

期发展阶段。目前,这一阶段任务还没有很好实现。

第二步,实现同类光学元器件的组合化、列阵化(列阵元器件),以适应光学元器件进一步微型化和光学并行性的需要。即以微透镜列阵器件的发展为标志的微小光学迅猛发展阶段。

第三步,实现不同类光学元器件的集成化、多功能化(光集成元器件),发展三维集成光学思想、理论和器件,大力开展微小光学在信息领域中的应用。可以预料,这一阶段将以三维光集成器件的发展和应用为主。

当前,要进一步丰富和发展阵列光学理论,不断改进和革新微小光学元器件制作工艺,采用新的、更先进的微加工方法,加速发展列阵光学元器件和提高分立光学元器件的质量,这是微小光学的基础工作。在此基础上,不断完善三维光集成器件的新构思,研制多种三维集成光学元器件,并在光通信、光信息处理和光计算技术中广泛应用。

总之,微小光学的总目标是实现光学元器件的微型化、轻量化、阵列化、集成化和多功能化。实现这一目标是一个长期过程,但在科技工作者的艰苦奋斗下,这一宏伟目标一定会实现。

[1] 伊贺健一,应用物理,55-7(1986),611; 西沢敏一, O. E., 88-2(1989),71.
[2] 刘德森,第五届全国纤维光学与集成光学学术讨论会,第四届光计算技术讨论会论文集,厦门,(1992),16.
[3] I. Kitano et al., Jpn Soc, Appl. Phys., 39(1970), 63.

[4] E. W. Marchand, Gradient Index Optics, Academic Press, New York, London, (1978).
[5] 刘德森等,纤维光学,科学出版社,(1987),152.
[6] M. Oikawa and, K. Iga, Appl. Opt., 21-6(1982), 1052.
[7] Y. Gao and Y. Qing, SPIE, 1230 (1990),65.
[8] 刘德森,高应俊,变折射率介质的物理基础,国防工业出版社,(1991),395.
[9] 刘德森等,高速摄影与光子学,19-3(1990),209.
[10] 刘德森,梅锁海,光学学报,12-6(1992),533.
[11] 朱传贵等,光子学报,21-4(1992),310.
[12] P. Langlois et al., SPIE, 1751 (1992),2.
[13] H. Hosokawa and T. Yamashita, Appl. Opt., 29 (34) (1990),5106.
[14] B. Wolf et al., SPIE, 1506 (1991),40.
[15] M. Kawachi, Opt and Quantum Elect., 22(1990), 931.
[16] Y. Koike et al., Appl. Opt., 27-3 (1988),486.
[17] 朱传贵等,第五届全国纤维光学与集成光学学术讨论会,第四届全国光计算技术讨论会论文集,厦门,(1992),391.
[18] 朱传贵等,光子学报,21-5(1992),175.
[19] M. Oilcawa et al., Appl. Opt., 22-3 (1983),411.
[20] K. Iga et al., Fundamentals of Microoptics, Academic Press, Orlando, (1984),195.
[21] Y. Kokubun et al., Elect. Lett., 21-11 (1985), 508.
[22] Y. X. Chen, Optoelectronics-Devices and Technologies, 5-1 (1990), 109.
[23] K. H. Brenner, SPIE, 1506 (1991),94.
[24] K. Imanaka, SPIE, 1571 (1992),343.
[25] N. Streibl et al., Appl. Opt., 30-19(1991),2739.
[26] A. W. Lohmann, S. Sinzinger, Appl. Opt., 31-26 (1992),5447.
[27] M. Oikawa et al., SPIE, 1571(1992),240.
[28] K. Hamanaka et al., Appl. Opt., 29-28(1990), 4064.
[29] M. Agu et al., Appl. Opt., 29-28(1990),4087.
[30] S. Kawai et al., SPIE, 1751(1992),255.
[31] K. Hamanaka, Opt. Lett., 16-16 (1991),1222.
[32] M. Fukui, K. I. Kitayama, Appl. Opt., 31-26 (1992), 5542.

