

(AlGa)As/GaAs DH 激光器低温负阻的研究

王守武 顾纯学 王仲明 庄婉如 杨培生

(中国科学院半导体研究所)

1981年5月4日收到, 1982年4月13日修改定稿

提 要

在室温至 77K 范围内测量了 AlGaAs/GaAs DH 激光器的正向伏安特性。发现有些激光器在低温下具有负阻的特性。

采用类 Schottky 模型对 DH 激光器中的 N-Al_{0.3}Ga_{0.7}As/n-GaAs 异质结的电流传输特性进行分析, 认为负阻现象是由于 N 型(AlGa)As 层掺杂浓度偏低, N-n 异质结在低温 DH 激光器正向偏置较大时, 电子从 n 区隧道击穿 N-n 异质结势垒, 或空穴从 P 型有源区注入 N 区引起的。此外 N-AlGaAs 层的施主杂质 Sn 的电离能很大也对低温负阻有贡献。

一、引言

伏安特性是半导体激光器的基本性质之一, 它反映了载流子通过器件的输运过程。由于 DH 激光器具有多层结构, 使得伏-安特性的分析比较复杂。Herny^[1] 和虞丽生^[2]等曾系统地研究过 (GaAl)As-GaAs DH 激光器的伏安特性。

我们在室温至 77K 范围内, 测量了 (AlGa)As-GaAs DH 激光器的正向伏安特性, 发现有部分激光器在低温下出现 S 型负阻^[3]。最近 P. J. Authany 等也观察到出现负阻现象^[4], 但没讨论机理。我们测量了各种电极接触的 GaAs 同质结, (AlGa)As-GaAs 单异质结和 (AlGa)As-GaAs 双异质结激光器在不同温度下的伏安特性, 发现部分双异质结激光器在正向偏置下出现 S 型负阻。这负阻不可能发生在正向偏置下的 (AlGa)As-GaAs p-n 结上, 也不可能由于电极接触不良而引起。因此, N-n 异质结及 N-AlGaAs 区是 DH 激光器产生负阻的关键所在。用 Schottky 模型推导了 N-n 结反向电流传输特性, 和实验进行了比较, 并提出了产生负阻的解释。

二、实验测量

实验中所用激光器外延片各层的类型, 厚度, 掺杂等如图 1 所示。

用宽接触型 ($130 \times 250 \mu\text{m}^2$) 和 H⁺ 轰击条型 ($15 \times 250 \mu\text{m}^2$) DH 激光器分别进行了直流和脉冲条件 (三角波底宽 $10 \mu\text{s}$, 频率 3kc/s) 下的伏安特性测量。条形器件和宽接触器件特性基本相似。

1. DH 激光器伏安特性

图 2(a) 为 H⁺ 轰击条形 GaAlAs/GaAs DH 激光器直流伏安特性随温度的变化, 图中

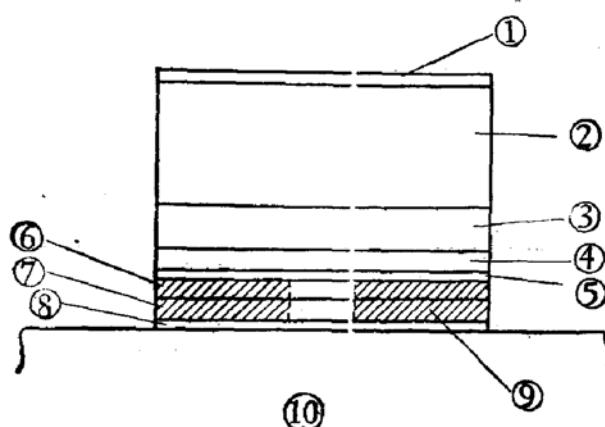
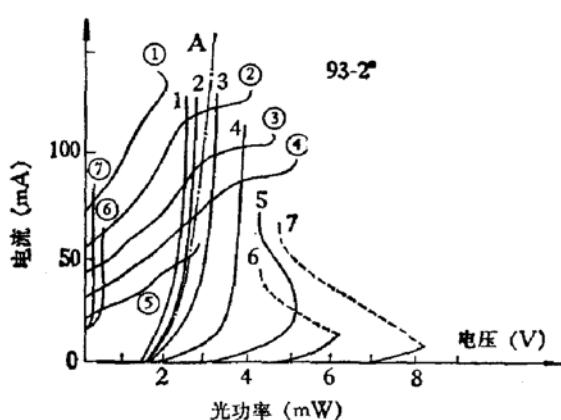
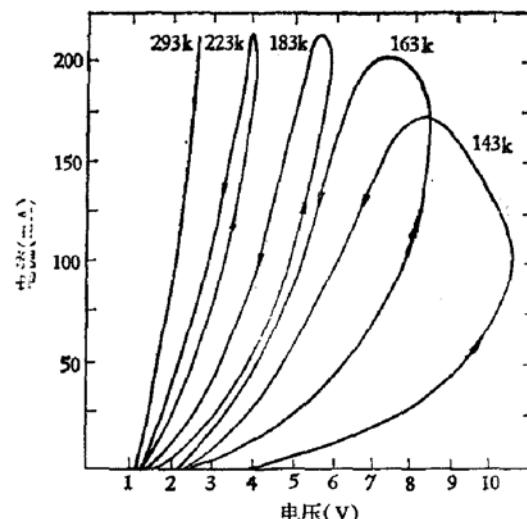


