

气态源分子束外延 (AlGa)InP 和 GaInP/AlInP 多量子阱材料*

袁瑞霞 阎春辉 国红熙 李晓兵 朱世荣 李灵肖 曾一平 孔梅影

(中国科学院半导体所 北京 100083)

摘要 我们用国产第一台化学束外延 (CBE) 系统, 采用气态源分子束外延 (GSMBE) 技术研制了与 GaAs 匹配的, 性能良好的 (AlGa)InP 材料和 GaInP/AlInP 多量子阱材料。对这些材料进行了霍尔, 光致发光 (PL), 阴极荧光 (CL) 以及 X 射线双晶衍射 (XRD) 等测量分析。

EEACC: 0510D, 2520D, 4220

1 引言

可见光激光器在高速激光印刷, 高密度光盘, 条码阅读等光信息存储处理, 激光泵浦和应用光学测量中有广泛应用。国外在 1985 年研制出室温连续波工作 (AlGa)InP 可见光激光器。目前这方面工作主要集中于研制短波, 高功率, 高 T_0 (即高温稳定性) 和长寿命的 (AlGa)InP 可见光激光器, 其材料制备手段多数是用低压金属有机物气相外延 (LP-MOVPE) 和气态源分子束外延 (GSMBE)。GSMBE 由于采用砷烷和磷烷等气态源代替普通分子束外延 (MBE) 中使用的固态砷和磷源, 因而可以象 MOVPE 那样有效地控制外延层中 V 族元素 (砷和磷) 的组分; 另外它保持了 MBE 的清洁的超高真空外延环境。精确的和在位的外延过程控制等诸多优点。因而 GSMBE 成为研制超薄多层结构材料的有力手段, 特别适合于制备磷化物的超薄多层结构材料。为研制 (AlGa)InP 量子阱激光器, 我们首先用 GSMBE 研制了与 GaAs 匹配的 (Al_xGa_{1-x}) InP 外延层和 GaInP/AlInP 多量子阱结构 (MQWS) 材料。

2 外延实验

我们使用的外延系统是国产第一台化学束外延 (CBE) 系统。图 1 就是该系统生长室结构示意图, 不锈钢外壳内衬有液氮冷却屏, 整个生长室用带液氮冷阱的扩散泵抽气, 生长前生长室背景真空可达到好的 1.33×10^{-7} Pa, 工作时生长室压力取决于进气量大小,

