

GaAs 外延层蒸镀 Cr 和 Au 膜 制作欧姆接触工艺

杨晓妍

(长春光学精密机械学院,近代光学研究所,长春 130022)

摘要:目前国内外在各种金属上电镀、蒸镀 Cr 或 Cr、Au,是因为 Cr 耐磨损、抗腐蚀,与稀酸作用缓慢,与被镀件结合力强,有力地保护被镀件,提高被镀件的使用寿命。外延后的 GaAs 衬底解理成激光器之前,要进行光刻,把镀在 P 型 GaAs 外延片刻沟槽处的 Cr 去掉。

本文介绍在 GaAs 激光器的 P 型外延层上蒸镀 Cr 和 Au 的工艺及去除 Cr 的新工艺。

关键词:欧姆接触;光刻;外延

1 引言

在制作 GaAs 半导体激光器的工作中,在 N 型衬底和 P 型 GaAs 外延层上制作电极,是制作半导体激光器的基本工艺。要求电极与晶片必须是极好的欧姆接触,接触电阻越小越有利于电子注入到有源区。假如接触电阻大,激励电流必然增加,产生过大的热量使结温升高,使器件的输出功率下降,导致器件性能变坏,甚至烧毁器件。必须制备一个完善电极,使它与半导体接触是纯电阻性的,且非常小。对 N 型 GaAs 衬底蒸镀 AuGeNi 合金,对 P 面外延层蒸镀 ZnAu。由于 Zn 与难熔金属浸润,但不形成合金并且蒸气压高,重复性不好,对真空系统易污染和损害^[1],并且 Zn 对于 GaAs 的 P 面附着力较差,因此不能适合器件点焊的要求,而 Au 与 Cr 结合得很好,而 Cr 与 GaAs 外延片的附着力也很好。故我们采用在 GaAs 外延层的 P 面上蒸镀 CrAu。

2 原理

(1)欧姆接触与外延层表面载流子浓度的关系:

半导体激光器是一种高电流密度的功率器件,它对欧姆接触特性十分敏感。为实现器件的有效工作,低欧姆接触是必要的。

横穿金属-半导体界面的载流子的输运对高掺杂半导体而言,主要靠隧道穿通。这时,

比接触电阻可用下式表示:

$$R_c \sim \frac{C_1}{\sqrt{N}} \exp(C_2 / \sqrt{N}) \quad (1)$$

($R_c = \frac{\text{接触电阻 } R}{\text{接触面积 } S}$)。式中 C_1 包括里查德松常数、有效质量和半导体电容率, C_2 包括势垒高度、有效质量、半导体的电容率。从(1)式看出 R_c 随载流子浓度 N 的增加而减少, 因此, 首先增加外延层表面的载流子浓度。例: 当表面载流子浓度 N_0 为 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 时, 比接触电阻 $R_c: 2.7 \sim 4.3 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$; 当表面载流子浓度 $6 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 时, 比接触电阻 $R_c: 2.1 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 。

(2) 金属系统的选择:

当金属与半导体材料(例如 N 型半导体)相接触时, 因它们的功函数不同, 达到热平衡后, 二者的费米能级被拉平。若金属的功函数比半导体的功函数大, 就形成势垒, 是整流接触。

$$\phi_b = \phi_m - \chi_s \quad (2)$$

式中 ϕ_m 是金属的功函数, 等于从金属的费米能级到真空能级的能量, χ_s 是半导体的电子亲和力, 等于从半导体的导带底到真空能级的能量, 是半导体导带底电子脱离半导体所需的最少能量, ϕ_s 是 N 型半导体的功函数, ϕ_b 是势垒高度^[2]。若金属的功函数 ϕ_m 小于 N 型半导体的功函数 ϕ_s , 是欧姆接触。因此, 我们选与半导体相接触的金属, 首先一定要使它重掺杂成简并的表面层, 还要工艺简便、粘附性好、热处理温度要低, 有好的热相容性, 易形成一定的几何接触形状, 便于引线和有良好的电学和热学的性质。

