

文章编号: 0258-7025(2001)06-0497-04

1.3 μm InGaAsP 半导体激光器的 电子辐照效应*

林理彬 廖志君 祖小涛 王浙辉

(四川大学物理系“辐射物理及技术”重点实验室 成都 610064)

提要 1.3 μm InGaAsP 半导体激光器广泛用于光纤通信系统。为了扩大其应用至核环境和外层空间,对 InGaAsP 半导体激光器的电子辐照进行了研究。在电子能量为 0.4 ~ 1.80 MeV 范围内,注量为 $1 \times 10^{12} \sim 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 条件下进行辐照。在注量小于 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 时对 InGaAsP 半导体激光器的输出性能影响是非致命的。当辐照注量超过 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 时激光器的输出功率则呈数量级下降,如镀以 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜能使半导体激光器的抗辐照性能得到提高。

关键词 InGaAsP 半导体激光器,电子辐照, $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜

中图分类号 TN 248.4 文献标识码 A

Effect of Electron Radiation in 1.3 μm InGaAsP Semiconductor Laser

LIN Li-bin LIAO Zhi-jun ZHU Xiao-tiao WANG Zhe-hui

(Department of Physics, "Radiation Physics & Technology" Key Laboratory,
Sichuan University Chengdu, 610064)

Abstract 1.3 μm InGaAsP laser diodes are widely used in optical fiber transference system. In order to expand the application in other fields, the effect of electron radiation of 1.3 μm InGaAsP laser diodes is studied. The results show that for the energy of electron ranges from 0.4 MeV to 1.8 MeV, the fluence of $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ is a critical point, beyond which, the laser diodes are damaged. The $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ coatings are valuable to the laser diodes for radiation protection.

Key words InGaAsP semiconductor laser, electron radiation, $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ film

1 引言

1.3 μm InGaAsP 半导体激光器广泛用于光纤通信系统中,并有不断扩大应用范围的趋势^[1,2]。激光器及由它制得的行波放大器等可用于各种恶劣环境。例如行波放大器应用于深海中,SLD(超辐射管)^[3,4]用于全球定位系统中,放于卫星上。InGaAsP 半导体激光器还直接用于导弹的制导系统中。半导体激光器的工作性能稳定是一个重要的问题,国内也有这方面的报道^[5]。本工作主要研究电子辐照对 InGaAsP 半导体激光器的影响,以便于扩展它的应用范围,特别在核环境和外层空间的应用时这是有意义的。

1.3 μm 半导体激光器是一种适合单模光纤耦

合的双电流限制腐蚀镜面新月形侧面发光的 InGaAsP/InP 双异质结激光器件^[6]。其结构如图 1 所示,其中 GeAu 及 AuGeNi 是电极材料, $n\text{-InGaAsP}$ 是用以得到欧姆接触的。此结构中由新月形的 InGaAsP 有源区及其邻近的 InP 限制层之间的禁带宽度之差来实现载流子限制,从而构成光波导,由一端自然解理面构成光输出面,另一端被腐蚀成斜面抑制光振荡。

为了提高 1.3 μm 半导体激光器的性能,本文特别在激光器的端面蒸镀一层化学性能稳定的 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜,实验结果表明该膜既可作为减反膜,又能起钝化作用。

2 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜的制备

* 国家自然科学基金(编号 69576017)资助项目。

收稿日期:1999-11-02;收到修改稿日期:2000-02-14

采用 DMP-450 型电子束蒸发镀膜机将掺 20% 的 Y_2O_3 作为膜料蒸镀于 $1.3 \mu m$ 激光器管芯上。对此种镀膜装置,通过实验得到的最佳工作条件为:蒸镀时电子枪电压为 6.5 kV,灯丝加热电流为 23 A,可得束流为 0.1 A,偏转电流为 0.5 A,初始真空度为 666×10^{-5} Pa,工作真空度为 666×10^{-5} Pa。蒸镀过程中,样品处于坩埚正上方 50 cm 处。样品不转动,只蒸镀半导体激光器管芯的一个端面。