环太平洋光纤通信进展

吴德明 李爱国

(北京大学无线电电子学系,区域光纤通信网与相干光纤通信国家实验室,北京 100871)

自从1989年第一个跨太平洋海底光缆通信系统 TPC-3 投入运营以来,环太平洋光纤通信网迅速发展。许多重要的新技术,如光纤放大器技术,色散位移光纤技术,光孤子通信技术和波分复用光纤通信技术,正在或将在通信网中应用。

环太平洋区域包括亚洲、南北美洲和澳洲, 有美国、日本、加拿大等经济大国、蓬勃发展的

中国及以亚洲四小龙为代表的新兴工业国家及地区。该区域是当前世界经济最活跃的地区。许多专家预言该区域将成为21世纪世界经济的中心。

随着政治、经济的发展,该区域对通信的需求越来越高。过去环太平洋的通信主要靠卫星通信和海底电缆通信。七、八十年代光纤通信的迅速发展给通信事业带来了革命性的变革。光纤通信有许多重要的优点,其中最突出的优点是它的巨大的通信容量。粗略地说,通信容量与载波频率成正比。卫星通信、同轴电缆通

信和陆上使用的微波中继通信所用的载波都在微波范围。在过去的年代里它们都发挥了巨大的作用,某些技术仍将继续发挥作用。但随着信息社会的到来,通信需求量迅猛增加,这些通信技术已经不能满足要求。70年代以来,随着激光器和光纤技术的突破,光纤通信开始进入迅速发展的阶段。由于光波频率比微波频率高4—5个量级,因而光纤通信可能具有无限宽广的通带,也即可能具有巨大的通信容量。

80年代后期,美国、日本和欧洲国家开始了跨洋海底光缆通信的建设。第一条跨大西洋

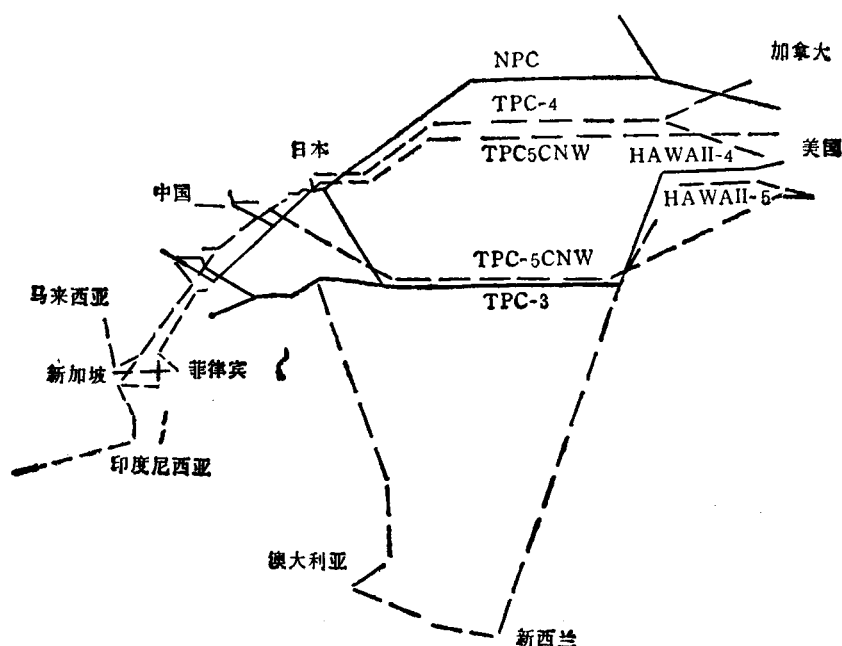


图1 环太平洋光纤通信网示意图

的海底光缆系统(TAT-8)于1988年开通。第一条跨太平洋的海底光缆系统(TPC-3和HAWAII-4)于1989年投入运营。从此开始了跨洋光纤通信的新时代^[1,2]。

