

InGaAsP/InP PBH 双区共腔双稳激光器 的 H⁺轰击掩膜研究

张权生 吕卉 杜云 马朝华

吴荣汉 高洪海 高文智 芦秀玲

光电子集成国家重点联合实验室,中国科学院半导体研究所,北京 100083

(1992年1月23日收到;1992年3月9日收到修改稿)

在 InP H⁺轰击工艺研究基础上,开发出一种对中等轰击能量($E \leq 250\text{keV}$)的 H⁺具有满意掩蔽能力的掩膜——Au/Zn/Au/AZ 1350J 复合膜,并首次解决了条宽窄至 $5\mu\text{m}$ 的 Au/Zn/Au/AZ 1350J 断条状掩膜的制备技术,在 InGaAsP/InP PBH 双区共腔双稳激光器的制备中获得了成功应用。

PACC: 4255P, 4265P, 6860

一、引言

对 GaAs、InP 等化合物半导体进行 H⁺(质子)轰击可形成深能级缺陷中心。这些缺陷中心俘获陷落载流子、使半导体变成高阻。这一特性已在 GaAs/GaAlAs、InGaAsP/InP DH(双异质)结构条形激光器的制备中获得了广泛应用^[1~3]。

对 DH 结构激光器,一般采用钨丝网架做为 H⁺轰击掩膜。在这类激光器中,有源区的侧向(水平方向)尺寸是靠 H⁺轰击限定的,因而是和掩蔽钨丝自对准的。由于存在电流扩展效应,一般并不采用太细的钨丝。对钨丝的等间距性也无严格要求。

对 BH(掩埋异质)结构激光器而言,上述钨丝网架技术已不能满足工艺要求。BH 结构激光器的有源区侧向尺寸是由结构本身提供的,宽度仅 $1\text{--}2\mu\text{m}$,远低于最细钨丝的线径(细至 $\phi 10\mu\text{m}$ 已是技术能手的操作极限)。芯片中各有源区是借助于光刻技术制备的,具有严格的周期(等间距)性,无法做到与所有有源区同时对准。当然,较差的耐震动性能也给工艺带来不便。而对 BH 结构双区共腔双稳激光器而言,还存在制备吸收区的特殊问题,更增加了工艺上的难度。因此,寻求线条更细、能与所有有源区同时对准的 H⁺轰击掩膜已成为各类 BH 结构激光器急待解决的研究课题。

我们在 InP H⁺轰击工艺研究基础上,开发出一种对中等轰击能量($E \leq 250\text{keV}$)的 H⁺具有满意掩蔽能力的掩膜——Au/Zn/Au/AZ 1350J 复合膜,并首次解决了条宽窄至 $5\mu\text{m}$ 的 Au/Zn/Au/AZ 1350J 断条状掩膜的制备技术、在 InGaAsP/InP PBH 双区共腔双

* “863”高技术资助项目。

稳激光器的制备中获得了成功应用^[4].

二、InP H⁺轰击工艺研究

1. 实验方法

实验以简单、实用且与常规工艺相兼容为原则,样品为掺 S 的 N-InP 单晶片,部分为掺 Zn 的 P-InP 单晶片,浓度均在 $1-3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 范围。部分样品表面上制作了常规蒸发的 P 型欧姆接触金属-Au/Zn/Au 薄膜、不同厚度的 AZ1350J 光刻胶膜,以便同时研究它们对 H⁺的掩蔽特性。采用铁氰化钾/氢氧化钾/水 (1:1:10) 染色液显示轰击剖面。用扫描电镜和高倍光学显微镜测量注入(轰击)深度。

