



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

光学手册

上卷

主编 李景镇

HANDBOOK OF OPTICS

陕西出版集团
陕西科学技术出版社

内容简介

本书在浩如烟海的光学文献资料中,精炼光学成就,构筑发展光学学科的基础,提供几乎所有光学分科的基本概念、基本原理、基本公式、基本数据和基本方法,做到一本手册具有几十本书的功能,方便实用。

全书 38 章,49 门光学分科,7 200 多个公式,3 200 余幅插图,800 多个表格和 3 300 条参考文献,分上、下两卷,为从事光学科研、设计、教学的科技人员、工程人员、广大教师和高等院校有关专业的研究生,光学行业的技术工人,以及相关学科的科技工作者,提供一部有实用价值的工具书。

图书在版编目(CIP)数据

光学手册 / 李景镇主编. —西安:陕西科学技术出版社, 2010.7
ISBN 978-7-5369-4857-0

I. 光… II. 李… III. 光学—手册 IV. 043-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 131996 号

出版人 张会庆

策 划 杨 波

责任校对 秦 延

责任编辑 杨 波

质量总监 邵仁发

封面设计 曾 珂

印制总监 张一骏

出版者 陕西出版集团 陕西科学技术出版社

西安北大街 131 号 邮编 710003

电话(029)87211894 传真(029)87218236

<http://www.snstp.com>

发 行 者 陕西出版集团 陕西科学技术出版社

电话(029)87212206 87260001

印 刷 万裕文化产业有限公司

规 格 889mm×1194mm 1/16 开本

印 张 189.75

字 数 5800 千字

版 次 2010 年 7 月第 1 次版

2010 年 7 月第 1 次印刷

定 价 555.00 元(上、下卷)

版权所有 侵权必究

(如有印装质量问题,请与我社发行部联系调换)

前 言

王大珩院士认为,光学手册是光学学科的“基础工程”。20 世纪 80 年代初,当时流行国内的美《Handbook of Optics》(主编 W. G. Driscoll 博士及 W. Vaughan 博士)和日本《光学技術ハンドブック》(主编久保田広博士、浮田佑吉博士及會田軍太夫博士),由于出版时间较早,龚祖同院士提出我国要编写能反映光学进展的光学手册,得到了严济慈院士、王大珩院士的积极响应和大力支持,我国第一本《光学手册》就这样于 1986 年应运而生。自那时以来,光学科学和光学应用发生了深刻变化,取得了重大进展,研究的广度和探索的深度已达新的境界。光学突破了传统的束缚,把可见光的概念扩宽到 X 光、紫外、红外、太赫兹波,直到激光、光存贮和光通信的各个波段,完成了从传统光学向现代光学的过渡和转变。现代光学是以光线、光波和光子为信息载体和能量载体的一门科学,包括传统光学、光电子学与光子学。新版《光学手册》与时俱进,反映光学的这种变化和进展,紧紧把握时代的脉搏。

25 年来,光学领域获得诺贝尔物理学奖和化学奖的科学家有 22 位,包括基础研究、应用研究和科学仪器诸方面,其中华人科学家有高锟“在光学通信领域光在纤维中传输方面的突破性成就”获得 2009 年诺贝尔物理学奖,朱棣文“用激光冷却和俘获原子的方法”获得 1997 年诺贝尔物理学奖。那么在光学领域,今后获奖的走向会是如何呢?

各种迹象表明,本世纪上半叶光学基础科学将和 20 世纪一样,必然还会有预料不到的重大突破。已经初见端倪的有量子信息的理论、实验和冷原子技术,纳米光子学理论、纳米器件和实现光路集成的理论与技术,极弱光非线性光学效应增强数个量级以达实用的理论、材料与器件,以光子为探针的微观世界四维信息观测和阿秒量级的原子壳层内电子动力学,用光学方法在实验室环境中形成极端的物理天文条件来研究诸如黑洞、宇宙之初之类的基础科学问题,大型天文观测装置的相继问世对宇宙的演变、构成和引力、时间、空间本质的探索……毫无疑问,本世纪初期极有可能还会产生、诱发出新的科学问题。这部书应能全面、深刻和精炼地提供这些方面的基础知识。

—

理论是学科发展的基础。本书力图理清光学理论发展的脉络,阐明光学理论的内涵。光学理论经历了从几何光学、波动光学、电磁光学到量子光学的发展过程,人类对光有了较为全面的认识。

几何光学处理光的直线传播性质,又称为光线光学。几何光学适合于光学设计、光学加工和光学测试,这是因为常规的光学元件尺寸和通过光学元件的光程都远远大于光波的波长,采用几何光学就能相当准确地反映光传输的实际情况。因此,几何光学是应用光学和工程光学的基础。可是几何光学不能解释光的干涉和衍射,而将光表示为标量波函数的波动光学,成功地解释了光的直线性、干涉和衍射现象。但是,波动光学没有反映光的矢量本质,不能解释光的双折射、偏振和旋光等现象。

