

# CFZ 单晶的生产及特点\*\*

沈浩平 李翔 晷兴利 汪雨田

(天津市半导体材料厂 300161)

纪秀锋 林健

(电子部第四十六研究所 300220)

**摘 要** 本文介绍了一种全新的硅单晶生长方法。通过大量实验对 CFZ 法生长技术和特点作了描述,并对 CFZ 的应用作了讨论。

**关键词** 硅单晶 掺杂

## The technology and characteristics of CFZ Single crystal

Shen Haoping Li Xiang Zhan Xingli Wang Yutian

(Tianjin Semiconductor material Factory 300161)

Ji Xiufeng Lin Jian

(No. 46 Research Institute, MEI 300220)

**Abstract** A new grown method of silicon single Crystal - CFZ method is expounded by this paper. The grown technology and characteristics of CFZ method was given by large experiment and application prospect was discuss.

**Key words** silicon single crystal doping

### 一、引 言

众所周知几乎所有的硅单晶都用 CZ 法或 FZ 法生产。CZ 硅中的高氧含量( $\geq 10^{18}$  atm/cm<sup>3</sup>)所形成的氧施主,由于其不稳定性和可逆性造成 CZ 硅单晶在功率器件制造过程中的局限和困难。这正是生产成本远较 CZ 法昂贵的 FZ 法单晶存在的主要原因。科技上,硅物理探测器及抗辐射加固等器件要求热稳定性好,同时又掺入某些固态元素的硅单晶,CZ 法和 FZ 法都难作到两全其美。

CFZ 法生长硅单晶的原理是:利用直拉法将块状多晶制备成区熔设备能使用的直拉多晶棒(掺杂或不掺杂),然后区熔法脱出多晶棒中的高氧含量并制备成区熔单晶。CFZ 法既生产出了传统区熔难于生产的掺固态元素硅单晶,又有效地避免了氧热施主对电阻率稳定性的干扰。经济上,CFZ 法单晶大幅度降低了区熔中照单晶和区熔常规掺杂单晶的成本,

- 本文收到日期 1998 年 9 月 10 日
- CFZ 法已申报专利
- 24 •

为硅单晶生产展现了一个新领域。

## 二、实验方法和结果

(1)使用美国 HAMCO 公司 CG-3000 型直拉炉和国产陕西机械学院 62 型直拉炉,采用特殊工艺生产  $\phi 60\text{mm}\sim 80\text{mm}$  直拉多晶棒。原料为多晶块料(基硼  $\rho \geq 3000\Omega\cdot\text{cm}$ ,基磷  $\rho \geq 300\Omega\cdot\text{cm}$ )和区熔头尾料。实验采用两种不同厂家的石英坩埚。锭形加工后,使用丹麦 TOPSOL 公司 FZ-14 型区熔炉生长本征单晶,晶棒直径  $50\text{mm}\sim 80\text{mm}$ 。送核反应堆中子辐射掺杂,回厂热处理(参见表 1)。

(2)使用 CG-3000 直拉炉和 62 型直拉炉,使用同实验 1 一样的坩埚和多晶原料。生长  $\phi 60\text{mm}\sim 80\text{mm}$  掺磷多晶棒,电阻率控制在  $15\Omega\cdot\text{cm}\sim 30\Omega\cdot\text{cm}$ 。锭形加工后,使用 FZ-14 区熔炉生产常规掺杂区熔单晶(参见表 2)。

(3)使用陕西机械学院 TDK-40 型直拉炉,投多晶块料(基硼  $\rho \geq 4000\Omega\cdot\text{cm}$ ,基磷  $\rho \geq 450\Omega\cdot\text{cm}$ ),涂层石英坩埚,大掺量掺锗元素制成原料多晶棒。锭形加工后,由 FZ-14 区熔炉按设定工艺生长掺锗硅单晶(参见表 3)。

表 1

编号	直径	本组电阻	氧含量	碳含量	中照电阻	少子寿命	缺陷
ø60 -10-2	65	上:1030~1130	$7 \times 10^{15}$	$2 \times 10^{16}$	上:31~33	中照前: $\geq 1000$	无
		下:916~970			下:33~34	中照后:240	
ø50 -2-5	54	上:1120~1200	$1 \times 10^{16}$	$9.3 \times 10^{15}$	上:91~94	中照前: $\geq 1000$	无
		下:1090~1180			下:84~86	中照后:350	

