

中国科学院大学研究生教材系列

# 半导体光子学

余金中 著



科学出版社

中国科学院大学研究生教材系列

中国科学院大学研究生教材系列

# 半导体光子学

余金中 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

光子学是与电子学平行的科学。半导体光子学是以半导体为介质的光子学,专门研究半导体中光子的行为和性能,着重研究光的产生、传输、控制和探测等特性,进一步设计半导体光子器件的结构,分析光学性能及探索半导体光子系统的应用。

本书分为13章,包括光子材料、异质结构和能带、辐射复合发光和光吸收、光波传输模式;超晶格和量子阱、发光管、激光器、探测器、光波导器件和太阳能电池等光子器件的工作原理;器件结构和特性以及光子晶体、光子集成等方面。

作者在中国科学院大学(原研究生院)兼职教学18年,本书以该课程的讲义为基础历时3年写成,力求对半导体光子学的基本概念、光子器件的物理内涵和前沿研究的发展趋势作深入的描述和讨论,尽可能地提供明晰的物理图像和翔实的数据与图表。

本书可以作为高校光电子、光学工程、通信、物理等专业的高年级本科生和研究生的教材,也可在相关领域从事研发、生产和管理的人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

半导体光子学 / 余金中著. — 科学出版社, 2015.5

中国科学院大学(原研究生院)教材系列

ISBN 978-7-03-044217-8

I. ①半… II. ①余… III. ①半导体—光子—研究生—教材 IV. ①047

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 090477 号

责任编辑:钱俊 裴威 / 责任校对:赵桂芬

责任印制:肖兴 / 封面设计:陈敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年5月第一版 开本:720×1000 1/16

2015年5月第一次印刷 印张:26 1/4

字数:527 000

定价:128.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 序

通常,科技著作出版时总是请名人作序,余金中要我为此书作序,让一个平凡的人做一次不平常的事情。

要我作序的理由是,我们是同学、同行、同事,我对该书的内容和写作过程非常了解。从他接手研究生院上课到“半导体光子学”被评为中国科学院大学的精品课程,再到写这本书,我十分熟悉这个过程。我是该书的第一个读者,每章写完时,我阅读原文,或者他念给我听,之后我们一起讨论,他再修改。此书历时之长,其中写作的艰辛,我特别了解。

选修过这一课程的研究生来自全国不同的高校,有1800人之多,有近一半人没有学过“半导体物理”和“固体物理”。该书的读者定位是有大学物理基础的人,为此书中对一些物理概念作了必要的和简洁的介绍,因此本书具有一定的基础性。

自从爱因斯坦提出复合辐射发光理论以来,光子学经历了一百年的高速发展,人们对于光的产生、传输、探测、应用进行了深入的研究,该书对半导体中的这些过程和特性进行了深入浅出的讲述,因此本书具有深厚的科学内涵,有一定的专业性。

这是一本以精品课程的讲义为基础的科学著作,教学中学生们提过各类问题,课后我们常对一些难题进行讨论,吸取他们的意见和建议,力求准确地描述各种物理模型、效应、机理、结构和特性,因此本书具有可读性。

每章成稿时,我们在一起念和听,对于那些长的句子进行修改,力求通顺,具有口语化的特点。与此同时,有些段落比较啰嗦,不同章节中的内容也有些重复,这是其中的不足之处。

我了解余金中对科研和教学的热爱,理解他写作该书的艰辛。他常常连续工作十多个小时,周末也得不到休息;我家的书房铺满了打开的书籍和文献,还不许打扫和移动。现在终于脱稿了,他也该帮我做一些家务了。

作为第一个读者,谨以此短文为序。

王杏华

2015年3月12日

## 前 言

1958年中国科学技术大学成立之初,郭沫若校长就提出了“全院办学、所系结合”的办学方针。当时严济慈、华罗庚、钱学森、钱临照、王守武、郝柏林等一大批世界知名的科学家讲授基础课和专业课。作为1960年考入中国科学技术大学的第三届学生,我们是这一方针的受益者,严济慈院士讲授“电磁学”和“电动力学”,钱临照教授讲授“普通物理”,郝柏林教授讲授“固体物理”,王守武教授讲授“半导体物理”,这几位教授后来都成为中国科学院院士。他们高尚的品德、严谨的学风、渊博的知识影响了我们这一代人。他们的身体力行给我们做出了榜样,科学家到大学讲授基础课和专业课使科学知识得到了有效的传承。

