

# 利用导热油循环冷却还原炉节能降耗<sup>\*</sup>

徐远林

(峨嵋半导体材料厂(所),峨眉山 614200)

**【摘要】**本文讨论和叙述了导热油循环冷却的综合利用,导热油循环冷却与自来水冷却多晶硅还原炉在节能降耗方面的比较,以及导热油循环冷却与提高多晶硅质量的关系。

**【关键词】**节能降耗;导热油;循环冷却;还原炉

## Economizing Electricity and Raw Materials by Utilizing Heat Conduction Oil Cycl-cooling Reduction Furnace

Xu Yuan-lin

(*Emei Semiconductor Materials Factory(Institute), Emeishan 614200, China*)

**Abstract** Comprehensive utilization of heat conduction oil cycl-cooling, heat conduction oil cycl-cooling comparing with water cooling of polysilicon reduction furnace in economizing electricity and raw materials, relationship between heat conduction oil cycl-cooling and improving the polysilicon quality are discussed and narrated in this paper.

**Key words** economizing electricity and raw materials; heat conduction oil; cycl-cooling; reduction furnace

## 1 概 述

能源是保证生产、发展生产、保证人民生活的物质基础,它提供工农业生产和人民生活所需要的各种能量。因此,能源的合理利用和开发,对国民经济和人民生活具有重大意义。世界各国的经济与技术发展显示,生产越发展,机械化、自动化、电气化的程度越高,能源的需要量就越多。实践表明,在一定的技术条件下,一个国家的国民生产总值和能源消耗量基本上成正比例。

随着国民经济和半导体硅材料工业的发展,我国能源的消耗也在不断增加,因此,能源是一个很突出的矛盾。我国的能源利用率仅为 28% 左右,而一些欧洲国家可达 42%,日本竟达 50~

57%<sup>[1]</sup>,因此我国节能的潜力很大,节能应是我国经济和社会发展的一项长远战略方针。我们要把节能和企业的技术改造,加强管理紧密结合起来,注意资源的综合利用和再生资源的利用。对我们来说如何降低能耗,提高能源利用率,是一个必须解决而又可能解决的问题。

## 2 节能降耗的途径

能源对于半导体材料工业的发展尤其重要,这是因为在其基础材料多晶硅的制备过程中要消耗大量的能源。以我厂为例,多晶硅是制备单晶硅的主要原料,多晶硅的制备经历了从初级原料加工、合成、氯化、蒸馏提纯、还原等一系列化学、物理变化过程,其中消耗了大量的水和电能资源。

\* 收稿日期:2002-06-20

国外先进厂家每公斤多晶硅直接耗电 110 ~ 220kWh,国内一般每公斤多晶硅直接耗电 500kWh 左右,其中有 95.9% 以上的热量被还原炉冷却水带出<sup>[2]</sup>,这部分热量不能利用,白白浪费掉。

降低能耗的途径为:1. 工艺流程的改进;2. 设备的改进;3. 过程控制的改进;4. 燃烧技术的改进;5. 炉体的绝热和保温措施的改进;6. 回收余热,提高热效率。

随着国民经济和半导体材料工业的发展,我国能源的消耗也在不断增加。为节约能源,大幅度降低多晶硅生产成本,我厂与北京有色冶金设计研究院合作,共同进行了导热油循环冷却还原炉节能试验,经过双方的共同努力,试验获得了圆满成功,还原炉直接节电可达到 7 ~ 9%,二次能源的利用效果也很可观。以我厂为例,在还原炉节能降耗工作上经历了三个阶段,最初采用冷却水直接冷却还原炉,控制其进出口水温(以还原炉壁不结垢为宜),第小时总用水量 160 吨,年耗水 46.7 万吨。

第二阶段,为节约用水采用循环水冷却还原炉,投入冷却水塔四套,每小时耗软水 2 吨,节约了大量的水。但费了电,水带出的热无法利用,只好被风机排入空中。

第三阶段,采用导热油后除还原炉直接节电 7 ~ 9% 外,还将导热油带出的热量用于加热精馏塔釜(原用电加热),利用余热锅炉生产蒸汽用于生产和生活,每小时产生蒸汽约 2 吨,二次能源得以充分利用,达到了节能降耗的目的。

### 3 导热油循环冷却能量传递特点

还原炉是生产多晶硅的主要设备,经过提纯的 SiHCl<sub>3</sub> 与高纯 H<sub>2</sub> 混合气由喷气管进入还原炉,在电器控制下使载体表面温度维持 ~ 1080 。还原炉内多晶硅棒的热量损失,一是通过硅棒和炉壁间的相互辐射和反射方式进行,大部分热量从高温硅棒传向低温炉壁,这是主要的;二是气体被加热带走部分热量。相互辐射的能量可根据蒂芬—波尔茨曼定律<sup>[3]</sup>来计算。

$$Q = CA \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \dots\dots\dots (1)$$

式中:Q ——硅棒和炉筒内壁辐射传热量

C ——总辐射系数(黑度系数)

——几何因数(角系数)

T<sub>1</sub> ——硅棒表面的绝对温度

T<sub>2</sub> ——炉筒内壁的绝对温度

A ——硅棒辐射的有效面积

从式(1)可以看出,辐射传热量与炉筒内壁黑度系数,硅棒辐射有效面积和硅棒绝对温度的四次方与炉筒内壁绝对温度的四次方的差值成正比。在还原炉操作程序及工艺条件均与水冷却相同条件下,要想降低辐射传热量,就必须提高还原炉筒内壁温度,降低硅棒绝对温度与炉筒内壁绝对温度差值。在实际生产过程中,要提高炉筒内壁温度,就要提高炉筒内壁冷却介质的温度。在国内,传统的冷却介质是水,其出口温度不能高于 100 ,一般 < 45 。因此,只有寻找一种新的冷却介质,在较高的温度下稳定运行,才能达到降低辐射热损失,降低还原炉电耗的目的。所以使用导热油循环冷却还原炉是一个节能降耗的有效途径。