认识到光是电磁场,是光学学科发展的里程碑。电磁光学是建立在麦克斯韦电磁场方程

组基础上的严格的光学理论。光的全部宏观经典光学性质都可从电磁光学得到准确的描述和解释,光和物质相互作用的经典理论、半经典理论,遵从光的电磁理论。但是,电磁光学不能给出光的发射和接收的微观机理和定量解释,不能解释光场的量子性质,不能处理光子纠缠和非局域性问题,不能反映光的波粒二象性的本质。

量子光学全面而完整地包括了光的微观和宏观的全部性质,可以解释所有已知的全部光学现象。但是,这并不意味着光学学科已经发展到了顶点。对光量子态的认识和理解有待深入,量子纠缠、量子远距传输、量子退相干、量子计算和量子通信的研究还有相当长的路要走,纳米尺度光子学规律的探索还刚刚开始,光与物质相互作用的深层次研究正在诱发出新的光学现象和规律,光学研究新的领域还在不断地扩展,等等,这些都在推动光学学科的发展。对光本质的认识直接关系到对整个自然科学的认识,它依然是自然科学技术的前沿。

几何光学、波动光学、电磁光学和量子光学之间没有截然分开的界限,它们有着内在的联系。在电磁光学和量子光学中,折射率可以表示为微观参量的函数;非线性光学是基于电磁场理论发展起来的,也可以用量子力学的算符处理;衍射极限的光斑和变换限制的脉冲也可以用不确定原理证明;光散射问题也可以用傅里叶方法分析;腔模理论已经用了量子力学的量子化条件,等等。这种一致性,是因为从不同的角度正确地反映了相同的自然现象。

二

王大珩院士曾多次指出,就国际而言,大型学科性的手册(不仅仅是光学手册)应为这一学科的结晶,有助于这一学科的发展,为这一学科发展的基础工程;这种手册是源于学术专著而精于之,多为大家之所为;手册的撰写是对浩如烟海的文献资料进行理性取舍、提炼升华、系统整理,是一项再创造工程。这就要求光学手册在具有专著的全面、深度的同时,更要有凝练、易查阅的特点,它着重于改造世界,而不仅仅是认识世界的工具。

这本《光学手册》编写的宗旨是以 1986 年版《光学手册》为蓝本,保留其精华,参考美国新旧世纪交接相继出版的 4 卷《Handbook of Optics》(Michael Bass 主编),着重于收纳、充实国内外光学理论、光学实验、光学技术、光学系统和光学设备这 25 年的成就,特别是最新的成就,经过专家学者创造性地分析与综合、凝练与提升,探索光学的内在联系,建立大光学学科体系,期望形成具有中国特色的权威性学术专著。

这部书定位于基础性光学手册,有别于国内已经出版的几部大型光学学科的经典工具书。本手册精炼光学成就,构筑发展光学学科的基础,为科研、设计、教学和学习人员提供几乎所有光学分科的基本概念、基本原理、基本公式、基本数据和基本方法,使其能在较短的时间里了解某门光学分科的主要内容、现状和趋势,如想知其来龙去脉和进行更为深入细致的研究,也能找到进一步攻读的钥匙,一本手册具有几十本书的功能,方便有用。光学手册强调其内容的基础性、前沿性、科学性和实用性,是因为“基础”是发展的基石,能够长久;“前沿”是发展的主题,有时代特征;“科学”需要理性思维,反复提炼;“实用”是终极目标,以赢得读者。本书在具体选材、撰写、侧重、创新上有以下诸点需要说明:

1. 撰写逻辑和篇章布局。本书撰写逻辑是章、节二级,章上无篇;全书 38 章,依序排开:先是光学理论基础类分科,后按光源类分科、光学成像及处理类分科、光学调制类分科、光学传输类分科、观测光学类分科和记录探测类光学分科,最后是光学材料、光学测试和光学制造三门支撑性分科。这个“序”基本上是遵循由光的产生到光的探测所经历的路径,由光的理论到光的应用。

王大珩院士曾建议章上有篇,形成篇、章、节的三级结构,并建议请教黄尚廉院士和庄松林院士。虽然在三级结构上做了许多尝试,力图完成使命,终因光学学科扩展迅速、纵深发展极快、交叉学科过多、你中有我我中有你而未能成行;二位院士认为难以用界定范围较为明确的不多的光学篇来涵盖所有的光学章,而且光学篇的名称也难以做到准确到位,如果篇较多,则意义不大。看来我们这一代人尚无完成这一使命的智慧,只能留给后人。

2. 光学学科的迅速延伸、交叉和深化,导致本书扩展到 49 门光学分科。和 1986 年版的《光学手册》相比,本书增加了电磁光学、磁光学、纳米光子学、太赫兹波光学、红外光学、紫外光学、X 射线光学、中子光学、同步辐射光学、非成像光学、自由曲面光学、衍射光学、二元光学、晶体光学、导波光学、金属表面等离子体光学、空间光学、自适应光学、生物光子学和生物光子检测、显示光学、飞秒光学和超短激光脉冲、近场光学、光学测试计量学等 23 门光学分科,删除了光学计量仪器一章,从先进光学制造的角度重新撰写了光学(零件)工艺学,其余 23 门光学分科易人重写,3 门光学分科则由原作者修订充实。

