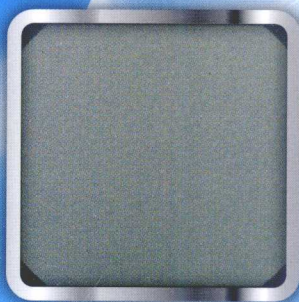
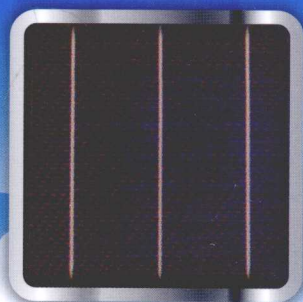
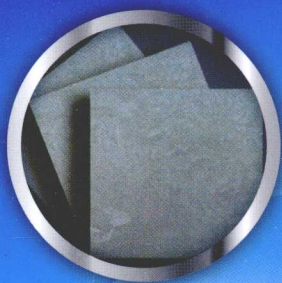
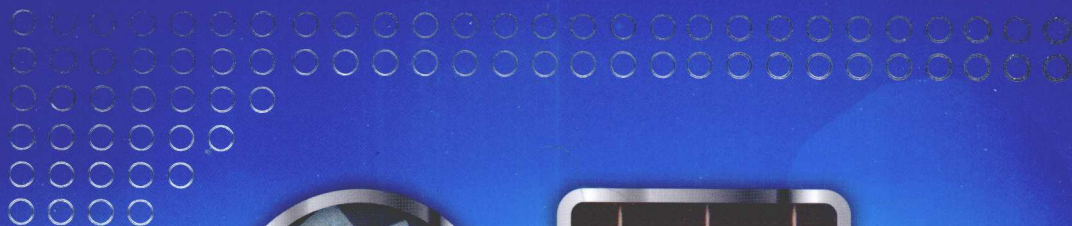




张厥宗 编著

GUIPIAN JIAGONG JISHU

硅片加工技术



化学工业出版社

硅片加工技术

张厥宗 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

硅片加工技术/张厥宗编著. —北京: 化学工业出版社, 2009. 7

ISBN 978-7-122-05690-0

I. 硅… II. ①张… III. 硅-加工 IV. TN305

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 079277 号

责任编辑: 丁尚林 王晓云

装帧设计: 周 遥

责任校对: 陈 静

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张 17¼ 彩插 2 字数 317 千字

2009 年 10 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

当今社会已经进入电子信息时代，微处理芯片的发明彻底改变了世界，微电子、信息技术的水平已被视为一个国家现代化水平高低的重要标志。

单晶硅（Si）材料是半导体工业的基础，在微电子信息（IC）产业和太阳能光伏（PV）产业中，从事半导体硅集成电路和半导体硅晶片加工领域的工程技术人员，都必须深入了解半导体硅材料的基本性质及其加工技术。

随着大规模集成电路技术的不断发展，目前 IC 技术已迈进了特征尺寸线宽小于 45nm 的纳米电子时代，对硅单晶、抛光片加工的技术要求也愈来愈高，其尺寸也将由直径 150mm（6in）、直径 200mm（8in）向直径 300mm（12in）发展。并且随着太阳能光伏产业的迅速发展，对太阳能电池用的硅晶片加工技术也有了新的要求。

国内外虽有一些关于半导体硅单晶的制备、性能和质量控制的研究及相关技术文献报道，但对有关半导体硅单晶抛光片及用于制备太阳能电池硅晶片的加工技术、质量控制等相关技术的综合、系统报道甚少，使得许多从事半导体硅晶片加工领域的工程技术人员，苦于无一综合、有系统的专业书籍以供学习参考之用。

为了满足广大科研、工程技术及企业管理人员的需要，编者已将自己多年来的一些工作体会，以及在国内看到的、学习得到的、所积累的有关半导体硅单晶抛光片加工技术方面的知识整理成《硅单晶抛光片的加工技术》一书。并结合太阳能电池用硅晶片的加工技术，对原《硅单晶抛光片的加工技术》一书中的内容进行了增删、重新整理，新编著了本书，以提供给致力于从事半导体硅晶片加工领域的工程技术人员、企业管理人员和在校学生参考，希望能起到抛砖引玉的作用。