下面对金属 Cr 原子淀积在 GaAs 表面进行分析^[3]。Cr 与其它金属的电子结构不同(Cr: $3d^5 4s^1$), d 电子处于半满状态, 因而在 Cr/GaAs 系统中显示出特有变化规律。

当初始的金属 Cr 原子淀积在 GaAs 表面时, Cr 原子以“补锭”状堆积, 而不是层状生长。这种堆积可释放能量, 使得表面 GaAs 键断裂, 产生 Ga 与 As 自由原子。(此时淀积厚度 $\theta < 2.5 \text{\AA}$)。当 $\theta = 2.5 \text{\AA}$ 时, 因 As 的负电性比 Ga 强, As 原子容易与 Cr 原子亲和。初始的 Cr 原子是堆积的不易移动, 而 As 原子的析出超向 Cr 原子团。当 As 的析出量达一定值时, As 与 Cr 形成 Cr-As 键, 出现界面突发反应。此后, Cr 原子内扩散及 Ga 和 As 的外扩散, 也形成 CrGa 相。当 $\theta \geq 21 \text{\AA}$ 时, Ga 与 As 外扩散减弱, 表面覆盖层显示出纯金属性。

3 实 验

(1) 蒸镀 Cr 的工艺过程:

用处理好的钽舟和钨舟做双电极, 分别加入 Cr 粉和 Au, 装入镀膜机中。当镀膜机的真空度达到 $2.7 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 时, 对 Cr 粉除气 15~20 分钟。真空度再达到 $2.7 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 时, 开始镀

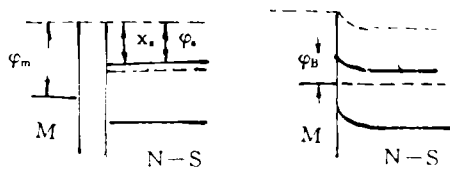


图 1 金属-N型半导体接触, $\phi_m > \phi_s$, 整流接触 $\phi_b = \phi_m - \chi_s$

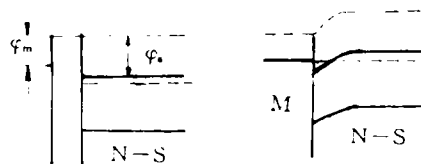


图 2 金属-N型半导体接触 $\phi_m < \phi_s$ 欧姆接触

Cr, 加电流到 18A, 温度达到 1150 C 开始蒸镀。舟内的 Cr 粉由黑变亮到白炽, 蒸发速率 0.2mm/s。比较玻璃片由透明到发暗, 大约镀 20 分钟停止。进行镀 Au。图 3 为 $P=0.133\text{Pa}$, $T_s/T_m=0.04$ 时, 镀 Cr 膜的断面图。



图 3 镀 Cr 膜的断面形

(2) GaAs 处延片光刻除 Cr 新工艺。

用目前使用的去除 Cr 的方法, 很难去掉镀在 GaAs 外延片上多余的 Cr 膜。下面介绍两种去除 Cr 膜的新方法。

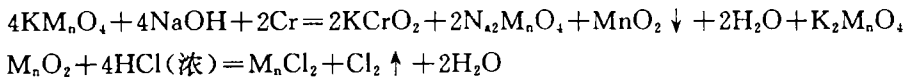
将镀 Cr 和 Au 的 GaAs 外延片分割激光器的芯片前, 首先用传统工艺光刻。再用三氯乙烯和碘化钾分别去掉被刻部分的光刻胶和 Au 膜, 然后去除 Cr。

去除 Cr 有两种方法:

a. 用浓盐酸去除 Cr, 大约需 30 分钟, 反应方程式如下:



b. 分别称取 KMnO_4 , NaOH 8 克, 均溶于 100ml 去离子水中, 将两种等量溶液混合并将去除 Au 的外延片放入溶液中 2 分钟, 取出后用去离子水冲净, 外延片上出现焦黄色的薄膜。反应方程式如下:



把经上述处理后的外延片放入 $\text{HCl}(\text{浓})$ 中, 半分钟后取出, 用去离子水冲净, 这样可将刻沟处的 Cr 膜完全去掉, 再用 $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 3 : 1 : 1$, 在 80°C 时, 腐蚀去 Cr 后的沟槽, 其深度约 10μ 左右即可。

4 讨 论

(1) 在 N 型 GaAs 常用 Au-Ge-Ni 作 N 面衬底的接触金属。当载流子浓度 $N_D = 5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 时, 可获得接触电阻为 $R_c: 5 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ 。Ge 在其中起着重掺杂剂 (n^-) 作用, Ni 起着 GaAs 和 Au 之间催化剂作用, 是 Ge 扩散的驱动力, 且影响接触的电特性和接触可靠性。Au 起着导电作用^[5]。

(2) 除气前的真空度一定不能低于 $6.7 \times 10^{-3} \text{Pa}$, 因为 Cr 在加热时极易与真空室中的氧化合, 生成 Cr_2O_3 , 附在 Cr 上, 形成一层钝化膜, 很难除掉。

(3) 在基片温度 T_s 低时, 吸附原子的表面迁移率低。在基片上从有限数目的晶核开始生长成锥状结晶的薄膜, 此膜结构不致密。相当图 4 中的 I 区。随 T_s 的增高, 原子表面迁移率增大, 晶粒结构向过渡区 T 转变, 薄膜为密集排列的纤维状结晶组成, T_s 进一步增加, 薄膜变为柱状晶粒, (区域 II), 基片的 T_s 很高时, 原子的体扩散过程增强, 出现再结晶, 使薄膜变为等轴晶粒。 (区域 III)。固定基片温度 T_s 在较低 ($T_s < 0.3T_m$) 时, 随真空室气压增加, 薄膜结构由 T 区变到 I 区, 在 I 区和 II 区间有个转变温度 T_1 , 在 II 区和 III 区间有个转变温度 T_2 。 T_1 对纯

金属材料为 $0.3T_m$, T_2 对纯金属材料为 $0.45 \sim 0.5T_m$ ^[6]。其中 T_m 为以绝对温度表示的膜层材料熔点。

5 结 论

通过蒸镀 Cr 和 Au 膜的实验,我们得到去除镀在 GaAs 外延片上的 Cr 膜的方法,Cr 膜增强器件的耐磨损性,抗腐蚀性及粘附性,使接触电阻可达到 $10^{-5} \Omega \text{cm}^2$,而被普遍采用。

参 考 文 献

- [1]陈国平,薄膜物理与技术. 南京:东南大学出版社,1993:148
- [2]W. Schottky, E. Phys., 1989, 113:367
- [3]高金龙,Cr/GaAs 界面的反应特性及电子性质的研究. 半导体学报,1991,12(5):5
- [4]严宣申,普通无机化学. 北京:北京大学出版社,1987
- [5]A. Pictrowska et al., Solid-state Electronics. 1983, 20(3):179-197
- [6]陈国平,薄膜物理与技术. 南京:东南大学出版社,1993:215

A Technique of Making Ohmic Contact with Cr and Au Plating Evaporated on GaAs Epilayer

Yang Xiaoyan

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Changchun 130022)

Abstract

At present Cr or Cr, Au platings are formed on metal workpieces electrically or by evaporation at home and abroad, as Cr is resistance to corrosion, wear and tear resistance, reacting slowly with dilute acids, and having a strong adhesive force with the workpiece on which it is formed. So that the workpiece can be well protected, thus extend the life time of the workpiece. Before the epitaxial GaAs wafers being cleaved into lasers, the wafers should be photoetched. Up to now, there has no reports on how to removed the Cr on the channels on the epitaxial GaAs. This paper presents the Cr, Au evaporating technology on the epitaxial wafers and the new Cr removing technology.

Key words: Ohmic contact, Photoetching, Epitaxial

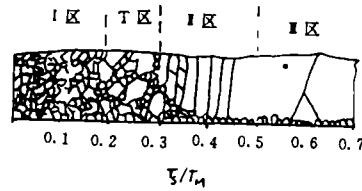


图4 基片温度对金属膜结构的影响