

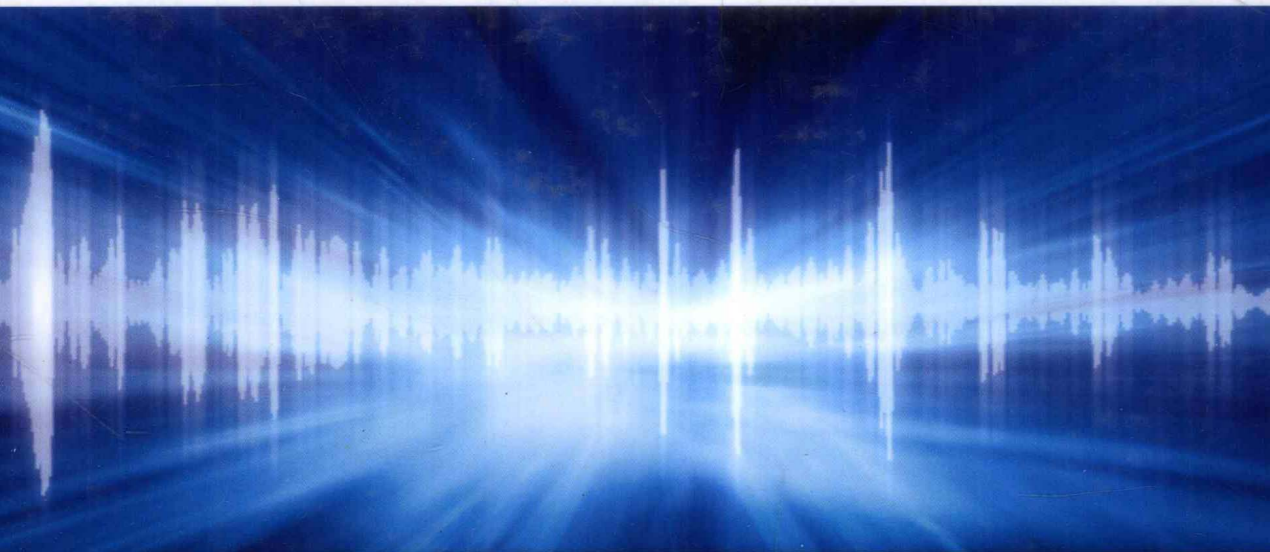


“十二五”国家重点图书出版规划项目

光学与光子学丛书

声光原理与 声光器件

俞宽新 丁晓红 庞兆广 编著



科学出版社



北京工业大学

“211 工程”资助出版

“十二五”国家重点图书出版规划项目

光学与光子学丛书

声光原理与声光器件

俞宽新 丁晓红 庞兆广 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书分成四个部分. 第一部分由前三章组成, 介绍声光技术所需入门理论基础, 包括晶体基本知识、晶体光学、体波与表面波晶体声学、导波光学、光纤光学等; 第二部分由第4章组成, 介绍声光学理论的核心内容, 即按照参量互作用概念建立起来的声光互作用耦合波方程理论; 第三部分由第5章至第7章组成, 介绍声光器件的设计方法, 包括各类体波声光器件, 如声光偏转器、声光调制器、多频声光器件、可调谐声光滤光器、声电光器件和表面波声光器件, 体波和表面波换能器的性能与设计方法; 第四部分由第8章组成, 介绍声光器件的应用, 包括在激光显示记录系统、激光谐振腔、光信号处理、光计算、光探测以及军事上的应用. 本书力求理论上的系统性、技术上的创新性、应用上的实用性.

本书可供光学与声学科研人员, 光电子技术、光通信技术、激光技术、声表面波技术领域的科技人员, 高等院校应用物理、光学、信息光电子等专业的师生参考.

