

三、激光特性的测量

图3是激光特性测量装置, 泵浦光源是氮分子激光器, 功率约200kW, 脉宽为10ns, 波长为337.1nm。激光束通过柱面镜 L_1 聚焦在染料池、染料池用不锈钢框架, 三面用石英玻璃组成, 长约为2.0cm。调谐光栅 G_1 是中心波长为550nm的闪耀光栅, 1200条/mm。光栅与平面反射镜 M_2 和转动反射镜 M_1 组成谐振腔。反射镜镀有高反介质膜, 带宽500.0~800.0nm。调节氮激光的聚焦和光栅 G 、反射镜 M_1 、 M_2 , 使得激光输出满意, 当 M_2 被马达带动后就使输出激光波长变化。

染料激光经过 L_2 聚焦在平面光栅单色仪的入射缝, 单色仪出射缝处用R647倍增管接受信号。倍增管的电信号用AC-15检流计读出光强的相对值, 单色仪的波长读数为光强对应的波长。

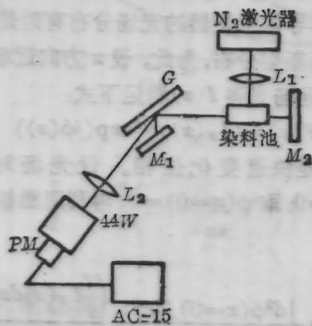


图3 激光染料特性测量装置

L_1 —柱面镜; G —光栅; M_1 、 M_2 —反射镜; L_2 —聚焦透镜; 44W—平面光栅单色仪 PM —倍增管R647; AC-15—检流计

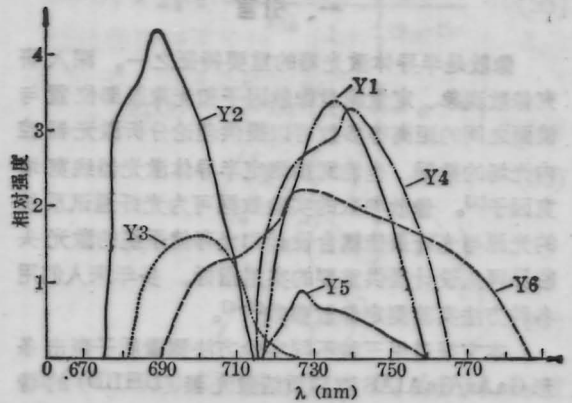


图4 四甲川苯乙炔菁激光染料的调谐曲线

用NJ-J1激光能量计测量其激光效率。

表2是我们对四甲川苯乙炔菁染料测量的主要结果。图4是六种染料的调谐曲线。从这些结果可以认为四甲川苯乙炔菁激光染料在功率不高的氮分子激光的泵浦下, 可以获得675~787nm连续可调的激光。此外, 从化学结构看, 杂环上氧基调谐在较短波长, 换成S基可以向长波移动。四甲川苯乙炔碘盐比高氯酸盐的激光效率和化学稳定性都要好些。

参 考 文 献

- 1 杨金龙 *et al.*, 华东化工学院学报, (待发表)
- 2 K. Kato, *IEEE J. Quant. Electr.*, QE-16, 1017 (1980)

(收稿日期: 1988年11月11日)

半导体激光器像散的实验研究

王德煌

(北京大学物理系)

Experimental research on astigmatism of semiconductor lasers

Wang Dehuang

(Department of Physics, Peking University, Beijing)

提要: 实验研究了质子轰击条形GaAs/GaAlAsDH半导体激光器的像散特性。

关键词: 半导体激光器, 像散

一、引言

像散是半导体激光器的重要特征之一。深入研究像散现象、定量测量像散因子和光束腰部位置与镜面之间的距离等参数可以提供理论分析激光器腔内光场的分布数据,也能间接测定半导体激光器线宽增宽因子^[1]。像散参数的实验数据可为光纤通讯系统的光源与光纤最佳耦合设计和光存储系统的激光头临界调焦设计提供重要的实用指标。多年来人们用各种方法实验测定像散参数^[2-4]。

本文报道用三种不同实验方法测量质子轰击条形 GaAs/GaAlAs 双异质结激光器 (DHLD) 的像散因子的结果,比较所用三种实验方法测量结果的差异。报道了正向端面镀膜 SiO 膜对半导体激光器像散特性影响的实验研究结果。

二、实验测量方法

半导体激光器像散特性与谐振腔内增益分布或光强空间分布形状关系密切。设 $F(x)$ 是基横模激光光场的复振幅,在平行于结平面 (x 方向) 上的光强为

$$I(x) = |F(x)|^2$$

定义像散因子 (K) 特征激光束的像散程度为

$$K = \left(\int |F(x)|^2 dx \right)^2 / \left| \int F^2(x) dx \right|^2 \quad (2)$$

