

2008

光纤通信

信息集锦

0150110



A COLLECTION OF INFORMATION ON OPTICAL FIBER COMMUNICATIONS

上海科学技术文献出版社

光纤通信信息集锦

A COLLECTION OF INFORMATION ON OPTICAL FIBER COMMUNICATIONS

• 2008 年版 •

主编 韩馥儿

上海科学技术文献出版社

图书在版编目(CIP)数据

光纤通信信息集锦 / 《光纤通信信息集锦》编写组编.
上海: 上海科学技术文献出版社, 2008.10
ISBN 978-7-5439-3683-6
I.光... II.光... III.光纤通信 IV.TN929.11
中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第149348号

责任编辑: 陈云珍

光纤通信信息集锦

《光纤通信信息集锦》编写组 编

*

上海科学技术文献出版社出版发行
(上海市武康路2号 邮政编码 200031)

全国新华书店经销

昆山市亭林印刷有限责任公司印刷

*

开本 889 × 1194 1/16 插页 8 印张 23 字数 475 000

2008年10月第1版 2008年10月第1次印刷

ISBN 978-7-5439-3683-6

定价: 300.00 元

<http://www.sstlp.com>

前 言

光纤通信是人类通信史上最重大的革命性发展,光纤通信在构筑现代化通信网络方面居于无可替代的主导地位,光纤通信技术及产业的发展标志着一个国家基础信息材料的水平和实力,它已成为国民经济增长不可或缺的动力。

2007年全球光纤通信市场走出低谷全面复苏,这一年全球光纤光缆产销突破1亿芯公里,超过了“电信泡沫时期”的高峰年份2001年的9 700万芯公里,这就标志了电信泡沫破灭之后的一段低谷时期的结束。

2007年中国光纤光缆产销达到3 500万芯公里左右,不仅创中国历史新高,而且首次超过美国跃居位全球光纤光缆产销第一大国。

光纤通信市场从萧条走向复苏乃至繁荣的驱动力,来自于技术进步和市场需求。从技术进步看,光纤通信最大优越性就是具有几乎用不尽的带宽资源,自光纤问世以来,科学家一直在为挖掘光纤用之不尽的带宽资源不遗余力。预制棒是制造光纤的核心技术,目前,国际上已有APVD、PCVD、MCVD、DVD、VAD等工艺技术,其中制造单模光纤方面,VAD份额最大,超过50%,在多模光纤方面,以PCVD的份额最大,达到38%,其次是MCVD占33%。使管内法占绝对优势。同时在探索预制棒新技术方面。国际上已在研究用无氟工艺制造预制棒用OVD工艺实现纳米结构预制棒,用铝替代锗做单模光纤芯掺杂剂,以及用MCVD-闪蒸法制造稀土光纤预制棒等等,随着这些新技术,新工艺的突破,光纤的性价比将大幅度提高,此外。目前国际上与光纤光缆相关技术的发展也十分迅速,反映在光纤的参数不断优化,各种新型光纤不断涌现,光缆新材料和新工艺的出现促进了光缆结构的改进,光器件技术以及新的布线和施工工艺,如抗弯曲高强度光纤,新型室外用光缆、冷接技术、微管气吹光缆布放工艺等。近年来随着光纤接入的大量使用对光纤配线提出了很高的要求,出现了高密度配线架(端口数可为普通配线架的四倍),光纤数字综合配线架以及智能型光纤配线架。随着技术进步,进一步提高光纤通信传输速率已成为可能。要提高传输速率一是通过提高单通道的传输速率;二是通过增加传输通道数。目前应用DWDM技术单通道速率以10千兆比特/秒为主流,通道数(波长数)最多可支持160路。为增加单通道传输速率,40千兆比特/秒已实现商用化。据报导,中国电信已于2007年9月在南京至杭州的干线上成功地进行进行了40千兆比特/秒的传输试验。美国Vortzon公司于2007年3月宣布将从纽约至华盛顿的光网络上从现有的10千兆比特/秒升级至40千兆比特/秒,今后将逐步向全国扩展。

