

先进

光

电子技术丛书

9

〔日〕伊贺健一 池上彻彦 荒川泰彦 主编

光微机械电子学

〔日〕板生 清 保坂 宽 片桐祥雅 著

科学出版社

共立出版

图字:01-2001-4112 号

Original Japanese language edition

Sentan Hikari Electronics Series⑨ Hikari Micro-mechatronics

by Kiyoshi Itao • Hiroshi Hosaka • Yoshitada Katagiri

Copyright © 1999

Published by Kyoritsu Shuppan Co., Ltd.

This Chinese language edition is co-published by

Kyoritsu Shuppan Co., Ltd. and Science Press

Copyright © 2002

All rights reserved

本书中文版权为科学出版社和共立出版(株)所共有

先端光エレクトロニクス シリーズ 9

光マイクロメカトロニクス

板生 清 保坂 寛 片桐祥雅 共立出版(株) 1999

图书在版编目(CIP)数据

光微机械电子学/(日)板生 清,保坂 寛,片桐祥雅著;崔东印译.

--北京:科学出版社,2002

(先进光电子技术丛书 9)

ISBN 7-03-010262-2

I. 光… II. ①板… ②保… ③片… ④崔… III. ①光电子技术-机电一体化
②微电子技术-机电一体化 IV. TN2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 015355 号

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 共立出版 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2002 年 7 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2002 年 7 月第一次印刷 印张: 6 1/2

印数: 1-5 000 字数: 173 000

定 价: 20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《先进光电子技术丛书》序

1970年,半导体激光器室温连续振荡的成功和低损耗光纤的实现拉开了光电子时代的序幕。现在主干信息通信网几乎全部都实现了光通信,今后光纤也将进入每个家庭。另外,在存储和显示领域对新的光技术的期望也越来越高,而且期望光技术对计算机技术的发展也有所贡献。在21世纪这个高度信息化的社会中,光技术将起十分重要的作用,对它的发展,人们寄予厚望。

为使希望变成现实,光技术必须要不断地创新和发展。因而,从事光技术的人必须具备两种素质:一是具有在任何时候都能从物理学的角度对光的本质有深入理解的能力;二是具有敢于开辟新领域的开拓精神。为此,就要不断地提高基础知识和基本能力水平,而这种水平要建立在从学术性的基础研究到开发研究,直至应用实践的较宽领域的知识积累之上。

策划编撰本丛书的目的是使那些立志承担21世纪光电子技术发展重任的大学生、企业中的研究人员以及技术工作者,充分掌握要实现光电子最新技术的基础知识及应用知识,并把所掌握的知识有效利用到实际工作中。光电子技术人员往往需要较扎实的基础理论知识与器件技术及系统技术有机结合的广泛知识。本丛书系统地归纳了这些知识,因此通过本丛书的学习可以掌握光电子最前沿的技术。本丛书的另一特点是力求叙述简明,以使非光电子专业的学生或科技工作者也能容易理解;编者在编写本丛书时尽量做到使本丛书系统、完整,自成体系,使之达到不依赖其他参考书也能理解的水平;本丛书中各册的执笔者都是其相应领域中的知名学者。

如果能对飞速发展的光电子的最前沿技术有深刻的了解,那

么就能担负起下一次技术创新的使命。本丛书若能对作为 21 世纪信息通信技术支柱的光电子技术的发展有所贡献,编者将不胜荣幸。

编 委

前 言

1985年精密工学会中设立了开拓新领域的“新领域探讨委员会”，其负责人是当时的东京大学教授吉川弘之先生(后任东京大学校长)。笔者也曾作为委员参加并提出了作为机械电子学领域的扩展，开发光学机械电子技术的必要性的提案。该提案获得批准，从1986年起以东京大学大园成夫教授为主任、笔者为干事的光机械电子学研究分会开始了研究活动。处理的技术涉及光学信息处理、光学器件、光学应用传感，利用光的信息设备以及医疗等方面，3年间进行了测量仪器、信息设备及机器人等领域内的由光学器件实现的，融合测量、装置、控制及运算等技术的综合技术调研与分析。

