

300mm 硅单晶的生长技术

张果虎 吴志强 方 锋 秦 福 常 青 周旗钢 屠海令

(北京有色金属研究总院, 北京 100088)

摘要: 讨论了 300mm 硅单晶的工艺控制, 分析了拉晶工艺、热屏及磁场对晶体质量的影响。合理的工艺参数是拉制无位错单晶的前提, 热屏和磁场的应用有效地控制了晶体的氧含量和微缺陷。

关键词: 300mm; 硅单晶; 热屏; 磁场

PACC: 7200; 7280

中图分类号: TN304

文献标识码: A

文章编号: 0253-4177(2001)03-0383-04

1 引言

进入超大规模集成电路时代以来, 大直径硅单晶一直是热门的研发课题。虽然受制造成本和 IC 技术的制约, 300mm 硅片的商品化时间推迟, 但 300mm 硅单晶的生长技术仍然是目前晶体生长研究关注的课题。磁场拉晶技术、热屏技术和计算机模拟生长被广泛采用。我们于 1997 年率先在国内拉制出 300mm 硅单晶, 在此后两年时间里, 进行了一系列工艺实验, 主要研究晶体的生长工艺参数, 磁场对氧的控制, 热屏的作用及效果, 晶体的环状氧化层错等。目前已建立一套较为完整的 300mm 硅单晶的生长技术, 拉制出批量 300mm 硅单晶, 出口国外用户。

2 主要工艺实验及结果分析

实验采用美国 Kayex 公司的 150 型单晶炉, 558.8mm 热场, 一次投料量 100kg, 装有 CUSP 磁场和热屏。

2.1 晶体生长参数设计

2.1.1 缩颈工艺

生长无位错晶体目前普遍采用 Dash 缩晶^[1,2]

生长技术, 籽晶直径约为 3—5mm。300mm 单晶装料 100kg, 实验初期曾经发生晶体生长末期籽晶断裂的现象, 为此进行了一些拉伸实验^[3], 找出了合理的缩颈直径及缩颈长度, 一般缩颈直径应为 5—6mm, 缩颈长度在 200mm 左右, 缩颈时生长速度 220—300mm/h。晶体生长结束后, 缓慢提升晶体到上炉室冷却避免过高的加速度使籽晶断裂。

2.1.2 放肩与等径生长

放肩对于 300mm 硅单晶来说, 是一个不可忽视的环节。在放肩过程中, 由于晶体直径大, 放肩时间一般要 1.5—2h, 这期间温度的控制极为重要。由于石英坩埚直径大, 熔体在径向上温差大, 随着单晶直径的增大, 坩埚边温度很高。设置好降温参数(见图 1), 很好地解决了放肩过程勒苞的问题。

等径过程是一个温度控制过程, 现在的计算机自动控制是根据生长速度的设定值自动控制温度, 如果生长速度设置得不合适, 会导致晶体等径勒苞。图 2 是等径过程中生长速度设定值和晶体长度的变化曲线。

2.1.3 尾部生长及冷却

主要是设置好温度、晶体拉速和坩埚速的变化曲线(见图 3), 并且进行计算机控制。从图中可以看到, 收尾过程中温度和拉速的变化幅度是很大的, 这主要是由于温度在熔体表面有着较大的径向梯度的原因。