图1表示了已经建成的和计划中的(包括正在建设的)环太平洋光纤通信干线分布图^[3]。其中第一条干线(即 TPC-3 和 HAWAII-4)的传输码率为 280Mb/s。特别值得提出的是当前正在规划并打算于 1996—1998 年完工的跨太平洋新干线 TPC-5(见图 1),它包括北方支线和南方支线。其传输码率高达 5Gb/s(约相当

于 120960 话路)。这是当今长途干线中使用的最高码率。北方支线全长 9000km,中间没有再生中继器(电中继器),全部用光纤放大器周期性地放大光信号。因而这也是实用化干线中无再生中继的最长传输距离。这一干线的开通将大大便利跨太平洋的通信,并将大大降低通信费用。

从图 1 还可以看到,除规划中的 TPC-5 外,环太平洋区域还有多条干线正在规划中。它们连结了这一区域的主要国家,其中有一支线在我国上海南汇上岸,使我国的通信系统与环

太平洋光纤通信网联结起来。这必将有助于我国的改革开放事业,推动我国国民经济的发展。

一、跨洋光纤通信技术的重要进展

在跨洋光纤通信系统的研究中,除了要解决必须的工艺技术问题(如水下密封、水下供电等问题)外,一个主要的目标是提高系统的通信容量。为此许多新技术正在或将要在跨洋光纤通信系统中应用。下面着重介绍几个主要的新技术。

1. 光纤放大器

现阶段所用的光纤放大器为掺铒光纤放大器(erbium doped fiber amplifier, 简写成 EDFA)。它工作于 $1.55\mu\text{m}$ 波段,正好是光纤的最低损耗波段。它的发展和成熟是近年来光纤通信研究中最重要进展。1987 年,首次报道

了 EDFA 的研究成果^[3]。但 EDFA 的初期研究工作中所用的泵浦源是染料激光器、Ar 离子激光器和色心激光器,体积庞大,不能实用化。1989 年,相继提出了用 $0.98\mu\text{m}$ 和 $1.48\mu\text{m}$ 半导体激光器作泵浦源^[4]。其后,EDFA 的研究迅速发展,1990 年就趋于成熟,并开始有商品出售。现在已有 EDFA 系列产品出售,并在一些光纤通信系统中应用。

光纤放大器的工作原理如图 2 所示。它在海下系统中的应用有两种情况:

(1) 跨洋光纤通信系统(如 TPC-5)中的应用 在干线中,特别是在高码率或波分复用系统中,使用光纤放大器具有很大的优点^[5,6]。过去的光纤通信系统中光信号传输一段距离后,由于衰减必须接一电再生中继器对信号放大整形。其原理如图 3 所示。这种中继器实际上包括了一个光接收机和一个光发射机,结构

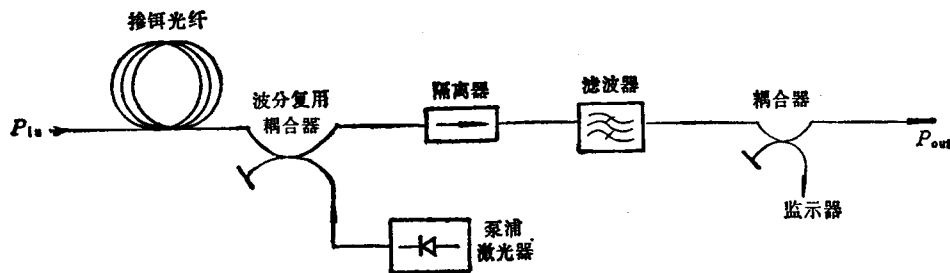


图 2 掺铒光纤放大器原理图



图 3 电再生中继器原理

比较复杂。由于有再生电路,对于不同码率和编码体制,需要有不同的中继器。对于高码率系统,中继器包括高速电子回路;对于波分复用系统,首先必须将各信道分开(分路),再分别连接中继器,然后将各信道合并(合路),送入光纤中传输,因而结构更为复杂。

