

# 静电加速器在固体物理上的贡献

## ——质子轰击条形砷化镓双异质结 激光二极管的研究\*

半导体激光组

一室应用组

(中国科学院物理研究所)

(中国科学院高能物理研究所)

### 一、引言

半导体激光器是激光器件的一大分支,其中研究得最多、应用也最广泛的是砷化镓激光二极管。在结构上它也具有一般二极管所共有的半导体 p-n 结,而组成激光器的光谱振荡的反射镜面就是半导体材料本身的两个解理面。在这样的器件的 p-n 结上加以一定值的正向偏置后,就可以在其解理面(腔面)上输出相干辐射。因为这样的激光二极管具有体积小、结构紧凑、操作方便等特点,所以,在激光通讯、测距、警报、工业自动化等方面有极广泛的应用。

但是以往的简单的激光二极管工作阈值比较高,而且只能在较低占空比的脉冲电流下工作。为了克服这些缺点而发展起来的所谓砷化镓-砷化镓铝(GaAs-Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>As)双异质结外延技术,已能使器件的阈电流密度从 10<sup>4</sup> 安培/厘米<sup>2</sup> 量级降到 10<sup>3</sup> 安培/厘米<sup>2</sup> 以下。这种技术的要点是在 p 型砷化镓活性区的两边用外延的方法都生长上一层砷化镓铝(x ≈ 0.3)。因而被注入活性区的载流子以及活性区内形成的激光都能被有效地限制在这一区域内,使阈电流密度下降。

然而,要使器件能在室温下连续工作,还必须使工作电流尽可能地小,而散热性能好。这样就出现了所谓条形器件(图1),也就是把器件的工作区域限制在器件管芯的一小部分内(一般在 50 微米以下)。形成条形结构的方法很多<sup>[1]</sup>,例如用氧化膜把管芯不工作

的区域表面掩盖起来,这样被掩盖区域通过的电流几乎为零。也可以用化学腐蚀的方法把管芯的活性区的不工作的部分腐蚀掉,使工作的条形区域形成一台面。而利用质子轰击是其中较为有效的一种方法。一般地讲,这种方法比较简单方便,散热性能好,成品率高。我们也用质子轰击砷化镓-砷化镓铝双异质结外延片,做成了可在室温下连续工作的半导体激光二极管,并且其中较好管子的工作寿命已能超过 1000 小时。

### 二、简单原理

质子就是氢原子核。要获得高速质子,首先要使氢分子分离成原子,并使其失去电子而成为氢离子(即质子)。在加速器的离子源中,利用气体放电过程(高频或电弧放电)使氢气电离。加速器中的静电场或高频电磁场使质子加速。500 千电子伏质子的速度约为 9.8 × 10<sup>8</sup> 厘米/秒。质子通过物体时,主要与物体中的电子,原子发生相互作用而损失能量。其中最主要的过程是质子与原子中的电子的库仑相互作用,电子被激发或原子被电离。此外还有好几种占次要地位的相互作用,其中又以质子与原子的碰撞,即与原子核的库仑相互作用较为重要。这种相互作用的结果,原子获得能量,其范围从几分之一电子伏到最高达几十千电子伏(对几百千电子伏的质子而言)。如果原子获得的能量大于使晶格原子发生位移的阈能(随不同晶体而异,大约在 20 电子伏左右),原子就离开晶格而造成缺陷。如果原子所获能量较大,它还可以与其它原子碰撞,在附近造成一连串的位移。质子与原子的碰撞过程是晶体受质子轰击而造成辐射损伤的主要原因。质子能量越大,在物体中的射程越长。质子能量在 500 千电子伏左右时,平均每 100 千电子伏可穿透一微米的砷化镓。

一定能量的质子在砷化镓中产生的缺陷对晶体的

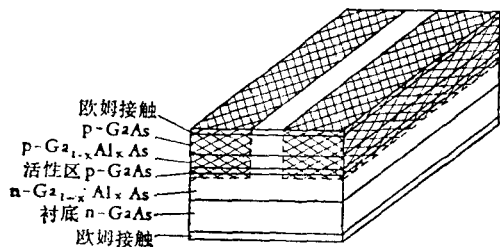


图1 条形砷化镓双异质结激光二极管的结构

\* 1975 年 10 月 4 日收到。

电学和光学性质都有很大的影响。例如,从光吸收实验发现质子轰击后的晶体在能隙内有连续能级产生。而缺陷对载流子却形成深能级的陷阱,常常产生很强的补偿作用,使载流子浓度大大下降,因而使被轰击的晶体的电阻率升高。例如原来电阻率为 $10^{-2}$  欧姆·厘米的P型砷化镓,用300千电子伏的质子束轰击,当剂量为 $3 \times 10^{15}$  质子数/厘米<sup>2</sup>时,轰击后的GaAs的电阻率变成 $2.5 \times 10^3$  欧姆·厘米<sup>[2]</sup>。质子轰击条形器件就是利用上述原理,使条形区以外的外延层用质子轰击来变成高阻材料。这样,在管芯通电流时,只有未受质子轰击(用钨丝遮挡质子)的条形区(图2)才有电流通过。

