宽带光网络概述

甘 朝 钦

上海大学 ● 通信与信息工程学院

2010 年 03 月

All rights reserved © 2010, Shanghai University

本课程 参考书目（1 / 2）

本课程阅读参考书籍

1. 张明德、孙小菡。光纤通信原理与系统(第4版)。东南大学出版社。
2. 胡庆、王敏琦。光纤通信系统与网络。电子工业出版社。
3. 李跃辉、王缨、沈建华。光纤通信网。西安电子科技大学出版社。
4. 黄章勇编。光纤通信用－新型光无源器件。北京邮电大学出版社。
5. 黄章勇编。光纤通信用－光电子器件和组件。北京邮电大学出版社
6. 徐宏杰等译。[美] J.H. Franz, V.K. Jain著。光通信器件与系统。电子工业出版社。
7. 张劲松，陶智勇，韵湘编著。光波分复用技术。北京邮电大学出版社
8. 金明晔等。DWDM 技术原理与应用。电子工业出版社.

All rights reserved © 2010, Shanghai University

本课程 参考书目（2 / 2）

本课程阅读参考书籍

9. 顾畹仪编著。WDM 超长距离光传输技术。北京邮电大学出版社。
10. 徐荣，龚倩，张光海编著。城域光网络。人民邮电出版社。
11. [美] G. Bernstein等著；黄蔚，郭丰，徐敏译。智能光网络——体系结构、协议和标准。人民邮电出版社。
12. 原荣编著。宽带光接入网。电子工业出版社。
13. 张宝富等编著。宽带光网络技术与应用。电子工业出版。
14. 顾畹仪，张杰 编著。全光通信网。北京邮电大学出版社。
15. Thomas E. Stern，Krishna Bala著；徐荣、龚倩译。多波长光网络。人民邮电出版社。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

本章参考书

参考书目录

- 张明德、孙小菡。光纤通信原理与系统(第4版)。东南大学出版社。
- 胡庆、王敏琦。光纤通信系统与网络。电子工业出版社。
- 李跃辉、王缨、沈建华。光纤通信网。西安电子科技大学出版社。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