实验过程中在样品旁同时放置有用 Si 片或 InP 片做的陪片。测量陪片上膜的情况来决定减反膜的厚度、折射率以及其他性质。用日立 S-450 型扫描电镜对膜进行形貌观察。薄膜是均匀的,无明显缺陷、断裂等。且由其成分分析可知膜中 Y 占 Y 和 Zr 原子总数的 28.6% ~ 31.3%。经日本 D/MAX-A 型 X 射线衍射 (XRD) 谱仪测试说明膜是无定形的。

用 TP-77 椭圆测厚仪测量膜的厚度及折射率。在获得膜厚与沉积速率的参考表后,可用蒸镀时间来控制膜厚。实验测得膜的折射率为 1.90。并发现在一定的膜厚范围内折射率不随膜厚改变⁷¹。

3 电子辐照实验与参数测试

用 JJ-2 型静电加速器对镀有 $Y_2O_3-ZrO_2$ 膜及未镀膜的 $1.3 \mu m$ 激光器管芯进行电子束辐照。辐照时电子束正对端面垂直入射。该端面也是蒸镀 $Y_2O_3-ZrO_2$ 膜的端面,辐照所用电子束的能量范围为 0.4 ~ 1.8 MeV,注量范围是 $1 \times 10^{12} \sim 2 \times 10^{16} cm^{-2}$ 。

辐照前后的激光器样管都经过性能测试,决定其性能的主要参数是外微分子量子效率和输入电流与输出功率间的线性性。这在应用中特别是用于光纤通过时是很重要的。按照定义^[6],外微分子量子效率为

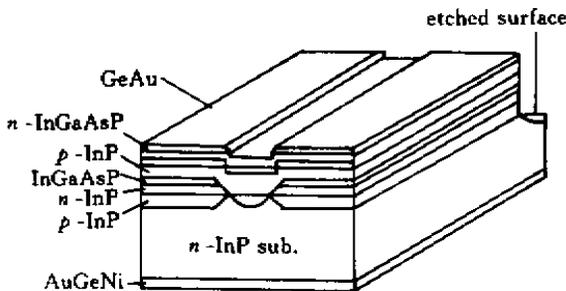


图 1 $1.3 \mu m$ InGaAsP 激光器结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of $1.3 \mu m$ InGaAsP laser diodes

$$\eta_d = \eta_i \frac{1}{L} \ln \left(\frac{1}{R_1 R_2} \right) / \left[\alpha_i + \frac{1}{L} \ln \frac{1}{R_1 R_2} \right]$$

式中 R_1, R_2 分别是激光器两端面的反射率, $L/2$ 是激光器谐振腔长度,为 $250 \mu m$, α_i 为损耗常数, η_i 为内量子效率。由此式可看到减小反射率会提高外微分子量子效率 η_d ,另一方面 η_d 也可表示为输入电流与输出功率相关曲线的斜率,如

$$\eta_d = (h\nu/e) P_{out} / (I - I_{th})$$

式中 P_{out} 为输出功率, I_{th} 为阈值电流。

4 实验结果及讨论

1) 蒸镀有减反膜的半导体激光器,其阈值电流稍有增大,外微分子量子效率明显提高,并有改善输入电流输出功率关系线性性的作用(见图 2)。外微分子量子效率增加最多达 66%。

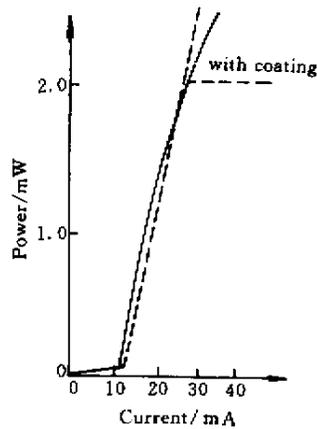


图 2 镀膜后明显改善线性性质

Fig.2 Linearity of laser diodes with coating

2) 辐照前后对有 $Y_2O_3-ZrO_2$ 膜及无膜激光器样管的性能均作了参数测试。由于辐照前后有些样管的谐振消失,不再有外微分子量子效率和阈值电流,为了便于比较,主要测试阈值电流及 50 mA 时的输出功率。所得结果列入表 1 中。