本书保留了原版《光学手册》的精华,注入了新的理论、新的数据、新的进展;不仅如此,其中大部分分科还从新的视角改变原来的撰写结构,融入中国的数据、中国的成果和更多的“中国元素”。激光和红外是两门内容相当庞大的光学分科,本书仅对其基本概念、基本原理、基本性质、基本数据和基本器件进行了论述,但是飞秒光学中的超短激光脉冲和光电探测器中的红外探测器则突出了在理论、技术及器件上的最新发展。

3. 侧重基础、突出前沿,不仅体现在章的设立上,而且融入每章的内容里。目前愈来愈多的光学前沿成果要依靠对光的矢量性质进行深入研究和应用,电磁光学日趋重要。电磁光学是基于麦克斯韦方程组的严格的光学理论。但是本书只论述电磁光学的基本问题,企图建立电磁光学的基本理论框架,能体现出电磁场方程在处理光场时这 20 多年来从齐次方程到非齐次方程、从线性到非线性、从较为简单的边界条件和初始条件到更多类型、更加细致的边界条件和初始条件的进展,以求抛砖引玉。

纳米光子学是最有潜力的前沿学科之一,对于它的内涵、理论、技术、器件和体系的阐述本书谨慎地进行了初步尝试,以飨读者。金属表面等离子体光学只是众多名称的一种,每天都在产生新的概念、新的理论、新的器件和新的应用,是目前最有活力的学科之一,本书力求准确论述其概念、理论模型、等离子体激元的性质、亚波长周期结构的电磁辐射和在交叉学科中的应用,为研究人员搭好深入探索的“阶梯”。生物光子可以理解为生命活动的一种“损耗”,生物光子辐射关联到许多基本的生命过程,生物光子辐射的基本特征、它的相干理论及量子理论、它的探测及应用本书在生物光子学一章都做了深入论述,读者会感到生命的闪烁。这三门前沿学科的发展,都离不开电磁光学的深入研究及量子光学的成就。光学理论的日趋完善和光学基础的日益积累,支撑着光学基础科学将和 20 世纪一样,还会有预料不到的重大突破。

4. 取材先进,立足于世界光学文库。光学文献的数量呈指数上升,在进行提炼、整理的过程中,要紧紧抓住世界光学发展的脉络,吸纳光学文库中的精华。本书力图包括所有基本的、重要的、先进的、前沿的和创新的相关光学内容;同时,也注意到选取中国光学专家的科研成果,特别重视中国学者和华人学者的创新性成就。本书在大气光学中增加了中国有关城市上空的大气测量参数;在海洋光学中增加了中国沿海海水参数的测量,增加了渤海、东海、珠江口及邻近海区非色素颗粒物的光谱斜率;在同步辐射中增加了中能区(2.5~3.5 GeV)的标志性成果上海光源;在电磁光学、统计光学、信息光学、导波光学、晶体光学、金属表面等离子体光学、空间光学、自适应光学、瞬态光学、飞秒光学、近场光学和非银盐记录介质中,增加了有着中

国特色的创新性成果。对以中国人和海外华人的名字来命名的科研成果本书也慎重地予以推出。

对于中国学者和华人学者的创新性成就,给予合适的及应有的肯定和体现是本书的历史性任务。经专家提出、第十三届全国光学测试学术会议(2010年7月19日,武汉)大会讨论,把测量玻璃的折射率精度可达 $\pm 2 \times 10^{-5}$ 的V棱镜折光法命名为王(大珩)氏V棱镜折光法,该方法是王大珩院士于1945年在英国留学时发明的。由于德籍华人顾樵教授所提出的描述生物样品延迟发光公式的理论基础可靠、使用精确、数据分析简单,这一公式受到国际上的重视;它所包含的3个参数A、B、C被国际上称为“顾参数(Gu Parameters)”,本书给予确认。

5. 在撰写过程中,不仅注意到全书的科学性、系统性和完整性,而且贯彻少而精的原则,力求叙述洗练,内容条文化、图表化,数据公式化,参数准确可靠。本书38章,49门光学分科,7200多个公式,3200余幅插图,800多个表格和3300条参考文献,为从事光学科研、设计、教学的科技人员、工程人员、广大教师和高等院校有关专业的研究生,光学行业的技术工人,以及相关学科的科技工作者提供一本有实用价值的工具书。

数据公式化是指大量的繁杂的数据可以通过有限参数的公式计算而得。例如,光学材料、光学谱线日益增多(多光谱扫描仪可多到400多条),不同材料、不同波长的折射率愈来愈难以一一列表查阅,但是可以通过有限的参数计算得到。第三十六章《光学材料》中有近400种光学材料的各种波长的折射率都可通过直接计算得到,大大方便了需要色散参数的科研人员。

学科交叉是光学学科发展的特点,有分科之间的交叉和与其他学科之间的交叉。学科交叉是创新的节点之一,同时学科交叉带来了相关分科之间的重复,有悖精炼的原则。但是考虑到有关光学分科的系统性和完整性,有一定的重复不可避免,关键是合适。本书力求做到通盘考虑、相互呼应、重复得当,如果是几个光学分科对同一个命题或者术语都有叙述,仅仅保留从不同观点、用不同方法来论述的同一内容,有助于读者从不同的角度来理解。

