

湿氢法开管镓扩散

林玉松 李萍

(山东师范大学半导体所, 济南)

1987年11月10日收到修改稿

本文提出了湿氢法开管镓扩散工艺, 采用此工艺在硅片中进行扩散, 其工艺重复性、均匀性、一致性良好。用该工艺制造的高反压晶体管, 电气特性参数均优于现行的涂层硼铝扩散工艺的结果。

主题词: 湿氢, 镓扩散, 晶体管

一、引言

近年来在硅高反压晶体管生产中, 用开管镓扩散工艺代替扩硼或涂层硼铝扩散工艺, 受到极大重视, 然而由于该工艺是用脱水的干氢作反应气体(同时又是源的携带气体), 而且反应很激烈, 淀积时间过短, 扩散系统中一些不可避免的波动因素, 如源温、气量及管壁余源等, 都会十分敏锐地造成炉次之间扩散偏差大, 影响工艺的重复性和稳定性, 给操作带来困难。改用湿氢作反应气体后, 工艺的重复性稳定性得到明显改善, 从而使生产的硅高反压晶体管, 电参数性能、一致性较现行的涂层硼铝扩散工艺优越, 经济效益显著提高。这种工艺对P型杂质源镓在半导体器件生产中的应用, 将会起到积极的作用, 使镓杂质源在半导体器件中的优越性能得以充分体现。

二、实验

1. 扩散系统 湿氢法开管镓扩散是在三端控制的单温区扩散炉中进行的(参见图1)。将已氧化好的硅片置于炉内(石英管道内)的片区(恒温区), 将盛有杂质源(Ga_2O_3)的小舟置于管道气体入口一侧的“源区”。氢气通过盛有去离子水的恒温装置, 起泡后进入扩散系统, 携带已挥发了杂质源, 并进行反应, 流入片区, 从而向硅片内扩散。之后, 用氮气或氩气作保护气体进行结深推移。

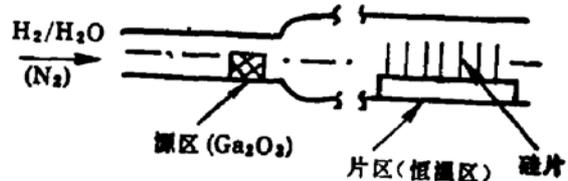
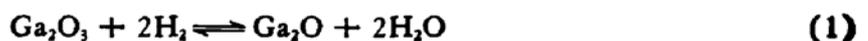


图1 扩散系统图

2. 反应原理 该工艺是用固态氧化镓(Ga_2O_3)作扩散源, 用氢气作反应气体, Ga_2O_3 在 $600^\circ C$ 以下稳定, 在 $950^\circ C$ 以上开始同氢气反应, 其反应方程式如下:





由反应方程式可知,反应的生成物是 Ga 和 H_2O , Ga 原子落在硅片表面上,并向内部扩散, H_2O 使硅片氧化,过量的扩散源、 H_2 、 H_2O 等被排出扩散系统。

根据化学平衡移动原理可知,在反应过程中,其他条件不变时, H_2O 量的变化会使化学平衡产生移动。当 H_2O 量增加时,化学平衡会向方程式的左边移动,即使 Ga 原子的生成速度变小。因此通过控制氢气中携带的水量,即 $P_{\text{H}_2}/P_{\text{H}_2\text{O}}$ 之比,可以控制扩散系统中 Ga 的生成速度,减少了波动因素的影响。从而达到控制扩散过程中硅片表面杂质浓度的目的。

3. 实验

(1) 重复性实验 取片温为 1240°C , 源温为 $925\text{—}935^\circ\text{C}^*$, 水温为 20°C 左右,对电阻率为 $40\text{—}60\ \Omega \cdot \text{cm}$ 的 N 型硅片进行扩散,通源淀积 60 分钟,恒温 1 小时,测量其表面薄层电阻 R_{\square} , 见表 1 中 R_{\square_1} 的重复情况。将上述已扩镓的硅片,经恒温扩散 10 小时左右,结深 X_j 约 $30\ \mu\text{m}$ 左右,再将其进行高浓度镓扩散,即片温 1240°C ,源温 $1050\text{—}1060^\circ\text{C}$,通源淀积 60 分钟,其他条件不变,测量其薄层电阻 R_{\square_2} , 见表 1 中 R_{\square_2} 的重复情况。