2. 实验结果

(1) 注入深度与注入能量的关系

采用固定剂量改变能量的方法研究了注入深度与注入能量的关系。注入剂量固定为 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, 处于 J. P. Donnelly 和 C. E. Hurwitz 所指出的对 InP 进行 H⁺轰击的最佳剂量范围^[5]。注入能量由 135keV 变至 400keV。如图 1 所示, 在实验的能量范围内, H⁺在 InP 中的注入深度 R_p 与注入能量 E 成正比例关系:

$$R_p = KE, \quad (1)$$

其中 $K \approx 1 \mu\text{m}/100\text{keV}$, 与文献报道一致^[6]。

(2) 常规蒸发的 Au/Zn/Au 膜的掩蔽特性

将 InP 表面上用常规条件真空蒸发的 Au/Zn/Au 膜(厚度依次为 $0.2 \mu\text{m}/0.03 \mu\text{m}/0.2 \mu\text{m}$)制成条形结构, 测量不同能量下有膜与无膜部位的注入深度, 研究了 Au/Zn/Au 膜的掩蔽特性。如图 2 所示, 在注入能量由 135keV 增至 400keV 条件下, 有膜部位的注入深度 R_{p0} 均比无膜部位的注入深度 R_p 浅约 $0.5 \mu\text{m}$ 。由式(1)可知, 这相当于阻挡了约 50keV 的 H⁺能量。令

$$\Delta R_p = R_p - R_{p0} = c_1 d_1, \quad (2)$$

其中 d_1 为 Au/Zn/Au 膜厚度, 则可推知 $c_1 \approx 1.25$, 即在实验的能量范围内, 常规蒸发的厚度约 $0.4 \mu\text{m}$ 的 Au/Zn/Au 膜对 H⁺的阻挡能力约为 InP 的 1.25 倍, 且基本上与能量无关。

(3) AZ1350J 光刻胶的掩蔽特性

图 3 示出了表面上具有条形 AZ1350J 光刻胶的 InP 样品在 200 及 400keV 能量下的 H⁺轰击剖面(见图版 I)。光刻胶条厚度约 $2 \mu\text{m}$ 。由于光刻胶的阻挡作用轰击前沿发生了“凹陷”, 其高度 $\Delta R_p (= R_p - R_{p0})$ 可作为光刻胶掩蔽能力的相对度量。图 4 示出了在 200、300 及 400keV 三种注入能量下 ΔR_p 与光刻胶厚度 d_2 所呈的线性关系:

$$\Delta R_p = c_2 d_2, \quad (3)$$

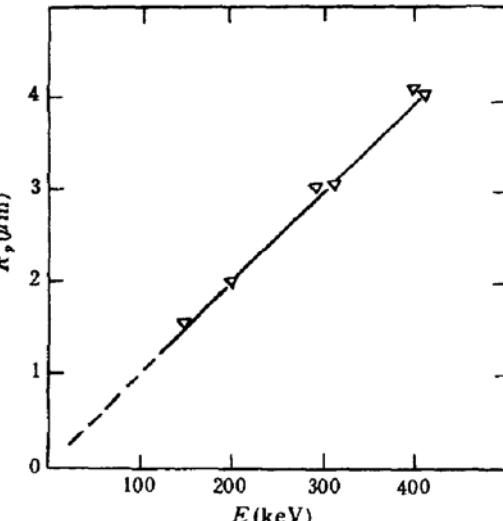


图 1 注入深度 R_p 与注入能量 E 的关系(注入剂量为 $5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$)