应用光纤放大器作光中继器则不需要光电和电光转换,只需将光信号直接放大,即用一个光纤放大器代替图 3 中的中继器。由于其通带

足够宽,无论什么码率和体制都可直接应用;对应波分复用系统,各信道可以同时通过光纤放大器放大,不再需要分路和合路。这一特性通常称作“传输透明”。它不但大大简化了中继器,而且有利于系统升级,即无论码率提高,或体制变化,或应用波分复用技术增加信道数都可以不改变中继器,只需更换发射和接收端机即可。而原来的电再生中继器在上述变化下必须更换中继器。由于中继器随着海底光缆沉入水底,可

以想象更换海底中继器在工程上是多么困难。

(2) 岛屿之间无中继光通信 一般光纤通信系统的无中继(包括电中继和光中继)传输距离约为 50~100km。这一距离主要受发射机的输出功率和接收机的灵敏度的限制。若在光发射机输出处接一光纤放大器,用作光功率放大(booster),在接收机前端加一光纤放大器,用作光前置放大器(preamplifier),则可使无中继传输距离延长到 300~400km,实现近海岛屿之间的无中继通信,使系统大为简化,并便于维护和检修。

2. 高码率传输技术

提高通信容量的一个途径是提高传输码率。但提高传输码率使接收机灵敏度降低,高速电子电路制作困难,成本较高。这样码率的提高受到一定的限制。此外,特别严重的问题是光纤色散的影响。根据计算,对于普通单模光纤(其色散参量 $D = 18\text{ps}/\text{km} \cdot \text{nm}$),当码率达到 5Gb/s 时,无再生中继的距离仅为 10km 左右。对于 TPC-5 系统,无再生中继的距离应为 9000km 以上,因而利用普通单模光纤是不可能达到要求的。解决这一问题的途径有二:

(1) 利用零色散光纤

单模光纤的色散包括材料色散和波导色散(忽略极化色散),如图 4 所示。其总色散有一零色散点。普通光纤(单模)的零色散点在波长 $\lambda = 1.3\mu\text{m}$ 附近。但单模光纤损耗最小值在 $\lambda = 1.55\mu\text{m}$ 处。在此波长下,色散参量较大(如

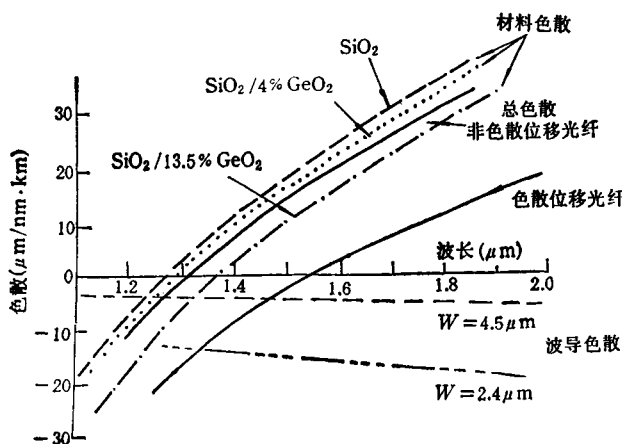


图 4 单模光纤的色散

上面给出的数据)。为了解决这一矛盾,已研制成功色散位移光纤^[5],即损耗最小值和零色散点都在 $\lambda = 1.55\mu\text{m}$ 处。在此波长下工作,光纤通信系统的无再生中继距离可大大加长,能够满足 TPC-5 系统的要求。

(2) 利用光孤子通信技术

在 TPC-5 系统设计的初期也有人建议利用光孤子通信技术克服色散限制。但最终选择的是零色散技术。但是当码率提高到 10Gb/s 以上时光孤子通信技术将可能是优选方案。对于光孤子通信技术作者有另一篇文章介绍^[6],这里不再评述。