与此同时，于1987年成立了未来领域开拓特定(adhoc)委员会。作为委员，笔者提出了以新一代信息存储技术为孵化题目的提案。于是，从1988年开始，以笔者为主开展了一年的调研活动。作为结果，留下了下述提案意见：“针对今后的高密度存储要求，存取机构的宽带化、高速化不可或缺；有必要开拓包含、融合光机械电子学与微机械电子学的新技术领域。”

精密工学会的新领域促进委员会接受了这一提案，将上述的孵化小组升格为专门委员会，目的也在于扩大精密工学会的研究领域。

另外，光机械电子学研究分会的提案也被接受，光信息系统的光机械电子学研究专门委员会(主任委员：板生；干事：浮田)从1989年开始进行研究活动。随着通信领域中光纤的引入和信息

领域内的光计算机、光存储、光传感、光印刷、光显示等的进展,该委员会已经认识到光信息系统中的光机械电子学技术的任务越来越重要。的确,将分立器件技术的革新说成是系统的革新,一点也不过分。

基于这样的技术认识,可以清楚地看出光机械电子学的任务,以及光机械电子技术领域中蕴藏着技术急速发展的可能性,它所涉及的范围遍及从“微”到“宏”、从“硬”到“软”的广阔领域,因而要对以往的光机械电子技术进行调查分析,加深技术的体系化。

经过浮田干事的努力,到1994年,历时5年的调查研究报告已辑成5本,1996年精密工学会会志特刊号上刊载了这5本报告的说明,现在这些报告已经作为学会的数据库而发挥作用。

1990年11月,在笔者所属的NTT研究所,根据笔者的提议,组织了10名左右的朝气蓬勃的研究人员成立了“光微机械电子学研究小组”。笔者任研究策划部长并兼任该小组的负责人,进行光通信与能量传输的基础技术研究。当时的研究课题有下述5类:(1)光驱动元器件的研究;(2)光能的产生与存储的研究;(3)向运动体传送光能的研究;(4)微动力学研究;(5)光微测量与控制的研究。其中课题(4)、(5)的承担者分别是本书的著者保坂宽先生与片桐祥雅先生。

之后,在保坂、片桐两位先生的协助下,笔者于中央大学和东京大学进行微动力学和光学测量的研究,探寻光微机械电子学技术的本质。

综上所述,本书是汇总迄今为止光微机械电子技术的成就编著而成的。书中第1章说明光微机械电子学的由来及其技术地位;第2章中,列举了作为光微机械电子技术的代表技术的强度控制与定位控制,同时指出技术的本质在于光束的控制。在实现此控制的基础上,说明机械、电子、信息技术的融合是最重要的;从第3章到第5章,就光束控制的实际技术进行了阐述;第6章与第7章,详细叙述了光微机械电子学的基础理论;最后在第8章,介绍了作为发展方向的纳米技术。

各章的执笔者分别为：

第 1 章：板生；第 2 章：板生，保坂，片桐；第 3 章：片桐；

第 4 章：片桐；第 5 章：保坂，片桐；第 6 章：片桐；第 7 章：保坂；

第 8 章：板生，保坂，片桐。

对于学生及新参加工作的技术人员，希望本书能加深他们对最新技术的理解。编写本书时，仅靠编者的研究工作是不够的，因而参考了许多文献；在本书出版过程中，承蒙共立出版株式会社的国井和郎先生的大力支持，在此一并向有关各位深致谢意。

板生 清

编辑委员

伊贺健一

东京工业大学精密工学研究所教授,工学博士

池上彻彦

会津大学副校长,工学博士

荒川泰彦

东京大学先端科学技术研究中心、生产技术研究所教授,工学博士

著者简介

板生 清

1968年 东京大学研究生院工学系研究科精密机械工学专业硕士课程毕业

现在 东京大学研究生院新领域开创科学研究科、工学部教授,工学博士

著作 《情報マイクロシステム——微小振動論》(朝倉書店,1998)

《精密機素(2)メカトロニクスのメカニズム》(コロナ社,1986)

《ウェアラブル情報機器の実際》(オプトロニクス社,1999)(監修)

《電子情報通信のメカトロニクス》(電子情報通信学会,1992)(編著)

