaAs 层的  $\Delta\alpha(\lambda)$  谱

$\text{V}\cdot\text{s}$  和  $9.0 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ 。图1的  $\Delta\alpha - \lambda$  曲线(略称  $\Delta\alpha(\lambda)$  谱)表明,电流感生的  $\Delta\alpha$  与  $\lambda$  间是一种非线性变化关系。 $\Delta\alpha(\lambda)$  谱是一种类脉冲线型谱线,存在极大值  $(\Delta\alpha)_{\text{max}}$  和半值全宽值  $\Delta\lambda$ 。电流从  $4.0\text{mA}$  增加到  $10\text{mA}$ ,  $\Delta\alpha(\lambda)$  谱明显变化,  $\Delta\lambda$  值从  $12\text{nm}$  增宽到  $20\text{nm}$ 、 $(\Delta\alpha)_{\text{max}}$  从  $253\text{cm}^{-1}$  变为  $650\text{cm}^{-1}$ 、 $(\Delta\alpha)_{\text{max}}$  位置也从  $898\text{nm}$  移动到  $906\text{nm}$ 。

图2的样品是在掺 Cr 的 GaAs 衬底上,MOVPE 生长  $6.82\mu\text{m}$  不掺杂 GaAs 层。其室温迁移率和载流子浓度分别是  $4569\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  和  $6.7 \times 10^{13}\text{cm}^{-3}$ 。图2的  $\Delta\alpha(\lambda)$  谱形状类似图1所示,仅  $\Delta\alpha$  幅值不同。在图2中,电流从  $2.8\text{mA}$  增加到  $6.0\text{mA}$ ,  $\Delta\alpha$  值明显变化,  $\Delta\lambda$  值从  $14\text{nm}$  增宽到  $22\text{nm}$ ,  $(\Delta\alpha)_{\text{max}}$  从  $104\text{cm}^{-1}$  变为  $217\text{cm}^{-1}$ 。其位置同样有一个小移动,变化  $7\text{nm}$ 。根据块状半导体和量子阱的电致吸收的理论分析<sup>[5-7]</sup>,外场作用将使电子从价带隧穿到导带,同时产生电子与空穴间库仑作用。其结果是带间吸收增强和带隙附近出现激子谐振,而激子吸收线增宽的同时引起谐振峰向长波端发生小的移动(红移)。上述实验样品厚度介于块状 GaAs 和量子阱厚之间,观测到的电流注入感生的光学非线性现象,类似于理论分析结果。实验结果还发现,  $\Delta\alpha(\lambda)$  谱有一段与电流无关的重叠部分。

图3给出固定波长  $900\text{nm}$ ,两个样品的电流感生  $\Delta\alpha$  值随电流变化关系图,发现  $\Delta\alpha$  是随电流基本上线性变化。 $a$  和  $b$  样品的单位电流平均变化率分别是  $67\text{cm}^{-1}/\text{mA}$  和  $25\text{cm}^{-1}/\text{mA}$ ,约相差 2.3 倍。样品越薄,  $\Delta\alpha$  越大。这符合理论估算层厚从  $20\text{nm}$  减小到  $2\text{nm}$ ,吸收强度增加了 30—40 倍的变化规律<sup>[8]</sup>。

实验研究不同的半绝缘衬底上,MOVPE 生长的不同参数 GaAs 薄层的线偏振光吸收系数的电流感生变化,发现是一种光学非线性现象。结果表明控制注入 GaAs 薄层的

电流,有一定  $\Delta\alpha$  和  $(\Delta\alpha)_{\max}$  值以及它们的位置。固定波长,  $\Delta\alpha$  随电流线性变化。样品越薄,光学非线性现象越明显。结果对以光吸收为基础、具有多薄层结构的电流注入型半导体光电子器件和集成光学元件设计和性能改进具有指导性实用价值。

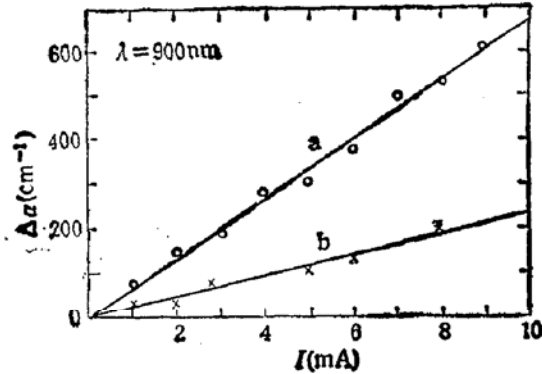


图3 不同参数的 GaAs 薄层在 900nm 处的  $\Delta\alpha$  值与电流  $I$  的变化关系图。a 样品参数是  $2.24\mu\text{m}$  GaAs 层, 室温迁移率  $5111\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  和载流子浓度  $9.0\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ 。b 样品是  $6.82\mu\text{m}$  GaAs 层, 室温迁移率  $4569\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$  和载流子浓度  $6.7\times 10^{19}\text{cm}^{-3}$

### 参 考 文 献

- [1] 青木昌治, 化合物半导体デバイス, 日本东京出版社, 342(1973).
- [2] H. C. Casey, Jr., M. B. Panish, Heterostructure Lasers, New York, Academic Press, Inc., 33(1978)
- [3] 田炳耕, 集成光学和光学波导中的新的波现象, 人民邮电出版社, 112(1981).
- [4] W. R. 鲁尼安, 半导体测量和仪器, 上海科学技术出版社, 271(1980).
- [5] J. D. Dow and D. Redfield, *Phys. Rev.*, B1, 3358(1970).
- [6] D. A. B. Miller and D. S. Chemtitt-Rink, *Phys. Rev.*, B.33(10), 6976(1986).
- [7] Yia-Chung Chang, J. N. Schulman and U. Efron, *J. Appl. Phys.*, 62(11), 4533(1987).
- [8] 黄昆, 物理, 15(6), 329(1986).

## Current-Induced Changes in Absorption Coefficient of Linearly Polarized Light of Thin-Layered GaAs Grown by MOVPE

Wang Dehuang, Wang Weili and Li Guitang

(Department of Physics, Peking University, Peking 100871)

Duan Shukun

(Semiconductor Institute Region of National Integrated Optoelectronics Laboratories, Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Peking 100083)

### Abstract

The experimental results of the current-induced absorption coefficient changes in undoped thin-layered GaAs grown by MOVPE to linearly polarized light is given. The relation between the current-induced changes of absorption coefficient  $\Delta\alpha$  and wavelength  $\lambda$  is a non-linear variation with a pulse-shaped envelope. As increasing current,  $\Delta\alpha$  is remarkably increased and maximum position in  $\Delta\alpha(\lambda)$  spectrum is a little shifted to long-wavelength edge, and the full width of half maximum in  $\Delta\alpha(\lambda)$  spectrum is also broadened by injected current.  $\Delta\alpha$  is approximately of a linear variation as increasing current at 900 nm.