本书在内容上采取由浅入深的方式，在介绍半导体硅的物理、化学性质等有关基本知识的同时，结合对微电子信息产业中、满足芯片工艺特征尺寸线宽小于 $0.13\sim 0.10\mu\text{m}$ IC 工艺用优质大直径硅单晶、抛光片的加工工艺、技术及所需的相关工艺设备等进行了全面系统的介绍。同时也对太阳能光伏产业中用于制备太阳能电池的硅晶片加工工艺、技术作了介绍。

本书在编写期间，不少朋友和同事提供了宝贵的意见和资料。书中还介绍了许多国内外著名的半导体行业公司、厂商的产品和相关行业标准，在此一并致谢！

由于编者水平有限，书中不足之处欢迎广大读者批评指正。

编著者
2009 年 6 月

目 录

第一篇 基础知识

第 1 章 概述	1
第 2 章 硅的物理、化学及其半导体性质	10
2.1 硅的基本物理、化学性质	10
2.2 半导体硅的物理、化学性质	12
2.2.1 半导体硅的晶体结构	12
2.2.2 半导体硅的电学性质	17
2.2.3 半导体硅的光学性质	21
2.2.4 半导体硅的热学性质	21
2.2.5 半导体硅的力学性能	21
2.2.6 半导体硅的化学性质	21
2.2.7 半导体材料的 p-n 结特性	23

第二篇 集成电路用硅晶片的制备

第 3 章 硅晶片的制备	29
3.1 对集成电路 (IC) 用硅单晶、抛光片的技术要求	29
3.2 半导体材料的纯度	32
3.3 控制硅片质量的主要特征参数及有关专用技术术语解释	33
3.3.1 表征硅片加工前的内在质量的特性参数	33
3.3.2 表征硅片加工后的几何尺寸精度的特性参数	33
3.3.3 硅片质量控制中几个有关专用技术术语	34
3.4 硅晶片加工的工艺流程	43
3.5 硅单晶棒 (锭) 的制备	49
3.5.1 直拉单晶硅的生长	49
3.5.2 区熔硅单晶的生长	57
3.6 硅晶棒 (锭) 的截断	60
3.7 硅单晶棒外圆的滚磨 (圆) 磨削	60
3.8 硅单晶片定位面加工	63

3.9	硅单晶棒表面的腐蚀	64
3.10	硅切片	64
3.11	硅片倒角	68
3.12	硅片的双面研磨或硅片的表面磨削	73
3.13	硅片的化学腐蚀	82
3.14	硅片的表面处理	86
3.14.1	硅片表面的热处理	86
3.14.2	硅片背表面的增强吸除处理	87
3.15	硅片的边缘抛光	90
3.16	硅片的表面抛光	90
3.16.1	硅片的表面抛光加工工艺	91
3.16.2	硅片的碱性胶体二氧化硅化学机械抛光原理	91
3.16.3	硅片的多段加压单面抛光工艺	93
3.16.4	抛光液	93
3.16.5	抛光布	94
3.16.6	硅片表面的粗抛光	97
3.16.7	硅片表面的细抛光	103
3.16.8	硅片表面的最终抛光	104
3.17	硅片的激光刻码	108
3.18	硅片的化学清洗	112
3.18.1	硅片的化学清洗工艺原理	112
3.18.2	美国 RCA 清洗技术	113
3.18.3	新的清洗技术	118
3.18.4	使用不同清洗系统对抛光片进行清洗	120
3.18.5	抛光片清洗系统中硅片的脱水、干燥技术	121
3.19	硅抛光片的洁净包装	127
3.20	硅片包装盒及硅片的运、载花篮、容器清洗系统	131
3.20.1	硅片包装盒及硅片的运、载花篮、容器清洗系统	131
3.20.2	硅片运、载系统其他相关的工装用具	132
第4章	其他的硅晶片	142
4.1	硅外延片	143
4.1.1	外延的种类	143
4.1.2	外延的制备方法	143
4.1.3	化学汽相外延原理	144

4.1.4 硅外延系统	145
4.2 硅锗材料	146
4.3 硅退火片	147
4.4 绝缘层上的硅	148
第5章 硅单晶、抛光片的测试	153
5.1 硅片主要机械加工参数的测量	154
5.2 硅单晶棒或晶片的晶向测量	158
5.3 导电类型（导电型号）的测量	162
5.4 电阻率及载流子浓度的测量	163
5.5 少子寿命测量	166
5.6 氧、碳浓度测量	170
5.7 硅的晶体缺陷测量	173
5.8 电子显微镜和其他超微量的分析技术	178