图书在版编目(CIP)数据

声光原理与声光器件/俞宽新, 丁晓红, 庞兆广编著. —北京: 科学出版社, 2011

ISBN 978-7-03-031246-4

(光学与光子学丛书)

(“十二五”国家重点图书出版规划项目)

I. ①声… II. ①俞… ②丁… ③庞… III. ①声学-理论 ②光学-理论
③声光器件 IV. ①O42 ②O43 ③TN65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011) 第 100901 号

责任编辑: 刘凤娟 / 责任校对: 陈玉凤

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

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>

北京佳信达欣艺术印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年8月第 一 版 开本: B5(720 × 1000)

2011年8月第一次印刷 印张: 26 1/4

印数: 1—2 000 字数: 505 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

本丛书名由中国科学院院士母国光先生题写

光学与光子学丛书

《光学与光子学丛书》编委会

主 编 母国光

副主编 陈家璧 朱晓农 朱健强

编 委 (按姓氏拼音排序):

崔向群	高志山	龚旗煌	贺安之	季家镕
姜会林	李淳飞	廖宁放	刘 旭	刘智深
陆 卫	吕乃光	吕志伟	梅 霆	倪国强
饶瑞中	宋菲君	苏显渝	孙雨南	魏 平
魏志义	相里斌	徐 雷	宣 丽	杨怀江
杨坤涛	郁道银	袁小聪	张存林	张书练
张卫平	张雨东	赵 卫	赵建林	

《光学与光子学丛书》序

长期以来,我一直想组织同行出一套适合于光学、光学工程工作者和研究人员需求的光学与光子学的丛书.如今,在科学出版社同志们的努力推进和工作在光学和光子学科研、教学一线的广大专家们的大力支持下,这样一个愿望终于得以实现,这使我感到由衷的欣慰和喜悦,我深信这样一套丛书的出版必将有效地促进我国光学、光电子以及光学工程技术的创新发展.

当今世界科学技术发展日新月异.科技创新能力已成为一个地区、一个国家,尤其是一个大国经济和社会发展的核心竞争力.在众多纷繁的科技领域中,光学与光子学的发展直接影响到其他诸多学科领域的发展及其可能取得的成就.不但物理学、化学、生命科学、天文学等基础科学的发展离不开光学与光子学,对现代人类社会和人类生活影响甚大的一些技术科学如照明、通信、洁净能源、遥感、显示、环境监测、国防和空间开发、医疗与诊断、先进制造等都需要光学与光子学的知识.光学与光子学是渗透到各个学科领域内的前沿科学,光学与光子学涉及到几乎所有技术前沿的核心技术.中华民族要真正走向繁荣昌盛离不开对光的驾驭.

编委会把丛书的名称定为《光学与光子学丛书》,是想以此既包含经典光学(classical optics)的精华,也容纳现代光学(modern optics)即光子学(photronics)的最新研究进展.我和所有编委们一同期待着这套丛书能够在涉及光科学和光学技术知识的深度和广度上都达到一个崭新的高度.积跬步至千里,汇小溪成江河.改革开放三十年的成就使得我国的光学事业处在了一个新的起点上.让我们大家共同努力,以此套高质量、高水准的《光学与光子学丛书》作为对中国光学事业大发展的鼎力贡献.

“北京工业大学‘211 工程’专著出版项目”总序

“211 工程”是我国教育领域的国家重点建设工程,面向 21 世纪重点建设一批高水平大学,使其成为我国培养高层次人才,解决经济建设、社会发展和科技进步重大问题的基地,形成我国高等学校重点学科的整体优势,增强和完善国家科技创新体系,跟上世界高层次人才培养和科技发展的趋势并占领制高点。

中国高等教育发展迅猛,尤其是 1400 所地方高校已经占全国高校总数的 90%,成为我国高等教育实现大众化的重要力量以及区域经济和社会发展服务的重要生力军。“211 工程”建设对于我校实现跨越式发展、增强服务北京的能力起到了重大的推动作用。

在北京市委市政府的高度重视和大力支持下,1996 年 12 月我校通过了“211 工程”部门预审,成为北京市属高校中唯一进入国家“211 工程”重点建设的百所大学之一,并在 2001 年 6 月以优异成绩通过国家“211 工程”一期建设验收,2002 年 10 月顺利通过国家“211 工程”二期建设可行性论证。我校紧紧抓住这一难得的历史性发展机遇,根据首都经济和社会发展的需要,坚持“科学定位,找准目标,发挥优势,办出特色”的办学方针和“立足北京,融入北京,辐射全国,面向世界”的定位指导思想,以学科建设为龙头,师资队伍建设为关键,重点建设了电子信息、新材料、光机电一体化、城市建设与交通、生物医药、环境与能源、经济与管理类学科,积极发展人文社会科学类学科,加强了基础类学科,形成了规模、层次及布局合理的学科体系,实现了从工科型大学向以工为主,理、工、经、管、文、法相结合的多科型大学转变,从教学型大学向教学研究型大学的转变。

