

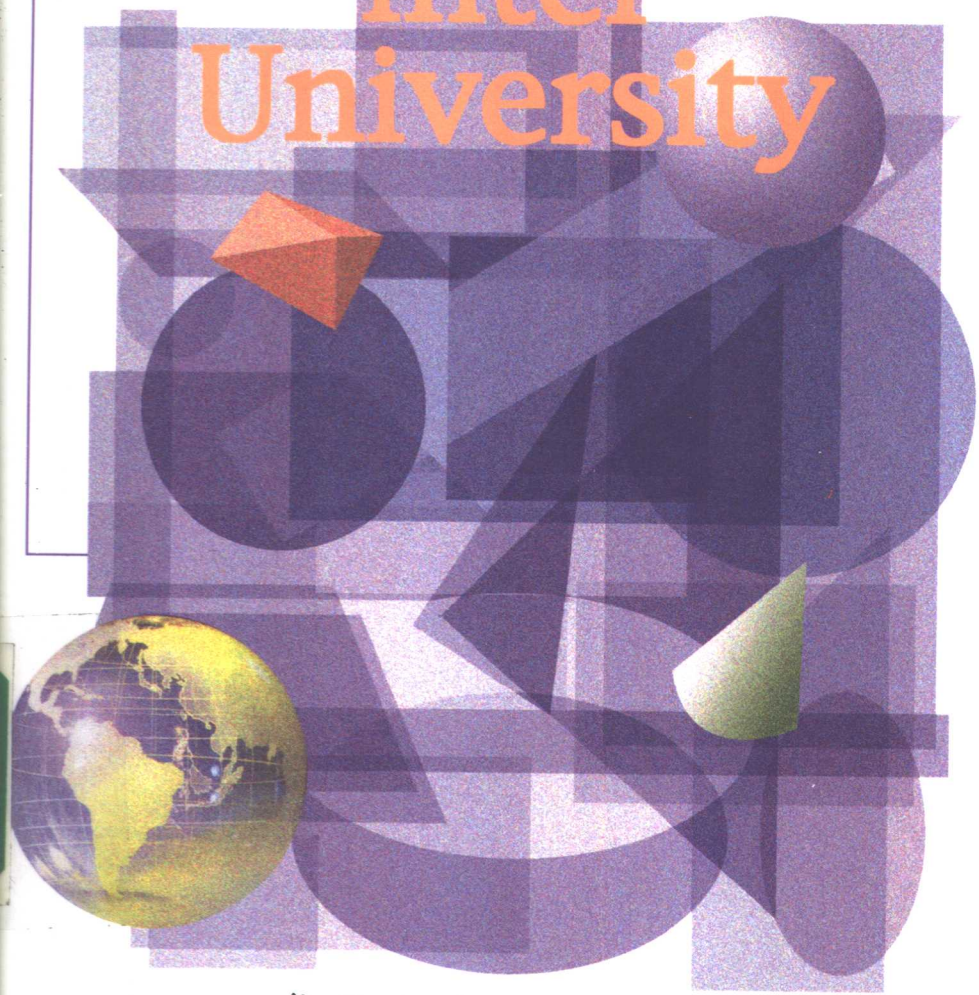


21世纪大学新型参考教材系列

光电子学

〔日〕 神保孝志 编著

Inter University



科学出版社 OHM社

TN201

7

21 世纪大学新型参考教材系列

光电子学

[日] 神保孝志 编著
邵春林 邵颖志 译
王树堂 校



北方工业大学图书馆



00499358

科学出版社

OHM 社
2001. 北京

图字:01-2000-1516 号

Original Japanese edition

Intaa Yunibaashiti Hikari Erektoronikusu

Edited by Takashi Jinbo

Written by Takashi Jinbo, Akihiro Kouno, Hideo Furuhashi, Kazuhito Yasuda,

Nobuo Gotou and Masakazu Mori

Copyright © 1997 by Takashi Jinbo

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 2001

All rights reserved.