对增益导引模式等模式的半导体激光器,如氧化条形、质子轰击条形 DHLD 的输出光束一般有像散现象,故 K 值均大于 1 而且 K 值越大,像散程度越严重^[5]。实验测定 $F(x)$ 很困难,只能近似测量。

2.1 近场——远场分布半宽测定法^[2]

设激光束沿 z 轴传播,其光场沿 x 方向分布类型是高斯型,其近场分布为:

$$F(x) = F_0 \exp\left(-\frac{1}{2}(x/W_{st})^2(1+jI_k)\right) \quad (3)$$

其中 I_k 是像散强度; W_{st} 是平行于结平面 (x 方向) 的近场光强分布强度半极大值处全宽 ($FWHM$) 的半宽度。(3) 式代入 (2) 式有:

$$K = (1 + I_k^2)^{1/2} \quad (4)$$

I_k 也难以实验测定。现对 (3) 式傅里叶变换同时利用光强与振幅的关系,得到高斯型远场光强分布为:

$$I(\theta) = A \exp(-(\theta/\gamma)^2) \quad (5)$$

其中 $\gamma = \frac{\lambda}{2\pi W_{st}}(1 + I_k^2)^{1/2}$ (6)

这里 λ 是激光波长; θ 是平行于结平面的远场角度,假设像散强度 I_k 较小和 $FWHM$ 较大,有 $\gamma \ll 1$ 而且 $\sin \gamma \approx \gamma$,再取 $(\Delta\theta)$ 表示远场光强分布的 $FWHM$

的半宽度,最后得到^[2]

$$K = \frac{\pi}{2\lambda \ln 2} \cdot W_{st} \cdot \Delta\theta \quad (7)$$

只需实验测定 $\Delta\theta$ 和 W_{st} 就可以计算出像散 K 了,

2.2 腰部——近场分布半宽测定法^[3,5,6]

一般半导体激光远场光强较弱,像散趋严重,等位相面偏离平面越厉害,导致 K 值误差变大。须变化上述测量方法。设一束高斯光束沿 z 轴传播,若 $x=W(s)$ 处的光强下降到光斑中心 ($x=0$ 处) 的峰值光强的 $1/e^2$,则称 $W(s)$ 为光斑半径。设镜面上高斯光束沿 x 方向分布的光斑半径为 W_N , $s=0$, $W(s=0)=W_0$ 最小,其光强极大,是高斯光束腰部位置,腰部等位相面是平面^[6]。光束从腰部沿 $+z$ 轴传播,等位相面从平面变成曲面。利用光斑半径和等位相面的曲率半径可计算出 K 值,其结果是^[3]

$$K = W_N/W_0 \quad (8)$$

2.3 近场——远场光强测定法^[4]

一般半导体激光器的光场分布有时是类高斯型分布或非高斯型分布,为此,设 x 方向近场光场复振幅 $F(x)$ 与近场光强 $I(x)$ 满足下式:

$$F(x) = (I_N(x))^{1/2} \exp(j\phi(x)) \quad (9)$$

其中 $\phi(x)$ 是快速变化位相。设光场对称分布, $d\phi(x)/dx=0$; 取 $\phi(x=0)=0$,再利稳相法, (2) 式变化为:

$$K = \frac{|d^2\phi(x=0)/dx^2| \left(\int I_N(x) dx \right)^2}{\pi I_N(x=0)} \quad (10)$$

其中 $|d^2\phi(x=0)/dx^2|$ 可利用傅里叶变换和光强与振幅关系计算,其结果是^[4]:

$$K = \frac{2}{\lambda} \frac{\int I_N(x) dx}{I_N(x=0)} \frac{\int I_F(\theta) d\theta}{I_F(\theta=0)} \quad (11)$$

其中 $I_F(\theta)$ 表示远场角 θ 处的光强。这种方法要计算总光强和 $I_N(x=0)$ 以及 $I_F(\theta=0)$ 。显然光场分布不对称或出现“肩状”分布, $I_N(x=0)$ 和 $I_F(\theta=0)$ 偏小,使 K (11) 偏大,理论估计误差为 10% 左右^[4]。

上述三种方法要求测定光束腰部、近场和远场的光强分布图。实验测量装置由大入射光相衬显微镜和光电接收模块以及 $x-y$ 记录仪等构成。光电接收模块由光敏面直径 250 μm 的硅光电二极管和放大器组成。显微镜总放大倍数 1000 倍,其中物镜放大倍数 50 倍, $NA=0.80$ 。测量 K 值系统误差估计为 5% 左右。显微镜焦距微调鼓轮刻度精度 1 μm , 光束腰部与镜面的间距 ΔZ 值以镜面为基准,腰部在腔内, $\Delta Z < 0$ 。它的测量系统误差不大于 1 μm 。