* 本工作为国家高技术新材料领域资助课题

1993 年 4 月 14 日收到初稿, 1993 年 8 月 29 日收到修改稿

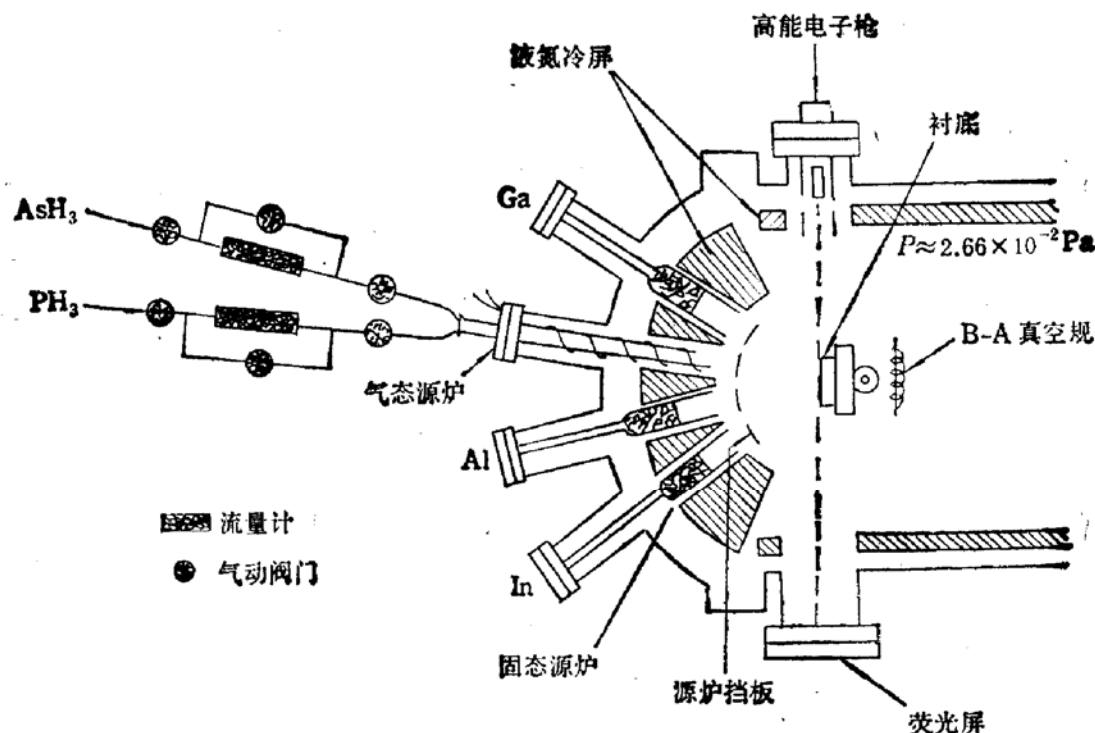


图1 外延室结构示意图

通常为 $2.67 \times 10^{-2} \text{Pa}$ 左右。生长室内装有几个通常分子束外延 (MBE) 用的固态分子束源炉, 分别装着有高纯铟(In, 7N), 镓 (Ga, 7N), 铝 (Al, 6N); 另外, 有一个气态源炉, 纯磷烷和砷烷通过质量流量计和气动阀门进入该炉, 在其中被加热至大约 950°C , 分解成氢气和磷分子、砷分子(主要是 P_2 和 As_2), 然后喷射到衬底上。其分子束流强度是由相应的气体流量决定, 其分子束的开关则由相应气路上的气动阀门的开关控制。与 MBE 一样, GSMBE 过程可用反射式高能电子衍射监控。衬底附近的 B-A 真空规可移动到生长时外延衬底所在的位置, 测量各分子束流的等效压强 (BEP)。外延用衬底是 (001) 半绝缘 GaAs 单晶, 经过有机溶剂脱脂, 用 $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ 化学腐蚀, 然后用去离子水冲净, 甩干水后用熔化的铟粘到钼样品托上, 装入进样室。当进样室真空到达 $1.33 \times 10^{-4} \text{Pa}$ 后, 衬底通过分析室装到生长室衬底加热器上, 衬底首先在砷的分子束流中加热至 $580-600^\circ\text{C}$, 除去表面氧化层, 外延几千埃的 GaAs 缓冲层然后衬底温度降至 520°C , 砷分子束流换成磷分子束流, 打开铟炉, 镓炉和或铝炉的挡板, 则开始外延 (AlGa)InP 膜。外延膜中 III 族原子是由铝, 镓, 铟炉炉温决定。在外延过程中到达外延表面 V 族原子 (P) 与 III 族原子 (Ga + Al + In) 之比 (V/III) 大约为 2—3。我们外延的 GaInP/AlInP 多量子阱结构是在 GaAs (001) 衬底上先外延 $1000 \text{\AA}$ GaAs 缓冲层, 然后交替外延与 GaAs 匹配的 AlInP 垒层 ($100 \text{\AA}$ 厚) 和 GaInP 阱层 ($40 \text{\AA}$ 厚), 重复 20 个周期, 最外层为 GaInP 层。