内容

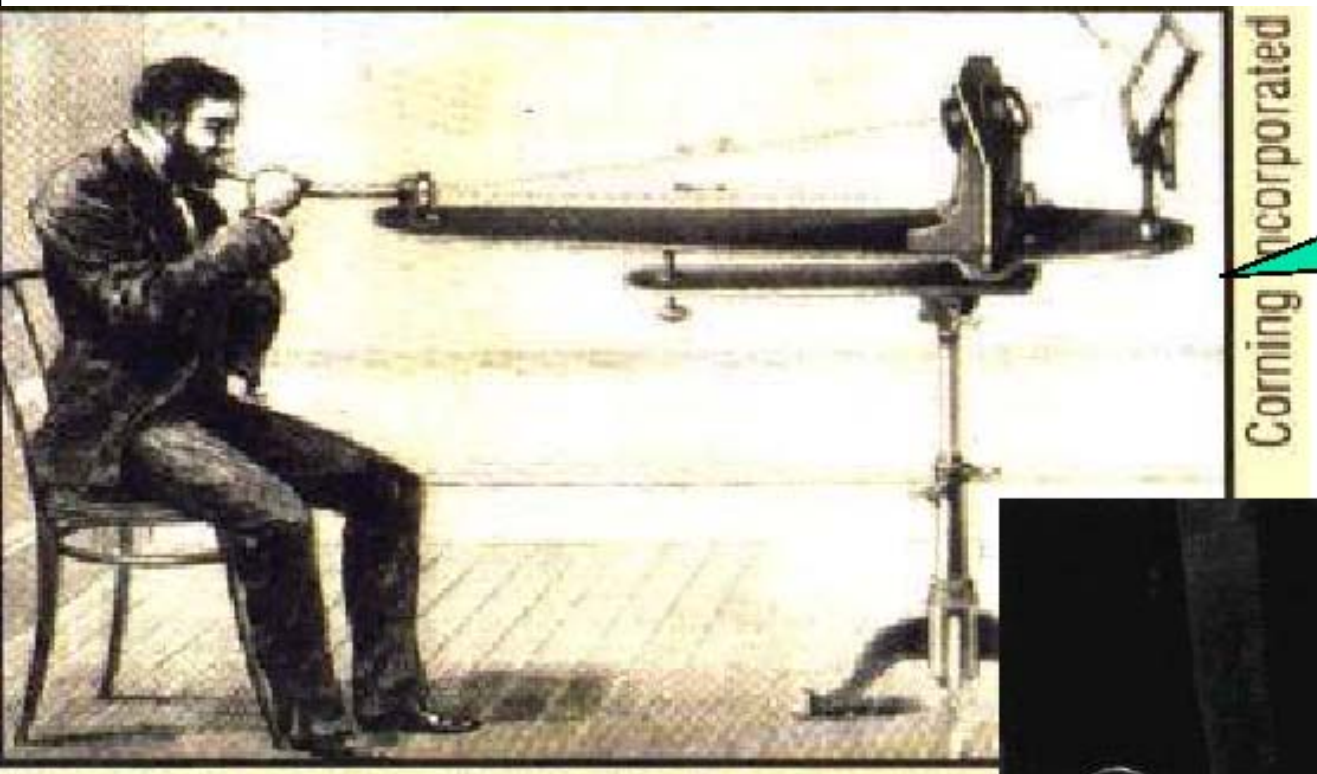
- 光通信发展历史
  - 光通信发展历程
  - 中国光通信发展历程

All rights reserved © 2010, Shanghai University

内容

- 光通信发展历史
  - 光通信发展历程
  - 中国光通信发展历程

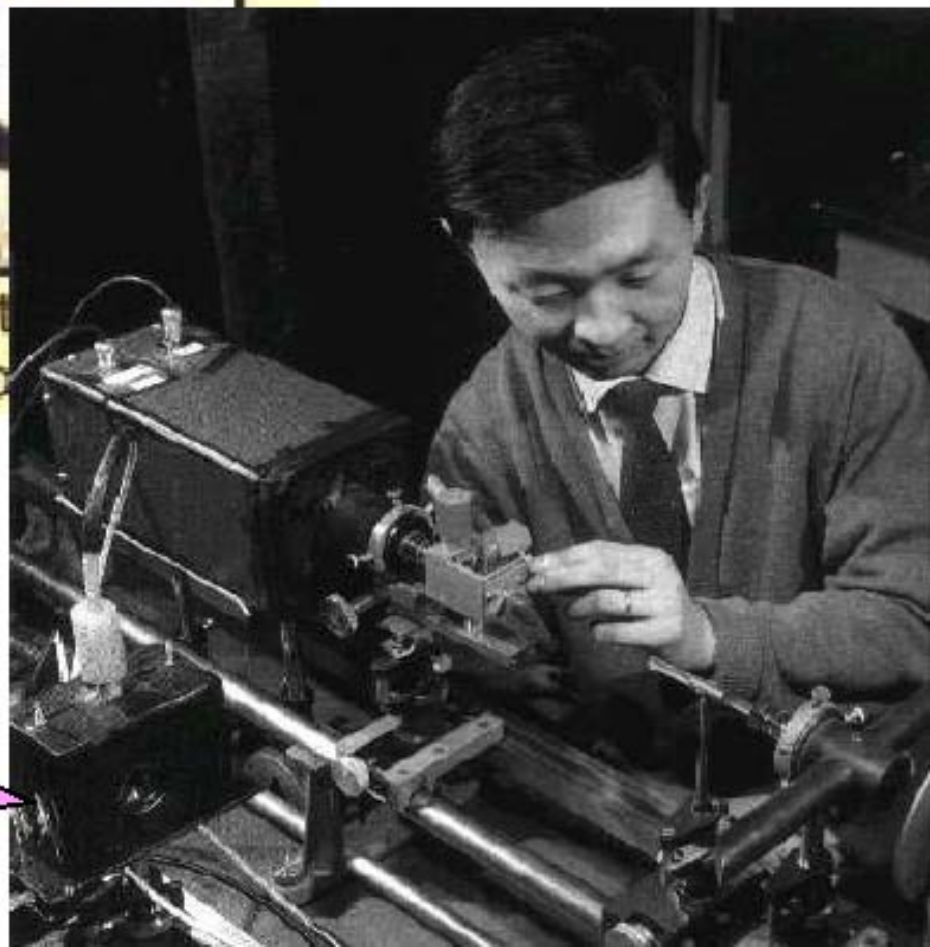
All rights reserved © 2010, Shanghai University



贝尔的“光话”演示实验

Alexander Graham Bell demonst
voice transmission via his “photo

1880年，贝尔的光电话实验



“光纤之父”高锟博士在英国STL的早期关于光纤的实验

光纤通信发展历程

- 1966年“光纤之父”高锟博士首次提出光纤通信的想法。
- 1970年贝尔研究所林严雄在室温下可连续工作的半导体激光器。
- 1970年康宁公司的卡普隆(Kapron) 做出损耗为20dB/km光纤。
- 1977年芝加哥第一条45Mb/s的商用线路。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

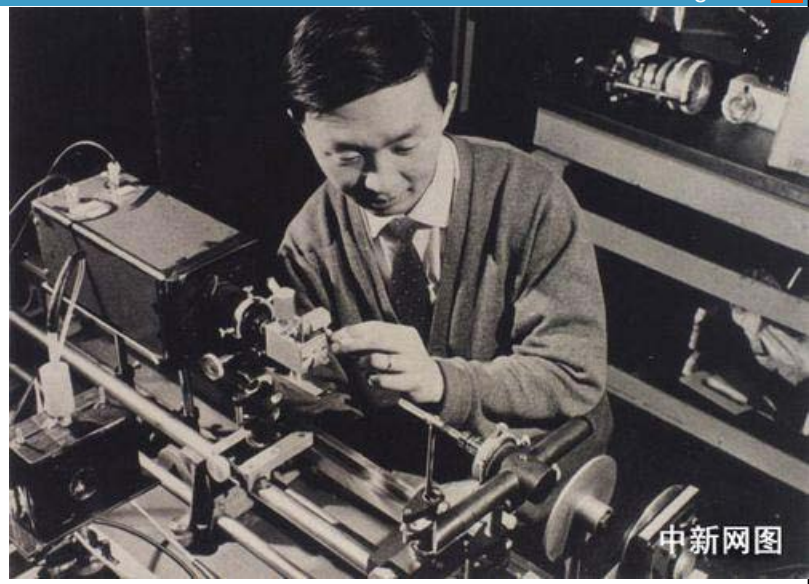
“光纤之父” 高锟（1 / 3）

- “光纤之父” 高锟
  - 华裔物理学家；
  - 出生：1933年11月4日出生于上海金山
  - 国籍：英国和美国，并持中国香港居民身份；
  - 毕业院校：
    - 1957年，毕业于伍尔维奇理工学院（现英国格林威治大学）电子工程专业。
    - 1965年，获伦敦大学下属的伦敦大学学院电机工程博士学位
  - 主要成就： 1966年 首次提出光纤通信的想法；
  - 获奖：2009诺贝尔物理学奖

