

音谱均方根幅值均有成倍的抑制作用。谱在极低频率处有极大值, 高于 100 千赫时幅度迅速接近量子噪音极限。此外弛豫振荡衰减常数 α 为^[1]:

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\tau} + \frac{1}{\tau_s} \right)$$

式中 τ 为自发衰减率, τ_s 为受激衰减率。在我们要求的多模输出工作范围内, 估算的弛豫振荡频率约 32~51 千赫。实测噪音谱的弛豫峰跟估算相符。经测试可知, 造成输出扰动的物理因素虽然众多, 但影响起伏的主要因素还是小于 10 赫的极低频率以及弛豫振荡频率。特别是虽然弛豫振荡是可线性化的小扰动, 但当激光器受到外界冲击振动时, 衰减弛豫振荡会以尖峰方式输出, 这种大扰动具有高度非线性特征。实验中并对泵浦氪灯进行监控, 泵浦源剩余纹波引起的扰动不明显, 因此氪灯中等离子体不稳定性对起伏影响不大。

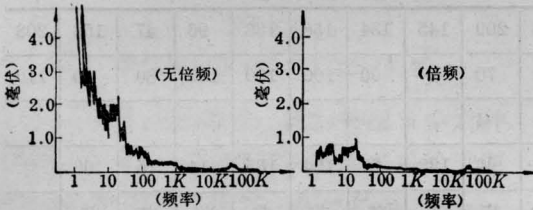


图 6 1.06 微米输出噪音谱

我们进一步用无反馈控制高压触发连续电源作了对比试验。该电源性能指标为: 电压漂移 2×10^{-2} ; 电流漂移 3×10^{-2} ; 纹波系数 10^{-3} 。激光器装置同前, 测试是在高于阈值电流 3 安时进行的。无倍频时噪音起伏为 $\pm 42 \sim \pm 45\%$, 温度匹配时降为 $\leq \pm 10\%$ 。工作 40 分钟, 连续电源慢漂移电流下降 0.5 安以及电压下降 5 伏时, 噪音起伏随时间变化

如图 7 所示。同时, 温度控制偏离也类似于图 5 的曲线。

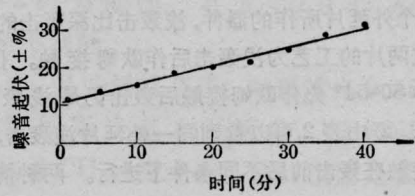


图 7 无反馈控制时高压触发源噪音的变化

综上所述, 我们看到无倍频器高于阈值工作时, 虽然短期平均起伏量也许不大, 但长期情况就很差, 单纯提高泵浦源精度难以克服其它物理原因造成的激光扰动。可见, 若简易泵浦源采取电流反馈控制, 而工作台采用隔震垫避免机械振动引起低频损耗起伏, 就很有希望采取倍频稳定方案达到输出起伏为百分之几的精度。

本文曾蒙张绶庆先生悉心指导并审阅, 提出了许多重要意见, 衷怀铭刻。

参 考 文 献

- [1] W. Koechner; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1972, **QE-8**, No. 7, 656.
- [2] C. J. Kennedy; *USP*, No. 4044316.
- [3] C. J. Kennedy, J. D. Barry; *IEEE J. Quant. Electr.*, 1974, **QE-10**, 596.

(上海市激光技术研究所
吕建华 蒋家麟 刘伟
程关铝 魏洁云 朱三又
上海市硅酸盐所 吴惠法
徐惠德 1981年7月7日
收稿)

Ga_{1-x}Al_xAs-GaAs DH 激光器的质子轰击研究

Abstract: New technologies using proton bombardment to form Ga_{1-x}Al_xAsGaAs DH lasers of stripe-geometry are described and our experimental results are given.