表 2

编号	直径	电阻率	氧含量	碳含量	少子寿命	缺陷
ø60 -12-14	64	上:28~31	$2 \times 10^{16}$	$2 \times 10^{16}$	300	无
		下:14~15				
ø60 -12-16	64	上:8.4~9.2	$2 \times 10^{16}$	$1 \times 10^{16}$	100	无
		下:5.2~5.9				

表 3

编号	氧含量	碳含量	少子寿命	位错	缺陷
F 碱-Ge	$1.2 \times 10^{16}$	$8 \times 10^{15}$	$\geq 1000$	无	无(腐蚀法)

## 三、分析和讨论

(1)从图 1 我们可以看到:直拉硅中的氧原子是由单晶生长过程中熔硅同石英坩埚高温反应( $\text{Si} + \text{SiO}_2 = 2\text{SiO}$ )进入硅晶体而产生的。一般情况下氧含量高达  $10^{18}\text{atm}/\text{cm}^3$ ,这是直拉工艺的固有特点。从图 2 我们可以看出:区熔单晶生长过程中,进入熔体的氧原子由两部分供

给。即原料多晶棒中的氧原子和高温状态下(800℃ ~ 1350℃)惰性气体中微量氧分子同原料多晶棒反应生成的 SiO 薄膜(2Si + O<sub>2</sub> = 2SiO)。高温的硅熔体将进入硅中的 SiO 几乎挥发殆尽,只有极少部分氧原子最后进入区熔硅晶体。从我们大量的实验结果看,尽管原料硅棒中的氧含量相差近 3 个数量级。但在区熔一次成晶后不同氧含量原料生长的区熔单晶硅的氧含量趋同一致。这样可得到一个重要结论:区熔单晶氧含量完全取决于多晶表层的 SiO 薄膜浓度,也就是保护气芬中的微量氧浓度(传统的区熔掺氮工艺原理也是如此)。由于这个结论,使 CFZ 法生产硅单晶具有了现实意义(参见图 3)。

