

开管镓扩散系统的研究及在 电力半导体器件中的应用

裴素华 薛成山

(山东师范大学半导体研究所 济南 250014)

赵善麒

(北京电力电子技术研究开发中心 北京 100080)

摘要 探讨了一种新颖开管扩镓系统的基本原理和实施办法,用于各类晶闸管的制造,使器件具有触发参数一致性好,通态特性优良, dv/dt , di/dt 耐量高等特点,实践证明,该系统是一项值得在电力半导体器件制造行业推广的新工艺

EEACC: 2550B, 2560Z

1 问题提出

近年来,为提高电力半导体器件的综合性能,大都采用闭管扩散系统实现 P 型镓在 N 型 Si 中的掺杂,但这一工艺存在若干弊病:(1) 扩散参数在掺杂过程中不易调整和监测;(2) 硅片应力大;(3) 硅片表面易产生合金点和腐蚀坑;(4) 扩散工艺因需真空系统而变得繁琐。为克服上述缺点,R. N. Ghoshagoyc 发明了一种开管式 Ga 扩散方法^[1],但因所用设备是双温区高温扩散炉,用 CO 作杂质源(Ga_2O_3)的反应气体,控制表面浓度的大小还要取决于 CO 对水蒸气分压强的比值等等,不利于在国内电力半导体器件制造行业中推广应用。

本文介绍的开管 Ga 扩散系统^[2]是利用普通三段式单温区高温扩散炉,用 H_2 作为杂质源(Ga_2O_3)的反应气体, N_2 作为结深推移的保护气体。该工艺具有设备简单,操作安全方便,表面浓度控制准确灵活,杂质分布均匀性好,成本低,易推广应用等特点。为整流管、晶闸管、快速晶闸管、GTO 等电力半导体器件的 P 型杂质掺杂开创了一条新途径。它不仅能满足各类器件耐压方面的设计要求,而且高温漏电流小,触发参数一致性,重复性好,通态特性与动态特性优良。

裴素华 女, 1946 年出生, 副研究员, 主要从事半导体器件与微电子技术的研究工作
薛成山 男, 1945 年出生, 研究员, 主要从事半导体器件与微电子技术的研究工作
赵善麒 男, 1963 年出生, 博士, 高工, 主要从事功率器件与电力电子技术研究工作
1997-07-17 收到, 1997-09-08 定稿

2 开管扩镓系统及其杂质分布

开管 Ga 扩散系统如图 1 所示,采用三段式单温区高温扩散炉,石英管道的两端均为磨口装置,将氧化后的硅片置于 1250 的等温区内,杂质源(Ga_2O_3)放置在扩散炉进气口一侧(温度低于 400 处).依据测量结果绘出图 2,它反应了该系统扩散薄层电阻 R_s 分别与源温 T_{Ga} 、预沉积时间 t_1 、再分布时间 t_2 之间的关系,其前提实验条件:(1)硅片电阻率 $\rho_n = 50 \sim 120 \Omega \cdot \text{cm}$; (2)扩散炉恒温区的长度为 600mm; (3) $T_{Si} = 1250$; (4) H_2 流量为 150 m l/m in ; (5) N_2 流量为 100 m l/m in . 图 2(a) 是固定 $t_1 = 30 \text{ min}$ 不变,

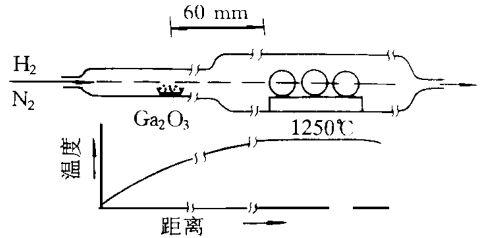


图 1 开管镓扩散示意图

R_s 随 T_{Ga} 变化的曲线,图 2(b) 是固定 $T_{Ga} = 900$ 不变, R_s 随 t_1 变化的曲线,图 2(c) 是 $T_{Ga} =$