表 2 是用干氢作反应气体,进行与上述相同的扩散,第一次通源时间 15 分钟,第二次通源时间 60 分钟,其表面薄层电阻 R_{\square_1} 、 R_{\square_2} 的重复情况。

表 1 湿氢法镓扩散硅片薄层电阻 R_{\square} 的重复情况

炉次	1	2	3	4	5	6
R_{\square_1}	165	160—165	170	145—150	150	150
R_{\square_2}	46	46	46	46	46	48

表 2 干氢法镓扩散硅片薄层电阻 R_{\square} 的重复情况

炉次	1	2	3	4	5	6
R_{\square_1}	125	145	240	157	390	390
R_{\square_2}	33	40	35	35	36	36

注: 该数据取自 83 年 10 月份鉴定材料

(2) 一致性实验 将五个电阻率为 $3\text{—}6\ \Omega \cdot \text{cm}$ 的硅片,横向放置石英舟上,经过镓扩散后其薄层电阻 R_{\square} 为 $150\text{—}155\ \Omega/\square$, 然后在 1230°C 恒温扩散 28 小时后,结深约 $35\ \mu\text{m}$, 在每只片上分别取上、下、左、右四个不同点,测其薄层电阻 R_{\square} , 见表 3。

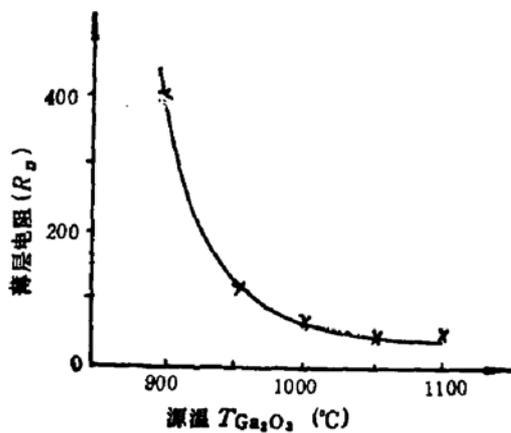
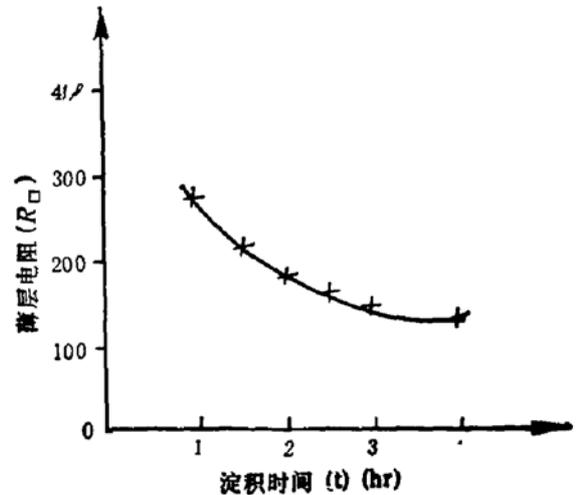
(3) 扩散薄层电阻 (R_{\square}) 与源温 ($T_{G_2O_2}$)、淀积时间 (t) 的关系 图 2 的实验条件: 片温为 1230°C , 水温约 35°C , 淀积时间为 120 分钟。图 3 的实验条件: 片温为 1230°C , 源温为 $930\text{—}940^\circ\text{C}$ 水温约 35°C 。

(4) 合金点的产生和消除 大量实验证明未经氧化的抛光硅片,处理干净后直接进行开管扩镓,经过几个炉次的循环扩散后,硅片表面常有合金点现象(硅片表面有腐蚀坑),严重时,会使整炉硅片成炉渣状态而报废。

* 源区并非恒温区,有一波动范围

表3 湿氢法扩镓硅片 R_{\square} 的一致性

片号 R_{\square} 测点	1	2	3	4	5
上	250	255	260	280	280
下	250	255	265	280	290
左	250	255	265	285	×
右	250	260	265	×	×

图2 薄层电阻 (R_{\square})-源温 ($T_{Ga_2O_3}$) 关系曲线图3 薄层电阻 (R_{\square})-淀积时间 (t) 关系曲线

镓、硅的最低共熔温度为 20°C ，其对应的浓度原子百分比，硅为 1.2。由镓-硅相图可知，形成合金点的主要原因是扩散硅片表面镓原子分布不均匀，出现局部堆积；或扩散镓源表面浓度过高。

