

电池材料与应用系列

太阳能电池 加工技术问答

刘寄声 编著



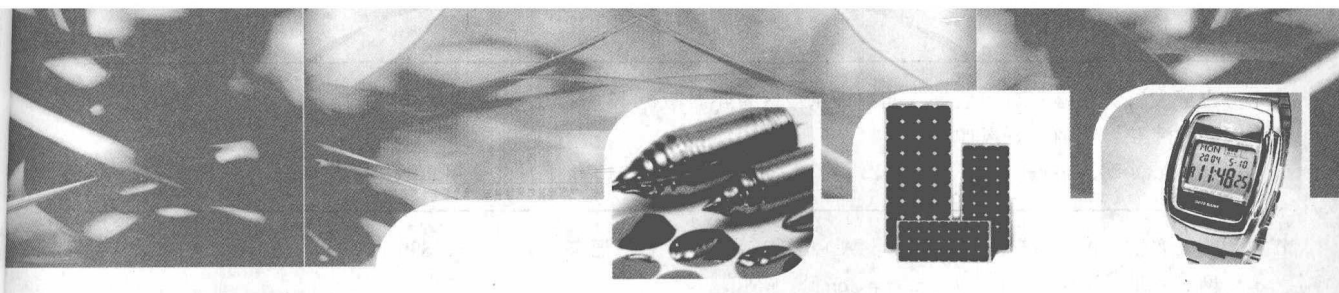
化学工业出版社

电池材料与应用系列

太阳电池 加工技术问答

TM914.4
L636

刘寄声 编著



TM914.4
L636



化学工业出版社

·北京·

编者采用了问答形式编写本书, 书中所列是有关太阳能光伏电池生产企业人员应知和应会的技术及理论问题。在问题解答时, 编者除了根据多年的实践经验进行编写之外, 还参考了国内外有关最新资料, 既有操作实践, 又有基础理论; 力求深入浅出, 通俗易懂。全书主要内容如下: 有关能源和太阳能方面的基础知识; 半导体的基础知识; 太阳能光伏电池及其生产工艺; 有关硅材料的基础知识; 硅烷、三氯氢硅、二氯二氢硅和四氯化硅的生产; 多晶硅的制备; 单晶硅的制备; 有关其他材料的性质及制造; 有关用电的知识和电气设备; 有关环保节能的问题; 有关安全生产、事故防范与处理; 有关对硅太阳能光伏电池生产工艺的改进及展望。

本书适于太阳能生产企业工人、技术人员和管理人员, 也适合能源材料研究人员和在校大中专师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

太阳能电池加工技术问答/刘寄声编著. —北京: 化学工业出版社, 2010. 1

(电池材料与应用系列)

ISBN 978-7-122-06970-2

I. 太… II. 刘… III. 太阳能电池 IV. TM914. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 195655 号

责任编辑: 朱 彤

文字编辑: 王 琪

责任校对: 战河红

装帧设计: 刘丽华

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 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13 字数 349 千字 2010 年 1 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: 36.00 元

版权所有 违者必究

前 言

自 1954 年美国贝尔实验室研制成功光电转换效率 6% 的实用型单晶硅太阳电池以来，目前太阳能光电方面研究和应用在全世界范围内方兴未艾，相关太阳能光电工业〔又称为光伏 (photovoltaic) 工业〕发展迅速，20 世纪 90 年代以来一直以每年 30%~40% 的速度上升，在 2004 年甚至达到 60% 的增长速度，成为非常令人瞩目的朝阳产业。我国也不例外，1980 年以后，国家高技术研究发展计划（863 计划）和国家重大基础研究计划项目（973 项目）等都对太阳能光伏研究和开发给予了重要支持。2002 年我国政府开始启动“光明工程”，投资 20 亿元重点发展太阳能光伏发电。由于国家和政府的大力支持，近几年来，我国光伏产业就像雨后春笋，发展特别迅猛。

最近我国政府又加大了对太阳能光伏发电的支持力度，新出台了投资高达数万亿元的新能源行业振兴计划，而且还规定将对符合条件的太阳能光电建筑应用示范项目给予补贴。由此看来，太阳能光伏发电行业的前景是光明的，可以确信在不久的将来，我国一定会进入“太阳能技术大发展的新时代”。

由于种种原因，目前人们对于有关太阳电池材料和太阳能光伏电池生产技术方面的知识还不够，为满足这一需求，编者采用了问答形式编写本书，书中所列多是有关太阳能光伏电池生产企业人员应知和应会的技术及理论问题。为了确保答案准确，在问题解答时，编者除了根据多年的实践经验进行编写之外，还参考了国内外有关最新资料，既有操作实践，又有基础理论；力求深入浅出，通俗易懂。全书主要内容如下：有关能源和太阳能方面的基础知识；半导体的基础知识；太阳能光伏电池及其生产工艺；有关硅材料的基础知识；硅烷、三氯氢硅、二氯二氢硅和四氯化硅的生产；多晶硅的制备；单晶硅的制备；有关其他材料的性质及制造；有关用电的知识和电气设备；有关环保节能的问题；有关安全生产、事故防范与处理；有关对硅太阳能光伏电池生产工艺的改进及展望。

由于编者学识和能力有限，书中疏漏在所难免，衷心希望能够得到广大读者的批评和指正。

编 者

2009 年 11 月

目 录

第 1 章 有关能源和太阳能方面的基础知识

1

- | | | | |
|--------------------------------|---|--|----|
| 1-1 什么是能源? 能源有多少种? | 1 | 1-9 太阳的构造是怎样的? 太阳能的资源有多少? | 6 |
| 1-2 能源与社会经济有什么关系? | 2 | 1-10 到达地球的太阳能是多少? | 6 |
| 1-3 能源与人口有什么关系? | 2 | 1-11 什么是光? 什么是辐射光谱? | 7 |
| 1-4 能源与环境有什么关系? | 3 | 1-12 什么是日照强度? 什么是日照量? | 8 |
| 1-5 什么是 3E? 3E 之间的矛盾何在? | 3 | 1-13 什么是太阳常数? 太阳常数是? | 10 |
| 1-6 能源问题的出路何在? | 5 | 1-14 太阳辐射有什么规律? 我国哪些地区太阳辐射量大? | 11 |
| 1-7 作为 21 世纪新能源的必要条件是什么? | 5 | 1-15 太阳能能量的转换方式有几种? 太阳能发电的方式有几种? | 12 |
| 1-8 什么是太阳能? | 5 | | |

