

高等学校教学用书

光导波电子学

张伟贤 译

电子工业出版社

高等学校教学用书

光 导 波 电 子 学

张伟贤 译
饶德祥 校

电子工业出版社

本书是一本有关光导波电子学的综合报告书，它系统而全面地介绍了光导波电子学的基本理论和最新成就。内容包括光导波现象的基础、光纤的设计理论和测量技术、薄膜制作技术、半导体激光器和探测器、光路元件等。

本书可供高等学校有关专业的研究生和高年级的学生作为教学参考书，也可供从事光导波电子学的各个领域的研究人员、生产技术人员以及其他大专院校有关专业的师生参考。

光 导 波 电 子 学

张伟贤 译

饶德祥 校

责任编辑 吴金生

*

电子工业出版社出版

(北京市万寿路)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

长春新华印刷厂排版 北京燕山印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张 26.25 字数 638千字

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印数：1000册 定价：5.30元

ISBN 7-5053-0715-0/TN·264

译者序

光导波电子学是电子学的一个重要组成部分。它是利用光导波现象，并和电子学的其他部分相结合，进行信息传输、存储、处理的一门新学科。目前正以光纤通信为中心得到迅速发展。但光导波电子学的内容还不限于此，它还包括光信息存储和处理。所以，它是一门尚待深入研究和发展的学科，具有广阔的发展前景。毫无疑问，光导波电子学的发展将会对人类社会生活的所有领域以及信息社会的产业化带来深远的影响。

日本很重视光导波电子学的研究，除科研单位和产业部门外，文部省从1977年度起连续三年以“光导波电子学”为专题进行了特定研究。该特定研究集中了日本高等学校有关这方面的主要研究人员，对光导波现象、光波导、光纤、光源、光探测器和功能器件、集成光路、光路元件、薄膜制造技术和微细加工技术等进行了研究，取得了很多优秀的研究成果，发表了459篇论文。本书就是根据这些研究成果，由日本著名教授、学者整理撰写而成，是一本解说性的综合报告书。书中重点选取了对光导波电子学今后发展起重要作用的部分。并从说明基础问题出发，力求使研究成果的重要部分能被读者理解，所以，不仅对从事光导波电子学各个领域的科研人员，而且对生产技术人员和教学人员都有较大的参考价值。

在不影响本书体系和主要内容的情况下，删去了国内已有详尽介绍的有关微细加工技术的内容（原书第五篇第五章）。对书中业已发现的错误和印刷差错译文中作了纠正，但由于译者水平所限，难免存在错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

本书由饶德祥同志校对，冯正和同志审阅了第一、二、三、六篇的校对稿，在此一并表示感谢。

目 录

第一篇 概 论

1. 引言	(1)
2. 光通信的发展历史和光导波电子学	(2)
3. 光通信、光电子学和光导波电子学	(4)
4. 光导波电子学的研究现状和未来	(7)
4.1 光波导	(7)
4.1.1 光纤	(7)
4.1.2 平面光波导	(8)
4.2 光源和光探测器	(8)
4.3 集成光路	(10)
4.4 材料和微细加工技术	(10)
5. 光导波电子学的未来以及对社会的影响	(11)

第二篇 光导波现象的基础

第一章 多层结构的光波导	(15)
1.1 光波导和多层结构	(15)
1.1.1 光波导	(15)
1.1.2 多层结构的光波导	(15)
1.2 多层平板波导的分析	(16)
1.3 四层介质平板波导	(18)
1.3.1 引言	(18)
1.3.2 本征方程式和本征值	(19)
1.3.3 模式截止特性	(20)
1.3.4 截止模式的损耗	(22)
1.3.5 实验的讨论	(23)
1.3.6 结语	(23)
1.4 金属包层多层介质波导	(24)
1.4.1 引言	(24)
1.4.2 损耗特性	(25)
1.4.3 损耗特性的几何光学分析	(26)
1.4.4 实验的讨论	(27)
1.4.5 结语	(28)
1.5 矩形多层波导	(28)
1.5.1 矩形多层结构	(28)
1.5.2 波导的结构及其分析法	(28)
1.5.3 色散特性	(30)

