

# 半导体激光偏振特性与 模式竞争的实验分析

郑 广 富  
(永川半导体光电研究所)

## 提 要

本文叙述了对称型 GaAs-GaAlAsP 双异质结激光器偏振特性的实验研究,分析了这种半导体激光器的模式竞争过程。实验证明。半导体激光器外加电流低于阈值时,只有自发辐射,不呈现光的偏振特性;高于阈值时,对于  $d=0.15\sim 0.40\mu$  的有源层激光器,通常只有基模振荡,而且 TE 模起支配作用,偏振的选择取决于模的谐振腔镜面反射率  $R_0$ ,而 TM 模在阈值时就达到饱和,高于阈值的电流都用于加强 TE 模偏振。当有源层厚度  $d>0.40\mu$  时,会出现 TE 模和 TM 模、基次模和高次模之间的竞争,TE 模的增强会导致 TM 模的削弱,或 TE 模的减弱提供 TM 模的增强。在这种情况下,偏振的选择要由光的限制因子  $\Gamma$  和镜面反射率  $R_m$  一起决定,TE、TM 模和基模、高次模都有可能出现。此外,偏振特性的好坏还与激光器有源层内部晶体缺陷、非均匀性结晶和注入载流子的分配比密切相关。

## 一、实验与结果

### 1. 实验样品

实验用的激光器晶片是用控制蒸汽压温差法液相外延技术制作的,如图 1 所示,是一种对称型 GaAs-GaAlAsP 双异质结激光器(LD)<sup>[1]</sup>。在外延晶片上用闭管掩蔽选择 Zn 扩散法制作  $S=20\mu$  条宽的平面条形。沿着晶向  $\langle 110 \rangle$  解理制作 Fabry-Perot 谐振腔镜面,

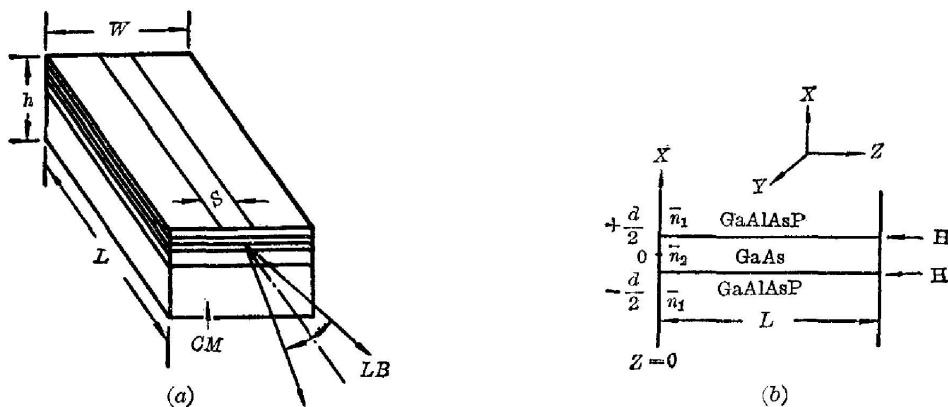


图 1 GaAs-GaAlAsP 双异质结激光器内部结构  
(a) 激光器芯片结构; (b) 谐振腔平板波导示意图

Fig. 1 GaAs-GaAlAsP double heterojunction laser internal structure for experimental sample  
(a) Double-heterostructure laser; (b) A symmetric three-layer slab dielectric waveguide

腔长  $L=350\mu$ , 有源层波导厚度  $d$  分别制成  $0.15、0.2、0.3、0.4、0.6$  和  $0.8\mu$ , 有源层 GaAs 的折射率为  $\bar{n}_2$ , 包层的 GaAlAsP 的折射率为  $\bar{n}_1$ , 异质结折射率阶跃相对值  $\Delta\bar{n}/\bar{n}_2 = (\bar{n}_2 - \bar{n}_1)/\bar{n}_2 \approx 5\%$ , 激光器芯片大小  $L \times W \times h = 350 \times 300 \times 100(\mu^3)$ 。这种激光器发射的激光沿  $Z$  方向传播, 从谐振腔两侧解理面输出, 室温 ( $27^\circ\text{C}$ ) 下激射的峰值波长  $\lambda_p = 8800\text{\AA}$ 。

2. 实验装置

测量激光偏振特性用的实验装置方框图如图 2 所示。在激光器(LD)和硅 PIN 光电二极管(PD)之间, 插入一个用伺服马达(SM)带动( $f=2\text{rpm}$ )的旋转偏光板(P)。LD 用脉冲发生器驱动, PD 加直流反偏压工作, 它把接收的光信号转换成电信号, 送入 Box Car 预放大器(PA)进行放大, 然后再送入 Box Car 积分器(BCI), 经它放大的信号(S)输出到旋转记录仪(RR), 来自偏光板的自动同步电信号(SSS)在旋转记录仪上就自动记录了光的偏振特性。