从市场需求看,由于光纤通信具有带宽无限,远距离传输能力强等一系列优越性,

已成为当前电信网的主要组网技术,从接入网,城域网到骨干网,光纤通信都是组网的核心技术。目前,由PON技术实现FTTH到采用PDH/SDH/MSTP技术作为城域网传输技术,再到骨干网采用DWDM技术等等。特别是FTTH现已发展到“喷井”时代,就我国来讲,2007年是光纤接入网发展的转折期,光纤接入已从小规模试点步入到大规模推广阶段。其中,武汉电信、北京网通等投入的建设规模都数以万计,武汉、广东、安徽、浙江、北京等地的光纤接入速度也异常迅猛。此外,2007年全球海澄通信市场的发展十分迅速,新项目有20多个,新建海缆系统长度近10万公里,新一代海底光缆系统无论是技术层次、网络结构、建设规模还是投资方式都发生了巨大变化。

展望未来,随着信息化社会加速发展,人们对带宽的需求日益提高,宽带超过窄带、数据超过语音,导致“光进铜退”不可抗拒的潮流。据中国电信预测。在未来5年之内,带宽将以每年50%以上的速度增长,到2010年,干线带宽流量将达到50京兆比特/秒以上,由此可见,光网络速改将面临新的大发展机遇。同时,随着微电子技术、计算机技术、信息技术、无线技术、互联网技术、新一代网络以及新的传导和传感材料出现和发展,光纤通信技术具有无限广阔发展前景,光纤通信产业仍将是朝阳新兴产业。

2008年,备受通信业界关注的电信重组已尘埃落定,重组之后,无论是新移动(中国移动+中国铁通)、新电信(中国联通G网+中国网通)或是新联通(中国联通G网+中国网通)都将会重点投资宽带网络建设,无疑光网络极有可能成为重组后三大运营商投资建设的重点领域之一,这必将大大推动我国光纤通信市场的繁荣发展,同时促进我国光纤通信技术提升和产业升级。在这样的大好背景下,《光纤通信信息集锦》由上海科学技术文献出版社正式出版,无疑这必将会在我国光纤通信业界引起较强反响。《光纤通信信息集锦》是在上海市科委支持下于1996年创办的,每两年出版一本,是我国光纤通信界重要的信息交流平台。

《光纤通信信息集锦》2008年版本共设置院士视点、专家述评、博士论坛、国内外专利文献、国内外标准文献、国内外新产品等栏目。在《光纤通信信息集锦》2008年版本出版中,得到了上海网讯新材料股份公司、长飞光纤光缆(上海)有限公司、通鼎集团有限公司、上海邮迅通信发展有限公司、宁波一舟投资集团等单位的大力支持,在此谨向这些支持单位表示衷心的感谢!同时向为《光纤通信信息集锦》2008年版本出版题词祝贺的邬贺铨、黄宏嘉、张煦、童子鹏、徐至展、王启明、褚君浩、李乐明、干福喜等两院院士致以崇高的敬意!

《光纤通信信息集锦》编辑部

2008年8月

目 录

一、院士视点

1. 宽带化和流媒体化——光纤通信发展的机遇 郭贺铨 (3)
2. 高速、高响应、大饱和输出光电流1.55 μm 波段光电探测器的研究进展
..... 郭建川 左玉华 王启明 (6)
3. 光纤通信网络的生存性研究 虞红芳 李乐明 (13)
4. 光电子传感器发展概况 褚君浩 (18)

二、专家述评

1. 光纤的发展 于荣金 (29)
2. 光纤通信器件的新进展 陈益新 (33)
3. 气吹微缆和光纤系统技术及其市场发展 张雁翔 (44)
4. 塑料光纤正加快走向通信应用 王寿泰 (51)
5. 国内外光纤预制棒技术及产业发展动向 唐仁杰 (58)
6. 国内外光通信设备发展的水平动向 龙 泉 (67)
7. 我国 FTTx 发展水平动向 汪红霞 (76)
8. 我国光纤通信在下一代电信网的应用和趋势 应启亮 朱一波 孙 雷 (84)
9. G.657 光纤发展水平动向 冯高锋 卢卫民 张立永 (93)