1.5.4 截止和损耗特性	(30)
1.5.5 实验的讨论	(31)
1.5.6 结语	(32)
第二章 各向异性光波导	(33)
2.1 引言	(33)
2.2 各向异性光波导的传输特性	(33)
2.2.1 波导结构和分析基础	(33)
2.2.2 基本系的导波本征模	(35)
2.2.3 扰动系的导波本征模(二模近似)	(36)
2.3 光路的分析处理	(38)
2.3.1 标准元件	(38)
2.3.2 模传输矩阵	(38)
2.3.3 模传输矩阵的性质	(39)
2.4 导波-导波模耦合的应用	(40)
2.4.1 TE-TM模转换器	(40)
2.4.2 非可逆元件	(41)
2.5 各向异性的泄漏波导	(43)
2.6 导波-辐射模耦合的应用	(44)
2.6.1 耦合模的分析	(45)
2.6.2 电光效应的应用	(46)
2.6.3 磁光效应的应用	(48)
2.7 结语	(50)
第三章 光波导的数值解析法——1	(53)
3.1 引言	(53)
3.2 有限元法	(53)
3.3 点匹配法、感应偶极子法、伯杰龙法、等效回路法	(59)
3.3.1 点匹配法	(59)
3.3.2 感应偶极子法	(60)
3.3.3 伯杰龙法	(61)
3.3.4 等效回路法	(61)
3.4 其他	(62)
3.5 结语	(63)
第四章 光波导的数值解析法——2	(65)
4.1 引言	(65)
4.2 无限边界的瑞利原理	(65)
4.3 薄膜波导的分析	(68)
4.3.1 TE _y 和TM _y 模	(68)
4.3.2 模匹配法的算法	(70)
4.3.3 肋型波导的数值计算举例	(71)
4.4 结语	(73)
第五章 光波导中的非线性现象及其应用	(74)
5.1 引言	(74)

5.2 薄膜光波导中高次谐波的产生	(74)
5.2.1 介质光波导中非线性光相互作用的分析	(75)
5.3 使用光波导的集成型光双稳态器件	(81)
5.3.1 光双稳态器件的工作原理	(81)
5.3.2 波导型光双稳态器件的特性实验	(83)
5.4 使用光波导的集成型多谐振荡器	(85)
5.4.1 光多谐振荡器的工作原理	(85)
5.4.2 波导型光多谐振荡器的特性实验	(92)
5.5 结语	(96)

第三篇 光纤的设计理论与测量技术

第一章 多模光纤	(101)
1.1 引言	(101)
1.2 光纤的光线理论	(101)
1.2.1 光线理论与波动理论	(101)
1.2.2 光线理论的适用条件	(101)
1.2.3 光纤中的光线种类	(101)
1.2.4 子午光线的分析	(102)
1.2.5 光纤中的色散	(102)
1.2.6 用光线理论计算的多模色散	(103)
1.2.7 平方律分布 (不均匀芯) 光纤	(104)
1.3 均匀芯光纤的波动理论	(105)
1.3.1 圆柱坐标系中的波动方程式	(105)
1.3.2 波动方程式的解	(105)
1.3.3 芯子和包层中电磁场的解	(107)
1.3.4 模式的分类	(108)
1.3.5 本征方程式 (严密解)	(109)
1.3.6 本征方程式 (弱导波近似)	(110)
1.3.7 本征方程式的统一形式	(111)
1.4 不均匀芯光纤的波动理论 (WKB法的改进)	(112)
1.4.1 各种解析法的分类	(112)
1.4.2 以前的 WKB 法	(112)
1.4.3 改进 WKB 法分析的必要性	(112)
1.4.4 WKB 解析的规范化	(113)
1.4.5 色散方程式	(116)
1.4.6 延迟时间	(117)
1.4.7 数值计算	(118)
1.5 不均匀芯光纤传输特性的标准数值解	(121)
1.5.1 标准数值解的必要性	(121)
1.5.2 折射率分布	(121)
1.5.3 级数展开法	(121)
1.5.4 延迟时间	(123)
1.5.5 有限元法	(123)