质子轰击条形 DH 激光器, 通常我们采用常规的液相外延方法来制造。一般在 *n*-GaAs 衬底材料上生长 Ga_{1-x}Al_xAs-GaAs 五层 DH 结构。*n* 面衬底上的接触电极用 AuGeNi 合金化形成; *p*-GaAs 顶层上则先扩散锌, 蒸发 Cr-Au。对质子束的掩蔽

用和外延片紧贴的钨丝网作 15 微米、12 微米条宽或光刻方法形成 6 微米窄条电镀 Au 作为掩蔽。我们用低能质子轰击来形成隔离条形。激光器谐振腔两侧便由轰击形成的高阻层来限定; 激光器上、下面则由 Ga_{1-x}Al_xAs 限定。器件结构如图 1。

我们研制的质子轰击条形DH激光器性能实验结果列于表1~4中。①由表1可见80-88#、80-91#两个外延片所作的器件,浅轰击比深轰击的阈值低。这两片的工艺为浅轰击后作欧姆接触。但是,表4中80-54#先作欧姆接触后轰击仍是浅轰击阈值较低。②由表2可以看到同一外延片浅轰击,而作欧姆接触在轰击前后不同条件下进行。两种情况器

件都有较低的阈值。串联电阻也接近3~7欧姆,而后轰击的器件阈值更低些。③表4中80-29#、80-41#在复旦大学作深轰击与②中所讲情况有所不同。同样为深轰击时,先轰击后作欧姆接触比先作欧姆接触后轰击的器件有较低的阈值。前者工艺相当于轰击后进行了一次退火,因而消除了深轰击而产生的条形激活区两侧的缺陷。所以深轰击时,采用先

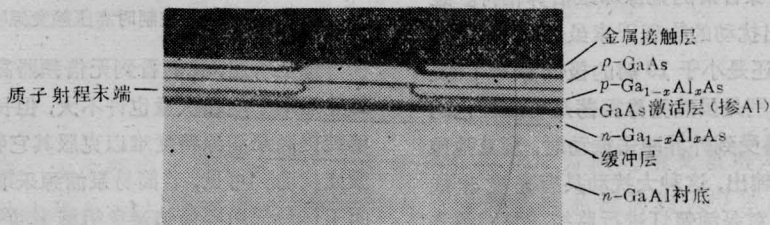


图1 Ga_{1-x}Al_xAs-GaAs 质子轰击条形DH激光器腐蚀截面图

表1 浅轰击与深轰击条形DH激光器比较

80-88# 先浅轰击后作欧姆接触**	编 号	116	78	46	209	145	134	156	133	96	47	158	208
	I_{th} (毫安)	100	90	超	70	荧	90	100	100	150	80	80	110
	R_s (欧姆)			4.5	4								
深轰击之前作欧姆接触*	编 号	72	18	126	92	123	71	124	135	14	75	66	
	I_{th} (毫安)	95	荧	120	荧	荧	荧	荧	荧	荧	荧	荧	
	R_s (欧姆)												
80-91# 先浅轰击后作欧姆接触**	编 号	43	3	77	92	31	11	13	89	24	79		
	I_{th} (毫安)	70	50	200	70	65	80	100	80	55	70		
	R_s (欧姆)	4											
深轰击之前作欧姆接触*	编 号	23	44	132	38	34	31	50	49	62			
	I_{th} (毫安)	90	150	100	100	120	75	荧	75	130			
	R_s (欧姆)	6	7		10	10	6						

* $D=4.0 \times 10^{15} \text{H}^+/\text{厘米}^2$, 能量 $E \approx 400$ 千电子伏;

** $D=3.4 \times 10^{15} \text{H}^+/\text{厘米}^2$, $E_{88}=300$ 千电子伏, $E_{91}=280$ 千电子伏

表2 80-102# 浅轰击**时,先轰击与后轰击(先欧姆接触即常规工艺)比较

先轰击后作接触	编 号	46	106	133	101	134	117	78	3	88	115	43	116	13	18
	I_{th} (毫安)	120	100	80	150	110	110	通	100	120	100	95	超	85	150
	R_s (欧姆)				6		6			5					3
常 规	编 号	136	122	127	48	116	87	47	84	111	85	156	158	110	81
	I_{th} (毫安)	60	70	70	80	荧	90	85	85	荧	无	65	无	90	70
	R_s (欧姆)	7			5			4						6	

