

CSP $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 单模激光器

胡衍芝 顾德英

(中国科学院上海光机所, 201800)

提要: 本文报道了 CSP $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 单模激光器的性能及其制造技术。

关键词: CSP $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, 单模激光器

CSP $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ single mode lasers

Hu Yanzhi, Gu Deying

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai)

Abstract: Major properties and the fabrication techniques of CSP $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ single mode laser diodes are reported.

Key words: CSP $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, single mode laser

通常的多模 LDs, 呈多侧模或多丝振荡。光输出具有明显的不稳定性: 光功率 (P) 和电流 (I) 的线性差, 易扭折; 有自脉动; 噪声比较大; 光模漂移。它妨碍 DHLDs 在许多应用系统中的使用。这种增益导引的 LDs, 其光谱也含多纵模, 因此, 不是高度单色性的光源。

各种结构的单模 LDs, 内中引入了内建折射率导引, 使平行和垂直于结平面的二个方向上均有好的光限制。它除了有低阈值、高度 $P-I$ 线性稳定输出、稳定单横模外, 还有强烈倾向于单纵模工作的优点。广泛应用于光盘存贮器、激光高分辨高速打印、局域网络光纤通信、相干光通信及光纤传感器等相干检测、光学精密测距和医疗手术仪中。

本文报道我们运用国内工艺设备条件研制的 CSP $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{GaAs}$ 单模激光器的性能及制造技术。

一、结构参数设计及制造工艺

采用在 GaAs 沟槽衬底上液相处延 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$ 双异质结平面条形 (CSP) 结构, 如图 1 所示。在这种结构中, 沿有源层限制侧向模的内建折射率导引是由 $v\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 限制层的沟槽内外侧的厚度变化而引入的, 使沿有源层侧向的有效折射率如图 2 所示变化。基横模工作的条件是^[1, 2]

$$\sqrt{\Delta n} W_0 \leq \frac{\lambda}{\sqrt{8n}} \quad (1)$$

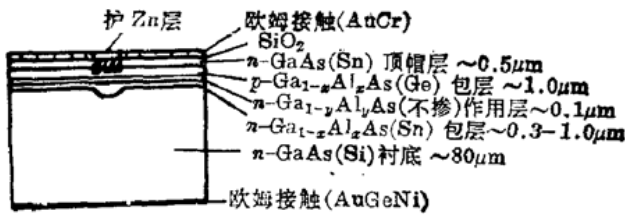


图1 沟槽衬底平面条形结构单模激光器管蕊结构

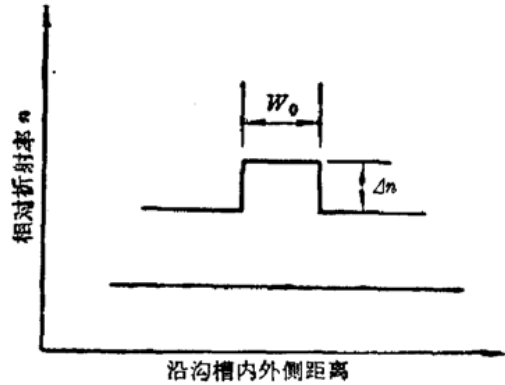


图2 沟槽内外侧折射率相对变化

λ -波长, W_0 -沟槽宽度, n -折射率。

根据计算^[3,4]和实验结果得出,为了稳定基横模工作所需的典型OSP单模LDs的结构设计参数为:沟槽宽度 $W_0 \leq 5 \mu\text{m}$,有源层厚度 $d \leq 0.1 \mu\text{m}$, $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 包层平处厚度 $t \leq 0.3 \mu\text{m}$,有效折射率差 $\Delta n \approx (1 \sim 3) \times 10^{-3}$,有效损失差 $\Delta \alpha \sim 10^2 \text{ cm}^{-1}$ 。