我校现有 15 个博士后科研流动站,8 个一级学科博士学位授权点,37 个二级学科博士学位授权点,81 个硕士学位授权点。教师中有院士 6 人,博士生导师 220 人,教授 315 人,专职教师中具有博士学位的教师比例超过 30%。我校年科研经费已达到 51 000 万元,年获得国家自然科学基金资助项目近四十项,获全国百篇优秀博士学位论文奖若干篇,抗震减灾学科与交通学科 2002 年分别获得国家科技进步二等奖,计算机学科 2003 年获得国家科技进步二等奖,光电子学科在新型高效高亮度半导体发光二极管研制、新医药与生物工程学科在国家 P3 实验室建设和抗 HIV 药物的研制、环境与能源工程学科在奥运绿色建筑标准与大气环境治理、光学学科在大功率激光器研制、管理科学与工程学科在国家中长期能源规划等方面均取得了特色鲜明的科研成果。

为了总结和交流北京工业大学“211 工程”建设的科研成果,学校设立“211 工

程”专项资金,资助出版系列学术专著,这些专著从一个侧面代表了我校教授、学者的学科方向、研究领域、学术成果和教学经验.

展望北京工业大学的未来,我们任重而道远.我坚信,只要我们珍惜“211工程”建设这一机遇,构建高层次学科体系,营造优美的大学校园,我校在建设成为国内一流大学的进程中就一定能够为“新北京”的宏伟蓝图作出自己应有的贡献.

北京工业大学校长
中国科协副主席
中国工程院院士

2010年12月

前 言

声光效应早在 20 世纪 30 年代就被发现, 当时所使用的声光介质是各向同性介质, 如玻璃和水, 光源是普通的非相干光. 由于这种声光互作用所引起的光方向和光强度变化微乎其微, 没有多大实用价值, 故没有得到重视. 直到 20 世纪 60 年代激光器出现后, 这种情况才发生改变. 由于激光具有方向性好、单色性好、相干性好、亮度高等特点, 可以聚焦成很小的光斑, 利用声光效应可以快速有效地控制激光束的偏转方向和激光束的强度、频率、相位等参数, 制作成体波声光偏转器和调制器. 使得声光器件得到许多实际应用, 从而推动了声光器件的发展. 进入 70 年代后, 随着一批新型高性能的声光晶体如钼酸铅、氧化碲、铌酸锂等的出现, 体波声光器件的性能迅速得到提高. 声光器件的应用范围也越来越广泛, 例如激光显示、激光寻址、激光打印、激光脉冲、激光稳频、激光稳功、激光传真、激光印刷等领域都能见到声光器件的身影. 随着光波导技术和表面声波技术的发展, 表面波声光器件也随之发展起来, 它具有能耗低、寿命长、稳定性好、工艺灵活、易于集成等优点, 因而在光信号处理、光计算、光通信等领域得到了广泛的应用. 特别是进入 90 年代后, 随着光纤声光器件的出现和发展, 声光器件在光纤通信领域中成为一个重要的调制器件之一.

声光技术的研究与发展可以分成三个方面: 首先是声光互作用理论的发展, 在这方面作出突出贡献的有狄克逊、张以拯、林耕华等. 狄克逊首先将各向异性介质中的声光互作用分成正常声光互作用与反常声光互作用两大类, 其中正常声光互作用的几何关系可以借用平面光栅或体光栅衍射来说明, 相应的理论也可以归入各向同性介质的声光互作用理论中. 张以拯使用非线性光学中的参量互作用理论建立起声光互作用的统一理论, 即耦合波方程理论, 并解决了各类声光效应的衍射效率计算方法. 其次是高性能声光材料的研发, 在可见光与近红外范围内声光优值较高的声光晶体是钼酸铅和氧化碲, 在远红外范围内声光优值较高的晶体是单晶锆和单晶碲, 高频声光优值较高的晶体是铌酸锂等. 最后是各类新型声光器件的研制, 声光器件的研制方向大致可以分为以下几个方向: 一是朝高频方向发展, 器件的中心频率越高, 带宽就越宽, 用于声光信号处理时所获得的时间带宽积就越大, 处理能力就越强. 二是朝多维多通道方向发展, 这是由于某些声光器件应用中的特殊需要, 如声光矩阵运算、声光频谱分析、声光相关运算等. 三是朝一个器件多功能方向发展, 例如研制声电光器件, 它是将电光效应与声光效应的优点结合在一起, 使器件运用起来更加灵活、性能更加优越、一个器件可以完成多个器件的功能. 四是将声

光器件与光纤结合在一起,近年来各种光纤声光器件的研制形成了一个热点,这主要是光纤通信发展的结果.

