

外延迁移技术制作光电子单片集成 Si 的 GaAs/GaAlAs DH LED

肖德元 郭康瑾 李爱珍 徐少华 朱黎明

(中国科学院上海冶金研究所微电子学分部, 上海, 200233)

摘要: 描述了采用外延迁移技术制作光电子集成电路的 Si 衬底砷化镓双异质结发光二极管的工艺流程及实验结果. 发光器件是在外延迁移后流片制作的, 克服了光子器件与电子器件的对准问题, 可与电子器件大规模集成.

关键词: 外延迁移, 发光二极管, 光电子集成.

引言

近年来, III-V 族化合物半导体与 Si 衬底的单片集成引起了人们的广泛关注. 这两种材料的结合, 在实现宽带和相干光纤通信网以及激光印刷和处理的光电子集成电路(OEIC)中起着非常重要的作用. 目前这种技术主要还是在混合光电集成电路中获得成功. 研究工作正朝着晶格失配异质外延 Si 衬底上直接生长 GaAs 薄膜方向努力^[1,2], 但由于晶格失配位错、热诱导应力以及在非极性衬底上生长极性晶体会发生反相结构, 阻碍了这种器件的实际应用. 1989年初, 贝尔通信研究公司的 E. Yablonovitch 等^[3]采用外延迁移技术(ELO)^[4], 把 GaAs/GaAlAs 双异质结激光器成功地转移至玻璃衬底上, 被美国《研究与发展》杂志评为 1990 年度全美 100 项最佳高技术产品之一. 这种新的处理方法是利用 AlAs 和 GaAs 在稀 HF 溶液中的高度选择腐蚀特性, 钻蚀 AlAs 层, 把超薄 GaAs 外延层从 GaAs 衬底上剥离下来并迁移到任意衬底材料上, 如 Si、LiNbO₃、InP 及玻璃等, 而外延层的质量又不发生明显退化, 成为光电子集成技术中的一种实用的技术手段.

实现外延迁移单片光电子集成一般可以采用两种技术方案: 一种是在外延迁移之前先制备好 GaAs 光子器件, 然后再迁移至所需衬底上, 采用这种方案已成功地实现了 MESFET 和 LD 至 Si^[5,6], 以及多量子阱光调制器(MQW Optical Modulator)和光滤波器(Optical Filter)至玻璃^[7]的迁移; 另一种方案是把剥离下来的外延薄膜直接转移至所需衬底上, 粘贴牢后进行工艺流片, 并与其它器件互连^[8].

本文采用第二种技术方案, 把 GaAs/GaAlAs 双异质结分子束外延薄膜迁移至 Si 衬底, 经过器件工艺流片, 制作 Si 上 GaAs LED 的实验结果.

1 外延剥离及器件制作工艺

图 1 所示的外延结构用国产 MBE 设备在 GaAs 衬底上生长. 与常规的 GaAs/GaAlAs 双异质结 LED 外延结构相比, 附加了一层紧贴着衬底、厚度为 50nm 的 AlAs 腐蚀层. 利用 AlAs 和 GaAs 在稀 HF 溶液中极高的腐蚀选择性 ($> 10^7$), 大面积 GaAs 外延层下面的 AlAs 层可以被钻蚀掉. 文献 [4] 指出, 为了剥离大面积外延薄膜, 在外延片上涂敷一层厚度均匀的粘性蜡是必要的. 在我们的实验当中, 20g 蜡溶解在 80ml $\text{ClCH}_2\text{CCl}_2$ 中并加少许 AZ-1350 正胶, 喷射至高速转动的 GaAs 外延片上, 稍后放进 100°C 烤箱里烘 0.5h, 产生足够的张力, 并使片子的边缘暴露, 然后把它放在 10% 的 HF 溶液中进行腐蚀. 注意腐蚀必须始终在稍低于 0°C 的温度下进行, 否则腐蚀速度太快, 将产生大量的 H_2 会把薄膜撑破. 在腐蚀过程中, 由于蜡的张力, 外延薄膜边角被抬起, 使得反应生成物 H_2 可以从反应区域里扩散出来. 经过大约 20h 腐蚀, 外延薄膜就从衬底上剥离了下来, 并漂浮于溶液表面. 由于这种薄膜表面涂敷了一层均匀的蜡, 使其不易破裂, 因此可以对它进行操作.