1997年,时任中国科学院半导体研究所所长的郑厚植院士征询我的意见,能否到中国科学技术大学研究生院(北京)讲课。我大学毕业后考上王守武教授的研究生,1965~1967年是中国科学技术大学研究生部的学生,在那里留下了我成长的足迹和美好的回忆。我有心报答我的母校和恩师,因此我欣然接受这一任务。后来该研究生部改名为中国科学院研究生院,现在又改名为中国科学院大学。我在半导体研究所进行科研工作的同时,每年到研究生院讲授研究生的专业课程。起初开设的课程是“半导体量子器件物理”,由李国华研究员和王良臣研究员讲授电子学部分,由我教授光子学部分。后来由于课程内容的增加,我们将这一课程拆分为两门课,他们的课依然为“半导体量子电子器件物理”,没有光子学的内容,我教的课程定名为“半导体光子学”,这就是该课程的由来。

该课程初期以介绍半导体激光器和探测器的器件结构和原理为主,后来就扩充到以异质结物理、半导体中的载流子的复合与辐射、量子阱激光器和分布反馈激光器、光子晶体、光波导、光子集成等,但重点还是放在半导体中光的产生、传输、探测的物理内涵上。

事实上,关于这一课程的某些内容已经出版过专著。21世纪初中国科学院的路甬祥院长主持出版过一套科普丛书,要求半导体研究所也参加。经王启明院士的推荐,我将讲义中的主要部分写成《半导体光电子技术》一书,2004年由化学工业出版社出版。那是一本科普读物,将课程中内容较深的理论和公式删除了,只保留一些主

要的原理和器件结构,在应用方面则加了一些内容,以便大家能够感兴趣。虽然有几所大学将该书列为教学和考博的参考书,发行和印数不少,但是内容比较简单,不适合深入学习和参考。

自1997年开始,我教授这一课程已有18年之久,累计学生人数1800多人。这些年来,半导体光子学发展很快,内容增加了许多,这门课程的内容也随之发生了很大变化,由初期的7章增加到现在的13章。许多同事和学生建议我能够将讲义整理成专著。因此,本书就是我在中国科学院大学授课讲义的基础上编写而来的,其内容要比《半导体光电子技术》多许多,物理内涵也深许多。

本书共13章,包括异质结概念、能带图、载流子辐射复合与吸收;超晶格和量子阱、激光器、探测器和光波导器件的原理、结构和特性;光子晶体、光伏太阳能电池、光子集成。在教学过程中,研究生的提问和同他们的讨论使本书的结构和章节几经修改,力求系统化、条理化、实用化。在叙述中力求由表及里、由简单到复杂、深入浅出,从而得出有内涵的物理图像。“深入浅出”是严济慈院士讲课时一再倡导的,也是本书作者所追求的。

在经历了50年的一线科学研究工作和18年的研究生教学之后,我深深感受到教学和科研相互依存的关系和相互推动的作用。为了科研,我们需要坚实的理论基础,为了教学,我们需要熟悉和掌握最新科学前沿的进展和动态。把科研和教学结合起来,既推动了科研,也深化了教学,此中感受,只有亲自经历才能够深刻体会。在信息量猛增的时代,在社会相对浮躁的时期,能够静下心来,读懂一些书,教好一门课,是一件有益而又快乐的事情。把经过18年教学检验的讲义整理成为一本专著,同样也是一件有益而又快乐的事情。

在写作本书时,作者力求将基本概念和基础知识交代清楚,试图让具有大学物理和电子信息等基础知识的读者都能够读懂。因此,本书可以作为高校光电信息、光电子、光学工程、应用物理等专业的研究生和高年级本科生的教材,也适合在高技术和信息领域从事研发、生产和管理的人员阅读。