第 2 章 半导体的基础知识

13

- | | | | |
|---|----|--|----|
| 2-1 什么是半导体? 半导体有哪些独特性能? | 13 | 2-18 什么是 P-N 结? P-N 结是怎样形成的? | 24 |
| 2-2 半导体材料的种类有多少? | 14 | 2-19 P 型和 N 型半导体独立存在时是怎样的情况? 形成 P-N 结后又是怎样的情况? | 24 |
| 2-3 什么是电阻率? 什么是电导率? | 15 | 2-20 什么是 P-N 结的单向导电性? | 25 |
| 2-4 半导体与 (金属) 导体有什么不同? | 16 | 2-21 什么是光伏伏特效应? | 26 |
| 2-5 为什么半导体的导电不如导体? | 17 | 2-22 什么是漂移电流? 什么是扩散电流? | 26 |
| 2-6 杂质在半导体中有什么作用? | 18 | 2-23 什么是 P-I-N 结? | 27 |
| 2-7 什么是纯度? | 18 | 2-24 半导体是怎样导电的? | 27 |
| 2-8 什么是 3N? 什么是 ppb? | 19 | 2-25 什么是本征半导体? 什么是杂质半导体? | 27 |
| 2-9 为何采用硼含量来表示纯度? 为何采用测量电阻率来测定纯度? | 19 | 2-26 什么是正离子? 什么是负离子? | 28 |
| 2-10 半导体中的杂质可分为哪两类? 电中性杂质对半导体有哪些作用? | 20 | 2-27 什么是电子云? 什么是自由电子? | 28 |
| 2-11 杂质在半导体的晶格中占什么位置? | 21 | 2-28 什么是共价键? 什么是空穴? | 29 |
| 2-12 什么是载流子? 什么是带正电的载流子? | 21 | 2-29 什么是能级? 什么是能带? | 29 |
| 2-13 什么是载流子浓度? | 21 | 2-30 什么是禁带? 什么是价带、导带和满带? | 30 |
| 2-14 什么是载流子迁移率? | 22 | 2-31 为什么说电子在满带中是不能导电的? 为什么说电子在导带中是可以导电的? | 31 |
| 2-15 什么是载流子复合? 什么是平衡状态? 什么是寿命? | 23 | 2-32 导体、半导体和绝缘体的能带有什么不同? | 31 |
| 2-16 什么是多数载流子? 什么是少数载流子? | 23 | 2-33 什么是浅能级杂质? 什么是深能级杂质? | 32 |
| 2-17 什么是 P 型半导体? 什么是 N 型半导体? | 23 | | |

2-34	什么是分凝系数?	33
2-35	什么是偏析提纯法?	33
2-36	什么是晶体缺陷? 什么是位错?	34

2-37	什么是晶胞? 什么是各种晶系与晶格?	35
2-38	什么是霍尔效应?	36

第3章 太阳能光伏电池及其生产工艺

38

3-1	太阳能光伏电池是什么时候发明的? 它的发展历史是怎样的?	38
3-2	太阳能光伏电池有几种类型?	40
3-3	太阳能光伏发电有哪些优点? 太阳能 光伏发电的前景如何?	42
3-4	怎样来分辨太阳能光伏电池是用哪种 材料制造的?	43
3-5	用不同材料制造的太阳能光伏电池有 哪些特点?	44
3-6	太阳能光伏电池除了用于人造卫星等及 日常生活的小型电子产品外, 还可用于 哪些方面?	45
3-7	太阳能光伏电池是怎样发电的?	47
3-8	目前太阳能光伏电池的效率是 怎样的?	47
3-9	什么是单晶硅太阳能光伏电池? 单晶硅 太阳能光伏电池是怎样生产的?	47
3-10	单晶硅太阳能光伏电池的主要结构是 怎样的?	49
3-11	晶体硅光伏电池片是怎样生产的?	49
3-12	什么是绒面结构? 绒面是怎样 制作的?	50
3-13	单晶硅太阳能光伏电池的 P-N 结是 怎样制备的?	51
3-14	什么是铝背场? 铝背场是怎样 制备的?	52

3-15	金属电极是怎样制备的?	53
3-16	什么是减反射层? 减反射层是怎样 制备的?	53
3-17	多晶硅可以直接用来生产太阳能光伏 电池吗? 多晶硅太阳能光伏电池有 哪些优缺点?	54
3-18	多晶硅太阳能光伏电池是怎样 生产的?	55
3-19	多晶硅铸锭炉是生产多晶硅的吗? 为什么说多晶硅铸锭炉对硅也有 提纯作用?	57
3-20	为什么说太阳电池的“祖先”是硅 二极管?	57
3-21	什么是熔铸法? 什么是印带法?	57
3-22	单晶硅棒是怎样变成硅片的?	57
3-23	我国的多丝切割技术和抛光技术已达到 何种水平?	59
3-24	配制切割料浆应该注意的事项有 哪些? 线切割硅片上的线痕是怎么 形成的?	59
3-25	什么是外延?	60
3-26	外延生长工艺有什么新的进展?	62
3-27	什么是扩散?	62
3-28	什么是离子注入?	63
3-29	什么是氧化?	63
3-30	什么是薄膜太阳能光伏电池?	64

第4章 有关硅材料的基础知识

66

4-1	为什么说硅占据电子半导体材料 当之无愧的“第一把交椅”?	66
4-2	什么是硅? 硅有什么性质?	67
4-3	何谓非晶硅? 何谓单晶硅? 何谓 多晶硅?	67
4-4	何谓工业硅?	68
4-5	工业硅是怎样生产的?	68
4-6	对工业硅有什么要求?	69
4-7	什么是微晶硅?	70

4-8	为何太阳能光伏电池多以硅为原料? ...	70
4-9	什么是硅石?	70
4-10	什么是石英粉?	71
4-11	什么是白炭黑?	71
4-12	硅材料的电阻与纯度有何关系?	72
4-13	什么是太阳能级多晶硅?	72
4-14	原子的基本结构是怎样的?	73
4-15	为什么说硅是四族元素?	73

