

文章编号: 1005-2046(2010)04-0167-04

我国改良西门子法多晶硅生产技术进展

严世权¹, 叶芸华²

(1. 上海市有色金属学会, 上海 200070; 2. 上海九〇一厂, 上海 201600)

摘要: 简述了近几年我国改良西门子法多晶硅的技术进展, 列出了大部分已建和在建多晶硅厂(公司)。文中给出了多晶硅产量、电能单耗和 SiCl_4 热氢化的一些数据, 并指出当前生产中存在的一些问题。

关键词: 改良西门子法; 多晶硅; 一次转化率; 生产

中图分类号: TN304.1⁺2 **文献标识码:** B

Progress of Modified Siemens Technology for Producing Polycrystalline Silicon in China

YAN Shi-quan¹, YE Yun-hua²

(1. Shanghai Society of Nonferrous Metals, Shanghai 200070, China;
2. Shanghai No 901 Factory, Shanghai 201600, China)

Abstract: The progress of the modified Siemens technology for producing polycrystalline silicon in China during the recent years was reviewed. Factories using the technology were listed with the data for their outputs, unit electric consumptions and hydrogenation of SiCl_4 given. Meantime, problems existing with the production were pointed out.

Key words: modified Siemens technology; polycrystalline silicon; one-time conversion rate; production

0 前言

国内研究多晶硅制备工艺技术始于1958年, 1950年建厂生产多晶硅。当时采用 SiCl_4 氢还原工艺, 大约1964年改为 SiHCl_3 氢还原法(西门子法)生产多晶硅。其后的四十年中, 年产量一直徘徊在百t以下(唯有1985年创历史记录117.6t)。而近几年在新兴光伏产业强劲市场需求的拉动下, 众多投资者、国企、民企(公司)加入了多晶硅产业大军, 建设多晶硅厂(公司), 生产多晶硅产品。2006年多晶硅产量突破历史

记录达到289t, 2007年产量突破千t, 2009年突破万t, 进入世界多晶硅生产大国的行列中, 逐步改变了我国多晶硅供应主要依赖国际市场的局面。本文就我国改良西门子法多晶硅生产技术的进展作一些描述。

1 我国第一家千t级多晶硅厂起了示范作用

2000年12月国务院批准, 2001年1月正式发文建设我国第一家千t级多晶硅厂, 即现在的四川新光硅业科技有限责任公司(新光硅业)。

收稿日期: 2010-06-28

作者简介: 严世权(1938-), 男, 高级工程师, 主要从事半导体材料的研究。Tel: 15921197038, E-mail: sqyan901@yahoo.com。

该公司采用俄罗斯稀有金属研究设计院的改良西门子法多晶硅工艺技术,并且和国内中国成达工程公司联合设计。项目采用俄罗斯 9 对棒还原炉,并引进德国 12 对棒还原炉,美国 CDI 公司的还原尾气干法回收系统(国内称 CDI),俄罗斯 SiCl_4 热氢化技术和装置。该厂于 2007 年 2 月生产出第一炉多晶硅,当年顺利投产。一座年产 1260t、国内最先进的多晶硅厂矗立在乐山市高新区,给拟进入此行业的投资者、国企领导、民营企业经营者以信心,在一定程度上打消了跨越多晶硅技术门槛的疑虑,起到了示范作用。该厂建设过程中所开辟的引进技术和设备的渠道,

为后来者省却了寻找途径的时间,为快速上马多晶硅项目奠定了基础。我国在设计建设多晶硅厂的同时,一些外国设备制造公司、工程公司和技术公司也相继进入国内,甚至有的公司参与设计和建厂工作。中外交流有助我国尽快提升多晶硅的生产技术水平。