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

インターユニバーシティ

光エレクトロニクス

神保孝志 オーム社 1997

图书在版编目 (CIP) 数据

光电子学/[日]神保孝志编著;邵春林,邵颖志译. - 北京:科学出版社,2001
(21 世纪大学新型参考教材系列)

ISBN 7-03-009575-8

I. 光… II. ①神… ②邵…③邵… III. 光电子学 - 高等学校 - 教材
IV. TN201

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 040805 号

北京东方科苑电脑图文制作有限公司 制作

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

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

2001 年 8 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2001 年 8 月第一次印刷 印张: 5 5/8

印数: 1—5 000 字数: 151 000

定 价: 12.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

电气能源基础
等离子体电子工程学
电力系统工程学
电气电子材料
高电压/绝缘工程学
电动机器
电力电子学

电气能源

逻辑电路与自动机械
计算机工程学
程序语言设计
信息传送和符号的理论
信息通信工程学
信息网络

信息通信

公共基础

电磁学A
电磁学B
电气电路A
电气电路B
电子电路A
电子电路B
电气数学
信息数学
程序设计

测量·控制

系统与控制
信号分析
传感测量
柔性信息处理
机器人控制

为了适应21世纪的要求

面向21世纪，日本各大学进行了系与学科的改编、研究生院的调整、导入两期制等。伴随着这些调整，现有的教材已不能适应现代学生的水平和兴趣要求。因此就要求有一套从版面到内容都更新颖的教科书。

本系列正是考虑到这种新的要求，经过不断深入考察和讨论，按照全新的整体编排形式制作完成的新型教材。曾荣获第七届日本工科教育协会奖「业绩奖」。

21世纪大学新型参考教材系列 编辑委员会

主任委员：家田正之（爱知工业大学）
编 委：稻垣康善（名古屋大学）
白井支朗（丰桥技术科学大学）
梅野正义（名古屋工业大学）
大熊 繁（名古屋大学）
绳田正人（名城大学）

电子器件

电子物性
半导体工程学
电子器件
集成电路A
集成电路B
光电子学

译者序

电子技术的高速发展,为计算机和通信技术的发展打下了坚实的基础。电视机、电话机、传真机、计算机等的普及,尤其是全球因特网的普及,使信息的传递有了飞速的发展,人类开始进入了多媒体的信息时代。电子技术的高速发展给人民的和社会经济带来了巨大的影响。今后,特别是在21世纪人类需要解决的许多问题也依赖于电子技术的发展。从而,加速培养更多的掌握先进电子技术的人才是非常重要的,这是电子技术领域的教学工作者、科研工作者及技术人员的历史使命。

为此,我们将国外一些比较好的教材翻译成中文,介绍给广大读者。最近,由日本高校校际教材编辑委员会主任家田正之先生负责编著、由欧姆出版社出版了一套有关电气工程方面的教科书。这一套教科书主要包括五大方面的内容:(1)电子工程基础,(2)电力工程,(3)电子器件,(4)信息通信,(5)计测控制。这一套教科书主要由日本中部地区高等院校有名的教授负责编著,由教学科研第一线的教授、专家们执笔编写而成的。其中,已经出版了梅野正义编著的《电子器件》、荒井英辅编著的《集成电路A》和《集成电路B》、神保孝志编著的《光电子学》。这些书具有内容新颖、重点突出、通俗易懂的特点,每本书各章的开始有该章的内容概要,章末附有练习题,书后附有练习题解答,以便读者深入理解本书的内容。书中还穿插有《篇外话》作为篇内内容的补充说明,并且书后列出了参考文献,可供读者参考。

我们已将上述四本日文书翻译成中文,供大专院校电子专业的师生及研究生作为教材或教学参考书;也可供将要从事或者正在从事电子专业,特别是半导体专业的科研、生产、教学的年轻朋友们阅读。

在翻译这些书的整个过程中,我们获得了能和原书编著者共同讨论书中内容良好的机会,使我们加深了对原书的理解,以便我们尽可能正确地将原书翻译成中文,同时对原书中个别错误之处及时作了更正。由于原书的编著者、执笔者,对我们的翻译工作给予了支持和帮助,使我们能在比较

短的时间内完成这些书的翻译审校工作。在此我们对原书的编者、执笔者的支持和帮助表示衷心的感谢。同时,要感谢日本欧姆社(OHMSHA)有关人员在翻译本书时给予的支持和帮助。

由于译者水平有限,错误在所难免,希望读者批评指正。

前 言

人类在太古时代就已知道了光,并认识了光的重要性。神话中多以光(或者像太阳那样的发光物)奉为神,哲学中则把光和火焰看成万物之源。人类对于光的感情,可以从多种语言中存在的“光、明、暗、黑”之类的单词用法中推测出来。其主要原因在于视觉是人类五官中接受信息最多的器官。人类掌握的产生光的技术首先来自火的使用;其他产生光的技术是随着电技术的发展而出现的。

