

# $D_2^+$ 轰击隔离条形 (GaAl) As/GaAs 双异质结构激光器

庄婉如 马英棣 胡一贯

(中国科学院半导体所)

**提要:** 在室温至 600°C 退火  $D_2^+$  轰击过的 GaAs 单晶片, 只要退火温度低于 200°C, 得到的电阻率可达  $(1\sim 2)\times 10^8$  欧姆·厘米。用  $D_2^+$  轰击 (GaAl) As/GaAs 双异质结构片, 制成的隔离条形激光器, 近场、光谱、频率响应及退火等特性都与  $H^+$  轰击激光器差不多。

## $D_2^+$ bombardment isolated stripe geometry (GaAl) As/GaAs DH lasers

Zhuang Wanru, Ma Yingdi, Hu Yiguan

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

**Abstract:** The resistivity achieved is up to  $(1\sim 2)\times 10^8 \Omega\cdot\text{cm}$  for  $D_2^+$  bombarded GaAs single crystal chips from the room temperature to 600°C so long as the annealing temperature is kept below 200°C. The near field pattern, spectral, frequency response and degradation characteristics for the isolated stripe geometry lasers made of  $D_2^+$  bombarded (GaAl) As/GaAs DH chips are almost the same as those of  $H^+$  bombarded lasers.

### 一、引言

许多作者报道用  $H^+$  轰击 GaAs 及 (GaAl) As 形成的半绝缘体来作器件的高阻隔离制成条形激光器, 已经得到室温连续激光<sup>[1~3]</sup>。用氘( $D_2^+$ )轰击 GaAs, 也可以得到高阻性能<sup>[4]</sup>。 $D_2^+$  轰击剂量一般只需  $H^+$  轰击剂量的  $\frac{1}{20}$ , 得到的电阻率可达  $10^8$  欧姆·厘米, 比  $H^+$  轰击约高一个半数量级。它还具

有热稳定性好, 横向扩散小等优点。我们试验用  $D_2^+$  轰击 GaAs, 为高阻隔离制成了条形激光器, 已经得到了较好的效果。如果用它来作为复杂图形 (例如集成光学或某种功能块) 的高阻隔离层, 工艺上也是不难做到的。

### 二、高阻性能及激光器工艺

为了了解  $D_2^+$  轰击过的 P-GaAs 在经受

收稿日期: 1983年3月9日。

各种温度后高阻性能会起怎样的变化,对轰击过的 GaAs 样品在充  $N_2$  气氛保护下于不同温度下进行热退火,然后测量其电阻率的变化。

样品为 P 型掺 Zn GaAs 片,  $D_2^+$  轰击条件为: 能量  $E=400$  千电子伏, 剂量  $D=5 \times 10^{13}$ /厘米<sup>2</sup>。片子上淀积  $SiO_2$  防止升温后 As 离解,在充  $N_2$  气氛保护下分别于 100°C、200°C、300°C、400°C、500°C 及 600°C 进行退火 20 分钟。

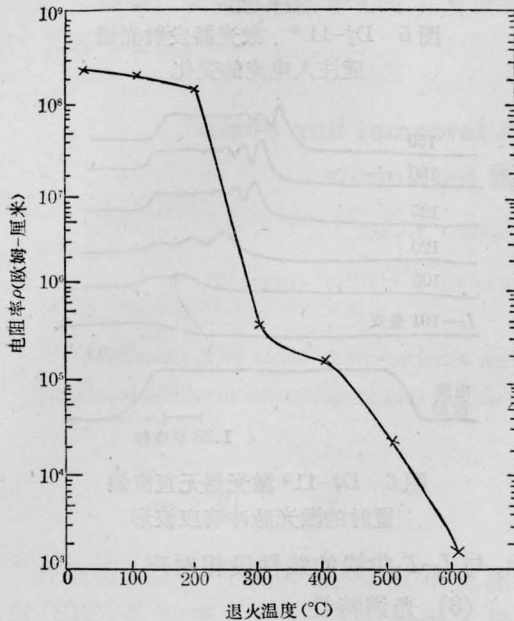


图1  $D_2^+$  轰击 P-GaAs 电阻率随退火温度的变化

退火后电阻率的变化如图 1 所示。由图可知,退火温度超过 200°C 电阻率就开始减小,超过 400°C 电阻率就急剧下降。所以经过  $D_2^+$  轰击过的片子,后面工序的工作温度应尽量避免超过 200°C,切忌超过 400°C 的操作。

