

现代通信技术和大学教育

张 煦 著

现代通信技术和大学教育

上海交通大学出版社

上海交通大学出版社

现代通信技术和大学教育

张 煦

上海交通大学出版社

沪新登字 205 号

内 容 提 要

本书是学部委员张煦教授近十年来的著述和讲稿选编,分两部分,共七章。第一部分是关于通信技术的文选,有四章,包括现代通信综述性文章 4 篇,卫星通信等方面 5 篇,光纤通信方面 8 篇,和通信网方面 7 篇。第二部分是关于大学教育的文选,有三章,包括历年开会发言和讲话稿 18 篇,培养大学人才的体验 7 篇和纪念师长与专家的短文 6 篇。书末附有建国后三个阶段作者完成的著作书目。

现代通信技术和大学教育

出版:上海交通大学出版社

(淮海中路 1984 弄 19 号)

发行:新华书店上海发行所

印刷:上海印刷厂

开本:787 × 1902 (毫米) 1/16

印张: 17.25

字数: 41000

版次: 1991 年 7 月 第一版

印次: 1991 年 8 月 第一次

印数: 1—1400

科目: 251—282

ISBN7-313-00887-2/TN-913

定价: 5.95 元



作者介绍

张煦，字艾西，英文名 Hsu Chang。1913 年 11 月生于江苏无锡，1934 年毕业于上海交通大学，1936 年清华公费留美，1940 年获哈佛大学科学博士学位。

现任上海交大电子工程系教授，名誉系主任。国家教委重点学科《通信与电子系统》博士点导师。

1980 年被选为中国科学院学部委员。

1988 年中国科学院给予荣誉奖状，表彰“献身科学事业五十年，积极探索，努力实践，辛勤耕耘，为祖国科学发展、经济建设和人才培养做出了重要贡献”。国家科委、计委、经委联合通报并给奖球，表彰“对国家通信技术政策作了突出贡献”。也是 1988 年，中国电子学会赠给荣誉证书，对他过去五十年为中国电子事业做出贡献表示祝贺。上海通信学会新的一届理事会选举连任名誉理事长。上海市人民代表大会换届选举，连任第七、八、九届市人大代表。

自序

光阴如箭，很快就要八十岁了。接受了祖国人民的哺育，从事教育和研究工作已逾半个世纪，究竟做出什么显著贡献，有益于祖国人民呢？非常惭愧，我没有创造发明，也没有重大建树。所可告慰的，是早些时候培养毕业多批技术人才，在各自的负责岗位上积极工作，确实作出了卓越的成绩，得到社会上高度评价，而我自己呢？庸庸碌碌，默默无闻，虽曾出版了几十本书，发表了百余篇文章，无非是介绍新的技术知识，起一点促进推动作用而已，虽曾在各种不同大小会议上发言讲话，也不过是老生常谈，仅仅与同志们、同学们互相鼓舞勉励而已。所以，我从事科学五十年，执教五十年，毫无庆祝的理由。最多只能说：几十年来虽然走了曲折的道路，仍能以旺盛意志勤奋工作，坚持学习和传授新技术，仍能不受社会上不良风气的侵袭，艰苦朴素，保持基本道德修养，做一个有利于人民的人，无损于祖国声誉的人。为了向祖国人民汇报具体情况，在交大校领导的关心下，特趁现在身体健康许可的日子，把近年关于现代通信技术和大学教育等方面在各种期刊杂志上发表的粗浅文章，和在各种会议场合发表的平淡讲稿，选编成这样一本书，分两部分，共七章，备供同志们参考，并请求同志们教正。

张 煦

1990年7月

著名学者来信

国际著名物理学家吴健雄教授给作者的赠言和来信

一、青年时期的赠言, 1935年12月

艾西先生今秋考取清华
公费留美行将渡洋深
造谨采西哲名言以赠
聊申敬意。

吴健雄
十二月

Human happiness depends chiefly
upon having some object to pursue,
and upon the vigor with which
our faculties are exerted in the
pursuit.

