

高压大电流晶闸管受主双质掺杂 新技术的研究*

刘秀喜 薛成山 林玉松 孙 瑛 庄惠照

(山东师范大学半导体研究所 济南 250014)

摘要 针对现行P型杂质扩散工艺的不足,开展了受主双质掺杂新技术的研究.经对比实验和工艺论证,首先研究成功开管铝镓一步扩散法.应用证明,该项技术用于制造高压大电流晶闸管是可行的,产品电参数一致性和综合性能好,合格率高,为电力半导体器件研究和生产开创了一条先进的工艺途径.

EEACC: 2550B

1 引言

晶闸管制造中的受主掺杂,既是生产工艺的基础,又是直接影响产品电参数的最关键工艺.目前国内外采用的方法^[1,2]:(1)硼铝扩散,该方法扩散不均匀、重复性差,电参数离散性大、动态特性不理想;(2)真空闭管扩铝扩镓,虽能得到较好的杂质分布,但需经抽气、两次封管、两次高温、工艺操作复杂、周期长、成本高,扩散质量又受众多因素影响,不利于普遍采用;(3)开管扩镓,虽产品电参数一致性好,但制造高压器件很困难.针对上述问题,目前亟待解决制造高压大电流晶闸管受主掺杂的新工艺,为此开展了P型双质掺杂新技术的研究.经过长期研究、大量实验和生产线工艺论证及试用,在掺杂技术上有新的突破,一种开管铝镓一步掺杂工艺研究成功,能得到较理想的杂质浓度分布,又能提高器件电参数一致性和综合性能,其成品率有明显地增加.该项掺杂技术具有先进性和实用性,为电力半导体器件研究、开发和生产开创了一条新工艺途径.

2 铝镓一步掺杂的可能性

在高压电力半导体器件制造中,公认采用双质掺杂较好. B、Ga 和 Al 是常用的受主杂

* 山东省科委重点资助科研项目,获省科技进步二等奖

刘秀喜 男,1940年生,副研究员,主要从事半导体器件与微电子技术研究

薛成山 男,1945年生,研究员,主从事半导体器件与微电子技术研究

林玉松 女,1937年生,研究员,主要从事半导体器件与微电子技术研究

1995年4月13日收到初稿,1995年8月16日收到修改稿

质,虽导电类型相同,但在 Si 中的扩散系数和构成 P 型层的表面浓度有明显的区别,并各自扩散形成的杂质分布也不一样. 根据元素在 Si 中的扩散行为和特性,为了获得较理想的杂质分布和提高器件电参数的一致性和综合性能,采用铝镓双质掺杂较好. 开管式铝镓一步掺杂法,是指在同一扩散炉中经一次高温连续完成铝、镓预沉积和再分布的 P 型扩散工艺,即通过铝乳胶源涂布与气相 Ga 杂质相互配合及一定控制手段,达到铝镓掺杂目的. 该项掺杂技术可简称为气(Ga)-固(掺杂氧化物)-固(Si)扩散法.

该项研究,充分利用 Ga 表面浓度高于 Al、杂质分布具有 $25\sim 30\mu\text{m}$ 的平缓段、短基区有效浓度高、浓度易于控制和高温特性好的特点,并且 Ga 在 SiO_2 中扩散系数很大(为 Si 中的 660 倍),能实现 Ga 在 SiO_2/Si 系扩散,消除裸 Si 系扩 Ga 产生的弊病,有利于提高电参数的一致性和改善器件的综合性能^[3,4];又利用 Al 扩散系数大和杂质分布较缓等优点,达到所要求的结深,并减小近 J_1 结和 J_2 结的浓度梯度,使空间电荷层展宽增加,从而降低空间电荷区的电场强度,有利于提高器件耐压水平. 该项掺杂技术,一是吸收了铝镓的各自特点,克服其不足;二是采取先进的工艺途径,分别给予 Al、Ga 预沉积和杂质再分布的合理调节及准确控制. 能得到理想的杂质浓度分布和提高扩散质量的目的,达到制造高压器件的受主掺杂最佳方案的设计和要求,故该工艺掺杂设计合理、科学性强、工艺可行.

3 试用对比实验

以开管铝镓掺杂与硼铝扩散进行了试用对比实验,其结果在扩散均匀性、重复性、工艺可控性、杂质浓度分布及产品电参数一致性、合格率等,二者存在着较大差异.

3.1 扩散均匀性

镓铝扩散后的同一片上、片与片之间的 R_s 差值很小,扩散均匀性明显地优于硼铝扩散. 再抛光相同时间后,镓铝扩散片的 R_s 波动很小,但硼铝扩散片 R_s 波动性很大,如表 1、图 1 和图 2 所示.

