

先进  电子技术丛书 7
〔日〕伊贺健一 池上彻彦 荒川泰彦 主编

面发射激光器 基础与应用

〔日〕伊贺健一 小山二三夫 编著

8.4
6

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

面发射激光器 基础与应用

〔日〕伊贺健一 小山二三夫 编著

郑 军 译

张志刚 校

科学出版社 共立出版

2002 北京

图字:01-2001-4116 号

Original Japanese language edition

Sentan Hikari Electronics Series ⑦ Men-Hakko Laser no Kiso to Oyo

by Kenichi Iga • Fumio Koyama

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

先端光エレクトロニクスシリーズ 7

面発光レーザの基礎と応用

伊賀健一 小山二三夫 共立出版(株) 1999

图书在版编目(CIP)数据

面发射激光器基础与应用/(日)伊贺健一,小山二三夫编著;郑军译.

—北京:科学出版社,2002

(先进光电子技术丛书 7)

ISBN 7-03-010439-0

I. 面… II. ①伊… ②小… ③郑… III. 激光器 IV. TN248

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 030917 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: 7 1/2

印数: 1—5 000 字数: 199 000

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

面发射激光器在 1977 年由著者之一首次提出。从那以后 20 多年过去了,面发射激光器作为光纤通信、高速光局域网、光盘、激光打印机、光互连等许多光电子技术新领域中的重要器件,成为研究最活跃的半导体激光器之一。面发射激光器的波长,从光通信用的 $1.3\sim 1.55\mu\text{m}$ 波段到红色光的 $0.65\sim 0.78\mu\text{m}$ 波段及近红外领域的 $0.85\sim 1.0\mu\text{m}$ 波段,研究开发均已有进展;从绿色到蓝色的短波长带的面发射激光器的研究也在进行之中。此外,人们期待着利用单片化及微机械等技术能制造出应用领域更广泛的器件。

面发射激光器从学问的角度看待也是很有意思的器件。例如,进行发光与光放大的超薄激活层的配置,与微型光谐振腔有关的物理现象及动态机理,决定光分布的电磁场问题等课题数不胜数。此外,在几乎与波长同样大小的微结构制作技术领域中,研究人员和制造人员可以大显身手。研究者们总是对这样小的器件能发出激光掩饰不住内心的新奇与惊讶。在国际上已经有非常多的人从事面发射激光器相关的研究、开发、制造,也有许多的大学、研究机构、企业,对这方面的研究及开发、投资非常积极踊跃,在国际会议上也有许多论文及研究成果被发表。根据对部分专业杂志的调查表明,一年有约 400 篇以上有关面发射激光器的论文被刊载。许多原创性的见解及技术正源源不断地涌现出来。

本书作为先进光电子技术丛书之一,最初打算以伊贺健一、小山二三夫著作的形式出版。但考虑到他们各自持有不同的观点及技术内涵,因此决定以研究室的专家们提供的最权威数据为

基础编撰本书。本书以其搜集了基础理论、材料技术,以及与各种应用有关的器件技术等所期望的各方面的内容而感到满足。在准备本书原稿的阶段,编著者们对内容、专业术语、符号等方面进行了调整统一。

笔者相信,本书作为参考书或技术手册,不仅对光电子新领域的研究开发人员、与制造有关的技术人员、面向应用的系统工程师有用,而且作为教科书或参考书对理工科大学的本科生和研究生的学习也会起到很大作用。

本书中所引用的其他机构研究人员的原始图均预先获得使用许可,在此表示深深的谢意。

构成本书中心内容的数据,是获得了文部省科学研究费 COE (#07 CE2003)资助的研究成果。此外编著者谨向给予指导的东京工业大学名誉教授末松安晴先生和在本书编撰过程中给以帮助的共立出版株式会社的编辑们表示衷心的感谢。

编著者代表

伊贺健一 小山二三夫

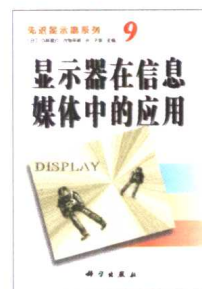
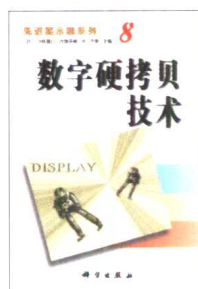
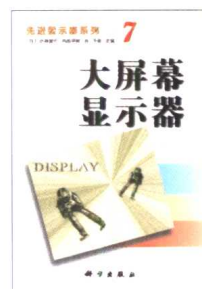
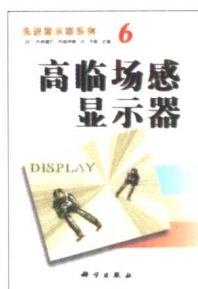
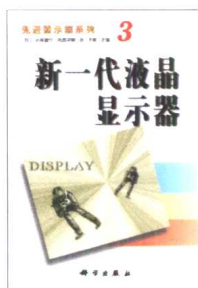
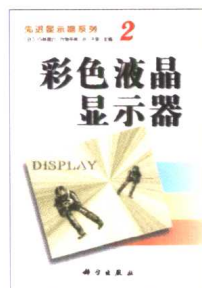
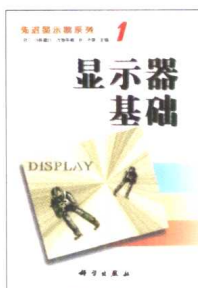
内 容 简 介