图1 (AlGa)As/GaAs DH 激光器结构示意图

- | | |
|--|---|
| ① n 面电极接触 | ② n-GaAs:Si ($1\sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) $\sim 80 \mu\text{m}$ |
| ③ n-GaAs:Te($1\sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$) $\sim 10 \mu\text{m}$ | ④ N-Al _{0.3} Ga _{0.7} As:Sn($0.3\sim 1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) $\sim 2 \mu\text{m}$ |
| ⑤ p-GaAs:Si $\sim 7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ $\sim 0.3 \mu\text{m}$ | ⑥ P-Al _{0.3} Ga _{0.7} As:Ge $\sim 2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ $\sim 2 \mu\text{m}$ |
| ⑦ p-GaAs:Ge $\sim 2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ $\sim 2 \mu\text{m}$ | ⑧ p-bar 面欧姆接触 |
| ⑨ 质子轰击区 | ⑩ 铜热沉 |

图2(a) 条形激光器 $L-I$ 特性曲线
和 $V-I$ 特性曲线图2(b) 宽接触 DH 激光器脉冲伏安
特性随温度的变化

$L-I$ 特性	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
$V-I$ 特性	1	2	3	4	5	6	7
温度 (K)	293	263	238	213	163	138	118

A 曲线——为 77K 正常激光器 $V-I$ 特性

点划线表示了 77K 时正常的伏安特性。图 2(b) 为 DH 激光器在三角波脉冲(底宽 $10 \mu\text{s}$)下的伏安特性随温度的变化。在室温下, 不管是在直流或脉冲情况, 不同的激光器的伏安特性都看不出有多大差别, 但随温度降低, 有些激光器则出现了异常的伏安特性。

2. 异常伏安特性的特征

异常伏-安特性的特征是:

- 约在 -90°C 以下开始出现 S 型负阻。

② 随温度降低, 激光器反转点的电压升高, 电流减少, 电压由几伏至十几伏, 表 1 是同一器件在不同温度下伏安特性上反转点 B 所对应的功率 $I(V - V_0)$. (V_0 为 p-N 结上的压降.)

表 1 伏安特性反转点对应的功率

温度 (K)	183	163	143	123
B 点的功率 (宽接触, 直流) W*	0.31	0.31	0.27	0.30
B 点的功率 (条形, 直流) W		0.106	0.094	0.099
B 点的功率 (条形, 脉冲) W			0.44	

* 宽接触器件比条形器件面积约大 10 倍, 比较功率应以相同面积比较.

表 1 指出器件产生负阻需要一定的功率. 器件的散热条件越差, 所需功率越少. 条型器件在脉冲条件情况温升最小, 直流下的条型次之, 宽接触器件直流温升最大, 所以所需功率逐步减少是可以理解的.

③ 随温度降低, 激光器阈值减少; 输出光功率增加, 一般在 240K 至 210K 之间有最佳输出. 温度再低, 光输出减少, 到负阻严重出现电压跳变时, 激光器只有超辐射或荧光.

④ 从图 2(a) 和 2(b) 比较可以看出, 对同样的热沉温度脉冲下的反转电压比较大, 说明在直流下器件的温度显著地较热沉温度高, 而且随着温度降低电流的上升和下降曲线间的面积增大, 说明负阻与器件的温升直接有关.

⑤ 用上升为 $5\mu s$ 的三角波作实验, 如果不加保护电阻, 则发生负阻后所有器件都烧坏, 由此可以估计这类负阻效应的响应时间可能是微秒量级.

3. N-n 异质结的 $V-I$ 特性

实验中的 N-n 结是模拟通常的 DH 激光器工艺生长的 N(AlGa)As-(n)GaAs 层. 为了消除非欧姆接触引进的误差, 我们设计了如图 3 的测量势垒装置.