表 1 镓铝扩散和硼铝扩散的均匀性比较

工艺	测点 $R_s/(\Omega \cdot \square^{-1})$	中心点	周 边				平均值	大小差值
		a	b	c	d	f	\bar{x}	Δx
镓铝扩散	1	73.8	74.7	74.2	73.8	75.2	74.3	1.4
	2	72.9	71.5	74.3	72.3	74.2	74.0	2.8
	3	75.1	72.9	74.7	73.7	73.2	73.9	2.2
	4	74.0	73.6	73.8	72.9	72.7	73.4	1.3
硼铝扩散	1	60.8	63.0	68.4	50.8	72.0	63.0	21.2
	2	76.5	79.6	87.8	74.7	90.5	81.8	15.8
	3	50.4	58.5	45.9	40.5	56.3	50.3	18.0
	4	77.4	81.0	65.3	83.0	67.5	74.8	17.7

注:表中 1,3 是指未抛光的扩散片; 2,4 是指抛光扩散片.

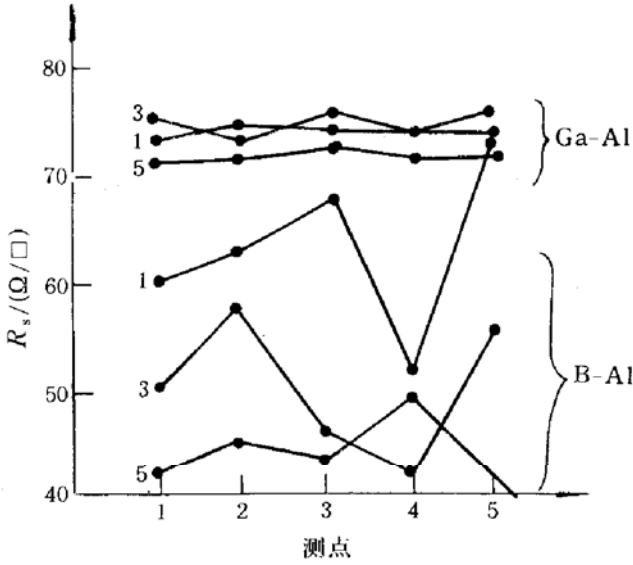


图 1 Ga-Al 和 B-Al 扩散片的 R_s 均匀性比较

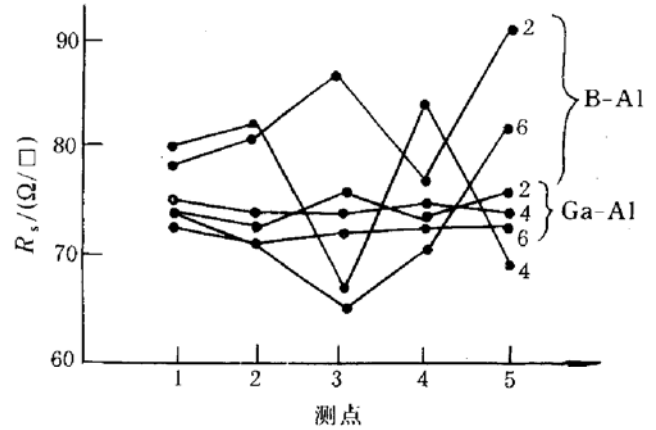


图 2 Ga-Al 和 B-Al 扩散片抛光相同时间后的 R_s 波动性比较

3.2 扩散参数的重复性和可控性

镓铝扩散的表面浓度和结深,通过监测手段,可调节扩散条件达到准确控制,故重复性和可控性(见表 2)明显地优于硼铝扩散.

表 2 镓铝扩散的重复性和可控性

参 数	批 次	1	2	3	4	5	6
		设定值					
设定值	$R_s/(\Omega \cdot \square^{-1})$	45~54	67~80	72~76	63~68	67~72	120~135
	$x_j/\mu\text{m}$	115~120	90~95	105~110	105~110	85~90	115~120
实测值	$R_s/(\Omega \cdot \square^{-1})$	52	75	73.5	65.5	67	126
	$x_j/\mu\text{m}$	118	93	106	109	88	121

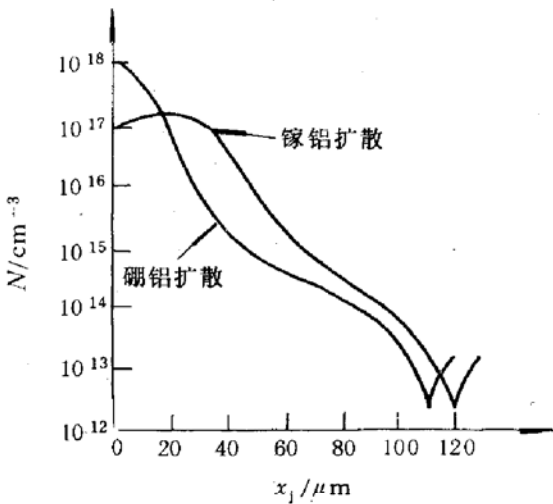


图 3 镓铝扩散和硼铝扩散的浓度分布曲线

3.3 杂质浓度分布曲线

利用 SRP 法,分别对开管 Ga-Al 和涂层 B-Al 的扩散样品进行了浓度分布测量,如图 3 所示.全面衡量有利于电参数一致性、电压水平和动态特性,镓铝扩散的杂质分布明显地优于硼铝扩散.