第5章 硅烷、三氯氢硅、二氯二氢硅和四氯化硅的生产

75

5-1	什么是硅烷?	75
5-2	硅烷是怎样制备的?	76
5-3	硅化镁是怎样制备的?	76

5-4	工业硅是怎样选择与处理的?	77
5-5	对生产四氯化硅所用的氯是怎样 处理的?	77

5-6	四氯化硅是怎样制备的?	78	5-15	何谓回流比?	86
5-7	对制备三氯氢硅所用的氯化氢是怎样处理的?	80	5-16	何谓理论塔板? 何谓塔的全流量?	87
5-8	什么是三氯氢硅? 三氯氢硅是怎样制备的?	80	5-17	何谓液泛现象? 何谓液泛温度?	87
5-9	什么是固定炉? 什么是沸腾炉?	82	5-18	什么是精馏法?	87
5-10	一般四氯化硅和三氯氢硅中有哪些伴随物?	83	5-19	精馏塔有哪几种?	87
5-11	什么是二氯二氢硅? 二氯二氢硅是怎样生产的?	84	5-20	什么是填料塔?	88
5-12	何谓沸点? 何谓饱和蒸气、饱和蒸气压?	85	5-21	什么是筛板塔?	89
5-13	何谓物理提纯? 何谓化学提纯?	85	5-22	怎样区分精馏中的三个组分? 四氯化硅或三氯氢硅是怎样精馏的?	89
5-14	何谓易挥发组分? 何谓难挥发组分? 何谓低沸点、高沸点?	86	5-23	四氯化硅的颜色太重是什么原因?	92
			5-24	什么是吸附提纯法?	92
			5-25	精馏塔中的爆响是怎么回事?	92
			5-26	什么是湿氮去磷法?	93

第6章 多晶硅的制备

94

6-1	什么是物理法和化学法? 常见的提纯方法有几种?	94	6-14	四氯化硅和三氯氢硅的氢还原的温度是多少?	109
6-2	多晶硅的传统生产方法有几种?	95	6-15	还原炉的启动方法有几种?	109
6-3	什么是四氯化硅氢还原法?	96	6-16	有几种吸附方法?	109
6-4	什么是改良西门子法? 它的优缺点是什么?	97	6-17	什么是还原炉?	110
6-5	什么是硅烷裂解法?	98	6-18	什么是流化床?	113
6-6	什么是三氯氢硅和四氯化硅混合源生产多晶硅的方法?	99	6-19	什么是铸造多晶硅?	114
6-7	什么是多晶硅和石英玻璃联合制备法?	99	6-20	用于拉制单晶硅的多晶硅材料一般为什么形态?	115
6-8	多晶硅和石英玻璃的联合制备法有哪些优点?	101	6-21	为何说多晶硅是光伏产业大厦的基石?	115
6-9	三氯氢硅合成的尾气是怎样回收的?	103	6-22	什么是还原炉节能器?	115
6-10	还原炉尾气中的氢气、四氯化硅和三氯氢硅是怎样回收的?	104	6-23	什么是夹层?	115
6-11	什么是干法回收?	105	6-24	什么是冶金法生产太阳能级多晶硅?	116
6-12	四氯化硅加氢是怎么回事?	107	6-25	什么是气液沉积法生产粒状太阳能级多晶硅?	116
6-13	一种没有四氯化硅排放的多晶硅生产法是怎么回事?	107			

第7章 单晶硅的制备

117

7-1	什么是单晶硅? 单晶硅的生产方法有哪几种?	117	7-7	什么是液封直拉法?	123
7-2	直拉法是怎样制造单晶硅的?	118	7-8	掺杂方法有哪几种?	123
7-3	什么是区熔提纯法? 区熔提纯法有哪些优点? 哪些材料不宜采用区熔提纯法?	119	7-9	拉单晶时会出现哪些不正常现象?	124
7-4	什么是悬浮区熔法?	120	7-10	直拉法和区熔法生产单晶硅各有哪些缺点?	124
7-5	悬浮区熔法生长单晶有什么优缺点?	121	7-11	单晶硅是必须要以多晶硅为原料吗?	125
7-6	有分解压的材料怎么拉单晶?	122	7-12	直拉单晶炉中的晶体和坩埚是怎样旋转的? 坩埚里的固液界面是怎样变化的?	125

7-13	什么是直拉单晶炉？什么是区熔单晶炉？	125	7-23	直拉单晶生长界面为什么出现凸、平、凹变化？	129
7-14	什么是基磷？什么是基硼？	126	7-24	在直拉单晶整个生长过程中，热传输方式如何变化？	129
7-15	单晶硅中都含有哪些杂质？	126	7-25	哪些因素影响硅单晶径向电阻率均匀性？为了使径向电阻率均匀，可采取哪些方法？	130
7-16	氧杂质对单晶硅有什么影响？什么是内吸杂工艺？	127	7-26	哪些因素影响硅单晶纵向电阻率均匀性？如何使硅单晶电阻率均匀？	130
7-17	碳杂质对单晶硅有什么影响？	127	7-27	什么是温度振荡？如何消除温度振荡？	130
7-18	金属杂质对单晶硅有什么影响？	127	7-28	如何防止产生硅跳、挂边和搭桥？一旦出现如何处理？	130
7-19	单晶硅中有哪些缺陷？	128	7-29	什么是籽晶？什么是石英坩埚？	130
7-20	单晶硅中的位错对太阳能光伏电池有何影响？怎样避免产生位错？	128	7-30	什么是真空？什么是真空度？	131
7-21	晶体旋转和坩埚旋转对单晶生长界面有何影响？	129			
7-22	为使单晶生长界面尽量平坦，在拉晶时采取哪些措施？	129			

第 8 章 有关其他材料的性质及制造

132

8-1	制造太阳能光伏电池都用什么材料？ ..	132	8-15	什么是天然水？什么是纯水？	150
8-2	什么是氢气？氢气有哪些用途？氢气是怎样生产的？	132	8-16	什么是蒸馏水？	150
8-3	什么是氯气？氯气有哪些用途？氯气是怎样生产的？	136	8-17	什么是去离子水？	151
8-4	什么是氯化氢？氯化氢有哪些用途？氯化氢是怎样生产的？	137	8-18	什么是纯水？什么是高纯水？	151
8-5	什么是氧气？氧气有哪些用途？氧气是怎样生产的？	139	8-19	什么是石英玻璃？	152
8-6	什么是氮气？氮气有哪些用途？	140	8-20	什么是天然石英玻璃？什么是合成石英玻璃？	153
8-7	什么是氩气？氩气有哪些用途？	141	8-21	石英玻璃在太阳能光伏工业中有何用处？	154
8-8	氢气是怎样净化的？	141	8-22	什么是析晶？怎样来防止石英玻璃析晶呢？	155
8-9	什么是钼膜？什么是钼管？	146	8-23	什么是砷化镓？	155
8-10	什么是变压吸附法？	146	8-24	什么是氮化镓？	156
8-11	什么是硅胶？什么是分子筛？	147	8-25	什么是碳化硅？	156
8-12	氯碱工业的副产品氢气能用来生产多晶硅吗？氯碱氢气怎样净化？	148	8-26	什么是工业氢、超纯氢、高纯氢、纯氢？	157
8-13	氮气是怎样生产的？	149	8-27	各种行业对氢气有什么要求？	157
8-14	氮气中的氧是怎样除掉的？氮气中除氧后为何还要通过分子筛处理才可以用？	149	8-28	什么是不锈钢？“不锈”的原理是什么？	158
			8-29	不锈钢为什么会有吸磁与不吸磁？ ..	158
			8-30	什么是 304 不锈钢？	159