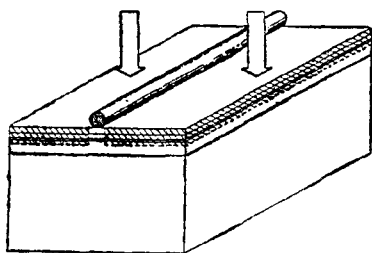


图2 用质子轰击外延片的示意图。箭头表示质子束的轰击方向。打斜线的区域是被质子轰击后变成高阻的部分,被钨丝遮住的部分就是条形区域

### 三、实验设备和方法

实验中所用的质子束是由中国科学院高能物理研究所的静电加速器<sup>[3]</sup>加速的。束流面积用中国科学院化学研究所研制的酸敏感光材料记录。质子剂量是由轰击质子的总数除以束流面积计算出来的。轰击时通常所用的束流强度约0.3微安左右,束流面积大约呈圆形,直径约5—6毫米,轰击剂量约 $(5-9) \times 10^{15}$  / 质子数/厘米<sup>2</sup>。轰击时晶体未加冷却。

在用外延片做质子轰击实验前,我们还进行了许多次砷化镓晶体在轰击后电阻率变化的实验。实验时的能量变化范围从350到800千电子伏,剂量范围从 $2.0 \times 10^{14}$  到 $6.0 \times 10^{16}$  质子数/厘米<sup>2</sup>。所测得的电阻率变化与戴门特(Dymant)<sup>[2]</sup>的结果是一致的。

在对外延片进行轰击前,我们先把欧姆接触做好;否则在做欧姆接触时的合金的高温度会使轰击所产生的电阻升高效果失效。所以在选择质子束能量时,就要求它们能穿透5000埃(Å)左右的金属和后三个外延层(大约2~4微米厚)。我们用的能量范围大致为450—600千电子伏。所用的剂量是 $(5-9) \times 10^{15}$  质子数/厘米<sup>2</sup>。条形区域是用直径为30微米的钨丝作掩蔽的。把钨丝做成间隔为300微米,平行排列的钨丝网。轰击前把这钨丝网盖在外延片上,使钨丝与外延片紧密接触,同时平行于外延片的一个[110]方向。

第1期

轰击后,带着钨丝网,在外延片上蒸发上一层Ag,然后取下钨丝网。这样就会在外延片表面上留下一条条30微米宽的清晰条纹,这就是条形区域的位置。因而就很容易切成管芯,管芯的平均宽度是300微米。把管芯夹在两个镀银的小银片(作散热器)之间,就成了可供测试用的简单的激光二极管。

### 四、测量结果和讨论

实验表明,只要做成宽接触管子的阈电流密度在3000安/厘米<sup>2</sup>左右的外延片,再用上述方法做成的条形管(长250—300微米),就很容易在室温下做到连续工作。

进行测量时的环境温度为300—310K。直流工作时的阈电流是150—400毫安。阈电流密度 $(2-5) \times 10^3$  安/厘米<sup>2</sup>。波长为8600—8700埃。光输出功率2毫瓦以上。从*I-V*特性曲线推算出串联电阻约0.9欧姆。器件寿命已超过1000小时。

远场图样<sup>1)</sup>观察说明,大部分管子在近阈值附近工作时,都是基横模(结平面方向,见文末<名词浅释>)操作。但超过1.2倍阈值工作时,很多管子都出现高级模,也就是活性区的宽度对限制高级模的出现来说实在是太宽了。

近场观察说明质子轰击法对电流的限制是很有效的;一般发光区域在27微米之内。

从外延片的质子轰击区域上切出“管芯”,对于用这种管芯做成的“管子”进行了*I-V*特性测量,当轰击的质子为600千电子伏,剂量达 $9 \times 10^{15}$  质子数/厘米<sup>2</sup>时,这种“管子”的正向*I-V*特性曲线为一水平线,即正向电阻近于无限大;在450千电子伏, $5 \times 10^{15}$  质子数/厘米<sup>2</sup>时,正向曲线在1.4伏处略为向上翘一些,即正向电阻比二极管的大得多,而不绝缘。但这两种情况做成的条形激光二极管的近场图样没什么差别。

通常,为了消除质子轰击所引起的附加的光吸收,在轰击后要把外延片在450℃下退火15分钟<sup>[2]</sup>。我们做了一些退火与不退火的对比实验。结果无论从阈电流密度还是从远场图样来看,两者差别不大。为此,在我们的条件下,退火条件还将重新考虑。

总之,通过我们的实验表明,质子轰击法是制作条形器件的有效的方法。除了退火条件还需进一步考虑外,轰击深度也还待进一步的研究。可能使活性区不受质子轰击会是有利的。可是活性区仅零点几个微米,所以要这样精确地控制轰击深度是有困难的。但只要使第四层砷化镓变成高阻,就会产生很好的电流