— Joseph Priestley —

煦學長
梅賢姊

這次在濁阿見到您和夫人精神充沛、體力康健
很是告慰。能繼續工作還是做下去。栽培下一代是
一件快慰的事。何況您學識高深、德望超人。老友
中像您這樣的人已不多了。

敬請

教經

健雄上

一九八八年
十月
二十四日

目 录

第一部分 通信技术

第一章 现代通信综述性文章	3
1-1 通信技术、经济与政策	3
1-2 现代通信的发展前景	39
1-3 电子技术向光子技术的进化	46
1-4 光电子技术的兴旺发展	55
第二章 卫星通信、微波通信、移动通信文章	59
2-1 卫星通信和星际通信的技术趋向	59
2-2 卫星通信线路的传输设计考虑	68
2-3 微波接力通信的发展趋向	72
2-4 移动通信的发展趋向	74
2-5 卫星通信、微波接力通信和光纤通信配合建设的前景	78
第三章 光纤通信文章	86
3-1 中国光纤通信技术研究的新进展	86
3-2 国际上光纤通信技术的新进展	89
3-3 光纤通信的发展过程和应用前景	95
3-4 单模光纤设计和性能的发展	105
3-5 单频激光管技术的进展	117
3-6 光纤放大器的发展	124
3-7 相干光纤通信技术的进展	127
3-8 多路光纤通信研究的进展	144
第四章 通信网方面文章	148
4-1 光纤通信网技术的发展	148
4-2 光纤局域网的设计考虑	154
4-3 综合业务局部区域网的发展	160
4-4 光纤通信网异步转移方式的发展	163
4-5 光纤通信在长途网应用的前进方向	171
4-6 卫星通信与综合业务数字网的联系问题	179
4-7 无线接入有线交换网的发展可能	182

第二部分 大学教育

第五章 历年开会发言和讲话	189
5-1 开学典礼上代表全校教师向新同学讲话	189

5-2	毕业典礼上代表全校教师向毕业生讲话	192
5-3	上海交大闵行二部大会上代表全校教师向同学讲话	194
5-4	老教师四十教龄授证大会上代表老教师致谢辞	195
5-5	欢迎新教师座谈会上代表在校教师发言	197
5-6	全校评估后在全系教师大会上发言	199
5-7	改进学习方法弘扬交大传统	200
5-8	刻苦自学奋发向上有光明美好前途	203
5-9	新年向当代青年同学讲人生道路的感受	204
5-10	工作上努力进取, 在生活上宁愿朴素	205
5-11	上海市人民代表大会小组发言和建议	207
5-12	上海市科学道德规范座谈会上发言	210
5-13	科学院技术科学部委员大会上专题发言	211
5-14	国家科委光纤攻关会议闭幕式大会发言	212
5-15	国家计委科技对策讨论会书面发言	214
5-16	国务院电子振兴办全国光纤工作会议闭幕式大会发言	216
5-17	培养青年爱国思想的体验	217
5-18	勤奋学习, 为祖国建设忠诚服务	219
第六章	培养大学人才的体验	222
6-1	半个世纪教学和研究工作回顾	222
6-2	浅谈理工科大学教授的时代责任	232
6-3	担任研究生导师的体会	239
6-4	硕士研究生学习专业英语的要求和方式	243
6-5	培养博士研究生的粗浅经验	245
6-6	美籍华裔教授对我校电子电工学科机构的意见	247
6-7	1934级校友谈工程教育经验	247
第七章	纪念师长的短文	251
7-1	交大美洲校友联谊会上讨论发言	251
7-2	回忆凌鸿勋老先生	251
7-3	黎照寰校长对交大建设的重大贡献	252
7-4	饮水思源——回忆顾毓琇院长	253
7-5	追悼电机工程大师钟兆琳先生	253
7-6	马可尼纪念天线圆柱在校园内重建完成	254
附录	建国后三个阶段的著作、文章	256
后记		263

第 一 部 分
通 信 技 术

第一章 现代通信综述性文章

1-1 通信技术、经济与政策

一、信息时代的通信

前不久,国际上盛传新技术革命已经明显开始。新技术革命之所以十分重要和举世注目,因为它必然引起和形成新的社会、新的产业和新的时代。就是说,由于新技术飞跃发展和在各经济部门及社会公众中广泛利用,必然导致社会生产力新的飞跃,相应地带来社会生活新的变化。大家都知道,现代社会经济发展的支柱为材料、能源,但最近将增添“信息”(information)一个新的重要支柱。有人预测,随着时间的推进,信息量的增长率将越来越超过工业的增长率,而按人口平均计算,每人每天消费的信息量也越来越急剧增长。这种现象常称“信息爆炸”。