张果虎 男, 1967 年出生, 高级工程师, 从事半导体硅单晶的研究工作。

2000-12-04 收到

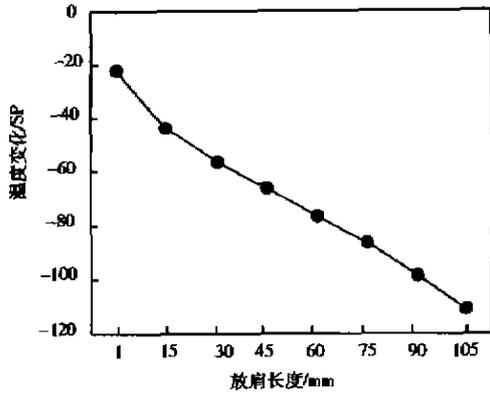


图 1 放肩过程温度设定值变化曲线

FIG. 1 Change of Temperature Set Point During Body Growth

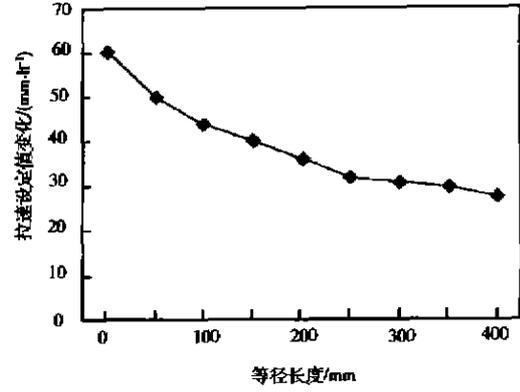


图 2 等径过程拉速设定值变化曲线

FIG. 2 Change of Seed Lift Set Point During Body Growth

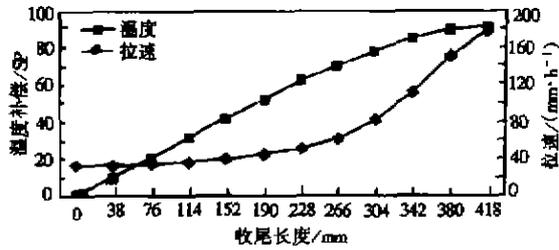


图 3 收尾过程温度和拉速变化曲线

FIG. 3 Change of Temperature Set Point and Seed Lift Set Point During Tail Growth

300mm 的晶体中心的热量不易散出, 停止加热后应缓慢(以 150mm/h 速度)上升晶体, 避免快升晶体产生应力。

2.2 MCZ 拉晶

目前普遍认为 18—31ppma 范围^[4]的氧浓度可以充分满足超大规模集成电路的要求, CUSP 磁场是目前半导体工业中普遍采用的磁场, 对控制晶体的氧含量及轴向分布有明显的效果。CUSP 磁场的分布如图 4 所示, 其特点是在坩埚壁-熔体界面处产生正交磁场, 而在晶体-熔体界面处没有或有微弱的轴向分量。

实验表明, 控制晶体氧含量及其分布的关键是设计合理的磁场变化曲线, 在熔体稳定状态时, 将磁场强度加到最大以获得需要的氧含量, 随后在晶体长度 60% 左右按一定的方式减为零, 这样就获得轴向分布较为均匀的晶体。300mm 晶体磁场变化曲线

如图 5 所示。

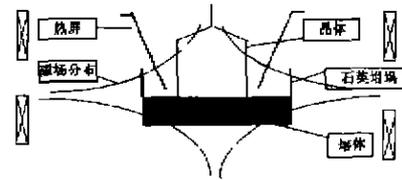


图 4 磁场分布和热屏示意图

FIG. 4 Sketch Map for Magnetic Field Distribution and Heat Shield

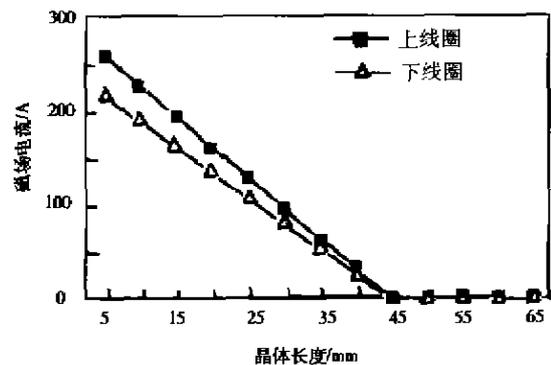


图 5 等径过程磁场强度变化曲线

FIG. 5 Change of Magnetic Field During Body Growth

2.3 热屏的作用

热屏的设计与使用已经成为当前晶体生长的一项核心技术, 许多大公司都采用计算机模拟的方法

设计不同形状的热屏,热屏的一般形状如图 4 所示。

从我们目前的实验中发现,热屏具有以下几个作用:

1. 大大降低了晶体生长的功率.300mm 单晶热场所需功率仅为 130—140kW 左右,加热屏后功率仅为 90—100kW 左右,降低了 30%左右,大大节约了电耗。

2. 晶体的氧含量降低.加热功率的降低减弱了石英坩埚与硅熔体的反应,使熔体中的氧浓度相应降低,这是单晶氧含量降低的主要原因.使用热屏后,晶体中氧含量平均比未加热屏降低 4—6ppma.使用磁场和热屏后,晶体氧含量分布如图 6 所示。