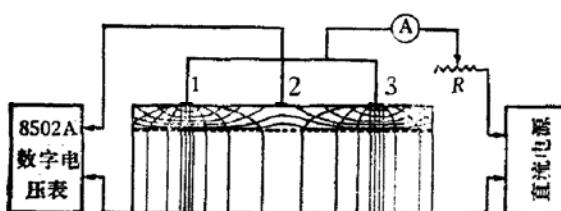


图 3 N-n 异质结势垒测量装置示意图

电极 1, 3 为加偏置的电极, 它们对称分布在电极 2 的两旁. 电极 2 为测量电极. 当加上偏置后, 在样品内有电流流过. 图中示意地画出了电流线和等位面. 因为 N-(AlGa)As 电子浓度比较小, 电阻比较大, 所以电流是不均匀分布的, n-GaAs 电子浓度很大, 迁移率又高, 电阻很小, 电流垂直流过 N-n 结; 因此在 N-n 结上没有横向电流, N-n 结为一等位面. 通过高输入阻抗的数字电压表 ($10^{11}\Omega$) 即可测出 N-n 异质结的电压. 由于通过电极 2 进行测量时在测量回路中几乎没有电流, 所以电极接触对测量结果不产生影响. 当 1-2-3 电极间的距离充分大时, 电极 2 测得的电压即为 N-n 结上的电压. 图 4 为测量得到的不同温度下的 $V-I$ 特性. 1, 3 电极面积为 $2 \times (300 \times 400 \mu m^2)$. 此外实验中的

N-GaAlAs 层比较厚 ($8\mu\text{m}$)，因此实际的结温可能比环境温度高得多。

从图 4 的不同特性看，在低温下正向势垒电压约为 0.1V，这说明在 N-n 异质结面上没有明显的界面态存在，这可能是由于 GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs 异质结晶格匹配比较好，生长工艺比较完善的结果。从反向可以看到反向电流随温度降低而减小，而且随偏置的加大而增加。对于 (GaAl)As-GaAs 的 N-n 异质结电流传输特性，Garner 等人发现它没有整流效应^[5]，而 Chandra 等人的实验又表明它具有整流效应^[6]。事实上，N-n 异质结的整流特性是与结的突变或渐变，结两侧的掺杂和界面态的多寡以及测量的温度范围等密切相关的。

三、N-(AlGa)As-n-GaAs 反向伏安特性理论分析

因为在激光器正向偏置时，N-n 结是处于反向偏置的，(N 接电源正极，n 接电源负极)，所以这里仅给出反向的分析。

GaAs 和 Ga_{0.7}Al_{0.3}As 是晶格常数非常相近的材料，因此我们可以忽略界面态的影响。对 n 边， $n = 1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ ，而 N 边， $N = 1 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$ 。因为 $n \gg N$ ，所以取 $V_{DN} = V_D$ ， $V_2 = V$ ，简化后的能带图很类似于金属-N 型半导体接触形成的 Schottky 势垒，我们称它为类 Schottky 模型。图 5 给出了反向偏置的能带图。按图中给的坐标在 N 区从导带起算的势能 $V(x) = qN_D^+ x^2/q_2$ ， $0 \leq x \leq x_N$ 。