第三篇 太阳能电池产业用硅晶片的制备

第6章 太阳能电池用硅晶片基础知识	191
6.1 太阳能光电转换原理——光生伏特效应	191
6.2 太阳能电池晶片的主要技术参数	194
6.3 太阳能光伏产业用硅系晶体材料	198
6.3.1 直拉单晶硅棒（锭）	198
6.3.2 铸造多晶硅（锭）	199
6.4 晶体硅太阳能电池晶片的结构	204
第7章 太阳能电池用硅晶片的制备技术	206
7.1 太阳能电池产业用硅晶片的技术要求	206
7.2 太阳能电池用硅晶片的加工工艺流程	207
7.3 太阳电池用的硅晶片的加工过程	208
7.4 太阳电池用的硅晶片的加工技术	212
7.5 太阳电池组件装置的生产工艺过程	220
7.6 太阳能电池的应用	225

第四篇 半导体硅晶片加工厂的厂务系统要求

第8章 洁净室技术	227
8.1 洁净室空气洁净度等级及标准	227
8.2 洁净室在半导体工业中适用范围	235

8.3	洁净室的设计	238
8.4	洁净室的维护及管理	241
第9章	半导体工厂的动力供给系统.....	247
9.1	电力供给系统	247
9.2	超纯水系统	248
9.2.1	半导体及 IC 工业对超纯水的技术要求	249
9.2.2	超纯水的制备	252
9.3	高纯化学试剂及高纯气体	255
9.3.1	半导体工业用的高纯化学试剂	255
9.3.2	高纯气体	257
9.4	三废（废水、废气、废物）处理系统及相关安全防务系统	262
参考文献		264

第一篇 基础知识

第 1 章 概 述

硅 (Si) 是地壳中含量仅次于氢和氧的元素, 它通常以化合物的形态 (例如硅酸盐和氧化硅等) 存在于大自然中。

随着社会的发展, 直到 20 世纪, 世人才发现硅具有半导体的性质。这些性质包括其电阻率随着温度的增加而递减、光电效应 (经光照后电阻率减小)、热电效应、霍尔 (Hall) 效应、磁电效应及其与金属接触的整流效应等。

1947 年 12 月 23 日, Bardeen (巴第恩)、Brattain (布拉顿) 及 Shockler (肖克利)^[1] 等人在美国贝尔实验室发明了晶体管 (Transistor) 后, 正式拉开了半导体时代的序幕。

1950 年, G. Teal (蒂尔) 及 Little^[2] (里特尔) 俩人将 Czochralski^[3] (乔赫拉斯基) 于 1917 年发明的拉晶方法, 应用在锗 (Ge) 及硅单晶的生长上。这种拉晶技术已经成为现代生产高质量硅单晶的主要方法。后来经 Little (里特尔) 持续致力于单晶体生长技术的研发, 终于证实了单晶体材料的少数载流子寿命要比多晶体材料好。

1952 年, W. Pfann (普凡) 发明的区熔法 (Zone Refining)^[4] 单晶体生长技术大幅度提高了材料纯化的技术水平, 使得商用半导体晶体管也跟着于 1953 年问世。由于锗有较高的纯度与低温特性, 故当时大多数半导体公司使用锗作为晶体管的材料。直到 1954 年, G. Teal (蒂尔) 才在美国德州仪器公司 (TI) 成功地开发出世界第一个硅晶体管^[5]。由于这项技术的突破, 使得美国德州仪器公司 (TI) 由一个无名的小公司逐渐成为半导体行业的著名大公司。

继硅晶体管发明之后, 虽然可利用 Czochralski (乔赫拉斯基, CZ, 即直拉法) 法来制备硅单晶体, 但由于使用的石英坩埚会受到硅熔体 (Silicon Melt) 的侵蚀而增加氧的沾污, 不利于制备高纯度硅晶体。为了获得高纯度的硅单晶体, 1956 年 Henry Theurer (亨利·休里尔) 发明了区熔法 (Float Zone Technique)^[6]。区熔 (FZ) 法因没有使用石英坩埚容器来盛装硅熔体, 故不存在氧污染的问题。在 1958 年, 由于 Dash^[7] (戴什) 发明了一种无位错 (Dislocation free) 单晶生长法, 才使得生长优质大直径硅 (Si) 单晶技术得到了不断发展。