第 9 章 有关用电的知识和电气设备

160

9-1	什么是电？什么是直流电？什么是交流电？	160	9-6	什么是有功功率？什么是无功功率？什么是视在功率？	161
9-2	什么是电流强度？什么是电流密度？ ..	160	9-7	什么是功率因数？怎样才能提高功率因数？	162
9-3	什么是电阻？	160	9-8	怎样选择电阻炉电阻丝的直径？	162
9-4	什么是电能量？什么是电功率？	161	9-9	什么是趋肤效应？为什么交变电流会产生趋肤效应？	163
9-5	什么是电流的热效应？怎样计算电流的热效应？	161			

9-10	什么是导体的欧姆电阻和有效电阻?	164	9-15	何谓无触点开关?	165
9-11	什么是电流透入深度? 它有什么实际意义?	164	9-16	多晶硅有怎样的导电特性?	165
9-12	什么是可控硅? 可控硅的工作原理是什么?	164	9-17	还原炉的伏安特性是怎样的?	166
9-13	什么是整流和逆变?	165	9-18	还原炉热载体的种类有哪几种?	166
9-14	还原炉为何要采用交流电加热?	165	9-19	用硅芯作为发热体为何要用高压电击穿?	167
			9-20	钼丝炉有什么优点?	167

第 10 章 有关环保节能的问题

168

10-1	为何要环保节能?	168	10-9	为何要用还原尾气来生产盐酸?	170
10-2	还原炉为何要用油冷却?	168	10-10	为何要用还原尾气来生产有机硅?	171
10-3	可以采用蒸汽冷却还原炉吗?	169	10-11	可以让四氯化硅与三氯氢硅一起进还原炉吗?	171
10-4	怎样采用热油制冷?	169	10-12	为何从还原炉排出的尾气首先要进入节能器?	171
10-5	精馏塔怎么节能?	169	10-13	为何还原炉的尾气最终还需用淋洗法处理后才可排放?	171
10-6	增加还原炉的硅棒数可以节能吗?	169			
10-7	多晶硅生产为何要与石英玻璃联产?	170			
10-8	为何要用还原尾气来生产白炭黑?	170			

第 11 章 有关安全生产、事故防范与处理

172

11-1	在太阳能光伏电池的生产中为何非要强调安全生产呢?	172	11-21	为何多晶硅和外延生产厂房要上下都有通风口?	179
11-2	氢气有哪些危险性?	172	11-22	为什么硅烷的储存需要用高纯氮或氢稀释?	179
11-3	氧气有哪些危险性?	172	11-23	为什么三氯氢硅的储罐需要用水降温?	179
11-4	三氯氢硅有哪些危险性?	172	11-24	多晶硅生产中跑漏料该怎么办?	179
11-5	四氯化硅有哪些危险性?	173	11-25	何谓气体置换?	180
11-6	氢气设备对厂房有什么要求?	173	11-26	为什么氧气阀门不能碰到油污?	180
11-7	对四氯化硅合成和提纯厂房有什么要求?	174	11-27	电气设备发生火灾应采取怎样的灭火措施?	180
11-8	对三氯氢硅合成和提纯厂房有什么要求?	174	11-28	为什么四氯化硅跑漏时要用氨水去处理?	182
11-9	对氢气净化厂房有什么要求?	175	11-29	三氯氢硅操作应注意哪些问题?	182
11-10	对多晶硅氢还原厂房有什么要求?	175	11-30	什么是静电效应?	183
11-11	对石英玻璃制砵厂房有什么要求?	175	11-31	静电有哪些危害? 怎样防止?	184
11-12	对四氯化硅或三氯氢硅合成和提纯设备有什么要求?	175	11-32	为何非要等还原炉、单晶炉降温后才能让产品出炉?	184
11-13	对氢气净化设备有什么要求?	175	11-33	什么是石英化?	185
11-14	对多晶硅氢还原设备有什么要求?	176	11-34	对于四氯化硅和三氯氢硅储运方面都有什么规定?	185
11-15	对石英玻璃制砵设备有什么要求?	176	11-35	为什么氧气瓶在使用中要留有一定压力的余气?	185
11-16	对氢气管道有什么要求?	176	11-36	为什么氢气、氧气瓶绝对不能混用?	186
11-17	对氧气管道有什么要求?	177			
11-18	为什么氢气管路上要加阻火器?	178			
11-19	为什么使用氢气的厂房不宜采用有井字梁的结构?	178			
11-20	为什么使用氢气的厂房屋顶不宜采用机械排风?	178			

- | | | | |
|---------------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 12-1 多晶硅生产对环境有什么影响? 如何改进? | 187 | 12-7 为何说多晶硅生产厂最好建在氯碱工厂旁边? | 195 |
| 12-2 多晶硅生产耗能为何高? 如何改进? ... | 187 | 12-8 为何说多晶硅生产厂最好建在大海中? | 195 |
| 12-3 怎样提高单位时间的厚度沉积速率? | 188 | 12-9 什么是带硅? 目前有几种种带硅的生产技术? | 195 |
| 12-4 加大硅芯直径对产率有什么影响? ... | 191 | 12-10 有可以替代硅的材料吗? | 196 |
| 12-5 加大硅棒的最终直径对产率有什么影响? | 193 | 12-11 太阳能光伏电池的前景是怎样的? | 196 |
| 12-6 有哪些新式精馏方法? 有哪些新式精馏塔? | 194 | | |

第1章 有关能源和太阳能方面的基础知识

1-1 什么是能源？能源有多少种？

能源是人们亲密的朋友，不管在生活还是在工作中，都离不开它。能源虽与人们关系如此密切，但过去人们却很少谈论它，其原因是，由于过去人们认为能源取之不尽、用之不竭，根本用不着过多地去关注。可现在不同了，尤其是两次石油危机之后，人们的观点改变，明白了能源的重要性，因此才使之成为人们议论的热点。那么，究竟什么是能源呢？关于能源的定义，目前有多种。我国的《能源百科全书》说：“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源。”可见，能源是一种呈多种形式且可以相互转换的能量源泉。确切而简单地说，能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源。