2 建厂进展及其产能产量

2.1 建厂进展

表 1 是我国部分多晶硅公司(厂)及其产能产量^[1]。

表 1 我国部分多晶硅公司(厂)的产能产量

序号	公司名称	已建成能力/t	正在建设能力/t	2008年产量/t	2009年产量/t(预计)	工厂地址
1	四川新光硅业科技有限责任公司	1 260		810	950	四川乐山
2	徐州中能科技发展有限公司	10 000		1 900	7 400	
3	江西塞维 LDK 太阳能多晶硅有限公司	6 000	10 000		400	江西新余
4	洛阳中硅高科有限公司	3 000	2 000	823	2 200	
5	四川永祥多晶硅有限公司	1 000	3 000	160	700	四川乐山五通桥
6	乐电天威硅业科技有限公司	3 000			50	四川乐山
7	东汽峨眉半导体材料厂	2 200	1 500	500	650	
8	重庆大全新能源有限公司	3 300		60	2 400	
9	内蒙古神舟硅业有限责任公司	1 500	3 000		200	内蒙古呼和浩特
10	天威四川硅业有限责任公司	3 000			50	四川新津
11	四川瑞能多晶硅材料公司	3 000			80	
12	林州中升半导体硅材料有限公司	3 000		206	80	
13	宜昌南玻硅材料有限公司	1 500			350	
14	特变电工新疆硅业有限公司	1 500			80	新疆乌鲁木齐
15	宁夏阳光硅业有限公司	1 500			300	宁夏石咀山
16	陕西天宏硅材料责任有限公司	1 250	2 500		30	
17	无锡中彩集团有限公司	800		200	800	
18	江苏特华科技公司	300			360	江苏盐城
19	江西景德半导体新材料有限公司		1 500			
20	江西晶大半导体材料有限公司	200	800		80	
21	亚洲硅业有限公司	2 000			400	青海西宁
22	雅安永旺硅业有限公司	600			600	
23	昆明冶金集团新材料股份公司多晶硅项目		3 000			云南曲靖
24	云南名水硅业有限公司		1 500			云南昆明
25	江苏顺大电子材料科技有限公司	1 500	1 500		700	
26	宁夏国电太阳能多晶硅公司		3 000			
27	山西潞安高纯硅业科技有限公司		2 500			
28	内蒙古鄂尔多斯多晶硅有限公司		3 000			
29	浙江协成硅业公司		1 000			浙江乍浦
30	内蒙古晶阳能源有限公司		3 000			内蒙古鄂尔多斯
31	连云港中彩科技有限公司		2 000			

2010 年 3 月第六届中国太阳级硅及光伏发

电研讨会报道^[2]: 我国 2009 年已建成 24 家改良

西门子法多晶硅厂(公司),正在建设中的厂28家,共有52家,其中部分厂的设计产能列于表1。现已投产的厂设计年生产能力共计44 000t,正在建设中的厂设计年生产能力共计68 000t,两者合计112 000t。正在建设中的厂包括了世纪新源流化床粒状硅(设计年生产能力2 000t)、华轩光伏

流化床粒状硅(1 000t/年)、中宁硅业新硅烷法(1 500t/年)和六九硅业新硅烷法(3 000t/年)。

2.2 近十年我国多晶硅产量

表2是2000~2010年我国多晶硅产量与预测^[3,4]。

表2 2000~2011年我国多晶硅产量与预测(E)

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
产量/t	83.5	80.0	75.8	88.3	67.0	95.0	287	1 136	4 729	20 000 (E)	35 000 (E)	45 000 (E)

3 已取得的一些技术进步

3.1 主要改良西门子法多晶硅工艺设备实现了自主设计制造^[2,4]

主要改良西门子法多晶硅工艺设备实现了自主设计制造:

自主设计制造的SiHCl₃合成炉单台设备年产量达5 000t;可自主设计制造高效大型SiHCl₃精馏塔;自主设计制造工作压力0.6MPa 12对棒、24对棒还原炉及其相应的电气系统;自主设计制造24对加热器的SiCl₄热氢化炉,已在生产中应用;独立自主开发的SiHCl₃氢还原尾气变压吸附回收系统已在生产中试用。