三、结果与讨论

测量用的质子轰击条形 GaAs/GaAlAsDHL D 的条宽约为 $15\mu\text{m}$, 有源层掺硅、厚度 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$, 激光束在腰部、近场和远场的沿 x 方向分布的典型曲线如图 1 和图 2 所示。图 1 是高斯型, 图 2 不是高斯型, 其中远场分布偏离程度更严重而且出现“肩状”。

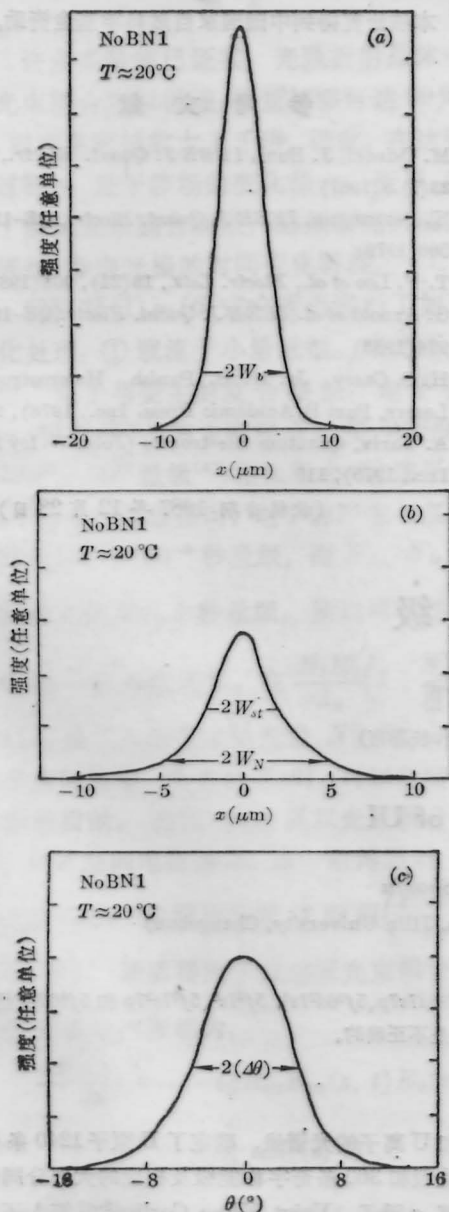


图1 No. BN1GaAs/GaAlAsDHL D 平行于结平面的光强分布曲线
 (a) 光束腰部处的光强分布; (b) 近场光强分布;
 (c) 远场光强分布

表 1 列出质子轰击条形 GaAs/GaAlAs DHL D 的像散因子的部分典型实验数据。所有测量都是在阈值电流以上进行的。DHL D 工作电流范围控制在 1.05 到 $1.40I_{th}$ 之间。此范围是半导体激光器实用工作电流区间。表 1 中 $K(7)$ 、 $K(8)$ 和 $K(11)$ 分别

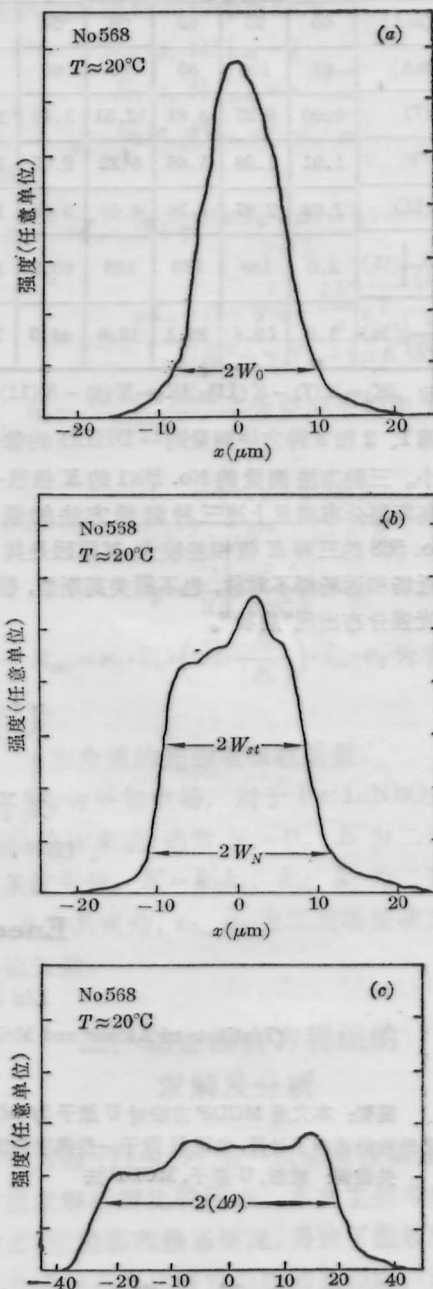


图2 No. 538GaAs/GaAlAsDHL D 平行于结平面的光强分布曲线
 (a) 光束腰部处的光强分布;
 (b) 近场光强分布;
 (c) 远场光强分布

