

砷化镓双异质结高辐射度发光管的研制*

泮慧珍, 张桂成, 徐少华, 逢永秀, 程宗权, 富小妹, 朱黎明, 胡道珊

(中国科学院上海冶金研究所)

提 要

用液相外延技术生长 $\text{GaAs-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 双异质结材料, 并制成小面积高辐射度发光二极管。辐射度高达 $100 \text{ W/sr} \cdot \text{cm}^2$ 以上, 尾纤(芯径 $60 \mu\text{m}$, $N.A. = 0.17$) 输出功率最高达 $200 \mu\text{W}$, 外推工作寿命 10^5 小时, 已用于 1.8 公里, 8.448 Mb/S, PCM-120 路光纤电话通信系统, 对器件的工作特性进行了分析, 讨论了影响因素及改进途径。

一、引 言

作为短距离光纤通信的光源器件, 半导体发光管比激光管更经济实用。因为发光管寿命长, 功率输出的温度系数小, 驱动电路简单, 输出线性范围大。为满足国内光纤通信对光源器件的要求, 我们研制了 $\text{GaAs-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 双异质结高辐射度发光二极管^[1]。在 200 mA 的工作电流下, 辐射度最高达 $118 \text{ W/sr} \cdot \text{cm}^2$, 带尾纤的器件输出功率最高达 $200 \mu\text{W}$, 外推工作寿命为 10^5 小时, 已用于 1.8 公里, 8.448 Mb/S, PCM-120 路电话光纤传输系统。

二、器件结构

发光管管芯剖面如图 1 所示。有源层两边各有一层禁带宽度较大的 $(\text{GaAl})\text{As}$ 外延

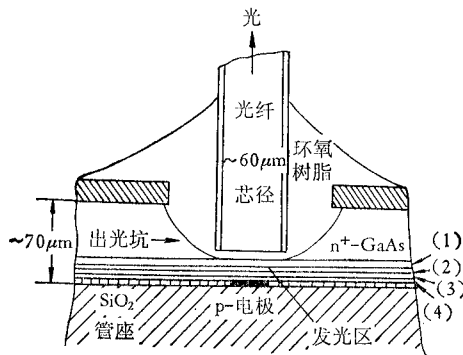


图 1 砷化镓双异质结小面积高辐射度发光管剖面示意图。

- (1) $n\text{-Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 厚 $7 \mu\text{m}$;
- (2) $P\text{-Ga}_{0.95}\text{Al}_{0.05}\text{As}$ 厚 $\sim 1 \mu\text{m}$;
- (3) $P\text{-Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$ 厚 $\sim 1 \mu\text{m}$;
- (4) $P\text{-GaAs}$ 厚 $\sim 2 \mu\text{m}$ 。

* 1980年2月21日收到。

层,构成异质结. 管芯是 P 面朝下用 In 压焊在管座上. 该器件的特点是: (1) 采用双异质结结构, 提高了电子注入效率, 光功率输出比几何形状类似的同质结, 单异质结发光管高. (2) 发光面积小于纤芯面积, 输出功率能得到充分利用. (3) 腐蚀去 n 面出光部份的 GaAs 衬底, 只剩下禁带大于发射波长的窗口材料, 大大减少了材料内的吸收损失. (4) 改变有源层材料的 Al 量, 可使发光波长在 $0.8\text{--}0.9\ \mu\text{m}$ 内选择匹配的光纤传输低损耗窗口. (5) 光纤可以插入碗形坑内, 便于耦合.

三、器件制作

在掺 Te 或掺 Si , $n \geq 1 \times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ 的 (100) 面 GaAs 衬底上, 用紧配石墨舟, 薄液层, 源衬法降温液相外延生长四层外延层^[2]. 该法兼有文献 [3, 4] 的长处, 可保证表面平滑, 厚度均匀. 采用气相沉积 SiO_2 作绝缘介质膜, 选择扩 Zn 后, 在 p 面和 n 面分别蒸发 Au/Zn 和 AuGeNi , 并在 p 面电镀 Au 热沉, 在 n 面腐蚀“出光坑”. p 面朝下压焊在 $S\text{-}4$ 同轴管壳管座上, n 面热压 Au 丝引线^[5].

四、器件工作特性

器件先在室温、环境气氛中, 通 $100\ \text{mA}$ 直流老化筛选^[6], 剔除快退化的管子, 然后进行各项特性参数测量.