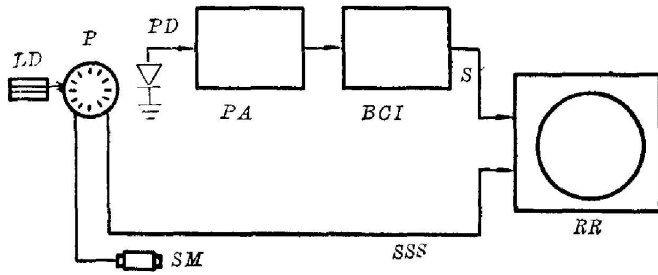


图 2 实验装置示意图

Fig. 2 Experimental arrangement

在测试偏振特性前, 先测定所用 LD 的阈值电流, 并确定实验时选用的工作电流。实验时以 1:10000 占空系数的脉冲电流工作, 由不同的工作电流记录不同的偏振特性。

3. 测试结果

图 3 和图 4 是所测的一系列激光器中两个典型的偏振特性, 横坐标表示 TM 模功率(任

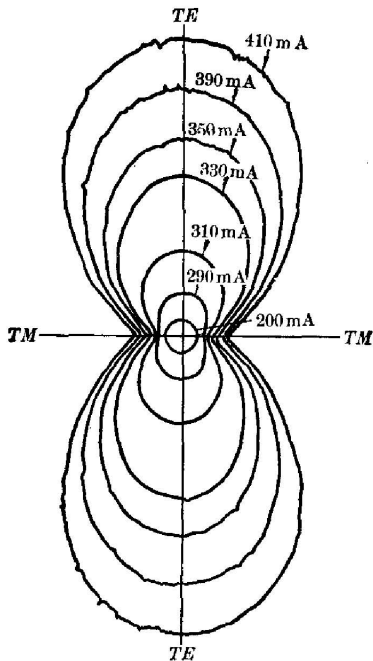


图 3 双异质结激光器 LD No. 4 的偏振特性  
Fig. 3 The polarization characteristics of double heterojunction laser LD No. 4

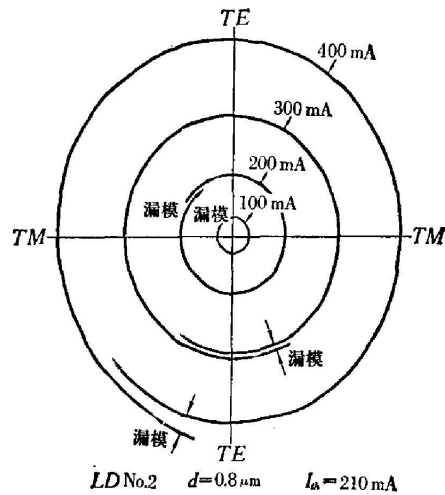


图 4 双异质结激光器 LD No. 2 的偏振特性  
Fig. 4 The polarization characteristics of double heterojunction laser LD No. 2

意单位), 纵坐标表示 TE 模功率(任意单位), 图中分别标出了每个激光器的阈值电流和有源层厚度。从测量一系列激光器样品的特性曲线来看, 激光器工作在低于阈值电流时, 只有自发辐射, 不存在偏振现象, 所以测得的图形曲线呈圆形特性; 当电流增大到接近阈值时, 激光器出现超辐射, 开始有微弱的偏振特性, 并且都是 TE 偏振加强; 当电流增大到高于其阈值时, 一般都有明显的激光偏振特性, TE 模大大加强, TM 模显著减弱, TM 模减至最小时的工作电流定义为最佳工作状态, 此时的偏振特性最好; 工作电流太高了, 会导致高次模的出现和模式转换, 也会产生热饱和现象, 偏振特性反而会变差。图 3 得到的 TE 偏振特性最理想。它表明: 只要激光器有源层比较薄, 结晶质量好, 就可以获得好的偏振特性。而图 4 的偏振特性最差, 由图中可见, TM 模偏振与 TE 模偏振已基本相同, 而且一边测试, 光强就一边在减弱, 出现“漏光”现象。原因是激光器有源层厚度太厚, 内部晶体的结晶质量很差, 异质结对光的限制作用可能很不好。