可以作为能源的物质有很多，如电、水、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光、沼气等都可作为能源。能源是一个成员众多的庞大家族。不仅如此，而且还不断有新的成员加入。广义来说，只要能为人类利用以获得有用能量的各种来源都可以归入能源家族中来。

为了说清能源，人们习惯把能源分成类，常见的分类方法也有很多。

根据其产生的方式可分为一次能源和二次能源，从自然界直接取得的未经任何改变或转换的能源，如原油、原煤、天然气、生物质能、水能、核燃料以及太阳能、地热能、潮汐能等被称为一次能源；由一次能源经过加工或转换得到的能源，如煤气、焦炭、汽油、煤油、电力、热水、氢能等被称为二次能源。

根据是否可再利用可分为可再生能源和不可再生能源，如水力，使用后会流向下游，会流入大海，然后变成水蒸气返回江河源头重新成为水力资源，因此被称为可再生能源；如煤炭、石油、天然气等按当前技术只可使用一次，很难重复或循环使用，因此被称为不可再生能源。

根据能源消费后是否造成环境污染可分为污染能源和清洁型能源，如煤炭、石油使用时会产生污染物，因此被称为污染能源；如水力、电力、太阳能、风能等使用时不会产生污染，因此被称为清洁型能源。

根据是否是商品可分为商品能源和非商品能源，如煤炭、石油、天然气、水电和核电等都是作为商品流通环节大量消费的能源，因此被称为商品能源；如储存在地球环境中的能流、太阳能、地球内的放射性能源都是大自然的恩赐，不用付费，因此被称为非商品能源。

根据使用的前后又可分为常规能源和新型能源，在现有经济和技术条件下，已经大规模生产和广泛使用的能源，如煤炭、石油、天然气、水能和核裂变能等被称为常规能源；新型能源是相对于常规能源而言，是近代出现的，在新技术上系统开发利用的能源，如太阳能、海洋能、地热能、生物质能等；新型能源大部分是天然和可再生的，是未来世界持久能源系统的基础。

为规范能源分类，世界能源委员会主张能源按其形态、特性或转换和利用的层次进行分类，建议把能源分成：固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、核能、电能、太阳能、生物质能、风能、海洋能和地热能。

1-2 能源与社会经济有什么关系?

能源与社会经济有密切关系。

人们所需的能源虽多,但可以将其分为两种:一种是为维持个人生命的生理能源;另一种是日常生活、社会活动及生产活动中使用的生活能源。

据统计得知,人们从水和食品中摄取的生理能源,世界平均约为每人 2200kcal/天^①,生活能源世界平均水平为每人 45000kcal/天,是生理能源的 20 倍以上。人们对生理能源的需求差别不大,而生活能源就不同,会因地域文明程度的不同、人们生活水平的不同而有很大差异,下面的表 1-1 和表 1-2 给出的是几个国家的能源消费状况。

表 1-1 部分国家的人均能源消费比较

单位: kg 油当量^①/人

年份	中国	美国	日本	法国	英国	意大利	韩国	加拿大	德国
1980 年	421	7908	2972	3539	3572	2466	1087	7854	4587
1994 年	664	7819	3856	4042	3772	2707	2982	7854	4128
2004 年	1240	79125	41758						

① 1kg 油当量=10000kcal/kg=41866kJ/kg。

资料来源:世界银行,1996 年世界发展报告,1997 年 6 月。

表 1-2 世界不同收入国家的人均能源消费

单位: kg 油当量/人

年份	世界平均	低收入国家	中等收入国家	高收入国家
1980 年	1419	248	1537	4644
1994 年	1433	369	1475	5066

资料来源:同表 1-1。

从表 1-1 和表 1-2 中可以看出能源与社会经济的密切关系。越是经济发达、国民收入高的国家,能源的消费就越多,例如,美国生活能源的消费是世界平均值的数倍之多。

为什么经济越是发达的国家能源的消费就越多呢?道理很简单,经济越发达,人对物质的需求就越多,生产活动就会随之增多;人对物质的需求多了,生产活动多了,能源的消费必然增多。

那么为什么社会经济越好、国民收入越高,能源的消费就越多呢?其道理也一样,国民收入越高,人们对物质的需求就越多。在经济不好、国民收入低的社会里,人们想的是怎样有衣服穿、吃饱饭。也就是说,只要能够“丰衣足食”就已经足够。可国民收入高的人们不仅要有衣服穿、吃饱肚子,而且要吃好穿好,这还不够,还要乘坐汽车、飞机、轮船,看电视、电影,用电脑、手机、暖气、空调、洗衣机等。这些都要消费能源。目前一个高收入国家人们每天消费的能源是那些国民收入低国家人们的几十倍。

1-3 能源与人口有什么关系?

能源与人口的关系是非常简单的,人是消费能源的主体,消费能源的总量与人口的数量有密切关系,人口少,消费量就少;人口多,消费量肯定要增加。

虽说各国、各地区、各阶层的人均能源消费量各有不同,但消费总量的多少还是与人口的数量有关系,人均能源消费量再高,如人口少,其总量也不会太大;反过来,人均能源消费量再低,如人口多,其总量也不会太小。以中国为例,2004 年,人均能源消费量仅有 1240kg 油

① 1cal=4.1840J。

当量, 低于世界的平均数 1740kg 油当量, 可由于人口众多, 所以能源消费总量并不低, 占全世界能源消费总量的 12.42%, 仅次于美国, 居世界第二位。

1-4 能源与环境有什么关系?

