

19-22

# MBE 生长的 HgCdTe 材料 B 离子注入特性研究\*

黄根生 姬荣斌<sup>√</sup> 方维政 杨建荣 陈新强 何力

(中国科学院上海技术物理研究所, 红外物理国家重点实验室,  
半导体薄膜材料研究中心, 上海, 200083)

TN213  
TN304.26

**摘要** 用剥层霍尔测量分析了 MBE 生长 HgCdTe 薄膜的 B 离子注入的电学特性, 测量了薄膜材料的载流子浓度和迁移率分布. 当剥层腐蚀到结区, 结区增透引起红外透射光谱的峰值提高.

**关键词** MBE, HgCdTe, 剥层霍尔测量, 红外透射光谱.

硼离子注入

## 引言

剥层腐蚀

HgCdTe 薄膜制备技术对红外焦平面列阵探测器的发展至关重要. 由于 MBE 技术制备 HgCdTe 材料是在超高真空环境下进行, 生长温度低, 可根据不同需要随时调整生长条件以生长不同组分的外延薄膜和多层异质结结构, 并有可能在外延过程中制备 pn 结和 CdTe 表面钝化层, 因此用 MBE 技术生长材料有很大的优势和发展潜力.

B 离子注入 p 型材料形成 n-on-p 结构是 HgCdTe 红外探测器制备技术的一种重要方法. 许多研究认为 B 离子注入 HgCdTe 并不是因为注入离子作为活性施主形成 n 型区, 而主要是由于注入损伤造成电活性缺陷自由 Hg 原子的扩散. 适当条件的退火可以使得 p-n 结区从注入导致的高损伤区域向损伤相对较小的区域移动<sup>[1,2,3]</sup>, 从而达到改善器件性能的目的. 本文对 MBE 生长的 HgCdTe 材料的 B 离子注入, 随后进行退火. 分别对退火和不退火的样品进行了剥层霍尔测量, 在剥层过程中进行红外透射谱测试, 能确定结深和载流子分布. 结合结区的红外透射光谱拟合, 可确定结区的宽度.

## 1 实验

用 (211)B GaAs 材料作为衬底, 在 Riber 32P 分子束外延系统中生长 HgCdTe 薄膜, 组分  $x$  值为 0.307, 然后进行 p 型退火, 载流子浓度为  $1.12 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ , 载流子迁移率为  $426 \text{cm}^2/\text{Vs}$ . B 离子注入条件为: 注入能量 130KeV, 注入剂量  $5 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ . 为了比较退火效果, 我们将 B 离子注入后的样品分割成两片, 其中一片进行退火, 退火条件为在氮气氛围保护下,  $120^\circ\text{C}$  温度下退火 50min<sup>[4]</sup>.

分别对退火样品和未退火样品在乙醚中煮沸 1min, 以去除表面油污. 为了测量电学参数分布, 进行了剥层腐蚀. 具体过程为: 用 2:10000 的溴甲醇腐蚀 10min, 然后用甲醇清洗

\* 国家自然科学基金(编号 69425002)资助项目  
稿件收到日期 1998-05-25, 修改稿收到日期 1998-09-10

3min,再用丙酮清洗和去离子水冲洗,高纯氮吹干,进行红外透射谱测量后,在77K做霍耳测量,如此进行多次剥层和测试.

## 2 实验结果与讨论

剥层霍耳方法最早是 Richard L. Petrizze<sup>[5]</sup>研究半导体空间电荷区时提出,后来被用于离子注入半导体和热扩散掺杂半导体的纵向载流子浓度和霍耳迁移率测量<sup>[6,7]</sup>.其方法是用阳极氧化或者化学腐蚀法剥层,每剥去一定厚度后,用范德堡法测量剩余样品的表面载流子浓度  $N_s$ 、薄层霍耳系数  $R_H$ 和薄层电阻率  $\rho_s$ ,通过这些数据可得到载流子纵剖面分布.

设  $n(x)$ 是载流子浓度, $\mu(x)$ 是平均迁移率,则单位面积的有效载流子数目由加权平均值给出,即

$$N_s = \left( \int n(x)\mu(x)dx \right) / \left( \int n(x)\mu^2(x)dx \right). \quad (1)$$

剥层电阻率为 
$$\sigma_s = e \int n(x)\mu(x)dx. \quad (2)$$

联立方程(1)和(2),并用微分表示为

$$n(x) = (\rho_n^{-1} - \rho_{n+1}^{-1}) / e\mu\Delta x, \quad (3)$$

$$\mu(x) = (R_n/\rho_n^2 - R_{n+1}/\rho_{n+1}^2) / (\rho_n^{-1} - \rho_{n+1}^{-1}). \quad (4)$$