3) 实验中发现,在注量 $\leq 1 \times 10^{15} cm^{-2}$ 下,辐照前后,无论输出功率还是曲线形状变化不大。除上述典型管外,对其他管子,用不同能量,不同的束流电子束辐照,只要注量 $\leq 1 \times 10^{15} cm^{-2}$ 时就有相似的结果。如不考虑其他特性,单从输出功率考虑,辐照后的样管输出功率能保持在原来的一半以上,即没有失效。因此,在 $1 \times 10^{15} cm^{-2}$ 的注量及以下,样管没有受到致命的损坏。

表 1 辐照前后激光器样管的测试结果

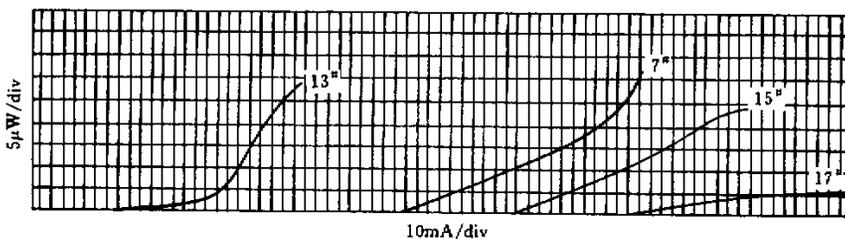
Table 1 Results for unirradiated and irradiated laser diodes

No.	Energy/MeV	Fluence/cm ⁻²	Output power with I_{th} /mW		Output power with $I = 50$ mA/mW			
			Unirradiated	Irradiated	Unirradiated	Irradiated		
2 [#]	0.4	1×10^{12}	0.027	0.025	2.65	1.37		
	0.4	1×10^{13}	0.027	0.022	2.65	1.4		
	0.4	1×10^{14}	0.027	0.025	2.65	1.32		
3 [#]	1.8	1×10^{13}	0.1	0.09	2.62	1.95		
	1.8	1×10^{14}	0.1	0.062	2.62	1.87		
19 [#]	1.8	1×10^{14}	0.063	0.063	2.52	2.17		
20 [#]	1.8	1×10^{15}	0.062	0.075	2.3	2.15		
7 [#]	1.8	1×10^{16}	0.075	0.017	3.0	0.057		
17 [#]	1.8	2×10^{16}	0.056	0.0057	2.92	0.0015		
11 [#] (With coating)	1.8	1×10^{14}	No coating 0.08	With coating 0.075	0.05	No coating 3.12	With coating 3.17	2.87
9 [#] (With coating)	1.8	1×10^{15}	0.05	0.075	0.037	2.30	3.00	3.02
13 [#] (With coating)	1.8	1×10^{16}	0.05	0.057	0.025	2.5	2.5	0.075
15 [#] (With coating)	1.8	2×10^{16}	0.05	0.09	0.01	2.25	3.62	0.021

4) 从表 1 中看出 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 注量是一个临界点。在此注量以下, 对器件的损伤是非致命的, 超过此注量后, 输出功率数百倍下降, 并且曲线完全无激光器的输出特点。

5) 表 1 中最后几个样管是先镀膜后再经电子束辐照的, 显然, $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 注量是一个临界点。在 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 以下, 器件输出功率轻微下降, 对器件的损伤是非致命的, 超过 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 后, 输出功率呈数量级下降, 但有 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜的激光器, 同无

