

InGaAsP/InP 双异质结发光管暗缺陷的观察和研究*

张桂成 沈彭年
(中国科学院上海冶金研究所)

提 要

用红外电视选行扫描仪观察由不同 p 型掺杂剂的外延片制成的 InGaAsP/InP 双异质结发光管的暗缺陷,并研究了它的来源.比较了 p 型掺杂剂的种类和掺杂浓度对暗结构的影响.结果表明,掺 Mg 和掺 In-Zn 合金与重掺 Zn 器件相比,暗结构比例明显降低. Zn 可能是暗缺陷的重要来源之一.器件在 70°C, 85°C 条件下老化 2000 小时后,老化前无暗缺陷的某些器件亦有暗结构产生,但其生长率很慢.

一、引 言

InGaAsP/InP 双异质结发光管(以后简称 InGaAsP/InP LED)是在长波长(1.0—1.6 μm)光纤通信系统中有实用价值的光源器件.随着长波长光纤通信的迅速发展,对该器件的退化特性和暗缺陷观察的报道颇多.曾用 TEM^[1], EL^[2], EBIC^[3] 和 CL^[4] 等方法进行了研究,并讨论了它的特性和形成机理^[5].

本文采用红外电视选行扫描仪^[6],对器件的暗缺陷进行非破坏性观察,并研究了限制层 p 型掺杂剂种类、掺杂浓度和掺杂均匀性对暗缺陷的影响.

二、器件的制备和观察

用抛光的 n -InP 衬底,在水平滑移石墨舟中,依次生长 n -InP 缓冲层 5—6 μm , 不掺杂的 InGaAsP 有源层 1—2 μm , 掺 Zn、In-Zn 合金或 Mg 的 p 型限制层 1—2 μm , 为了改善接触,有时也生长 p -InGaAsP 接触层 1 μm ^[7]. 用 SiO₂ 作绝缘介质层,光刻出直径为 50 μm 的 p 面电极窗口;表面选择 Zn 扩散,溅射 TiPdAu 和蒸发 AuGeNi 分别作为 p 面和 n 面电极;电镀 Au 作热沉; p 面朝下压焊在管座上,制成 InGaAsP/InP 双异质结发光管^[8]. 为了比较也制成深 Zn 扩散型发光管. 器件的结构如图 1, 器件的光功率 (100mA) $P \geq 1\text{mW}$, 发射波长 $\lambda = 1.24\text{—}1.3\mu\text{m}$.

器件在正向偏压下,用带有 N214 光导摄像管的红外电视选行扫描仪,可观察到暗结构缺陷及其分布情况.在电视荧光屏上可清晰地显示出发光区的有效直径、暗结构的

* 1985年5月27日收到1985年9月3日修改定稿.

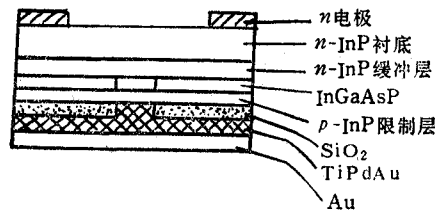


图 1 InGaAsP/InP 发光管结构图

图象形式和大小。

三、实验结果

1. 无暗结构的器件

用多批限制层掺不同类型掺杂剂的外延片制管，并在老化前观察其近场特性。结果表明，限制层掺 Mg 或 In-Zn 合金的器件，近场图象未见有明显的暗结构，其 EL 图象和选行扫描照片如图 2 所示。由图可见，发光区亮度均匀，光斑集中，选行扫描照片上只有一个对称峰，这表明光强在发光区这一行上的分布是均匀的。在发光区不同位置上的其他各行的选行照片也有类似结果。

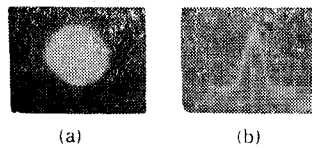


图 2 老化前无暗缺陷的 FL 图象 (a) 和选行照片 (b)