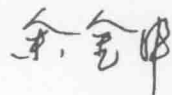
感谢在“半导体光子学”的教学和本书写作过程中王启明院士、郑厚植院士、夏建白院士的鼓励,感谢半导体研究所俞育德研究员,李智勇研究员和李运涛副研究员,华中科技大学黄德修教授和夏金松教授,浙江大学王明华教授和叶辉教授,上海交通大学陈建平教授,南京大学徐骏教授,南昌大学江风益教授,大恒公司的宋菲君总工(教授),武汉邮电科学研究院肖希高工等的支持和帮助。感谢科学出版社的钱俊编辑为本书所做大量细致、繁琐的工作。

感谢中国科学院大学物理学院的胡金旭老师和材料学院的杨立梅老师、中国科学院半导体研究所研究生部祝素娜主任和陈东军老师在教学等方面的热心支持和帮助。同时还要感谢 18 年来选修这门课程的同学，他们提出的各种问题和与其讨论的结果为本书的写作带来巨大帮助。

感谢中国科学院大学将本课程选为数字精品课程，并为本书的出版提供出版基金。

特别感谢我的夫人王杏华，为了支持这本书的写作，她做了许多实实在在的工作。我们在大学时是同班同学，学的专业都是半导体物理，参加工作后又都从事半导体物理的研究，有共同的专业兴趣和熟悉的专业语言，因此我常常对光子学问题进行讨论，对有关物理概念和公式进行认真核对。她的贡献使本书增色不少。

限于作者的水平，本书内容难免有疏漏和不妥之处，恳请专家和读者批评指正。



2015 年 3 月 7 日

# 目 录

序	1
前言	
第 1 章 引言	1
1.1 信息时代的前沿学科——光子学	1
1.2 电子和光子的比较	4
1.3 半导体电子学的发展历程	6
1.4 半导体光子学的发展历程	11
1.5 本书的内容	18
参考文献	19
第 2 章 半导体光子材料	21
2.1 引言	21
2.2 半导体光子材料	22
2.2.1 半导体光子材料的基本特性	22
2.2.2 半导体光子材料的晶体结构	26
2.3 半导体的晶格匹配和失配	28
2.3.1 临界厚度	29
2.3.2 晶格失配度	29
2.4 半导体固溶体	32
2.5 重要的半导体固溶体	35
2.5.1 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$	35
2.5.2 $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$	37
2.5.3 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$	39
2.5.4 $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$	40
2.6 半导体光子材料的折射率	42
2.7 结束语	44
参考文献	45
第 3 章 半导体异质结构	47
3.1 引言	47
3.2 半导体异质结概念	48
3.3 能带的形成	49



3.4	半导体异质结构的能带图	50
3.4.1	半导体的 $E-k$ 关系能带图	50
3.4.2	安德森能带模型	52
3.5	几种异质结的能带图	56
3.5.1	异型异质结的能带图	56
3.5.2	异型突变异质结	57
3.5.3	缓变异质结	61
3.5.4	同型突变异质结	62
3.5.5	双异质结	63
3.6	异质结的电学性质	64
3.6.1	异质结的伏-安特性	64
3.6.2	异质结的电容-电压特性	68
3.6.3	异质结对载流子的限制作用	69
3.6.4	异质结的高注入比	70
3.6.5	异质结的超注入现象	71
3.7	异质结的光学特性	71
3.7.1	异质结对光的限制作用	71
3.7.2	窗口效应	72
3.8	结束语	72
	参考文献	73
<b>第4章</b>	<b>介质波导</b>	<b>75</b>
4.1	引言	75
4.2	光的反射和折射	76
4.2.1	反射定律	76
4.2.2	折射定律	76
4.2.3	反射率和透射率	77
4.2.4	布儒斯特定律	79
4.2.5	临界角和全反射	79
4.3	电磁场理论	80
4.3.1	麦克斯韦方程	80
4.3.2	波动方程	82
4.3.3	平面波	83
4.3.4	有损耗的介质中的平面波	85
4.4	辐射模、衬底模和波导模	87
4.5	平板介质波导	88