膜的激光器相比, 功率下降要小得多, 相差近一个数量级。因此, 可认为 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜较明显地提高了激光器抗电子辐照性能。为了更直观地看到这一性能, 下面把有、无 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜的样管的 $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 、 $2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ 注量的辐照结果曲线放在一起。由于辐照前各样管性能相近, 因此, 从图 3 得到 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜较明显地提高了激光器的抗电子辐照性能。有这样明显的效果, 说明膜对端面有良好的抗辐照作用。

图 3 有无 $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 膜的管子的辐照结果对比 (13[#] 管纵向缩小 10 倍)Fig. 3 Comparison of radiation effect of laser diodes with and without $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ film

以 9[#] 样管为例, 在镀膜前其 $I = 50$ mA 时的输出功率为 2.30 mW, 镀膜后得到改善, 输出功率为 3.0 mW, 用能量为 1.8 MeV, 而注量达 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 的电子束辐照, 辐照后输出功率为 3.02 mW, 较辐照

前似乎稍有升高, 这是由当时室温变低阈值电流较小引起的。但至少说明镀了膜的样管经 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 注量的辐照, 变化是很微小的。

6) 辐照对半导体激光器的损伤是多方面的, 包

括对电极、端面的损伤和电子辐照在晶体内(有源区)形成缺陷,同时还可能有热损伤,但主要是对端面的损伤。能量为兆电子伏特量级的电子可轻易穿透整个器件,一层 100 nm 左右的 $Y_2O_3-ZrO_2$ 膜,它对电子的阻挡作用是可忽略的,因此,如果假设器件的损伤来自于晶体内部的缺陷的增多,则有无 $Y_2O_3-ZrO_2$ 膜器件辐照后功率下降应无太大区别。如果是其他的如电极损伤等原因,结果也不会相差太大。只有对端面的损伤,膜层才有一定的作用,因为电子辐照到无 $Y_2O_3-ZrO_2$ 膜的端面时,直接破坏端面的平整性。而 $Y_2O_3-ZrO_2$ 的性能使端面的平整性不易受破坏。当然,如果注量加大到一定程度,即入射束内电子的数量大量增加,膜层的保护作用也无能为力了。另一方面是大束流辐照时,有一定的热效应,如无 $Y_2O_3-ZrO_2$ 膜的覆盖,InGaAs 可能同空气中氧发生作用而破坏端面,而 $Y_2O_3-ZrO_2$ 本身的化学性能是稳定的,它覆盖端面也保护了端面。

参 考 文 献

- 1 Tadaishi Saitoh, Takaaki Mukai. 1.5 μm GaInAsP traveling-wave semiconductor laser amplifier. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1987, **23**(6):1010~1020
- 2 Tadaishi Saitoh, Takaaki Mukai, Osamu Mikmi. Theoretical analysis and fabrication of antireflection coatings on laser-diode facets. *J. Lightwave Technol.*, 1985, **LT-3**(2):288~293
- 3 Zhu Zhiwen, Cai kaiqing, Yang Fan *et al.*. 1.3 μm superluminescent diode module. *Semiconductor Optoelectronics* (半导体光电), 1995, **16**(1):57~62 (in Chinese)
- 4 Haruo Nagai, Yoshio Nogushi, Shoichi Sudo. High-power, high-efficiency 1.3 μm superluminescent diode with a buried bent absorbing guide structure. *Appl. Phys. Lett.*, 1989, **54**(18):1719~1721
- 5 Wang Ruifeng, Cai Borong, Hu Yu *et al.*. Study of the frequency stabilization of InGaAsP semiconductor laser using the optogalvanic effect of a gas absorption cell. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1998, **A25**(1):37~40 (in Chinese)
- 6 Huang Dexiu. *Photoelectronics of Semiconductor*. University of Electronic Sci. & Tech. of China Press, 1984. 110~127 (in Chinese)
- 7 Wang Zhehui, Lin Libin, Lu Tiecheng. $Y_2O_3-ZrO_2$ thin film used as anti-reflective coating for 1.3 μm laser diode prepared with electron beam evaporator. *Chinese J. Semiconductors* (半导体学报), 1999, **20**(11):971~976 (in Chinese)