《暮らしの中のメカトロニクス》(日刊工業新聞社,1995)

《マイクロオプトメカトロニクスハンドブック》(朝倉書店,1997)

保坂 寛

1981年 东京大学研究生院工学系研究科精密机械工学专业硕士课程毕业

现在 东京大学研究生院新领域开创科学研究科环境学研究系教授,工学博士

著作 《実際の情報機器技術》(日刊工業新聞社,1998)(分担)

《ウェアラブル情報機器の実際》(オプトロニクス社,1999)(分担)

片桐祥雅

1985年 东京工业大学综合理工学研究科能量科学专业硕士课程毕业

现在 NTT先端技术综合研究所、通信能量研究所主任研究员,工学博士

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载,或用复印机进行复制,或在其它场合引用,以及录入电子设备等行为,均属侵害著作权,构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时,必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编部 电话:010—64012994 传真:010—64019810

读者服务部:010—64017892 010—64000246

邮政编码:100717 地址:北京市东黄城根北街16号

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司 电话 010—82843276 010—82843277

传真:010—82842304

邮政编码:100029 地址:北京市朝阳区华严北里11号楼3层

<http://www.okbook.com.cn>

内 容 简 介

本书是先进光电子技术丛书之9。书中以光学技术为主干,全面阐述了信息技术中所必需的 光学、力学、精密机械、电子学等领域的基础知识及其相互融合产生的光微机械电子学技术。

书中主要阐述光微机械电子学的由来、技术组成,信息设备(如光盘机)中的光束强弱控制、光束位置间断与连续跟踪控制、速度控制技术,光微机械电子学中的基础光学、基础力学等内容。

书中列举了大量光微机械电子学的卓越技术成就,涉及到微领域内容诸多的测量传感、驱动控制、系统制造等。

本书可供从事测量技术与仪器、微机械技术、纳米技术研究的大学生、研究生及科技工作者阅读参考。

目 录

第 1 章 光微机械电子学概述	1
1.1 机械电子学	1
1.2 革新的方向	5
1.3 光微机械电子学的地位	7
1.4 微动力学和光学技术	8
第 2 章 光微机械电子学的技术状况	13
2.1 光技术创造的精密机器与信息机器	13
2.2 光微机械电子学技术的本质	15
2.2.1 光束强度控制	15
2.2.2 光束定位控制	16
2.3 光束强度控制的实例	17
2.3.1 光压的利用	17
2.3.2 光热变换的利用	21
2.4 光束定位控制	27
2.4.1 连续定位控制	27
2.4.2 跟踪定位控制的分类	28
2.4.3 主动连续跟踪控制	29
2.4.4 被动连续跟踪控制	30

2.4.5	定位控制系统的动态特性	31
2.4.6	离散跟踪控制	34
第 3 章	光微机械电子学中的间断定位	39
3.1	重复频率控制原理与控制机构	39
3.1.1	光源简介	39
3.1.2	重复频率可变原理	41
3.1.3	谐振腔长度变动机构	42
3.2	重复频率控制特性	48
3.3	脉冲周期的稳定及应用	50
3.3.1	光通信中脉冲光源的简介	50
3.3.2	重复频率的双重控制	50
第 4 章	光微机械电子学中的速度控制	57
4.1	波长扫描原理与控制机构概要	57
4.1.1	装置概要	57
4.1.2	波长选择原理	58
4.1.3	同步旋转机构	61
4.2	波长同步扫描与精密光学测量仪器	62
4.2.1	波长扫描谱分析仪	62
4.2.2	高精度激光波长检测	63
4.2.3	波长扫描光源	65
第 5 章	光微机械电子学中的跟踪定位	71
5.1	传统型的光盘跟踪定位	71

5.1.1	光盘的记录重放原理与定位概要	71
5.1.2	聚焦伺服中的位置检测	76
5.1.3	连续跟踪伺服中的位置检测	77
5.1.4	采样伺服中的位置检测	78
5.2	浮动头型光盘装置的跟踪定位	81
5.2.1	装置的概要	81
5.2.2	记录坑的检测	83
5.2.3	气浮光头的被动定位	85
5.2.4	实际装置技术	87
5.3	复合谐振腔型激光位移传感器	88
5.3.1	位置检测原理与跟踪定位概述	88
5.3.2	应 用	93