1958 年, Kilby (基尔比) 在美国德州仪器公司发明了集成电路^[8], 奠定了信息时代到来的基础。自从第一代 IC (集成电路) 问世后, 半导体工业得到了迅速的发展, 晶片上电子元器件的密度和复杂性, 也就从小规模集成电路 SSI (Small Scale Integration) 向中规模集成电路 MSI (Medium Scale Integration)、向大规模集成电路 LSI (Large Scale Integration)、向超大规模集成电路 VLSI (Vaery Large Scale Integration)、向甚大规模集成电路 ULSI (Ultra Large Scale Integration) 得到不断地发展。

以硅为主的半导体专用材料已是微电子信息产业和太阳能光伏产业最重要的基础功能材料, 在国民经济和军事工业中占有很重要的地位。全世界的半导体器件中有 95% 以上是用硅材料制成, 其中 85% 的集成电路也是由硅材料制成。

随着 IC 工艺、技术的不断发展, 硅单晶的直径尺寸越做越大, 四十多年来, 直径小于 200mm 的硅单晶片已经进入商业生产应用的水平, 大直径 300mm 的硅单晶抛光片也已在特征尺寸线宽小于 0.13 μ m 的 IC 器件工艺中得到了广泛应用, 并已进入了研制、生产的阶段, 直径大于 400mm 的硅单晶也进入了开发、研究的阶段。纳米电子技术必将成为今后研究和发展的方向!

制备集成电路用的硅单晶直径研制发展历史如表 1-1 所示。

表 1-1 硅单晶直径研制发展历史

年 份	1958	1959	1966	1968	1970	1979	1986	1996	1998	2000 后
直径	mm	15	25	40	50	100	150	200	300	400 ^①
	in ^②	0.6	1.0	1.6	2.0	4.0	6.0	8.0	12.0	16.0

① 现尚处于开发、研究的阶段。

② 1in=25.4mm。

直径 300mm 硅单晶片与其他直径硅单晶片的比较如表 1-2 所示。

根据《国际半导体技术路线指南》(International Technology Roadmap Semiconductors, 缩写 ITRS) 对 IC 用硅抛光片的技术要求预测报道, 关于未来 15 年内的半导体制造技术分析, 对集成电路芯片的特征尺寸变化及对硅抛光片的几何尺寸加工精度有了更严格要求。

目前, 直拉单晶硅 (Czochralski crystalline silicon, Cz-Si) 抛光片已经广泛应用于制造各种分立元件和集成电路。直径小于 100 mm 的硅单晶抛光片主要用于芯片工艺特征尺寸线宽 5.0~3.0 μ m 的电路; 直径 125mm 的硅单晶抛光片主要用于芯片工艺线宽 3.0~1.2 μ m 的电路; 直径 150mm 的硅抛光片主要用于芯片工艺线宽 1.2~0.8~0.5 μ m 的电路; 直径 200mm 的硅抛光片则可用于芯片工艺线宽 0.25~0.18~0.13 μ m 深亚微米技术的电路; 直径 300mm 的硅抛光片则

表 1-2 直径 300mm 与其他直径硅片的质量、面积对比

直径 ϕ (公差)	mm	100 (± 0.2)	150 (± 0.2)	200 (± 0.2)	300 (± 0.2)	400	450
	in	4	6	8	12	16	18
厚度 $T/\mu\text{m}$ (公差)		425.0~525.0 (± 25)	625.0~675.0 (± 25)	725.0 (± 25)	775.0 (± 25)	待定	待定
面积 $S/(\text{mm}^2/\text{片})$		7850	17662.5	31400	70650	125600	158962.5
面积比			$2.25 \times S_4$	$1.78 \times S_6$ $4.0 \times S_4$	$2.25 \times S_8$ $4.0 \times S_6$	$1.78 \times S_{12}$ $4.0 \times S_8$ $7.1 \times S_6$	$1.27 \times S_{16}$ $2.25 \times S_{12}$ $5.1 \times S_8$ $9.0 \times S_6$
质量 $W/(\text{g}/\text{片})$		7.78~9.60	25.7~27.8	53.0	127.6	待定	待定
质量比			$3.30 \times W_4$	(2.06~ $1.91) \times W_6$ $6.8 \times W_4$	$2.40 \times W_8$ (4.96~ $4.59) \times W_6$	—	—