器件制造的获得成功主要解决了下列关键工艺技术:(1)在GaAs沟槽衬底上的亚微米DH结构的液相外延生长。提高系统中 H_2 气纯度,使含 O_2 量低于0.02PPM,使Al的氧化减到最轻程度;设计了结构合理的滑动式高纯石墨舟,减少Al的沾带混源,提高异质结组分的突变性和每层中Al的浓度;外延生长前高精度恒温,石墨舟源孔范围内 $\Delta T \leq 0.1^\circ\text{C}$,同时有最佳的炉温分布,衬片与源的温差 $\Delta T = -0.1^\circ\text{C/cm}$,配以较快的降温速率 $0.5 \sim 1^\circ\text{C/min}$;经计算机优化设计及反复试验,总结出科学的组分配方,从而能严格按设计结构参数来控制生长条件;严格控制 $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ 层的掺Sn量,改善异质结界面的平坦性,减少界面的吸收损耗,并适当加多限制层Al量,以提高注入效率。(2)选择和控制最佳限制注入电流和欧姆接触的条宽和扩Zn深度。限制电流的条宽应比沟槽宽度 W 大,使电流剖面在沟槽上方有平坦对称的结构,使沟槽宽度内的作用区均匀受激,从而使电流分布对折射率的影响减到最小,最终使横模只由沟槽结构因素及层厚决定,获得好的单模性能。工艺中扩Zn前沿控制在近有源区而获得最佳受激性能。(3)欧姆接触工艺的控制,要达到串联电阻小和接触层牢固稳定的要求,依靠仔细清洗、严格控制接触各层的厚度及合金条件来达到。(4)采用无应力键合工艺,采用热性能好,热胀系数与GaAs接近的低阻Si做过渡热沉和In焊管芯球焊引金丝电极工艺。

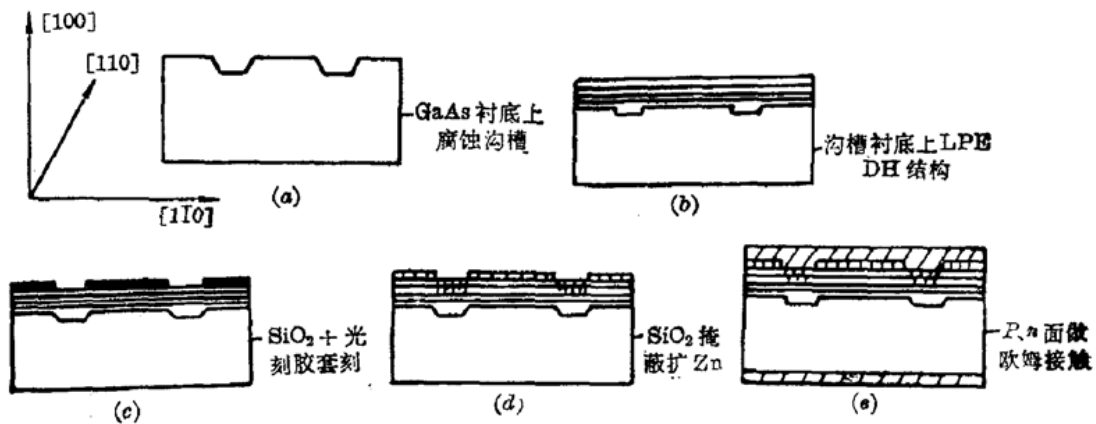


图3 GaAs/GaAlAs沟槽衬底单模激光器的主要工艺流程

图 3 概括了 CSP 单模 LDs 制作的主要工艺程序。掌握了上述的关键技术,就能运用国内工艺设备条件,制造出成功率达 70% 的 LPE 外延片,其中 80~90% 的管芯受激性能一致性好,这种工艺重复性和均匀性相当好,可以大批量生产。

二、性 能

2.1. 光学性能

(1) $P-I$ 特性: 室温连续工作, 阈值电流 (25~50) mA (300 μm 腔长), 光输出功率 $P_{cw} \geq 25 \text{ mW}$ (单面线性), 图 4 为典型的光功率 (P) ~ 电流 (I) 特性曲线。器件的微分量子效率 $\eta_D \approx (20 \sim 25) \%$ (单面、典型值), 器件的斜率效率 $\eta_I = (0.30 \sim 0.36) \text{ mW/mA}$ (单面)。

(2) 横模性能: 所谓横模是指近场和远场的激光强度分布。本文器件在 $(3 \sim 4)I_{th}$ 范围内能稳定基横模工作, 近场光斑约为 $0.4 \times 5 \mu\text{m}$, 如图 5(b); 图 5(a) 为典型的近场光强度分布。平行于结平面方向的束腰在离腔面 $5 \mu\text{m}$ 内。图 6 为典型的远场光强度分布和远场光斑照片。发散角典型为 $10^\circ \times 30^\circ (\theta_{\parallel} \times \theta_{\perp})$ 。 θ_{\parallel} 最窄做到 8° , θ_{\perp} 最小做到 21.3° , 最好的椭圆比做到 $15^\circ \times 26.0^\circ (\theta_{\parallel} \times \theta_{\perp})$, 对光盘存贮和打印机应用及提高与单模光纤耦合的效率很具吸引力。