3 结果与讨论

3.1 (Al_xGa_{1-x})InP 材料

所外延的 (Al_xGa_{1-x})InP 材料表面光亮 (x 从 0 到 1)。外延层的 In 含量和该外延

层与 GaAs 失配度是用 X 射线双晶衍射 (XRD) 测量。晶格失配度 ($\Delta a/a$) 为 1×10^{-3} 左右。利用 Vegard 定理, 我们计算的 GaInP 的垂直应变 $(\Delta a/a)_\perp$ 与 In 含量的关系如图 2 曲线所示。曲线上的几个点对应的 In 含量是用电子探针技术核对过, 两种技术测得的 In 含量值相符, 偏差小于 5%

各种铝含量的 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{InP}$ 膜 ($x = 0, 0.25, 0.5$ 和 1) 均可发出较强的荧光。它们的室温阴极荧光肉眼可见, 颜色从红色, 橙色到黄绿色, 测得的相应波长为 680nm 到 590 nm。GaInP 和 AlInP 的 77 K 光致发光 (PL) 峰分别在 644 nm 和 513 nm, 它们的半峰宽为 19 meV 和 24 meV (图 3a 和 3b)。GaInP

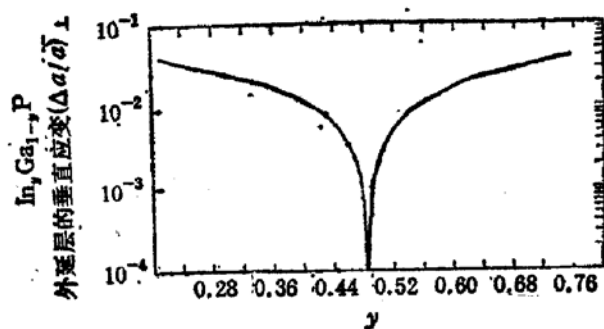


图 2 GaAs 上 $\text{Ga}_{1-y}\text{InP}$ 外延膜垂直应变 $(\Delta a/a)_\perp$ 与铟含量 y 的关系

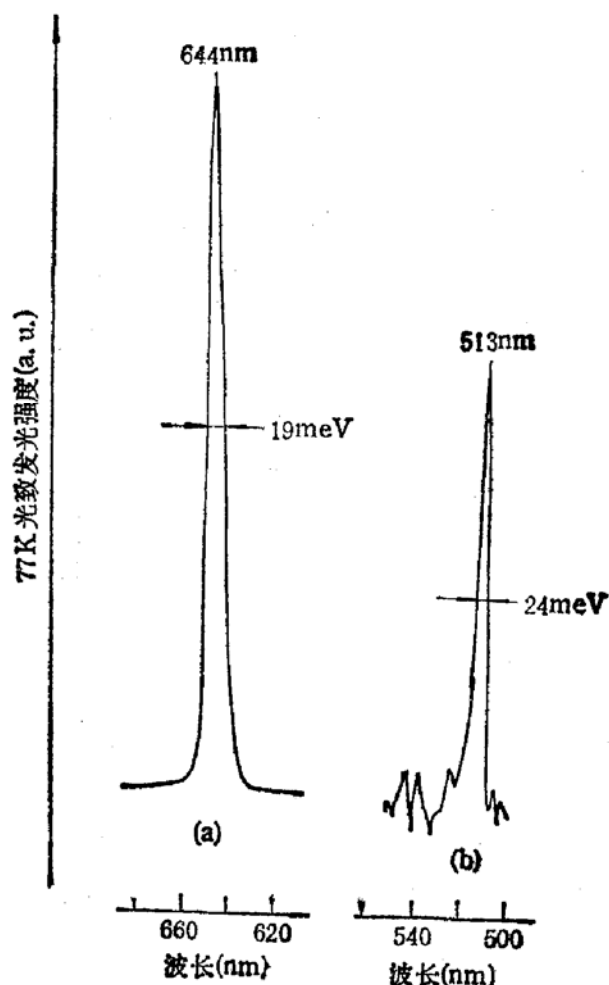


图 3 GaInP 和 AlInP 的 77 K 光致发光光谱

在 10 K 的 PL 谱的波长为 640 nm, 半峰宽为 12 meV; $(\text{AlGa})\text{InP}$ 荧光峰对应的能量随 x 增加而近于线性增长。GaInP 禁带宽度 (E_g , 荧光峰对应的能量) 随温度的变化, 与文献报道的 GaAs 禁带宽度随温度的变化有十分相近的变化曲线; 从室温阴极荧光和光致发光测量的 GaInP 的 $E_g = 1.820$ eV, 比文献报道的 1.92 eV 少约 100 meV。这种禁带宽度变窄可能与外延膜 III 族原子 (Ga 和 In) 的有序排列有关^[1]。霍尔测量结果表明所外延的 GaInP 外延膜还具有良好的电学性能, 其室温和 77 K 电子迁移率分别为 $1214\text{--}2480 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 和 $9940\text{--}20040 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 相应的电子浓度分别为 $(3.3\text{--}3.0) \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 和 $(3.2\text{--}2.7) \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$; 最佳结果是: 室温和低温电子迁移率分别为 $4300 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 和 $23390 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 相应的电子浓度分别为 $3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 和 $3.6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, (外延层厚度为 $1.7 \mu\text{m}$) 这个数据可与国外 GSMBE GaInP 的最好结果相比^[2]。

3.2 GaInP/AlInP 多量子阱材料

图 4 是该结构的 X 射线双晶衍射曲线, 图中明显可见的二级卫星衍射峰表明了良好的周期性结构: 由此曲线求出的一个 AlInP/GaInP 周期的厚度为 $135 \text{ \AA}$, 接近设计值