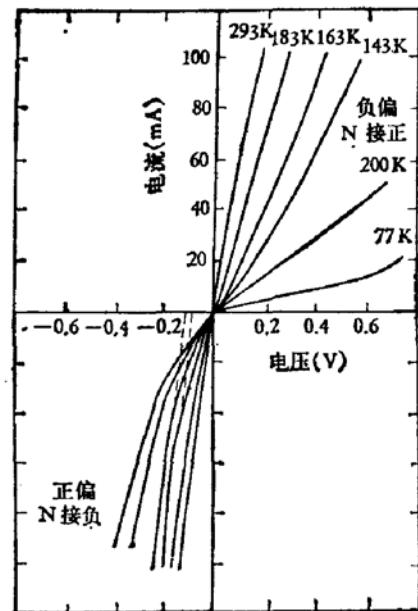


图 4 n 个温度下的 N-n 异质结 $V-I$ 特性

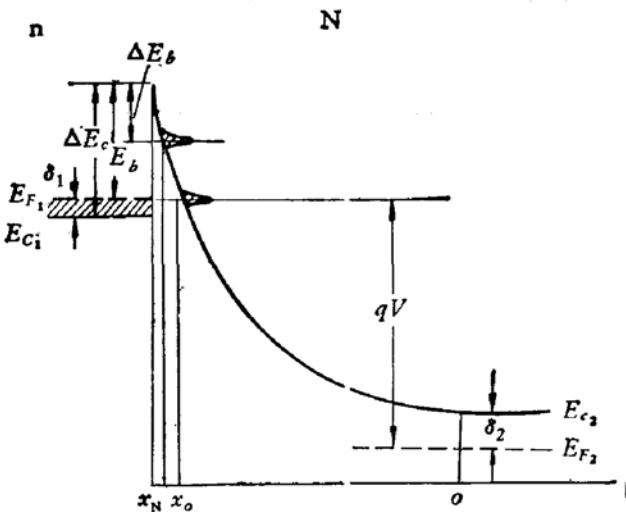


图 5 反向偏置时的 N-n 异质结能带图

在 N-n 结反向偏置时， ΔE_c 不变，N-GaAlAs 导带边向下移动，反向电流为热发射电流和隧道电流之和。

1. 热发射电流

由发射理论, N-n 结热发射电流密度为^[7]

$$j_e = \frac{q}{\sqrt{6\pi}} N_{D_1} \bar{v}_2 \exp\left(-\frac{qV_{D_2}}{KT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV_2}{KT}\right) - \exp\left(-\frac{qV_1}{KT}\right) \right] \quad (1)$$

其中 $\bar{v}_2 = \sqrt{\frac{3KT}{m_2^*}}$ 是宽禁带半导体电子热运动的均方根速度。当反偏增加到 $\exp\left(\frac{qV}{KT}\right) \rightarrow 0$, 则(1)式变为

$$j_e = \frac{q}{\sqrt{6\pi}} N_{D_1} \bar{v}_2 \exp\left(-\frac{qV_{D_2}}{KT}\right) \quad (2)$$

上式还需做如下修正: a. 反偏时镜像力使势垒降低^[8]

$$q\Delta\phi = \frac{q}{4} \left[\frac{2q^3 N_{D_2}}{\pi^2 \epsilon_2^3} (V_{D_2} + V_2) \right]^{\frac{1}{2}};$$

b. 反偏时 E_{c_1} 向上抬起使势垒降低 qV_1 (这里 V_1 和 V_2 都取正值), 经修正后, (2)式可成写

$$j_e = \frac{q}{\sqrt{6\pi}} N_{D_1} \bar{v}_2 \exp\left[-\frac{q(V_{D_2} - \Delta\phi - V_1)}{KT}\right] \quad (3)$$

利用(3)式算得的结果列于表 2。可以认为在室温附近, 热发射是 DH 激光器中处于反偏的 Al_{0.3}Ga_{0.7}As-GaAs N-n 异质结的主要电流传输机构之一。

表 2 反偏热发射电流密度和杂质浓度与外加电压的关系 ($T = 300K$)

N_{D_1} (cm ⁻³)	N_{D_2} (cm ⁻³)	V (V)			
		0.1	0.2	0.5	1
		j_e	(A · cm ⁻²)		
1×10^{18}	1×10^{18}	973	1327	2667	5154
	1×10^{17}	167	203	299	495
	1×10^{16}	68	73	89	116

利用(3)式估算降低温度对热发射电流的影响: 例如 $N_{D_1} = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $N_{D_2} = 1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, 则 $\frac{j_e(T=77K)}{j_e(T=300K)} = 1.88 \times 10^{-14}$ 。这说明, 随温度降低热发射电流急剧减小。可以认为当温度降到某一数值以下时, 热发射就被截止。

2. 隧道电流

反向的隧道电流如下式

$$J_{th} = \int_{E_{c_1}}^{E_b} qn(E_x) \mu(E_x) T_t(E_x) dE_x \quad (4)$$

式中 $n(E_x)$ 为能量为 E_x 的电子浓度, $\mu(E_x)$ 为在 x 方向的电子速度, $T_t(E_x)$ 为电子隧道穿过势垒的几率, E_x 为电子在 x 方向的动能分量。为了便于讨论对(4)式作如下近似:

(a) 在较高温和小偏置情况, 假设 n-边的电子可以用 Boltzmann 分布来计算, 并假设所有 $E > E_{F_1} + E_b - \Delta E_b$ 的电子总数(每单位体积)为 $n \exp[-(E_b - \Delta E_b)/KT]$ 。这些电子在计算隧道电流中假定都是以能量为 $E_b - \Delta E_b + E_{F_1}$ 时的几率穿过势垒。在不同

偏置下, ΔE_b 是由得到最大隧道电流的条件来决定。还假定电子穿过势垒的平均有效速度为 $\frac{v}{4}$, v 为动能为 $(E_b - \Delta E_b + \delta_1)$ 时的电子速度。取这时的隧道电流为 J_{th_1} 。