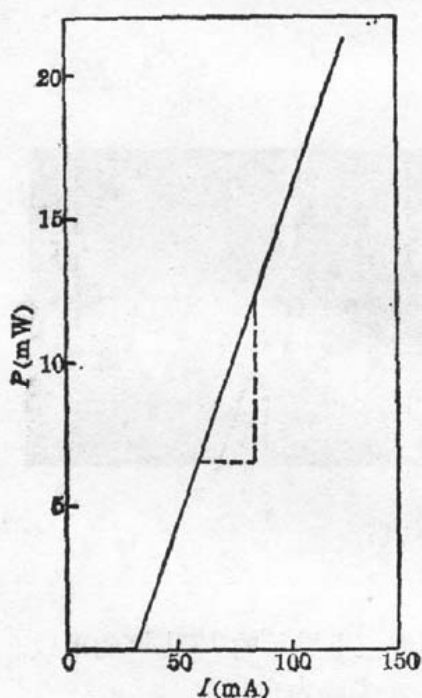


图 4 典型的 CSP 单模激光器光输出功率-电流特性曲线

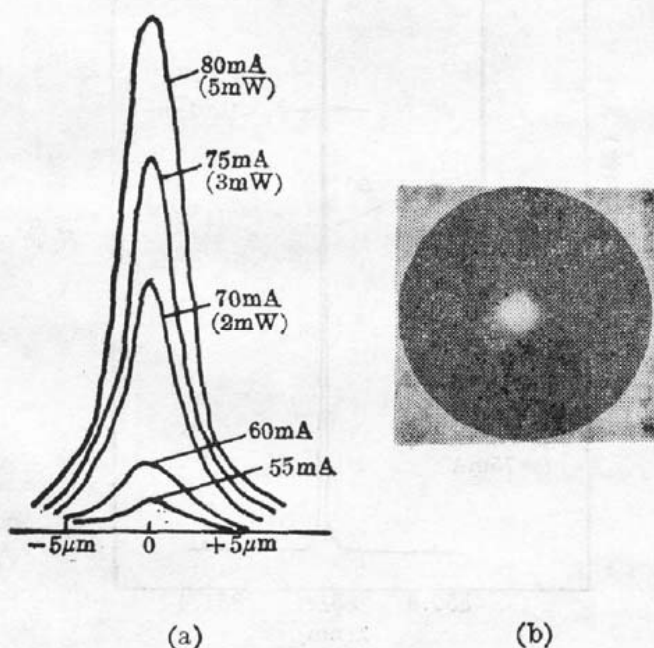


图 5 典型 CSP 单模 LD 的近场光强度分布 (a) // 结面方向光强度分布; (b) 近场光斑照片

(3) 光谱: 本文单模 LDs 在 $(1.1 \sim 1.8)I_{th}$ 范围内能单纵模工作, 最高单纵模工作输出光功率可大于 10 mW (单面)。图 7 为典型的发射光谱。图 8 为用分辨力 0.01 nm 的 SPEX 光谱仪测出的更精细的光谱。

用 F-P 干涉仪测量出 LDs 的单纵模谱线线宽在几十 MHz 到 100 MHz 范围内。一些单纵模性能好的 LDs 表现为单一大范围 $(1.1 \sim 1.8)I_{th}$ 的单纵模工作区; 其谱线宽度满足 $\Delta\nu \sim P^{-1}$ 关系; 另一些单纵模性能欠佳的 LDs 表现为二个或三个单纵模工作区, 每个区域电流范围

