

先进  电子技术丛书 8

〔日〕伊贺健一 池上彻彦 荒川泰彦 主编

光集成器件

〔日〕小林功郎 著

56
61

科学出版社

共立出版

先进  电子技术丛书

〔日〕伊贺健一 池上彻彦 荒川泰彦 主编

光集成器件

〔日〕小林功郎 著
崔凤林 译

科学出版社 共立出版

2002 北京

图字:01-2001-4114 号

Original Japanese edition

Sentan Hikari Electronics Series ⑧ Hikari Shuseki Device

by Kohroh Kobayashi

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 8

光集積デバイス

小林功郎 共立出版(株) 1999

图书在版编目(CIP)数据

光集成器件/(日)小林功郎著;崔凤林译. —北京:科学出版社,2002
(先进光电子技术丛书 8)

ISBN 7-03-010355-6

I. 光… II. ①小… ②崔… III. 集成光学元件 IV. TN256

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 021475 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 8 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2002 年 8 月第一次印刷 印张: 6 3/4

印数: 1—5 000 字数: 182 000

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

在以量子力学诞生为标志开始的 20 世纪中,从晶体管诞生到掌上电脑问世,硅微电子学取得了辉煌的成就。以光纤通信为重点的光电子学,则起着把 20 世纪连接到 21 世纪的高度信息化社会的“神经网络”的作用。以最近几年互联网的爆炸性发展为背景,21 世纪是把家庭及个人通过信息网与世界紧密联系在一起的时代。从这一点也可以看出,以发展信息网为目标的光电子学的作用会越来越重要。

本书将介绍支撑及引导光电子学发展的基础技术——光集成器件技术。一说“集成”,自然就会想起以硅 LSI 及 VLSI 为代表的电子集成器件。目前,光集成器件,在其研究开发及实用化方面都还处于很初级的阶段,根本不能和硅微电子技术相比,但为了使读者对技术发展脉络有一简单了解,图 1 列举了微电子学和光电子学中有关集成的一些成果。以晶体管的诞生(1947 年)和半导体激光器的诞生(1962 年)为各自的出发点。就这个出发点而论,光电子学已经晚了 15 年。其后,在电子学领域里,10 年后发明了 IC,接着实现了微处理器,到 20 世纪 80 年代,迎来了 IC 真正普及的时代,直到现在,微电子技术一直在稳定而迅速地发展。与此相对,在光电子学领域,1970 年前后,提出有关光 IC、光电子 IC(OEIC)的设想,并于 70 年代后半期实现了 OEIC,80 年代中期实现了 PIC(photonic IC)等,研究开发进展得很顺利。但从因集成化而实现高功能的角度来看,能与 1971 年发明的微处理器相对应的光 IC 还没出现;从实用化角度来看,可以与 80 年代的 IC 普及相对应的光 IC 普及还没形成。从这一点可以说,光电子学和微电子学的发展,与起步时相比,差距更大了。1970 年初半

导体激光器(LD:Laser Diode)实现了在室温下的连续工作。若把这个时间看作1947年晶体管诞生的对应点,那么可以说两者的起步相差20年以上。发展上的差距还得看今后的情况。

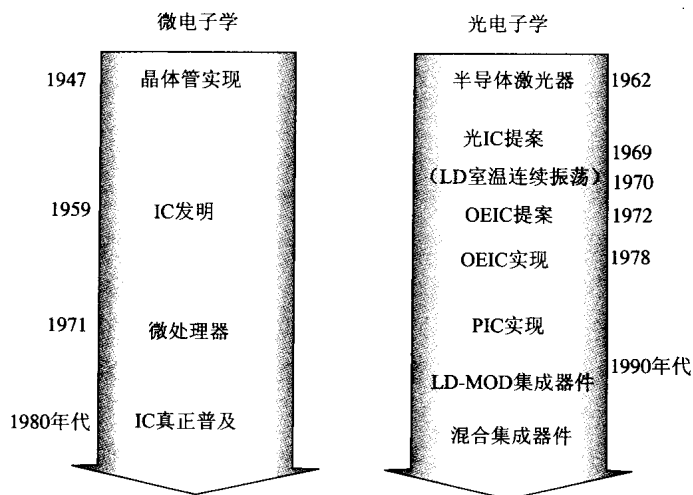


图1 微电子学与光电子学发展的对比

实际上,光集成的历史刚刚才开始。光电子学是否应该走电子学走过的路,也还是正在讨论的课题。光集成器件的发展领域,现在不是固定不变,而是每天都在变化。本书将介绍光集成器件技术的全貌,考虑到光集成器件技术的现状,不可能全面系统地叙述每一个技术关键。因而,书中只是较详细地讨论光集成的思路及光集成器件的应用。就应用而言,为避免内容分散,重点放在光信息传输中的应用及在网络中的实际应用上。

图2示出了本书的构成。在第1章,以几个光集成的关键问题为切入点,综合介绍光集成的思路。第2章介绍作为光集成的重要因素的主要材料及制作工艺。这两章可以看作是光集成器件的基础篇。第3章介绍对今后光集成器件发展有重大影响的选择式晶体生长技术。接下来的第4章相当于其后几章的导言,这一章中,将展望光通信网络的发展,概要说明在这一发展过程