All rights reserved © 2010, Shanghai University

“光纤之父” 高锟（2 / 3）

职业生涯



- 1957年，高锟读博士时进入国际电话电报公司（ITT），在其英国子公司——标准电话与电缆有限公司任工程师。
- 1960年，他进入ITT设于英国的欧洲中央研究机构——标准电信实验有限公司，正是在 这开始的十年期间，高锟成为光纤通讯领域的先驱。
- 1970－1974年，香港中文大学电子学系教授及讲座教授
- 1974－1987年，国际电话电报公司（美）首席科学家（1974年）；工程总裁、行政科学家（1982年）；研究事务总裁（1986年）
- 1987－96年，香港中文大学校长
- 1996－2000年，香港高科桥光纤有限公司主席兼行政总裁
- 2003－2009年1月，壹传媒独立非执行董事
- 1996至今，香港中文大学工程学荣誉讲座教授

All rights reserved © 2010, Shanghai University

“光纤之父”高锟（3 / 3）

科研成就

- 1966年，高锟发表了一篇题为《光频率介质纤维表面波导》的论文，开创性地提出光导纤维在通信上应用的基本原理，描述了长程及高信息量光通信所需绝缘性纤维的结构和材料特性。
- 并提出当玻璃纤维损耗率下降到20分贝 / 公里时，光纤维通讯就会成功。将带来一场通讯业的革命。
- 高锟在电磁波导、陶瓷科学（包括光纤制造）方面获28项专利。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

“光纤之父” 高锟（4 / 4）

获奖与荣誉

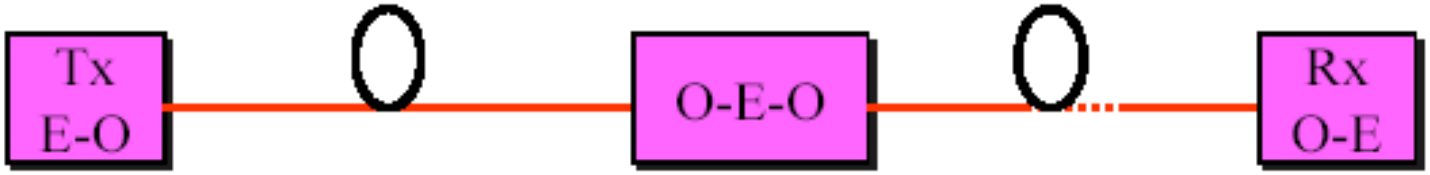
- “高锟星”：
  - 高锟的杰出贡献，1996年，中国科学院紫金山天文台将一颗于1981年12月3日发现的国际编号为“3463”的小行星命名为“高锟星”。
- 诺贝尔物理学奖

All rights reserved © 2010, Shanghai University

- 通信系统容量：

  比特率-距离积 BL，B 比特率，L 中继距离

  每秒钟传输的比特数目



- 光纤通信追求目标：
  - 大容量、长距离
- 技术发展：
  - 短波长-长波长、多模光纤-单模光纤、多模激光器-单模激光器

All rights reserved © 2010, Shanghai University

光纤通信技术的发展大体上可分为（1 / 2）

	工作波长	光纤	激光器	比特率B	电中继距离L
第一代 70年代	850nm	多模	多模	10～100Mb/s	10Km
第二代 80年代初	1310nm	多模 单模	多模	100Mb/s 1.7Gb/s	20Km 50Km
第三代 80年代中～90年代初	1550nm	单模	单模	2.5Gb/s～10Gb/s	100Km

All rights reserved © 2010, Shanghai University

光纤通信技术的发展大体上可分为（2 / 2）

	工作波长	光纤	激光器	比特率B	电中继距离L
第四代 90年代	1550nm	单模	单模	2.5Gb/s 10Gb/s	21000Km（环路） 1500Km 光放大系统
第五代	1550nm	单模	单模	波分复用 WDM	单路速率:40,160,640Gb/s 信道数:8,16,64,128,1022 超长传输距离:27000Km(Loop) 6380(Line)
目前研究内容	WDM光网络；全光分组交换；光时分复用；光孤子通信；新型的光器件				