$D_2^+$  轰击隔离条形 (GaAl)As/GaAs DH 激光器所用外延片与  $H^+$  轰击用片相同<sup>[2]</sup>,即在  $n$ -GaAs 单晶衬底上依次液相外延  $n$ -GaAs、 $N$ -Ga<sub>0.65</sub>Al<sub>0.35</sub>As、 $P$ -GaAs (有源层)、 $P$ -Ga<sub>0.65</sub>Al<sub>0.35</sub>As、 $P$ -GaAs。 $P$  面浅扩

Zn 后用 15 微米的钨丝网作掩蔽,利用  $D_2^+$  轰击 GaAs, (GaAl)As 产生的半绝缘作器件的高阻隔离。轰击前沿控制在  $P$ -(GaAl)As 层内距离有源层 ~0.5 微米。

## 二、器件性能

$D_2^+$  轰击隔离条形激光器在室温直流正向注入,得到的主要激射性能如下:

(1) 光输出-电流 ( $L-I$ ) 特性随温度的变化

图 2 为  $D_2^+$ -13# 激光器单面光输出功率与注入电流关系曲线随温度的变化,该器件在 65°C 下还能连续激射。所制得的大部分  $D_2^+$  轰击激光器的阈电流  $I_{th}$  在 55~110 毫安。阈电流密度 1500~4000 安培/厘米<sup>2</sup>,外微分子效率  $\eta_D$  为 15~25%,光输出功率几毫瓦至十几毫瓦。由于  $D_2^+$  轰击 DH 激光器属于增益波导,光输出的横模控制比较困难。对于 15 微米条宽的激光器,  $L-I$  特性曲线时常出现扭折。如将条宽缩小至 8 微米以下,则有可能得到良好的线性特性。

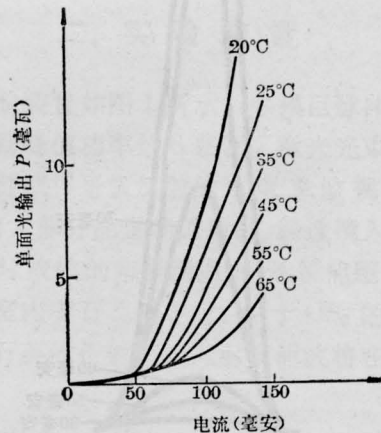


图2  $D_2^+$ -13# 单面光输出功率与电流关系曲线随温度的变化

(2) 近场图样与近场分布

图 3 为采用红外透射/发光观察法得到的近场图样。值得指出的是  $H^+$  浅轰击条形激光器往往有较严重的电流扩展现象,使得



图3 用红外透射/发光法观测的  $D_2^+$  轰击激光器近场发光图样

直流工作的近场图样中条区外也有较强的荧光; 但  $D_2^+$  轰击即使深度比  $H^+$  轰击还浅, 但由于  $D_2^+$  轰击的横向扩展较小, 加上  $D_2^+$  轰击产生的电阻率比  $H^+$  轰击的电阻率高, 所以  $D_2^+$  轰击的横向扩展电流小得多。