注： W_4 、 W_6 、 W_8 分别指 4in、6in、8in 硅片质量。

将是用于芯片工艺线宽 0.13~0.10 μm 或小于 0.10 μm 的纳米电子技术电路中。

区熔单晶硅 (Float Zone method crystalline silicon, Fz-Si)，则是制备各种高反压、大功率电子器件的最重要的材料。

而直拉单晶硅 (Czochralski crystalline silicon, Cz-Si)、铸造多晶硅 (Multicrystalline silicon, mc-Si)、片 (带) 状多晶硅 (Tablets Shape polycrystalline silicon, Ts-Si)、HIT (内禀薄层异质结) 单晶硅、非晶硅薄膜 (Amorphous silicon, a-Si)、多晶硅薄膜 (Polycrystalline silicon, poly-Si) 等硅系材料已经是太阳能光伏 (PV) 产业中制备硅太阳能电池的重要材料。

在微电子信息 (IC) 产业中，集成电路的应用范围相当广泛，按不同的用途集成电路的分类如图 1-1 所示。

在太阳能光伏产业中，太阳能光伏发电系统是利用太阳电池半导体材料的光电效应原理 (光伏效应)，将太阳的辐射能量直接转换为直流电能的一种新型的发电系统，包括独立运行和并网运行两种方式。独立运行的光伏发电系统需要用蓄电池作为储能装置，主要用于无电网的边远地区和人口分散地区，整个系统造价很高；在有公共电网的地区，光伏发电系统可与电网连接并网运行，这样可省去蓄电池，不仅可以大幅度降低成本，而且还具有更高的发电效率和更好的环保性能。

太阳能光伏发电的技术也就是利用半导体材料的光电效应原理直接将太阳的辐射能量转换为直流电能的技术。

太阳是一颗对人类生存有着十分重要意义的恒星。太阳自身蕴藏着巨大的能

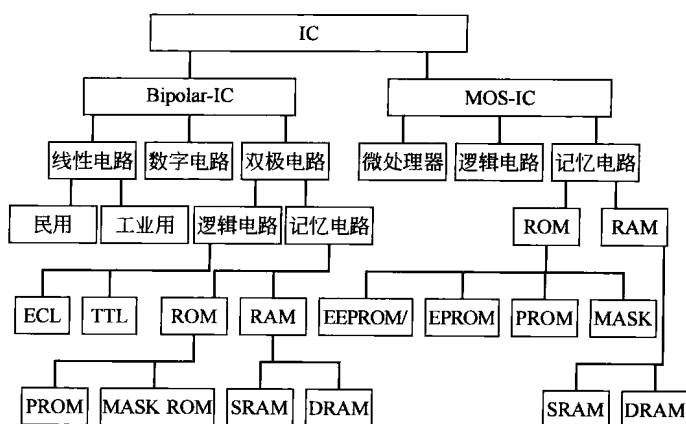


图 1-1 集成电路的分类

量，太阳能则是太阳内部连续不断的热核聚变反应过程中产生的能量、是太阳表面源源不断地通过太阳光线以电磁波的形式向宇宙空间及地球等星球辐射的能量（习惯称太阳辐射能量为太阳能）。太阳是一颗能发光、发热的气体星球。其太阳辐射能量主要集中在可见光波段，太阳每秒钟所释放出的总辐射能量功率大约为 $3.865 \times 10^{26} \text{ J/s}$ ，相当于每秒钟燃烧 $1.32 \times 10^{16} \text{ t}$ 标准煤所产生的能量，是地球每年耗费总能量的几万倍。资料显示，太阳能每秒钟到达地面的能量高达约为 80 多万千瓦，假如能够把地球表面 0.1% 的太阳能转化为电能，其光电转换效率按约为 5 % 计算，则每年发电量可达到约为 $5.6 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，相当于目前世界上能耗的 40 倍。照射在地球上的太阳能非常巨大，大约 40 分钟照射在地球上的太阳能，便足以供地球人类一年的能量消费。按照目前太阳质量的损耗速率进行推算，太阳的热核聚变反应还可持续进行 6×10^{10} 年。这相对于人类的短暂历史而言，太阳能可算是人类“取之不尽、用之不竭”的重要的、可利用的、无污染的、新型、理想的可再生清洁能源。故太阳能光伏产业（太阳能发电产业即光伏产业）的深入发展和太阳能光伏系统的应用会给人类充满了美好的前景、使之成为一个新兴的朝阳产业。

