

⑧

● 新设备·新机构

文章编号:1004-4507(2000)04-0039-03

单晶炉真空炉室的设计

39-41

李留臣

TF806.902

西安理工大学晶体生长设备研究所, 陕西西安 710048)

摘要:真空炉室是单晶炉的主要部件之一,硅单晶的生长工艺过程都是在真空炉室内进行的。着重介绍单晶炉真空炉室的结构设计及其制造工艺。

关键词:单晶炉; 真空炉室; 半导体材料; 冶炼; 设计

中图分类号:TF806.9 **文献标识码:**A

硅单晶

Design of Vacuum Container of Crystal Furnace

LI Liu-Cheng

(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Vacuum container is important part of the crystal furnace. Technique process of growth of the si - single crystal are finished in the vacuum container, This paper mainly introduce the structure design and the manufacture technology of vacuum Container of the crystal furnace.

Keywords: Crystal furnace; Vacuum container; Semiconductor material; Smelt; Design

单晶炉是一种电阻加热式半导体材料冶炼炉,是在惰性气体保护下,采用石墨电阻加热的方法,将多晶硅熔化,用软轴直接法生长无位错单晶硅的专用设备。真空炉室是单晶炉的心脏部分,内装加热系统、坩埚和硅料,而硅单晶的生长对单晶炉的真空度、漏气率及机电稳定性等要求较高。因此,单晶炉的真空炉室的设计制造显得尤为重要。

1 生长无位错硅单晶的工艺要求

为了得到大规模集成电路所需要的硅单晶,除了要求单晶炉的机械电气要稳定可靠,热场设计安装合理外,还要求单晶炉具备较高的真空度和较小的漏气率,一般要求单晶炉真空度小于3 Pa,漏气率小于0.1 Pa/min。单晶炉生长硅单晶的工艺过程是:①清理炉

收稿日期:2000-11-06

作者简介:李留臣(1963—),男,河南襄城县人,西安理工大学晶体生长设备研究所副总工程师,主要从事晶体生长设备的研究与开发。

室,装多晶硅料;②抽真空至真空度要求;③不断充入一定量的惰性气体进行保护;④加热熔化多晶硅;⑤稳定生长单晶硅;⑥停炉保温,取出单晶硅。在整个工艺过程中除了清理炉室及停炉保温外,真空泵一直进行抽气并不断充入氩气,以便排出单晶生长过程中的挥发物,并形成一定的温度梯度。因此,炉室始终处在负压状态下。因单晶在生长过程中,炉内温度高(1400℃~1800℃),高温工作时间长(平均每炉工作20多小时),工作频率高(一般每两炉之间停炉6h)。因此,对单晶炉的真空炉室的综合性能要求很高。既要保证具有均匀的冷热变形、良好的真空度和压升率,又要保证长期的稳定工作状态,并要具备清理维修方便等优点。根据以上诸条,我们设计了单晶炉的真空炉室。

2 单晶炉真空炉室的设计与制造

2.1 真空炉室的材料

真空炉室的材料一般应满足以下要求:

- (1)在烘烤温度下,材料不应丧失其机械性能,壳体材料能随外部压力;
- (2)材料加热时,不易变形;
- (3)材料的渗透气体量不能超过允许值;
- (4)材料表面容易抛光。

单晶炉真空炉室经常工作在高温状态下,有冷却水进行冷却,并不断经受着交替的受力变形,因此,必须选择耐高温,抗腐蚀,可焊性好,强度高的材料。从这些要求出发,选用进口304L不锈钢材料做为真空炉室的内壁,外壁选用Δ0Cr18Ni9Ti不锈钢材料。

2.2 真空炉室的结构设计

针对真空炉室在实际工作过程中受热情况和受力情况的复杂性及对其真空度、漏气率、长期稳定性等要求。在设计真空炉室时,充分考虑了其受力情况、热变形情况及长期工作稳定情况,将炉底和炉盖设计成双层水冷夹层的椭圆封头式结构,炉筒部分设计为

双层水冷夹层的圆筒式结构,从而提高真空炉室受外压时的稳定性(同时将炉盖上的长观察窗设计为田径跑道式,减少长方形观察窗所产生的直角应力,提高炉盖的稳定性),真空炉室结构图如图1。

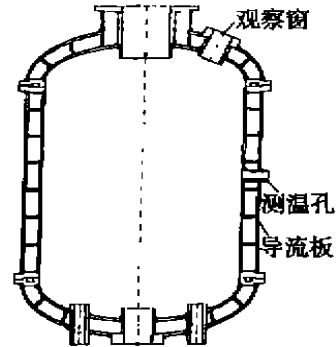


图1 真空炉室结构

炉室内外壁板厚的确定:

已知:炉室内径 $D_B = \varnothing 800 \text{ mm}$

圆筒形炉筒高 $L = 1000 \text{ mm}$

冷却水压力 $P_0 = 0.2 \text{ MPa}$

炉室外压设计压力 $P = 0.3 \text{ MPa}$

①圆筒内壁只承受外压,按稳态条件计算,其壁厚为:

$$S_0 = 1.25 D_B \left(\frac{P}{E_t} \cdot \frac{L}{D_B} \right)^{0.4}$$

式中: S_0 —圆筒内壁计算壁厚

D_B —圆筒内径

L —圆筒高度

P —外压设计压力

E_t —材料温度为 t 时的弹性模量

$$E_t = 1.4 \times 10^5 \text{ MPa}$$

$$\text{则 } S_0 = 1.25 \times 800 \times \left(\frac{0.3}{1.4 \times 10^5} \cdot \frac{1000}{800} \right)^{0.4} = 2.08 (\text{mm})$$

考虑到钢板的尺寸偏差 C_1 , 腐蚀裕度 C_2 , 则圆筒内壁的实际壁厚为:

$$S = S_0 + C_1 + C_2 = 2.08 + 0.5 + 1 = 3.58 (\text{mm})$$

取 $S = 5 \text{ mm}$

同样取圆筒形炉筒外壁壁厚为 4 mm

②椭圆形封头板厚的确定

椭圆形封头内壁板厚的设计计算:

$$S = \frac{1.7PD_B}{4[\alpha]\gamma P} \cdot \frac{D_B}{2h_B} + C$$

式中:

$[\alpha]$ —材料许用应力, $[\alpha] = 130 \text{ MPa}$

h_B —封头凸出部分内边高度

$$h_B = 220 \text{ mm}$$

γ —焊缝系数: $\gamma = 0.7$

D_B —封头球形部分内半径,

$$D_B = 770 \text{ mm}$$

P —外压设计压力, $P = 0.3 \text{ MPa}$

C —补偿系数, $C = 2.2$

则 $S = 4.1 \text{ mm}$

考虑到椭圆封头的受力情况及受热情况,取内壁壁厚为6 mm,外壁厚为4 mm。

在实际工作过程中,炉盖上法兰安装副炉室及传动部件。因此,炉盖还应具备承重功能,考虑到这方面的影响,炉盖颈内内壁采取安放插入复合加强方式,外壁采用安放式,以便提高其承载能力。为了炉盖、炉筒开启关闭时保证一定的重复精度,炉盖与炉筒、炉筒与炉底之间设计有定位止口。为了确保真空炉室的真空度要求及长期的高温状态下的稳定性,真空炉室内壁均采用双面焊接结构,炉筒外壁及炉颈外壁设计为两瓣对合结构,以保证内壁双面焊工艺的实现。同时为保证整个真空炉室受热均匀,炉盖、炉筒、炉底的水冷夹层中设置有导流板,使冷却水按照一定的规律流动,保证真空炉室各部分冷却均匀,无冷却水死点,从而达到均匀受热,均匀变形,提高了真空炉室的使用寿命。冷却水水流情况如图2。

炉盖、炉筒、炉底之间的密封形式采用40°角梯形槽式密封结构,密封圈选用氟橡胶O型圈,压缩量按25%设计。

2.3 真空炉室的制造工艺

由于单晶炉在使用过程中的实际情况,对真空炉室的稳定性要求很高。因此,就必须在制造工艺过程中进行认真地考虑,制定

严格的加工工艺。首先,在焊接时,对所有焊缝要进行严格的焊前清理工作,去掉焊缝处的油污及其它污物,焊接时,控制焊接电流,先进行打底焊,后进行成形焊。并采取对称焊,断续焊等工艺,减小焊接变形,由于真空炉室的焊接点多,焊缝长,这就使得焊成的真空炉室存在着应力集中,变形不均等现象从而影响其稳定性,为了消除应力集中及减小变形,在焊接完成后,进行了振动时效和热处理实效,从而消除应力集中,减小了变形,改善了真空炉室的性能。另外,为了美观及提高强度,对真空炉室外表面进行了喷砂、喷丸处理,保证了真空炉室美观大方,经久耐用。

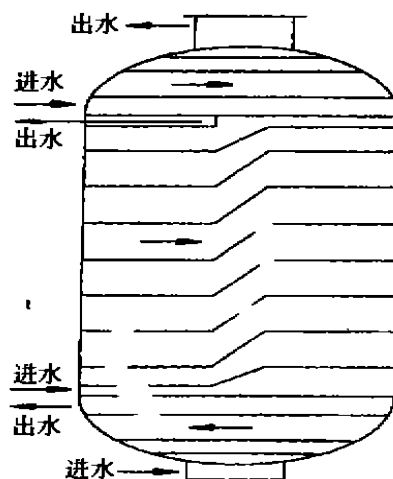


图2 真空炉室冷却水流动示意

3 结束语

我们设计的这种真空炉室,已成功地应用在TDR-70型单晶炉上,经过用户几年的使用,能很好地满足连续稳定生长无位错硅单晶材料的需要,得到了广大用户的好评。

参考文献:

- [1] 达道安,李旺套.真空设计手册[M].北京:国防工业出版社,1986.15-28.
- [2] 西安理工大学.TDR-70型单晶炉使用说明书[R].西安:西安理工大学,1997.