全书的有关定义和符号尽可能统一。但是不同的光学分科有时对同一概念有不同的定义方法。本手册尊重各个分科的习惯定义法,为了使读者在进一步阅读有关参考文献时不致造成混乱,保留了各个分科的惯用定义和符号。

6. 为了全书的系统性、完整性和易用性,努力做到统一撰写宗旨、统一选材原则、统一形式格式、统一名词姓氏、统一风格用语和统一贯通呼应。虽然作者、主编、责任编辑和校对人员已经殚精竭虑,但是难以做到标准到位、阐明臻赅、如同出自一人。统一风格最为困难。

名词术语要统一,有必要标注出英文时,仅在第一次出现时标注。名词索引仅仅收录主要的、重要的、易混的和新出现的名词术语,同时给出英文译名;遵循准确、规范和约定俗成的原则,力求全书统一,但是对个别名词在各个分科中的习惯叫法,在相应分科中标出。名词索引按汉语拼音顺序排列。

外国姓氏的中译名,同样遵循准确、规范和约定俗成的原则,力求全书统一;正文中仅在第一次出现时标注英文名,以后不再标注;如果没有中译名,或者中译名很生疏,则直接用外文名。

三

光学手册的成功撰写是集体辛勤耕耘的成果,是齐心协力大联合、大团结的胜利,是科学发展观指导下联合攻关的一曲胜利交响乐。编委会成员是在《光学手册》成书过程中积极参与组织、推荐、撰写的部分光学专家。撰写者是各自领域的专家,多为这一领域的著名学者,有出

版专著的经历,是本书高水平的基础。下面按章依序排列各章的撰写者。

第一章《电磁光学》,廖常俊、李景镇、陈红艺;第二章《量子光学》,张智明;第三章《统计光学》,陈家璧;第四章《非线性光学》,石顺祥;第五章《分子光学和磁光学》,张纪岳;第六章《纳米光子学》,李淳飞;第七章《太赫兹波光学和红外光学》,张存林;第八章《紫外光学、X射线光学和中子光学》,王占山;第九章《辐射度学和光度学》,林延东;第十章《色度学》,马煜;第十一章《光谱学》,王雨三;第十二章《光源》,卢亚雄、夏绍建;第十三章《非成像光学和自由曲面光学》,李林、安连生、黄一帆、程灏波;第十四章《成像光学》,高志山;第十五章《信息光学》,赵建林;第十六章《衍射光学和二元光学》,郭永康、谭峭峰、高福华、杜惊雷;第十七章《偏振光学和偏光器件》,张纪岳;第十八章《晶体光学》,廖延彪;第十九章《薄膜光学和滤光片》,曹建章;第二十章《光学调制器》,赵明山、韩秀友、武震林;第二十一章《纤维光学和变折射率光学》,刘德森;第二十二章《导波光学和集成光学》,曹庄琪、金国良;第二十三章《金属表面等离子体光学》,罗先刚、吴世法;第二十四章《海洋光学》,郑荣儿;第二十五章《大气光学》,龚知本、魏合理、胡欢陵、饶瑞中、高晓明;第二十六章《空间光学》,韩昌元;第二十七章《自适应光学》,姜文汉、饶长辉、李新阳;第二十八章《生物光子学和生物光子检测》,顾樵;第二十九章《视觉光学》,白琨璞;第三十章《显示光学》,应根裕;第三十一章《瞬态光学和高速成像》,李景镇;第三十二章《飞秒光学和超短激光脉冲》,魏志义;第三十三章《显微光学和近场光学》,吴世法;第三十四章《光电探测器和光电探测》,安毓英、曹长庆、赵宝升;第三十五章《感光材料》,赵亚东、朱建华;第三十六章《光学材料》,姜中宏、蒋亚丝、陈伟、徐世祥;第三十七章《光学测试计量学》,杨照金;第三十八章《光学零件工艺学》,舒朝濂、田爱玲、郭忠达。

本书是以1986年版《光学手册》为蓝本的,想借此机会记录下这部蓝本的提出者、编辑和撰写者,没有他们开创性的工作,很难设想会有今日的成果。他们是龚祖同院士,安毓英、白琨璞、陈沅、方湖宝、封开印、郭乐群、过巳吉、蒋德宾、郎丰和、雷印生、李复新、李景镇、刘德森、刘可凤、舒贤治、舒朝濂、苏世学、孙承永、孙寄中、孙伟仁、汪景昌、王诺、许金伙、肖正祥、杨葆塘、张锦山、赵俊民、周衍勋。

四

对于国家出版基金委员会和深圳大学给予本书出版的鼎力资助,深表敬意。这种资助体现了国家层面上对学科性大型工具书撰写、出版的重视,有利于我国文化繁荣、科学进步和技术发展。

《光学手册》的编著、出版得到了王大珩院士、母国光院士、周炳琨院士和侯洵院士的鼓励、指导和支持,在此表示衷心感谢。王大珩院士多次指出《光学手册》是光学学科的基础工程,呼吁国家相关部门应重视此类工具书的撰写、出版、奖励,并为《光学手册》题词“传承 辟新 循优 勇进”。母国光院士为本书抱病书写“聚前人之智,启后人之勇,完成此项巨著实属不易;光学老又新,高举创新的旗帜勇往直前”。中国光学学会理事长周炳琨院士为本书欣然命笔“继往开来,启迪创新,发展光学,服务社会”。侯洵院士为编著《光学手册》的提出者、中国应用光学的开拓者之一龚祖同院士撰写小传,以资纪念。