All rights reserved © 2010, Shanghai University

光纤通信

单波速率不断提升，已达到10、20、40Gb/s采用OTDM技术甚至可达640Gb/s

一根光纤中可同时传输一百多路信号，采用特殊技术甚至可以同时传输1022路

超高速

大容量

长距离

网络化

各种通信技术的快速发展使上千甚至上万公里的长距离传输成为可能

全光网成为目前光通信领域最热门的话题之一

All rights reserved © 2010, Shanghai University

光纤通信最具代表性技术

波分复用WDM 和 光纤放大器EDFA

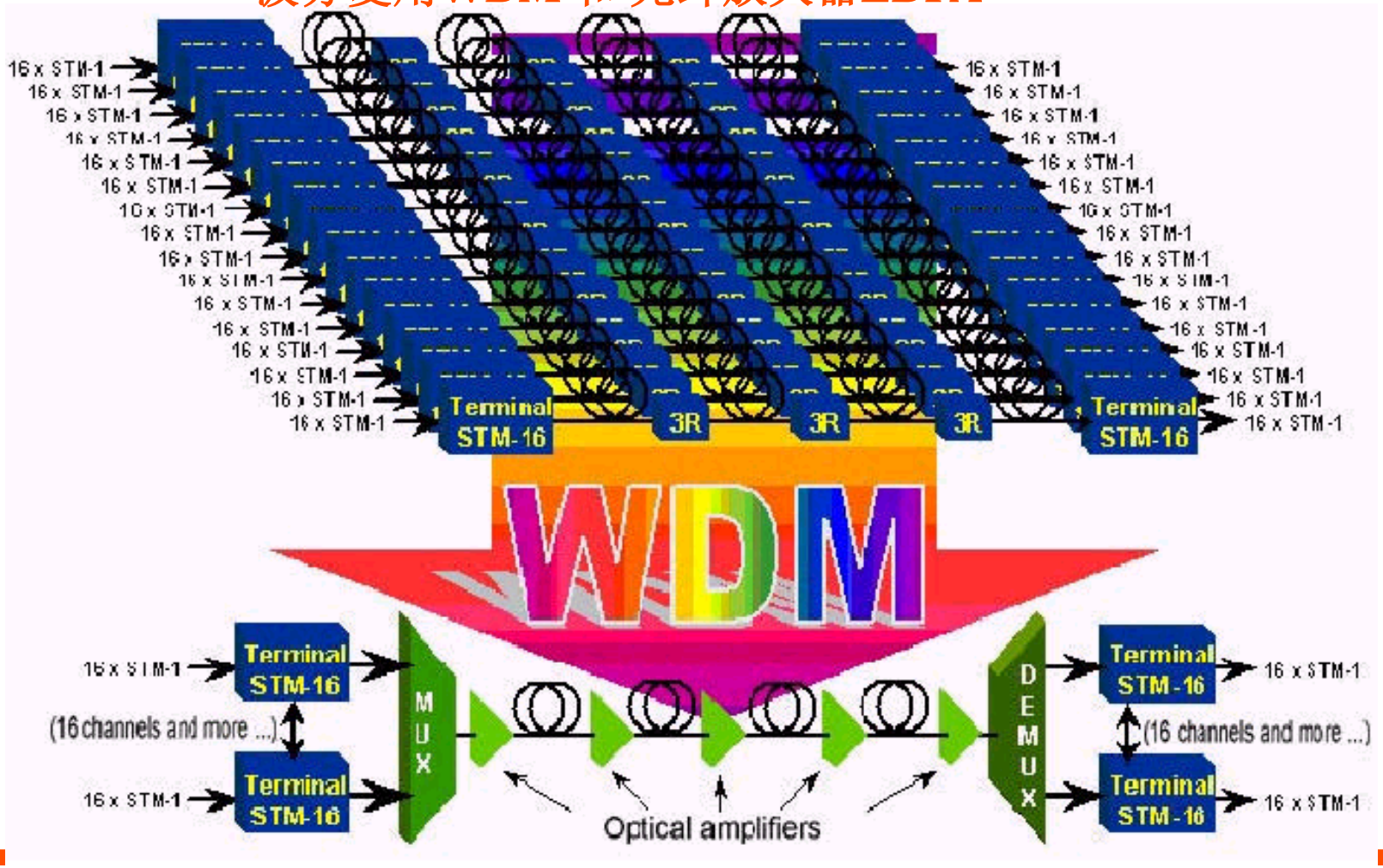
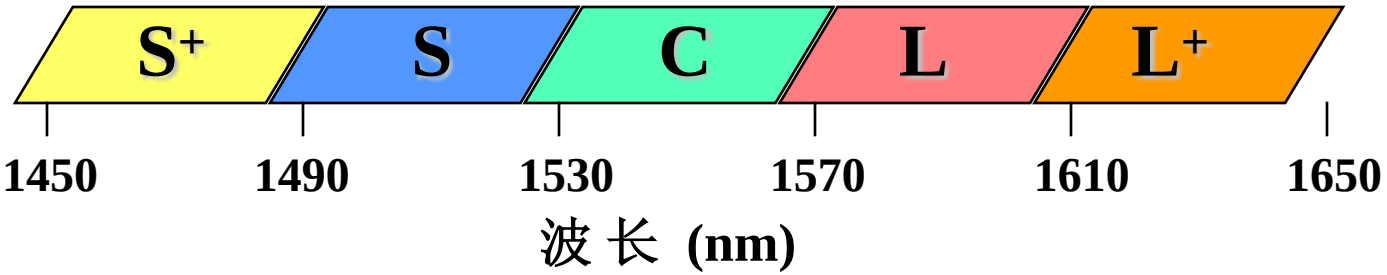