本书是先进光电子技术丛书之7。书中搜集了基础理论、材料技术,以及与各种应用有关的器件技术等所期望的各方面内容。

主要内容有:面发射激光器的发射条件与工作原理、面发射激光器用反射镜的设计与制作方法、极微构造的形成与器件制作技术、长波长带的面发射激光器、 $0.98\mu\text{m}$ 波带GaInAs/GaAs系列面发射激光器、利用倾斜衬底的面发射激光器及其偏振波控制、红色和近红外波长带的面发射激光器,以及蓝色GaInN/GaN系列面发射激光器、向超并列光电子学方面的发展,等等。

本书适合用作光电子相关专业本科生和研究生的参考用书,亦可作为相关领域研究开发人员、与制造有关的技术人员的参考用书或技术手册。

先进显示器系列



预计 2003 年 4 月出版

目 录

第 1 章 概 述	1
1.1 何谓面发射激光器	1
1.2 面发射激光器的构造与特征	3
1.3 面发射激光器的历史	5
1.3.1 早期的面发射激光器	5
1.3.2 面发射激光器的发展	5
1.4 面发射激光器的应用范围	11
与面发射激光器有关的书	13
与面发射激光器有关的论文集	13
第 2 章 面发射激光器的发射条件与工作	23
2.1 面发射激光器的阈值	23
2.2 光输出与效率	28
2.3 面发射激光器中的载流子和光封闭	29
2.3.1 面发射激光器用电流限制构造	29
2.3.2 光封闭构造	31
2.4 模式与光束	32

2.4.1	面发射激光器的横模	32
2.4.2	光束特性	32
2.4.3	面发射激光器的偏振	32
2.5	极限特性	33
2.5.1	极限性能	33
2.5.2	改进的方法	34

第3章 面发射激光器用反射镜的设计与 制作方法 37

3.1	面发射激光器用谐振腔	37
3.2	分布布拉格反射镜的设计	42
3.3	介质分布布拉格反射镜	44
3.3.1	反射率的带宽分板	44
3.3.2	介质分布布拉格反射镜的制作	45
3.4	半导体分布布拉格反射镜	48
3.5	多层膜反射镜形成中的膜厚控制与评价	51
3.6	采用多层膜反射镜的面发射激光器用谐振腔	52
3.6.1	反射带宽与有效反射镜长	52
3.6.2	谐振模式	53

第4章 极微构造的形成与器件制作技术 57

4.1	光刻法	57
4.1.1	光刻法	57

4.1.2	电子束曝光腐蚀	57
4.2	干法刻蚀	59
4.2.1	什么是干法刻蚀	57
4.2.2	GaAs、InP、GaInAsP 的 RIBE	60
4.2.3	GaN 系列的 RIBE	62
4.2.4	干法刻蚀时底面的损伤	63
4.2.5	干法刻蚀时的侧面损伤	64
4.2.6	腐蚀用的掩模	65
4.2.7	今后的化合物半导体的干法刻蚀	67
4.3	电极的形成	68
第 5 章	长波长带的面发射激光器	71
5.1	GaInAsP/InP 系列面发射激光器及其特性	71
5.2	连续工作条件与热特性	76
5.3	晶片熔接方法	79
5.4	GaInNAs 材料的长波长面发射激光器	82
5.5	GaAlInAs 材料的长波长带面发射激光器	85
5.6	量子点和它的新构成方法	87
第 6 章	0.98μm 波带 GaInAs/GaAs 系列	
	面发射激光器	95
6.1	量子阱与增益	95
6.2	器件构造	98

- 6.3 AlAs 氧化法与模的控制 102
- 6.4 有关氧化膜窄化面发射激光器的考察 105

第 7 章 利用倾斜衬底的面发射激光器及其 偏振波控制 111

- 7.1 倾斜衬底及特征 111
- 7.2 面发射激光器的偏振波模式控制和研究过程 114
- 7.3 倾斜衬底上的晶体生长和器件设计 115
- 7.3.1 晶体生长 115
- 7.3.2 器件设计 119
- 7.4 倾斜衬底上的面发射激光器的工作特性 119
- 7.5 倾斜衬底上的面发射激光器的偏振特性 122

第 8 章 红色和近红外波长带的面发射 激光器 125

- 8.1 $0.85\mu\text{m}$ 带的面发射激光器及特性 125
- 8.2 $0.78\mu\text{m}$ 带的面发射激光器及特性 128
- 8.3 $0.65\mu\text{m}$ 带的红色 AlGaInP 系列面发射激光器 130