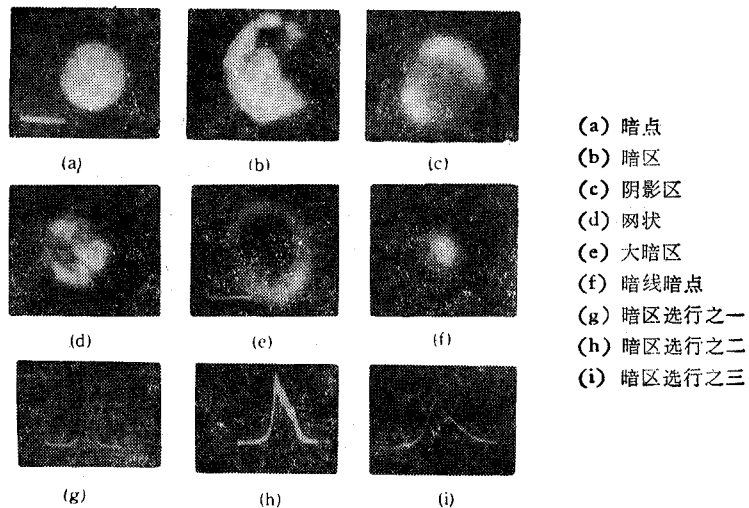


图 3 几种不同类型暗缺陷和选行扫描照片

2. 有暗缺陷的器件

对于用限制层掺 Zn 浓度较高的外延片或外延生长时母液使用 2—3 次未更换的外延片做成的器件和某些深 Zn 扩散型器件,在老化前就已观察到不同类型的暗缺陷,如图 3 所示。

由图 3 可见,器件在老化前有暗结构缺陷,其选行扫描照片,也不呈对称形式,而有起伏不平的小峰,这表明,光强在这一行上的分布不均匀,最低点处光强较弱。观察多批器件的暗缺陷表明有下列规律: (1) 用同一批外延片制成的器件,其暗缺陷类型相似,如用第 160 批外延片时的暗缺陷都表现为图 3(c) 的类型。(2) 用不同掺杂剂生长的外延片制成的器件,其暗缺陷的差别较大。用掺 Zn 浓度较高或母液连续使用 2—3 次未更换的外延材料制成的器件,暗缺陷较明显;而用掺 Mg 或 In-Zn 合金的外延片时,暗缺陷则很少。(3) 深 Zn 扩散型的器件有一批出现大面积暗区,如图 3(e) 所示。(4) 从有暗缺陷的选行照片可见,对应于暗区处曲线起伏不平,并有较低点。将曲线依次序合并构成的几何图形,可反映出光强的空间分布的不均匀性。

3. 室温老化过程中暗缺陷的变化

在室温老化过程中,定期观察器件的近场 EL 图象,结果表明, (1) 在老化前无暗缺陷的器件,在 15—35℃、5kA/cm² 电流密度下,老化 15000h,未见有暗缺陷产生。(2) 老化前已有暗缺陷的器件,在上述条件下老化 15000h 后,其暗缺陷未见明显长大。

4. 在 70°、85℃ 老化过程中暗缺陷的变化

器件分别在 70℃、85℃、2—5kA/cm² 电流密度下大气气氛中老化,定期观察暗缺陷的变化,结果表明: 原来无暗缺陷的器件,在老化 2000h 的过程中未见有明显的暗缺陷产生。但在 2000h 后,有些器件有暗缺陷逐渐形成,并缓慢地长大。图 4(a) 是 238-2 发光管在 70℃,老化 4600h 后的 EL 图和选行照片。观察表明,暗缺陷是在 2000h 后逐渐出现的。最初为相距一定距离的直径为 2—3μm 的三个小圆点,随着老化时间的增长,逐渐连成一体。选行图中的三个最低点,对应于它们的中心的位置。图 4(b) 是老化前无暗缺陷的器件,在 85℃ 老化 3500h 和 7000h 后的 EL 图象,二者相比可见,暗缺陷的生长速率是很慢的。