所以,原已达到高度工业化的经济发达国家,不久将从工业社会更上一层楼,转入以产生、分配、存贮、处理和使用信息为主要特征的社会,即“信息社会”。信息既是最主要的资源,又是最主要的商品。准确、灵通和迅捷的信息交流,将使每一事业的工作效率、生产效率、经济效益,社会效益以及每一家庭的文化生活和福利都显著地大大提高。经济发达国家传说,21世纪将进入“信息时代”,他们正在多方面花大力气作准备,迎接这伟大的、史无前例的信息时代早日到来,为人类谋幸福。

广义地说,凡是有关产生、加工、传递和销售信息,把信息作为最终商品的所有产业,统统属于“信息产业”,简称信息业。所以,信息交流所用的媒介,包括邮电通信、广播电视、报刊图书,以及信息咨询和服务,信息需用的器件设备和原材料的制造和销售,以至新兴技术的计算机、光纤、卫星、激光、自动控制等产业,都属于信息业。社会上除了农业(农林牧渔)、工业(重、轻、制造)外,还有一大类所谓第三产业,也即常称的服务业。它范围广泛,分支众多,包括:(1)流通性服务、商业、运输、通信等;(2)生产和生活服务,金融、公用事业、医疗卫生等;(3)科学和文化服务,教育、科技、广播电视、影剧、新闻报刊、图书杂志等。由此可见,这些服务业中有相当大部分属于信息业。随着时间的推进,这种信息业越来越庞大,把它从服务业分出,成为独立的产业是完全合适的和有必要的。事实上,既然公认为信息时代,就应该有其独立一大类的信息产业,产值大、技术新、范围广。而且这一大类中还应该包含许多个独立的、各有一定规模的产业,其中必然有不少新兴的或革新的产业。

在衡量一个国家的信息化程度时,通常根据下列四方面的统计数据作为指标:(1)用户消费信息平均数,例如人均年发信函件数,人均年通电话次数,每百人平均订报纸份数;(2)用户装置信息设备普及率,例如每百人电话机普及率,每百人电视机普及率,每万人计算机普及率;(3)参加信息产业人数比重;(4)个人支出信息费用比重等。当然,国家的经济发达程度,文化水平和教育程度,对这国家的信息化发展速度密切相关。

以上简单介绍了信息时代的涵义,仅是给人们描述一个笼统概念,还没有能够正确和完

整地对信息时代下定义。须俟收集更多同行专家的意见后才作定论。尽管如此,相信广大公众都已认识到“通信”涉及信息的传输、交换和处理,一定会承认通信建设是促进信息时代来临的关键因素;没有新颖、完善的现代通信,就谈不上信息时代的到来。而当今国际上经济发达国家和新兴国家,不论大国或小国或地区都在掀起加速发展现代通信、迎接信息时代早日来临的潮流。

在这样的背景下,本文专门阐述信息时代的通信,但限于技术密集的电通信和光通信(英文统称 telecommunication),暂不包括传统的邮政,也不包括与通信接近的广播电视。阐述将是扼要的和推理的,范围主要是通信的技术发展和经济特征,从而探讨结合国情的通信政策。具体的章节,先谈通信对经济和社会的影响,通信技术的迅猛发展趋向,其次谈通信的运转经营和行政管理,通信经营的投资与资费,通信的设备制造与科学研究,通信的人才培养,最后对我国通信政策的考虑略抒己见,备供大家参考、讨论和指正。

二、通信对经济和社会的影响

有不少正式的统计资料可以用来分析和表明每一国家的通信与经济社会发展的关系,从而得出几条通用的结论。在这方面,有必要把全世界的国家分为经济发达国家(也就是高度工业化国家)和发展中国家(即正在开始向工业化方向发展的第三世界)两大类。又可分为经济虽继续增长,但速度已减缓、渐趋饱和的发达国家,和经济在过去不算发达,但近年发展迅速、堪称新兴国家,以及经济发展在过去和现在速度都是迟缓的国家这样三类。一般地说,在这些国家中,经济发达国家和新兴国家的人民文化水平较高、大学程度人数较多、普及教育办得好,而发展中国家的人民文化水平有高有低,不少人的经济收入低、文化教育落后,甚至在荒僻地区有相当人数生活贫穷、近于文盲。