第 6 章 光微机械电子学的基础光学 99

6.1	光学基础	99
6.1.1	麦克斯韦方程式	100
6.1.2	波动方程式的行波解	103
6.1.3	偏振光	106
6.1.4	干 涉	108
6.1.5	光波面的控制	109
6.1.6	光波的定域	115
6.2	光学谐振腔及其应用	116
6.2.1	光学谐振腔的原理及概要	116
6.2.2	谐振腔的波长选择作用	118

6.2.3 半导体激光光学	121
---------------	-----

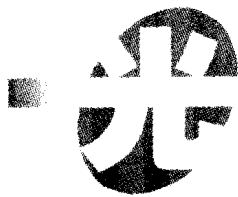
第 7 章 光微机械电子学的基础力学 135

7.1 微小物体动力学	135
7.2 梁的运动方程式	137
7.2.1 梁的力学模型	137
7.2.2 根据力平衡的运动方程式的推导	139
7.2.3 根据能量原理的运动方程式的推导	140
7.2.4 多自由度系统方式的运动方程式的导出	143
7.2.5 自由振动解与固有振动模式	146
7.3 微领域中的流体运动	149
7.3.1 流体运动的基础公式	149
7.3.2 基于串珠模型的近似解析	152
7.4 考虑空气阻力的梁的运动	155
7.4.1 输入为谐波的振动	155
7.4.2 微小振动梁的衰减比	157
7.4.3 阶跃输入的过渡响应	162
7.5 摩擦引起的爬行	164

第 8 章 向光纳米机械电子学的发展 173

8.1 纳米技术的发展潮流	173
8.2 新一代光纳米存储技术	176

索 引	183
-----	-----



光微机械电子学 概述

1.1 机械电子学

大约 10 亿年前,从地球上诞生生命开始,世界就有了以遗传信息形式存在的信息,它主要存在于细胞核中。随着生命的进化与人类的诞生,形成了语言。通过人这一个个体,信息逐渐流通起来。不久,人类发明了文字,并能存储与运用信息。信息的存储技术由于纸的发明取得了划时代的进步。信息的流通也由于谷登堡印刷术的发明而获得了飞速进步。近代,作为工业革命一部分的交通革命的兴起,在促进物流的同时也促进了信息的流通。尔后,莫尔斯电报(莫尔斯电码)的发明,作为电信革命,虽然在通信史上起到了决定性的作用,但不久即被电话所取代。计算机的出现将通信技术带入了数字通信时代。今天,由于综合上述成就的互联网通信的实现,人类已经进入了多媒体通信时代(参见图 1.1)。

自然科学的重要发现集中于 20 世纪初到 20 世纪 60 年代,而技术革新的成就则集中于 20 世纪后半叶的 50 年间。其中,对于从钟表、照相机等精密机械到汽车、造船、半导体、家电、通信设备等世界知名的日本工业,可以毫不过分地说,如果没有后 25 年,即 1975 年到现在的机械电子学技术,一切都无从谈起^[1]。

按照一般方法,机械电子学技术可按材料、零件、机器(装置)、系统等功能层次进行分类。另外,作为产生这些技术的基础技术,有微细加工、互换性装配及测量控制技术等。而且,就根本而言,为实现这一切的