中主要光集成器件所处的位置。第5章以后,将针对光通信网络的每一应用领域阐述相应的光集成器件的有关课题、技术现状等。第5章介绍超高速时间多路复用光通信用集成光源,第6章介绍波长多路复用通信用集成光源,第7章介绍以实现光波网络为目标的波长可变光源和波长变换器,第8章介绍光存取用光源和光收发器件,第9章介绍与光接收器相关的光集成器件,最后的第10章介绍加速渗入光波网络节点的光技术——光集成节点器件。

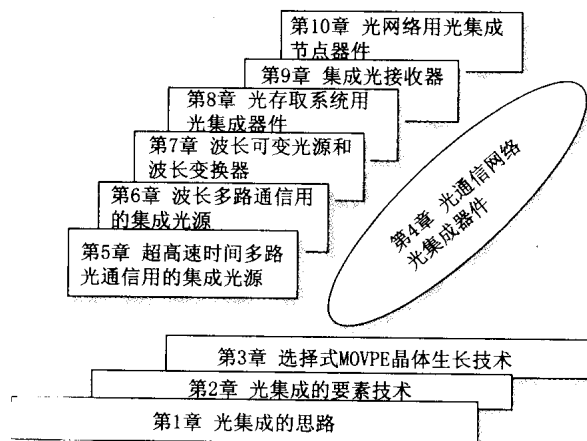


图2 本书的构成

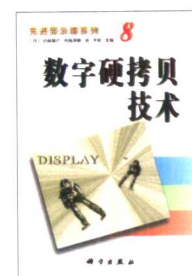
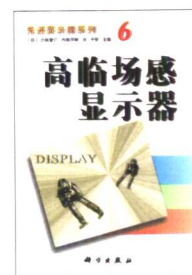
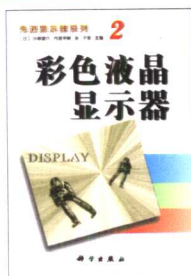
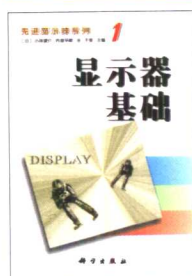
如前所述,光集成技术领域还是发展中的、激烈变化着的领域。即使现在给出个别技术及个别器件的细节及资料也会很快变得陈旧。所以,我们不把重点放在技术和资料的细节上,而着力于介绍集成化的思路及今后的发展方向。重视研究的思路及原理,尽量避免用数学公式。为使读者可以独立地阅读各章,有些内容可能会有重复,对于重复的地方可以跳过去不读。作为基础篇,虽然第1、第2章介绍的是光集成器件的概貌,但从总体上看,在介绍光集成器件时,本书重点放在由光元器件的集成引起的功能的强化及新功能的实现和新性能的大幅度提高上,特别是

放在主要以化合物半导体为基础的单片集成器件及其与石英系光波导的混合集成上。

本书若能引起读者对光集成器件的兴趣,对今后的光集成器件的研究开发及应用有所帮助,笔者将深感幸运。在这里,我向在本书编写过程中提供论文资料、照片等各种信息的以下各位深表谢意:日本电气(株)光·超高频器件研究所的山口昌幸先生、工藤耕治先生、田口剑甲先生,C&C 媒体研究所的江村克巳先生,逸见直也先生,关西电子学研究所的水户郁夫先生,以及其他有关人士。在将本书奉献给读者时,我们担心的心情中伴随着期待,担心的是怕书中内容很快陈旧,期待的是希望看到本领域的更快进步。

小林功郎

先进显示器系列



预计 2002 年 11 月出版

内 容 简 介

本书是先进光电子技术丛书之8。书中主要介绍支撑及引导光电子学发展的基础技术——光集成器件技术。

本书共十章。主要内容有光集成的概论、主要技术,选择式MOVPE晶体生长技术,光通信网络及光集成器件,超高速时间多路光通信用的集成光源,波长多路通信用集成光源,波长可变光源与波长转换器,光存储系统用光集成器件,以及集成光接收器,光网络用光集成节点器件等。

本书可作为光电子相关专业大学本科及研究生参考教材,亦可供相关专业研究人员、工程技术人员参考。

目 录

第1章 光集成概论	1
1.1 集成的方向 2	
1.1.1 功能集成 2	
1.1.2 器件个数的集成 5	
1.2 光集成的方式 6	
1.2.1 光-光集成 7	
1.2.2 光-电集成 8	
1.3 光集成的形式 10	
1.3.1 单片集成 10	
1.3.2 混合集成 11	
第2章 光集成的主要技术	13
2.1 光集成器件用的材料 13	
2.1.1 所需材料特性及其有关物理现象 13	
2.1.2 光集成器件用半导体材料 20	
2.1.3 光集成器件用非半导体材料 24	
2.2 光集成器件的制作技术 26	