能源的消费, 特别是化石燃料能源的消费对环境的影响极大, 它的排放物污染环境, 破坏人类的生存空间。

据统计, 近一个世纪以来, 全球化石燃料的使用量几乎增加了 30 倍。目前全世界每年向大气中排放的 CO_2 约 210 亿吨, 使大气中 CO_2 的浓度由 19 世纪上半叶的 270×10^{-6} 增加到 1980 年的 344×10^{-6} 。预计到 2030 年大气中 CO_2 的浓度还要增加 1 倍, 达到 680×10^{-6} 。

由于 CO_2 等引起的“温室效应”, 使全球气候明显变暖。科学家预测, 到 21 世纪中叶, 地球表面平均温度将上升 $1.5 \sim 4.5^\circ\text{C}$, 从而导致南北极冰雪部分融化。加上海水本身热膨胀, 就会使世界海平面上升 $25 \sim 100\text{cm}$, 一些地势低洼的沿海城市将葬入海底。地球上的许多平地, 如上海、伦敦、纽约等城市会全部被淹没。数亿沿海居民将被迫迁居。同时地球变暖将使不少国家和地区干旱少雨, 虫害增多, 农业减产。

此外, 全世界每年向大气中排放的 SO_2 、氮氧化物等有害气体也在急剧增加。当大气中的 SO_2 与氮氧化物遇到水滴或潮湿空气即转化成硫酸与硝酸溶解在雨水中, 使降雨的 pH 值低到 5.6 以下 (正常为 5.6), 这种雨称为酸雨。如果大气中 SO_2 和氮氧化物浓度很高时, 可以使降雨的 pH 值低到 3 左右。

在我国, SO_2 等主要来自煤炭的燃烧。据 23 个省市测定表明, 其中 21 个省市均发现酸雨, 占 90% 以上。我国降雨酸度由北向南呈逐渐加重趋势。长江以南酸雨已是比较普遍的问题, 最严重的是西南和华南。在我国的华北、东北和西北过去很少出现酸雨, 而今酸雨也在困扰某些地区。

由于能源排放而使大气臭氧层遭破坏的问题等都与能源有密切关系。

全球能源的需求还在迅速增长, 导致世界环境承载力愈发不堪重负。环境污染和气候变化等问题还会变得日益严峻。可以说, 能源, 特别是化石燃料能源, 是扼杀环境的罪魁祸首; 能源与环境之间的关系是狼与羊的关系。

1-5 什么是 3E? 3E 之间的矛盾何在?

人们在谈论能源问题时, 常提到 3E。什么是 3E?

3E 指的是能源、经济和环境。在英语中, energy 是能源, economy 是经济, environment 是环境, 3E 是这三个字的字头, 被用来代表能源、经济和环境。经济和环境与能源密切相关, 在谈论能源问题时, 自然要涉及经济和环境。

当今世界人口在不断增长, 而且增长的速度越来越快。第二次世界大战以前, 尤其是 20 世纪以前, 世界人口增长相当缓慢, 史前时期上万年、上千年还增长不了 1%, 17 世纪以后增长速度稍微加快, 但年均增长也就是 0.5% 左右。在第二次世界大战后人口增长速度发生了明显变化, 20 世纪 40 年代末到 70 年代初世界人口的增长速度接近 2%。人口增长速度的加快, 使人口倍增的时间在不断缩短, 即世界人口每增加 1 倍的年限越来越短, 史前时期需要几百万年, 古代需要几千年, 当代只需要几十年。1804 年世界人口达到 10 亿人, 123 年以后即 1927 年达到 20 亿人, 33 年后即 1960 年达到 30 亿人, 14 年后即 1974 年达到 40 亿人, 而 13 年后即 1987 年就上升到 50 亿人, 1999 年 10 月 12 日“60 亿人口日”的到来, 显示世界人口增长 10 亿人的时间已缩短到 12 年。可以说, 当今的世界人口在暴涨。

当今世界不仅人口在增长, 经济也在飞速发展。据国际货币基金组织 2007 年 10 月发表的《2007 年世界经济展望》报告, 2006 年世界经济实现了 5.4% 的增长, 比 2005 年高出 0.6 个

百分点。预计 2007 年增长率为 5.2%。可以说，当今世界经济在飞速发展。

人口在增长，经济在发展，可能源，特别是石油、煤炭等目前大量使用的传统化石能源在减少。当今虽有大量新能源出现，但现在世界的能源消费还是以石油、煤炭等传统的化石能源为主。地球上的化石资源是有限的，大量使用已使传统化石能源的资源逼近枯竭，据估计，按当前的消费速度，到 2040 年，首先石油将出现枯竭；到 2060 年，天然气将用尽；世界已探明可采煤炭储量共计 15980 亿吨，预计还可开采 200 年。也就是说，到 2200 年也将面临终结。

经济发展会使人们的生活水平提高，这本是件好事，问题是，经济的发展带来了能源消费的增多，这必然会增加对能源的压力。当今的世界能源资源短缺，地球的能源已经无法满足日益增长的能源需求。而随着世界人口的不断增加，能源紧缺的时期将会提前到来。可以说，人口增加、经济发展带来能源紧缺，这是当前人类面临的一大问题，也是 3E 之间的一大矛盾。

全球能源需求的迅速增长，导致环境承载能力愈发不堪重负。环境污染和气候变化等问题正在变得日益严峻，已经成为人类面临的巨大挑战。如果不能正确应对这一危机，将会造成严重的后果。

这是 3E 之间最明显的矛盾，其实，3E 之间的矛盾远不止这些，也不是这么简单，它们是循环的、多重的矛盾。如图 1-1 所示。

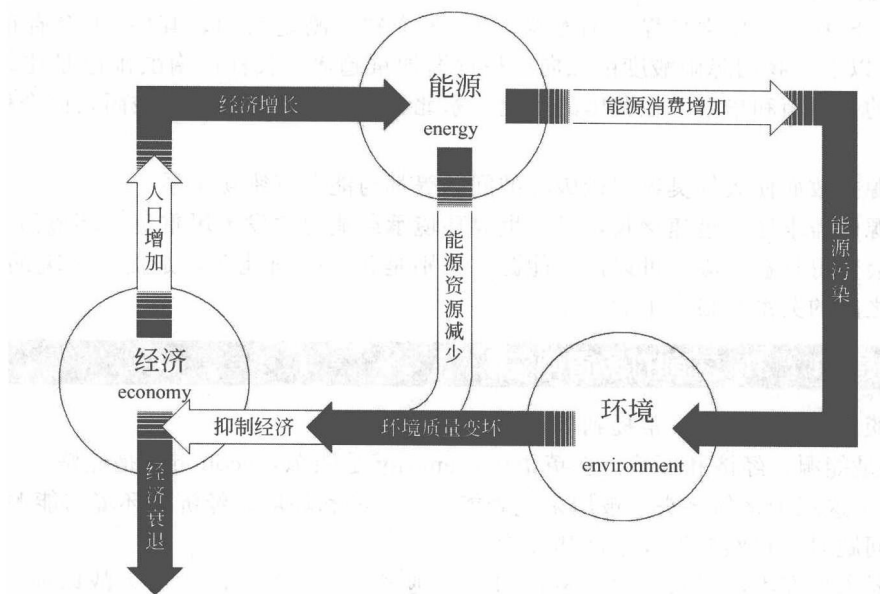


图 1-1 3E 之间的关系

从图 1-1 中可以看出，3E 之间是循环的、多重矛盾的。人口增加、经济增长应是起始点。人口增加和经济增长造成能源消费的增加，双双对能源施压，导致能源不堪重负，特别是传统化石能源的资源逼近枯竭，引起能源紧缺。经济发展是离不开能源的，能源短缺必然会影响到人类的正常生活，影响工农业的发展，最终将抑制经济的发展，导致经济下滑甚至衰退。