式中  $\Delta x$  为第一次剥层的厚度, $e$  为电子电荷, $R_n$ 、 $\rho_n$ 、 $\mu_n$  分别是第  $i$  层的薄层霍耳系数、薄层电阻率及迁移率.每次剥层的厚度由红外透射谱拟合,在剥层霍耳测试过程中,霍耳系数在样品表面及附近区域为负数,说明是  $n$  型区.当腐蚀到一定厚度时,霍耳系数由负数变为正数定为  $p$ - $n$  结的位置.按照公式可以计算出退火样品和不退火样品不同厚度的载流子浓度和迁移率,结果如图 1.对退火样品,载流子的浓度由表面向里是增加的,同时迁移率下降,并都趋于稳定,载流子浓度和迁移率分别稳定在  $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$  和  $4 \times 10^3 \text{cm}^2/\text{Vs}$ .在腐蚀深度为  $0.65 \mu\text{m}$  处霍耳系数接近零,继续腐蚀到达样品的  $p$  型区,载流子浓度和迁移率分别达到一定值  $2.5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$  和  $335 \text{cm}^2/\text{Vs}$ , $p$  型区电学参数与注入前相近.未退火的样品载流子的浓度和迁移率有一定的起伏,变化趋势相近,结深在  $0.63 \mu\text{m}$  处.考虑实验误差的影响,我们认为结深相同,表明在这种退火条件下结区不移动,但退火样品的电学参数得到改善.由于结区是一个间断点,剥层霍耳计算过程中考虑上下层之间的联系,结点附近点的载流子浓度和迁移率数值是不准确的.结果表明  $B$  离子注入  $p$ - $n$  结是一突变结,处在耗尽区的起始位置,并且有  $p$  型平坦的电学参数分布,说明背景杂质是  $p$  型<sup>[9]</sup>.

每次腐蚀后进行红外透射谱测量,开始腐蚀直到结区透射干涉峰比原生材料的峰值要低,这主要由于离子注入损伤散射引起的.当腐蚀到结区时,退火样品和不退火样品的红外透射率明显大于以前若干次腐蚀的透射率,个别峰值达 80%,出现二次腐蚀后高透射率的现象,继续腐蚀又降到开始的峰值,如图 2 所示.这因为结区是耗尽区,空间电荷层里没有可移动的载流子,因此也是绝缘区.在半导体材料中折射率和消光系数有如下关系<sup>[6]</sup>,

$$n^2 = \epsilon \{ [1 + (2\sigma/\omega\epsilon)^2]^{1/2} + 1 \} / 2, \quad (5)$$

$$k^2 = \epsilon \{ [1 + (2\sigma/\omega\epsilon)^2]^{1/2} - 1 \} / 2. \quad (6)$$

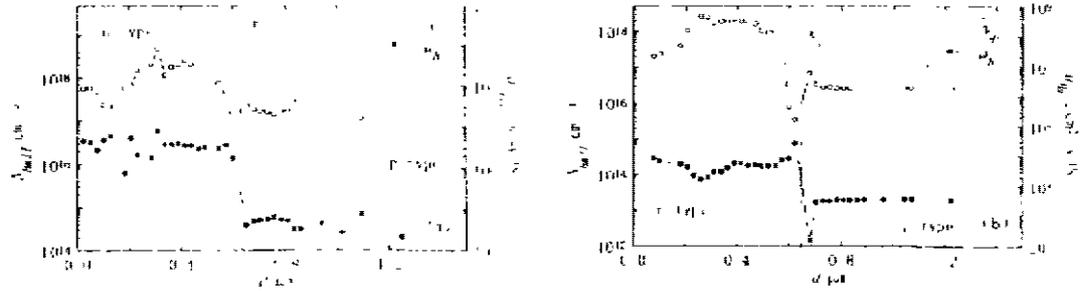


图 1 (a)未退火样品的剥层霍尔测量结果(结深  $x_j=0.65\mu\text{m}$ ),  
(b)退火样品的剥层霍尔测量结果(结深  $x_j=0.63\mu\text{m}$ )

Fig. 1 (a) Sheet Hall measured profile of carrier concentration for as-implanted case in which the p-n junction position is  $x_j=0.65\mu\text{m}$ , (b) Sheet Hall measured profile of carrier concentration for the annealed case and  $x_j=0.63\mu\text{m}$ .