三、博士论坛

1. FTTH 光纤光缆技术发展概述 王建伟 (103)
2. 移动光传送网的发展趋势 雷建设 (114)
3. 国内外特种光纤发展动向 王廷云 (122)
4. 中红外光电子器件及其应用 张永刚 李爱珍 (131)
5. 光传送网技术及设备市场发展趋势探讨 黄 峰 (136)
6. 适应光传送网新需求的 ROADM 技术 丁 浩 (144)

四、市场动向

1. 国际光纤通信市场动向分析 边福海 (151)

五、国内外专利文献 张佩蓉 王国萍 (163)

1. 光纤专利 (165)
2. 光缆专利 (174)

3. 光电子器件专利	(262)
4. 系统设备专利	(296)
5. 光纤传感器专利	(304)
 六、国内外标准文献	王国萍 林振荣 (307)
1. 光纤标准	(309)
2. 光缆标准	(324)
3. 光电子器件标准	(329)
 七、国内外新产品	张洪森 应志君 (333)
1. 光纤	(335)
2. 光缆	(336)
3. 无源器件	(340)
4. 有源器件	(344)
5. 系统设备	(349)
6. 测试仪器	(352)
 八、国家级重点新产品	孙继光 (357)
 九、理事单位介绍	(361)

Contents

A Viewpoint of Academicians

1. Trend of Broadband and Streaming Media - The Opportunity of Evolution for Optic Fiber Communication *Wu He-Quan* (3)
2. The Research Evolution for OE Detector at 1.55 μ m Band to Get High Speed, Fast Responsibility and Highly Saturated OE Current Output *Guo Jian-Chuan, Zuo Yu-Hua, Wang Qi-Ming* (6)
3. Existence for Optic Fiber Communication Network. *Yu Hong-Fang, Li Le-Ming* (13)
4. Evolution General Development Situation for OE Sensor *Chu Jun-Hao* (18)

B Commentary of Specialists

1. Development of Optics Fiber *Yu Rong-Jin* (29)
2. New Evolution of Optic Fiber Communication Device *Chen Yi-Xin* (33)
3. Technology and Market Development for Air-blowing Micro-cable and Optical Fiber System *Zhang Yan-xiang* (44)
4. Fast Stepping to Communication Application for Plastic Optic Fiber *Wang Shou-Tai* (51)
5. Technology and Industry Developing Trends for Optic Fiber Preform in the World. *Tang Ren-Jie* (58)
6. The Developing Trends of Optic Fiber Communication Device in the World. *Long Quan* (67)
7. The Developing Trends of Chinese FTTx Technology. *Wang Hong-Xia* (76)
8. The Application and Trends of Optic Fiber Communication for Chinese Next Telecommunication Network Generation *Ying Qi-Liang, Zhu Yi-Bo, Sun Lei* (84)
9. The Developing Trends of G.657 Optic Fiber. *Feng Gao-Feng, Lu Wei-Min, Zhang Li-Yong* (93)

C Doctor's Forum

1. Brief Description of Technology Development of FTTH Optic Fiber Cable *Wang Jian-Wei* (103)
2. Development Trends of Mobile Optic Fiber Transmission Network. *Lei Jian-She* (114)
3. Development Trends of Special Optic Fiber in the World *Wang Ting-Yun* (122)
4. Middle Infra-red OE Device and its Application. *Zhang Yong-Gang, Li Ai-Zhen* (131)
5. Discussion of Development Trends for Technology and Equipment Marke of Optic Fiber Communication Network. *Huang Feng* (136)

6. ROADM Technology to Meet the New Needs of Optic Fiber Communication Network	<i>Ding Hao</i> (144)
--	-----------------------

D Market Trends

1. International Market Trends Analysis of Optic Fiber Communication.	<i>Bian Fu-Hai</i> (151)
--	--------------------------