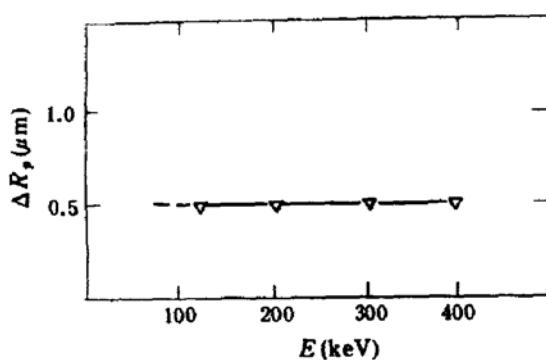


图2 Au/Zn/Au膜的掩蔽特性

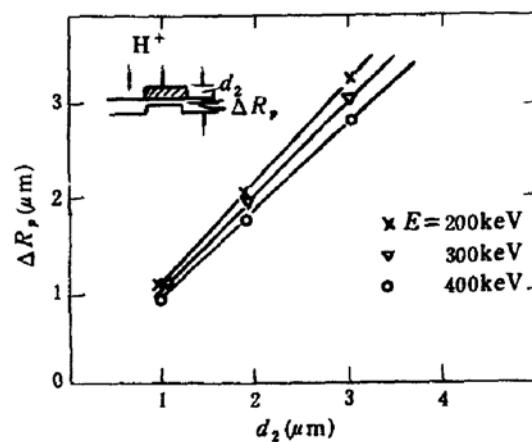


图4 AZ1350J光刻胶的掩蔽特性

其中 c_2 与注入能量 E 有关. 对 $E=200\text{keV}$, $c_2=0.725$; 对 $E=300\text{keV}$, $c_2=0.675$; 对 $E=400\text{keV}$, $c_2=0.625$. 即在上述三种注入能量下 AZ1350J 光刻胶对 H^+ 的阻挡能力分别是 InP 的 0.725、0.675 及 0.625 倍.

将式(1)和(2)结合起来, 得

$$R_{p_0} = KE - c_2 d_2.$$

令 $R_{p_0}=0$, 即可得到单独用 AZ1350J 光刻胶对 H^+ 进行掩蔽时所需要的最低厚度 $d_{2\min}$:

$$d_{2\min} = KE/c_2. \quad (4)$$

表 1 给出了在各种注入能量下的 $d_{2\min}$ 值. 该表也给出了用 Au/Zn/Au 和 AZ1350J 共同掩蔽时所需之最低光刻胶厚度 $d'_{2\min}$. 表 1 表明, 厚约 $0.4\mu\text{m}$ 的 Au/Zn/Au 蒸发膜与厚约 $3\mu\text{m}$ 的 AZ1350J 光刻胶所组成的复合膜将对注入能量约 250keV 的 H^+ 提供良好的掩蔽. 在此能量下, H^+ 可进入 InP 内约 $2.5\mu\text{m}$ 的深度, 已具实用价值.

表 1

E (keV)	200	250	300	350	400
$d_{2\min}$ (μm)	2.76	3.57	4.44	5.38	6.40
$d'_{2\min}$ (μm)	2.07	2.86	3.70	4.62	5.60

三、InGaAsP/InP PBH 双区共腔双稳激光器的 H^+ 轰击

1. 断条状 Au/Zn/Au/AZ 1350J 掩膜的制备

InGaAsP/InP PBH 双区共腔双稳激光器的结构见[4]中图 1. 对此种器件进行 H^+ 轰击的目的有二: 一是通过对增益区中 PBH 结构两侧的 PNPN 阀流管 P 型发射区(乃至 N 型基区)的适度 H^+ 轰击, 增强其正向阻断特性, 从而更有效地发挥其限流作用; 二是利用 H^+ 轰击的高阻绝缘特性, 制作吸收区.

如引言所述, H^+ 轰击掩膜应呈窄条形、且越窄越好. 为缩短工艺流程、增益区和吸收区的 H^+ 轰击往往需同时进行. 因此, 双稳激光器的 H^+ 轰击掩膜应呈断条状, 其中长为 L_s 的部分用于制备增益区, 间距 L_a 部分用于制作吸收区. Au/Zn/Au 既是复合膜的底膜、又是器件 P 侧欧姆接触金属, 因此高质量 Au/Zn/Au 断条的制备具有首要意义.

Au/Zn/Au 断条是蒸发后经光刻而制备的。研究表明,未经合金的 Au/Zn/Au 断条当窄至 $5\mu\text{m}$ 时,附着性已相当差。将其合金后再光刻图形质量很难保证、条两侧的金属膜很难刻净,尤其是合金层往往刻不动。经过反复实验,将 Au/Zn/Au 蒸发膜在适当温度下进行适度的微合金处理后再光刻,使附着力与刻不净的矛盾得到较好解决,制备出了整齐、牢固、窄至 $5\mu\text{m}$ 的 Au/Zn/Au 断条状底膜。

然后再用降低匀胶速度、多次涂胶等方法,在上述断条底膜上制作窄至 $5\mu\text{m}$ 、厚约 $3\mu\text{m}$ 的 AZ1350J 光刻胶断条。经坚膜后即成为同时制备增益区和吸收区的 H⁺轰击掩膜。

2. 吸收区的 H⁺轰击

成功地制作吸收区是实现双稳态工作的前提。对吸收区的要求是,既要有足够大的隔离电阻,又不能使光腔遭受任何损伤。吸收区制作在有源区上方 P-InP 限制层内。注入深度主要视该层厚度而定,往往需将顶层 P-InGaAsP 选择腐蚀掉,以增加注入深度,增强隔离效果。