声光器件从发明至今已有近八十年历史,声光理论的研究与声光器件的研制已经逐步形成系统.但是迄今为止,国内的声光专著只有徐介平所著的《声光器件的原理、设计与应用》一书,而且是20世纪80年代初出版,已远远不能满足现在读者的需求,声光专著的现状与其学术地位极不相称.本书的宗旨是对声光技术这几十年的发展作个总结,试图全面系统地阐述声光器件的工作原理、设计方法、制作工艺、性能测试以及实际应用.希望本书能对从事光电子技术、光通信技术、激光技术、声表面波技术的科研人员和大专院校应用物理、光学、信息光电子等专业的师生有所裨益.

由于著者水平有限,书中难免存在一些疏漏,恳请读者批评指正.

俞宽新

目 录

《光学与光子学丛书》序

“北京工业大学 ‘211 工程’ 专著出版项目” 总序

前言

第 1 章 晶体的物理性质	1
1.1 晶体的对称性质	1
1.1.1 晶体的基本概念	1
1.1.2 晶体的对称性	2
1.1.3 晶体对称操作的坐标变换矩阵	4
1.1.4 晶体的分类	6
1.2 描述晶体物理性质的张量	11
1.2.1 张量的基本概念	12
1.2.2 张量的缩并运算	14
1.2.3 张量的坐标变换	15
1.2.4 二阶对称张量	17
1.2.5 晶体对称性对物理性质的影响	21
1.3 晶体的光学性质	22
1.3.1 晶体中的光波与光线	22
1.3.2 晶体光学基本方程 —— 菲涅尔方程	25
1.3.3 晶体光学性质的几何表示方法 —— 折射率曲面与折射率椭球	29
1.3.4 晶体的旋光现象	32
1.3.5 常用声光晶体的光学性质	40
1.4 晶体的体波声学性质	42
1.4.1 应力与应变	42
1.4.2 胡克定律	48
1.4.3 体波声学基本方程	50
1.4.4 常用声光晶体的体波声学性质	52
1.5 晶体的压电性质	66
1.5.1 压电效应	66
1.5.2 压电增劲体波声学基本方程	69
1.5.3 铌酸锂晶体的压电性能	70

1.6 晶体的表面波声学性质	74
1.6.1 表面波声学基本方程	74
1.6.2 压电增劲表面波声学基本方程	82
1.6.3 常用压电晶体的表面波声学性质	85
参考文献	93
第 2 章 平面波导的光学性质	95
2.1 光在界面上的反射与透射	95
2.1.1 菲涅尔公式	95
2.1.2 反射率与透射率	97
2.1.3 反射光与透射光波的偏振特性	98
2.1.4 全反射与全透射现象	100
2.1.5 反射率曲线	102
2.2 平面波导的传光特性	103
2.2.1 集光本领	104
2.2.2 几何程长与反射次数	104
2.2.3 时延差	105
2.3 平面波导的谐振方程	105
2.3.1 导光模谐振方程	105
2.3.2 导光模特征	106
2.4 平面波导的波动理论	108
2.4.1 导光模波动方程	108
2.4.2 对称平面波导的波动理论	111
2.4.3 非对称平面波导的波动理论	116
参考文献	123
第 3 章 光纤波导的光学性质	125
3.1 光纤基本知识	125
3.2 均匀折射率型光纤的传光特性	126
3.2.1 子午光线的传光特性	127
3.2.2 斜光线的传光特性	128
3.3 均匀折射率型光纤的波动理论	132
3.3.1 模式场分布函数	132
3.3.2 模式方程	137
3.4 均匀折射率型弱导光纤的模式特征	137
3.4.1 场分布函数及模式方程	137
3.4.2 模式简并	140