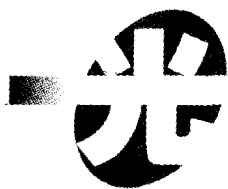
第 9 章 蓝色 GaInN/GaN 系列面发射 激光器 133

- 9.1 器件设计 133
- 9.1.1 蓝色发光材料 GaN 133
- 9.1.2 GaN 的光增益 134

9.1.3	GaN 系列面发射激光器的基础设计	137
9.2	晶体生长法	139
9.2.1	GaN 晶体的生长	139
9.2.2	有机化学金属的气相生长法	140
9.2.3	AlN/GaN 多层膜反射镜的生长	143
9.3	器件的制作与特性	144
9.3.1	发光二极管	144
9.3.3	半导体激光器	147
9.4	面发射激光器的设计	148
9.4.1	垂直谐振腔的设计	148
9.4.2	电流注入的探讨	149
9.4.3	面发射激光器发生激光振荡的确认	151
9.4.4	面发射激光器的设计	151
第 10 章	面发射激光器和自发辐射控制	 155
10.1	谐振腔与自发辐射控制	155
10.1.1	大的谐振腔下的自发辐射速率	155
10.1.2	微谐振腔中的自发辐射速率的增大	158
10.1.3	自发辐射系数的增大	159
10.1.4	关于受激辐射速率	160
10.1.5	激光特性	160
10.1.6	电子与光的强结合相互作用	161
10.2	面发射激光器中的自发辐射控制	163

10.2.1	平面垂直谐振腔及其模式	163
10.2.2	相对闭合系数和自发辐射速率	164
10.2.3	三维谐振腔所对应的模和自发辐射速率	166
10.2.4	量子阱有源区的效果	169
10.3	光子再循环	171
10.3.1	光子再循环的表达式	171
10.3.2	面发射激光器中的效果	172
10.4	自发辐射控制的验证	173
第 11 章	面发射激光器的调制特性和光传输	... 175
11.1	面发射激光器的调制限制	175
11.1.1	弛豫振荡周期数	175
11.1.2	最大调制带宽	176
11.1.3	分布电容而引起的限制	178
11.2	振荡延迟时间	178
11.3	高速调制特性	180
11.4	光纤传输实验	180
第 12 章	面发射激光器与功能集成	 185
12.1	面发射激光器与集成	185
12.2	多波长集成阵列	186
12.3	波长扫描机构的集成	189
12.4	二维阵列	190

12.5	与电子器件的集成	191
12.6	近场光生成方面的应用	192
第 13 章	向超并列光电子学方面的发展	 195
13.1	应用系统的发展	195
13.1.1	光通信	195
13.1.2	光互连(光中继)	197
13.1.3	在计算机与光信息处理方面的应用	198
13.1.4	光存储器	199
13.1.5	激光打印机	199
13.1.6	显示器	200
13.1.7	照 明	200
13.2	并列自导引结合法与并列光子系统	200
13.2.1	并列自导引结合法	201
13.2.2	并列层叠式电路	201
13.2.3	并列光辅助系统	202
13.3	通向超并列之路	203
结束语		207
索 引		209



概 述

面发射激光器是光从垂直于半导体衬底表面的方向射出的半导体激光器的一种。因为在衬底上面并列排列多个激光器,所以作为以在并行光信息处理及光互连等新光电子领域中的应用为目的的新型半导体激光器而引人注目。这种半导体激光器可利用半导体工艺技术制成集成电路,即进行单片集成化,具有能够二维并列集成化的特征。

本章中,首先介绍垂直谐振腔型面发射激光器的原理、构造与特征,然后概述其研究历史及研究进展情况。

1.1 何谓面发射激光器

光技术在网络、存储器等方面的应用,与多媒体信息社会的发展息息相关,光技术对信息社会的发展始终起着十分重要的作用。在世界范围内的信息基础设施配备中,人们对以光纤通信为代表的光电子技术寄予厚望;而且,瞬间传送处理图像等大规模信息的技术已经显得越来越重要,在并行传送空间信息的超并行光传输系统、连接多个计算机或 LSI 芯片的并行光互连及光并行信息处理系统等中,新兴的并行光电子技术起着主导作用。

要实现能充分利用光的并行性的系统,能大规模地进行二维集成化的并列光器件十分重要。图 1.1(a)所示的在与半导体衬底垂直方向上构成激光谐振腔,沿垂直方向发光的面发射激光器(Surface Emitting(SE) Laser),或称为垂直谐振面发射激光器(Vertical Cavity SE Laser)源于笔者 1977 年的提案^[1GA88]。与图 1.1(b)所示的以往的条型半导体激光器相比,其优点如下:

所谓面发射激光器,是指从垂直于衬底面射出激光的半导体激光器,