(b) 在较低温度下, 假定电子都处于 E_{F_1} 以下, 电子在 E_{F_1} 附近隧道穿过势垒, 其速度为电子的平均速度。取这时的隧道电流为 J_{th_2} 。

(c) 假设在上述第一种情况中 $E > E_{F_1} + E_b - \Delta E_b$ 时, 和第二种情况中 $E > E_{F_1}$ 时的势垒形状均为三角形, 并且隧道穿透几率用 WKB 近似即

$$T_t(E) = \exp\left(-\frac{2}{\hbar}\int_x^{x_N}\{2n^*[qV(x) - E]\}^{1/2}\right) \quad (5)$$

基于以上假设可以得到:

$$J_{th_1} = \frac{q}{4} v \cdot n \cdot \exp[-q(E_b - \Delta E_b)/kT - B(V)\Delta E_b^{3/2}] \quad (6)$$

$$J_{th_2} = \frac{q}{4} \left(\frac{8kT}{\pi m^*}\right)^{1/2} \cdot n \cdot \exp[-\beta(V)E_b^{3/2}] \quad (7)$$

$$B(V) = \frac{4}{3} \left(\frac{2m^*}{\hbar^2}\right)^{1/2} \left[\frac{\epsilon}{2N_{D_1}^+(E_b + V - \delta_2)}\right]^{1/2}$$

在(6)式中 ΔE_b 是一个与温度和外加偏压有关的量, 它确定热电子隧道电流有最大值时的势垒位置。可以从(6)式求出 ΔE_b 。

$$\text{由 } \frac{\partial J_{th_1}}{\partial \Delta E_b} = 0, \text{ 并取 } v = \left[\frac{2(E_b + \delta_1 - \Delta E_b)}{m^*}\right]^{1/2} \text{ 可得}$$

$$2(E_b + \delta_1 - \Delta E_b)q \cdot \left[\frac{q}{KT} - \frac{3}{2} B(V)\Delta E_b^{1/2}\right] = 1 \quad (8)$$