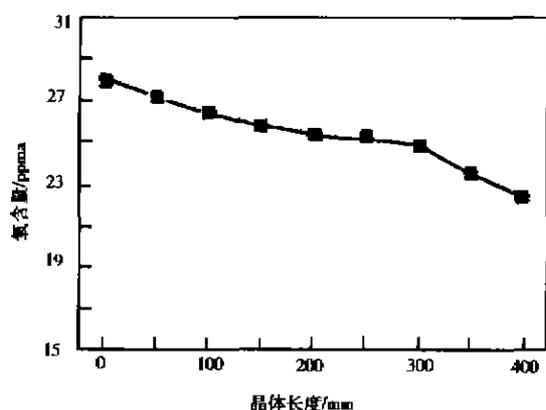


图 6 晶体氧含量分布

FIG. 6 Distribution of Oxygen Content in Crystal

3. 晶体微缺陷的改善.未加热屏时,300mm 的单晶容易产生氧化层错环,通过调整工艺参数仍不能消除.而在放置热屏后,经检测,晶体未发现氧化层错.对点缺陷浓度的理论计算和实验观察表明,过饱和点缺陷的类型和浓度可以由固-液界面处 V/G 值来确定, V 为晶体生长速度, G 为固-液界面处的轴向温度梯度.当 V/G 大于 $1.34 \times 10^{-3} \text{cm}^2/(\text{min} \cdot \text{K})$ 时,空位过饱和,反之则自间隙原子过饱和.在氧化层错出现的地方,空位与自间隙原子浓度相等,即 $V/G = 1.34 \times 10^{-3} \text{cm}^2/(\text{min} \cdot \text{K})$.在放置热屏后,晶体拉速提高了约 30%,而且固-液界面处的轴

向温度梯度降低,从而使 V/G 高于临界值,晶体中不出现氧化层错.这时,晶体中的空位过饱和,缺陷是以空位聚集为主的缺陷。

2.4 石英坩埚的影响

控制大直径单晶的过程中,石英坩埚和化料工艺的选择很重要.由于热场的增大,加热功率的升高,大石英坩埚比小石英坩埚承受的温度高得多,熔硅和石英坩埚的反应更加剧烈,增加了石英坩埚内壁方石英层的形成,这种方石英层的粒子容易脱落进入熔体中,经过输运到生长界面引起位错.这就要求石英坩埚表面的清洁度要好,因为方石英斑点往往在表面污染处开始生长.在控制大直径晶体中,我们发现如果石英坩埚质量不好,在坩埚内壁会形成很厚的方石英,这种情况下很难拉出单晶.坩埚的软化点要高,否则坩埚变软而下塌,发生严重的变形,造成拉晶困难,因此应选择纯度好而且软化点高的石英坩埚。

我们通过对比发现 GE 带涂层的石英坩埚拉晶效果比较好,在化料过程中,坩埚的内涂层生成一种坚硬的物质附着在坩埚表面且不易脱落.使用涂层坩埚可以承受更高的化料功率。

3 结论

经过两年的工艺实验总结出一套可行的 300mm 硅单晶的制备技术,合理的工艺参数可以保证稳定的无位错生长,磁场和热屏的使用保证了氧含量及缺陷的控制。

参考文献

- [1] W. Dash, J. Appl. Phys., 1959, 30, 459.
- [2] W. Dash, J. Appl. Phys., 1960, 31, 736.
- [3] 程景柏,等,CZ 硅大直径缩颈生长及其抗拉性能研究,2000 年全国半导体材料学术会议。
- [4] International Technology Roadmap for Semiconductors (1999 Edition).

300mm Crystal Silicon's Growth Technology

ZHANG Guo-hu, WU Zhi-qiang, FANG Feng, QIN Fu, CHANG Qing,
ZHOU Qi-gang and TU Hai-ling

(General Research Institute for Nonferrous Metals, Beijing 100088, China)

Abstract: The technical control of 300mm silicon crystal is discussed, and the effects of the technical parameters, heat shield and CUSP magnetic field on the crystal growth is analysed. Rational technical parameters are the precondition of the pulling of a single crystal while heat shield and magnetic field can effectively control the oxygen content and OSIF.

Key words: 300mm; silicon crystal; heat shield; magnetic field

PACC: 7200; 7280

Article ID: 0253-4177(2001)03-0383-04

ZHANG Guo-hu was born in 1967. He is a senior engineer and engaged in the research on crystal growth.

Received 4 December 2000

©2001 The Chinese Institute of Electronics