1. 伏安特性和光功率输出 用自制的 $V\text{-}I$, $I\text{-}P$ 自动扫描仪测定伏安特性和电流-光功率输出特性, 结果示于图 2, 3 和表 1. 二极管反向击穿电压一般 $> 3\text{V}$ ($10\ \mu\text{A}$), 串联电阻为 $5\text{--}9\ \Omega$.

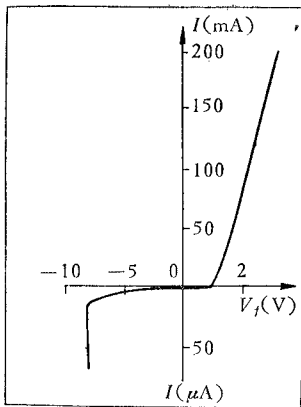


图2 二极管伏安特性曲线

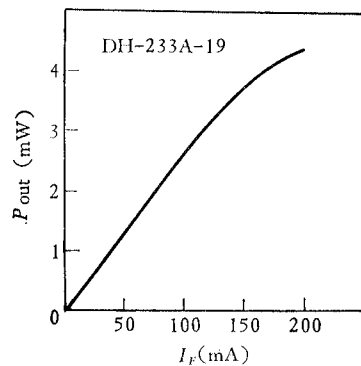


图3 工作电流-光功率输出特性

2. 辐射度 辐射度是器件单位发光面积在单位空间立体角内发射的光功率, 它表征了发光管辐射的光能否有效地耦合输入光纤. 对于发光均匀、发光面积小于纤芯面积的器件, 耦合输入光纤的功率 $P_{\theta i}$ 可用下式估算:

$$P_{\theta i} \cong \pi (\text{辐射度})(\text{发光面积})(NA)^2$$

表 1 二极管伏安特性和电流-光功率输出特性, 室温 $\approx 25^{\circ}\text{C}$

正向电流 $I_F(\text{mA})$	正向压降 (V)		光功率输出 $P_{\text{out}}(\text{mW})$	
	典型值	最高值	典型值	最高值
50	1.6	1.9	0.7—1.0	—
100	1.9	2.2	1.5—2.0	—
200	2.4	3.2	2.5—4.0	5.7

表 2 GaAs 双异质结发光管的辐射度 ($\text{W}/\text{sr} \cdot \text{cm}^2$), 室温 $\approx 30^{\circ}\text{C}$, $I_F = 200 \text{mA}$

辐射度 管号	接收角		辐射度 管号	接收角	
	$8^{\circ}12'29''$	$10^{\circ}16'53''$		$8^{\circ}12'29''$	$10^{\circ}16'53''$
DH-233A-1	77.2	75.6	DH-246-5	66.5	65.9
DH-223A-a	62.4	60.9	DH-256-1	118.9	117.0
DH-223A-7	79.7	79.2	DH-256-2	52.4	51.6
DH-223A-8	50.5	50.7	DH-256-3	62.9	61.2
DH-233C-15	104.1	102.3	DH-256-4	53.6	52.7
DH-246-7	47.9	48.1	DH-256B-3	22.3	22.1

我们用自行设计的装置, 抽测几批发光管在 $N.A. \approx 0.14-0.17$ 光纤接收角内的辐射度, 结果列于表 2.

3. 近场和远场分布 图 4 是发光管光斑近场图, 可见发光区亮度均匀. 图 5 是光强远场分布. 实验值与按朗伯型光强分布的计算值相当一致.

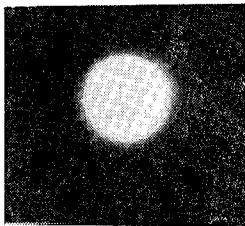


图 4 GaAs 双异质结发光管光斑近场图

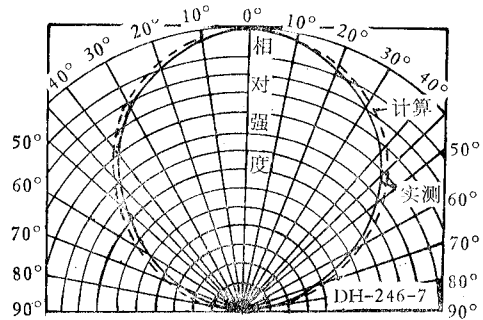


图 5 GaAs 双异质结发光管空间角分布

4. 温度特性 发光二极管外量子效率与温度的关系符合下式^[7]:

$$\eta = A \exp(-\alpha T),$$

T 为结温, α 为温度系数. 发光功率应为: $L = \eta I = AI \exp(-\alpha T)$, I 为工作电流. 故在电流恒定时, $L \propto \exp(-\alpha T)$. 实验测定的不同温度下发光管输出功率与工作电流关系如图 6 所示. 图 7 是恒电流下光功率输出与温度的关系, 由图得温度系数 α 为 5.55×10^{-3} 和 $7.44 \times 10^{-3} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$. 若将输出功率与温度的关系作线性近似处理, 则在 $-20^{\circ}-+70^{\circ}\text{C}$ 范围内, 温度系数为 $0.37\% - 0.93\% \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$.

5. 光谱特性 制得了峰值波长在 $0.78-0.89 \mu\text{m}$ 范围内的发光管. 可用调节有源层中 Al 含量的方法, 使发射波长稳定在 $0.82-0.85 \mu\text{m}$. 光谱半宽 $\sim 450 \text{ \AA}$. 图 8 是不同

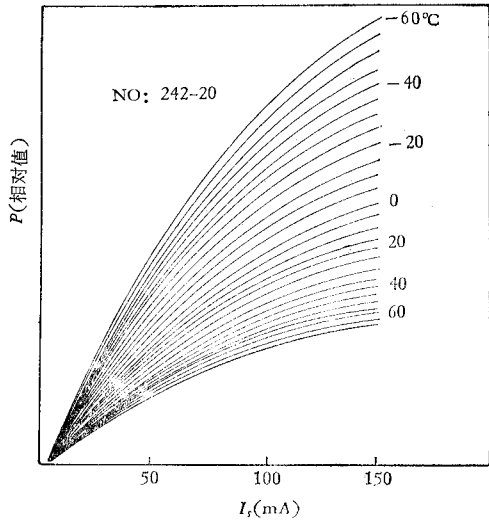


图6 不同温度下发光管输出功率与工作电流关系

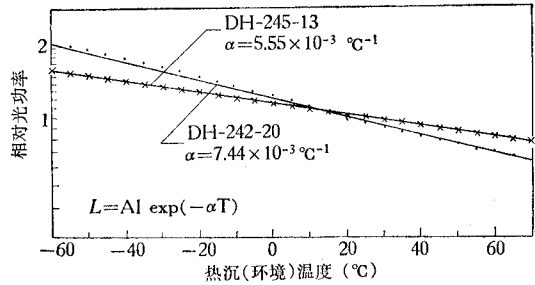


图7 恒电流下光功率输出与温度的关系

工作电流下的光谱特性。抽测了6只管子的光谱峰值随工作电流的位移；据此估计，从25 mA增加到100 mA时，结温升约在32°—86°C；从而得知，器件的热阻约为140—690°C/W，典型值~200°C/W。

6. 响应速度 上升时间为16—25ns，下降时间为17—20 ns，频响为15—20 MHz。

7. 工作寿命 器件在室温下，通100 mA 直流(电流密度 $\approx 10^4$ A/cm²)，老化100小时，剔除快退化的管子。在实验室环境中，热沉温度为30°，50°，70°C的情况下，进行慢退化实验。图9为3个不同温度下器件归一化功率随时间的变化。用文献[7]的处理方法，获得室温外推工作寿命为10⁵小时。

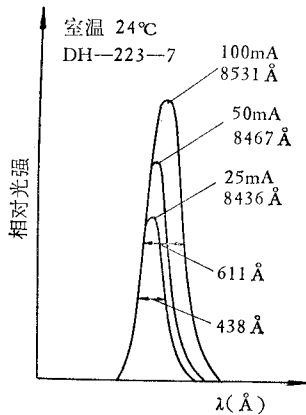


图8 不同工作电流下的光谱特性曲线

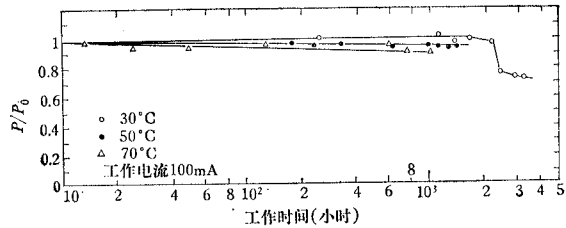


图9 器件输出功率随时间的变化(工作电流 100 mA)