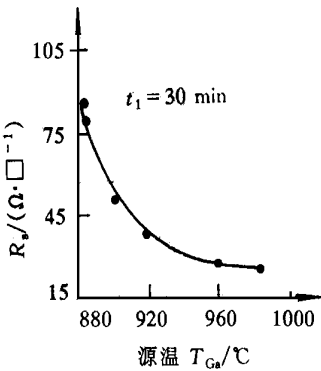


图 2(a) R_s 与 T_{Ga} 关系曲线

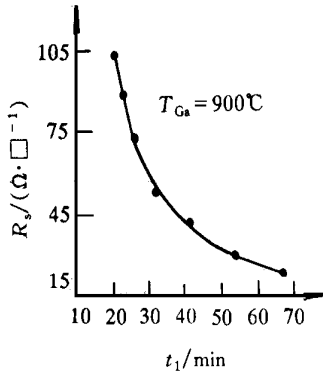


图 2(b) R_s 与 T_1 关系曲线

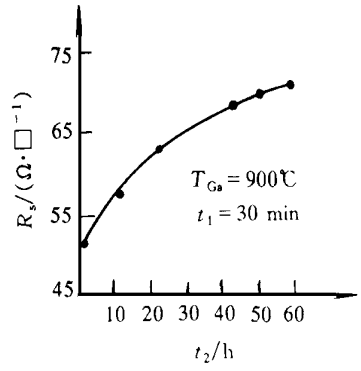


图 2(c) R_s 与 T_2 关系曲线

900 , $t_1 = 30 \text{ min}$ 条件下得到一个确定的薄层电阻($52 \Omega / \square$)之后,在 N_2 气氛中, R_s 随 t_2 变

化的曲线 该扩散系统突出的特点:(1)扩散后的硅表面薄层电阻 R_s 均匀性好.表 1 列举出 KP500A 芯片扩散后,采用四探针自动测试仪测量的结果.表 1 中的 3 只硅圆片按石英舟前、中、后位置随意取样,测点 a 为被测试硅片的中心位置,其他各测试点为被测硅片的四周均布.由表 1 看出同一硅片上 R_s 最大差值不大于 $1 \Omega / \square$,同批次硅片间的最大差值不大于 $2 \Omega / \square$,其均匀性是目前其他工艺无法比拟的;(2)元素镓在硅中的分布可按照管子的不同类别、参数特点随意控制.图 3 是利用剥层法测得的整流管(ZP)200A、

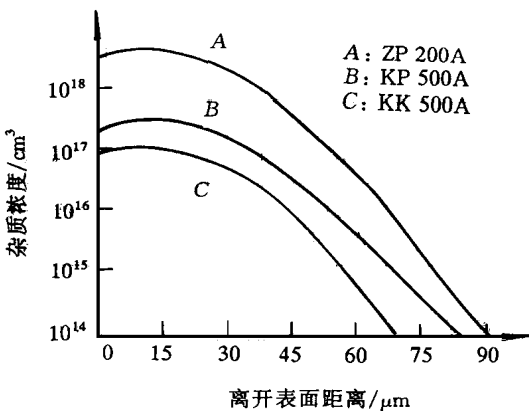


图 3 杂质分布曲线图

普通晶闸管(KP)500A,快速晶闸管(KK)500A 在硅中的实际分布形式;(3)扩散后长基区的残余少子寿命 τ_p 较高且非常稳定,一般控制在 $10\mu s$

表 1 KP500A 扩 Ga 后 R_s 测试值

测点	a	b	c	d	e
前	70.8	71.2	71.6	71.6	71.8
中	71.8	71.8	71.4	71.2	71.6
后	72.0	71.6	72.0	72.6	72.8

