

单晶硅产业技术经济综合分析

■ 文/张文毓

中国船舶重工集团公司第七二五研究所

硅是全球第一产业——电子信息产业以及新能源产业——太阳能电池产业的基础材料,硅材料产业的发展制约着信息产业尤其是光伏产业的发展,同时硅材料产业的未来也与信息产业和光伏产业密切发展相关。全球性电子信息技术的高速发展带动了硅材料工业的发展。随着世界半导体制造业的重新布局、亚洲经济的复苏以及我国国民经济的持续高速发展,我国半导体制造业已经迅速发展壮大,这为我国硅材料产业提供了新的发展机遇,硅片市场迅速扩张。

在日常生活中,单晶硅是电子计算机、自动控制系统等现代科学技术中不可缺少的基本材料,电视、电脑、冰箱、电话、手表汽车处处都离不开单晶硅材料,单晶硅作为科技应用普及

材料之一,已经渗透到人们生活的各个角落。同样,单晶硅也是航天飞机、宇宙飞船、人造卫星必不可少的原材料。人类在征服宇宙的征途上,所取得的每一步进步都有着单晶硅的身影,航天器材大部分的零件都要以单晶硅为基础,离开单晶硅,卫星会没有能源,没有单晶硅,航天飞机和宇航员无法和地球取得联系,单晶硅作为人类科技进步的基石,为人类征服太空作出了不可磨灭的贡献。

单晶硅电池是由高质量单晶硅材料制成的,现在单晶硅电池的制作工艺已近成熟,一般都采用表面织构化、发射区钝化、分区掺杂等技术,开发的电池主要有平面单晶硅电池和刻槽埋栅电极单晶硅电池。光伏电池技术进步是降低光伏发电成本、促进光伏产业和市

场发展的重要因素。在光伏技术和微小半导体逆变器技术飞速发展的今天,利用单晶硅所生产的太阳能电池可以直接把太阳能转化为光能,实现了迈向绿色能源革命的开始,单晶硅太阳能电池是目前最成熟、最稳定、最可靠、应用最广的太阳能电池,其光电转换效率最高(24%),但成本也最高。

现在,国外的太阳能光伏电站已经到了理论成熟阶段,正在向实际应用阶段过渡,太阳能单晶硅的利用将普及到全世界范围,市场需求量不言而喻^[1]。因此,单晶硅具有广阔的应用领域和良好的发展前景。

一、单晶硅产业技术分析

单晶硅作为现代信息社会的关键性支撑材料,可以说是目前世界上最

重要的单晶材料之一,国内对硅材料需求旺盛,年增长率为22%,但国内目前只能满足6英寸(150mm)以下硅片需求量的30%,8英寸及其以上尺寸硅片100%依赖进口。从芯片尺寸上看,国内太阳能电池用硅片主要以6英寸为主;8英寸硅片用量次之;3英寸、4英寸、5英寸硅片用量则相对较少;而12英寸硅片目前还集中在半导体领域中,太阳能领域还没有应用^[2]。直径越大的圆片,所能刻制的集成电路越多,芯片的成本也就越低,但大尺寸晶片对原材料和控制技术的要求也越高。

目前生长单晶硅的工艺主要采用直拉法(CZ)、磁场直拉法(MCZ)、区熔法(FZ)以及双坩埚拉晶法,CZ、FZ和MCZ单晶各自适用于不同的电阻率范围的器件,而MCZ可完全代替CZ,可部分代替FZ。全球电子工业用CZ单晶硅约占单晶硅总用量的80%,FZ单晶硅约占15%,硅外延片(EPI)约占5%^[3]。直拉法、区熔法用于生长单晶硅棒材,直拉法生长的单晶硅主要用于半导体集成电路、二极管、外延片衬底、太阳能电池,晶体直径可控制在3~8英寸;区熔法单晶主要用于高压大功率可控整流器件领域,广泛用于大功率输变电、电力机车、整流、变频、机电一体化、节能灯、电视机等系列产品,晶体直径可控制在3~6英寸。

二、单晶硅产业市场分析

从市场布局来看,硅片市场的国际化和生产垄断化已经形成。20世纪90年代末,日本、德国和韩国(主要是日、德两国)控制的8大硅片公司销量占世界硅片销量的90%以上,其中,日本信越、德国瓦克、日本住友、美国MEMC公司和日本三菱材料公司,这5家公司2001年硅晶片的销售总