1.5.6 计算结果	(124)
1.6 结语	(129)
第二章 单模光纤	(137)
2.1 引言	(137)
2.2 折射率分布形状和传输模式	(138)
2.2.1 引言	(138)
2.2.2 折射率分布	(138)
2.2.3 场分布	(139)
2.2.4 传输常数	(139)
2.2.5 结语	(139)
2.3 单模条件与芯内折射率分布的关系	(130)
2.3.1 TE_{01} 模的截止 V 值	(140)
2.3.2 对称核积分方程式最小本征值的近似式	(141)
2.3.3 TM_{01} 、 HE_{11} 模的截止 V 值	(142)
2.3.4 数值计算例子	(143)
2.4 单模光纤的传输带宽	(145)
2.4.1 引言	(145)
2.4.2 调幅的场合	(145)
2.4.3 强度调制的场合	(146)
2.4.4 高次谐波畸变	(147)
2.4.5 单模光纤的频率色散	(149)
2.4.6 结语	(149)
2.5 单模光纤的不规则弯曲引起的损耗	(150)
2.5.1 引言	(150)
2.5.2 不规则弯曲的功率谱	(150)
2.5.3 单模光纤的不规则弯曲损耗公式	(151)
2.6 偏振特性	(151)
2.6.1 单模光纤中各向异性的产生机理	(152)
2.6.2 稳定偏振面的方法	(153)
第三章 光纤的测量技术	(156)
3.1 引言	(156)
3.2 传输特性的测量	(156)
3.2.1 用脉冲法测量全色散特性	(158)
3.2.2 用基带频率扫描法测量全色散特性	(160)
3.3 关于不完整性参数的测量	(160)
3.3.1 应力引起的光纤折射率变化和几何结构变化的测量	(161)
3.3.2 模式变换系数的测量	(163)
3.3.3 模式损耗的测量	(168)
3.4 折射率分布的测量	(169)
3.4.1 引言	(169)
3.4.2 用远场图测量单模光纤的折射率分布	(171)
3.4.3 用横向干涉法测量多模光纤和预制棒的折射率分布	(174)
3.4.4 测量预制棒的非轴对称折射率	(175)

3.4.5 近场点激励法的波动理论分析	(177)
3.5 其他	(177)
3.5.1 使用干涉法的模式分析法	(177)
3.5.2 用声光滤波器测量偏振特性	(178)
3.5.3 单模光纤中光相位波动的测量	(178)
3.5.4 在光纤中传输的激光斑点反差	(178)

第四篇 薄膜制作技术

第一章 液相外延生长法	(185)
1.1 引言	(185)
1.2 蒸汽压可控温差法	(186)
1.2.1 蒸汽压可控温差法的原理	(186)
1.2.2 用蒸汽压可控温差法生长的晶体特性	(189)
1.3 异质结结构的晶格常数补偿	(192)
1.4 液相生长中的二维生长机理	(194)
1.5 失配位错的结构	(195)
1.6 失配位错发生机理的分析	(195)
1.7 结语	(199)
第二章 分子束外延生长法	(201)
2.1 引言	(201)
2.2 用分子束外延法进行各种半导体晶体的生长	(204)
2.2.1 GaAs, GaAlAs的分子束外延	(204)
2.2.2 InAs的分子束外延	(206)
2.2.3 InP, GaInAsP的分子束外延	(207)
2.2.4 ZnTe, ZnSe的分子束外延	(207)
2.2.5 反应性分子束外延	(209)
2.3 掺杂	(209)
2.3.1 III-V族化合物的分子束外延	(210)
2.3.2 硅的分子束外延	(210)
2.3.3 II-VI族化合物的分子束外延	(211)
2.4 结语	(214)
第三章 化学气相生长法和溅射法	(218)
3.1 引言	(218)
3.2 氧化物薄膜的制作方法	(218)
3.3 溅射法	(220)
3.3.1 ZnO薄膜的各种制造方法	(220)
3.3.2 用平面磁控管溅射制作ZnO膜	(221)
3.3.3 用RF二极管溅射法制作LiNbO ₃ , K ₃ Li ₂ Nb ₅ O ₁₅ , PLZT膜	(225)
3.4 化学气相淀积(CVD)法	(225)
3.4.1 ZnO-H ₂ -H ₂ O-O ₂ 系CVD法	(225)
3.4.2 用CVD法制作的ZnO膜的光学性质及其波导特性	(228)
3.5 结语	(231)