3.2 工艺技术方面取得重要成果

改良西门子法多晶硅的质量主要取决于提纯的SiHCl₃所达到的质量水平。2005年9月新光硅业前总经理陈绍章在北京召开的多晶硅材料“十一·五”科技发展战略研讨会上报道,除采用高效精馏塔精馏提纯外,引进了湿氮除硼技术^[2]。2010年3月乐山市人民政府在《乐山硅材料及光伏产业》招商资料中介绍新光硅业多晶硅是国家发改委批准的唯一一家国家级多晶硅高技术产业化示范项目,拥有七项改良西门子法核心技术,其中第一项是湿氢除杂质和湿氮除硼技术。这就是说提纯工艺不是单纯的精馏工艺。过去在提纯工艺中着重于除硼化物、磷化物和金属化合物,而今还对除碳化物(如二甲基氯硅烷)也非常重视,普遍采用了加压精馏工艺提高产量和节能。

SiHCl₃氢还原工艺改常压为一定压力下操

作,增加了H₂和SiHCl₃的流量。还原沉积之硅棒直径每小时增长量由过去的0.35~0.5mm增加到现在的1~2mm。12对棒还原炉产量大约2 000kg/炉,个别炉次甚至达3 400kg/炉,24对棒还原炉产量个别炉次超过4 000kg/炉。2009年7月(内蒙古)中国太阳级硅及光伏发电研讨会^[4]和文献^[2]报道,我国多晶硅生产(改良西门子法)全厂综合电耗不断下降,2005年平均电耗300~400kWh/kg硅,降低到目前200kWh/kg硅,部分骨干企业能耗指标已接近国际先进水平160~180kWh/kg硅。据笔者了解,目前还原电耗已降低到60kWh/kg硅。

文献^[4]报道,对引进的SiCl₄热氢化技术和设备作了进一步的试验研究、调整工艺参数和改进设备。热氢化单台炉SiCl₄的处理能力为750kg/h, SiCl₄的一次转化率≥20%,电耗指标55.23kWh/kg硅,系统连续稳定运行。低温氢化,单台氢化炉的SiCl₄处理能力>5 000 kg/h, SiCl₄的一次转化率≥20%,电耗指标≤10kWh/kg硅,系统连续稳定运行。较大的多晶硅厂普遍采用CDI公司的还原尾气干法回收系统。SiCl₄、HCl和H₂回收率在95%以上,改良西门子法多晶硅生产中附产物有的地区将其作原料生产白炭黑,低沸物SiHCl₃则用来生产有机硅单体。

4 存在问题与解决途径

4.1 重产量有余,抓质量尚且不足

不少多晶硅厂认为晶体硅太阳能电池对多晶硅质量要求低,从而在生产过程中过多追求产量。

光伏行业要生产光电转换效率高的晶体硅太阳能电池必须要有一定质量水平的多晶硅, 少子寿命才可能提高。德国 Wacker 公司的太阳级硅的质量指标比我国太阳级多晶硅国标讨论稿中的质量指标高得多, 甚至部分指标与 GB/T12963-2009 多晶硅质量指标水平相当。目前国内已经出现个别光伏用单晶硅及硅片上市企业只用国外多晶硅大公司产品的情况, 国内多晶硅企业要高度重视此现象。只有多晶硅产品质量高(即符合下游企业质量要求), 成本低, 才有竞争力。随着我国兴建多晶硅厂陆续投产、达产, 产量持续增加, 我国多晶硅卖方市场将很快过渡到买方市场。产品质量低, 成本又比较高的企业将可能出现生存危机。