实际调查表明,在经济发达国家和新兴国家中,通信受到高度重视,认为通信是经济、工商和行政管理必不可少的关键因素,是丰富文化生活、社交活动所必需,又被认为是社会兴旺发展的动力和社会就业致富的机会,所以愿意对通信大量投资,通信建设欣欣向荣,用户感到方便和满意。相反,在发展中国家却不是这样,仅城市才有通信设施,大部分乡村很少或几乎没有通信,乡村居民不懂得什么是现代通信,也想不到利用。根据前几年公布的统计数据,全世界各国对通信的一年投资总数为 600 亿美元。人口为全世界 20% 的经济发达国家有电话 90%,人口占全世界 25% 的第三世界城市地区只有电话 10%,人口占 55% 的第三世界乡村地区几乎没有电话。这表明:经济发达国家的通信大大地优于发展中国家,世界上大多数人实际上没有通信。

另外,有另一方面代表性的统计曲线,画出了人均国民生产总值(横坐标)与每百人电话普及率(纵坐标)的关系,它是一条斜率稍大于 45° 的上升直线。这表明电话普及率的增长速度几乎等于、或稍高于人均国民生产总值的增长速率。然而,人们不禁提问:如果这两者当作鸡和蛋,究竟先有鸡还是先有蛋呢?由统计分析得知,增加对通信的投资,肯定会促进国民生产总值的发展,尤其在经济开始发展阶段更是如此。说得明确些,对通信要勇于及早投资,对通信投资应该在经济发展之前,而不能落在经济发展之后,对通信及早投资,将促使工商业投资大大增加,形成良性循环。国际电信联盟的经济合作发展组织(ITU/OECD)得出结论是:每百人电话普及率增加 1% 将导致经济收入增加约 3%。通信对经济发展的重要性,在经济收入低的国家更显著,在乡村比在城市更显著。从新兴的、经济趋向急剧

改善的发展中国家得到的经验表明：对通信投资多的国家与投资少的国家相比，国民经济发展速度要快得多。只有经济发展到相当高的程度，通信设施已相当充足的时候，才不要求比例增长的通信投资。

结合我国自己的过去情况，按世界银行统计，我国1985年人均国民经济总产值为310美元，按CCITT的公式计算，电话普及率应为0.78。但实际上我国1985年每百人电话普及率只有0.6，小于应有的普及率，表明我国的通信没有适应经济和社会发展的起码需要，还谈不上起促进作用。相反，在我国的台湾省和香港，近年来电话普及率增长很快，已超过应有的普及率，表明这些地区近年来高度重视通信，对经济迅速发展起到促进作用。苏联和一些东欧国家，过去通信发展缓慢，近年来加快通信建设，电话普及率增长较多，已达到应有的普及率。

如果按增长率的数据来看，我国在1973—85年间，每百人电话普及率从0.3增至0.6，平均每年增长率5.9%，而我国在1979—84年间工农业总产值平均每年增长9.1%，电话普及率的增长率小于经济增长率，也表明我国通信远远落后。在一些经济新兴的发展中国家或地区，1973—85年间电话普及率的增长率超过人均国民经济总产值的增长率，证明通信对经济发挥了很大促进作用。另外一种可以用作比较的统计数据，是国民经济总产值每百万美元的电话机数。1985年国民经济总产值每百万美元有电话机19部，而世界上绝大多数国家每百万美元约有电话机50部，也表明我国通信远远落后于经济和社会发展的需要。

关于表达一个国家信息化程度的几个指标，据我国1984年统计数据：人均年发信函件数3.8，人均年通电话次数11，每百人年订报纸份数27.2，每百人电话普及率0.53，每百人电视机普及率4.6，每万人计算机普及率0.07，第三产业就业人数占百分比14.42%，表示文化水平的每百人在校大学生人数0.27，个人消费支出除衣食住外各种费用占百分比18.2%。这些数据不到20年前日本1965年数据的1/20。至于包含信息业的第三产业，在我国是很不发达的，1985年开始有统计数据。我国农业、工业和第三产业各产值所占比重，与美国本世纪初的情况相似。特别是我们的信息业中通信，从上述几项指标数据可见，确实非常落后。只是近几年来，沿海开放地区的通信才明显加快发展速度。例如上海市电话普及率从1980年的2.08增加到1986年的3.51，广东省全省电话普及率从1978年的0.34增加到1987年的1.06。