人类从18世纪开始了电的研究,19世纪中叶实现了弧光灯照明,1859年试制了日光灯。但是,电被广泛应用于照明是1879年发明了碳灯泡以后才实现的。另一方面,由于电能比较容易控制,所以利用电可以进行信息的传送、加工、记录等处理,从而诞生了对人类有益的电子学。1906年发明了真空三极管后,人们能自由地控制电信号。1948年晶体管的发明使人类进入了半导体集成电路的时代,由此电子学获得了迅速的发展。

在电子学的发展过程中,也吸收了各种边缘技术。特别是引入了利用人和机器直接联系起来的传感器、执行元件等,将其他的能量转换成电能的转换技术。其中,包括直观的图像传感器和显示器。

关于光的传输,虽然已在物理学的一个分支——光学中进行了研究,并且人们已经对此有了深刻的理解。但是因为用电灯泡产生光与用火花放电产生电波具有同等程度的控制性,所以当时根本没有想到电子学可以利用光。1960年红宝石激光器和He-Ne激光器的发明,使光发生技术更接近于真空管振荡器的性能,但当时的激光装置非常庞大,不可能将数个激光器组合构成电子学中的系统。1970年,半导体激光器的室温连续激振的成功实现了光技术的微小化,因为当时电子学已经进入了集成电路的时代,所以尚未在电子学中全面地引入光技术。随着光纤技术的进步,光技术被广泛地利用在电子学中重要的通信领域中。

现在,集成电路的微细化技术已经达到传统技术的极限,希望引进新的技术。通信中使用了光技术,促使了光技术的发展;电子学引进光技术,更

期待着电子学的发展。光电子学是一个有发展前途的领域,因而随时可能出现和电子学不同的思路。处于这样的时期,掌握该领域的基础知识,学习特有的考虑问题的方法是非常重要的,因而编写了这本光电子学入门书。如果能以本书中介绍的思路作为在未来开发和应用新器件道路上的指路标,将感到非常荣幸。

最后,衷心地感谢中国科学出版社,日本欧姆社(OHMSHA)对出版本书中文版的支持,感谢译者和有关人员在出版本书时付出的辛勤劳动。

神保孝志

目 录

1 光电子学的学习方法	1.1 电子学和光电子学	2
	1.2 本书的构成	4
	1.3 电工学和光学中的术语	5
	练习题	6
2 光的性质	2.1 表达光性质的基本关系式	10
	2.2 复数表示方法和偏振光	14
	2.3 光的干涉与衍射	16
	2.4 光的反射与折射	19
	2.5 各向异性媒质中的光行为	24
	2.6 改变物质折射率的方法	27
	练习题	30
3 光吸收和发光的机理	3.1 光和物质的相互作用	32
	3.2 粒子数反转	36
	3.3 激光振荡条件	41
	3.4 激光器中的电磁场	44
	3.5 半导体激光器	48
	3.6 激光器的脉冲受激辐射	52
	练习题	55
4 光源	4.1 白炽灯与日光灯	58

4.2	固体激光器	59
4.3	气体激光器	63
4.4	半导体激光器	68
4.5	其他激光器	73
4.6	其他光源	76
	练习 题	78
5	光的探测	
5.1	利用光电效应(进行光的探测)	80
5.2	利用光转换成热测量温度变化	93
5.3	摄像装置	96
	练习 题	101
6	光的控制	
6.1	光波导	104
6.2	改变光的传输方向(偏向)	110
6.3	改变光强度的方法	118
6.4	改变光频率的方法	121
6.5	以光控制光的方法	123
6.6	控制光量子状态的方法	126
	练习 题	129
7	光的应用	
7.1	光的利用	132
7.2	光能的利用	134
7.3	光频率的利用	136
7.4	光 盘	139
7.5	全息照相	141
7.6	测量距离	144
	练习 题	147

练习题解答	149
--------------	------------

附 录	155
参考文献	161

篇外话

色 散	13
费米分布	38
弛 豫	60
连续激射和脉冲激射	61
布儒斯特窗口	66
折射率缓变光纤和保偏光纤	111
光集成电路	133
光纤放大器	138
相位共轭波	143