Figure 6 –WDM technology simplifies systems and reduces the number of fibers

All rights reserved © 2010, Shanghai University

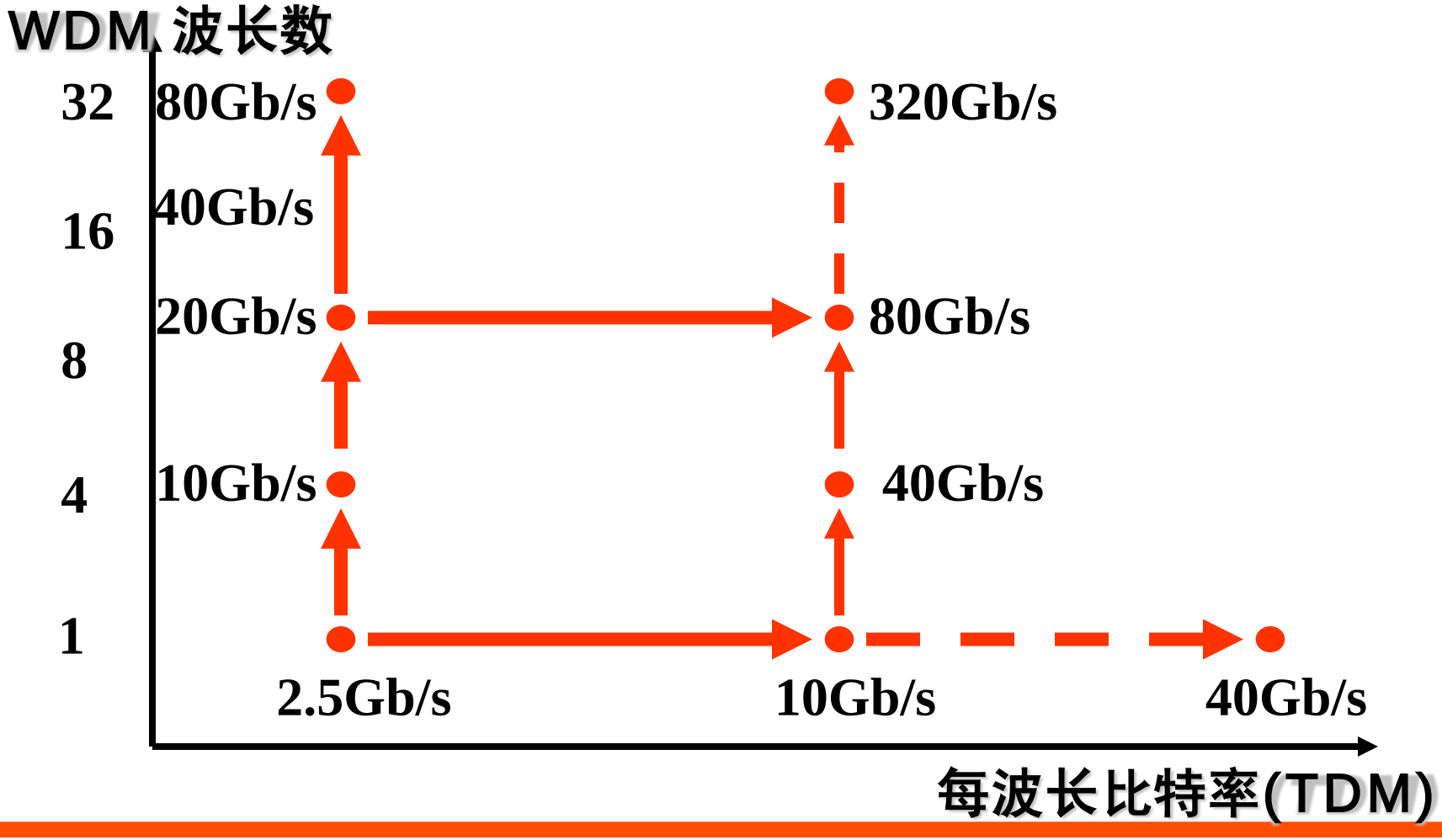
光纤通信系统的新波段



波段	波长范围(nm)	带宽(THz)	光放大器	应用
C	1530-1570	5.0	有	长途干线
C+L	1530-1610	9.7	有	长途干线
S+C+L	1490-1610	15.0	无	城/局域网
S^++S+C+L+L^+	1450-1650	25.1	无	城/局域网
全波	1300-1650	48.9	无	城/局域网

All rights reserved © 2010, Shanghai University

网络容量演进战略



All rights reserved © 2010, Shanghai University

内容

- 光通信发展历史
  - 光通信发展历程
  - 中国光通信发展历程

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

光纤光缆技术的发展历程（1 / 2）：

- 1977年，我国第一根短波长（0.8μm）阶跃型石英光纤研制成功；
- 1978年，研制出短波长多模梯度光纤（G.651光纤）；
- 1979年，研制出多模长波长光纤，衰减为1dB/km；
- 1980年，1300nm窗口衰减降至0.48 dB/km，1550nm窗口衰减降至0.29 dB/km；
- 1985年，研制出1300nm单模光纤，衰减达0.40 dB/km；
- 1990年，研制出G.652单模光纤，最小衰减达0.35 dB/km；
- 1990年，研制出G.653色散位移光纤，最小衰减达0.22 dB/km；
- 1992年，研制出掺铒光纤EDF，将G.652单模光纤衰减降到0.26 dB/km
- 1997年，研制出G.655非零色散位移光纤；