三、通信技术的迅猛发展趋势

1. 电子技术和微电子技术的发展

在新技术革命中，最带有根本性和普遍性影响的是微电子技术，它被公认为现代社会最新的生产力，也可以说是新产品的第一层次。在经济发达国家，微电子技术集成电路(IC)的微加工和计算机辅助设计已相当成熟。特别是在大规模集成(LSI)和超大规模集成(VLSI)，一块几十平方毫米的硅片上，能够集成几百万个晶体管器件，真是了不起的奇迹。它们广泛应用于工农商业、国防、文化和社会生活所需的各种各样电子设备中，使过去仅是想像概念而无法实现的设备现在能够批量生产。微电子集成片消耗材料和能源少，而提供的功能多、可靠性高、大量生产每片价格低廉。近年来，电子技术正在进化至光子技术，很多新产品是半导体电子器件与光子器件共存和配合运用，微电子集成正在引伸至光电子集成(OEIC)。现

在, 光电子技术还要继续深入探索研究, 预料在不久的将来, 定会有更多和可喜的成果出现。

如果说新技术革命导致信息革命, 那就应当归功于电子计算机(也称电脑)。当然, 电子计算机能够圆满制成, 主要依靠微电子大规模集成, 因此计算机是属于第二层次。电子计算机是信息时代的主要象征。没有电子计算机, 就没有信息时代。它带有根本性和普遍性应用, 所以也被公认为现代社会最新的生产力。现在, 大型、小型、微型计算机, 花样不断翻新, 用途日益广泛。然而, 计算机的功能增多, 存贮量加大, 运算速率加快, 尺寸缩小, 价格降低, 则是普遍的特征。各厂产品的竞争尖锐, 优胜劣败的现象很明显。计算机软件极为重要, 技术越来越进步, 范围越来越扩大, 研究工作者各显神通, 编出各种各样有意义的程序。特别是微机, 已经大量广泛用于经济、工商业、行政管理、国防、文化、和社会生活各方面有关信息控制的功能, 使智能化越来越普遍。为了实现工厂自动化和管理自动化, 还需要计算机网。现在, 计算机结构中可能部分利用光的作用, 进一步改善性能。又开始探索研究神经网络, 使计算机一代又一代继续不断翻新。

追溯科技发展历史, 电子技术的推进, 最初确是得力于通信应用和雷达应用。当初使用电子管最多的是通信工程包括广播, 后来改用晶体管。当初电子电路和网络、电磁场和波等学科, 都是通过电信应用得到迅速发展。频分多路(FDM)的载波通信盛极一时, 连同电缆传输、机电式交换, 组成完整的通信网体系。然而, 曾几何时, 大规模集成和计算机成功, 光纤打开光子技术的大门, 于是模拟通信让位给脉码调制(PCM)的数字通信, 加上光纤代替电缆传输, 程控交换代替机电式, 形成现代通信, 面貌焕然一新。所以, 人们常常说, 通信是电子技术推进之母, 而微电子技术和光电子技术的勃兴, 反过来促使通信现代化。

诚然, 电子技术的接连突破, 既出现新型微电子集成工艺: 超大规模集成和新型电子整机设备——计算机, 又促成现代通信的实现——数字通信、程控交换、光波和微波传输, 从而迎接信息时代的来临。现在已能设想到信息时代中每一用户使用通信的情况, 他们装备些什么? 得到什么服务? 提出什么要求? 简单地说, 每一事业单位或住宅用户都安装了数字电话机、计算机终端、和图象显示器。他们可以按照各自的需要通电话、通传真、通电视图象、通计算机数据, 还可以得到若干遥测和遥控的便利。不言而喻, 在信息时代来到时, 用户对通信的要求远远超过传统的电报和电话, 但电话仍将保留为人们的主要工具, 不过用户与用户间将完全利用数字信号的传输和交换, 用户地方且装有数字信号处理设备, 以完成各样使用户方便的功能。此外, 用户对通信有崭新的、多种多样服务的要求, 视觉信息比听觉信息更合乎用户需要。所以, 静止图像和活动图像在通信中将越来越占重要地位, 电话也要采用可视电话和可视会议电话, 电视广播尤其对住宅用户将与通信密切结合。企业、机关、工商业, 为了经营管理自动化, 装置许多计算机, 它们之间需要相互通信, 这就是近年来蓬勃发展的计算机数据通信。市内电话局设有数据信息库和图像库, 而用户也装置了简单的计算机, 要求使用数据通信。用户与数据库或图像库直接通信, 可能是人一机对话的性质, 称为交互通信(interactive)。