### 4 导热油循环冷却系统的节能降耗

#### 4.1 用导热油比用水冷却还原炉更节能

多晶硅还原炉是高耗能设备,硅棒的沉积需要电能,而炉筒及底盘、电极需要冷却。我所 1989 年曾开展还原炉导热油循环冷却试验,我们选择还原炉及其工艺条件、操作程序均与冷却水相同,即还原炉筒内壁黑度系数,硅棒辐射有效面积和硅棒表面温度 (~ 1080 ),在导热油循环冷却和水冷却条件下其值均相同。那么导热油循环冷却时传热量与水冷却时传热量的比值可用下式表示:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\left( \frac{1080 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_2 + 273}{100} \right)^4}{\left( \frac{1080 + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{t_1 + 273}{100} \right)^4} \dots\dots\dots (2)$$

式中:t<sub>1</sub> ——水冷却时还原炉筒内壁温度

t<sub>2</sub> ——导热油循环冷却时还原炉筒内壁温

度

$Q_1$  ——水冷却时被水带走的热量

$Q_2$  ——导热油循环冷却时,被导热油带出的热量

由式(2)可计算还原炉炉筒内壁不同温度下辐射传热量的比值。

表1 还原炉筒内壁不同温度传热量比值<sup>[4]</sup>

	500	550	600	650	700	750	800
200	0.910	0.880	0.844	0.801	0.751	0.693	0.625
150	0.905	0.875	0.839	0.797	0.747	0.689	0.622
100	0.902	0.872	0.836	0.794	0.744	0.686	0.619

由表1计算可看出,水冷却还原炉筒内壁温度变化(200 以下),对辐射传热量影响不大。当采用导热油循环冷却时,还原炉筒内壁温度的提高,对辐射传热影响较大,通过试验,调节导热油进出口温度,可使导热油带出的热量只占水冷却时带出热量的~91%左右。即采用导热油循环冷却还原炉,可使多晶硅还原直接电耗降低7~9%。实际上由于炉壁温度的提高,炉内壁表面更光洁,黑度系数降低,其节电效果会更好。

#### 4.2 导热油循环冷却还原炉降低单耗

4.2.1 采用导热油循环冷却,还原炉炉筒温度提高,使炉内热场分布较均匀,改善硅棒椭圆度和直径均匀性,提高了多晶硅的产品质量。

4.2.2 半导体硅材料的电阻率和温度成反比,炉筒温度提高,还原炉启动时,高压设备可在较低电

压下击穿非掺杂的高阻硅芯,提高了开炉成功率。

4.2.3 导热油提高炉筒温度,使得周围环境干燥,对生产有利,避免了水冷却炉特别是夏天天气潮湿,启炉时经常拉弧,损坏设备等不稳定因素。

综上所述,笔者认为导热油循环冷却系统在多晶硅生产中的应用,不仅降低能耗,同时又降低多晶硅的单耗,提高产品质量,为我国半导体材料工业能源综合利用起到了积极推动作用。当然与国外先进国家相比还有一定差距,我们必须进一步采取措施开源节流,更好的节能降耗。如四项技术:SiCl<sub>4</sub> 氢化、H<sub>2</sub> 干法回收、大型节能还原炉、导热油循环冷却系统等都是节能降耗的措施,相信不久的将来我们一定会赶上或超过发达国家的先进能耗水平。

#### 参考文献

- 【1】冶金工业企业管理(试用教材)第三册(内部发行)
- 【2】多晶硅炉能平测试报告,1988年
- 【3】上海化工学院等.化学工程(第二册).北京:化学工业出版社,1983年
- 【4】导热油循环冷却还原炉试验报告,1990年



作者简介:徐远林(1963—),男,工程师。1984年毕业于重庆钢铁专科学校冶金机械专业。一直从事多晶硅设备管理工作,参加了国家计委年产100吨多晶硅工业试验线项目的设计、安装、调试工作。

## 四川四项“九五”国家重点稀土科技项目通过鉴定

稀土镧玻璃、稀土电子陶瓷材料、镧锆铈新型混合稀土金属及合金、粘结钕铁硼及永磁器件四项“九五”国家重点科技攻关项目于2002年1月23日在成都通过鉴定,截止去年底,这四项稀土产品共完成产值1亿9千万元。

这四项课题是由四川良友稀土金属有限公司、成都光明器材厂、成都宏明电子科大新材料有限公司、国投红光有限公司四家承担研究攻关,其产品性能技术指标和产量及经济指标都超额完成。稀土镧玻璃项目已建成了国内惟一的镧玻璃速熔生产线,填补了国内空白,稀土电子陶

瓷材料生产技术和产品质量均属国内领先,已实现了产业化。该项目还获得部、省科技进步二等奖。镧锆铈新型混合稀土金属及合金生产工艺技术经济指标国内领先,已申请具有自主知识产权专利两项。“粘结钕铁硼及永磁器件”项目还成功开发了计算机辅助模具设计参数快速确定子系统和关键设备,创造性解决了产业化生产中技术瓶颈的问题。通过鉴定,这四项科研课题通过鉴定,将有利于四川稀土资源优势的综合利用。

(原载《四川稀土》2002—1)