4.5.1	全反射	89
4.5.2	波导条件	89
4.6	平板介质波导中的 TE 模	92
4.6.1	对称波导	92
4.6.2	偶阶 TE 模式	93
4.6.3	奇阶 TE 模式	96
4.7	矩形介质波导	97
4.8	古斯-汉欣位移	100
4.9	光的模式	101
4.10	结束语	103
	参考文献	104
<b>第 5 章</b>	<b>半导体中的光发射和光吸收</b>	<b>106</b>
5.1	引言	106
5.2	辐射复合和非辐射复合	107
5.2.1	辐射复合	108
5.2.2	非辐射复合	111
5.3	光辐射和光吸收的关系	113
5.3.1	光辐射和光吸收的基本概念	113
5.3.2	黑体辐射	114
5.3.3	爱因斯坦关系式	117
5.3.4	半导体中受激辐射的必要条件	119
5.3.5	净受激发射的速率	120
5.3.6	两个能级间的光吸收系数	120
5.4	跃迁几率	122
5.4.1	费米黄金准则	122
5.4.2	矩阵元	123
5.5	半导体中的态密度	125
5.6	半导体中的光吸收和光发射	127
5.6.1	吸收系数	127
5.6.2	自发辐射和受激辐射速率	128
5.7	半导体中的光增益	129
5.8	结束语	134
	参考文献	134
<b>第 6 章</b>	<b>半导体发光二极管</b>	<b>136</b>
6.1	引言	136

6.2	pn 结中的载流子分布	136
6.3	半导体 pn 结特性	139
6.3.1	热平衡时的 pn 结特性	139
6.3.2	外加偏压时的 pn 结特性	141
6.4	半导体发光二极管材料	144
6.5	发光二极管的工作原理	147
6.6	LED 器件结构	149
6.7	高亮度发光二极管和超辐射发光二极管	153
6.7.1	高亮度发光二极管	153
6.7.2	超辐射发光二极管	155
6.8	发光二极管的特性	158
6.8.1	伏-安特性	158
6.8.2	$P-I$ 特性	159
6.8.3	温度特性	160
6.8.4	光谱特性	161
6.8.5	调制带宽	162
6.8.6	发光效率 $\eta$ 和出光效率 $\eta_{\text{out}}$	163
6.8.7	相干特性	163
6.8.8	近场和远场分布特性	164
6.8.9	调制特性和偏振特性	164
6.9	结束语	164
	参考文献	166
<b>第 7 章</b>	<b>半导体激光器</b>	<b>167</b>
7.1	引言	167
7.2	异质结对载流子和光波的限制	168
7.2.1	异质结对载流子的限制	168
7.2.2	波导对光波的限制	171
7.2.3	折射率波导和增益波导	173
7.3	半导体激光器的工作原理	175
7.3.1	半导体受激发射物质	175
7.3.2	粒子数反转	176
7.3.3	谐振腔	176
7.3.4	阈值条件	177
7.4	半导体激光器的基本结构	180
7.4.1	DH、LOC 和 SCH 激光器	181

7.4.2 条型激光器	183
7.5 半导体激光器的特性	185
7.5.1 $P-I$ 和效率特性	185
7.5.2 阈值特性	186
7.5.3 效率特性	188
7.5.4 光谱和模式	189
7.5.5 近场图和远场图	190
7.5.6 温度特性	191
7.5.7 调制特性	193
7.5.8 退化和寿命	194
7.6 结束语	196
参考文献	197
<b>第 8 章 量子阱、分布反馈、垂直腔面发射激光器和半导体光放大器</b>	<b>199</b>
8.1 引言	199
8.2 超晶格和量子结构	200
8.2.1 超晶格和量子结构的基本概念	200
8.2.2 量子结构的能带图和态密度	202
8.2.3 单量子阱和多量子阱	203
8.2.4 应变量子阱	206
8.3 量子阱激光器	207
8.3.1 量子阱激光器的工作原理	207
8.3.2 应变量子阱激光器	210
8.3.3 量子阱激光器的特性	211
8.4 分布反馈激光器和分布布拉格反射激光器	213
8.4.1 布拉格光栅	214
8.4.2 DFB 和 DBR 激光器的结构	215
8.4.3 光波耦合理论	218
8.4.4 四分之一波长相移的 DFB 激光器	219
8.4.5 DFB 激光器的特性	221
8.5 垂直腔面发射激光器	224
8.5.1 多层介质膜反射器	225
8.5.2 VCSEL 激光器的结构	226
8.5.3 VCSEL 激光器的特性	228
8.6 半导体光放大器	229
8.6.1 半导体光放大器的结构	229