第四章 团状离子束蒸发法	(233)
4.1 引言	(233)
4.1.1 薄膜形成时离子的基本作用	(233)
4.2 团状离子束和薄膜形成	(235)
4.2.1 团状束形成机构及其大小	(236)
4.2.2 薄膜形成	(238)
4.3 团状离子束技术的应用	(240)
4.3.1 制作电子器件的团状离子束技术	(240)
4.3.2 用反应性团状离子束制作 ZnO 薄膜	(241)
4.3.3 用反应性团状离子束制作 BeO 晶体薄膜	(248)
4.4 结语	(250)
第五章 衍射光栅制作技术	(253)
5.1 引言	(253)
5.2 二光束干涉曝光技术	(253)
5.3 复印加工技术	(256)
5.3.1 化学腐蚀法	(256)
5.3.2 干腐蚀法	(257)
5.4 特殊衍射光栅的制作方法	(258)
5.4.1 炫耀光栅 (blazed grating)	(258)
5.4.2 变周期光栅	(258)
5.4.3 弯曲光栅	(260)
5.5 其他衍射光栅的制作技术	(261)
5.6 结语	(261)

第五篇 半导体激光器和探测器

第一章 半导体激光器的光放大和振荡机构	(267)
1.1 自发辐射和受激辐射放大	(267)
1.1.1 半导体中的电子跃迁	(267)
1.1.2 小于振荡阈值时的光输出	(269)
1.1.3 自发辐射光系数	(269)
1.2 增益饱和效应和单模振荡	(270)
1.2.1 增益饱和	(270)
1.2.2 单模振荡	(272)
1.3 激光器形状和杂质浓度等的影响	(274)
1.3.1 导波模式	(274)
1.3.2 载流子扩散效应和条形结构	(275)
1.3.3 杂质浓度	(276)
1.3.4 温度特性和模式稳定性	(277)
第二章 半导体激光器的直接调制特性	(279)
2.1 引言	(279)
2.2 弛豫振荡现象和直接调制特性	(279)
2.2.1 基本速率方程式	(279)

2.2.2 小振幅调制近似	(280)
2.2.3 理论和实验的比较	(280)
2.3 载流子扩散效应导致的弛豫振荡的抑制	(282)
2.3.1 载流子扩散效应的作用	(282)
2.3.2 折射率限制型条形激光器中的抑制效应理论	(282)
2.3.3 增益限制型条形激光器中的弛豫振荡抑制效应理论	(283)
2.4 其他的弛豫振荡抑制机构	(288)
2.5 直接调制时的多纵模振荡	(289)
2.6 结语	(290)
第三章 长波长激光器	(292)
3.1 引言	(292)
3.1.1 长波长光通信	(292)
3.1.2 晶格匹配的GaInAsP/InP四元系晶体	(292)
3.2 GaInAsP/InP四元晶体的生长和晶格匹配条件	(293)
3.2.1 晶体生长	(293)
3.2.2 晶格匹配条件	(294)
3.2.3 1.6 μ m 波段激光器晶片	(295)
3.3 GaInAsP/InP四元晶体的激光器特性	(295)
3.3.1 振荡波长和阈值电流	(295)
3.3.2 杂质控制和低阈值化	(296)
3.3.3 增益参数	(298)
3.3.4 调制特性	(299)
3.4 GaInAsP/InP条形激光器和横模控制	(299)
3.4.1 横模控制	(299)
3.4.2 埋层双异质结(BH)型激光器	(300)
3.4.3 台面衬底隐埋型(MSB)和台阶衬底型(TS)激光器	(302)
3.5 振荡阈值和效率的温度特性	(302)
3.6 带分布布拉格反射器的集成化双波导(DBR-ITG)型GaInAsP/InP 激光器和其他集成光路用激光器	(303)
3.6.1 长波长 DBR-ITG 激光器	(303)
3.6.2 其他集成光路用的长波长激光器	(305)
3.7 结语	(305)
第四章 功能激光器	(310)
4.1 引言	(310)
4.2 利用声波的分布反馈型激光器	(311)
4.3 光栅激励的GHz·SAW	(312)
4.4 二维分布反馈激光器的振荡特性	(313)
4.5 利用声波的分布反馈激光器的振荡特性	(314)
4.6 电流注入型激光器的可能性和应用	(315)
4.7 结语	(317)
第五章 探测器	(318)
5.1 引言	(318)

5.2 光探测器理论	(318)
5.2.1 量子效率	(318)
5.2.2 光电二极管的响应时间	(320)
5.2.3 噪声	(322)
5.3 InGaAsP/InP DH 光电二极管的试制	(322)
5.4 光电晶体管	(323)
5.5 结语	(326)