根据镓在氧化硅 (SiO_2) 中扩散快的特点 (1200°C 时, $D_{\text{SiO}_2} = 1.0 \times 10^{-9}$ 厘米/秒; $D_{\text{Si}} = 1.5 \times 10^{-12}$ 厘米/秒。前者为后者的 600 倍以上), 将硅片抛光后先进行氧化(氧化膜的厚度以能掩蔽发射区磷扩散为宜), 然后进行开管扩镓, 这样不仅杜绝了合金点的产生, 且扩散后硅片表面光亮, 状态好。同时由于氧化层的保护扩散, 有利于减少有害杂质的沾污。

三、该工艺在硅台面高反压管生产中的应用

将该工艺用于硅高反压管生产时, 为保证产品具有高反压和大电流输出特性, 模拟硼铝扩散的设计方法, 采用先基区内部低浓度深结扩散 ($N_1 = 5 \times 10^{16} \sim 5 \times 10^{17}$ 原子/ cm^3 , x_1 约 $35 \mu\text{m}$) 后表面高浓度扩散 ($N_2 = 5 \times 10^{18} \sim 10^{19}$ 原子/ cm^3 , x_2 约 $12 \sim 14 \mu\text{m}$) 的方法, 具体做法是先低浓度镓掺杂; 恒温结深推移(用 N_2 气作保护扩散); 后表面高浓度镓掺杂, 在同一管道内连续完成 P 型基区的扩散。其生产的工艺流程为: 磨片抛光 \rightarrow 氧化 \rightarrow 扩镓 \rightarrow 一次光刻 \rightarrow 扩磷 \rightarrow 补镓……(以后同常规工艺)。

对不同电阻率的硅片,在 1240℃ 下进行扩散,其参数指标见表 4。

表 4 对不同电阻率的硅片扩散工艺参数

材料电阻率 (ρ) ($\Omega \cdot \text{cm}$)	低浓度 Ga 掺杂 (Ω/\square)	恒温扩散时间 (小时)	高浓度 Ga 掺杂 (Ω/\square)	结深 (x_j) (μm)
2—4	150	25—26	45	33—35
8—12	150	14—15	45	33—35
20—40	150	12—13	45	33—35
40—60	150	11—12	45	33—35

国营八〇七〇厂用该工艺生产 3DD 系列高反压晶体管,产品电参数指标如下:

材料电阻率 (ρ)	$BV_{cbo}(V)$	$BV_{ceo}(V)$	$BV_{ebo}(V)$	β
2—4 $\Omega \cdot \text{cm}$	250—400	120—200	8—10	40—80
8—12 $\Omega \cdot \text{cm}$	450—700	250—400	8—10	40—80
20—40 $\Omega \cdot \text{cm}$	1200—1600	500—900	8—10	10—30
40—60 $\Omega \cdot \text{cm}$	1400—1800	500—1100	8—10	10—30

其他参数,如大电流输出特性、开关特性及饱和压降均优于现行的涂层硼铝扩散工艺(见图 4、5)。

电参数一致性好是该工艺突出的特点,其中 β 的离散性小,如图 6 所示。图 6 的曲线是从一炉管子中任意取 30 只,测试 β 的连线。图中扩 Ga 产品的 β 在 35—50 倍的达 100%, 而扩 B·Al 产品, β 在 60—80 倍的只占 30% 多。实际生产中,仅此一项可提高产品适销率 30% 以上。