1

光电子学的学习方法

光电子学是在电子学的基础上吸收了光技术而形成的一门新兴学科。它不仅提高了电子设备的性能,也使电子学至今未能实现的功能获得了实现。本章首先简述光电子学研究的对象;其次对由电工学发展而来的电子学和光学两门学科中,术语的定义和公式描述上的差异进行了说明。

1.1 电子学和光电子学

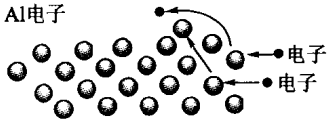
自人类诞生之日起人们懂得利用光,最初只是利用了太阳光。人们发现了火以后,不仅利用火来照明,也利用烽火来传递信息。

从19世纪到20世纪,有关电磁学的知识得到了飞跃的发展,并不断开发了各种电的应用技术。作为能源的电能,由于具有瞬时移动性和可控制性,所以被广泛用于照明、动力等方面。此外,电信号具有传播速度快、可控性好等特点,所以获得了广泛的应用。电子学正是研究电信号的控制、记录、传递及其应用的一门科学。自晶体管的发明到集成电路广泛应用的今天,可以说每一个领域无不得到电子学的恩惠。

例如,不同种类鱼生存于各自适应的水温中,如果利用人造卫星测量出海水的温度分布,就可以预测出特定的鱼所在的海域,鱼船可以依靠人造卫星发出的电波自动操纵到那片海域,利用超声波确认鱼群进入鱼网。此外,各行各业都有很多利用电子技术的例子。

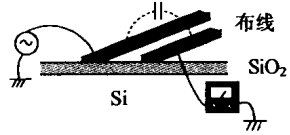
直到现在为止,元器件的不断微细化和集成电路的高度集成化,满足了对信息处理量不断增大以及处理速度不断提高的要求。不过,电子学已经出现不能适应新的要求的征兆。例如,集成电路布线的进一步微细化,将带来布线中的电子迁移等问题。在大电流密度的铝布线中出现电子迁移现象,布线中的电子碰撞铝的原子,使铝原子移动而产生断线。同时,布线的微细化使电阻增加,增大了 RC 时间常数,使信号传播延迟。此外,由于布线之间的距离狭窄,布线间产生电磁耦合,引起串音(cross talk)现象等(图1.1)。

为了解决这些新的问题,人们已经开始考虑利用光信号。光信号与电信号相比具有:①传输速度快,②频率高、传送的信息量大,③可以聚成很细的光束,④抗电磁干扰能力强,⑤可实现空间多重化传输(同一空间可传递多路信号),⑥与有线通信相比较,光纤通信的损耗低,⑦光纤的体积小、重量轻,⑧可以用光纤在电位不同的设备之间传递信息等优点(图1.2)。



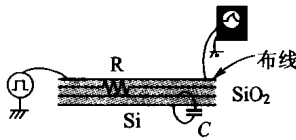
电子碰撞铝原子，使铝原子移动。
布线断面变小处电流密度增加，电
子迁移效应增大，最后导致断线

(a) 电子迁移



由于布线间距离变窄，
而产生串音

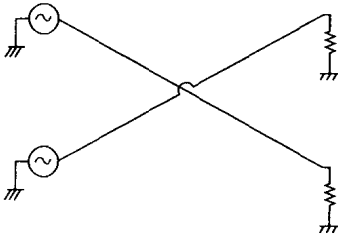
(b) 串音



串联电阻增加，使充电时间变长

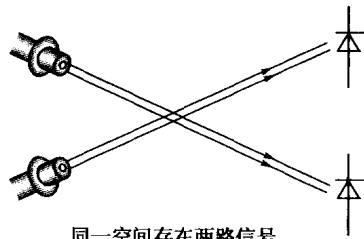
(c) RC时间常数

图 1.1 超大规模集成电路布线中存在的问题



电信号必须绝缘，在同一
空间不能存在两路信号

(a) 电信号的交叉



同一空间存在两路信号
也不会产生干扰

(b) 光信号的交叉

图 1.2 光信号在空间的多重传输

到 20 世纪中期，电信号(电波)的技术已经获得了很大的进步，而光的产生技术并没有取得大的进步。1960 年发明了激光，终于得到了高质量的光源；在此之前，人们使用的是物质随机发出的光。激光是可控制的电磁波，使许多过去不能实现的事情不断地成为现实。人们把研究激光及其应用的学科称为量子电子学。