五. 讨 论

衡量光纤传输系统光源器件水平的主要技术指标是辐射度、工作寿命和响应速度。本

节着重讨论其影响因素及改进途径。

1. 辐射度 器件的辐射度取决于外量子效率、发光面积和光强空间分布。

外量子效率 η_{ext} 包括材料的内量子效率 η_i 和光的取出效率 η_{sp} 。GaAs 材料的 η_i 大于 80%，而 η_{sp} 则取决于材料折射率与空气折射率之差： $\eta_{\text{sp}} = [n(n+1)^2]^{-1}$ ，其中 n 是材料折射率。对图 1 所示的管芯结构，光从 $n\text{-Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$ 平面透入空气介质。设三元系材料折射率与组份呈线性关系， $n_{\text{GaAs}} = 3.59$ ， $n_{\text{AlAs}} = 2.97$ ，则 $\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$ 的折射率为 3.4， $\eta_{\text{sp}} = 1.5\%$ 。即使 η_i 达到 100%， η_{ext} 也只有 1.5% 左右（由于界面全反射而未输出的光将大部份在器件内部吸收损失掉），可见， η_{sp} 是 η_{ext} 的限制因素。通常 GaAs 平面型发光管 $\eta_{\text{ext}} \sim 3\%$ ，如将管芯结构改成半球状面，则可使 η_{ext} 提高到 $\sim 14\%$ ^[8]（或加高折射率的半球状透镜），但这种结构将使光束更加分散，不利于光纤耦合。在管芯出光面镀复折射率为 1.9 的 SiO_2 增透膜，可望使器件的光功率输出提高 30% 左右^[9]。

发光面积的缩小可提高电流密度，从而提高单位发光面积输出光功率。但发光面积愈小，局部发热愈甚，如散热不良，将使结温升高，光功率输出趋向饱和甚至反而下跌。结温过高还将使 $p\text{-}n$ 结特性变坏。因此对于小面积发光管，制作良好的热沉极其重要。目前制得的器件热阻低者约为 $140^\circ\text{C}/\text{W}$ ，个别高者达 $690^\circ\text{C}/\text{W}$ ，很不一致。热阻高的器件，相应的 $I\text{-}P$ 扫描曲线斜率很快变小，在 150 mA 左右就接近饱和，功率输出一般不超过 3 mW (200 mA)。器件各部份热阻中，材料热阻如表 3 所示。可见材料对热阻的贡献在 $100\text{--}200^\circ\text{C}/\text{W}$ ，与估算的热阻下限一致，进一步降低需从减小外延层厚度着手。至于部份器件的热阻超过 $200^\circ\text{C}/\text{W}$ ，表明管芯与热沉接触不良，应改进装架工艺。

表 3 器件各部份的热阻

外延层材料	热导率 ($\text{W}/\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$)	层厚(μm)	发光面积 (以电极直径 30—50 μm 计算) (μm^2)	热阻($^\circ\text{C}/\text{W}$)
$\text{Ga}_{0.7}\text{Al}_{0.3}\text{As}$	0.13	2	1900—2000	154—77
GaAs	0.5	2	1000—2000	40—20
总计				194—97

面发光型器件的缺点是光强分布服从余弦定理，光束发散角 $\sim 120^\circ$ ，不易耦合输入低损耗光纤。在出光面加球透镜可使发散角显著减小^[10]，提高耦合效率。光纤端面烧球也可使效率提高 2 倍以上。

2. 工作寿命 材料内部缺陷是器件退化的一个主要原因。目前我们生长用的衬底位错密度偏高 ($\leq 10^4/\text{cm}^2$)，外延系统含氧量还有几个 ppm，可能是影响工作寿命的重要原因。此外，制管过程中，特别是装架过程中引入应力也使器件明显劣化。目前，器件老化筛选合格率为 54%，尚有待提高。

3. 响应速度 发光二极管的调制速率取决于有源层中的少数寿命。提高有源层掺杂浓度，减少有源层厚度，可使截止频率有所提高。但相应功率有所降低。本文器件的截止频率为 20 MHz，适当改变材料参数尚可稍有提高，但双异质结面发光型二极管的截止频率优值最高约 50 MHz。