** $D=3.4 \times 10^{15} \text{H}^+/\text{厘米}^2$, $E=280$ 千电子伏

表3 80-33# 先轰击(浅)**后作欧姆接触退火与未退火比较

I_{th} (毫安)	未退火	超	100	125	115	100	90	100	160	荧光	荧光	超	135	100
	镀薄 Au(p, n)退火	160	通	170	115	150	170	荧	150	150	超	超	荧	100
	退火	115	无	100	120	荧	115	荧	150	荧	100	100	210	90
R_s (欧姆)	未退火	2.5		5	2.5	3	3	2	3	3			3.5	3
	镀薄 Au(p, n)退火					2.3				3				
	退火	2.5			3									

** $D=3.5 \times 10^{15} H^+ / \text{厘米}^2$, $E \approx 350 \sim 400$ 千电子伏

表4 先轰击后作欧姆接触与常规后轰击比较

	片子编号	80-29	80-41	80-54	80-67	80-102
器件阈值 (毫安)	先轰击	125~150	~250	~150	100~170	80~150
	常规	~140	不受激	90~100	75~100	60~90
串联电阻 (欧姆)	先轰击	4~5	~4	3~7	3~4	5~6
	常规	6~7	~4	~12	2~4.5	4~7

轰击后作欧姆接触为好。④表3是80-33# 浅轰击未退火与退火比较,后者阈值有所上升,但不十分明显,相对的受激器件数量也少些。未退火器件阈值90~160毫安; p, n 两面镀薄 Au 后退火的器件阈值100~170毫安; 直接退火的90~210毫安。以上三种条件的器件串联电阻都较低(2~3.5欧姆)。因此,我们认为浅轰击可以不退火。由于质子注入深度不到激活层,故由轰击而产生的缺陷对器件性能基本没影响。

在质子轰击条形 DH 激光器制造中,一般地都是先作好欧姆接触之后去质子轰击。在深轰击的情况下,需要退火,再加之轰击前合金化要进行两次热处理。这样对器件结的特性易受影响。所以,我们采用了先轰击后作欧姆接触新工艺。实验步骤:外延片先 Zn 扩散、轰击、作欧姆接触、装管、测试。轰击前外延片不减薄,便于轰击后作好清洁处理,轰击后作欧姆接触合金化;可以使退火工艺和合金化一起完成。实验条件:① p 面 GaAs 层(已扩 Zn)上,蒸发 Cr-Au; n 面蒸发 AuGeNi 合金。高真空(高于 1×10^{-5} 托)系统中 470°C 合金化 5 分钟。多数外延片表面条区可见。与常规工艺(同一外延片)器件特性(如 I_{th} 、 $L-I$ 特性曲线)的线性作比较都有较好的结果。② 先作 n 面合金化, 470°C 5 分钟(高于 1×10^{-5} 托的高真空系统内进行)。然后 p 面蒸发 Cr-Au, 350°C 高真空系统内热处理 5 分钟。另外,我们还对浅轰

击作了改进。实验条件为先作好 n 面欧姆接触然后轰击,蒸发 Cr-Au 作 p 面欧姆接触,高真空系统内 350°C 热处理 5 分钟。

我们发现注入质子后的外延片表面往往有沾污,这样使得电极制作等发生困难。除了某些其他工艺造成外,我们对轰击本身的问题也注意解决。首先,要求在一定高的真空条件下(高于 2×10^{-5} 托)引束流轰击。采用浅轰击,以便降低质子能量。另外,减少质子束流,适当地加长轰击时间也能保证所要求的剂量。适当地降低质子剂量等都可以减少轰击过程中引起的片子发热。

本工作质子轰击由复旦大学加速器实验室,上海科技大学倍加器实验室帮助完成。我们室一些同志也给予了大力支持,在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] J. C. Dymont *et al.*; *J. Appl. Phys.*, 1973, **44**, No. 1, 207.
- [2] P. N. Favennec, D. Diguët; *Appl. Phys. Lett.*, 1973, **23**, 546.
- [3] R. W. Dixon, W. B. Joyce; *The Bell System Technical Journal*, 1980, **59**, No. 6, 975.

(中国科学院上海光机所 张莲英
张银女 1981年2月26日收稿)