3 实验与结果

分别以整流管(ZP)200A、普通晶闸管(KP)500A、快速晶闸管(KK)500A 为例,它们各自的结构参数设计值列表 2

表 2 结构参数设计值

类别	ZP200A	KP500A	KK500A
N 型衬底电阻率/ $(\Omega \cdot \text{cm})$	81~ 99	100~ 120	50~ 65
镓扩散表面浓度/ cm^{-3}	2×10^{18}	$1 \sim 3 \times 10^{17}$	$8 \times 10^{16} \sim 1 \times 10^{17}$
镓扩散结深/ μm	85~ 90	80~ 85	68~ 70

扩镓工艺完成后,均按常规工序制出样管,然后分别依据国内执行标准:JB 1143-75、GB 4940-85、JB 4193-86 经辽宁电力电子产品质量监督检测中心测试,其测试主要结果汇于表 3

表 3 器件参数测试值 (平均值)

类别	$(V_{\text{DRM}}/I_{\text{DRM}}),$ $(V_{\text{RRM}}/I_{\text{RRM}})/(\text{V} \cdot \text{mA}^{-1})$	$(V_{\text{GT}}/I_{\text{GT}})/$ $(\text{V} \cdot \text{mA}^{-1})$	$V_{\text{T}}, V_{\text{TM}}/\text{V}$	$(\text{d}v/\text{d}t)/$ $(\text{V} \cdot \mu\text{s}^{-1})$	$(\text{d}i/\text{d}t)/$ $(\text{A} \cdot \mu\text{s}^{-1})$	浪涌
ZP 200A	$T_c = 125$ 2000/0.52		$V_{\text{T}} = 0.52$			
KP 500A	$T_c = 125$ 2600/20	2.1/109	$V_{\text{TM}} = 1.68$	$T_c = 125$ 1000	$T_c = 125$ 200	100% 一次 性通过
KK 500A	$T_c = 115$ 1600/8	2/95	$V_{\text{TM}} = 1.7$	$T_c = 115$ 1000	$T_c = 115$ 200	100% 一次 性通过

表 3 说明: $V_{\text{DRM}} = V_{\text{RRM}}/I_{\text{DRM}} = I_{\text{RRM}}$ 分别为晶闸管正、反向重复峰值电压及峰值漏电流 $V_{\text{GT}}/I_{\text{GT}}$ 为触发电压/触发电流,同批管芯 V_{GT} 的差值为 0.22V, I_{GT} 的差值为 5.6mA; V_{T} 为通态压降, V_{TM} 为通态峰值压降; $\text{d}v/\text{d}t$ 为断态电压临界上升率, $\text{d}i/\text{d}t$ 为通态电流临界上升率

4 分析与讨论

4.1 二氧化硅覆盖扩散的作用

开管镓扩散系统要求硅片扩散之前,首先通过热氧化生长一层 SiO_2 硅膜。对于 ZP 管,厚度为 600nm,对于 KP 和 KK 管,厚度要求 1000nm 以上。这一举措的依据是利用了镓在 SiO_2 中的快扩散特性(1200 °C 温度下,镓在 SiO_2 和 Si 中的扩散系数分别为: $1 \times 10^{-9} \text{cm}^2/\text{s}$ 和 $1.5 \times 10^{-12} \text{cm}^2/\text{s}$)。当镓原子被 H_2 载运到 SiO_2 的表面后,它会以很快的速度穿过氧化层到达 SiO_2 -Si 界面而扩入硅体内,由于二氧化硅的覆盖,给扩散带来以下优点: (1) 加快扩散速度; (2) 硅原子在 SiO_2 -Si 界面向硅体内扩散,可避免一切外界的沾污,防止了镓原子富集,无合金点产生,使硅表面浓度达到均匀一致; (3) 屏蔽重金属杂质(如 Cu、Fe、Au 等)同镓原子一起扩散到 P-N 结前沿,因它们在 SiO_2 中表现为慢扩散特性(1200 °C 下在 SiO_2 、Si 中的扩散系数分别为: $10^{-14} \text{cm}^2/\text{s}$ 、 $10^{-5} \sim 10^{-6} \text{cm}^2/\text{s}$),通常由重金属原子构成的复合中心,引起少子寿命下降和 P-N 结反向漏电流增加。必须把它们降低到最小限度,以保阻断耐压足够高,且高温漏流很小; (4) 整个扩散过程, SiO_2 层无损,扩散完毕可直接进行光刻,刻出磷扩散窗口,保留下来的氧化层可作磷扩散的掩蔽膜,且中间不需要任何化学处理。

