

光电子学入门

〔日〕 稻場文男

主编

永井 淳

後藤顯也

著

机械工业出版社

72.771
528

光 电 子 学 人 门

〔日〕 稻場文男 主编
永井 淳
後藤顯也 著

林礼煌 侯印春 译
孙培懋 校

2647.105

机 械 工 业 出 版 社

本书简要、系统地阐述了光电子学的基础知识，列举出了光电子学的若干种应用实例，介绍了当前光电子学研究的动态和发展方向。本书内容简明精炼，深入浅出，可供从事光电子学研究和生产的科技人员以及大专院校有关专业师生参考。

オプトエレクトロニクス入門

後 藤 顕 也 著

オーム社

1981

* * *

光电子学入门

〔日〕 稻場文男 主编

永井 淳

後藤顕也 著

林礼煌 侯印春 译

孙培懋 校

*

责任编辑：郑姍娥 责任校对：马志正

封面设计：郭景云 版式设计：王 颖

☆ 责任印制：卢子祥

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

人民交通出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $8 \frac{5}{8}$ · 字数184千字

1991年1月北京第一版·1991年1月北京第一次印刷

印数 00,001—1,740 · 定价：5.80元

*

ISBN 7-111-02318-8/TH · 378

译 者 的 话

光学和电子学的巧妙结合于1960年激光问世以后变得现实化了。随着半导体激光器及光纤等技术的进展,促进了光电子学这门学科的发展。本书为读者提供了这一新技术领域的入门知识和实际应用光电子学装置的基础知识,取材新颖,叙述简练,特别是光纤通信和光信息处理方面的内容对我国的四化建设有一定的参考价值,故将其译出。

本书第1、2、3、5章由林礼煌译;第4、6、7、8、9章由侯印春译。全书由孙培懋校。由于译者水平所限,书中错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

41728

编 者 的 话

地球上，人类肉眼所能感受到的光波长为何一开始就局限在称为可见光的极狭窄的范围内呢？其中的道理完全不可得知。一门称为光学的学科可以说正是为此应运而生。光学是以人类具有的视觉作为出发点，把若干个世纪以来观察到的物体的明暗和颜色、空间图象等各种各样的光信息加以正确采集，进而记录、再现和显示等发展而来的。与此不同，电子学却不是直接来自人类感官的感觉，而是应用人类知识活动所产生的一种称为电磁学的学科体系，从19世纪末期开始酝酿建立的。电波的波长比可见光长得多，具有相干性。正如今天所见那样，电子学在时间域上已建立大容量信息传输、处理、记忆和演算等大大赛过眼睛的强大技术体系。但是，这两种学科技术领域，各自有其重要的优点。如果互相吸收这些优点并加以巧妙地结合的话，不就可以实现相当优异性能和具有新的能力吗？人们的这种期待于1960年激光问世以后就变得现实化了。

当前光电子学这一术语的涵义，就是上面所说的。事实上，可以说这种形象已被整个科学技术领域广泛注意。而且，70年代光纤、半导体激光器和接收光元件等的生产技术有了惊人的进步，加速了光电子学的发展，其潜力大大地出乎目前预料之外。可以想象，到21世纪初，光电子学将是电子学最大的主流，而且连电子学自身也随之发展起来。

本书就是基于上述的见解来揭示光电子学的，从建立光

电子学这个新领域的基础知识出发来介绍光学和电子学，把有关的实际装置和系统中应用的光源、光纤传输线、光接收器，光束调制、偏转、控制器件等有联系地通俗地加以介绍。而且，本书的后部分关于应用测量、光纤通信、光信息处理等内容，都灌注着著者所从事的研究、开发工作的一部分宝贵的经验。从编者的角度来说，要使本书写得让读者易懂、深入浅出，而且在内容编排上也尽可能提供读者所要了解的这一领域的最前沿技术，但是由于当前这一领域的研究内容极其广泛，加上本书篇幅所限，在某些内容的取舍上不得不忍痛割爱。

当前，有关光电子学的入门书，在社会上尚属少见。我们期望本书能为理工科大学生和研究生，对利用激光和光电子学有兴趣的各方面技术人员、研究者提供易懂和有益的知识，以及光电子学未来的前景等方面的参考。

编者

1981年4月

序 言

人类着手研究激光已经20多年，曾经有人称誉它是“本世纪的最大发明”，也曾有人把它说成是“只是一种玩物而已”。但是近年来，以光通信和光信息处理领域为代表，光电子学得到了迅速发展，它们在这些领域发挥了重要作用，促进了小型化和高性能化，并且获得了越来越广泛的应用。