额为42.73亿美元,占全球销售额的79.1%,而其中的3家日本公司占据了全球市场份额的50.7%,表明日本在全球硅晶片行业中占据了主导地位^[4]。

我国生产单晶硅所需要的多晶硅,90%尚需从国外进口;单晶硅产量虽然呈逐年稳步上升趋势,但跟国内巨大的市场需求相比,市场缺口仍然很大。

1. 单晶硅的产能产量

目前全世界硅片销售金额约60亿~80亿美元,每年消耗约18 000~25 000t半导体级多晶硅,消耗6000~7000t单晶硅。

以日本为例,据日本新金属协会硅分会统计,日本2008年单晶硅产量为8362t,同比增加1%,虽然远小于当初预计的13%的增长率,但由于300mm硅片比例增加,产量还是达到历史最高记录。2008年日本单晶硅销售量为8623t,比2007年减少8%,其中,日本国内需求为4287t,同比增加3%;出口为4336t,同比减少17%,出口比例从2007年的55.5%减少至50.3%,特别是亚洲地区硅需求急剧减少。并且,该日本新金属协会硅分会预测,日本2009年单晶硅产量为7940t,比2008年减少5%;需求为8190t,同比减少5%。这是由于受金融危机影响,半导体器件需求减少所致,其中,日本国内需求为4200t,同比减少2%;出口为3990t,同比减少8%,出口比例为48.7%,比2008年减少1.6%。

近年来,中国单晶硅产量明显稳步增长。“十五”期间,单晶硅的产量实现了30%以上的增长;2005年,中国单晶硅的产量达到2700t,其中半导体用约700t,太阳能电池用2000多t。在抛光片方面,“十五”期间我国半导体用硅抛光片平均增长超过19%,总用量达到2.2亿平方英寸^[5]。

2006年国内单晶硅总产量为3739.7t,总销售额约117.8亿元,其中半导体级单晶硅产量约551.4t,太阳能级单晶硅约3188.3t,太阳能级单晶硅占了总产量的85%。2006年,中国单晶硅棒的出口量为1177.40t,出口额为14 805.65万美元,出口额比2005年增长了8.1%;单晶硅切片出口数量为408.043t,出口额为20 356.69万美元,出口额比2005年增长了74.38%,总的出口额约3.5亿美元^[6]。2007年,中国单晶硅总产量达5819t,其中太阳能级单晶硅产量5158t,占总产量的88%,半导体级直拉单晶硅产量583t,区熔单晶硅产量79t^[7]。2008年,中国单晶硅总产量为5186t,其中太阳能级单晶硅产量4621t,占总产量的89%,半导体级直拉单晶硅产量505t,区熔单晶硅产量60t^[8]。随着近几年我国单晶硅产量以年均26%的速度增长,推算2009年中国单晶硅总产量约为6534.36t。

2. 单晶硅的需求

目前,全球有20多家先进的集成电路制造商,拥有多达50条12英寸生产线,如Intel、Infenion、TSMC、UMC、Samsung等,年需求12英寸硅片1500万片左右。由此可见,未来国内的12英寸硅材料市场将不断扩大,预计12英寸硅抛光片的年需求量将达到180万~240万片,市场前景十分广阔。

据预测,4英寸、5英寸集成电路用硅片市场用量将逐年下降;6英寸硅片市场容量不会再扩大,但下降速度不会很大;国内8英寸以上集成电路硅片因其技术含量高,将会处于持续增加状态,到2010年,我国8英寸以上(含8英寸)抛光硅片市场需求量将超过1000万片。

2006年,太阳能用6英寸硅片需求量为19.7亿平方英寸,占整体市场的54.4%;8英寸硅片需求量为13.1亿平方英寸,占整体市场的36.1%。虽然无论是太阳能市场还是半导体市场,硅片向大尺寸发展都是必然的趋势,但在未来5年内,太阳能市场仍将以6英寸硅片为主,预计2011年中国太阳能用硅材料市场需求量将达到249.9亿平方英寸,2007-2011年需求年均复合增长率将达到39.6%。