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

发展光纤光缆技术的发展历程（2 / 2）：

- 继研制出G.655之后，我国又相继研制出大有效面积非零色散位移单模光纤、色散补偿光纤、保偏光纤、数据光纤等，并已达到生产水平。
- 此外，对通信用塑料光纤的制造和特性也进行了深入研究。
- 代表性企业：武汉长飞

  以武汉长飞为代表的我国光纤生产企业已经进入世界级光纤生产企业的行列；此外，武汉长飞还进行光纤预制棒的生产。
- 在光缆方面，我国目前已有100多家光缆生产企业，能生产包括层绞式、中心管式、骨架式、无金属型、ADSS和OPGW等各种结构的光纤带光缆。一般芯数为288芯，最高芯数可达960芯。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

- 光器件发展历程（1 / 2）：
  - 1977年，研制出Si-APD；
  - 1978年，研制出GaAs-LD；
  - 1980年，研制出短波长用GaAlAs-LD；
  - 1981年，研制出长波长用InGaAsP-LD和PIN，多模光纤连接器进入实用；
  - 1982年，研制出长波长用激光器组件和探测器组件（PIN-FET）、研制出光合波分波器、光耦合器、光衰减器、光滤波器等无源器件；
  - 1986年，研制出动态单纵模激光器；
  - 1990年，研制出1550nm分布反馈激光器（DFB-LD）；
  - 1992年，研制出可调谐DFB-LD和泵浦源LD，FC-PC陶瓷单模光纤活动连接器通过邮电部鉴定；
  - 1993年，研制出小信号增益达25dB的掺铒光纤放大器；
  - 1997年，研制出应变多量子阱DFB激光器，STM-1、STM-4收/发模块和STM-16接收模块；

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

光器件发展历程（2 / 2）：

- 我国还研制成功光纤光栅波分复用器、光纤光栅分插复用器、光纤光栅色散补偿器等光器件；
- 在平面光波导器件的研制上也有新的突破，如：聚合物薄膜光波导、极化聚合物光波导、硅基光波导器件、集成光波导器件等。
- 我国光器件目前已基本形成了从研发到生产体系的格局：
  - ✓ 形成了以中科院半导体所、清华大学、武邮电信器件公司、电子44和13所、中科院上海冶金所和上海光机所、吉林大学、东南大学、北京大学、南开大学、华中理工大学为代表的光器件研发队伍，
  - ✓ 形成了以武邮电信器件公司、飞通公司、福创公司、海特公司和重庆航伟公司等为代表的产业化队伍。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

光传输设备与系统发展历程（1 / 5）：

- 1977年，国内第一个按半导体方案设计的6.144Mb/s数字光纤传输通信系统研制成功；
- 1978年，我国第一条1.8km长的室外二次群光纤通信试验线路架设成功；
- 1979年，建成5.7km，8Mb/s光纤通信系统试验段；
- 1981年，研制出34Mb/s光传输设备；
- 1982年，研制出140Mb/s光传输设备；
- 1984年，武汉、天津34Mb/s市话中继光传输系统工程建成（多模）；
- 1988年，全长245km的武汉—荆洲—沙市34Mb/s多模光缆通信系统工程通过邮电部鉴定验收，扬州—高邮34Mb/s单模光缆通信系统工程通过邮电部鉴定验收；
- 1989年，汉阳—汉南140Mb/s单模光缆通信系统工程通过邮电部鉴定验收

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

光传输设备与系统发展历程（2 / 5）：

- 1991年，研制出565Mb/s光传输设备，合肥—芜湖140Mb/s单模光缆通信系统工程通过国家鉴定验收；
- 1993年，上海—无锡565Mb/s单模光缆通信系统工程通过邮电部鉴定验收；
- 1995年，研制出STM-1、STM-4 SDH光传输设备；
- 1996年，研制出STM-16 SDH光传输设备；
- 1997年，成都—攀枝花622Mb/s SDH光传输工程通过邮电部鉴定验收，咸宁622Mb/s SDH双自愈环互连系统工程通过建设部初验；
- 1998年，海口—三亚2.5Gb/s 光传输系统工程通过邮电部鉴定验收，研制出OADM、OXC样机；
- 1999年，8×2.5Gb/s DWDM光传输系统通过国家验收，研制出STM-64 SDH设备；

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

光传输设备与系统发展历程（3 / 5）：

- 在国家863计划支持下，
  - 我国还陆续完成了16x10Gbit/s、32x10Gbit/s、160x10Gbit/s WDM系统，10Gbit/s、40Gbit/s OTDM试验系统，宽带接入系统以及全光通信试验网、自动交换光网络试验平台等一系列项目，
  - 自行研制成功的WDM光传输系统。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

光传输设备与系统发展历程（4 / 5）：

- 下一代光网络的研究：

通过863计划、自然科学基金等国家科技计划的支持，国内在下一代网络方面的研究方面取得了较大的进展：

- ✓ “中国高速信息示范网”(CAINONET)：

“九五”863计划跨主题重大专项(863-300)通过自主研制光交叉连接设备(OXC)、光分插复用设备(OADM)、核心路由器(CR)、网络管理系统等，建成了“中国高速信息示范网”(CAINONET)，连接了北京地区部分重要科研院所与相关高等院校的九个实验室共十三个试验节点；