## 二、分析讨论

以晶体自然解理面为 Fabry-Perot 谐振腔的半导体激光器, 第  $m$  次模达到激光振荡所需的增益  $Lg_{th}$  为:

$$Lg_{th} = L\alpha_i + \ln 1/R_m, \quad (1)$$

式中  $g_{th}$  是阈值增益系数,  $\alpha_i$  是激光器内部损耗系数,  $L$  是谐振腔长度,  $R_m$  是谐振腔镜面对第  $m$  次模的反射率, 半导体激光器发射的光可以认为是平面光波, 光在晶体与空气界面的反射率  $R_m$  决定于光的入射角和偏振特性。电场  $E$  垂直于入射界面时  $R_m$  就高,  $E$  平行于入射界面时  $R_m$  就低。(1) 式中的  $\ln 1/R_m$  就是光腔镜面的能量反射损耗, 即光从镜面输出的模式损耗;  $L\alpha_i$  是光腔内能量损耗, 它与激光器内部晶体缺陷、异质结对光的限制因子  $\Gamma$  等因素有关。对于本实验用的激光器,  $d=0.15\sim 0.40\mu$  的有源波导层通常只允许基次模振荡, TE 模和 TM 模的偏振与光的限制因子  $\Gamma$  的关系无明显差异, 偏振的选择来源于镜面对 TE 模和 TM 模的  $R_m$  的不同。由(1)式可知,  $R_m$  愈高, 模式损失  $\ln 1/R_m$  愈小, 愈容易达到振荡阈值。本实验测得的图 3 表明: 在薄有源层半导体激光器中, TE 模偏振起支配作用, 而 TM 模偏振在阈值电流下基本上饱和, 阈值以上所加电流都用于加强 TE 模的偏振, 这显然是 TE 模的  $R_m$  比 TM 的  $R_m$  要大得多。

激光器有源层厚度  $d < 0.4\mu$  时, 一般都保持基横模 ( $m=0$ ) 振荡<sup>[2]</sup>。但当  $d > 0.4\mu$  时, 则基次模和高次模的  $R_m$  有可能相等。  $d$  愈大, 高次模的  $R_m$  也愈大,  $\ln 1/R_m$  变小, 这时, 高次模偏振会占优势。在一定情况下, TE 模和 TM 模的模式损失  $\ln 1/R_m$  相等, 如所测得的图 4, 会同时出现 TM 模偏振。

光的限制因子  $\Gamma$  怎样影响模式选择呢? 通常  $\Gamma$  定义为波导内的光强与波导内外总光强之比, 对于本实验的对称型双异质结激光器, 则

$$\Gamma = \left\{ 1 + \frac{\cos^2(Kd/2)}{\gamma[d/2 + 1/K \sin(Kd/2) \cos(Kd/2)]} \right\}^{-1}, \quad (2)$$

式中  $K$  是决定光在波导中存在的模式和模式次数的因子,  $\gamma$  是波导外(包层)的光衰减因子, 有关系式:  $K^2 = \bar{n}_2^2 K_0^2 - \beta^2$ ,  $\gamma^2 = \beta^2 - \bar{n}_1^2 K_0^2$ ,  $\beta$  是光的传播常数,  $K_0 = 2\pi/\lambda_0$ ,  $\lambda_0$  为光波

长,  $d$  是有源波导层厚度。考虑  $d \approx 0.2 \mu$  薄有源层的对称双异质结激光器, 只允许基横模  $TE_0$  波振荡, 光的限制因子  $\Gamma_0$  可近似为<sup>[3]</sup>:

$$\Gamma_0 = \frac{2(\pi d/\lambda_0)^2(\bar{n}_2^2 - \bar{n}_1^2)}{1 + 2(\pi d/\lambda_0)^2(\bar{n}_2^2 - \bar{n}_1^2)}, \quad (3)$$

从 (2), (3) 两式可知,  $\Gamma$  随  $d$  的增大而增大, 并且随着有源层材料与包层材料的折射率之差增大而增大。对于  $d < 0.4 \mu$  的激光器, 因为模的次数不同而  $\Gamma$  不同, 即光的衍射损失不同, 高次  $m$  阶模的衍射损失比零次模大得多,  $m=0$  的  $\Gamma$  比  $m=1$  的  $\Gamma$  至少大 2 倍, 使 (1) 式中  $m=0$  时的  $\alpha_i$  比  $m=1$  的要小, 即  $[g_{th}]_{m=0} < [g_{th}]_{m=1}$ 。正如图 3 所示, 电流由小加大时,  $m=0$  次模首先达到阈值, 并维持基横模工作到很高的电流; 但当  $d > 0.4 \mu$  时, 高次模的  $\Gamma$  值接近基模的  $\Gamma$ , 可能同时出现基模和高次模, 共分谐振腔的能量, 由于各种模式振荡所需的能量都来自同一增益系统, 模式之间展开竞争, 会产生模式转换, 光强-电流 ( $L-I$ ) 特性曲线上可能出现拐点, 甚至在  $R_m > R_0$  的情况下, 只有高次模存在而无低次模。还有, 在  $d$  较大时, 由于激光器晶体内部的缺陷和非均匀性结晶, 偏振特性是随机的, 如图 4 所测得的曲线,  $TE$  模和  $TM$  模共存, 且两种模式之间通过注入载流子的分配比产生相互竞争:  $TM$  模的光输出相对增大,  $TE$  模的光输出相对减弱。这种模式竞争现象, 对于制作高速开关激光器是可取的。