设 H⁺轰击区长度为 L_a 、宽度为 s ,轰击前沿终止于有源区上方 h 处,则横向隔离电阻 R 为

$$R = P \cdot L_a / s \cdot h. \quad (5)$$

对 InGaAsP/InP PBH 双稳激光器,P-InP 层的掺杂浓度为 $1-3 \times 10^{17}\text{cm}^{-3}$,亦即电阻率 $\rho \approx 0.17\Omega \cdot \text{cm}$,其中已取 $120\text{cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ 作为其室温空穴迁移率^[7]。实际器件中 $L_a \approx 20-50\mu\text{m}$, $s \approx 4-6\mu\text{m}$, $h \approx 1-2\mu\text{m}$ 。图 5 绘出了 R 与 L_a 、 s 及 h 的关系。在 L_a 为 $50\mu\text{m}$ 情况下,当 $s=4\mu\text{m}$, $h=1\mu\text{m}$ 时, R 高达 $21\text{k}\Omega$;当 $s=6\mu\text{m}$, $h=2\mu\text{m}$ 时, R 也可达 $7\text{k}\Omega$,显示出良好的隔离特性。

3. 增益区的 H⁺轰击

对增益区要进行掩蔽 H⁺轰击,即在宽度约 $2\mu\text{m}$ 、厚度不足 $0.2\mu\text{m}$ 的 InGaAsP 有源区、P-InP 限制层、P-InGaAsP 顶层及其上的 Au/Zn/Au 电极层得到完全掩蔽的条件下,仅对两侧的限流结构进行轰击。轰击能量主要由复合掩膜厚度以及有源区距上表面的距离决定。为增加轰击深度,往往也需将 PBH 两侧的 P-InGaAsP 顶层腐蚀掉。

由于增益区和吸收区的 H⁺轰击是同时进行的,故轰击能量的最后选定应充分兼顾两区的要求。实际操作中应注意调整注入面的方位,以消除“沟道效应”。还应控制 H⁺束流大小,以避免热损伤。

图 6 示出了芯片 OBS9032 在 H⁺轰击并去掉 AZ1350J 光刻胶后的表面形貌(见图版 I)。水平方向的宽深色条为吸收区。该部位的 Au/Zn/Au 电极层及 P-InGaAsP 顶层已被选择腐蚀掉,显露出表征良好生长质量的 P-InP 生长纹。浅色部位为增益区,其中突

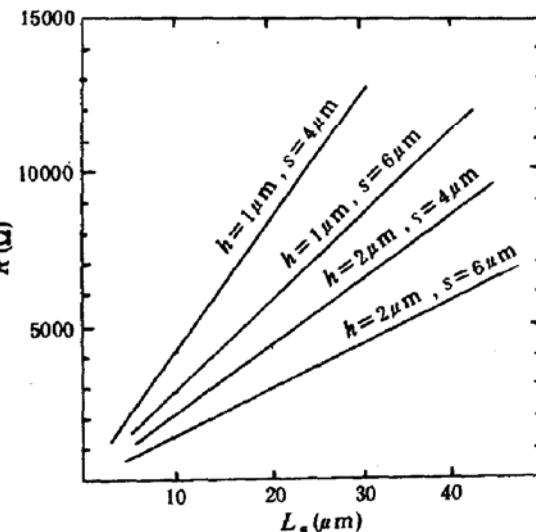


图 5 隔离电阻 R 与吸收区尺寸的关系

起部分为 PBH 结构,两侧的平坦部分为闸流管限流结构。在突起部分的中轴线上,Au/Zn/Au 电极条清晰可见。注意增益区部分已蒸发上一层 Cr/Au 膜,以便于键合。这对于已经历如此繁多工序的 Au/Zn/Au 纤细断条来说,也有强化和修补作用。吸收区的 Cr/Au 膜已被刻掉。