1954 年，美国贝尔实验室的 Chapin 等研制出世界第一个光电转换效率达到 6% 左右的太阳电池^[9]，其后经过改进很快使光电转换效率达到了 10%，并于 1958 年被美国装备于先锋 1 号人造卫星上成功地运行了 8 年。从此拉开现代太阳能光电（太阳能光伏）研究、开发和应用的序幕。

在 20 世纪 70 年代以前，太阳能光伏发电主要应用于外层空间领域研究和航天事业（向人造卫星提供电力能源）。自 20 世纪 70 年代以来，由于技术的进步，太阳能电池材料、结构、制备工艺等方面有了不断的改进，降低了生产成本，开

始在地面上得到了应用，太阳能电池的全球平均增长率达 30% 以上。1997 年之前，太阳电池产量的年增长率平均约为 12% 左右，1997 年达到了约 42%、其电池组件的全球销售达到了约 122MW；而 2000 年和 2001 年的年销售增长均超过了 40%、2001 年电池组件全球销售达到约 400MW^[10]；2004 年的增长率甚至达到 60% 以上、当年电池组件全球销售约达 1200MW；2005 年已接近约 1800MW，其发展势头相当的迅猛。在 2007 年的产量达到了约 4000MW，太阳能电池国际市场的发展趋势如图 1-2 所示。在 1997~2007 年的 10 年中其平均年增长率约为 41.3%、而最近的 5 年中其平均年增长率更是达到了 49.5% 左右，远远超过了微电子信息产业中集成电路的发展速度。与此同时太阳电池的生产成本则是以每年 7.5% 的平均速度下降^[11]。预计今后 10 年内，太阳能光伏产业将仍会以 20%~30% 的速度增长。

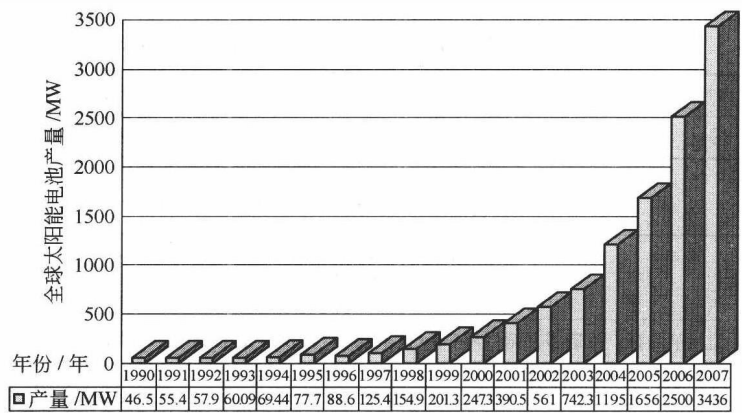


图 1-2 太阳能电池国际市场的发展趋势
(资料来源：中国新能源网 2008 年 11 月)

在很长的一段时间内，太阳电池的产量基本上由美国首居第一位，1999 年开始被日本超过并长期保持其领先地位，直到 2007 年被迅速崛起的中国所替代。全球 2006~2007 年太阳电池的产量如表 1-3 所示^[12]。

硅太阳能电池是指以硅为基本材料的太阳电池。晶体硅片是制备光伏太阳能电池的主要材料，每生产 1MW 的太阳能电池组件约需要 17t 左右的原料。以 2000 年国际产量 230MW 计，硅太阳能电池产业每年需要 3400~4600t 的原材料。Clean Edge 预计，全球太阳能发电市场的规模将从 2005 年的 110 亿美元猛速增长到 2015 年的 510 亿美元。硅材料仍然是目前太阳能电池应用最多的主要的材料，约占国际太阳能电池材料市场的 99% 以上，如表 1-4、表 1-5 所示。

表 1-3 全球 2006~2007 年太阳能电池的产量^[12]

国家/地区		2006 年		2007 年	
		产量/MW	比例/%	产量/MW	比例/%
日本		926.8	36.19	920.0	23.00
中国	大陆	438.0	17.10	1088.0	27.2
	台湾	169.5	6.62	368.0	9.20
德国		508.0	19.83	810.0	20.25
美国		179.6	7.01	266.1	6.65
欧洲其他		172.3	6.73	252.8	6.32
世界其他		166.9	6.52	295.15	7.38
总 计		2561.1	100.00	4000.05	100.00

表 1-4 1998 年各种太阳能电池材料市场的份额统计^[13]