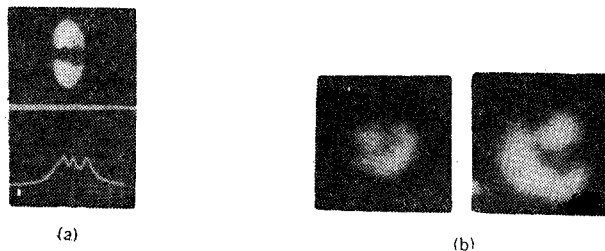


图 4 3500h 7000h

(a) 238-2 发光管在 70℃ 老化 4600 h 后的暗缺陷和进行扫描照片

(b) 器件在 85℃, 老化 3500 和 7000h 后的 EL 图象

5. 限制层掺杂剂对暗缺陷的影响

用不同类型 p 型掺杂剂生长的液相外延片制做了多批管子并逐一观察其近场 EL 现

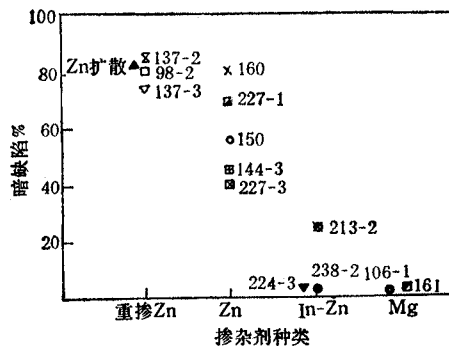


图5 暗缺陷与掺杂剂的关系

象,得到暗缺陷出现的几率与掺杂剂的关系如图5所示。从图可见,限制层掺 Mg 或 In-Zn 合金时,器件的暗缺陷出现的几率较低;而用重掺 Zn 或母液多次使用而不更换的外延片(137-2, 137-3, 98-2)做的器件,其暗缺陷出现的几率约占80%。显而易见,Zn 掺杂浓度高或掺杂的不均匀是出现暗缺陷的重要原因之一。

四、讨 论

文献[3]报道, InGaAsP/InP LED 在 180°C 高温下老化将产生暗缺陷。文献[9]指出,器件在老化前已有暗点缺陷(dark spot defect)出现。近来文献[1, 10]也发表了类似结果。

对暗点缺陷的成因有不同的报道。文献[11]指出,在 InGaAsP/InP LED 老化期间观察到的暗缺陷与基质元素的沉淀物或 p 面电极金属有关。文献[4]认为 Au 在老化期从 p 型接触层移向有源层是 InGaAsP/InP LED 产生暗缺陷的原因。文献[12]指出有源层中 As、Ga 分凝与暗缺陷有关。人们还曾猜测 p 面接触层合金是产生位错的原因,但 TEM 观测表明,单单是合金是不会产生滑移位错的^[13]。

逐一观察用多批掺不同 p 型掺杂剂的外延片制成的几百只发光管表明, InGaAsP/InP LED 的暗缺陷绝大多数为暗点缺陷,很少是暗线缺陷(dark line defect)的。

文献[2]用腐蚀坑密度为 10^5cm^{-2} 的 111 B 面 InP 作衬底生长的外延层制成的器件,经长时间老化,未见有暗缺陷产生。文献[14]也认为发光区的暗缺陷不与 InP 衬底的连续位错对应。文献[12]的结果也表明,暗区可从 p 型层穿透到 n 型层,并与 InP 衬底的缺陷无关。我们用位错密度相同(10^4cm^{-2})的 InP 衬底和对 Au 有一定阻挡作用的 TiPdAu 材料作 p 面电极^[15],改变 p 型掺杂剂制成一批器件,出现暗缺陷的几率差别很大。这表明暗缺陷与 p 型掺杂剂的浓度和掺杂的均匀性有一定关系,而与 InP 衬底位错的关系则不明显。