4.2 浓度与结深控制的随意性

该扩散系统可随意控制预沉积和再分布的时间。扩散期间可以打开石英管道磨口,提取陪片舟上的陪片,随时检测表面薄层电阻和扩散结深。假若发现 R_s 大于设计值,还可再进行补充扩镓。图 3 中的曲线 A 采用分段扩散方法而得,先是低浓度掺杂,长时间再分布,在 P-N 结前沿形成低浓度 P 区以满足元件的阻断特性,后是高浓度掺杂,以满足元件通态特性的要求;曲线 B 与曲线 C 除了表面浓度和结深有差异外,其分布形式完全相同。其特点为: (1) 离开硅表面距离约 25 μm 一段内,曲线变化平缓,不会因磷扩散结深微小波动造成触发参数较大的分散性; (2) 曲线均为典型高斯函数分布形式,总的意图,在大注入条件下,增强电导调制效应,希望得到一个较大的发射注入效率^[3],同时又使短基区杂质浓度不低,这样即能得到优良的通态特性,又使 d_v/d_t 耐量, d_i/d_t 耐量这两个相互矛盾动态参数,同时得到协调与优化。

4.3 阶梯式分布的设想

开管镓扩散系统以其优良的扩散性能和在硅中的分布形式协调解决了开通与关断,动态参数与耐压、通态压降、断态漏电流的矛盾,克服了触发参数的分散性,使器件等级合格率和综合性能得到了较大幅度的提高。但其最高耐压水平因浓度分布曲线的前沿比较陡峭而受限。特别是对于快速晶闸管而言,由于开关速度的要求,P 型杂质的结深不可能做得太深,因此作者提出了用镓的阶梯式分布替代原高斯函数分布形式的设想,以保电压在原基础上得到补偿。

5 结论

用开管系统控制镓在硅中掺杂,其工艺方法稳定可靠,简单易行,扩散均匀性、重复性和一致性好,浓度分布服从高斯函数分布形式。这一新工艺可显著提高电力半导体器件各类电

参数性能及等级合格率水平,使晶闸管具有触发参数一致性好,通态特征优良,耐浪涌电流能力强, dv/dt di/dt 耐量高等优点,是一个值得在国内外电力半导体器件行业推广的新工艺

参 考 文 献

- [1] R. N. Ghoshagoyc , Solid State Technol , 1979, 22(10): 877~ 885.
- [2] 裴素华,等, 固体电子学研究进展, 1997, 17(3): 268
- [3] P. D. Taylor 著, 庞银锁译, 晶闸管的设计与制造, 北京: 中国铁道出版社, 1992, 209~ 212

Application of Open-Tube Ga-Diffusion System in Power Semiconductor Devices

Pei Suhua, Xue Chengshan

(Semiconductor Institute, Shandong Normal University, Jinan 250014)

Zhao Shanqi

(Beijing Power Electronics R & D Center, Beijing 100080)

Received 17 July 1997, revised manuscript received 8 September 1997

Abstract A new open-tube Ga-diffusion system is proposed and discussed. With use of this diffusion system to fabricate thyristors, the devices can have a good consistence of trigger parameters, excellent "on state" characteristics, high dv/dt and di/dt capabilities. This new technology is worth to spread in the power semiconductor device fabrication.

EEACC: 2550B, 2560Z