外延薄膜剥离后, 在剥离面蒸发 AuGeNi, 由于我们在蜡溶液中加了少许 AZ-1350 光刻胶, 因而它的熔点和强度都有所提高. 我们的实验中加了光刻胶, 蒸发后, 外延薄膜完整无损, 蜡仍然留在上面. 如使用纯蜡, 由于溅射加热的缘故, 待蒸发后, 外延薄膜上几乎没有蜡, 严重时会使片子破裂.

蒸发好外延薄膜以后, 将其与蒸发 AuGeNi 的低阻硅片用银浆粘贴, 放进烘箱里烘 0.5h, 外延薄膜就与硅片粘牢在一起, 接着进行常规工艺流片. 先把薄膜表面的蜡用三氯乙烯浸泡掉, 然后蒸发 AuZn, 光刻形成直径为 $150\mu\text{m}$ 的出光孔, 采用 $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$ (1:1:18) 溶液将外延薄膜腐蚀成台面, 使单个的 LED 隔离开来. 然后电镀金, 于 $420^\circ\text{C} \sim 450^\circ\text{C}$ 温度 N_2 气氛中合金化后进行划片、装架和引线键合.

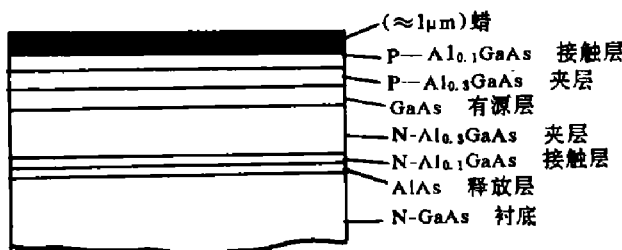


图 1 LED 纵向结构示意图, 外延层采用分子束外延生长并用稀 HF 钻蚀剥离
Fig. 1 Schematic representation of LED layer structure. The epitaxial films were grown by MBE undercut by dilute hydrofluoric acid

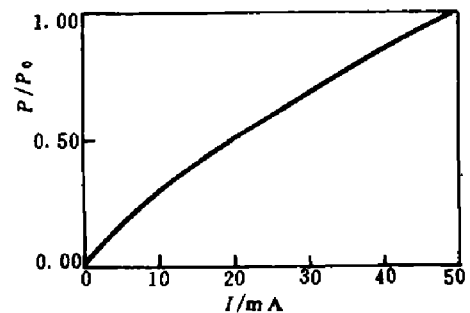


图 2 归一化输出光功率与偏置电流的关系曲线
Fig. 2 Normalized output power versus input current

2 实验结果及讨论

对制得的器件进行了常规特性参数测试. 其 100mA 下的正向电压降为 2V 左右, 反向击穿电压大于 4V, 漏电流较小. 近场图象光斑均匀, 远场发散角约为 120° 左右. 图 2 给出 LED 输出光功率随偏置电流变化关系曲线, 制成的器件可靠性有待于进一步考核和研究.

3 结论

我们在国内首次采用外延迁移技术成功地制作适合于 OEIC 的 Si 衬底 GaAs LED. GaAs/GaAlAs DH LED 是在外延迁移以后流片制做的, 克服了光子器件与电子器件的对准问题, 适合于光电子器件的大规模集成, 有利于降低单片光电子器件成本.

参考文献

- 1 Watanabe Y et al. *J. Crystal Growth*, 1988, **93**(14):459
- 2 Deppe DG et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(6):637
- 3 Yablonovitch E et al. *IEEE Phot. Tech. Lett.*, 1989, **1**(1):41
- 4 Yablonovitch E et al. *Appl. Phys. Lett.*, 1987, **51**(26):2222
- 5 Shah DM et al. *Electron. Lett.*, 1990, **26**(22):1865
- 6 Pollentier I et al. *IEEE Phot. Tech. Lett.*, 1991, **3**(2):115
- 7 Dell JM et al. *Electron. Lett.*, 1991, **27**(1):26
- 8 Pollentier I et al. *Electron. Lett.*, 1990, **26**(3):193

EPITAXIAL LIFT-OFF GaAs/GaAlAs DH LEDs ON Si FOR OEIC

Xiao Deyuan, Guo Kangjin, Li Aizhen, Xu Shaohua, Zhu Liming
(Microelectronic Branch, Shanghai Institute of Metallurgy,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200233, China)

Abstract: The successful integration of GaAs LEDs on Si for fabrication of opto-electronic integrated circuits (OEIC) using the epitaxial lift-off technique is firstly reported in China. LEDs were fully processed after ELO transfer and can be integrated with large scale electronic circuits.

Key words: epitaxial lift-off, LED, OEIC.