E Patent Literature in the World *Zhang Pei-Rong, Wang Guo-Ping* (163)

1. Patent of Optic Fiber	(165)
2. Patent of Optic Fiber Cable	(174)
3. Patent of OE Device	(262)
4. Patent of System Equipment	(296)
5. Patent of Optic Fiber Sensor	(304)

F Literature of Standard in the World *Wang Guo-Ping, Lin Zhen-Rong* (307)

1. Standard of Optic Fiber	(309)
2. Standard of Optic Fiber Cable	(324)
3. Standard of OE Device	(329)

G New Products in the World *Zhang Hong-Sen, Ying Zhi-Jun* (333)

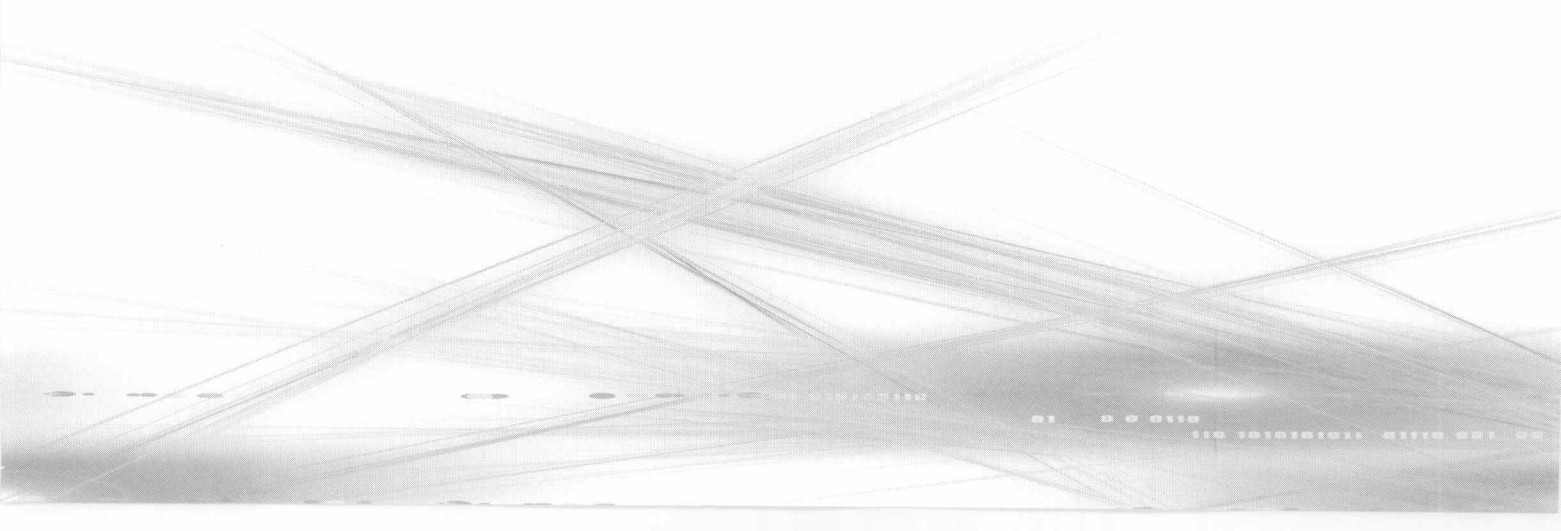
1. Optical Fiber	(335)
2. Optical Fiber Cable	(336)
3. Passive Device	(340)
4. Active Device	(344)
5. System Equipment	(349)
6. Measuring Tester.	(352)

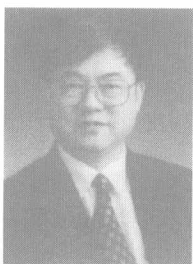
H National Key New Products *Sun Ji-Guang* (357)

I Introduction to the Association Members (361)