8.6.2	半导体光放大器的增益 .....	231
8.6.3	半导体光放大器的噪声 .....	232
8.7	结束语 .....	233
	参考文献 .....	234
<b>第9章</b>	<b>光波导器件</b> .....	<b>237</b>
9.1	光波导中的模式的计算方法 .....	237
9.1.1	束传播法 .....	238
9.1.2	时域有限差分法 .....	239
9.1.3	薄膜匹配法 .....	241
9.2	脊形波导的单模条件 .....	241
9.2.1	矩形截面脊形波导的单模条件 .....	242
9.2.2	梯形截面脊形波导的单模条件 .....	243
9.2.3	纳米波导的单模条件 .....	243
9.3	硅基阵列波导光栅 .....	245
9.3.1	罗兰圆和 AWG 的结构 .....	246
9.3.2	AWG 的工作原理 .....	247
9.3.3	AWG 的特性 .....	249
9.4	微环谐振器 .....	251
9.4.1	微环谐振器的结构 .....	251
9.4.2	微环谐振器的光学特性 .....	253
9.4.3	光滤波器 .....	256
9.5	光调制器/光开关 .....	258
9.5.1	硅基波导的调制机理 .....	259
9.5.2	硅基光开关/调制器的光学结构 .....	263
9.5.3	光开关/调制器的电学结构 .....	266
9.5.4	硅基微纳光开关/调制器的特性 .....	268
9.6	硅基光耦合器 .....	269
9.6.1	硅基光耦合器的结构 .....	269
9.6.2	模斑变换器 .....	271
9.6.3	棱镜耦合器 .....	272
9.6.4	光栅耦合器 .....	272
9.7	结束语 .....	276
	参考文献 .....	276
<b>第10章</b>	<b>半导体光电探测器</b> .....	<b>279</b>
10.1	半导体中的光吸收 .....	279

10.1.1	吸收系数	280
10.1.2	带间本征光吸收	283
10.1.3	自由载流子光吸收	284
10.2	pn 结光电二极管	286
10.3	pin 光电二极管	288
10.4	雪崩光电二极管	290
10.5	RCE 光电探测器	294
10.6	MSM 光电二极管	297
10.7	半导体光电探测器的性能	298
10.7.1	量子效率和响应度	299
10.7.2	雪崩倍增因子 $M$	300
10.7.3	暗电流和信噪比	301
10.7.4	响应时间	305
10.8	结束语	307
	参考文献	308
<b>第 11 章</b>	<b>太阳能电池</b>	<b>310</b>
11.1	太阳能——最好的能源	311
11.2	太阳能电池工作原理	314
11.2.1	光伏效应	314
11.2.2	太阳能电池的电流-电压特性	314
11.2.3	光伏效应同材料的关系	317
11.2.4	太阳能电池的效率	318
11.3	硅太阳能电池	323
11.4	非晶硅薄膜太阳能电池	327
11.4.1	非晶硅薄膜的结构和电子态	327
11.4.2	非晶硅薄膜的光学特性	328
11.4.3	非晶硅和非晶锗硅电池	329
11.5	其他硅基太阳能电池	331
11.5.1	非晶硅/微晶硅叠层电池	331
11.5.2	硅量子点电池和黑硅电池	332
11.6	聚光多结太阳能电池	333
11.6.1	多结太阳能电池的结构	334
11.6.2	多结太阳能电池的特性	336
11.7	太阳能电池的发展趋势	339
11.8	结束语	342
	参考文献	343