表1 三种方法测量质子轰击条形 GaAs/GaAlAs
DHLD 像散因子的典型实验数据

| No. | BN1 | 568 | BN2 | BN4 | 733 | 706-1 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| λ (nm) | 840.2 | 868.6 | 875.6 | 888.2 | 896.1 | 896.9 |
| I_{th} (mA) | 60 | 95 | 69 | 66 | 54 | 55 |
| I (mA) | 67 | 100 | 85 | 75 | 65 | 65 |
| $K(7)$ | 1.00 | 8.27 | 3.81 | 12.51 | 1.44 | 1.00 |
| $K(8)$ | 1.01 | 1.28 | 1.66 | 5.22 | 2.05 | 1.33 |
| $K(11)$ | 1.02 | 2.87 | 1.36 | 4.66 | 3.68 | 1.15 |
| $\left \frac{\Delta K_7}{K(11)} \right $ (%) | 2.0 | 188 | 180 | 168 | 60.9 | 1.30 |
| $\left \frac{\Delta K_8}{K(11)} \right $ (%) | 1.0 | 15.4 | 22.1 | 12.0 | 44.3 | 15.7 |

注: $\Delta K_7 = K(7) - K(11)$; $\Delta K_8 = K(8) - K(11)$

代表第1、2和3种方法测量同一 DHLD 的像散因子大小。三种方法测量的 No. BN1 的 K 值很一致, 说明高斯型分布满足上述三种测量方法的假设条件。No. 568 的三种 K 值相差较大, 原因是其光强分布近场和远场都不对称, 也不属类高斯型, 特别是远场光强分布出现“肩状”。

我们在 DHLD 光输出正向端面上镀一层 SiO 膜, 然后测量镀膜前后的 $K-I$ 和 $\Delta Z-I$ 关系曲线, 实验结果表明, 正向端面镀电介质保护膜在一定程度上改善了半导体激光器的像散特性, K 值和 $|\Delta Z|$ 值都减小了, 而且它们随 I 变化而涨落程度也显著减弱。

作者感谢刘弘度副教授对此项研究的支持和有益的讨论, 感谢徐万劲同志协助部分测量。

本项研究得到中国国家自然科学基金资助。

参 考 文 献

- 1 M. Osinski, J. Buus, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-23**(1), 9(1987)
- 2 K. Petermann, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-15**(7), 566(1979)
- 3 T. P. Lee *et al.*, *Electr. Lett.*, **18**(21), 902(1982)
- 4 G. Arnold *et al.*, *IEEE J. Quant. Electr.*, **QE-19**(6), 974(1983)
- 5 H. C. Casey, Jr. M. B. Panish, *Heterostructure Lasers, Part B*(Academic Press, Inc., 1978), 241
- 6 A. Yariv, *Quantum Electronics* (John Wiley Sons, Inc., 1975), 110

(收稿日期: 1987年12月28日)

U 原子能级

刘子东* 潘守甫

(吉林大学原子与分子所, 长春市)

Energy levels of U

Liu Zidong, Pan Shoufu

(Institute of Atomic and Molecular Physics, Jilin University, Changchun)

提要: 本文用 MCDF 方法对 U 原子 $5f^3 6d 7s^2$, $5f^3 6d^2 7s$, $5f^3 6d 7s 7p$, $5f^2 6d^2 7s^2$, $5f^4 7s^2$, $5f^3 7s^2 7p$ 和 $5f^4 6d 7s$ 组态的能级进行了计算, 发现 U 原子一些偶宇称能级的组态标定是不正确的。

关键词: 能级, U 原子, MCDF 法

一、引 言

1976 年 J. Blaise 和 L. J. Radziemski, Jr.^[1] 比较系统地报道了 310—900 nm 波段的 92000 条 U 原

子和 U 离子的光谱线, 确定了 U 原子 1240 条偶宇称能级和 360 条奇宇称能级及相应的大部分同位素位移、 g 因子。Voigt, Klose, Corliss^[2-6] 等人还对 U 原子能级寿命进行了一系列研究。至今, 人们已用各种实验方法对 U 原子结构进行了较深入的研究。

本文通过对 MCDF 程序^[7] 的修改, 用 MCOF-

* 现在在中国科学院武汉物理所工作。