聘请为《光学手册》编纂顾问的专家还有中国科学院院士干福熹研究员、王启明研究员、刘盛纲教授、刘颂豪教授、陈星旦研究员、姚建铨教授、郭光灿教授、姜中宏研究员、褚君浩研究员、薛永祺研究员,中国工程院院士金国藩教授、姜文汉研究员、龚知本研究员、李同保教授、薛鸣球教授、庄松林教授、牛憨笨教授、许祖彦研究员和已经过世的黄尚廉教授。他们的建议推

荐、执笔编著、组织撰写、审稿把关,提高了本书的学术水平和实用价值,有可能成就本书为上乘之作。在此,一并表示深深的谢意。

参加编、著、审的学者近百人,他们分别来自中国科学院信息学部、中国科学院长春光学精密机械与物理研究所、中国科学院西安光学精密机械研究所、中国科学院上海光学精密机械研究所、中国科学院上海技术物理研究所、中国科学院上海应用物理研究所、中国科学院安徽光学精密机械研究所和中国科学院大气成分与光学重点实验室、中国科学院光电技术研究所、中国科学院半导体研究所、中国科学院北京物理研究所以及中国科学院北京理化研究所,来自主编所在单位深圳大学和清华大学、北京理工大学、首都师范大学、南开大学、天津大学、上海交通大学、上海理工大学、同济大学、华东师范大学、浙江大学、苏州大学、南京理工大学、中国科学技术大学、山东大学、四川大学、电子科技大学、哈尔滨工业大学、大连理工大学、中国海洋大学、华南师范大学、西南师范大学、西安电子科技大学、西北大学、西北工业大学及西安工业大学,以及来自北京光学学会、德国国际生物物理研究所、中国计量科学研究院光学和激光计量科学研究所、兵器工业部第二〇五研究所、中国机械装备集团总公司秦皇岛视听机械研究所。这么多单位对本书编撰、出版工作的支持和关心,保证了本书的进度和质量,促进了出版工作的顺利进行,我代表编辑、撰写和出版的同仁们在此表示衷心的感谢。

感谢深圳市、深圳大学和中国光学学会各级领导的关怀和支持,感谢李汉卿教授、章必功校长,他们的鼓励和支持坚定了为我国光学界,为深圳市、深圳大学增光的信念。我还要感谢我的学生陆小微、杨帆、谭露雯、章雯晶、朱超凡、梁瑞锋、马璐和艾月霞、潘国兵、何铁峰、王双斌,他们为本书的成功撰写付出了辛勤劳动,特别是博士研究生陆小微,输入数十万字而几无差错,其严谨认真可见一斑。我们不会忘记那些在本书各章撰写过程中完成了大量资料收集、文字输入、绘图制表、核对勘误工作的李武研究员、丁永耀研究员、楔正才研究员、陈赤博士、崔建伟博士、王纳秀博士、朱义博士、穆宝忠博士、张众博士、瀚海年博士、王兆华博士和马莹编辑,他们的工作是平凡的、繁杂的,却是伟大的。我想借此机会感谢我的妻子田洁,她永远是那样满面春风地支持我,鼓励我,默默操劳,无怨无悔。

最后,我要感谢廖常俊教授和黄德云老师,在前言成稿过程中曾多次悉心磋商,使我受益匪浅。

这部凝聚着撰写者、审稿者和编校者智慧和心血的 570 余万字的著作,虽然力图不留遗憾,但终因光学博大精深,兼之水平有限,不足和欠妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

李景镇

于荔园*

2010 年 7 月 20 日

* 荔园,深圳大学之别称,因 1 200 棵荔枝树而得名。园中湖光山色、花香四季,虽学子数万,然可领略“穿花蛱蝶深深现,点水蜻蜓款款飞”之意境,实为做学问的好地方。

1986 年版《光学手册》

前 言

一

为了适应四化建设的迫切需要,我们编写这部基础性的《光学手册》。这部手册包括二十五个光学分科,有二千七百多个公式,一千四百余幅插图和四百多个数据表格,为从事光学教学、科研和工程技术的广大教师和科技人员,高等院校有关专业的学生和研究生,光学行业的工人,以及有关的科技工作者,提供了一本有实用价值的工具书。我们相信,在酝酿着以信息科学为中心的“第四次产业革命”和“第三次浪潮”的今天,《光学手册》的出版将会为我国的四化建设做出积极的贡献。

二

“光学是一门很老的科学,又是一门很新的科学”。在光学发展的漫长岁月里,人们永远不会忘记那些做出杰出贡献的人们:我国先秦时代的墨翟和古希腊的欧几里德,我国北宋时代的沈括和阿拉伯的阿尔哈曾,他们的著作《墨经》、《光学》、《梦溪笔谈》和《光学宝鉴》,都是人类文明的佐证和劳动人民辛勤劳动的结晶,十七世纪以来,还有荷兰的斯涅耳和法国的笛卡尔,英国的牛顿和荷兰的惠更斯,法国的菲涅耳和德国的夫琅和费,苏格兰的麦克斯韦和德国的普朗克,大科学家爱因斯坦和全息术的奠基人伽伯,等等。他们的工作大大促进了光学的发展,他们所做出的卓越贡献是今天光学取得如此重大成就的基石。