### 三、结 语

用实验研究和分析 GaAs-GaAlAsP 双异质结激光器的偏振特性。一般说来, 这种激光器的激光输出是全偏振的,  $TE$  模起支配作用。而激光偏振特性与异质结对光的限制能力  $\Gamma$ 、有源波导层厚度  $d$ 、谐振腔镜面的模式反射率  $R_m$ 、晶体内部缺陷、非均匀性结晶、载流子注入分配比等因素密切相关。在某些情况下,  $TE$  和  $TM$  模共存, 展开模式竞争,  $TE$  模的增强导致  $TM$  模的削弱, 或  $TE$  模的减弱提供  $TM$  模的增强。

### 参 考 文 献

- [1] 郑广富;《激光》, 1981, 8, No. 9 (Sep), 14.
- [2] H. C. Casey Jr., M. B. Panish; «Heterostructure Lasers», Part A, (New York, Academic Pr. 1978) 39.
- [3] D. Botez; *IEEE J. Q. E.*, 1978, **QE-14**, No. 4 (Apr), 230.

~~~~~  
(上接第 546 页)

这次会议的论文报告, 大部分集中在激光物理、激光光谱和光信息处理等方面, 涉及的面还不够宽广, 并且也还不够深入, 因此, 我国基础光学的研究还应大力加强及扩展其范围。此外绝大部分工作还是重复国际上已有的工作, 作为基础光学工作, 应开拓创造性的而不是模仿性的研究。这次会议缺乏组织一些为今后光学基础研究具有方向性和指导性意义的报告, 也缺乏组织一些当前基础研究方面的国际动态报告等, 这是本届学术报告会的不足之处。

与本届学术报告会同时举行的基础光学专业委员会工作会议进行了讨论, 对这次学术会议的报告水平作了评价, 肯定了我国近几年来基础光学工作的成绩和进步, 也指出了尚存在的问题和差距。工作会议决定于 1984 年召开第二届基础光学学术报告会。

(乙氏)

## The polarization characteristics and mode competition experiment analyses of semiconductor lasers

ZHENG GUANGFU

(Yongchuan Semiconductor Optoelectronics Institute, Sichuan)

(Received 21 October 1981)

### Abstract

This report describes the experimental researches on the polarization Characteristics of symmetric GaAs-GaAlAsP double heterojunction lasers, and analyses the mode-competition processes of these lasers. The experiments showed that semiconductor laser is emitted spontaneously and does not indicate optical polarization characteristic when it is biased under the threshold current. When it is biased above the threshold current, the laser for thin active layer of  $d=0.15\sim 0.40\mu\text{m}$  is generally observed only in fundamental order mode, and TE mode polarization is predominant. At this time, polarization selection is dependent on Fabry-Perot cavity facet (cleaved face) mode reflectivity  $R_0$ . But TM mode is saturated at the threshold, the current applied to the laser above the threshold is used to enhance the TE polarization when the active thickness  $d$  is larger than  $0.4\mu\text{m}$ , the competition between TE and TM mode, fundamental order and higher order mode will appear. TE mode enhancement will result in TM mode decay, or TE mode decay provides TM mode enhancement. In this case, polarization selection depends on both the mode confinement factor  $\Gamma$  and facet reflectivity  $R_m$ . TE mode, TM mode, fundamental-order mode and higher-order mode will possibly appear. Besides, polarization characteristic depends closely upon the internal crystal defect and inhomogeneous crystallization for the active layer of laser as well as the partition ratio of injected carrier.

### '83 国际激光会议预告

«1983 年国际激光会议»将于 1983 年 9 月 6 日至 9 月 9 日在我国广东省广州市召开。会议由中国光学学会主办,会议主席为中国光学学会理事长王大珩教授。

会议的征文范围:激光物理、激光化学、激光器件、激光应用以及激光工程和工艺四个方面。征文截稿日期 1983 年 2 月 28 日。

中国方面的征文稿可印挂投寄上海市 8211 信箱王之江教授,信封上务请注明«'83 会议»征文稿。

来稿一式两份(包括 35~50 字的摘要和 800~1,000 字的提要),中英文对照。若有必要的图、表、照片,必须一式两份,并要求清晰符合出版规格。

(‘83 国际激光会议筹备组供稿)