1

院士视点





宽带化与流媒体化——光纤通信发展的机遇

邬贺铨 中国工程院副院长 教授

摘要：宽带化为流媒体提供了可能性，而流媒体化进一步推动宽带的需求。本文主要从互联网发展，特别是伴随网上视频业务浏览和下载而发展起来的P2P(Peer to peer)以及移动通信，光纤传感器等等的发展需求，为光纤通信提供了进一步发展机遇。并论述了光纤通信在信息化带动工业化中能够起重要作用，在构建和谐社会和资源节约环境友好社会中也有用武之地。

关键词： 光纤通信 宽带化 流媒体化 互联网 P2P

10年前中国的互联网普及率仅为0.05%，而2007年底已近16%，增加了320倍，目前我国国内干线带宽大约3%用于话音，97%用于互联网，中国互联网国际干线带宽10年增加近2万倍，2007年就比2006年增加了43.7%。其中重要原因是宽带化，到2007年底中国的宽带接入用户数占互联网用户数的3/4，较2006年同期的注册宽带用户数增加了28%。尽管如此，我国互联网的普及率在全球仅排在65名之后，与首位的荷兰的88.9%相差五倍以上。2007年我国每百人的宽带用户数为3.85，宽带普及率在全球仅为第48位。我国每万人拥有的互联网国际干线带宽仅为1.94Mbps（每网民拥有1.212kbps），全球位列第59位，第一位丹麦为349Mbps（普及率58.23%，每网民有59.9kbps，为我国的49倍），香港为第五位达到129.8Mbps（普及率52.97%，每网民有24.5kbps，为我国的20倍）。从上述数字看，我国互联网发展很快，但相对于发达国家仍有很大差距，也可以说未来的发展空间很大。

宽带化为流媒体化提供了可能性，而流媒体化又进一步推动宽带化的需求。美国有资料预测目前网上流量80%~90%来自视频，并估计到2010年2.57亿美国人平均每人每月至少在线看一次电影，这一数字将较2006年增加45.8%。据CNNIC统计，2007年我国互联网用户中有40.5%和71.2%分别在线下载视频和音乐节目，这一比例比美国还要高。2007年美国YouTube网上的一个6分钟节目“Evolution of Dance”被下载了5400万次，产生的流量比2000年全球互联网一个月的流量还要多。1996年跨过美国互联网主要的连接的流量为1500TByte/月，2006年上升为700000TByte/月，增加了466

倍。日本互联网主要干线流量在过去的10年将近增加了1000倍，照此下去，到2020年交换机容量将需从现在的Tbps到Pbps，核心网传输链路容量将从现在的10Gbps到10Tbps，接入网将从现在的10Mbps到10Gbps。美国Cisco公司刊物载文预测，到2010年一个美国典型家庭每月将产生1.1TByte流量，20户家庭产生的流量将多于1995年整个Internet骨干网的流量。注意到未来的网上视频节目将高清化，而高清视频节目所耗的带宽为普通Web页的3.5万倍，带宽的需求还将进一步增加。在中国，广电运营部门钟情于有线数字电视的整体转换，它比模拟电视具有更多频道容量，但节目内容仍有待丰富，未能达到预期的普及率。电信运营商则看好IPTV，其交互性既给用户带来丰富的应用也给运营商增值。目前由于“三网融合”的体制问题没有解决，电信与广电监管体制的分离和监管法律的滞后限制了三网融合的推进，在IPTV上传送广播电视节目举步维艰。有些电信运营商已认识到在内容上如果IPTV与传统广播电视节目相比创新不多，仅靠交互性仍不足以打开局面，注意到互联网上如YouTube和社区网站人气上升，用户产生内容(UCC)将对广电部门播送的视频节目有所补充，其短小精干和及时性受到网络用户的喜爱，当然其内容需要管理。受此启发，IPTV也可以从网络社区用户需求入手，挖掘网络的丰富内容，例如教育、卫生和科技知识等，满足个性化需求。IPTV需要在可管理的IP网上传送，现有的互联网需要改造以适应QOS和对用户和节目管理的需要。虽然目前IPTV用户在我国还只是百万用户量级，但其发展潜力不可低估，这对光纤通信特别是FTTC/FTTB等有很大的推动力。中国城镇人口居住密集，有利于FTTC/FTTB的部署，系统成本有望在近年可与ADSL竞争，预期我国的光纤宽带接入将有一个大发展。