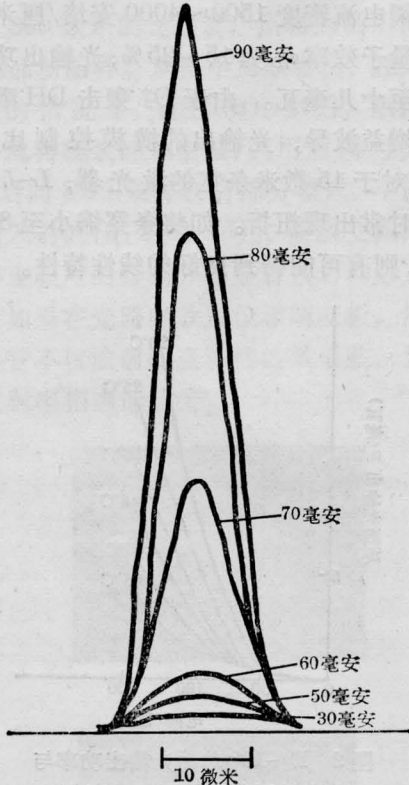


图4  $D_2^+$ -13# 激光器近场分布随注入电流的变化

图4为  $D_2^+$ -13# 激光器平行于  $p-n$  结的近场分布随注入电流的变化。在注入电流为60至90毫安范围内, 器件表现为单横模特

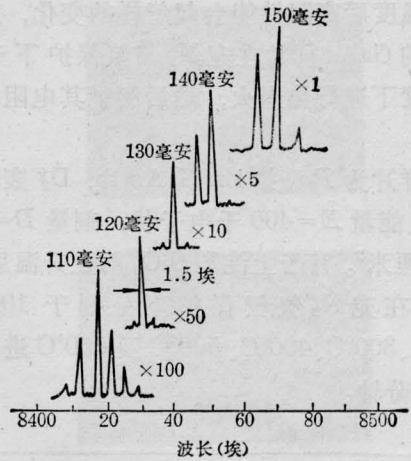


图5  $D_2^+$ -11# 激光器发射光谱随注入电流的变化

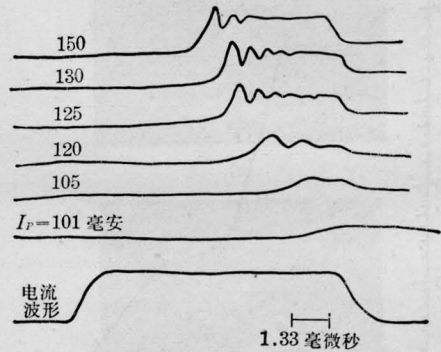


图6  $D_2^+$ -11# 激光器无直流偏置时的激光脉冲响应波形

性, 与  $L-I$  曲线的线性段相对应。

### (3) 光谱特性

图5为  $D_2^+$ -11# 激光器发射光谱随注入电流的变化。器件  $I_{th} = 105$  毫安。电流110毫安时光谱半宽较宽, 在120至130毫安时光谱输出为单纵模, 半宽  $\approx 2 \text{ \AA}$ ; 140毫安时光谱输出2个纵模, 150毫安时光谱出现了三个纵模。随着注入电流的增加光谱峰值向长波方向移动。

### (4) 光电延迟特性

$D_2^+$ -11# 激光器无直流预偏置时的激光脉冲波形示于图6。加上接近  $I_{th}$  的预偏置后, 延迟时间可以小于1毫微秒。延迟时间的公式可以近似写为:

(下转第262页)



果。此图和[5, 6]中的实验曲线相似,但曲线的疏密间隔不同。其原因是文献[6]中阴极下部有一股冷气流过,与激活介质混合,有效电子密度减少,因此下方实验曲线收拢,与本模型不尽相同。文献[5]中由于压力很高,曲线自然密集。

图10给出了本文计算与[6]中图4的 $y=14$ 曲线比较。理论和实验曲线的增益峰值差不多,但前者峰值位置稍向后移,且峰值后的增益变化比较平缓。主要问题是本文假定了正柱区中电流密度沿 $x$ 方向是均匀的。实际上,由于电子扩散和来流冲击,辉光区后移, $n_e$ 沿 $x$ 方向并不均匀。