电池材料名称	单晶硅	多晶硅	带(片)状多晶硅	薄膜非晶硅	碲化镉 CdTe	其他
市场占有率/%	39	43	3	1	1	13

表 1-5 2001 年各种太阳能电池材料的市场率^[14]

电池种类	半导体硅系材料太阳电池						化合物半导体材料太阳电池	
	单晶硅	铸造多晶硅	片(带)状多晶硅	直拉硅上非晶硅	硅薄膜	非晶硅	CIS	CdTe
市场占有率/%	35.17	47.54	3.50	4.63	0.26	8.30	0.18	0.42

目前应用于太阳电池产业的硅材料包括有直拉单晶硅、薄膜非晶硅、铸造多晶硅、带状多晶硅和薄膜多晶硅，它们具有各自的优点和缺点。前面四种硅材料已在太阳能光伏(PV)产业中得到大量的应用，约占太阳能电池材料市场份额的 98% 以上。

在 1970 年前，直拉单晶硅是唯一大规模工业化生产太阳能电池的光电材料，其电池的转换效率高，工艺成熟、稳定，但成本相对较高。1980 年后薄膜非晶硅得到了发展和应用，它可以制备在玻璃等衬底材料上，故生产成本相对较低，但其电池的转换效率也低，且存在效率衰减、稳定性差的缺点而得不到发展和应用。

1990 年以后，成本相对较低、电池的转换效率较高的铸造多晶硅、带状多晶硅得到了快速发展。2001 年后，铸造多晶硅已占整个国际太阳能光电材料市场份额的 50% 以上，成为最主要的太阳能电池材料，但是由于具有高密度的位

错、微缺陷和晶界等影响它的光电转换效率，其工业上太阳能光电转换效率总是要比直拉单晶硅的光电转换效率低约 2% 左右，与其他硅材料相比因缺乏竞争力而得不到充分发展。

我国自 1958 年开始进行太阳能光电转换（光伏发电）的研究、开发，并于 1971 年首次将太阳电池成功地应用在“东方红二号”人造卫星上。并于 1973 年开始将太阳电池应用到地面，首先是在天津海港用于航标灯的电源上。1979 年开始用半导体工业的次品单晶硅生产单晶硅太阳电池，使太阳电池成本明显下降，进一步打开了地面应用的市场。在 1973 年~1987 年短短的几年内，先后从美国、加拿大等国引进了七条太阳电池生产线，使我国太阳电池的生产能力从 1984 年以前的 200kW 跃升到 1988 年的 4.5MW。近 20 多年来，我国光伏产业长期维持在全球市场的 1% 左右的份额。但是从 2002 年后，我国太阳电池组件的生产量有了大幅度的增长，在 2003 年约达 1.2 万千瓦，约占世界份额的 2.2%，2004 年达 3.5 万千瓦，约占 3%。

尽管 2008 年受国际金融风暴的影响，我国的太阳能电池产业相比 2007 年依旧保持较高的增长速度。如图 1-3 所示。

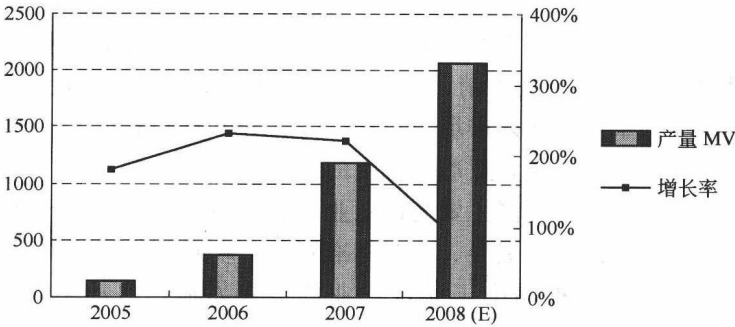


图 1-3 2005 年~2008 年中国太阳能电池产量
(数据来源：赛迪顾问 2008，12)

近年来，由于全球的气候变暖、生态环境恶化、常规能源出现了短缺等问题，发展“可再生能源”得到了各国政府的重视和支持，例如在欧美发达国家大都制订了“阳光计划”，采取措施（部分赠款、无息贷款等）鼓励居民安装太阳能发电系统，并以高出普通电价几倍的价格购买居民家中多余的太阳能电量。在技术进步的推动和各国政府的激励政策驱动下，太阳能光伏发电产业和市场得以迅速发展。