式中  $\epsilon$  表示半导体材料介电常数,  $\sigma$  表示其电导率,  $\omega$  表示频率. 在耗尽区内  $\sigma$  趋于 0,  $n$  最小趋于  $\epsilon^{1/2}$ , 且消光系数趋于 0. 另外 B 离子注入也会引起  $n$  变小<sup>[9]</sup>. 又因为结的宽度和杂质浓度有如下关系:

$$N_d X_n = N_a X_p, \quad (7)$$

结两边的电荷视为相等, 这是在形成结时, 施主向受主传输电子造成的. 式(7)中  $X_n$  和  $X_p$  分别是耗尽区进入 n 型区和 p 型区的深度. 从前面的剥层霍尔结果看出, n 型区的杂质浓度远大于 p 型区的杂质浓度, 因此耗尽区的宽度主要是进入 p 型区的深度. 由于耗尽区的折射率较小, 耗尽区看成一个增透膜, 增透膜的光学厚度等于红外透射谱的最大峰值处波长的 1/4, 即

$$md = \lambda/4. \quad (8)$$

根据这一模型进行拟合<sup>[10]</sup>, 拟合结果与实际的透射光谱相吻合. 结果如图 2. 拟合表明结的宽度为  $0.413\mu\text{m}$ , 在 n 型区的厚度很小, 腐蚀去掉 n 型区后, p-n 结不存在, 红外透射谱又降到原来的峰值. 拟合峰值有所偏离的原因是由于折射率随波数而变化. 同样, 未退火样品的拟合结果相近. 拟合给出的结区宽度与电学方法 C-V 测试结果相近. 对于阻抗小、漏电流大的长波器件, 不适合 C-V 测试, 可用此方法得到结区宽度.

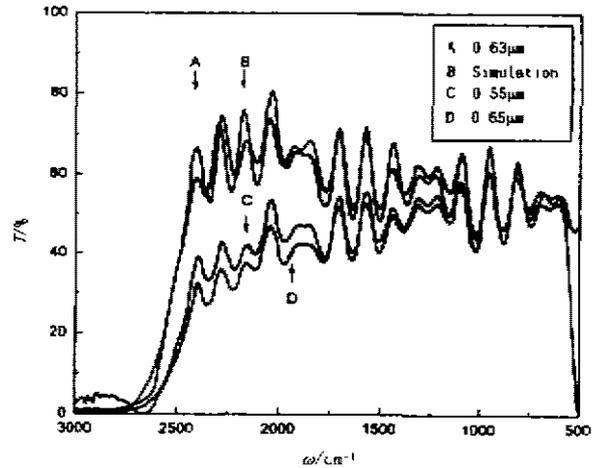


图 2 剥层腐蚀到不同位置的红外透射光谱与到结区的红外透射光谱的拟合曲线  
Fig. 2 Infrared transmission spectra measured at different depth and theoretical by calculated infrared transmission spectrum of p-n junction position

### 3 结论

(1) 通过剥层霍尔测试,了解B离子注入退火和未退火样品的结深,以及载流子浓度和迁移率的分布。(2) 建立结区为增透膜的模型,对结区出现的高透射率进行了光谱拟合,拟合结果与实验相吻合,并给出结区的宽度。

### REFERENCES

- 1 Dewames R E, Wilhanms G M, Pasko J G, *et al. J. Crystal Growth*, 1988, **86**:849
- 2 Destefanis G L. *J. Crystal Growth*, 1988, **86**:700
- 3 Bublac L O, Tennant W E, Lo D S, *et al. Vac. Sci. Technol.*, 1987, **A5**(5):3166
- 4 卞荣斌. *Postdoctoral Report*: Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences (姬荣斌,中国科学院上海技术物理研究所博士后工作报告)1998:54
- 5 Richard L Petritz. *Physical Review*, 1955, **110**(6): 1254
- 6 Hofker W K, Werner H W, Osthoek D P, *et al. Apply Physic.*, 1974, **4**:125
- 7 Cheol-Seong Kim, Makoto Sakata. *Japan, J. Appl. Phys.*, 1979, **18**(2):247
- 8 SHEN Xue-Chu, *Optical Properties in Semiconductors*, Beijing: Science Press (沈学础, 半导体光学性质, 北京: 科学出版社), 1992:10
- 9 XU Yu-Huan. *Ferroelectric Materials and Their Applications*, North-Holland, 1991, 136
- 10 YANG Jian-Rong, WANG Shan-Li, GUO Shi-Fing, *et al. J. Infrared and Millimeter Waves* (杨建荣, 王善力, 郭世平, 等. 红外与毫米波学报), 1996, **15**(5):327

## A STUDY OF ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR BORON IMPLANTATION OF MBE GROWN HgCdTe \*

HUANG Gen-Sheng JI Rong-Bin FANG Wei-Zheng  
YANG Jian-Rong CHEN Xin-Qiang HE Li

(Research Center for Epitaxial Semiconductor Materials, National Laboratory for Infrared Physics, Shanghai  
Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China)

**Abstract** The electrical property of boron implantation of MBE grown HgCdTe and the profile of carrier concentration and mobility measured by sheet Hall were presented. After etching the epilayer to p-n junction position, the transmittance of this position was raised, which was ascribed to the high transmission of junction region.

**Key words** MBE, HgCdTe, sheet Hall, infrared transmission spectra.

\* The project supported by the National Natural Science Foundation of China  
Received 1998-05-25, revised 1998-09-10