第六篇 光路元件

第一章 光路分析器	(329)
1.1 前言——光路分析器的结构	(329)
1.2 光路分析器的各个测量项目和扫描机构	(330)
1.2.1 光路分析器系统	(330)
1.2.2 光频扫描机构	(331)
1.2.3 光偏振波扫描机构	(335)
1.2.4 光相位差扫描机构	(335)
1.2.5 光束参数(空间频率)扫描机构	(336)
1.2.6 光路分析器用的光探测器	(340)
1.3 数据处理系统	(341)
1.3.1 硬件的构成	(341)
1.3.2 波长和输出波动的补偿法	(342)
1.3.3 对测量信息进行处理的软件	(343)
1.4 结语	(345)
第二章 光调制器	(347)
2.1 引言	(347)
2.2 导波型光调制器的种类和构成方法	(347)
2.2.1 相位调制器	(348)
2.2.2 正交尼科耳型强度调制器	(349)
2.2.3 干涉仪型强度调制器	(350)
2.2.4 定向耦合器型强度调制器	(350)
2.2.5 模式变换型强度调制器	(351)
2.2.6 其他的强度调制器	(351)
2.2.7 集中型和行波型	(352)
2.3 电光光波导	(352)
2.3.1 扩散Ti的LiNbO ₃ 三维光波导	(353)
2.3.2 光波导的分路	(354)
2.4 调制电路	(354)
2.4.1 对称型平面平行带状线路	(355)
2.4.2 非对称型平面平行带状线路	(356)
2.4.3 行波型光调制器的速度失配和带宽	(359)
2.5 导波型光调制器的试制和调制实验	(360)
2.5.1 行波型光调制器的频率特性	(360)

2.5.2 元件的制作	(361)
2.5.3 调制实验	(362)
2.6 其它问题	(363)
2.6.1 温度特性的稳定	(363)
2.6.2 光耦合法	(364)
2.7 结语	(364)
第三章 导波型光开关及其应用.....	(367)
3.1 引言	(367)
3.1.1 光调制器与光开关	(367)
3.1.2 光开关的分类	(367)
3.2 LiNbO_3 光分路元件的特性.....	(368)
3.2.1 分路元件的工作原理	(368)
3.2.2 光开关特性	(369)
3.3 LiNbO_3 光分路元件的应用.....	(370)
3.3.1 光隔离器	(371)
3.3.2 TE-TM模分离器.....	(372)
3.3.3 四端光开关	(373)
3.4 波导全息图用的光开关	(374)
3.4.1 LiNbO_3 全反射(TIR)开关.....	(375)
3.4.2 液晶开关	(376)
3.5 结语	(377)
第四章 非可逆元件	(379)
4.1 磁光效应和非可逆特性	(379)
4.2 磁光薄膜的制作	(381)
4.3 磁光晶体薄膜的光学特性	(385)
4.4 利用磁光效应进行的光模转换	(387)
4.5 非可逆薄膜功能元件	(391)
第五章 平面光路元件	(395)
5.1 透镜	(395)
5.1.1 利用折射率不同的透镜	(395)
5.1.2 光栅透镜	(398)
5.2 反射镜、半透镜	(406)
5.3 偏振器	(406)
后记	(408)

第一篇 概 论

1. 引 言

对一般人来说,光导波电子学(Optical Guided-Wave Electronics)这一词也许是比较陌生的用语。微波中使用的波导管是中空的金属管,它能把电磁波限制在管内进行传输,这种使电磁波沿特定路径传输的作用称为导波作用。光是波长更短的电磁波,同样,也能使它沿特定的路径或线路传输。所以把这种能使光在其中传输的路径或线路称为光波导就很自然了。实际上这种说法,很早以前就已经开始使用了。

在电子学的信息处理领域中,很早以前就利用了光,随着半导体应用的发展和普及,其应用范围不断扩大,从而采用了光电子学(Optoelectronics)这一术语。特别是1960年固体和气体激光器*振荡相继实验成功以来,给电子学领域增添了新的内容。人们普遍认为,光电子学将会得到迅速发展并具有广阔的应用前景。