- ✓ “中国高速互连研究试验网NSFCNET”：

国家自然科学基金委支持的“中国高速互连研究试验网NSFCNET”重大研究项目在总体设计、DWDM关键技术、高速计算机互联网组网技术、高速互联网络服务关键技术、网络基础理论研究以及若干重大互联网络应用研究方面也取得了创新性研究成果。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

光传输设备与系统发展历程（5 / 5）：

- 目前，我国已成为世界上为数不多的几个掌握了全套SDH和WDM光通信系统系列产品技术、能够提供光网络全面解决方案的国家之一，在世界光通信系统和光网络领域已经占据了一席之地。
- 在光通信设备制造业方面，经过十几年的努力，特别是“九五”以来的发展，光通信设备制造取得了长足进步，形成了比较完整的光纤通信产业。目前国内市场所需的光通信产品80%以上实现了本地化生产，在满足国内通信市场需求的同时，部分产品还进入了国际市场。以华为、中兴通讯、上海贝尔、烽火、大唐为代表的中国现代通信设备制造商，致力于生产制造具有世界先进水平的光通信产品，提供光网络的全面解决方案。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

- 光网络建设发展历程
  - 我国从80年代开始在市话中继上采用光纤通信系统
  - “八五”、“九五”期间的超常规快速发展
  - 1998年建成“八纵八横”长途骨干网，使我国光纤网络规模跃居世界前列；
- 我国通信网中所采用的光纤通信传输系统的技术水平与先进国家基本同步
- 我国的光传输网建设将逐步由干线为主向以本地网和接入网为主转移

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国光纤通信发展历程

- 我国光纤通信技术的未来发展
  - 高速长距离光传输技术
  - 宽带光接入技术
  - 节点光交换技术
  - 智能光联网技术

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国主流光通信公司——烽火科技（1 / 3）

- 烽火科技（原 武汉邮电科学研究院）
  - 中国光通信发源地
    - ✓ 始终陪伴着中国光通信一步一步向前发展：从中国最早的光纤和光缆，到最早的PDH光传输工程应用，开启了中国的光通信元年。
- 国内唯一集光通信三大领域（通信系统、光纤光缆、光电器件）的研究、开发、生产和销售于一体的科研与产业实体。
- 拥有
  - 国家光纤通信技术工程研究中心
  - 国家光电子工艺中心
  - 国家高新技术研究发展计划成果产业化基地
  - 亚太电信联盟培训中心
  - 国家创新型试点企业

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国主流光通信公司——烽火科技（2 / 3）

- 中国工程院院士、“中国光谷”首席科学家——赵梓森
  - 1932.2.4--；光纤通信专家；广东省中山市人；1953年毕业于上海交大。国家光纤通信技术工程研究中心技术委员会主任、武汉邮电科学研究院高级技术顾问、邮电部科技委委员。

- 我国光纤通信公认的开拓者之一：
  - 早在1973年建议开展光纤通信技术的研究，并提出正确的技术路线，参与起草了我国“六五”、“七五”、“八五”、“九五”光纤通信攻关计划，为我国光纤通信发展少走弯路起了决定性作用。
  - 在70年代末，组织研制生产出我国的首批实用化的光纤光缆和设备：
    - ✓ 作为技术负责人、总体设计人，先后完成了我国第一条实用化8Mb/s、34Mb/s和140Mb/s等6项国家、邮电部光缆通信重点工程，其中有3项工程获国家科技进步奖二等奖。
  - 在90年代，领导开发的光纤通信产品大面积推广应用，取得显著经济效益。
- 1997年被IEEE选为Fellow会士荣誉称号。1995年当选为中国工程院院士

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国主流光通信公司——烽火科技（3 / 3）

赵梓森院士，1979年拉制出来中国第一根具有**实用价值**，每公里衰耗只有**4dB**的光纤。1982年，赵梓森和同事们一道又研制、设计、安装并开通了**8Mbit/s**光缆市话通信工程。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国主流光通信公司——中兴通讯

- 中兴通讯
  - 国有民营的成功典范
- 中兴通讯——总裁 侯为贵
  - 入选2003年“中国信息产业十大年度经济人物”。
- 相关信息
  - 1985年，成立
  - 1997年，A股在深圳证券交易所上市
  - 2008年，营业务收入442.9亿元
  - 在美国、印度、瑞典及国内设立了16个研究中心
  - 公司员工近5万人（08年数据）
  - 产品涵盖无线、有线、业务和终端四大产品领域
  - 为全球140多个国家的500多家运营商提供优质的、高性价比的产品与服务。
  - 2008年进入通讯行业世界前列，成为世界级企业；2015年成为世界级卓越企业。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国主流光通信公司——华为技术（1 / 2）

- 华为技术
  - 民营科技公司；中国通信业骄傲
- 华为技术——总裁 任正非
  - 1988 成立于中国深圳
  - 员工规模：87000名（10年数据）

- 业务领域
  - 全球领先的电信解决方案供应商
  - 业务涵盖了移动、宽带、IP、光网络、电信增值业务和终端等领域
  - 产品和解决方案已经应用于全球100多个国家，服务全球运营商50强中的45家及全球1/3的人口。
- 经营业绩
  - 2009 华为实现合同销售额302亿美元；全年收入215亿美元，市场占有率接近20%
  - 根据Dell‘Oro报告，华为超越阿一朗 和 诺—西，成为全球第二大通信设备商