3.5 均匀折射率型弱导光纤的 LP 线偏振模	141
3.5.1 截止频率	142
3.5.2 单模工作条件	144
3.5.3 传播常数的图解法	144
3.5.4 模容量	150
3.5.5 色散特性	150
参考文献	151
第 4 章 声光相互作用耦合波方程理论	153
4.1 声光效应与电光效应	153
4.1.1 声光效应	153
4.1.2 电光效应	159
4.2 参量互作用基本方程	163
4.3 体波声光效应耦合波方程理论	166
4.3.1 一维声光效应耦合波方程	166
4.3.2 正常声光效应衍射效率	169
4.3.3 反常声光效应衍射效率	174
4.3.4 多维声光效应耦合波方程理论	175
4.4 体波声电光效应耦合波方程理论	177
4.4.1 一维声电光效应耦合波方程理论	177
4.4.2 多维声电光效应耦合波方程理论	181
4.5 表面波声光效应耦合波方程理论	182
4.5.1 表面波声光效应耦合波方程	182
4.5.2 表面波声光效应衍射效率	184
4.6 表面波声电光效应耦合波方程理论	186
4.7 表面波光纤声光效应耦合波方程理论	187
4.7.1 光纤耦合模方程	188
4.7.2 表面波光纤声光效应耦合波方程	189
4.7.3 表面波光纤声光效应衍射效率	190
参考文献	192
第 5 章 体波声光器件的设计	194
5.1 布拉格声光器件的工作原理	194
5.1.1 进入布拉格衍射区的标准	194
5.1.2 布拉格声光效应衍射效率	195
5.1.3 布拉格声光相互作用几何关系	197
5.1.4 布拉格带宽	206

5.2 声光偏转器的主要性能指标	208
5.2.1 扫描特性	209
5.2.2 可分辨点数	210
5.2.3 偏转速度	210
5.2.4 速度容量积	211
5.3 正常声光偏转器的设计	211
5.3.1 正常声光偏转器的设计步骤	211
5.3.2 单片结构正常声光偏转器的设计	212
5.3.3 超声跟踪正常声光偏转器的设计	216
5.4 反常声光偏转器的设计	226
5.4.1 单片结构反常声光偏转器的设计	226
5.4.2 超声跟踪反常声光偏转器的设计	236
5.5 声光调制器的设计	239
5.5.1 声光调制器的主要性能指标	239
5.5.2 影响声光调制器性能的因素	241
5.5.3 声光调制器的设计方法	243
5.6 多频声光器件的设计	244
5.6.1 多频声光效应的互调光	245
5.6.2 多频声光器件的设计	246
5.7 可调谐声光滤光器的设计方法	247
5.7.1 可调谐声光滤光器的性能指标	247
5.7.2 可调谐声光滤光器的设计方法	248
5.8 声电光器件的设计方法	261
5.8.1 一维声电光效应最佳工作模式	262
5.8.2 二维声电光效应最佳工作模式	263
参考文献	266
第 6 章 体波声光器件压电换能器的设计方法	269
6.1 压电换能器的玛森等效电路	269
6.1.1 压电换能器的阻抗矩阵	269
6.1.2 压电换能器的玛森等效电路	272
6.2 压电换能器的传递矩阵	274
6.2.1 压电换能器的特征参数	275
6.2.2 压电换能器的传递矩阵	276
6.3 压电换能器的频率特性	279
6.3.1 压电换能器输入阻抗与输入导纳	279

6.3.2 压电换能器损耗	283
6.4 压电换能器镀膜结构与厚度的确定	287
6.4.1 $36^\circ Y$ 切 LN/PM 声光器件	287
6.4.2 X 切 LN/ TeO_2 声光器件	289
6.5 压电换能器的设计、工艺与测试	294
参考文献	296
第 7 章 表面波声光器件的设计方法	297
7.1 叉指换能器的网络矩阵	297
7.1.1 叉指换能器的结构与特性参数	297
7.1.2 叉指换能器的网络矩阵	298
7.2 叉指换能器的频率特性	306
7.2.1 叉指换能器的输入导纳	306
7.2.2 叉指换能器损耗	308
7.3 表面波声光器件的设计方法	312
7.3.1 表面波声光器件的性能指标	312
7.3.2 表面波声光器件的设计	320
参考文献	326
第 8 章 声光器件的应用	328
8.1 声光器件在激光显示与记录系统中的应用	328
8.1.1 激光传真与激光印刷	328
8.1.2 激光寻址	329
8.1.3 激光打印	330
8.1.4 激光电视	332
8.2 声光器件在激光器谐振腔内的应用	336
8.2.1 声光调 Q 激光器	336
8.2.2 声光锁模激光器	338
8.2.3 腔倒空激光器	342
8.2.4 稳功激光器	343
8.3 声光器件在光信号处理中的应用	344
8.3.1 声光频谱分析器	345
8.3.2 声光相关器	352
8.4 声光器件在光计算中的应用	361
8.4.1 声光数字乘法器	361
8.4.2 声光向量乘法器	363
8.4.3 声光矩阵乘法器	364