能源消费的增加，特别是传统化石能源消费的增加将严重地危害环境，环境质量变坏，必然要影响经济的发展，抑制经济的增长。因为作为经济主体的人没有了好的环境，甚至失去了正常的生存空间，经济怎能发展？经济受到环境的抑制怎能不下滑？怎能不衰退？

1-6 能源问题的出路何在?

人类面临能源的主要问题,其实就是 3E 问题。解决人类面临的能源问题,就是解决 3E 之间的矛盾。

3E 之间的矛盾是循环的、多重的。面临这样错综复杂的矛盾,怎样来解决呢?

3E 之间的矛盾虽错综复杂,但它们的关系是清楚的,从图 1-1 中可以看到,引起能源资源减少的原因是能源消费的增加,而能源消费增加是经济增长和人口增加造成的。很显然,要解决这一问题的途径有两个:一是计划生育,控制人口的增加;二是抑制经济,放缓经济增长的步伐。

另外,抑制经济、放缓经济增长的步伐确实也可以达到抑制能源消费增加的目的,但不可取。因为抑制经济、放缓经济增长势必影响经济发展,降低人们的生活水平。

仔细想来,用控制人口、抑制经济的方法来放缓经济增长虽然有效,但都是治标不治本,都很难解决最终问题。那怎样才可彻底解决能源问题,实现治本去根呢?

抑制能源消费增加有两个目的:一是防止能源对环境的污染;二是缓解能源紧缺。要知道,防止能源对环境的污染,不一定非要抑制能源消费,完全可以采用不污染、少污染的清洁能源来代替污染的化石能源。如果能源没有污染,再抑制能源消费也就没有任何意义。

其实,缓解能源紧缺,也不一定非要抑制能源消费,完全可以采用可再生能源来代替现有能源。如果能源可以再生,那么能源就会取之不尽,就不用再担心能源枯竭,能源紧缺的局面也就会自然消失。如果有了足够的能源可以消费,如果可以让人们去随使用,随便去消费,就用不着再去用抑制经济来放缓经济增长。

由此看来,采用不污染、少污染并可以再生的绿色能源来代替传统的化石能源是解决现有能源问题的真正出路。

1-7 作为 21 世纪新能源的必要条件是什么?

要想提高人们的生活水平,实现可持续发展,必须拥有足够、持续可用的能源,面向 21 世纪,开发代替化石燃料的绿色能源是迫在眉睫的大事。

作为 21 世纪的新能源,需要具备哪些条件呢?人们普遍认为其基本条件可包括下面的四个方面。

(1) 作为 21 世纪的新能源必须是“绿色”的,不仅是不污染、少污染并可以再生的,而且还应是不给地球环境增加任何负荷的能源。

(2) 应是资源丰富,生产量和储量都能够满足今后人类社会发展的需要,可持续的永久性能源。

(3) 应是易于开采、易于生产,价格低廉,不超过现在化石燃料价格的能源。

符合以上条件,可作为 21 世纪新能源的有风能、海洋能、地热能、太阳能和生物能等,但资源最丰富、最不用担心枯竭的能源应是太阳能。

1-8 什么是太阳能?

说起太阳能,有人认为是一种新能源,其实不然,从地球一诞生,生命一出现起,地球就没有离开过太阳,也没有离开过太阳能;人类也不例外,吃、喝、成长、发育都离不开太阳能,赋予人们生命的就是太阳能。没有太阳能,哪会有地球的今天?没有太阳能,哪会有生命?没有太阳能,哪会有人类?

太阳从东方升起,从西方降落,它带来的不仅是光明、温暖、四季和昼夜的更替,抚育万物,造成大气层中的风、雨、雷、电,还提供了生命所需的一切。地球上的风能、水能、海洋

温差能、波浪能和生物质能以及部分潮汐能都是来源于太阳, 严格来说, 它们都是太阳能, 是太阳能的变种, 是太阳能的另一种形式; 即使是地球上的化石燃料(如煤、石油、天然气等), 从根本上说也是远古以来储存下来的太阳能, 所以广义上的太阳能所包括的范围非常大。

但现在所指的是狭义的太阳能, 则仅限于太阳辐射能的光热、光电和光化学的直接转换。

太阳能既是一次能源, 又是可再生能源。它资源丰富, 既可免费使用, 又无须运输, 对环境无任何污染。

1-9 太阳的构造是怎样的? 太阳能的资源有多少?

想了解太阳能, 首先要了解太阳的构造。太阳是距离地球最近的一颗恒星, 简单来说, 太阳是一个炽热的大气体球。它的直径约为 $139 \times 10^4 \text{ km}$, 是地球直径的 109 倍, 其体积是地球的 130 万倍, 而质量为地球的 33 万倍, 所以, 它的密度只是地球的 $1/4$ 。太阳通常可分为内球和太阳大气两大部分。内球的外层是处于对流之中的流体区域; 太阳大气又分为两层, 其底层称为光球, 就是人们平常所能看见的部分。其上面是厚约几千公里的色球层, 最外面是一层密度很小的日冕, 它的形状不规则, 而且经常变化。从太阳球心到平均半径为 $1/4$ 的范围内, 含有总质量的 40%, 温度高达 $1500 \times 10^4 \text{ }^\circ\text{C}$, 密度超过 1009 g/cm^3 。在平均半径的 70% 处, 温度降至 $50 \times 10^4 \text{ }^\circ\text{C}$; 在外面的对流层中, 温度进一步降至约 $6000 \text{ }^\circ\text{C}$, 密度降至 $0.01 \mu\text{g/cm}^3$ 。

太阳的主要成分是氢和氦, 其中氢约占 78%, 氦约占 20%。在异常的高温、高压下, 原子失去了全部或大部分核外电子, 它们在高速运动和互相碰撞之中, 发生多种核反应。其中最主要的是氢聚合变成氦核的反应, 称为热核反应。

根据爱因斯坦相对论可知, 通过热核反应, 质量可以转换为能量, 其公式为:

$$E=mc^2$$

式中, m 为物质的质量; c 为真空中的光速 ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$)。

太阳每秒将 6 亿多吨氢变为氦并产生大量的能量。这些能量发射出来, 总功率相当于 $3.8 \times 10^{20} \text{ MW}$ 。尽管太阳的发射功率如此巨大, 但是, 太阳的质量毕竟太大, 照这样消耗下去, 仍然能够维持几十亿年。

1-10 到达地球的太阳能是多少?