目前,国内单晶硅主要生产厂家有14家,主要有北京有研硅股、浙大海纳公司、洛阳单晶硅厂、上海晶华电子、浙江硅峰电子公司和河北宁晋单晶硅基地等。有研硅股在大直径单晶硅的研制方面一直居国内领先地位,先后研制出我国第一根6英寸、8英寸和12英寸单晶硅,单晶硅在国内市场占有率为40%。近几年来,单晶硅产量明显增长,增长的动力主要来自国际上对分立器件和硅光电池用低档和廉价硅材料需求量的增加。

硅材料市场前景广阔,中国单晶硅的产量、销售收入近几年递增较快,以中小尺寸为主的硅片生产已成为国际公认的事实,为世界和中国集成电路、半导体分立器件和光伏太阳能电池产业的发展作出了较大的贡献。

经济危机席卷全球,世界半导体制造业将重新布局,我国半导体制造业

将步入一个平稳发展期,单晶硅集成电路用硅片市场需求,将保持稳定,产能扩张不大,但技术更新步伐则加快。

三、我国单晶硅的发展建议

目前,我国硅材料行业与世界水平相比还存在相当大的差距,约相当于国际上20世纪80年代中期的水平,大约落后25年左右。我国单晶硅生产发展的制约因素,主要是缺乏优质多晶硅材料、性能优良的大单晶炉和一些关键技术。在大直径单晶硅的生长及硅片加工方面,我国还有许多国际先进技术尚未掌握,如单晶硅制备中的控氧技术、大直径单晶硅线切割技术、硅边缘抛光技术、硅片吸除技术、硅片大生产的计算机系统管理技术等。

随着硅材料制备技术的提高和集成技术的进步,硅片大直径化已成为当前单晶硅材料发展的显著特征和必然趋势。硅片直径的扩大可以大大提高半导体的性能,为器件厂提升生产效率、降低生产成本,带来显著经济效益。根据美国的15年半导体技术发展规划,预计到2010年,半导体集成电路(IC)最小线宽将达到 $0.07\mu\text{m}$,动态随机存储器(DRAM)达到64GB,微处理器(MPU)和应用型专用集成电路(ASIC)集成度分别达到90M晶体管/ cm^2 和40M晶体管/ cm^2 ,硅圆片尺

寸将采用16~18英寸。

目前,全球主流硅晶片已由8英寸逐渐过渡到12英寸,研制水平达到了16英寸;但我国太阳能电池硅片还是以6英寸占主流,主要产品为6英寸以下,8英寸少量生产,12英寸开始研制。目前,国外8英寸IC生产线正向我国战略性移动,我国新建和在建的8英寸IC生产线有近10条之多,对大直径高质量的硅晶片需求十分强劲,然而国内供给明显不足,基本依赖进口,我国硅晶片的技术差距和结构不合理可见一斑。在现有形势和优势面前,我国硅单晶和IC技术发展面临着巨大的机遇和挑战⁹⁾。①在单晶硅方面,目前国外硅材料公司把主要精力集中到效益更好的200mm和300mm硅片生产,而100~150mm的市场需求可能会逐步转向我国,我们应抓住这个市场机遇。②应发展直径为200~300mm的单晶硅,参与国际市场,也可为下步国内需求打好基础;③我国也应抓紧研制大型单晶炉,有了性能优良的大单晶炉自然就有了优质大单晶。

我国开发大直径高质量单晶硅及其硅片,应走引进技术和资金、走合资建设的道路,以我国巨大的市场来换取投资。这是因为大直径硅片工厂的建设需要先进的技术和大量的资金,只有寻求与国际知名的大公司合作,才是一条快捷的发展之路。■

参考文献

- [1]苑国良.河北晶龙:世界单晶硅的圣地.中国电子商情:基础电子,2006(4):68-70.
- [2]国内太阳能电池硅片6英寸占主流.互联网,2007-12-24.
- [3]蒋荣华,肖顺珍.半导体硅材料最新发展现状.半导体技术,2002,127(2):3-6.
- [4]半导体硅材料产业发展:2003年度. ISTIS,2006-10-26.
- [5]硅材料行业.互联网,2005-11-23.
- [6]电子信息材料:高附加值增加.pcbtn.com,2007-10-17.
- [7]电子材料:光伏领域最热 结构调整初显成效.互联网,2008-12-05.
- [8]2008年国内太阳能级单晶硅产量4621吨.中国电子元件行业协会,2009-08-11.
- [9]凌玲.半导体材料的发展现状.新材料产业,2003(6):6-10.