如后所述,1970年,长期希望得到而未能实现的低损耗光纤由美国康宁玻璃公司首先研制成功(当时的衰减系数为20dB/km)。加之,适于用作光通信光源的超小型半导体激光器的室温连续振荡,又由美国贝尔实验室的林和帕尼希(Panish)等人实现了。这样,使人们梦寐以求的光通信有了实用的可能性。同时,为要开辟电通信中不能实现的新领域,光通信很快引起了全世界的关注并积极开展研究。

对社会生活而言,信息和能源、材料一样是必不可少的。信息处理的基本内容包括信息的传输、存储(或记录)和处理。电子学首先是以电通信的形式,以信息的高速远距离传输为中心发展起来的。由于电子计算机的发展,对信息能进一步加以存储和处理,使信息处理能力大大提高,从而构成今天向信息化社会的发展。光通信为信息传输领域提供了新的有力手段。将来,还可以用光进行信息的存储和处理。光和电将成为十分密切而不可分割的领域。可以预料,从本世纪末到二十一世纪,光电子学将从电子学的一个分支逐渐变成电子学的主要组成部分。

这样看来,可以说,载有信息的光信号的传输、存储、处理和电子学之间如何协调和结合,对将来信息化社会的发展将是最重要的课题之一。由于光是波长很短的电磁波,不可能对它进行集中处理,对光信号传输就不用说了,就是对其他有关问题,也必须进一步搞清光导波现象并加以利用。可以认为,对电子学的发展而言,如何搞清光导波现象并加以利用是一个基本的研究课题。

光导波电子学就是基于上述认识和考虑的电子学(或光电子学)的一个分支,可以认为,它是利用光导波现象,并和电子学相结合而进行信息传输、存储和处理的一门

* 激光器是利用量子理论的受激辐射原理而制成的一种量子效应器件。这种设想是美国的汤斯(Townes)于1951年提出的,1953年在微波的放大和振荡的脉冲中得到了证实。以脉冲、激光及其应用为主,再加上利用其他量子效应的电子学领域也叫量子电子学(Quantum Electronics),虽然光电子学的含义相当广泛,还包括了激光及其应用,但并不包括量子电子学的全部内容,对于激光,由于考虑的出发点不同,这二个名词都可以使用。

学科*。

导致光导波电子学这一学科产生的根源,应归结为1970年开始的对光通信兴趣的日益增加和此后的迅速发展。因此,下面打算首先介绍光通信发展的历史过程,阐明光导波电子学的意义及其地位,然后展望其未来,再说明基础研究的重要性。还想谈及世界范围的研制现状及日本的情况。最后,再展望光导波电子学的未来的发展及其对整个社会的影响。

2. 光通信的发展历史和光导波电子学

光通信的历史是极其悠久的,只不过往往被以本世纪初电子管的发明为转折点而发展起来的电通信的高速发展所掩盖,容易被人们忘却罢了。图 I-1 为光通信的发展年表,使用烽火一类的光通信很早很早以前就开始了。从年表上看,在距今约2500年前的古希腊时代,就开始采用了和近代通信形式相同的通信。那时的光源是烽火,传输线路是空间,接收器是人的眼睛,信息信号的编码和解码是人的大脑,已经提出和利用了近代通信所用的中继、同步、调制、解调、编码等主要概念。特别是提出和探讨了用5行×5列的矩阵对24个希腊字母进行编码的相当复杂的方案。

这样的光通信在后来的罗马帝国时代之所以没有得到实用,据说其原因是,在上面提到的矩阵编码方式中,每一中继的发送和接收需要10个人,由于是眼睛看,中继距离约为1公里,传输速度和后述的查佩(Chappe)的木横担式通信机相同,对于长距离通信,在经济上是很不合算的。因此,在当时,还不如在幅员辽阔的国土上修造道路网,利用道路网建立驿站式邮政系统更有效、更经济。众所周知,这种方法是整个中世纪直到近代通信的主流。

此后,促成光通信发展的一个转折点是16世纪末望远镜的发明。利用望远镜,光信号的传输距离约能增加10倍。文艺复兴以后,在逐渐高涨的近代科技发展的洪流中,不仅18世纪英国海军发明了旗语,而且该世纪末,法国牧师查佩还发明了木横担式通信系统,在以法国为中心的欧洲得到广泛应用。据说到19世纪中期,这种通信线路长达4000公里。它是用三根木横担构成图形来传输信号的,每一中继由两个人完成操作解码。这样,不仅中继距离延长了10倍,同时,通信成本也只是古希腊时代的五十分之一,具有一定实用价值。