<b>第 12 章 半导体光子晶体</b> .....	345
12.1 光子晶体 .....	346
12.1.1 光子晶体概念 .....	346
12.1.2 光子晶体的特性 .....	347
12.2 光子晶体能带的计算 .....	350
12.2.1 基于 Bloch 理论的平面波展开法 .....	351
12.2.2 时域有限差分法 .....	353
12.2.3 超元胞法 .....	356
12.2.4 计算举例——负折射效应 .....	357
12.3 光子晶体的应用 .....	358
12.3.1 光子晶体的能带同器件的关系 .....	358
12.3.2 光子晶体波导 .....	360
12.3.3 光子晶体分束器和定向耦合器 .....	363
12.3.4 光子晶体滤波器 .....	364
12.3.5 光子晶体光开关/调制器 .....	365
12.3.6 光子晶体发光器件 .....	365
12.4 光子晶体的制备 .....	369
12.5 结束语 .....	371
参考文献 .....	372
<b>第 13 章 半导体光子集成</b> .....	374
13.1 信息时代需要光子集成 .....	374
13.2 光子集成的平台 .....	376
13.2.1 InP 平台和 Si 平台的比较 .....	376
13.2.2 SOI .....	378
13.3 光子集成的关键技术 .....	379
13.3.1 外延生长技术 .....	379
13.3.2 微纳加工技术 .....	381
13.3.3 键合技术 .....	383
13.4 硅基光子集成 .....	383
13.4.1 硅基光子集成方式 .....	383
13.4.2 硅基光波导器件阵列 .....	386
13.4.3 硅基光子集成的光源和探测 .....	391
13.5 光子集成的发展趋势 .....	394
参考文献 .....	397
<b>索引</b> .....	399

# 第 1 章 引 言

## 1.1 信息时代的前沿学科——光子学

在科学史上,20 世纪是值得大书特书的历史时期,是人类文明史中的辉煌时代。简单地划分一下,20 世纪的前五十年中,物理学研究获得特别重大的突破,以爱因斯坦相对论为代表的理论研究和以居里夫妇的放射性探索为代表的科学实验为人类开辟了新的纪元。20 世纪的后五十年中,应用科学的研究和开发获得特别重大的突破,晶体管、集成电路和激光器的发明大大加速了信息的传输速度和各种控制的精确度,彻底地改变了人类社会的工作模式和生活方式,人类从此进入了一个高速发展的时期。

图 1-1 是 20 世纪的著名物理学家们聚会时的一张合影,这是一张非常珍贵的照片。照片中留下了爱因斯坦、居里夫人、普朗克、洛伦兹、朗之万、居伊、威尔逊、德拜、布拉格、狄拉克、康普顿、德布罗意、玻恩、玻尔、薛定谔、泡利、布里渊等人的身影。凡是学过物理学的人都熟悉他们的名字,学习过以他们的名字命名的定理、定律或物理量单位。这从一个侧面说明,在他们所处的年代,物理学在基础理论方面获得了特别重大的进展,真正是群星灿烂、熠熠生辉。

麦克斯韦、玻尔兹曼、爱因斯坦、布拉格、狄拉克、康普顿、德布罗意、玻尔、薛定谔、泡利、布里渊等科学家创建的电磁学、量子力学和相对论等理论,使人们对物质世界的本质和运动规律有了深刻的理解和认识,使得人类对物质世界的利用和改造变得越来越快。这些基础科学和应用科学的研究引发了电子技术、能源技术和自动化技术等领域划时代的革命性飞跃。集成电路、激光器、计算机与光通信的发展把人类社会的物质文明推进到前所未有的高度,为新世纪的持续发展奠定了坚实雄厚的基础。作为信息与能量的载体,电子在科学技术的发展中作出了历史性的巨大贡献,科学家和工程师们常把 20 世纪称为“电子时代”。同样地,作为信息与能量的载体,光子必将在 21 世纪的科学技术的发展中作出历史性的巨大贡献。

1906 年首次出现“光子学”(photonics)这一物理学名词,最早提出“光子学”的科学家就是举世闻名的物理学家爱因斯坦(Einstein)。1952 年文献中开始使用“光子学”一词。1970 年荷兰科学家 Poldervaart 将“光子学”定义为“研究以光子为信息载体的科学”,之后,他认为“以光子作为能量载体的科学”也属于光子学的研究内容。1982 年美国的 *Spectra* 杂志更名为 *Photonics-Spectra*,即由“光谱”更名为“光子学-光谱”,这是最早以“光子学”为期刊名字的杂志,该刊物提出光子学是研究如何产生