从中可以求出不同温度和偏置下的 ΔE_b 。将所得之 ΔE_b 代入(6)式, 同时使用(7)式就可以计算 J_{th_1} 和 J_{th_2} 。

从(7)式可以看出在较低温度时隧道电流与温度只有 $1/2$ 次方关系, 但随偏压及浓度

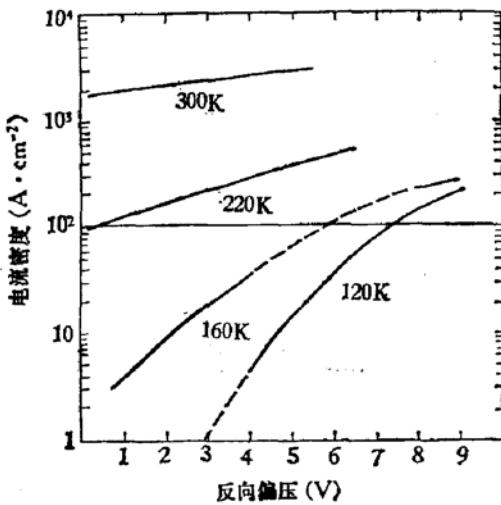


图 6(a) 不同温度下 N-n 结隧道电流和外加偏压的关系

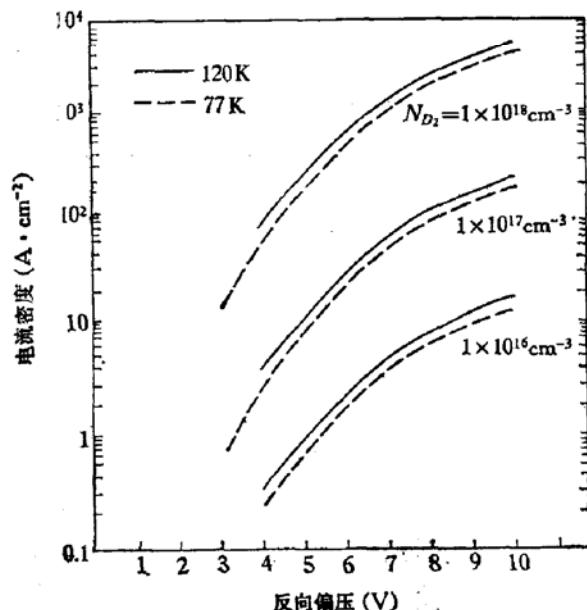


图 6(b) N-n 结隧道电流与 N 区掺杂浓度关系

的 $1/2$ 次方指数式地增加。从公式(6)、(7)可以看到, E_b 是个很重要的参量。但它受很多因素影响。如液相外延的 N-n 结在某种程度上是缓变的, 它可能使 E_b 减小^[9], 镜象力和反向偏置也会使 E_b 降低。取 $E_b = 0.2\text{eV}$, 计算不同温度下隧道电流与外加偏置的关系表示在图 6(a), 结果表明在温度低于 120K, 偏置大于 4 伏时隧道电流由(7)式决定。图 6(b)画出当温度低于 120K, 偏置大于 4 伏时 N-n 结隧道电流与 N 区掺杂浓度关系。结果表明, 隧道电流与温度关系很小, 但与掺杂浓度及偏压关系很大。(图 6(a) 中虚线部分表示应由(4)式的积分计算。)

四、低温负阻产生的机理

1. 电子隧道击穿 N-n 结的负阻

从图 6 知道在室温下 DH 激光器正向偏置时(N-n 结处在反向偏置)N-n 结的热发射电流和隧道电流都很大, N 区载流子浓度也比较高, 因此在 N-n 结和 N 区的压降很小, 这时不会产生负阻。当温度降低, 从(6)(7)式和图 6 可知, 一方面热发射电流迅速减小, N-n 结上压降增加, 另外由于 N 区载流子浓度指数减小, 因此势垒区外的电阻率也指数增加, 使得 N-n 结和 N 区表现为高阻区。我们可以从图 6 及有关的数据估计低温下在 N-n 结和 N 区的电压分布。在图 6(a) 上取电流值为 $100\text{A}/\text{cm}^2$ 左右的数值(这个取值有任意性, 它不一定对应下面将要取的电流值, 但这不影响定性的讨论), 我们可以得到不同温度下 N-n 结上的压降, 由此可得到 N-n 势垒的宽度, 此外假定流过激光器的电流为 10mA 时, 从 N 区载流子浓度, 电阻率及势垒区外的宽度等有关数据可以求出在 N-GaAlAs 区中势垒区外的压降。结果如表 3。计算中取 $x = 0.3$, Sn 的电离能为 100meV ^[10] $\mu_n = 1500 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{sec}$ 激光器的面积为 $13 \times 200(\mu\text{m})^2$, N-Ga_{1-x}Al_xAs 区宽度为 $2\mu\text{m}$ 。

表 3

温 度 (°C)	N 区载流子浓度 $N(\text{cm}^{-3})$	N 区电阻率 ($\Omega\text{-cm}$)	N-n 结上的电压 (V)	势垒宽度 (μm)	势垒外的 宽度 (μm)	势垒外的 电压 (V)
+20	1×10^{17}	0.42	—	—	—	—
-50	2×10^{16}	2	0.25	0.13	1.87	0.023
-110	3.45×10^{15}	12	5.8	0.48	1.52	0.13
-150	3.8×10^{14}	118	7.4	0.54	1.46	1.4

因此可以说在不太低的温度下(如-110°C)外加电压主要降在 N-n 结上, 即 N-n 结是限制电流的主要机构, 但在低温(如-150°C) N 区电阻上的压降相对增加, 外加电压由 N 区的电阻和 N-n 结分配。

从隧道电流和 N 区电阻率随温度的变化可以说明这一点。在不太低的温度下隧道电流由(6)式决定, 它随温度变化较快, 而此时 N 区的电阻率虽然随温度降低指数增加, 但其绝对值并不大, 所以电压主要降在 N-n 结上。在更低温下隧道电流由(7)式决定, 它随温度变化不大, 但此时 N 区的电阻率不仅仍随温度降低指数增加, 而且其绝对值也不小^[11], 所以在 N 区电阻上的压降相对增加, 使外加电压同时分配在 N-n 结和 N 区上。

总之, 在低温下当偏置增加使得隧道电流增加到某一确定值时(以下称这种情形为N-n隧道击穿), 这个隧道电流和伴随着的热效应将导致激光器出现负阻。

图7是在某一低温下发生隧道击穿时N-GaAlAs区的电场分布示意图和相应的能带图。

从图7可以推知:

$$V - V_0 = Ed + \frac{E_0 - E}{2} x_N$$

其中 V_0 为p-n结和器件其余部分的压降, V 为击穿电压, E_0 为隧道击穿时的电场, E 为N-势垒区边界的欧姆电场。显然 $V - V_0$ 由 E_0 , E 和 x_N 决定。