图 7 为该芯片增益区部位的剖面图(见图版 I)。有源区距上表面约 $2.4\mu\text{m}$,而两侧的 P-InP 和 N-InP 厚度总和约 $1.4\mu\text{m}$ 。 H^+ 轰击是在剂量 $5 \times 10^{13}\text{cm}^{-2}$,能量 150keV 及低束流($I < 10\mu\text{A}$)条件下进行的。如图所示,轰击前沿已进入 N-InP 层。而在吸收区部位的相应前沿终止于距有源区上方约 $1\mu\text{m}$ 处。

对比实验显示,采用 H^+ 轰击后制管成品率明显提高。同时,器件的 V/I 、 L/I 特性等也获得了明显改善。这方面的工作,拟另文报道。

表 2 给出了器件的主要性能。

表 2 InGaAsP/InP PBH 双稳激光器的主要特性

参数	最小值	典型值	最大值
工作波长 $\lambda(\text{nm})$	1270	1300	1330
导通阈电流 $I_{\text{th},\text{on}}(\text{mA})$	30	40	50
双稳区跨度 $\Delta I(\text{mA})$	2	10	>15
导通点输出功率 $P_{\text{out}}(\text{mW})$	1	3	>5
最小响应光功率 $P_{\text{in}}(\mu\text{W})$	1	10	>20
数字光放大增益 $G(\text{dB})$	20	25	>30
导通时间 $\tau_{\text{on}}(\text{ns})$	<0.1	0.3	>0.5
关断时间 $\tau_{\text{off}}(\text{ns})$	0.5	1	>1

四、结语

窄线条 H^+ 轰击掩膜的制备是一个尚需着力解决的研究课题。本文提出的 Au/Zn/Au/AZ1350J 复合膜对此做了有益的探索。这种复合膜的底膜 Au/Zn/Au 也是 InGaAsP/InP 系列各类激光器常规欧姆电极,而 AZ1350J 光刻胶在 H^+ 轰击后又很容易去除,所以这种掩膜具有工艺简单且与常规工艺相兼容的特点。同时,由于这种掩膜是采用光刻技术制作在芯片表面上的,故掩膜形状、图形间距以及线条宽度等均可随意设计,还不怕震动。目前已可应用于能量不超过 250keV 的场合,对可承受更高轰击能量的掩膜的研制工作正在进行之中。

致谢:作者对中国科学院长春物理所离子注入组、中国科学院半导体研究所离子注入组有关同志,在实验中所给予的帮助,对王丽明、赵玲娟、张洪琴、庄方婕等在器件制备中的帮助表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] B. R. Pruniaux, J. C. North and A. V. Payer, *IEEE Trans. Electron Devices*, **ED-19**, 672(1972).
- [2] J. C. Dyment and L. A. P'Asaro, *Proc. IEEE (USA)*, **60**(6), 726(1972).
- [3] 朱龙德、张盛廉、汪孝杰等,半导体学报,2(3),212(1981).

- [4] 张权生、吴荣汉、林世鸣等,半导体学报,13(2),103(1992).
- [5] J. P. Donnelly and C. E. Hurwitz, *Solid State Electron.*, **20**, 727(1977).
- [6] G. D. Henshall, G. H. B. Thompson, J. E. A. Whitaway, P. R. Selway and M. B. Broomfield, *IEE. J. Solid-state and Electron Devices (UK)*, **3**, 1(1979).
- [7] Fiedler, H. H. Wehman and A. Schlachetzki, *J. Cryst. Growth*, **74**, 27(1986).

Investigation of Proton Bombardment Mask for InGaAsP/InP PBH CCTS Bistable Lasers

Zhang Quansheng, Lü Hui, Du Yun, Ma Chaohua, Wu Ronghan,
Gao Honghai, Gao Wenzhi and Lu Xiuling

National Integrated Optoelectronic Laboratories and
Institute of Semiconductors, Academia Sinica, Beijing 100083

(Received 23 January 1992; revised manuscript received 9 March 1992)

Abstract

A new kind of screen material for proton bombardment, Au/Zn/Au/AZ1350J compound mask which behaves good screen property when the bombarding energy is not larger than 250keV, has been developed based on the study of IrP proton bombardment. The technology of making compound mask for stripe wide of 5μm has been resolved for the first time, and has successfully fabricated the InGaAsP/InP PBH Common-cavity Two-section (CCTS) bistable lasers.

PACC: 4255P, 4265P, 6860