根据上述, 信息时代的信息业务(或服务 service)可以概括为三类, 即: 语音、数据和图像。由于数字通信肯定比模拟通信优越, 所有这三类信息业务的信号都应该是数字信号。其中数据信息本来是数字信号, 而语音(电话)和图像(静止图片、可视电话、电视、以至高清晰度电视 HDTV)原来是模拟信号, 必须经过模/数转换, 变成数字信号。每路电话原来

模拟信号的带宽为 4kHz, 经过脉冲编码调制(PCM)变为数字信号, 码速为 64kb/s。而图像模拟信号、尤其是电视模拟信号, 变成数字信号的码速容量太大, 必须采用压缩编码技术, 使可视电话数字信号的码速压缩至 2Mb/s, 普通电视数字信号的码速为 34Mb/s, 高清晰度电视数字信号的每路码速为 140Mb/s。这表明, 数字电视信号的码速几乎是数字电话信号码速的一千倍, 它需要传输很宽的频带。

一个国家的通信网, 原来是以电话为主, 有市内电话网, 长途电话网(即全国通信网)。由于信息业务发展, 另外单独各自设置电报网, 计算机数据网, 它们重复成网, 效率不高。现在既然所有信息都是数字化, 不同信息业务的数字信号码速虽各不相同, 但都是同样的二进制数字信号, 应该能够综合一起, 只有一个网, 以提高效率。这就是众所共知的综合业务数字网(ISDN)。在不久的将来, 电视的数字压缩编码实用化, 通信网又推进一步, 成为宽带综合业务数字网(B-ISDN), 到了信息时代, 将是智能化的 B-ISDN。简单地说, 为了迎接信息时代的来临, 通信网是沿着数字化、综合化、宽带化和智能化的方向演变, 以变成现代化的通信网。显然, 模拟通信过渡至数字通信, 机电式交换过渡至充分利用计算机的程控交换, 电缆传输过渡至利用光子技术或光电子技术的光纤传输和利用同步卫星的微波传输, 加上各种各样的数据库和数字信号处理设备, 正是配合智能化宽带综合业务数字网的建设而发展的, 它们充分显示新技术革命在通信领域的威力。

从上面的说明, 现代通信技术可以归纳为下列五类: (1) 数字技术(Digital technique), 包括编码—解码器(codec)、数字信号处理器(DSP)等; (2) 软件技术(Software technique), 包括程控时分数字交换(SPC Digital switching), 分组交换(packet switching)等; (3) 微电子技术(Microelectronics), 包括超大规模集成(VLSI)的 CAD 和微加工等; (4) 光子技术(Photonics)和光电子技术(Opto-electronics), 包括光纤通信(OFC)、光纤传感(OFS)、激光器件(Laser)、光电子集成(OEIC)等; (5) 微波技术(Microwave technology), 包括卫星通信和广播、微波接力线路、超高频移动通信等。这五类通信技术, 目前还在继续不断地飞跃进步。这里还要简单谈谈与通信直接有关的四大趋向: 即, 电子技术向光电子技术的进化; 计算机及软件技术的扩大应用; 图像信息服务的普遍发展; 信息技术促使制造技术的彻底革新。

电子技术的重大突破是 1947 年半导体三极管的发明, 后来称为晶体管。它既有放大作用, 又有开关作用, 替代了功率不大的真空电子管。六十年代又有一次重大飞跃, 即利用半导体硅由晶体管和电子元件制成集成电路, 八十年代达到超大规模集成(VLSI), 这是微电子技术的顶峰。据报道, 市上已出售计算机存贮器使用的集成片, 容纳 2 百万个晶体管元器件, 由 5 百万根导线连接, 价格 10 美元。而在三十年前没有集成电路时, 一个接线工人需要 10 年时间才能把 2 百万个分立的晶体管元器件连接在一起。10 个人年至 10 个美元, 真是神奇的飞跃。然而, 集成电路有一定的限度。据估算, 每一晶体管所占正方面积至少为 10^{-8}cm^2 , 而且只能占集成片上的 1/10 面积, 其余面积用于连接导线和元器件相互隔离。所以, 即使每一芯片的面积加大至 10cm^2 , 最多也只能容纳 10^8 个晶体管元器件, 相当于现已制成的 50 倍, 这是集成密度的限度。按照目前工艺的进展速度, 最多 10 年时间就达到这限度。另外一个重要限度是集成片的运算速率, 据说最近达到 5Gb/s。有倾向利用 III-V 化合半导体 GaAs 代替原来的硅衬底, 因为 GaAs 的电子运动速率比硅快约 2~5 倍。但 GaAs 的工艺有待继续研究。关于运算速率的限制, 还有电子信号通过导线从一个元器件传输至另一元