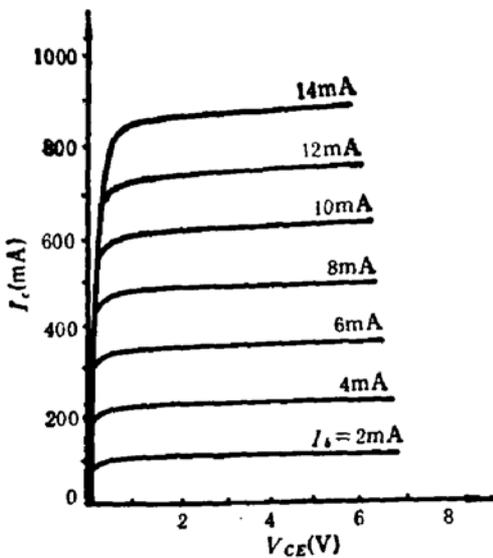


图 4 扩 Ga 管 (3DD160)** 共发射极输出特性

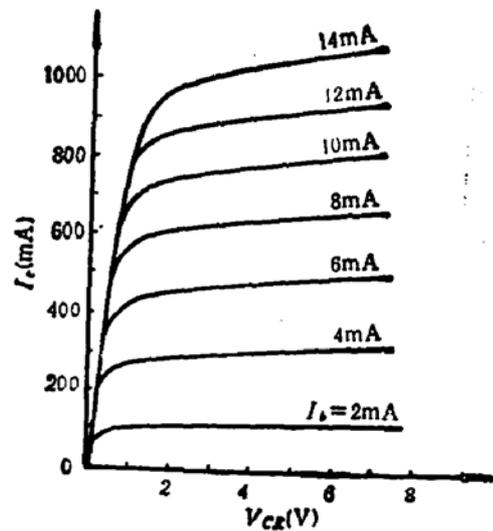


图 5 扩 B, Al 管 (3DD160) 共发射极输出特性

** 3DD 160 系电阻率为 8—12 $\Omega \cdot \text{cm}$ 硅材料的 3DD 系列产品。

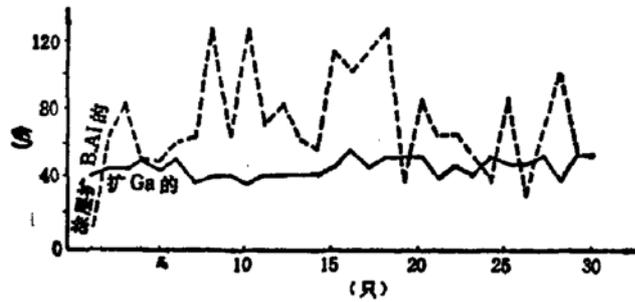


图6 扩 Ga 晶体管与涂层扩 B, Al 晶体管 (3DD160) β 离散性比较

四、结 论

(一) 湿氢法开管镓扩散工艺,方法简单可靠,设备通用性强,用国产的扩散炉即可,勿需增添新设备。

(二) 该工艺的扩散参数重复性、一致性好。

(1) 不同炉次扩散 R_{\square} 偏差 低浓度 Ga 掺杂时,小于 15% (标称值 $150 \Omega/\square$); 高浓度 Ga 掺杂时小于 5% (标称值 $45 \Omega/\square$)。

结深 x_j 偏差小于 10% (标称值 $35 \mu\text{m}$)。

(2) 同一炉次扩散 R_{\square} 偏差 低浓度 Ga 掺杂时小于 10%; 高浓度 Ga 掺杂时小于 5%。

结深 x_j 偏差小于 10% (标称值同(1))

(三) 用该工艺生产的硅台面高反压管,性能好,电参数优越。

(四) 用该工艺生产的晶体管,电参数一致好,如 β 在 40—80 倍之间的可达 100%,而涂层硼铝扩散的产品 β 在 40—80 倍之间的只有 60—70%。因此该工艺可提高产品适销率经济效益显著。

(五) 如将该工艺应用于电力晶闸管等生产领域中,无疑也会取得较好的效果。

该工作得到山东师范大学半导体所及国营八〇七〇厂的技术人员和工人的大力支持,在此表示感谢。

本文得到北京大学王阳元教授的指导,特此感谢。

参 考 文 献

- [1] 村冈公裕,特许公报 (B2), 昭 59—43089, 5.
- [2] 赵保经编著,大功率晶体管的设计与制造, P. 538, 科学出版社, (1978).
- [3] [美] H. P. 沃尔夫编,天津半导体器件厂译,硅半导体工艺数据手册, P. 464, 国防工业出版社, (1975).

Wet-Hydrogen Ambient Open-Tube Gallium Diffusion Technique

Lin Yusong and Li Ping

(Institute of Semiconductors, Shandong Normal University)

Abstract

The wet-hydrogen ambient open-tube gallium diffusion technique is presented. By using this technique in silicon wafer diffusion, the experimental processing parameters such as repetitiveness, homogeneity and uniformity are optimized. In application, the electrical characteristics of the high break-down voltage transistors fabricated by this technique are much better than those fabricated by the currently used boron-aluminium coated diffusion technique.

KEY WORDS: Wet-hydrogen, Gallium diffusion, Transistor