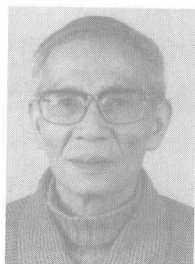
伴随着网上视频业务浏览和下载而发展起来的P2P (Peer to Peer)使流媒体业务的推广如虎添翼，对光纤传送容量是压力更是难得的市场机遇，但对电信运营商是严峻的挑战。2007年美国AT&T的IP骨干网上的P2P流量已与Web/HTTP相当，且远超过了其他的应用。根据中国电信公司在2006年底的调查数据，P2P业务已成为消耗干线带宽的主要应用，无论是在国际干线的出入口或运营商网间还是城域网与骨干网间，P2P业务已占带宽40~60%，在晚上甚至达到90%。以视频流媒体业务为主的P2P应用挤占了对运营商更有价值的电话业务特别是大客户业务的带宽，降低了服务质量(QOS)，网络扩容赶不上P2P发展的速度。目前中国的固网电信运营商平价包月的宽带商业模式无法限制P2P业务的使用，接入带宽的扩容将使干线带宽面临更大压力，却不能有相应的投资回报。已经提出的一些优化P2P路由的方法还需要付出增加网络复杂性的代价，效果仍然不够理想。中国电信采用建设第二个互联网(CN2)的方法来承载VPN和其他对QOS敏感的客户业务，新建CN2互联网具备支持IPv6和IPv4能力，采用IP和MPLS两种协议分别用于承载非VPN用户和VPN用户的业务，CN2在边缘路由器实现业务提供和安全控制，按照业务质量要求分类限流量，核心网仅提供交换与转发，以这种方式

来保证对 VPN 的服务，以 MPLS 实现对不同等级业务的分类管理，原有的互联网用于承载一般的用户。第二个互联网的建设为光通信传输系统带来了很大的市场。

值得一提的是移动通信的发展也是光纤通信发展的机遇。2007年中国的移动用户中有27.8%使用移动分组数据业务，随着3G业务的开展移动互联网用户数还将迅速增加。在我国的大城市随着移动通信用户数和业务量的增加，移动通信蜂窝半径需要缩小，为避免相互干扰需要降低基站发射功率，但穿透能力也同时变弱，原来无需室内覆盖的很多楼房也需要安装室内覆盖系统，这为光纤直放站等应用扩展了市场。TD-SCDMA 试验促进了光纤拉远基站的使用，基站的射频部分尽可能靠近天线，然后用光纤连到基站，从而代替了馈线电缆。这种方式不仅简化了安装施工，节约成本，而且降低了对基站的空调要求，在国外 3G 工程中也把这种方式作为绿色基站加以推广。这种方式可以看成是光纤进入了基站。

注意到节能减排、环境监测和灾害监视以及工业应用需要大量传感器，传感的大量数据特别是图像需要用通信手段例如光纤传送，对光纤传感器而言更适合使用光纤传送传感信息。总之光纤通信在信息化带动工业化中能够起重要作用，在构建和谐社会和资源节约环境友好社会中也有用武之地。

网络进入到 IP 化、宽带化、流媒体化、移动化时代，为光纤通信提供了很大的发展空间，也对光纤通信的技术发展带来了挑战，市场和技术呼吁“三网融合”。



王启明 院士

高速、高响应、大饱和输出光电流 1.55 μm 波段光电探测器的研究进展

王启明 中国科学院院士 研究员

郭剑川 中国科学院半导体研究所 博士

左玉华 中国科学院半导体研究所 博士

摘要：微波光子学充分结合了微波电子学和光子学的优势，是未来微波技术和光子技术的重要发展方向。光电探测器是微波光子系统特别是ROF系统中的关键部件，主要的性能指标包括高速、高响应和大饱和输出光电流。本文论述了光电探测器在微波ROF中的重要性，简单地介绍了限制大饱和输出光电流的物理机制，并且综述了该领域的研究进展。