自日本开始研究激光起，作者能够参加各种激光装置的研制及其应用研究，而且，最近有幸作为科学技术厅技术审议会电子技术部的激光技术专业委员，参加了与日本激光研究、开发有关的日本各界人士之间的讨论。不言而喻，利用光电子学技术的光通信和光信息处理等，也是今后实现我国技术立国的基础技术之一。

另一方面，随着光纤通信及光学式的视频光盘、音频光盘等光电子学应用的实用化，出版通俗易懂的、介绍激光器和光调制器等单元技术及其应用概况入门书的要求一直很迫切。

本书就是在这种背景下，在オーム出版社和东芝综合研究所永井所长的鼓励下，不顾才疏学浅，执笔写成的。

第1章是了解光电子学概要的发展史，第2章初步介绍了一些有关的光学现象，并以此为中心作了归纳。这两章是为今后有志于从事光电子学技术的学生和不同专业领域的技术人员所编写的基础知识篇。第3章阐述发光元件和光接收元件的原理。第4章阐述光纤的原理。第5章概述光调制与光偏转原理和技术。这几章是光电子学的基础技术。第6章至第8章讲述光电子学的应用，即：第6章介绍了激光光谱

学。它利用了激光的一种优越性质——时间相干性，也就是良好的单色性。第7章是光纤通信。它利用了半导体激光器和发光二极管的小型、高速调制和高亮度特性以及它们的指向性和单色性。第8章是各种光信息处理的概述。它们利用了激光的另一个优越的特性，即空间相干性。就是说，它利用了激光能记录和测量出光波的空间相位差异以及能聚焦成微小光斑的性质。由于本书是入门书籍，字数受到限制，所以力求少用数学公式并避免较多的操作方面的说明。从这个角度来看，第6章描述激光应用虽然很重要，但是由于有些过于专业化，因此编写中考虑了即使跳过这一章来读也是可以的。另外，由于篇幅所限，对激光的其他应用不得不忍痛割爱而深感遗憾。但是从全书来看，本书的编写力求使无论是初学者或是技术管理人员，都能在阅读本书时不至于存在太大的困难。

在参考文献方面，尽量列举综合性的，或者用日文出版的带有概述性的文献。

永井博士审阅了原稿，东北大学电气通信研究所稻場教授多年来给予作者指导、并逐字逐句地审阅书稿，作者在此向他们表示衷心感谢。另外，撰写本书时，美国科罗拉多大学水岛正靄教授、美国国家标准局（NBS）K. Evenson博士、美国国家海洋与大气管理局（NOAA）P. Goldman博士、东芝综合研究所电子零件研究所海野所长和东芝电子技术研究所小倉所长、激光部茂木直人、激光应用部大越誠一等国内外研究人员以及オーム出版社的诸位先生，都给予作者很大的帮助，在此一并深表谢意。

本书虽然是在众多先生们的热情支持下写成的，但是书中难免有作者的误解或欠妥之处，敬请读者诸贤给予指正，

以便今后订正。

本书若能对今后担负着光电子学发展任务的学生和青年技术人员有一些帮助，作者将不胜欣慰。

後藤 顕也

1981年 4 月

目 录

译者的话

编者的话

序言

第1章 光电子学概论——回顾光电子学器件的

开发史 1

1.1 光电子学器件的种类 2

1.2 光电子学器件的研制概况 10

第2章 光电子学预备知识 26

2.1 光是一种电磁波 26

2.2 电光晶体与光波的相互作用 32

2.3 关于光的粒子性 40

2.4 受激发射光——它与普通光的区别 43

2.5 激光器的种类 47

2.6 利用非线性光学效应产生相干光 51

2.7 激光的性质 55

2.8 有关光波动性的各种现象 56

2.9 光电子学的特征 66

第3章 发光和光电变换的机理 68

3.1 发光的各种类型 68

3.2 光的吸收与发射 69

3.3 晶体中电子的能带模型 73

3.4 掺杂半导体 75

3.5 费密能级 76

3.6 半导体晶体中的光吸收现象与发光现象 78

3.7 发光二极管(LED) 83

3.8 同质结半导体激光器	88
3.9 异质结半导体激光器	91
3.10 条形激光器	93
3.11 长波区的发光二极管与激光二极管	99
3.12 光电变换用的光电二极管	101
3.13 p-n结的光伏效应与光电导效应	102
第4章 光波在光纤中的传播	107
4.1 光的传播	107
4.2 光纤的传播模式	111
4.3 光纤内光的传播速度	113
4.4 光纤的传输损耗	116
4.5 单模光纤	119
4.6 光纤的传输带宽与折射率色散	119
4.7 光纤材料与制造方法	123
4.8 光纤折射率的测量方法	126
4.9 光纤的光缆化与连接	127
第5章 光束的控制	131
5.1 光束不易控制	131
5.2 改变光源激发电流的内调制	132
5.3 半导体激光器和发光二极管的电流调制	133
5.4 以外界作用改变激光共振腔参量的内调制	134
5.5 用电光晶体作外调制	142
5.6 用电光晶体控制光偏转	149
5.7 光与超声波(声波)间的相互作用	152
5.8 其他的光偏转元件	156
第6章 激光光谱学	157
6.1 利用激光单色性的测量	157
6.2 利用光声共振腔进行高灵敏度光吸收测量	162
6.3 采用差分吸收进行高灵敏度测量	165