1) 二极管活性区内产生的激光在输出腔面上的分布图样,称为近场图样。激光从腔面上输出后,在垂直于腔轴的平面内的强度分布图样,称为远场图样。

限制效果。第三层砷化镓铝 ( $Ga_{1-x}Al_xAs$ ) 很薄, 而且其电阻率比砷化镓高, 它所引起的电流弥散将是不严重的。这样所产生的限制效果和对光附加吸收的消除效果, 都不会比平面条形器件差<sup>[4]</sup>。另外, 探索其它高能粒子轰击所产生的效果也是今后感兴趣的课题。

### 参 考 文 献

- [1] JEE, 92 (July 1974), 53.
- [2] Dymont, J. C. et al., J. Appl. Phys. 44 (1973), 207.
- [3] 叶铭汉等,《物理学报》, 19 (1963), 60.
- [4] Yorezu, H., Japan J. Appl. Phys., 12 (1973), 1585.

# 氧化锌单晶的热液生长\*

氧化锌组

(中国科学院上海硅酸盐化学与工学研究所)

## 一、引 言

氧化锌晶体是一种压电半导体材料, 它具有较低的介电常数 ( $\epsilon_r \approx 10$ ) 和较大的机电耦合系数 ( $k_{33} \approx 0.43-0.47$ )<sup>[1]</sup>。近年来在 ZnO 晶体的人工培育及其应用研究方面都有所进展。ZnO 单晶材料可以用来制作换能器<sup>[2,3]</sup>、谐振器<sup>[4,5]</sup>、超声波放大器<sup>[6,7]</sup>等。它的人工培育方法目前主要有熔剂法<sup>[8]</sup>、气相法<sup>[9,10]</sup>和热液法<sup>[11]</sup>。

遵照毛主席关于“中国人民有志气, 有能力, 一定要在不远的将来, 赶上和超过世界先进水平”<sup>[12]</sup>的教导, 在伟大的无产阶级文化大革命和批林批孔运动的推动下, 我们以《矛盾论》、《实践论》为理论武器指导科研工作, 促进了氧化锌晶体的热液合成, 目前已经培育出了重 60 克以上面积 6 平方厘米以上质量较好的氧化锌单晶。

本实验表明采用热液法能够合成大尺寸、质量好的 ZnO 单晶。在氧化锌单晶的生长工作中我们进行了多方面的条件实验。现将结果与讨论分别叙述如下:

## 二、实验与结果

### 1. 获得质量较好的较大尺寸的 ZnO 单晶的条件

实验压力为 1100 大气压以下。结晶温度为 375~380°C。溶解区与生长区之间的内部温差为 10~15°C。晶体、原料与高压釜壁之间用双层银筒隔绝以防污染。内层银筒中碱溶液的填充度  $f_1$  为 80%, 内外两层银筒之间纯水的填充度  $f_2$  为 78.5%。溶液浓度为 6.0~6.5 N KOH + 0.5~1.0 N LiOH。挡板开孔率为 10% 左右。将自发结晶的小晶粒培育出的晶体垂直于

[0001] 或 [1010] 切割成晶片作籽晶。使用的原料是由 ZnO 粉料经压结并在 1500°C 下保温四小时烧结而成的小块。实验周期 30~40 天左右。合成的 ZnO 晶体如图 1 所示。

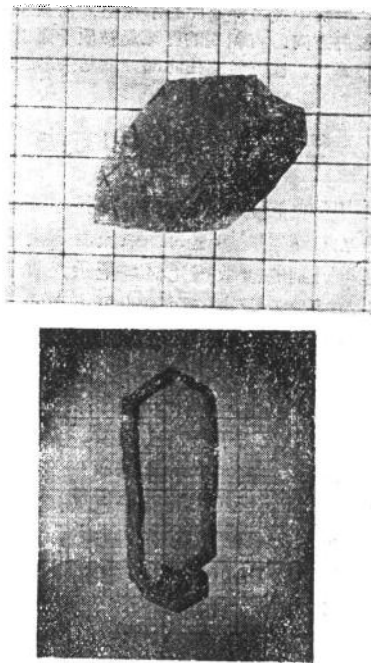


图 1 上为热液合成的 ZnO 单晶体, 下为 ZnO 晶体切片的透明度照片

\* 1975 年 4 月 14 日收到。

- 1) 转引自 1966 年 10 月 29 日《解放军报》。
- 2)  $f_2$  是根据肯尼迪 (Kenedy)<sup>[13]</sup> 所测的在同样热液条件下纯水和碱溶液之间的压力差, 经本实验修正后纯水的填充度。

2.

的  
条  
Na  
碱  
饱  
看  
增  
同

7  
ZnO  
晶  
体  
片  
(mm<sup>2</sup>/ml)

2  
较  
饱  
随  
3.

76  
的