我国近代光学的兴起是半个世纪以前的事情,但是近代光学的飞速发展和进步,近代光学工业的崛起,则是在解放以后。在中国近代光学发展的历史中,我国近代光学的开拓者严济慈教授、龚祖同教授、钱临照教授、王大珩教授等老前辈,为建立有着一大批优秀光学专家为其中坚的光学队伍,为我国近代光学工业的蓬勃发展,倾注了满腔的热忱,付出了辛勤的劳动,建立了卓著的功勋,

三

光学资料浩如烟海,当今光学的发展更是日新月异,如何从中提炼出二百余万字的实用手册,的确是一项艰巨的任务。我们试图在占有较为丰富资料的基础上,经过分析和归纳,尽可能把基本概念、主要定义,有指导意义的理论和实用的技术数据,用简捷的方式表达出来,使各方面的光学工作者和有关技术人员,能方便地从中找到以前需要几部工具书才能找到的答案,能在较短的时间里了解某门光学分科的主要内容、现状和趋势,如想知其来龙去脉和进行更为深入的研究,也能找到进一步攻读的钥匙。便于查阅,利于理解,是我们处理各类问题的准绳。尽管如此,这本手册也难以做到概括罄尽,阐明臻赅。本书在编写上尚有以下诸点需要说明:

1. 我们参阅了美国德里斯科尔博士(W. G. Driscoll)和沃恩博士(W. Vaughan)主编的《光学手册》和日本久保田広博士,浮田佑吉博士和會田軍太夫博士主编的《光学技術ハンドブック》,吸取了它们的长处。

2. 手册是按二十五个光学分科来论述的,但是个别的内容有交叉,同一个命题几个光学分科都有叙述。我们仅仅保留了从不同的观点、用不同的方法来论述的同一内容,以利读者理解。

3. 全手册的有关定义和符号尽可能统一。但是不同的光学分科有时对同一概念有不同的定义方法。本手册尊重各个分科的习惯定义法,为了使读者在进一步阅读有关参考文献时不致造成混乱,保留了各个分科

的惯用定义和符号。

4. 名词索引仅仅收录主要的、重要的、易混的和新出现的名词术语,同时给出英文译名。名词及其译名力求准确,规范,全书统一,但是对个别名词也尊重各个分科中的习惯叫法。在编写名词索引的过程中,主要参考了《物理学词典》(原子能出版社,1980年)、《英汉物理学词汇》(科学出版社,1975年)和有关著作。名词索引按汉语拼音顺序排列。

5. 姓名索引也按汉语拼音顺序排列,标出西文姓名。汉语译名主要根据《英语国家姓名译名手册》(商务印书馆,辛华编,1973年)、《德语姓名译名手册》(商务印书馆,辛华编,1973年)和《俄语姓名译名手册》(商务印书馆,辛华编,1982年)。但是,对于不甚符合规范却已约定俗成并多见于一些重要著作中的,仍用传统的译名。

四

《光学手册》编写过程中,承蒙中国光学界老前辈严济慈副委员长、中国应用光学的开拓者龚祖同教授和中国著名光学专家王大珩教授的关怀和指导,得到了张本桢、林毓桃、薛鸣球、张季涛、耿明清、侯洵诸同志和中国光学学会、陕西省光学学会、中国科学院西安光学精密机械研究所等十多个单位的支持和帮助,提高了手册的学术水平和实用价值,促进了手册编写工作的顺利进行,在此,表示衷心的感谢。

王应宗、秦秀香等同志分别参与了个别章节部分内容的资料收集和撰写工作,蔡用舒、李寰章、罗毅、张显炽、陈邹生、祝颂来等同志为手册的编写提出了宝贵意见,周泗忠、李邦鑫、王峻岭等同志为手册的编写付出了辛勤的劳动,在此一并表示志谢。

鉴于我们的水平有限,不足和欠妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

《光学手册》编委会* 一九八五年九月

* 执笔李景镇,时任中国科学院西安光学精密机械研究所龚祖同所长的学术助理,基础研究组副组长。

目 录

上 卷

第一章 电磁光学

第一节 电磁光学的内涵	(1)
第二节 电磁场方程	(2)
一、麦克斯韦方程	(3)
二、矢势和标势	(5)
三、波动方程	(6)
(一)线性、非色散、均匀和各向同性介质	(6)
(二)非均匀介质中的波动方程	(7)
第三节 光场的表征	(8)
一、光场是复数矢量波	(8)
二、光场的标量波理论	(10)
三、光线和程函方程	(12)
四、光场的线性相干叠加	(13)
第四节 光场的传输	(14)
一、光的反射和折射	(14)
(一)反射和折射定律	(14)
(二)菲涅耳公式	(15)
(三)反射和折射性质	(17)
(四)金属界面上光的反射	(20)
(五)左手材料和超材料	(21)
(六)波导和谐振腔	(23)
二、单轴各向异性介质中的折射和反射	(25)
(一)双折射	(26)
(二)负折射	(28)
(三)负反射	(29)
(四)全方位常数透射和布儒斯特角	(30)
三、光的衍射	(32)
(一)衍射的基本原理	(32)
(二)亚波长小孔的衍射	(34)
(三)矢量衍射理论	(35)
(四)边界和光阑	(36)
(五)周期结构	(37)
四、光的散射	(38)
(一)散射的方程	(38)