6.4 采用激光磁共振的光谱测量	168
6.5 超声速分子束法和铀同位素移动测量	170
6.6 激光单色性的应用测量和光纤的应用测量	173
第7章 光纤通信	174
7.1 光纤通信的特点	175
7.2 有线电通信与光纤通信	176
7.3 用光脉冲再生中继器延长传输距离	189
7.4 光纤通信中典型的功率电平	191
7.5 光通信用无源部件	194
7.6 传输数据中不能误码	203
7.7 PCM通信中平均收信功率与误码率	205
7.8 光通信系统中最佳器件的选择	206
第8章 光信息处理	211
8.1 激光的特征	211
8.2 光存储装置	212
8.3 视频盘	216
8.4 光盘驱动器	220
8.5 焦点自动检测方式	221
8.6 非接触自动跟踪方式	225
8.7 光盘头	227
8.8 读取头传送用线性调节器	229
8.9 激光印刷机	230
8.10 POS (计数用光信息处理机)	231
8.11 全息照相	232
8.12 全息照相与傅里叶变换光学的应用	236
8.13 光信息处理动向	240
第9章 集成光学概要——结语	243
9.1 集成化光器件	243
9.2 光IC的基本组成元件和应用	245

9.3 结语.....	252
参考文献	254
光电子学大事年表	257

第1章 光电子学概论

——回顾光电子学器件的开发史

光电子学一词出现于50年代，它用来表明采用光学的电子学或光与电子学相结合的新技术领域。这里所指的电子学可理解为电子学理论或电子技术，包括真空电子器件、气体电子器件、固体电子器件及有关它们应用的科学技术领域，其作用是通过信息的收集、处理、传递和控制机器，向人类直接提供有用的信息，或者借助扩展人类的听觉、视觉、触觉、判断和记忆等能力，间接地为人类服务^[1]。

另一方面，光学是一门波长比微波短，比X射线长的电磁波与人类的视觉有关的学科。在电子学和光学的共同领域中通用的器件，以及与其应用有关的科学技术，广义地称为光电子学。

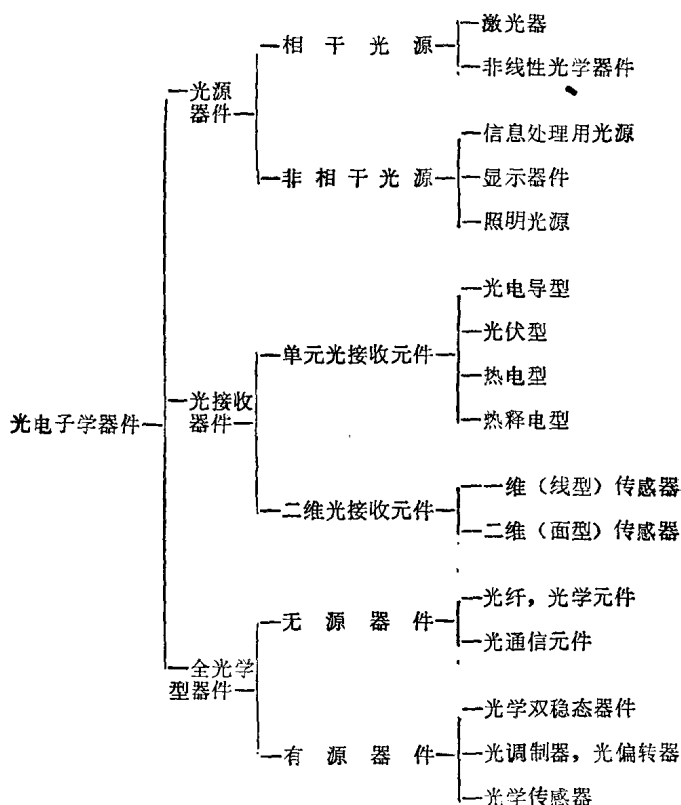
但是，自1960年激光器出现以来，从光学与电子学的结合中产生了用以往的技术不能实现的新器件和新应用，特别是半导体技术和晶体生长技术的发展以及光纤制造技术的发展增强了实现光通信和光信息处理的现实可能性。历来电子学主要是对信息进行时间上的处理，而光电子学即使对处理二维或三维的空间信息也是可能的。到了80年代后期，将会研制出用光进行空间运算处理和大信息容量空间并行处理、存储等多维光信息处理装备。未来的相干光源，将是只有 $0.1 \times 0.1 \times 0.3\text{mm}$ 大小、输出几十毫瓦优质可见光的半导体激光器以及近红外半导体激光器。而且，利用光纤传光，经过100km的长距离传输后，仍有发送端发光之1%的光传送到接收端。这种低损耗的光纤将会成为主要角色，并且，无