在发生N-n结势垒隧道击穿时, 隧道电流很大, 这些电子在高场下向N-p结运动, 到达P区后与空穴复合, 这时在结区的过程可表示为

$$V^t \rightarrow I^t \rightarrow T^t \rightarrow I^t$$

在电阻上的过程为

$$\rightarrow I^t \rightarrow T^t \rightarrow R_N^t$$

这样两个过程使得流过器件的电流迅速增大而其上压降迅速减小, 因而出现负阻。

2. 空穴注入引起的负阻^[12]

如果当反向偏压还不足以使N-n结隧道击穿时, 偏置的增加却能使N-p结的正向偏置厉害到能使N-GaAlAs的空穴势垒减小而发生空穴从P区注入N区。(电场分布和能带图类似图7)此时注入的空穴在高场下向N-n结运动, 并在N-n结与电子复合消失。这个空穴电流也会使N区温度升高而产生负阻。不过这部分增加的空穴电流不会使DH激光器发光, 所以随着这种过程的增加, 激光器的光输出不会随电流而相应增大。图8是对应这种情形的I-V曲线。图9是相应的电流-光强曲线。

从图9, 对比+20℃, -50℃, -90℃的I-L曲线可以看到, 没有发生负阻时光输出随电流线性增大。而且低温发光效率较高, 所以在同样电流下-50℃和-90℃的光强较大, 但对-110℃以下的温度, 尽管温度较低, 但发生负阻后光强并不增加, 其绝对强度甚至比较高温度下的光强还小。说明这时的负阻主要是由于空穴注入N边产生的。

至于空穴注入时的电场, 电压分布情况可类似电子隧道击穿的情形。还应将对应电子的量换成对应空穴的量。因此在具体数值上会有较大的差别。(因为在GaAs和GaAlAs中空穴的有效质量比电子大得多, 迁移率比电子小得多。)

一般来说如图1所示结构的器件, 如果N-GaAlAs的载流子浓度较低, 则当温度足够低时, 在N-势垒区外的电场较大, 由空穴注入产生的负阻可能是主要的。但如果N区载流子浓度相对较高, 则负阻可能是电子隧道击穿N-n势垒引起的。这时光输出随电流而增加。不过上述两种过程不能截然分开。至于哪一个起主要作用则应由具体条件而定。

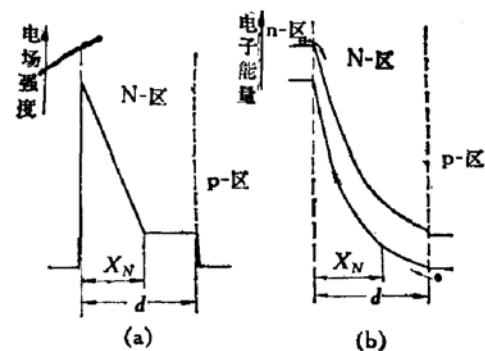
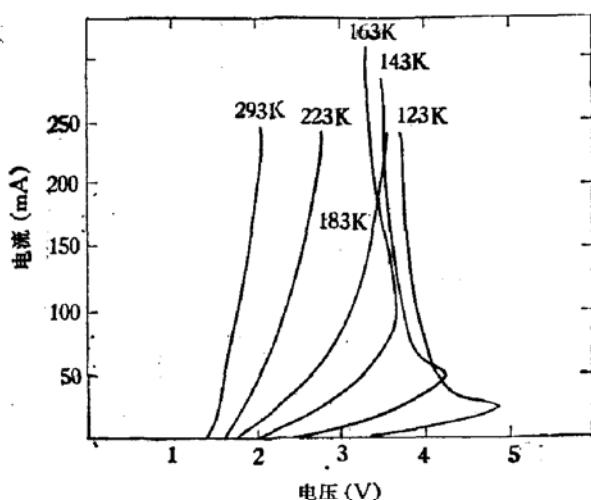
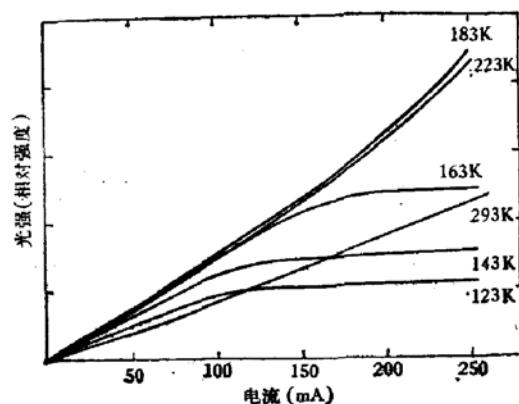