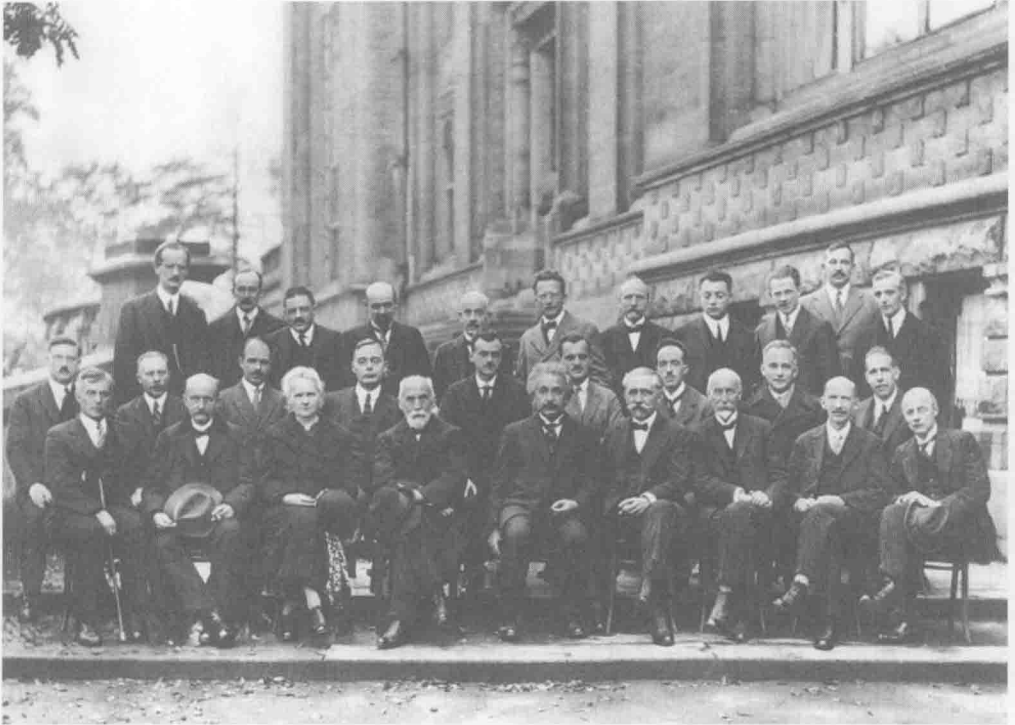


图 1-1 20 世纪的著名物理学家们

前排(左起):朗缪尔、普朗克、居里夫人、洛伦兹、爱因斯坦、朗之万、居伊、威尔逊、理查森。中排(左起):德拜、克劳森、布拉格、克拉默斯、狄拉克、康普顿、德布罗意、玻恩、玻尔。后排(左起):皮卡德、亨利奥特、埃伦费斯特、赫尔岑、德康德、薛定谔、费沙费耳特、泡利、海森伯、福勒、布里渊

量子化的光子或其他辐射并加以利用的科学,光子学的应用范围包括能量的发生到通信与信息处理等。贝尔实验室 Ross 博士认为,“电子学是关于电子的科学”,光子学则应是“关于光子的科学”。我国老一辈科学家钱学森院士提出,“光子学是与电子学平行的科学”,它主要“研究光子的产生、运动和转化”,还首次提出了“光子学-光子技术-光子工业”的发展模式。

显而易见,光子既是信息的载体,也是能量的载体。光子学就是研究作为信息载体和能量载体的光子的行为及其应用的科学;光子学研究光子与物质(包括光子自身、电子、原子、分子、各种生命活体等)的相互作用,在此基础上进一步发掘作为信息载体与能量载体的光子的功能和相关应用<sup>[1-2]</sup>。

广义而言,光子学是研究光子的产生、运输、控制、反应、探测、接收等过程及其应用的科学。理论上,光子学主要研究光子的量子特性,同各类物质(包括分子、原子、电子以及光子自身)的相互作用,各类效应及其规律;应用上,光子学研究利用光子进行信息传输和能量传输的各种器件和系统,以便在信息和能源等领域中获得广泛的应用<sup>[3-5]</sup>。