4.2 选址不当不利于降低产品成本

多晶硅是下游企业单晶硅和铸锭多晶硅厂的原料, 作为原料必须做到在确保下游企业要求的质量水平前提下, 尽可能降低单位产品生产成本, 上下游产品才能协调发展。我国多晶硅单位产品成本组成有三大块: 一是电费; 二是固定资产折旧费; 三是原辅材料消耗费用。首先, 工厂要建在电价低廉的地方, 再选择在综合性化工区建厂, 就可以做到电费低, 投资省折旧低, 辅料费用低。作者参加的 2006 年上海市科委太阳能专项《万吨级太阳能硅发展规划》调研报告中提出, 多晶硅厂宜毗邻氯碱电化厂和有机硅厂建设。在此模式中, 多晶硅厂可利用电化厂的副产物氢气(相当部分当废气放空)和碱性废水, 同时利用有机硅厂的 HCl(废盐酸解吸), 其副产品 SiCl_4 高沸物和低沸物残液又可售与有机硅厂作原料。这种模式建厂可省却电解制 H_2 设备与厂房, HCl 合成设备与厂房的投资, 而且辅料价格低廉, 有利于降低单位多晶硅产品的成本。

4.3 加强技术研究和推广应用

我国已经引进了不少先进技术和设备, 应以

此为基础开展研究工作, 纳入国家有关计划, 项目取得之成果应加快推广应用。因为是国家拨款, 推广应用时收费要适当, 以尽快提升我国多晶硅生产的整体水平。

4.4 可到国外建多晶硅厂

我国是能源生产和消费大国, 但国民拥有各种资源(化石燃料)平均水平都低于世界平均水平^[5]。目前石油进口依存度已达 50%, 煤炭年进口量达亿 t, 而多晶硅耗电较多, 所以当我国多晶硅生产技术成熟后可到电价比国内低廉的国家建厂, 产品运到国内应用, 既利国又利民。

5 小结

近几年我国兴建了数十家多晶硅厂, 产量增长迅速, 2009 年进入了世界多晶硅生产大国的行列。工艺技术和规模生产方面取得了显著进展, 但是仍需加强工艺技术和设备开发工作, 以进一步提升我国多晶硅生产技术水平。企业要在满足下游企业质量要求的前提下提高产量, 并且进一步降低单位产品成本, 多晶硅厂才可能持续发展。

参考文献:

- [1] 石定寰, 赵玉文, 吴达成. 大力发展太阳能光伏发电关键材料力促我国实现节能减排目标 [J]. 新材料产业, 2010, (3): 4-6.
- [2] 工业和信息化部电子司. 第六届中国太阳级硅及光伏发电研讨会论文集 [C]. 2010.
- [3] 陈绍章. 多晶硅材料“十一·五”科技发展战略研讨会论文集 [C]. 2005.
- [4] 袁桐. (内蒙古)中国太阳级硅及光伏发电研讨会论文集 [C]. 2009.
- [5] 江泽民. 对中国能源问题的思考 [J]. 上海交通大学学报, 2008, (3): 349.

我国改良西门子法多晶硅生产技术进展

作者: [严世权](#), [叶芸华](#), [YAN Shi-quan](#), [YE Yun-hua](#)

作者单位: [严世权, YAN Shi-quan\(上海市有色金属学会, 上海, 200070\)](#), [叶芸华, YE Yun-hua\(上海九〇一厂, 上海, 201600\)](#)

刊名: [上海有色金属](#)

英文刊名: [SHANGHAI NONFERROUS METALS](#)

年, 卷(期): 2010, 31(4)

参考文献(5条)

1. [工业和信息化部电子司](#) [查看详情](#) 2010
2. [石定寰;赵玉文;吴达成](#) [大力发展太阳能光伏发电关键材料力促我国实现节能减排目标](#)[期刊论文]-[新材料产业](#) 2010(03)
3. [江泽民](#) [对中国能源问题的思考](#)[期刊论文]-[上海交通大学学报](#) 2008(03)
4. [袁桐](#) [查看详情](#) 2009
5. [陈绍章](#) [查看详情](#) 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_shysjs201004004.aspx