图7 N-GaAlAs区隧道击穿时(a)电场分布;(b)相应的能带图

图 8 空穴注入产生负阻的 $I-V$ 曲线图 9 空穴注入产生负阻的 $I-L$ 曲线

例如在很低的温度(如 77K)由于 N-n 结和 N-区上的压降增加,使电子隧道击穿引起的负阻要求更大的偏置,但 N-区压降的增加却有利于空穴的注入。因此空穴注入的负阻可能是主要的,这大概是在 77K 下激光器不仅不激射,甚至光强很小的原因。

五、结 束 语

采用忽略界面态的类 Shottky 模型分析了简并掺杂的 n-GaAs:Te 和低掺的 N-Al_{0.3}Ga_{0.7}As:Sn 的 N-n 异质结的反向电流传输特性,与实验伏安曲线定性相符。

发展了一种当表面电极是非欧姆接触时测量 N-n 界面势垒的方法。这个方法还可以推广应用到其它表面是非欧姆接触的界面和夹层势垒的测量。

解释了 Al_{0.3}Ga_{0.7}As-GaAsDH 激光器在低温下伏安曲线产生负阻的现象。认为负阻现象主要是由于 N 型 Al_{0.3}Ga_{0.7}As 层掺杂浓度偏低, N-n 异质结在低温反向偏置较大时,电子从 n 区隧道击穿 N-n 异质结势垒所引起。如果发生负阻后,光强随温度降低反而减少,这时则可能是由于空穴注入产生的负阻变为主要的,掺 Sn/N 型 Al_{0.3}Ga_{0.7}As 的体电阻在低温下变得很大也对负阻有贡献。

如果计人界面态,则势垒高度和宽度都会增加,可能使负阻出现的温度提高和所需的击穿电压降低。

DH 激光器伏安特性在低温下出现负阻现象,反映了器件在结构设计和制造工艺上还有待改进。我们认为要避免器件在低温下产生负阻现象,可以采取以下措施:①提高 N 型 Al_{0.3}Ga_{0.7}As 层的掺杂浓度;②选用一种电离能小并且没有自补偿作用的施主杂质来代替 Sn;③改进液相外延工艺,减小界面态。

本文只对 Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs DH 激光器在低温下伏安特性产生负阻的现象进行解释,指出了器件改进的方向,但还需要在实践上得到证实。另外,到底负阻特性对器件其它性能有何影响,还有待搞清楚。

工作中,北京大学虞丽生老师及本所王启明同志给予了有益的讨论,还得到本所 702, 701 组同志们的帮助,在此表示谢意。

参 考 文 献

- [1] C. H. Herry et al., *J. Appl. Phys.*, **49**, 3530 (1978).
- [2] 虞丽生, 激光, **7**, No. 7, 9 (1980).
- [3] 顾纯学, 杨培生, 半导体光电, No. 2, 84 (1981).
- [4] P. J. Authany et al., *IEEE. J. Quantum Electron.*, **QE-16**, 735 (1980).
- [5] C. M. Garner, *J. Vac. Sci. Tech.*, **15**, 4 (1978).
- [6] A. Chandra and L. Eastman, Abstracts, Sixth Annual Conference on the Physics of Compound Semiconductor Interface, 88 (1979).
- [7] R. C. Kumar, *Int. J. Electronics*, **25**, 239 (1968)
- [8] 刘恩科等编, 半导体物理, 国防工业出版社, (1979).
- [9] J. F. Womac et al., *J. Appl. Phys.*, **43**, 4129 (1972).
- [10] Kunio Kaneko et al., GaAs and Related Compound (Edinburgh), Iep. Cof. Ser., **33a**, 216 (1976).
- [11] 虞丽生, 王存达, 半导体光电, No. 2, 90 (1981).
- [12] 王仲明, 第三届全国半导体物理会议报告, 1991年12月。

Negative Resistance Effect in (AlGa)As/GaAs DH Laser at Low Temperature

Wang Showwu, Gu Chunxue, Wang Zhongming

Zhuang Wanru and Yang Peisheng

(Institute of Semiconductors, Academia Sinica)

Abstract

The voltage-current characteristics of forward biased (AlGa)As/GaAs DH Laser have been measured in the temperature range of 77—300 K. The negative resistance effect has been observed in some Lasers at low temperature.

A Schottky-like model has been proposed to analyse the current transport properties of the heterojunction. According to this model, when a rather high forward bias is applied to the DH Laser with very low doping density in N-(AlGa)As layer, a negative resistance effect is expected to be observed at low temperature because of the electrons tunnelling through the N-n heterojunction barrier or the holes being injected from the p-active region into the N-(AlGa)As layer. Besides the fact mentioned above the high ionization energy of donor impurity tin in N-(AlGa)As layer will make contribution to this effect too.