论在技术方面还是研究方面，当前日本都居于领先地位。

1.1 光电子学器件的种类

光电子学器件可分为光源器件、接收器件和全光学型器件等，如表1.1所示。

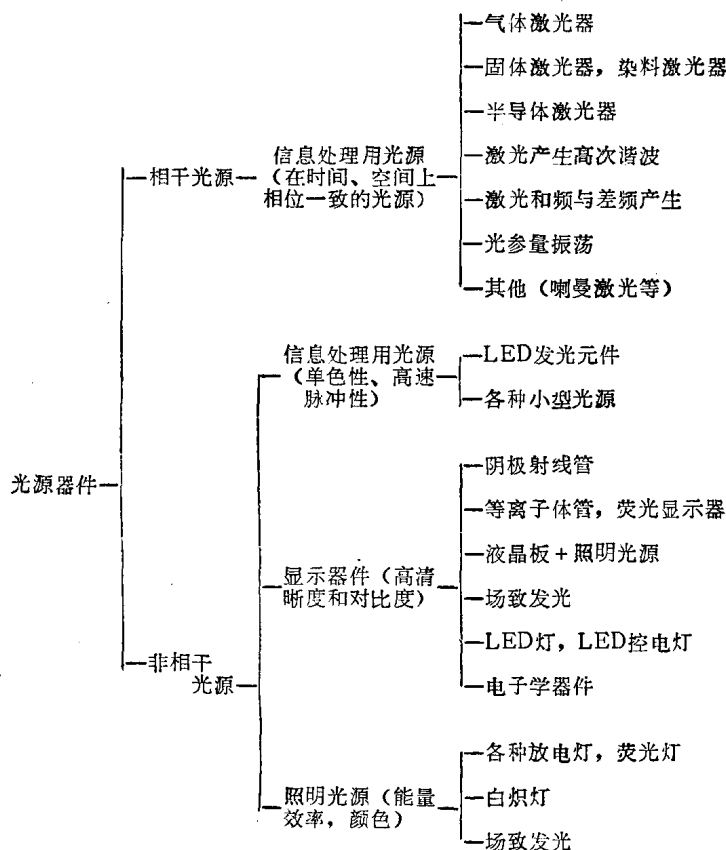
表 1.1



(1)光源器件的种类

光源器件包括发光元件和波长转换元件，而波长转换元件还可以包含全光学型光器件，即输入和输出都是光波的器件。因而，如表1.2所示，分成相干光源和非相干光源两大类。非相干光源中可分为：

表 1.2



1)照明光源：着重由电转换成光的能量转换效率和颜色；2)显示器件：着重显示图像的清晰度和对比度；3)信息传递、信息处理用光源：着重光的单色性和高速脉冲性。例如，电灯、荧光灯、场致发光（EL）、阴极射线管、荧光显示管、发光二极管（LED）、高速高亮度发光二极管、气体放电管、分光光度计光源等，都是非相干光源。

光电子学的应用如表1.3所示，在光纤通信、光信息处理、分光分析、光测量、光的空间传输等方面正在迅速地进行研究、开发，遍及从家用电器到办公室自动化、生产自动化等产业用的电子学领域，并且进一步推广到重型电机和原子能装置等领域。

总括起来，特别重要的光源是在上述3)指出的侧重于光的单色性和高速脉冲性、用于信息传送和信息处理的非相干光源以及下文将要讲到的相干光源。

所谓相干光源，就是能产生在时间上、空间上相位同步的光波，也即是同电波一样相位一致的无限连续光波的光源。具体说来，是指固体激光器、气体激光器、染料激光器、半导体激光器、自由电子激光器、以及由激光与非线性光学材料相互作用而产生的各种新的相干光（产生高次谐波和频波、差频波、光参量振荡、受激喇曼散射、多光子过程产生短波长的光）光源。一般说来，光电子学所用的光源，着重单色性、高速脉冲性、指向性、波长可调和能量密度等。

（2）光接收器件的种类

光接收器件可分为光电导型、光伏型和热电型，如表1.4所示。光电导型器件是利用光照射固体时，其电阻发生变化的光电导现象。这是约100年前有关半导体与光作用的现象