关键词：大饱和输出光电流 高速 光电探测器 ROF 微波光子学

* 本文工作得到了国家重点基础研究计划（2006CB302802，2007CB613404），国家高技术研究发展计划（2006AA03Z415）项目的资助。

一、引言

随着光子学和超快光学的快速发展和逐步走向成熟，它们与微波电子学结合形成了一门新兴的交叉学科：微波光子学。微波光子学的主要研究方向包括了工作在微波或是毫米波甚至是T赫兹波段的光子器件的工作特性。它的一些主要应用领域涉及到超快信号测量、高速微波信号产生、高速信号处理和转换以及光载微波无线通信（Radio Over Fiber, ROF）等。

ROF是微波光子学中最具有使用价值和广阔应用市场的技术。它的应用范围涉及到CATV、光控相控阵雷达^[1]和60GHz频段无线局域网等，频率范围包括了从几百兆赫兹的微波信号到60GHz以上的毫米波信号。其中，ROF已经在CATV被广泛使用；世界上很多国家在光控相控阵雷达也投入了巨大的人力物力进行相关的器件和系统研究；而60GHz频段无线局域网是下一代高速无线网络的最大热点之一。

光电探测器是光通信系统、光测量系统和光采样系统中必不可少的器件之一，也是光接收机中核心器件^[2]。光通信系统经过几十年的发展以其相对于电缆系统优异的性能已经成功占领了骨干网和接入网的绝大部分。目前，光通信正继续向着高速、大容量、

宽带、长距离、低成本方向迅速迈进。

ROF 在性能需求和设计上都已经不同于普通的光通信网络,因此,ROF 系统对其核心器件光电探测器在性能上也提出了更高的要求。

1. 高性能光电探测器的基本特性要求

1) 高速特性

ROF 系统中的电学调制信号频率一般都在 GHz 以上,甚至能达到 100GHz。普通的 CATV 的一般工作在几百兆赫兹范围内,光控相控阵雷达一般为 10GHz 左右,而 60GHz 频段无线局域网的主频则高达 60GHz。因此,高速是光电探测器的基本性能,3dB 电学带宽大于 10GHz 的光电探测器也成为 ROF 系统的基本组件。

2) 大饱和输出光电流

ROF 系统特别是无线网络中的应用对微波信号的功率要求比较大,一般在发射终端都配备有电学的放大装置。随着电磁波频率的逐步提高到 GHz,对电学放大装置提出了更高的要求:较宽的电学带宽下,必须保证高线性响应、大功率输出。高频电学放大电路和模块无论是在材料选取还是制作工艺上都较低频时增加了很大的难度,并且价格也相应地昂贵了许多。因此,高性价比的输出节点成为 ROF 系统大规模应用的关键因素。

在调制光信号的功率足够大时,如果高速光电探测器的动态范围非常大,它的输出电流尽可能大,那么就可以大大降低对后续电学放大模块的依存度,极大地降低了成本,并且也提高了整个系统的稳定性。理想情况下,如果光电探测器输出的光电流达到完全可以满足后续电学功能模块(如时钟判决电路等)的要求,那么就可以直接省去电学放大模块和为之配备的电源部分,从而进一步降低了系统的复杂度。

由此可见,高速、高饱和功率、大饱和输出光电流的光电探测器是实用化 ROF 系统中必不可少的器件。

二、影响高饱和功率、大饱和输出光电流光电探测器性能的主要物理机制

作为高速光通讯的基本组件,1.55 μm 波段光电探测器在过去的几十年里已经取得了很大的突破,3dB 带宽已经突破了 100GHz,完全满足了现今光通信网络的各个层次的需求。而在 ROF 中,高频已经不仅是唯一的指标,高线性、高饱和功率、大饱和输出光电流、大动态范围成为 ROF 系统的主要性能指标。到目前为止,随着激光器和调制器性能的大幅提高,光电探测器成为制约微波光互连系统提高压缩动态范围和信噪比的瓶颈。