8.5 声光器件在光探测中的应用	365
8.5.1 倒声速图的测量	365
8.5.2 声光优值的测定	366
8.5.3 声场分布的测定	367
8.6 声光器件在军事中的应用	368
8.6.1 声光器件在雷达中的应用	368
8.6.2 声光器件在光纤传感器中的应用	373
8.7 声光器件的其他应用	376
8.7.1 声光调频器的应用	376
8.7.2 声光滤波器的应用	379
参考文献	380
附录 A 常用对称操作的坐标变换矩阵	382
附录 B 晶体的物理性质矩阵形式	384
B.1 声光系数和劲度系数矩阵的形式 (32 个晶类)	384
B.2 电光系数矩阵和压电系数矩阵的形式 (20 个晶类)	387
B.3 介电系数矩阵的形式 (7 个晶系)	392
附录 C 晶体的声光系数和电光系数	393
C.1 声光系数	393
C.2 电光系数	394
附录 D 重要声光材料的物理性质	396
附录 E 声光器件的特征长度	398
附录 F 重要压电材料的物理性质	400
附录 G 重要镀膜材料的声学性质	402

第 1 章 晶体的物理性质

体波声光器件中使用的声光互作用介质和电声换能器、表面波声光器件中使用的衬底都是晶体, 因此在研究声光互作用原理与声光器件的设计制作前, 有必要先了解有关晶体的一些基本知识. 本章介绍晶体的对称性、晶体的光学性质、晶体的体波和表面波声学性质、晶体的压电性质等.

1.1 晶体的对称性质

1.1.1 晶体的基本概念

晶体与气体、液体以及非晶质固体的最本质的区别就是它在结构上具有长程有序性. 组成晶体的最小单位称为基元, 它可以是分子、原子、离子或原子团. 晶体就是由基元近似无限地、周期性地重复排列所构成的. 在基元中任选一个几何点, 称之为阵点. 这些阵点在空间周期性排列所组成的格子称为空间点阵. 从点阵中任意一个阵点出发, 向它邻近的阵点作出 3 个不相平行的矢量 a 、 b 、 c , 这 3 个矢量就是阵点在这些方向上的重复周期, 并称为基矢. 晶体学中, 通常把这 3 个基矢选作坐标轴, 分别用 a 、 b 、 c 表示, 以这 3 个基矢为棱, 构成一个单位平行六面体, 称为晶胞, 如图 1.1 所示. 晶胞的 3 个棱长称为轴单位, 记为 a_0 、 b_0 、 c_0 . 各晶轴之间的夹角称为轴角, 用 α 、 β 、 γ 表示. a_0 、 b_0 、 c_0 、 α 、 β 、 γ 是表征晶胞形状和大小的一组参数, 称为晶胞参数或格子参数. 可以将晶胞与基元的关系写成:

单位平行六面体 + 基元 = 晶胞

所以晶胞是能反映整个晶体结构特征的最小单位. 晶体是基元按空间点阵规律排列形成的, 尽管由于空间点阵类型的不同和基元的差别, 造成了无数种不同的晶体结构, 但空间点阵规律仍是一切晶体所共同遵循的.