现将我们研制的器件特性参数与国外同类产品技术指标列于表 4。由表可见，我们研

表 4 器件特性参数比较

型 号	工作电流 (mA)	正向压降 (V)	峰值波长 (nm)	光谱半宽 (nm)	输出功率 (mW)	辐射度 $W/sr \cdot cm^2$	截止频率 MHz	尾纤输出 $\phi 60\mu m$ NA = 0.17 μW	热阻 $^{\circ}C/W$	年份	参考 文献
本文	50 100 200	1.6—1.9 1.9—2.2 2.4—3.2	~850	~45	0.7—1 1.5—2.0 2—5.7	50—119	15—20	50—150	~200	1979	
贝尔(北方) 40-330-L	300	—	840	40	—	66	—	—	—	1977	[12]
ITT T851-S	200	—	840	38	1.5	—	—	—	—	1977	[12]
Laser D. Labs IRE 150	100	—	820	35	1.5	—	—	—	—	1977	[12]
Philips CQY 58	50	—	870	45	0.5	—	—	—	—	1977	[12]
三菱 ME-1203F	50	1.6—1.9	860	45	1—1.5	15—22	15—30	80	200	1978	[13]
NEC OD8350	200	—	~850	~40	—	—	—	≥ 100	—	1979	[14]
富士通			820	20			8	80			

制的器件各项主要参数已与当前国外同类产品相当。

六、结 论

用液相外延生长的 GaAs-(GaAl)As 双异质结发光材料, 制作成小面积高辐射度发光二极管。主要特性参数为:

工作电流 200 mA	输出功率 2—4 mW
正向压降 2.4 V	辐射度 50—119 $W/sr \cdot cm^2$
峰值波长 ~850 nm	截止频率 (-3 dB) 15—20 MHz
光谱半宽 ~45 nm	尾纤输出(纤芯 $60\mu m, N.A. = 0.17$) 50—200 μW
工作寿命(外推) 10^5 小时。	

对器件工作特性和退化现象作了初步分析, 提出了改进途径。

作者谨向参加测试工作的陈启璜, 陈瑞璋, 吴冠群, 龚连根, 陈莲勇等同志致谢。

参 考 文 献

- [1] C. A. Burrus, *Optic. Comm.*, **4**(1971), 307.
- [2] 泮慧珍、邬祥生, 黄磊, 科技通讯, 1978, 第3期, 第7页。
- [3] J. M. Blum and K. K. Shih, *J. Appl. Phys.*, **43**(1972), 1394.
- [4] H. F. Lockwood and M. Ettenberg, *J. Crystal growth*, **15**(1972), 81.
- [5] 张桂成等, 科技通讯, 1978, 第3期, 第51页。
- [6] Shigonebu Yamakoshi, et al., *Appl. Phys. Lett.*, **31**(1977), 627.
- [7] J. I. Pankove, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-4**(1968), 119.

- [8] F. D. King and A. J. Spring Thrope, *J. Electron. Materials*, **4**(1975), 243.
[9] M. Ettenberg, K. C. Hudson and H. F. Lockwood, *IEEE J. Quantum Electron*, **QE-9**(1973), 987.
[10] Shigeki Horiuchi, et al., *IEEE Trans. on Electron. Devices*, **ED-24**(1977), 986.
[11] K. Ikeda, et al. *IEEE Trans. on Electron. Devices*, **ED-24**(1977), 1001.
[12] G. R. Elion and H. A. Elion, *Fiber Optics in Communication Systems*, 1978.
[13] 三菱电机, 三菱オプトエレクトロニクス半导体デバイス, 产品说明书, 1978.
[14] NEC, *Optical Fiber Cable Transmission Systems*, 产品说明书, 1979.

THE STUDY OF GaAs DOUBLE HETEROJUNCTION HIGH-RADIANCE LIGHT-EMITTING DIODES

Pan Hui-zhen, Zhang Gui-cheng, Xu Shao-hua, Pang Yong-xiu, Cheng Zong-quan, Fu Xiao-mei, Zhu Li-ming, Hu Dao-shan
(*Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica*)

GaAs-Ga_{1-x}Al_xAs double heterojunction material was grown by liquid phase epitaxial technique, and small area high radiance light emitting diodes are made. The radiation power is above 100W/sr.cm², output power of the tail fibre (inner diameter 60 μm N.A.=0.17) is 200μW, and extrapolated life reaches 10⁵ hours. It is already being used in the 1.8km 8.448 Mb/s PCM-120 route optic fibre telephone communication system. Analysis is made on the operational characteristics of the diodes. Factors affecting its proper use and approaches for improvement are discussed.