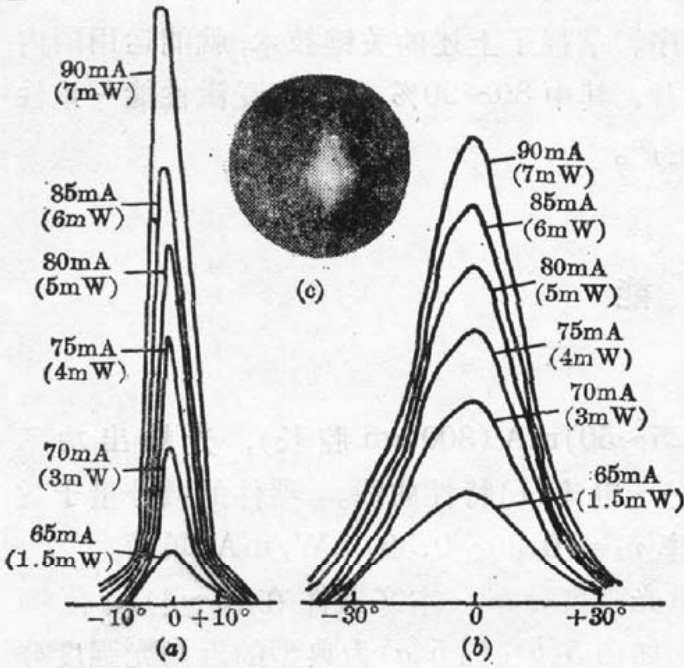


图6 典型 CSP 单模 LD 的远场光强分布

- (a) // 结平面方向束宽约 10°;
- (b) ⊥ 结平面方向束宽约 30°;
- (c) 远场光斑照片

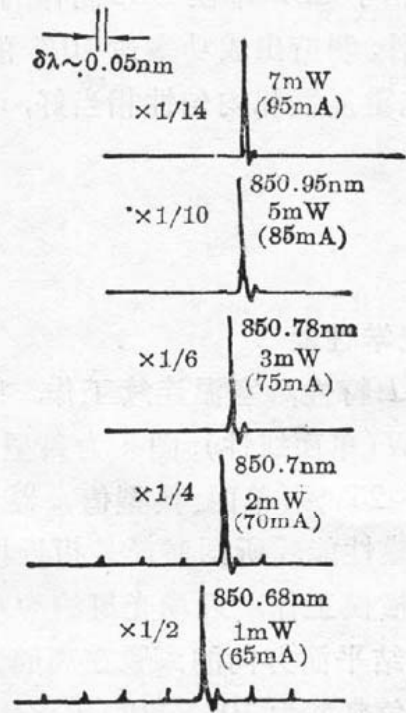


图7 典型 CSP 单模 LD 的发射光谱

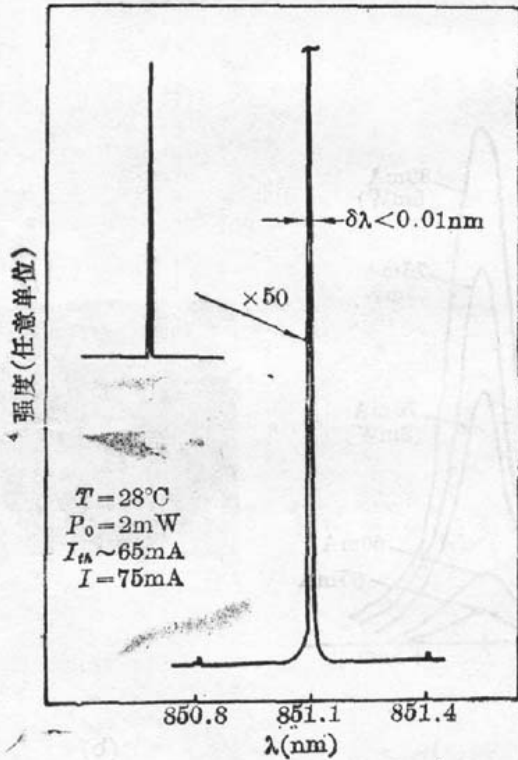


图8 CSP GaAlAs/GaAs 单模 LD 的详细光谱

约为 $\Delta I \sim 10 \text{ mA}$, 从一单纵模区过渡到下一单纵模区, 其间出现纵模的跳动 (Hopping), 单纵模区域的不连续性影响了这些器件的线宽随输出功率增大而变窄的效应。

采用延时自差拍法测量了二只 LDs 的谱线宽。图 9 为 12#LDs 在 TR4110/4111 频谱分析仪上显示的谱线, 其线宽为 $\Delta \nu \leq 5 \text{ MHz}$ 。