图5的结果表明,用掺 Mg 或 In-Zn 合金的外延材料做的器件与掺 Zn 或母液多次使用而未更换的外延材料的相比,出现暗缺陷的几率差别甚大,前者的 Zn 掺杂浓度低并且掺杂均匀,不易产生位错;而后者掺杂浓度高并且分布不易均匀,易于产生位错。由

于采用 TiPd 作阻挡层,并在老化前进行观察,因而排除了 Au 移动产生暗缺陷的可能性。显而易见,InGaAsP/InP 发光管暗缺陷除与 Au 移动有关外^[4],外延材料中 p 型掺杂剂的浓度和均匀性是产生暗缺陷的原因之一。由于 Zn 在 InP 中以间隙式、替位式和中性复合体 $V_PZn_{In}V_P$ 以及沉淀物等多种形式存在^[14],有利于多种原子群、位错云等缺陷的形式,这可能是器件产生暗缺陷的重要原因之一。

五、结 束 语

(1) 用红外电视选行扫描仪非破坏性地观察了 InGaAsP/InP 发光管的近场特性。结果表明,老化前某些器件有多种形式的暗缺陷,它们与 p 型掺杂剂的浓度和均匀性有关,限制层重掺 Zn 是引起暗缺陷的重要原因之一。

(2) 在室温、70℃ 和 85℃ 下观察老化过程中暗缺陷的变化表明,在室温下老化 5000h 未见有新的暗缺陷产生。在 70℃ 和 85℃ 下,老化 2000h 也未见有暗缺陷出现,但老化 2000h 后,个别原来无暗缺陷的器件有暗缺陷出现,并逐渐长大,但生长率很慢,所以这类型器件寿命较长。

参 考 文 献

- [1] Osamu Ueda, *Fujitsu Sci. & Tech. J.*, 18(1982), 507.
- [2] S. Yamakoshi et al., *IEEE Trans. on QE*, QE-17(1981), 167.
- [3] H. Temkin, *J. Appl. Phys.*, 52(1981), 5377.
- [4] A. K. Chin et al., *Appl. Phys. Lett.*, 41(1982), 555.
- [5] Osamu Ueda, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 20(1981), 1201.
- [6] 何樾昌, 吴冠群, 通信学报, 1982年, 第4期, 第88页.
- [7] 邬祥生, 杨 易, 半导体学报, 3(1982), 162.
- [8] 水海龙, 张桂成, 电子学通讯, 4(1982), 286.
- [9] 张桂成, 水海龙, 发光与显示, 1982年, 第2期, 第65页.
- [10] A. K. Chin et al., *Appl. Phys. Lett.*, 42(1983), 1031.
- [11] Osamu Ueda et al., *ibid.*, 36(1980), 300.
- [12] Masahiro Seki et al., *ibid.*, 40(1982), 115.
- [13] K. Ishida et al., *ibid.*, 40(1982), 16.
- [14] 山腰茂, 光纤通信, 1980年, 第3期, 第132页.
- [15] 张桂成等, 电子科学学刊, 6(1984), 172.

OBSERVATION AND STUDY ON THE DARK DEFECTS IN InGaAsP/InP DOUBLE-HETEROSTRUCTURE LEDS

Zhang Guicheng, Shen Pangnian

(Shanghai Institute of Metallurgy, Academia Sinica)

The dark defects in InGaAsP/InP DH LEDs are observed with an infrared line scanner. The dark structure appears before aging and it exists mainly in the form of dark spot defect. The effect of the variety and concentration of the doping for *p*-InP confining layers on the dark defects is studied. The results show that the percentage of devices with dark defects is much lower for Mg or In-Zn doped devices than for Zn doped devices. It is believed that Zn is one of the important origin for the formation of dark defects. The growth rate of dark defects is studied both at room temperature and at 70—85°C. The results show that after aging for 15000 h at room temperature there are no dark defects newly appeared. But after aging for 2000 h at 70—85°C some devices show newly formed dark structure with very slow growth rate.