激光的出现开拓了新的研究领域、开创了光应用的新途径。在激光诞

生初期,激光器是大型的,所以激光技术没有获得广泛应用。但是,在电子学中,由真空管到晶体管,再发展到集成电路,不断地实现了电子电路的细化。

1970年,半导体激光器在室温环境下的连续激射获得成功。这样,在缩小激光器体积上获得了突破性的进展,由此人们更加关心光技术的发展,期待着能打开新的应用途径。正在这时候,低损耗的光导纤维的试制又获得了成功,使期待已久的具有很多特长的光纤通信成为现实。在人类的通信史上,跳过了为增大信息传输量而开发的毫米波通信阶段,直接由微波通信转移到光纤通信。

光纤通信技术的开发,不仅促进了作为光源的激光器以及作为接收器件的光探测器的发展,而且也促进了诸如光调制器、光波导、光开关、光放大器,以及光隔离器等各种光学部件的发展。在开发光纤通信技术的过程中,人们也已开始注意到在电子学技术中采用小尺寸的光学零部件的组合。但是,由于电子器件的发展非常迅速,光技术的发展没能够超过电子技术的发展,所以还未能使光盘唱机、激光打字机中的电子器件都用光器件来代替。

如果想得到比大型计算机更多的信息量、更高的演算速度,由于诸如电子迁移等问题的存在,用现存电子技术是不可能实现的。在探讨超并行计算机的配线方式时,认为用光信号传输方式要比用电布线好得多,所以仍然期待着在电子学中采用光技术。

1.2 本书的构成

第2章 介绍光学知识。这主要是考虑到了电子工程系的学生虽然有很多学习半导体光器件的机会,但是却很少有系统地学习光学知识这一实际情况。如果熟悉了光学知识更有利于理解各种光器件的工作原理。除此之外,在大学设置的课程中,往往忽视物质的各向异性和非线性效应。但是在很多情况下,正是这些特性在光的控制中起着重要的作用。

第3章 主要介绍光和物质的相互作用。介绍激光器的工作原理和典型的工作模式,以及各种有关的专业术语。这些对开发新型的光电子器件是相当重要的。

第4章 主要介绍具有代表性的激光器。在狭义的光电子学领域中,广泛地使用着半导体激光器,但是在光器件的生产和测试过程中,还广泛地使用着半导体激光器以外的其他光源。所以也希望读者能很好地掌握这些光源的基本知识。

第5章 介绍典型的光探测器。在狭义的光电子学领域中,广泛地使用着光电二极管。此外,还广泛地使用着其他的光探测器。光电倍增管,在光实验中经常用它来测量微弱光,应该很好地掌握光电倍增管的基本知识。

第6章 主要介绍如何改变光的传播方向、光的强度、光的频率和光的偏振等方法。控制光的这些参数,获得所期待的光功能是光电子学的任务,所以这章是最重要的。第2章、第3章是更好地理解这一章内容的基础。在这一章中,很多现象是用电磁学的基础公式来正确地记述的。在很多教科书中,为了获得实际问题的解需要庞杂的计算,而本书则尽量避免使用过多的公式推导。但是对将来有可能从事该领域工作的读者来说,最好亲自进行一下计算。这一章中,还简单地介绍了量子力学中有关光子的控制知识。

第7章 介绍激光的应用。但是,本章将不详细介绍作为光电子学重要领域的光通信技术,因为已经出版了很多关于光通信技术的专业书。激光器及其他光电子器件的应用是非常广泛的,这里介绍的只是一部分。因为激光器最早用于激光加工,是成功地利用其光能的典型例子,本章也作了介绍。如果读者很好地掌握了前几章的内容,将会容易理解本章中所介绍的其他应用实例的工作原理。

1.3 电工学和光学中的术语

电工学和光学中有若干不同的习惯,所以在阅读文献进行比较时须加注意。例如,在第2章中阐述的圆偏振光,按照光学的习惯是面对着光的入射方向,将顺时针方向作为右旋偏振光。但是,在电工学中却是沿着光的入射方向来观察的,所以将上面的偏振光称为左旋偏振光。电工学中,偏振光也称为偏振波(图1.3)。