器件受到导线电阻—电容乘积的限制,而且电子信号的传输带宽能力在高频率又受到电感的限制。微电子技术能够制成 10ps 的晶体管,却难于制成 10ps 的导线。将来超导材料如能制成薄膜用于集成片,虽消除电阻—电容乘积的限制,使运算速率加快,但可能引起寄生振荡和其它问题,尚待仔细探讨。

2. 光子技术和光电子技术的发展

光子技术在通信上的应用是 1966 年开始发现的。当时预测高纯的石英玻璃能够传输光波,损耗很低。隔了几年之后,高纯玻璃拉成纤维,光波将局限于纤芯内向前传播,不会从外面的包层漏出。这样,光纤作为光波导(相当于光导线),光波传播就是光子传播。光子载荷的信息,沿光纤从一地传输至另一地,受到损耗很小,发生色散也小。另外,在集成片上,光子可以沿波导传播。光在两根靠近的玻璃纤维或集成波导中各自传输,不会产生电磁干扰。光通过纤维或波导传输,不像电导线那样由电阻、电容或电感限制带宽。由于光在电磁谱中所占频率(例如 100THz)比无线电通信频率(例如 10GHz)高得多(10^4 倍),光子通信的潜在传输带宽或载荷信息容量比电子通信的大得多。更突出的是:光子不一定有了纤维或波导才能从一点传播至另一点,它也能在空间自由行进,从一点至另一点。一个光束可以穿越另一光束,不致发生显著影响,或者没有影响。光子不仅能把信息从一点传播至另一点,也可能从一点传播至许多点,或者从许多点聚焦至一点。这样,一束激光管发出的光可以传往一列检测管接收,在二维平面上并行传输。

不亚于光纤重要性的是半导体激光技术。由于 III-V 化合半导体制成了激光管和发光管,以及硅和 III-V 化合半导体制成了 PIN 检测管和雪崩管,分别用于电子至光子转换以及光子至电子转换,才能与光纤一起,组成短波长多模光纤和长波长单模光纤通信系统。尤以长波长 1.3 μm 和 1.55 μm , 光纤损耗分别低至 0.35dB/km 和 0.20dB/km, 常规单模光纤的色散在 1.3 μm 为零,也可移位至 1.55 μm 。单模光纤在零色散波长有无限大的潜在传输容量,适合于宽带数字通信,而且中继距离比电缆的长得多。在将来,通信网中从用户至用户的全程传输可能全是单模光纤,在长波长 1.3 和 1.55 μm 运用。像同轴电缆上实现电的 FDM, 组成多路载波电话那样,光纤可实现光的 FDM, 组成多路载波数字通信,又像无线电超外差收音机那样,光纤可实现光的外差检测,组成相干光纤通信,得到较高的接收机灵敏度,延长中继传输距离,以及较高的波长选择性,实现密集多路光纤通信。由于发送端需要电子转换为光子的器件,接收端需要光子转换为电子器件,中继机也需要光子与电子相互转换,所以光纤通信系统总的说来是利用光电子技术。等到将来,如果能够做到全光通信,毋需光子与电子转换,那就算是光子技术。

在目前光子技术与电子技术共存的时期,有必要把光子器件和电子器件集成在同一芯片上,称为光电子集成(OEIC)。对于光纤通信,光子器件主要利用 III-V 化合半导体。光源的激光管(LD)和发光管(LED)在 0.85 μm 用 AlGaAs/GaAs, 在 1.3 和 1.55 μm 用 InGaAsP/InP, 光检测的光电管(PIN)和雪崩管(APD)在 0.85 μm 仍用硅,在 1.3 和 1.55 μm 则用 InGaAs 或 InGaAsP。电子器件是用 GaAs 的场效应管(FET)较多。因此,积累的微电子集成工艺经验虽仍有益于光电子集成的制作,但情况差异不小。芯片衬底材料原来为硅,现须改换为 GaAs 或 InP, 晶体生长工艺原来用液相外延(LPE),现在需要金属有机汽相外延(MOVPE 或 MOCVD), 或分子束外延(MBE)。光电子集成现在仅开始,制成发送机中驱动器与激光管的集成、接收机中 PIN/FET 与放大器的集成,以及其它较简单的集成。一块芯