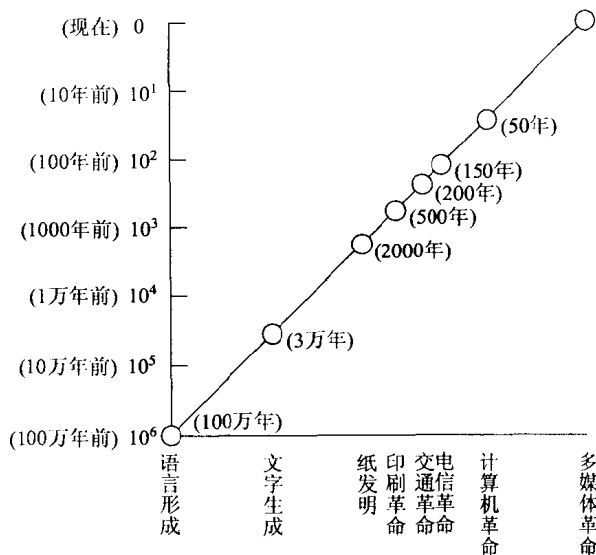


图 1.1 通信的历史

系统构筑、方法选取、具体实现顺序等设计技术更是不可缺少的。如果具体地进行水平分析，可将机械电子学技术分为功能水平、制造水平、设计水平等。即机械电子学既是实现机械功能的技术，又是用于机械制造不可缺少的技术。作为机械电子学的本质概念的系统综合概念更是在设计阶段必不可少的^[2]。

表 1.1 列出了支持各产业的机械电子学技术。由图 1.2 进一步给出了产业和技术之间的关系。这些资料引自第 16 届日本学术会议之自动控制研究连络委员会下设置的机械电子学小委员会(主任：有本卓教授)上以笔者为中心总结整理的对机械电子学教育与研究的提案^[3]。

机械电子学是日本产业界创造的词汇^[4]，由于它是表明科学技术新方向的词汇，故从 20 世纪 80 年代开始已经在世界上流行。使日本率先成为推出高水平高创意产品的经济大国之原动力正是机械电子学这一科学技术。从单纯表示产品的轻巧小型化、机电一体化的含义引申转化，1990 年前后，机械电子学已经作为表示科学技术新潮流的词语被世界所理解与认可。不久，世界上以机械电子学命名的新国际专业期刊也随之诞生。

表 1.1 支持各产业的机械电子学相关关键技术

通信产业	半导体、液晶、磁头等的设计、加工、批量生产技术, 信息输入输出存储器的构成、批量生产技术, 通信线路工程自动化技术, 便携微型化技术
家电产业	视听设备设计、加工、批量生产技术, 再生技术, 接口技术, 节能设计技术
电力产业	高效发电技术, 电力储存技术, 电力控制、监测技术, 电厂技术, 原子反应堆维护技术, 低环境负担的废物处理系统
机床产业	高速高精度机床技术, 实现数控开放式体系结构技术, 集成生产系统技术, 反求制造技术
办公设备产业	传真机、复印机的设计生产技术, 数字化、系统化、微型化技术
医疗器械产业	癌症治疗装置与高精度图像处理装置技术, 同步辐射(SOR)射线诊断装置技术, 患者运送系统技术, 家庭医疗器械技术, 生物信息监测用便携机技术
汽车、交通产业	超低公害智能化发动机技术, 再生技术, 汽车安全控制技术, 汽车导航、智能交通系统技术
航空航天产业	超高速发动机综合控制技术, 避险系统, 主动防振技术, 故障诊断技术, 太空机器人与遥控操作技术
海洋船舶产业	焊接、喷涂全自动化技术, 仿真技术, 姿态控制与障碍探测技术, 水下机器人技术
铁道车辆产业	依赖减振与倾斜控制的高速化技术, 碰撞仿真技术, 轨道状态自动检测系统
土木建筑产业	主动与被动减振技术, 大楼建设工程自动化, 喷涂机器人, 振动预测仿真技术
环境产业	环境信息传感技术, 废物处理装置技术, 人工环境设计技术, 循环系统设计技术

1991年, 英国的 Pergamon Press 出版社出版发行了名为“Mechatronics”的专业杂志。牛津大学的 R. W. Daniel 博士任主编, 一年发行 4 期(季刊)。1997 年后按一年 8 期刊行。为了对已经实现以照相机、录像机、影碟机为开端的机电一体化产品的设计、工厂自动化、机器人化等日本工业技术的显著贡献表示敬意, 主编 Daniel 博士在其创刊号第 1 卷(Vol. 1)的创刊词中说到, “机械电子学”一词是适宜的。

世界上最高级别的学会组织 IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)和 ASME(American Society for Mechanical Engineers)合作, 于 1996 年 3 月刊行了“IEEE/ASME Transactions on Mecha-