当时,已经开始对电通信发生兴趣并开始进行试验,但由于缺乏电磁知识,技术也尚未成熟,怎么也不可能研制出实用的东西。然而,进入19世纪后,随着技术的发展,电通信的实用性才逐渐明朗。从19世纪后期起,木横担式的光通信已经过时,社会进入今天的电通信时代。

正如开头所述,电通信由于20世纪初电子管的发明而得到迅速发展,它还是今日电子学发展的原动力。在这期间,光通信也不是完全没有进展,只是同电通信的飞跃发展相比,进展不明显罢了。其间,相应于各时代的技术水平,也常常提出各种设想,并进

* 顺便说明,目前,电子学以信息处理为主体,所以就以信息处理为对象来描述整个电子学。然而,电子学中还有能量处理的领域,激光加工等光电子学及光导波电子学中也有这样的情况,将来,能量处理也可能成为重要的一个领域。

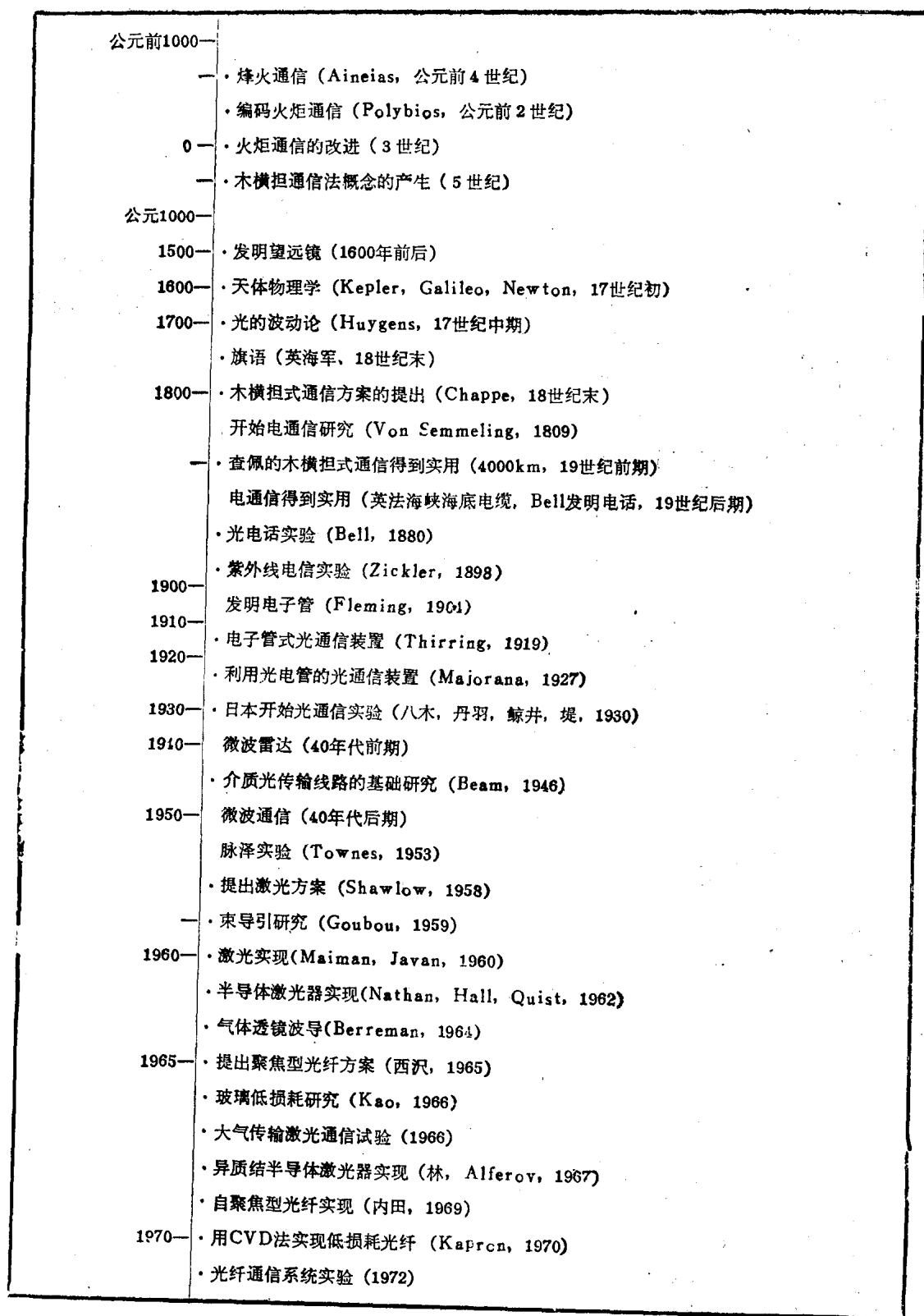


图 I-1 光通信发展年表

行探讨。实际上,发明电话的贝尔就曾经用音频振动的反射镜调制太阳光,使用透镜和

反射镜,把硒光电管作为探测管进行了光通信试验。

从1920年直到30年代,受电子学发展的影响,广泛进行了以下研究:光源及其调制特性;高灵敏度高速探测管和放大器的利用;外调制器;红外和紫外线的利用;光波在空中的传输特性等。在日本,东京大学、东北大学、早稻田大学、日本电气公司等单位的八木、鲸井、丹羽、堤、阪本等电通信界的老前辈们都做过光通信的基础研究工作。把光的能量限制在介质波导内进行传输,早在1870年前后就由廷德尔(Tyndall)发现,1910年前后,杭德罗斯(Hondros)和德拜(Debye)证实了光波的传输。但当时,尚未出现实用的低损耗光纤,只是研究了大气中的传输,因此,雨、雾引起的衰减成了很大的问题,无法实用。作为无线通信,光的方向性是十分良好的。但当电波波长缩短,到达微波领域时,光的方向性良好的优点又变得不那么突出了。