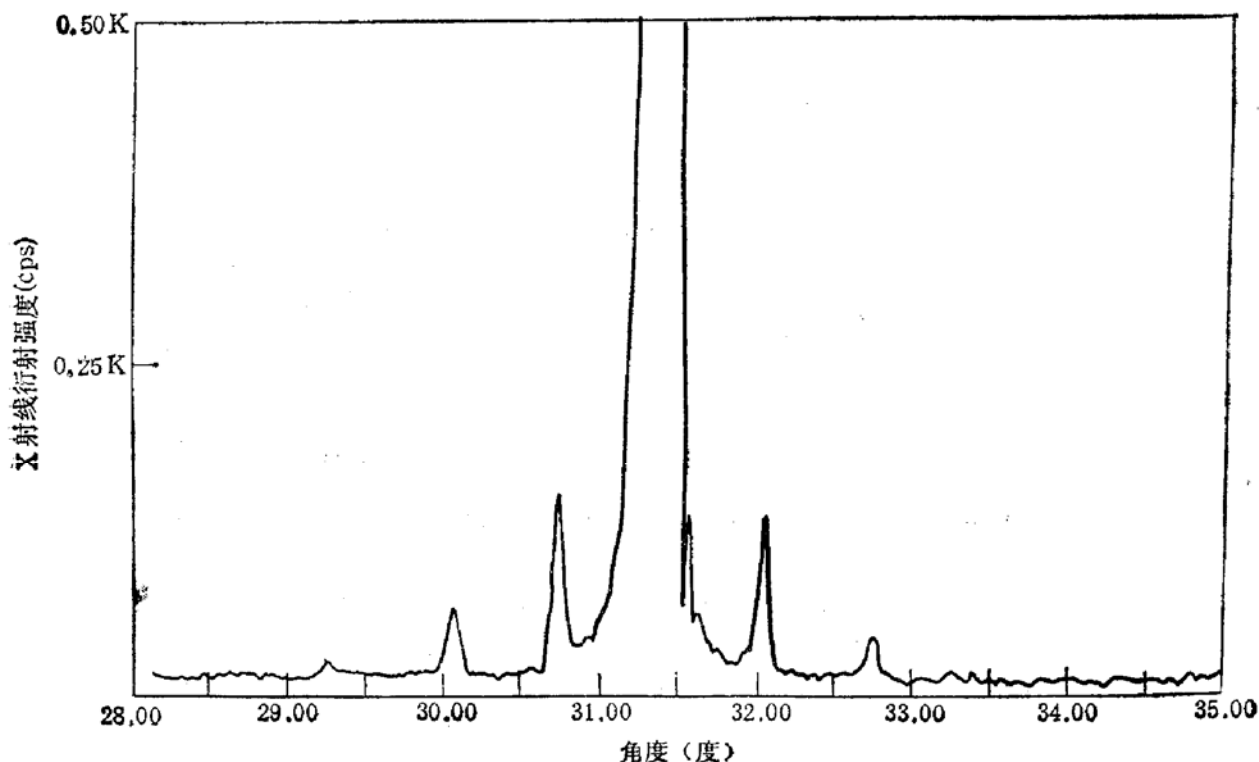


图4 GaInP/InP 多量子阱的X射线双晶衍射回摆曲线

140 Å。该量子阱结构的阴极荧光和光致发光很强,比 GaInP 外延层的荧光强几倍。用肉眼很容易看到它的室温阴极荧光,它的室温和 80 K 的阴极荧光峰波长分别是 647 nm 和 622 nm,相应的半峰宽为 65 meV 和 40 meV;在 10 K 光致发光峰的波长是 608 nm,半峰宽为 15 meV, (表 1)。我们计算了 GaInP/AlInP 一维方势阱中电子和重空穴的第一子带能量,并使用我们实验中测得的 10 K GaInP 的禁带宽度 1.938 eV,得到阱中电子第一子带相对于重空穴第一子带能量为 2.031 eV,与 10 K 光致发光峰的能量位置 (2.038 eV) 很接近,表明该光致发光是与该两子带间的跃迁发光相关。

表1 GaInP/AlInP 多量子阱样品的阴极荧光 (CL) 和光致发光 (PL) 发光峰的波长与半高峰宽 (FWHM)

	CL(300 K)	CL(80 K)	PL(10 K)
发光峰波长 (nm)	647	622	608
发光峰半高宽 (meV)	65	40	15

4 结论

我们用国产第一台 CBE 系统,采用 GSMBE 技术,外延了与 GaAs 匹配的 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{InP}$ ($x = 0, 0.25, 0.5$ 和 1) 材料以及 AlInP/GaInP 多量子阱材料,对这些材料进行的 X 射线双晶衍射,电子探针(阴极荧光),光致发光,和霍尔等测量表明这些材料性能良好,可用于制备 (AlGa)InP 量子阱激光器。

致谢 我们感谢以下同志在材料测试分析上所给予的帮助: 李成基, 李韞言, (电子探针测量), 王玉田, 高维宾 (X 光双晶衍射测量), 王万年 (霍耳测量), 王维明, 蔚燕华 (俄歇谱测量), 滕达, 郑婉华 (光致发光测量)。

参 考 文 献

- [1] A. Gomyo, T. Suzuki, K. Kobayashi, S. Kawata, I. Hino and T. Yuasa, Appl. phys. lett., 1987, 50:673.
- [2] J. M. Kuo and E.A. Fitzgerald, J. Vac. Sci. Technol., 1992, B10: 959.

(AlGa) InP and GaInP/AlInP Multiple Quantum Wells Grown by Gas Source Molecular Beam Epitaxy

Yuan Ruixia, Yan Chunhui, Guo Hongxi, Li Xiaobing Zhu Shirong,
Li Lingxiao, Zeng Yiping and Kong Meiying

(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100083)

Abstract Good quality $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})\text{InP}$ ($x=0, 0.25, 0.5$, and 1) layers and GaInP/AlInP multiple quantum well structures (MQWS) were grown by gas source molecular beam epitaxy (GSMBE) and characterized by photoluminescence (PL), double crystal X ray diffraction (XRD) and Hall measurements.

EEACC: 0510D, 2520D, 4220