(二)米氏散射·····	(38)
(三)瑞利散射·····	(41)
五、亥姆霍兹方程·····	(42)
(一)高斯光束·····	(43)
(二)厄米-高斯光束·····	(44)
(三)拉盖尔-高斯光束·····	(45)
(四)贝塞尔光束·····	(45)
第五节 光场的演化·····	(46)
一、介质的非线性响应·····	(46)
(一)损耗和增益·····	(47)
(二)色散·····	(47)
(三)非线性极化·····	(49)
二、非线性波方程·····	(50)
三、耦合波方程·····	(51)
四、数值方法·····	(52)
(一)分步傅里叶算法·····	(52)
(二)有限差分法·····	(53)
第六节 光场的基本性质·····	(53)
一、光的偏振·····	(53)
二、光辐射压力·····	(55)
三、时空相对性·····	(56)
四、多普勒效应·····	(58)

第二章 量子光学

第一节 电磁场的量子化·····	(63)
一、驻波(正则模)形式·····	(64)
二、行波(平面波)形式·····	(65)
第二节 电磁场的量子态·····	(65)
一、光子数态·····	(65)
(一)电磁场的真空涨落·····	(66)
(二)电磁场的正交分量算符·····	(66)
二、相干态·····	(67)
(一)相干态是光子湮灭算符的本征态·····	(67)
(二)相干态可以通过将真空态平移(或位移)来产生·····	(67)
(三)相干态中的平均光子数和光子数方差·····	(67)
(四)相干态的 Fock 态展开·····	(67)
(五)相干态中的光子数分布·····	(67)
(六)亚泊松分布和超泊松分布的概念·····	(67)
(七)相干态是最小不确定度乘积态·····	(67)
(八)两个本征值不同的相干态是不正交的·····	(68)
(九)相干态构成一个完备集·····	(68)
三、压缩态·····	(68)

(一)压缩真空态·····	(69)
(二)平移压缩真空态·····	(70)
(三)压缩相干态·····	(71)
(四)压缩态的产生·····	(71)
(五)压缩态的探测·····	(72)
四、双模压缩真空态 ·····	(73)
五、热光场态 ·····	(74)
六、光学分束器及其对电磁场量子态的变换 ·····	(75)
(一)光学分束器的经典描述·····	(75)
(二)光学分束器的量子力学描述·····	(76)
(三)光学分束器对电磁场量子态的变换·····	(76)
第三节 电磁场量子态在相空间的准概率分布函数·····	(77)
一、 P 函数 ·····	(77)
二、 Q 函数 ·····	(79)
三、Wigner 函数·····	(80)
四、特征函数 ·····	(80)
五、 $P(\alpha)$ 、 $Q(\alpha)$ 和 $W(\alpha)$ 的比较 ·····	(81)
第四节 电磁场的相干性·····	(82)
一、经典一阶相干函数 ·····	(82)
二、量子一阶相干函数 ·····	(83)
三、经典二阶相干函数 ·····	(84)
四、量子二阶相干函数 ·····	(85)
(一)单模量子化电磁场·····	(86)
(二)多模量子化电磁场·····	(86)
五、量子高阶相干函数 ·····	(86)
第五节 电磁场与原子的相互作用·····	(87)
一、经典电磁场与原子的相互作用 ·····	(87)
(一)哈密顿量的一般形式·····	(87)
(二)单模电磁场与两能级原子的相互作用·····	(87)
二、量子电磁场与原子的相互作用 ·····	(89)
(一)哈密顿量的一般形式·····	(89)
(二)单模量子电磁场与两能级原子的相互作用·····	(89)
第六节 量子耗散和消相干·····	(92)
一、量子跳跃理论 ·····	(92)
二、消相干 ·····	(93)
第七节 腔量子电动力学和囚禁离子·····	(94)
一、腔量子电动力学 ·····	(94)
(一)里德堡原子的有关性质·····	(94)
(二)耗散腔中二能级原子与单模腔场的相互作用·····	(95)
(三)JC 模型的实验实现 ·····	(96)
(四)制备原子的纠缠态·····	(97)
(五)制备腔场的薛定谔猫态·····	(97)
(六)光子数的非破坏性测量·····	(99)

二、囚禁离子	(99)
第八节 量子信息科学	(101)
一、量子信息科学中的若干基本概念	(101)
(一)经典比特和量子比特	(101)
(二)量子态不可克隆定理	(101)
(三)Bell 态(或称 Bell 基)	(102)
二、量子通信	(102)
(一)量子密集编码	(102)
(二)量子隐形传态	(103)
(三)量子密钥分发	(103)
三、量子计算	(106)
(一)量子寄存器	(106)
(二)量子逻辑门	(106)
(三)量子算法	(108)
(四)用量子光学方法实现若干量子逻辑门	(109)
第九节 冷原子物理	(110)
一、光场对原子的作用力	(110)
二、光学黏团、激光冷却原子的机理和温度极限	(111)
三、囚禁原子的阱	(112)
四、稀薄气体的玻色-爱因斯坦凝聚和相干原子波激光器	(114)
附录 A 纯态、混合态、密度算符	(115)
附录 B 两态系统、泡利算符	(116)
附录 C 复合系统、纠缠态、约化密度算符、von Neumann 熵	(117)