3.4 少数寿命与通态峰值压降

开管镓铝扩散工艺制出的管芯,少数寿命 τ_p 和压降 V_{TM} 的一致性均优于硼铝扩散,见表 3.

表 3 管芯的少子寿命与通态峰值压降

管号	工艺参数	镓铝扩散(K_p600A)		硼铝扩散(K_p600A)	
		$\tau_p/\mu s$	V_{TM}/V	$\tau_p/\mu s$	V_{TM}/V
A-1		40	2.04	36	1.85
A-2		45	1.88	29	2.01
A-3		44	1.93	34	1.92
A-4		46	1.92	38	1.96
A-5		43	2.00	33	2.01
A-6		40	1.91	34	1.95

3.5 门极参数一致性

开管镓铝扩散的浓度分布具有平缓段,二扩结深 x_{j2} 正好落在此处,故 N_{SIC} 不因二次扩散结深的变化而变化,所以门极触发特性好,门极参数具有高度一致性,优于硼铝扩散(见表 4)。利用门极参数一致性来提高器件合格率,能收到良好效益。

表 4 两种工艺的产品(K_p600A)门极参数的比较

工艺	管号参数值	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	Δx
		镓铝扩散	I_{GT}/mA	125	122	117	120	101	106	100
	V_{GT}/V	1.48	2.21	2.38	2.15	2.14	2.15	2.41	2.07	0.41
硼铝扩散	I_{GT}/mA	70	103	136	163	160	105	78	120	93
	V_{GT}/V	1.38	1.57	1.21	1.72	2.13	1.63	1.31	1.74	0.92

注: Δx 表示差值,它是最大值与最小值的之差。

3.6 电压水平

镓铝扩散和硼铝扩散的杂质分布其铝扩散段大致相同,所以两种工艺生产的晶闸管电压水平基本相当,但显著地高于闭管扩镓和开管扩镓。试用结果:镓铝工艺的产品电压等级合格率(71.4%)高于硼铝工艺(61.6%)。

3.7 动态参数 dV/dt 和 di/dt 耐量

由于硼铝工艺掺杂浓度不均匀,一旦工艺条件有微小波动,不但导致门极参数离散性大,而且当 x_{j2} 落到一扩低浓度区,即 N_{SIC} 降低, $\bar{\rho}_2$ 升高,使 dV/dt 和 di/dt 耐量减小。但镓铝扩散的杂质分布具有平缓段,在一定区域内 N_{SIC} 基本不变,若抛光或 x_{j2} 有较小变化, $\bar{\rho}_2$ 基本维持不变;又因该工艺扩散参数可控性好,提高 N_{SIC} 即降低 $\bar{\rho}_2$ 能够做到,使 dV/dt 和 di/dt 耐量同步提高,用该项技术生产 K_p500A 和 K_p600A , $dV/dt > 1000V/\mu s$, $di/dt > 100A/\mu s$ 。

3.8 产品等级合格率

以生产 $K_p600A/3000V$ 为例,硼铝工艺的产品等级合格率为 44.49%,而镓铝工艺为 60.90%,后者提高了 16.41%。

4 结语

该项掺杂技术在高压大电流晶闸管生产中的应用研究取得了突破性的成果,从落后的“闭管”到先进高效益的“开管”,从复杂的“两步”进行到简单的“一步”完成,以及掺杂质量、器件性能、电参数一致性和成品率等,明显地优于现行受主掺杂工艺,它是一项重要的基础工艺研究,为电力半导体器件研究、开发和生产开创了一条受主双质掺杂新的工艺。

致谢 曾得到北京大学教授王阳元的指导,北京整流器厂高级工程师高大江和铁道部永济电机厂高级工程师金兰香、工程师张红卫等,在工艺论证和试用实验期间做了许多工作,在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] R. N. Ghoshagore, *Solid State Technology*, 1979, **22**(10):877~885.
- [2] 清华大学工业自动化系等编,大功率可控硅元件原理与设计,北京:人民教育出版社,1975,297~301.
- [3] 刘秀喜,等,半导体学报,1995,**16**(3):235~239.
- [4] 庞银锁,国外电力电子技术,1989,**1**:19.

Research of New Acceptor Double Dope Technology for High-Voltage Large-Current Thyristor

Liu Xiuxi, Xue Chengshan, Lin Yusong, Sun Ying, Zhuang Huizhao

(*Institute of Semiconductors, Shandong Normal University, Jinan 250014*)

Received 13 April 1995, revised manuscript received 16 August 1995

Abstract In view of the inefficiency of the current P-type impurity diffusion process, a new technology of acceptor double dope is investigated. Basing on contrast tests and process demonstration, a single-procedure open-tube aluminium and gallium diffusion method has been successfully developed, and its application has proved that the technology is feasible for producing high-voltage large-current thyristors, enabling products to gain good consistence of electrical parameters, well comprehensive characteristics and high rate of qualified, and an advanced process has been developed for the research and production of power semiconductor devices.

EEACC: 2550B