1960年激光器的出现,给光通信带来能量很强而且相位像电波那样一致的相干光,使光通信的发展进入了一个新的转折点。可是,只要利用大气传输,就难免受气候条件的限制,即使把衰减余量设计到40dB,要想确保年间99.9%以上的通信,就东京而言,传输距离也只能达到500m或更近。

为此,作为解决传输线路的方法,进行了很多研究,诸如,在不受气候条件影响的管道中,利用小孔、透镜或凹面镜进行的光束导引方式;使用金属或介质的中空波导管方式;封入中央部分折射率高的气体的光导引方式。另外,以前开始用于胃照相的纤维观测器用的玻璃纤维又得到了再研究的机会。直到1960年初,即使是用优质光学玻璃制成的纤维,其损耗也达1000dB/km。因此,一般认为,低损耗光纤实现的可能性不大。然而,1966年英国标准电话电缆实验公司(STL)的高(Kao)和霍克哈姆(Hockham)详细研究玻璃损耗的原因后,预言玻璃的吸收损耗能小于10dB/km,散射损耗能小于数dB/km。在这样的背景下,从1965年前后起,进行了用玻璃制作光纤的研究。在日本,东北大学的西沢,佐佐木等于1964年提出了聚焦型光纤的想法,此后由日本板硝子和日本电气两家公司进行了联合研制,并在1969年用离子交换技术获得成功。另外,正如开头所述,在1969年底,美国康宁玻璃公司用石英玻璃光纤实现了20dB/km的低损耗。从而为解决光通信的传输线路问题带来了新的希望。

众所周知,低损耗玻璃光纤和半导体激光器室温连续振荡的成功带来了很大的影响,70年代光通信的研究开发工作在世界范围内迅速展开,以日美为中心正在取得明显的进展。

3. 光通信、光电子学和光导波电子学

如上所述,光通信是人们长期梦寐以求的一种通信技术,由于光纤通信最近发展很快,过去认为不可能的事情,现在正在进入实用阶段。目前,在很多场合,正试图用简单的办法实现既经济,性能又好的光通信。另外,迄今已看出,光通信具有比历来的预测还要多的优点,作为将来信息、信号传输的主力,可以期待,光通信和电通信一起,将各自发挥自己的特长,互相取长补短而被广泛采用。通过信息化社会的进一步发展,可以预期这将会对人类社会福利的提高和工业的发展做出很大贡献。

下边,首先列举使用光纤进行信息传输的优点,