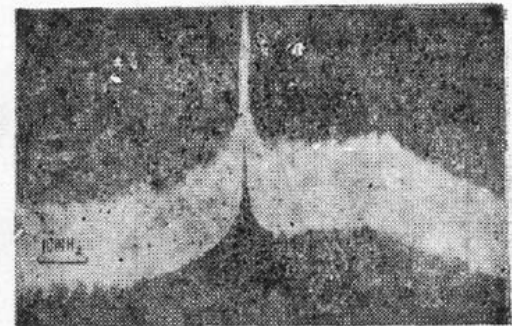


图9 频谱仪上显示的 12#LD 的谱线, 尖峰为电辐射

横坐标: 10 MHz/分度; 纵坐标: 5 dB/分度

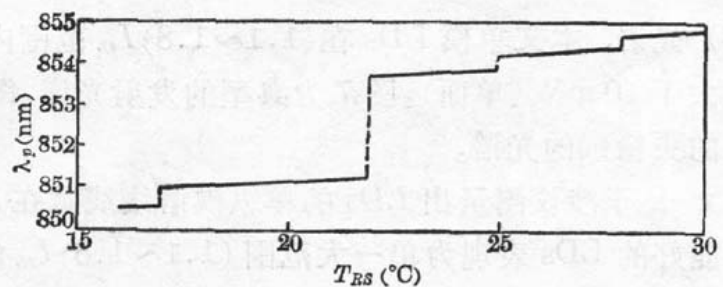


图10 在恒定直流电源下 CSP 单模 LD 峰波长与热沉温度的关系

由于半导体的带隙能量和折射率是温度灵敏函数, 所以发射谱峰波长随温度上升而变长。图 10 给出在恒定注入电流下(初始 2 mW 功率)峰波长与热沉温度(\sim 结温)的关系。可见, 每个纵模波长随温度上升向长波方向漂移速率为 $0.06 \text{ nm}/^\circ\text{C}$, 跳动速率为 $0.3 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ 。这一结果与 Hitachi HLP1400 LDs 相一致。另外, 还出现了约为 $\Delta\lambda \sim 2.55 \text{ nm}$ 的跳动, 这是纵模竞争的结果。

2.2. 直接调制特性

用 $r f$ 正弦波信号直接调制本文 CSP 单模 LDs, 结果很容易地实现了 $f_r = 1 \text{ GHz}$ 的正弦波高频调制。调制输出的光信号无波形畸变, 清晰稳定, 噪声很小。

2.3. 热性能

图 11 和 12 为典型的光输出功率和阈值电流的温度特性。器件的热阻 $R_T = 31 \sim 60^\circ\text{C}/\text{W}$ 。阈值电流和结温满足关系:

$$I_{th}(T_j) = I_{th}(0) \exp\left(\frac{T_j}{T_0}\right) \quad (4)$$

式中 T_0 为特征温度。本文器件 T_0 在 $130 \sim 185 \text{ K}$ 范围。由于 T_0 高 R_T 低, 高温受激性能很好。 70°C 下斜率效率基本不降。阈值随温度上升速率为 $0.3 \text{ mA}/^\circ\text{C}$, 器件结温随注入电流增大而上升的速率约为 $< 0.06 \text{ K}/\text{mA}$ 。

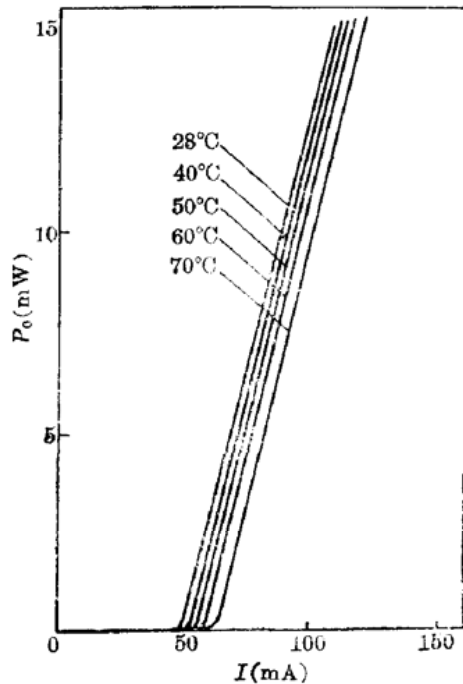


图 11 典型 CSP 单模 LD 的光功率 $P \sim$ 电流 I -温度 T 特性

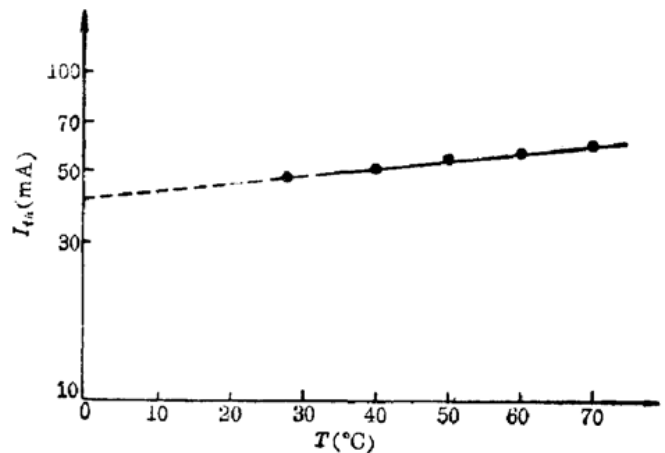


图 12 阈值电流随温度的变化特性

2.4 电性能

器件的正向导通电压 $V_F \geq 1.4 \text{ V}$, 反向击穿电压为 $10 \sim 15 \text{ V}$, 器件串联电阻为 $R_s = (1.3 \sim 4) \Omega$ 。