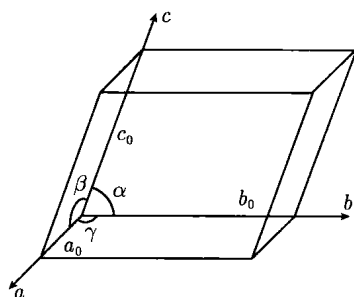


图 1.1 晶胞

在晶体学中经常会遇到需要描述某一方向或某一平面的情况, 前者用方向符号描述, 后者用面指数描述. 在空间点阵中, 直线可以表示晶体的一个方向, 互相平行的各方向是等同的, 任意一条直线都可以平行移动, 并使之通过坐标原点. 故方向符号规定为与该方向平行且过原点的直线上任意一个阵点的坐标, 记为 $[uvw]$, 通常令

方向符号的 3 个数值取最小整数. 如图 1.2 为平面图, 只画了 a 、 c 轴, b 轴垂直于图面. 要确定方向 $1'$, 可将其平行移动, 使之通过坐标原点, 即方向 1. 在方向 1 上, 第一个阵点的坐标是: $a = 1$ 、 $b = 0$ 、 $c = 2$, 第二个阵点的坐标是: $a = 2$ 、 $b = 0$ 、 $c = 4$. 方向 1 上每一个阵点的坐标比值是相等的, 这个比值可以认为是方向 1 上任意一个阵点坐标除以最大公约数后的比值, 也是该方向上距坐标原点最近的阵点坐标的比值, 用它来表示该方向, 记为 $[102]$ 、方向 2 的方向符号为 $[101]$, 晶轴 a 、 b 、 c 的方向符号分别为: $[100]$ 、 $[010]$ 、 $[001]$. 遇到负坐标时, 将负号移到坐标值的上方. 图中还标出了方向符号 $[301]$ 、 $[10\bar{1}]$. 晶体中任意一个平面总可以与一个、两个或三个坐标轴相交, 平面在空间的位置可以就用轴截距来表示, 所谓轴截距是指晶轴被平面所截切的长度. 面指数规定为平面的轴截距倒数, 记为 (hkl) , 通常令面指数的 3 个数值也取最小整数. 如图 1.3 中标有面 1 的直线代表的是垂直于图面的一个平面与图面的截线, 它与 b 轴平行, 因此它在 b 轴上的截距为 ∞ , 在 a 轴上的截距为 2、在 c 轴上的截距为 3. 另外与面 1 平行的面 $1'$ 在 a 、 b 、 c 轴上的截距分别为 1、 ∞ 、 $\frac{3}{2}$; 面 $1''$ 在 a 、 b 、 c 轴上的截距分别为 $\frac{2}{3}$ 、 ∞ 、1, 虽然这 3 个平面的轴截距不同, 但比值是相同的, 它们的面指数都是 (302) . 图中的其他平面分别为: 面 2(503)、面 3($\bar{1}01$)、面 4($20\bar{1}$). 如某一平面与某一直线平行, 则该面指数 (hkl) 和方向符号 $[uvw]$ 之间存在下述关系:

$$hu + kv + lw = 0 \quad (1.1)$$

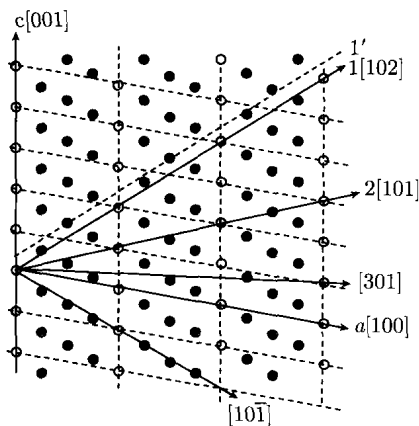


图 1.2 方向符号

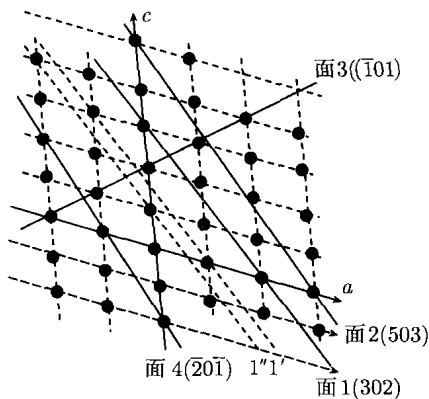


图 1.3 面指数

1.1.2 晶体的对称性

晶体相同部分的有规则重复称为对称, 晶体的对称性包括微观对称性和宏观对称性. 微观对称性是指组成晶体的基元在空间作有规律的重复, 宏观对称性是指晶体外形的相同部分作有规律的重复. 当晶体对某些几何要素如点、线或面作某些操