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国主流光通信公司——华为技术（2 / 2）

- 全球运营
  - 在海外设立了22个地区部，100多个分支机构；
  - 在美国、印度、瑞典、俄罗斯及中国等地设立17个研究所
  - 在全球设立了36个培训中心，培养当地技术人员，推行员工本地化
- 研究开发
  - 在瑞典斯德哥尔摩、美国达拉斯及硅谷、印度班加罗尔、俄罗斯莫斯科，以及中国的深圳、上海、北京、南京、西安、杭州、成都和武汉等地设立了研发机构，通过跨文化团队合作，实施全球异步研发战略；
- 标准与专利
  - 目前，华为已加入123个标准组织，如ITU、3GPP等，并在标准组织中担任148个职位
  - 目前， 华为向标准组织共提交文稿18,000多篇；累计申请专利42,543件；
  - 2008年PCT(专利合作条约)显示：华为跃升为全球递交申请最多的公司（1737件），
  - 华为入选中国世界纪录协会2009年世界申请专利最多的公司

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国科学院 院士：张煦

张煦 教授

- 信息与通信系统专家。 1913年11月出生。江苏无锡人。
- 1934年毕业于上海交通大学。
- 1940年获美国哈佛大学科学博士学位。
- 1980年当选为中国科学院院士（学部委员）。
- 上海交通大学电子信息与电气工程学院 教授、博士生导师；
- 我国早年参加通信建设的著名教授之一。
- 在我国通信建设的历史转折阶段起了带头和推动作用。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国科学院 院士：叶培大

- 叶培大 教授
  - 我国和国际著名微波与光纤通信科学家，中国科学院资深院士，北京邮电大学名誉校长。 1915 年出身于上海市南汇县； 1938 年毕业于天津北洋大学； 1945 － 1946 年在美国哥伦比亚大学研究院就读； 1955 年从天津大学调入北京邮电学院，历任北邮无线系教授及系主任、院长助理、副院长、院长、名誉院长、名誉校长至今，已执教整整 60多年。
- 主要贡献
  - 主持设计、安装和测试了我国第一部100千瓦大功率广播发射机、当时全国最大的菱形天线网及南京淮海路广播大厦，为恢复我国大型广播发射台、天安门广播系统等做出了贡献。
  - 开展了微波圆波导H01 通信的研究，并率先开展了大气光通信的研究工作。
  - 在国内首次研制出微波波导校相器和直接耦合滤波器等，
  - 设计了120路数字微波通信系统。
  - 1976年以来，主要从事光纤通信技术的研究工作，在相干光纤通信系统、光纤通信系统中的极化噪声、模分配噪声、光纤非线性等方面取得了一系列成果。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国科学院 院士：黄宏嘉（1 / 2）

黄宏嘉 教授

- 微波和光波导学家，湖南临澧人。
- 1944年毕业于西南联合大学。
- 1948年获美国密执安大学硕士学位，1991年被授予名誉科学博士学位。
- 1980当选为中国科学院院士(学部委员)。
- 1989年应聘为美国麻省理工学院电磁科学院院士。
- 上海科学技术大学（现上海大学）教授、名誉校长。
- 在微波理论方面发展了耦合波理论，领导研究组于1980年在我国首次研制成功单模光纤。
- 1981年美国纽约理工（原布鲁克林）学院出版了他的《耦合模与非理想波导》论文选集。
- 1984年，荷兰科学出版社出版了他的专著《耦合模理论》。
- 1990年以来获美国发明专利3项及中国发明专利多项。
- 专著“非常不规则纤维光学的微波方法”于1997年由John Wiley & Sons 出版。

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国科学院 院士：黄宏嘉（2 / 2）

上海大学（当时为上海科学技术大学）名誉校长黄宏嘉院士为带头人的研究团队于七十年代末在我国首先研制成第一根**单模光纤**。

其后在**30km**单模光纤传输线上首先进行**400Mbit**，**1.31um**光信号传输实验获得成功。获国家自然科学奖二等奖。

科研人员在黄宏嘉院士带领下研究特种光纤拉丝工艺技术

All rights reserved © 2010, Shanghai University

中国科学院 院士：简水生

- 简水生 教授
  - 光纤通信和电磁兼容专家。江西萍乡人。1953年毕业于北京铁道学院电信系。北方交通大学光波技术研究所所长、教授
  - 建立了JN和IK函数，丰富了Bessel函数理论，
  - 研制成功：
    - ✓ 我国第一根偏振保持单模光纤；
    - ✓ 三万至三十万象素石英传像光纤；
    - ✓ 双窗口双零色散光纤；
    - ✓ 动态单纵模激光器；
    - ✓ 异型钢丝超强型束管式光缆系列。
  - 目前正在从事的国家重大课题有：
    - ✓ 利用漏泄波导综合光缆和光纤陀螺实现高速铁路列车实时追踪系统的研究；
    - ✓ OTDM光孤子通信关键技术的研究；
    - ✓ 光纤光栅色散补偿的研究。
- 1995年当选为中国科学院院士

All rights reserved © 2010, Shanghai University

创 新 宽 带 生 活

Thank U!

http://www.shu.edu.cn

All rights reserved © 2010, Shanghai University