2.5 寿命和可靠性

本文器件经充 N_2 保护, 55°C 恒定功率 (3 mW , 5 mW , 10 mW) 加速老化寿命试验。结果是: 3 mW (或 5 mW) 室温 CW 器件寿命一般大于额定寿命 10^4 小时, 较好地达到 $6 \sim 16$ 万 (下转第 733 页)

nm 激光与铯亚稳态原子共振, 从 620 cm^{-1} 激发到共振能级 17361 cm^{-1} , 探测从共振能级到基态的 575.8 nm 荧光(见图 3(b)), 得到反映 620 cm^{-1} 亚稳态原子密度衰变的时间关系曲线(见图 4(b))。

利用脉冲放电的溅射效应可在 HCD 灯中产生铯原子蒸气, 脉冲结束后铯原子密度将衰变。我们以基态原子的衰变时间常数 τ_g (即 $n = n_0 e^{-\frac{t}{\tau_g}}$) 来表征铯原子密度的这一衰变特征。

根据上述曲线用计算机进行最小二乘法拟合处理得到基态铯原子衰变时间常数 $\tau_g = 120 \mu\text{s}$, 亚稳态实测的表观寿命 $\tau_1 = 100 \mu\text{s}$ 。假定亚稳态碰撞衰变寿命和基态的衰变时间常数相同, 则有

$$\tau_M = \left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2} \right)^{-1}$$

其中 τ_M 为 HCE 铯亚稳原子寿命, τ_1 为亚稳态原子的表观寿命, τ_2 为亚稳态原子的扩散衰变寿命。将 $\tau_1 = 100 \mu\text{s}$, $\tau_2 = \tau_g = 120 \mu\text{s}$ 代入上式, 即可得到 $\tau_M = 600 \mu\text{s}$ 。

实验中发现, 当激发的激光功率由强逐渐减弱时, 测得的衰变常数和寿命有增长趋势, 说明存在着抽空效应, 即在测量的脉冲周期里, 每一时刻粒子数密度都受前面时间泵浦抽运的影响而减小, 因而使实际衰变曲线变形。鉴于这种情况, 在测量中已尽量减弱激发光强, 以降低抽空效应的影响。

空心阴极灯中缓冲气体 Kr 的存在对衰变时间常数或寿命会发生影响。对基态铯原子来说, 如果没有 Kr 的存在, 溅射的铯原子将直飞落到器壁上, 正是由于 Kr 的存在并与铯原子发生碰撞才使铯原子存在较长时间。对于亚稳态铯原子来说情形则正好相反, 碰撞缩短了寿命, 所以, τ_M 小于实际寿命。至于其他激发原子寿命都很短, 在几百 ns 以内, 对 500 ns 放电脉冲结束后数 μs 进行的测量没有影响。当然 Kr 气压的高低对测量的影响程度将有所不同, 这将在今后的实验中要进一步研究的。

由于抽空效应的存在和其他因素的影响, 铯 620 cm^{-1} 亚稳态的寿命应在 $600 \mu\text{s}$ 以上。

参 考 文 献

- 1 Noble, M. Nerheim, *J. Appl. Phys.*, **48**(8), 3244(1977)
- 2 V. A. Kelman *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **14**(11), 1460(1984)
- 3 A. A. Isaev *et al.*, *Sov. J. Quant. Electr.*, **16**(11), 1517(1986)
- 4 杜清 *et al.*, 光学学报待发表

(上接第 726 页)

小时。10 mW 室温 CW 器件寿命已大于 4000 小时。

参 考 文 献

1. H. Kressel *et al.*, *Semiconductor LDs and Heterojunction LEDs*, Academic Press, New York, 1977
2. D. Botez, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-18**(5), 865(1982)
3. R. Lang *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-15**(15), 718(1979)
4. K. Aiki *et al.*, *Appl. Opt.*, **17**(2), 3264(1978)