限制光电探测器饱和输出光电流的物理机制有很多,其中最重要的是空间电荷屏蔽效应^[3]、串联电阻分压作用^[4]和热效应^[5]。光电探测器在大功率、大电流的工作状态不同于小信号时的工作状态。大电流情况时,空间电荷区内载流子浓度很大,引起了该区内电场强度的重新分布,即空间电荷区内的电场强度会随着输入光功率和输出光电流发生变化。载流子(电子和空穴)的漂移速度与电场强度的关系是非线性的,当输入光

功率达到一定值后,空间电荷屏蔽效应会非常强烈,极大地削弱了外加电压的作用,从而使得输出光电流会出现饱和。当输出光电流大于50mA时,串联电阻在整个回路中的分压作用将会逐步体现^[6],降低了光电二极管中耗尽区的电场强度,导致输出光电流出现饱和现象。热效应对所有器件都是非常重要的,它是器件长期稳定工作的关键因素。光电探测器工作时,为了降低空间电荷效应和串联电阻的分压作用,并且尽量获得大的输出电压动态范围,一般会给光电探测器外加比较大的直流偏置电压。大的偏置电压会增大耗尽区的电场强度,同时也会增大暗电流和焦耳热。焦耳热会升高器件温度,器件温度升高会导致暗电流加大,从而产生更大的焦耳热。当焦耳热足够大时,器件会出现热失效。

除了上面的三种主要物理机制外,光电探测器还存在一些其它限制饱和电流的潜在物理机制^[7],包括扩散常数与电场强度有关,载流子的非线性复合、非线性电容、非线性吸收、载流子散射、陷阱作用、异质结界面的渡越问题等等。

三、高速、大饱和输出光电流 1.55 μm 波段光电探测器的国内外研究进展

1. InP 基 InGaAs 光电探测器的研究进展

因为InGaAs/InP材料体系与InP晶格匹配,In_{0.53}Ga_{0.47}As吸收带隙扩展到1.67 μm 包括了光通讯1310nm、S、C、L多个波段,所以该体系在光通信领域被广泛运用。现在主要的探测器模块都是采用的InGaAs/InP材料。

传统的InP基InGaAs光电探测器一般是pin型的。UTC (uni-traveling-carrier) 型和PDA (partially depleted absorber) 型光电探测器在电学结构上对pin型探测器进行了改进,获得了更高的饱和输出光电流。

按光入射方式,探测器可以分为面入射光电探测器和边耦合光电探测器。

1) 面入射光电探测器

土耳其 Ibrahim Kimukin 制作的 pin 型光电探测器的 3dB 带宽达到了 31GHz,带宽转换效率积也达到了 20GHz,饱和输出光电流突破了 5mA^[8]。美国田纳西州大学奥斯丁分校的 Ning Li 采用 UTC 结构研制成功了带宽大于 30GHz 的光电探测器,台面尺寸为 16 μm 时,带宽大于 30GHz,饱和输出光电流大于 80mA,30GHz 的射频输出功率达到了 18dBm^[9]。为了增加基底导热性能,她们通过 Au 键合的方式将 InGaAs 有源区键合到了 Si 衬底上,同样实现了高速、大饱和光电流输出,20 μm 直径的光电二极管的峰值响应度达到了 1A/W,3dB 带宽为 18GHz,大信号饱和输出光电流达到了 50mA^[10]。

同为奥斯丁分校的 Xiaowei Li 采用 PDA 结构取代了通用的 UTC 结构^[6,11]。该器件正入射时,1GHz 和 10GHz 的饱和输出光电流分别为 23mA 和 24mA;背入射时,1GHz 和 10GHz 的饱和输出光电流分别可以达到 76mA 和 160mA,300MHz 时甚至可以超过 400mA。法国的 M. Chtioui 采用 UTC 结构实现了 20GHz 时 70mA 的饱和输出光电流