2000 年~2008 年，全球太阳电池总产量年均复合增长率约为 47%。根据中投顾问最新发布的《2009 年~2012 年中国太阳能电池行业投资分析及前景预测

报告》中显示,2008 年全球太阳能电池总产量约达到 6850MW。同期,以欧、美为主的全球太阳能光伏发电应用市场也以 45% 的年均复合增长率快速增长。2008 年全球累计装机总量已接近约 15GW。

我国的太阳能光伏产业在世界太阳能光伏产业发展的拉动下,近年来也得到飞速的发展。当前我国正在大力发展太阳能光电产业计划,根据 1996 年~2020 年国家太阳能光电产业发展计划,我国在 2000 年和 2020 年太阳能光电总容量将分别计划要达到 66MW_p 和 300MW_p,其中家用阳光电源分别为 15MW_p 和 50MW_p。在联网阳光电站的建设方面,计划在 2000 年完成二座 500kW_p 的阳光电站,在 2020 年前建成 5 座兆瓦级阳光电站电池行业将是 21 世纪的朝阳行业,其发展前景十分广阔^[15]。

2008 年,我国太阳能光伏电池总产量大约达到 1780MW,保持全球第一的地位,占全球总量份额的 26%。2008 年在全球前 25 家太阳电池生产供应商中,有 8 家是中国的企业、其中我国的太阳能电池“龙头企业”无锡尚德太阳能电力有限公司在 2008 年的太阳能电池产量约为 500MW,排名全球第三位,而保定天威英利新能源有限公司产出的太阳能电池约为 281.5MW,常州天合光能有限公司产出的太阳能电池约为 200MW。

然而,我国光伏产业的发展和光伏应用市场的发展却存在着极大的不平衡。其 98% 的太阳能光伏产品是外销、出口。对海外市场的依赖致使中国光伏企业会受到海外市场的牵制,海外市场的需求、国际货币的汇率变化、外国政府的补贴政策等都是会给我国光伏企业造成直接的影响。

2008 年,SEMI 携手中国主要光伏企业及研究机构,成立了 SEMI 中国光伏顾问委员会,旨在通过产业倡导、产业标准制定、政府公关及公共政策、工业统计及市场调查等环节来推动中国光伏产业的健康发展,启动中国的光伏应用市场。

2009 年,作为太阳能光伏产业倡导的一个重要的内容,SEMI 中国光伏顾问委员会策划起草的《中国光伏发展路线图初探》分析了太阳能光伏发电技术及成本,并预测中国太阳能光伏发电成本在 2012 年达到“1 元/度电”,2016 年降至常规发电成本。《中国光伏发展路线图初探》还探讨了到 2020 年中国光伏应用市场发展的路线图,到 2014 年达到世界平均水平,并提出政府如何通过一次性初装补贴及上网电价补贴两种模式在财政上对光伏应用系统给予补贴。

在 2009 年 3 月 26 日,我国财政部、住房和城乡建设部联合颁布《关于加快推进太阳能光电建筑应用的实施意见》,并同时下发《太阳能光电建筑应用财政补助资金管理暂行办法》。这被光伏业内称为“屋顶计划”,该计划颇为重要的一项内容对于符合条件的太阳能光电建筑应用示范项目给予 20 元瓦的补贴。这

是我国政府为推广太阳能的应用采取的措施，标志着我国光伏市场的大规模启动，带来光伏行业性的投资机会。

与 2009 年 3 月出台的“光伏屋顶计划”相呼应，我国财政部将于近期推出“金太阳”工程，补贴并鼓励我国大型地面光伏电站的建设，预计补贴金额可在 100 亿人民币左右，将可拉动 500MW 的装机容量。国家发改委预期将把 2020 年光伏总装机容量的目标由之前的 1.8GW 上调至 10~20GW，打开长期增长之门。走过 2009 年的示范阶段，预期 2010 年中国的新增装机将可达到 150MW，是 2008 年的 3 倍。

随着我国《可再生能源法》的颁布实施，我国的太阳能电池产业逐渐走向成熟。包括国内太阳能电池生产的主要公司（例如无锡尚德、江西赛维 LDK、常州天合、林洋新能源、CSI 阿特斯、南京冠亚等）日前已将以“1 元/度电”光伏发电成本为目标的方案上交给科技部审示。

由于太阳能光伏发电是我们目前可以使用的能源中最经济、最清洁、最环保的可持续新能源。我国的太阳能光伏产业将会得到更加有序的迅速发展。