#### 四、结 束 语

由于采用了均匀电流分布模型,造成诸物理量沿 $x$ 方向变化比较平直。如果能够采用更为合适的电流分布和场强分布,将使计算结果更臻完善。

从计算结果看出,只要各 $z$ 层进口参数相同,因加入电流而引起的流动参数沿 $z$ 方向的变化很小。以 $x=4$ 厘米处的计算结果

为例。当 $z$ 从0变到 $H=3$ 厘米时, $\Delta u \sim 3$ 米/秒, $\Delta T \sim 8$  K, $\Delta P \sim 0$ ,说明忽略不同 $z$ 平面的动量,质量和能量交换是可行的。

感谢我所CO<sub>2</sub>流动激光器实验组的同志们有益的讨论和帮助。

#### 参 考 文 献

- [1] T. A. Cool; *J. Appl. Phys.*, 1969, **40**, No. 9, 3563.
- [2] H. A. Hassan *et al.*; *AIAA J.*, 1972, **10**, 414.
- [3] A. J. Demaria *et al.*; *AIAA Paper*, No. 71-63.
- [4] E. Armandillo, A. S. Kaye; *J. Phys. D. Appl. Phys.*, 1980, **13**, No. 2, 321~328.
- [5] Toshimitsu Akiba *et al.*; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1979, **QE-15**, No. 3, 162.
- [6] 赵建荣等;《中国激光》,1983, **10**, No. 10, 743.
- [7] R. K. Seals; *AIAA Paper*, No. 71-588.
- [8] G. Befefi 编;“Principles of Laser Plasmas”, John Wiley and Sons, Inc., 1976, p. 394.
- [9] R. L. Taylor *et al.*; *Review of Modern Physics*, 1969, No. 4, 1.
- [10] Gen Inoue; *J. Phys. Soc. of Japan*, 1975, **38**, No. 3, 870.
- [11] J. T. Yarelley; *JCP*, 1967, **46**, No. 11, 4491.
- [12] C. B. Moore; *JCP*, 1967, **46**, 4222.
- [13] J. C. Stephenson; *JCP*, 1971, **54**, No. 7, 3097.

(上接第272页)

$$t_d = \tau_{sp} \ln \frac{I_p}{I_p - I_{th} + I_D}$$

式中 $\tau_{sp}$ 为载流子自发复合寿命, $I_p$ 为脉冲电流, $I_D$ 为激光器的直流预偏置。

由公式求得的光电延迟时间与图6实验数据符合得很好。由公式还可得知

$$\tau_{sp} \approx 3 \text{ 毫微秒。}$$

#### (5) 退化特性

取20支D<sub>2</sub><sup>+</sup>轰击DH激光器在室温充氮气氛中以恒定光输出功率1~3毫瓦进行老化考验。结果表明:有一部分器件表现为快退化的特性,即在老化过程中,阈电流 $I_{th}$ 增加很快,激射寿命小于200小时。对于退化率 $\Delta I_{th}/I_{th0} < 4\%/1000$ 小时的器件(这里 $I_{th0}$ 代表初始阈电流, $\Delta I_{th}$ 为经过1000小时

后阈电流的增量),一般激射寿命都可超过5000小时。基本上与H<sup>+</sup>轰击器件类似<sup>[5]</sup>。

北京401所协助进行了D<sub>2</sub><sup>+</sup>轰击试验,上海光机所单振国同志协助用红外透射发光法拍摄了近场图样,特此致谢。

#### 参 考 文 献

- [1] M. Panish, I. Hayashi; *Appl. Phys. Lett.*, 1970, **16**, 326.
- [2] 中国科学院半导体所DH激光器组;《激光》,1979, **6**, No. 12, 8.
- [3] B. E. Pruniaux *et al.*; *IEEE Trans.*, 1972, **ED-19**, 5.
- [4] Kenneth Steeples *et al.*; *IEEE Electron Device Letters*, 1980, **EDL-1**, No. 5, 72.
- [5] 中国科学院半导体所DH激光器组;《激光》,1981, **8**, No. 5, 16.