2.2.1 半导体单片集成型光集成器件制作工艺	26
2.2.2 用于衍射光栅形成的曝光技术	29
2.2.3 光波导形成技术	33
第3章 选择式 MOVPE 晶体生长技术	37
3.1 原理及特征	37
3.2 选择式 MOVPE 法的应用例	42
3.2.1 光波导	42
3.2.2 光介入用半导体激光器	44
3.2.3 半导体光放大器	46
第4章 光通信网络及光集成器件	49
4.1 光通信网络和光源、光接收器	49
4.2 光通信网络及其他光集成器件	55
第5章 超高速时间多路光通信用的集成光源	59
5.1 外部光调制概要	60
5.2 半导体光调制器	62
5.3 调制器集成光源的设计与制作	64
5.4 EA 调制器集成光源实现例	69
5.5 用调制器集成光源的光纤传输	71

第6章 波长多路通信用集成光源	77
6.1 单纵模振荡半导体激光器的振荡波长	78
6.2 WDM 光通信用单体半导体激光器	79
6.2.1 WDM 用波长的标准化动向	80
6.2.2 不同波长 LD 的一并制作技术	81
6.3 WDM 光通信用调制器集成光源	83
6.4 WDM 光通信用多波长集成光源	85
6.4.1 WDM 集成光源	85
6.4.2 WDM 光通信用异波长集成光源	87
 第7章 波长可变光源与波长转换器	 95
7.1 典型的波长可变方式	96
7.2 多电极 DBR 波长可变光源	99
7.2.1 DBR-LD 波长可变原理	99
7.2.2 3 电极波长可变 DBR-LD	101
7.2.3 单一电流连续可变运行	105
7.3 采用不均匀衍射光栅的波长可变 DBR-LD	106
7.4 由加热实现的波长可变 DBR-LD	110
7.5 波长可变 DFB-LD	110
7.6 典型的波长转换方式	112
7.7 光控制光门波长转换器	115

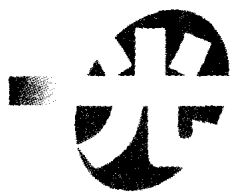
第8章 光存取系统用光集成器件	123
8.1 光部件间的连接	123
8.2 光斑尺寸转换器集成光源	126
8.2.1 典型的光斑尺寸转换结构	126
8.2.2 集成光斑尺寸转换器集成半导体激光器	128
8.3 光集成发射、接收器件	134
8.3.1 混合光集成收发器件	135
8.3.2 单片集成光收发器件	139
第9章 集成光接收器	143
9.1 波导型光二极管	143
9.2 WDM 用集成光接收器	145
9.2.1 具有波长分波特性的 PD	145
9.2.2 密集 WDM 用光集成光接收器	146
第10章 光网络用光集成节点器件	155
10.1 光集成开关器件	157
10.1.1 用方向性耦合器的矩阵式集成光 开关	160
10.1.2 利用光门的矩阵式集成光开关	162
10.1.3 其他矩阵式集成光开关	169
10.2 上路和下路光集成器件	170
10.2.1 阵列波导衍射光栅	170
10.3 应用 AWG 的节点用光集成器件	183

目 录

10.3.1 上、下路用光集成器件 183

10.3.2 波长分配器集成器件 188

索 引 191



光集成概论

毫无疑问,现在和将来的信息化社会,在很大程度上依靠硅技术为基础的微电子技术。现在的微电子学始于贝尔研究所的肖克莱(Shockley)、巴丁(Bardeen)、布拉特(Brattain)三人在 1947 年发明的晶体管。在晶体管诞生后 10 年左右的 1958 年,得克萨斯仪器公司的基尔毕(Kirby)发明了集成电路(IC: Integrated circuit)。最早的集成电路,只不过是把一个晶体管用导线与几个电阻等元件连接。以后,硅集成电路,一直处在“不知其终于何处”的良好状况。被集成的晶体管个数,从基尔毕的 1 个开始,到 1997 年达到了 1G-DRAM(10^9 个),现在,仍然以每 3 年增加 10 倍集成度的速度发展。微电子学的 IC、LSI 取得如此爆炸性的进展,是由于充分发挥了集成化的优越性,从最早的去掉焊点提高可靠性开始,经可生产性、成品率和小型化的提高,从量的扩大引到质的变化,集成化的优越性很明显。

和以信号处理为中心内容的微电子学不同,光电子学以光纤传输为代表、以信号传输为中心出现于世。本书的主要目的是介绍目前光集成器件的研究概况,对一些关键问题提出看法。光集成器件技术无法直接和微电子学集成技术相比较,后者已达到了很成熟的阶段。但希望读者在很多问题上,把它作为先行科学参考。

在本章,首先考虑光集成的一些关键问题,综合叙述一些想法。1.1 节介绍光集成研究的倾向和方向。接着,在 1.2 节里,叙述光集成的方式,一是集成多个光器件的光-光集成,二是集成光器件和电子器件的光-电集成。在 1.3 节里,讨论集成的形式:单片集成和混合集成。本章的目的是,作为以后各章所述具体技术的基础,概述集成器件的总体情况。