第三章 统计光学

第一节 光波的一阶统计性质	(121)
一、非单色光波的表示与传播	(121)
(一)用解析信号表示单色光的传播	(121)
(二)非单色光的传播	(121)
(三)窄带光的传播	(122)
二、偏振热光和非偏振热光	(122)
(一)偏振热光	(122)
(二)非偏振热光	(123)
三、部分偏振热光	(123)
(一)窄带光通过偏振器件	(123)
(二)相干矩阵	(124)
(三)偏振度	(125)
(四)瞬时光强的一阶统计特性	(126)
四、激光	(126)
(一)单模激光的 3 种基本模型	(126)
(二)多模激光	(127)
(三)激光通过运动散射板产生的赝热光	(128)

第二节 光的相干性	(129)
一、时间相干性	(129)
(一)时间相干性的定义	(129)
(二)自相干函数与复自相干度	(129)
(三)干涉图与光束的功率谱密度的关系	(130)
(四)傅里叶光谱学	(131)
二、空间相干性	(131)
(一)空间相干性的定义	(131)
(二)互相干函数与复(互)相干度	(132)
(三)准单色条件、互强度与复相干因子	(132)
(四)有限针孔尺寸的影响	(133)
三、交叉谱纯度	(134)
(一)两个光场叠加的功率谱	(134)
(二)交叉谱纯及其条件	(134)
四、互相干性的传播	(135)
(一)由惠更斯-菲涅耳原理导出的解	(135)
(二)互相干传播的波动方程	(135)
(三)互谱密度的传播	(136)
五、互相干函数的极限形式	(136)
(一)相干场	(136)
(二)非相干场	(137)
六、范西特-泽尼克定理	(137)
(一)定理的导出与讨论	(137)
(二)广义范西特-泽尼克定理	(138)
七、部分相干光的衍射	(139)
八、与高阶相干性有关的问题	(139)
(一)高阶相干性的定义	(139)
(二)热光和赝热光的积分强度的统计性质	(140)
(三)有限测量时间互强度的统计特征	(142)
(四)强度干涉仪	(143)
第三节 部分相干对于成像系统的影响	(144)
一、部分相干成像过程中的几个基本关系	(144)
(一)薄透明物体对互相干的作用	(144)
(二)薄透镜的复振幅透射率	(145)
(三)焦平面上光场相干性之间的关系	(145)
(四)单个薄透镜物像面上相干性之间的关系	(145)
(五)出瞳与像面互强度之间的关系	(146)
二、部分相干成像的计算方法	(146)
(一)全光源积分法	(146)
(二)照明互强度法	(147)
(三)四维线性系统法	(148)
(四)部分相干成像系统照明的相干性	(149)
(五)表观传递函数	(149)

三、干涉成像理论	(150)
(一)成像系统是一种干涉系统	(150)
(二)用干涉仪接受图像信息	(150)
(三)相位恢复	(151)
四、相干成像中散斑的影响	(151)
(一)散斑的起因及其一阶统计	(151)
(二)系统平均相干性	(152)
第四节 透过非均匀媒质成像	(152)
一、薄随机屏对成像质量的影响	(152)
(一)物理模型与基本假设	(152)
(二)平均光学传递函数(OTF)	(153)
(三)平均点扩散函数	(153)
二、随机吸收屏	(154)
三、随机相位屏	(154)
(一)随机相位屏	(154)
(二)高斯随机相位屏	(155)
四、随机非均匀媒质对波动传播的影响	(155)
(一)符号定义	(155)
(二)大气折射率分布的统计模型	(156)
(三)电磁波经过扰动大气的传播	(157)
(四)对数正态分布	(158)
五、长时间曝光平均 OTF	(158)
六、短时间曝光的平均 OTF	(160)
第五节 光电检测的基本限制	(161)
一、光电检测的半经典模型	(161)
二、光强随机变化的光电计数分布	(162)
(一)几个基本关系	(162)
(二)稳定的单模激光器辐射的光电计数分布	(163)
(三)计数时间比相干时间短得多的偏振热光辐射的光电计数统计	(163)
(四)任意长计数时间的偏振热光光电计数统计	(163)
(五)偏振度的影响	(163)
(六)空间部分相干性的影响	(164)
三、光电计数的简并参数	(164)
(一)简并参数与光电子集聚效应	(164)
(二)黑体辐射的简并参数	(165)
四、低照度下振幅干涉仪的噪声限制	(165)
(一)关于测量系统及被测量的几点说明	(165)
(二)光电计数矢量 K 的统计性质	(166)
(三)用离散傅里叶变换进行估值	(166)
(四)可见度与相位估值的精度	(166)
五、低照度下强度干涉仪的噪声限制	(167)
(一)强度干涉仪的光电计数形式	(167)
(二)可见度估值的信噪比	(168)