在地球上, 虽然有白昼也有黑夜, 可太阳每时每刻都在照耀地球。虽说如此, 但不是所有的太阳能都能来到地球上。太阳的能量是通过光的形式向四面八方发射, 把能量散发到宇宙空间。

地球绕太阳公转的轨道呈椭圆形, 其日地之间的距离很远, 平均距离约为 $1.495 \times 10^8 \text{ km}$ (最远距离和最近距离分别为 $1.52 \times 10^8 \text{ km}$ 和 $1.47 \times 10^8 \text{ km}$); 对于宇宙来说, 地球又很小, 所以地球接收太阳能就很少, 大部分太阳能都散发到宇宙空间。以地球和太阳的大小和相对位置为依据计算后可以得知, 太阳总辐射能量中, 只有 22 亿分之一到达地球大气层的上界, 约为 $1.73 \times 10^{12} \text{ kW}$ 。

要知道, 这只是到达地球大气层的上界, 而不是地球表面得到的太阳能数量。太阳辐射的太阳能通过大气时, 分别受到大气中的水汽、二氧化碳、微尘、氧和臭氧以及云滴、雾、冰晶、空气分子的吸收、散射、反射等作用, 而使投射到大气上界的太阳辐射不能完全到达地面。

如图 1-2 所示, 太阳能到达地球大气层的上界后, 遇到空气分子、尘粒、云滴等质点时, 都要发生反射。据统计, 太阳能向地球辐射的太阳能还有 30% (约为 $51.9 \times 10^{12} \text{ kW}$) 以光的形式又反射到宇宙中去, 只有 70% ($121.1 \times 10^{12} \text{ kW}$) 进入了大气层。

从宇宙飞船上看地球, 可以非常清晰地看到, 具有高反射率的海洋和云层的地球, 闪着蔚

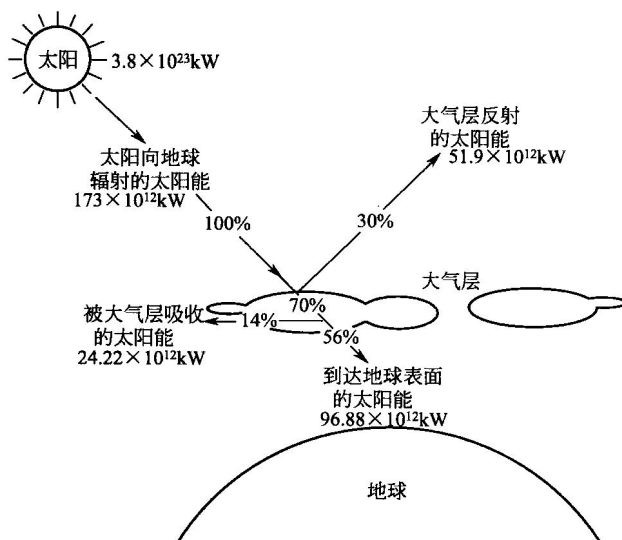


图 1-2 太阳能辐射示意

蓝色的光，这一点已得到证实。

太阳辐射穿越大气层时，大气中某些成分具有选择吸收一定波长辐射性能的特性。大气中吸收太阳辐射的成分主要有水汽、氧、臭氧、二氧化碳及固体杂质等。太阳辐射被大气吸收后变成热能，因而使太阳辐射减弱。因此，进入大气层中的太阳能中还要有 20%（约占太阳向地球辐射太阳能总量的 14%）被大气层散射或吸收，只有其中约 80%（约占太阳向地球辐射太阳能总量的 56%）多的太阳能穿过了大气层，最终到达了地球表面。由于大气层的散射和吸收，最后到达地球表面的太阳辐射功率约为 $96.88 \times 10^{12} \text{ kW}$ 。这与整个太阳辐射能量相比是太微不足道，可实际上，它仍然是全球发电容量的数十万倍。

1-11 什么是光？什么是辐射光谱？

太阳是个炽热的大火球，它的表面温度可达 6000°C ，它以光辐射方式不断把巨大的能量散发到宇宙，也传送到地球上，哺育万物生长。

光是一种电磁波，是以 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 的速度进入空间的波。光除了有干涉、衍射等波的性质以外，还有光电效应、康普顿散射等，具有只有看成高能粒子才能解释的性质。将光看成粒子时，称为光子，但与日常看到的粒子不同，没有尺寸大小。

人们所见到的太阳光是无色（也可说是白色）的，其实它的颜色不是单一的，而是由红、橙、黄、绿、青、蓝、紫不同颜色的光组成的。每种颜色光的波长各不相同：红色光的波长是 $622 \sim 770 \text{ nm}$ ；橙色光的波长是 $597 \sim 622 \text{ nm}$ ；黄色光的波长是 $577 \sim 597 \text{ nm}$ ；绿色光的波长是 $492 \sim 577 \text{ nm}$ ；蓝色光的波长是 $455 \sim 492 \text{ nm}$ ；紫色光的波长是 $390 \sim 455 \text{ nm}$ 。

这只是可见光，是太阳光的一小部分，如图 1-3 所示。可见光的波长是 $390 \sim 770 \text{ nm}$ ，小于 390 nm 的是紫外线，大于 770 nm 是红外线。其实，这也不是太阳光的全部，在波长上看，仍然是一小部分，比紫外线波长短的还有 X 射线和 γ 射线，比红外线波长长的还有微波、短波和无线电波。

也就是说，太阳辐射光的波长不是单一的，各有不同的波长，波长越短，光子的能量越大。通常紫外线的能量比可见光强，这意味着波长短的光是具有较高能量的光。

图 1-4 就是太阳的辐射光谱。太阳的辐射光谱可便于人们搞清太阳辐射光波的波长分布及辐射能量的大小。图中，地球表面上的太阳辐射光谱，与宇宙空间的辐射光谱相比，变成了锯齿