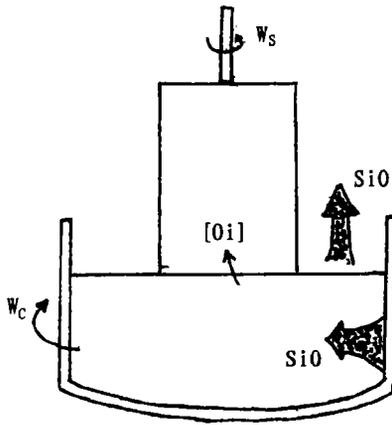


图 1 直拉法氧运输图

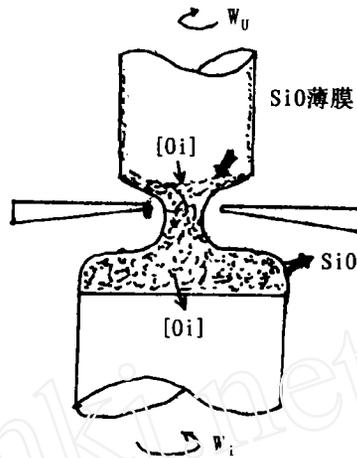


图 2 区熔法氧运输图

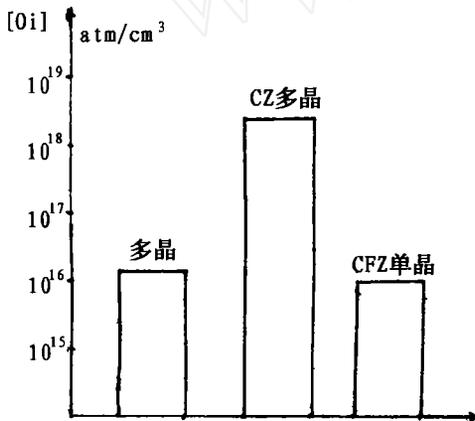


图 3 CFZ [O<sub>i</sub>] 变化图

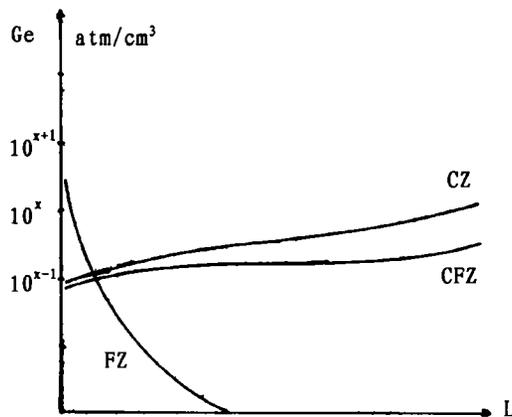


图 4 CZ、FZ、CFZ 轴向杂质分布图

(2)传统的 CZ 法和 FZ 法都难于制作氧含量低,掺锗量大的锗硅单晶。在我们的实验中,考虑到锗的分凝分数较大( $K_{Ge} \approx 0.4$ 左右),为有效控制动态系统中的  $K$  有效值趋近于 1,我们采用了较正常 CZ 法拉晶速度高几倍的生长速度控制原料掺锗棒的轴向杂质浓度(同样的原理也适用于掺磷原料棒的生产)。从图 4 我们可以清楚的看到:CFZ 法掺固态元素的轴向杂质分布远较区熔打洞法掺杂的轴向杂质分布均匀得多;掺磷的轴向杂质分布也较区熔 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 溶液掺杂好得多。

(3)从表 1、2、3 可以看出:CFZ 法单晶较常规 FZ 法单晶一样也是无凝涡(腐蚀法),少数载流子寿命高达  $1000\mu\text{s}$  以上。中子嬗变掺杂后各项数据均同 FZ 法相当。这反映出 CFZ 法单晶在杂质含量特别是重金属杂质含量方面同 FZ 法相近。值得指出的是:由于 CZ 多晶在生长过程中石英坩中的硼、铝进入引进了较高的受主浓度(我们实测某型石英坩可引入受主杂质  $5 \times 10^{12} \sim 1 \times 10^{13} \text{atm/cm}^3$ )。因此,CZ 多晶棒较高的补偿度限制了 CFZ 的高阻范围。按照我们的实验,NTDCFZ 单晶中子照射目标值不应超过  $150\Omega \cdot \text{cm}$ (目前坩水平)。

(4)我们知道:同类直径的区熔炉价格比直拉炉高近八倍以上。目前在国内  $\phi 31$  直径以上的区熔炉绝大部分使用的多晶均为  $\text{SiHCl}_3$  法所生产,而  $\text{SiHCl}_3$  法多晶一般必须提纯一次才能成晶。CFZ 法由于使用块状多晶和区熔头尾料,原料硅成本成倍低于传统 FZ 法单晶,且将昂贵的大直径区熔系统备料提纯工艺转移到便宜数倍的直拉系统中,这就大幅度地降低了 FZ 法单晶成本。在我们的工作中,CFZ 法单晶成本可比正常 FZ 法单晶成本降低 20% 以上。尤其值得指出的是:在当前环境下,CFZ 法生产单晶可将国内有限几台大直径区熔设备产能几乎增加一倍。

#### 四、结 论

(1)CFZ 法单晶在电阻率  $\rho \leq 150\Omega \cdot \text{cm}$  范围内 NTD 单晶质量同 FZ 法质量相当。

(2)CFZ 法可弥补国内大直径区熔系统无气相掺杂设备造成的常规掺杂困难方面的不足。

(3)CFZ 法科研上可生长过去难于生长的低氧掺固态元素,且轴向杂质分布良好的硅单晶。

(4)CFZ 在经济上可降低传统 FZ 法单晶成本 20% 以上,同时提高昂贵的大直径区熔设备产能近一倍。

## 东芝将推出高速 72Mb DRAM

东芝在近期将推出一种称为“Direct Rambus”的 72Mb DRAM,传送速度比目前主流产品 64Mb DRAM 快两倍。这是东芝和拥有高速传输技术的美国 Rambus 公司共同开发的。包括 NEC、日立和三星在内的 10 家半导体企业也正在引进 Rambus 的授权技术进行相同的开发,而东芝将率先在 PC 应用上实现商品化。据说美国 Compaq 公司已经表明,从 1999 年起正式把该 DRAM 用在其电脑上。东芝认为,到 2001 年这种 72Mb 的高速 DRAM 很有可能占有 50% 的市场。

目前主流的同步 DRAM(SDRAM)是和 MPU 的信号指令同时读取数据,Rambus 则采用完全不同的传输技术。据称,该技术能在专用的通信程序下找出最适宜读取数据的路径,而且传输信号的振幅远远小于现在读取数据时的振幅。东芝的 72Mb DRAM Direct Rambus,每秒可以传送 1.6Gb 的资料,能在一瞬间输送复杂的三维图形相片。另外该产品由于在设计上把 72Mb 容量之中的 64Mb 作为存储容量,保留 8Mb 容量用作防止错误动作的修正线路,动作的可靠性因修正容量加大而大为提高。东芝在今年秋季推出样品后,计划在 1999 年推出更大容量的 144Mb DRAM。