3. 波分复用技术

提高单根光纤传输容量的另一有效措施是采用波分复用技术^[6]。

所谓波分复用(wavelength division multiplexing, 简写成 WDM)即在一根光纤中同时传输数个或十几个中心波长的光信号,它们通常被称为信道。每个信道的光信号可分别携带不同的信息,即分别调制不同的编码数据。这样,虽然每个信道的传输码率较低(因而色散影响较小),但单根光纤的总传输容量却很大(为各信道传输容量之和)。例如,TPC-5 建成后,如想再提高通信容量,一种办法是提高传输码率,从 5Gb/s 提高到 10Gb/s 或 20Gb/s。但由于前面讲过的原因,特别是光纤色散的限制,这一措施几乎不太可能实现。因为无再生中继的传输距离随着码率的平方下降。如果采用波分复用技术,在原有光纤中同时传输数个信道,例如四个信道,则单根光纤的总传输容量达到原来的四倍。由于采用光纤放大器作中继器,在采用波分复用技术时可以不更换中继器,而只要在发射端和接收端增加几个发射机和接收机。因而采用波分复用技术提高传输容量将不会有大的困难。这一技术已受到世界许多国家的重视^[9],成为光纤通信研究的热门课题之一,并将在跨洋光纤通信系统中应用。

环太平洋光纤通信系统正以飞快的速度发展,许多新技术正在或将要在这些系统中应用。在不久的将来,跨洋通信将更加轻而易举。

- [1] S. Akiba et al., Regular Papers of European Conference on Optical Communication, Paris, (1992), 719.
- [2] N. S. Bergano, Technical Digest of Optical Fiber Communication Conference, San Francisco, (1990), 55.
- [3] R. S. Meers et al., Technical Digest of Optical Fiber Communication Conference, Reno, (1987).
- [4] M. Nakazawa et al., *Electron. Lett.*, **25** (1989), 199.
- [5] H. Taga et al., Postdeadline Papers of Optical Fiber Communication Conference, San Jose, (1993), 9.
- [6] 汪自雄等, 高技术通讯, No. 8 (1992), 4.
- [7] John M. Senior, in *Optical Fiber Communications: Principles and Practice*, 2nd Ed., Prentice Hall, (1992), 131.
- [8] 吴德明, 科技与法律, No. 3 (1992), 63.
- [9] Ing. Giorgio Grasso, Regular Papers of European Conference on Optical Communication, Paris, (1992), 701.

创 T_c 最新纪录的汞系氧化物超导体

王劲松 蒋克寒 焦正宽 张其瑞

(浙江大学物理系, 杭州 310027)

HgBaCaCuO 超导体的发现创造了 T_c 的最新纪录。综述其晶体结构、电子结构和超导性质的基本特征, 讨论了它在高温超导的基础研究和应用发展中的重要作用和潜在价值。

关键词 汞系超导体, 临界温度, 超导相

Abstract

The discovery of Hg-based oxide superconductors brought about the breakthrough of T_c . In this paper, the basic characteristics of these materials, such as crystal structure, electronic structure and superconducting properties are reviewed. The authors stress that the Hg-based oxide superconductors may play an important role in basic research and show potential applications as high-temperature superconductors.

Key word Hg-based superconductors, critical temperature, superconducting phases

自1988年盛正直等发现了铊系氧化物超导体后, 超导临界温度 T_c 的最高纪录125K, 已保持了五年之久, 最近终因汞系超导体的新发现而再次刷新。瑞士学者 Schilling 等在1993年4月合成了 $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{8+\delta}$ (通常按阳离子称之为1223相), 获得了134K的超导转变温度^[1], 图1为其电阻在132.5K处急剧下降的阻温关系图。这一重大突破再次掀起了新的高温超导研究热潮。短短数月内, 在国际上, 包括我国, 中国科学院物理研究所等10多个小组已证实这一结果, 近百篇文章报道了与汞系有关的研究结果。其中最为突出的是由朱经武领导的美国休斯顿超导中心, 在汞的1223相的

高压测量中观察到150K以上的超导转变, 并且被日本东京的国际超导中心迅速确认。朱经武最新宣称, 已在高压下把 T_c 提高到164K, 这是迄今为止 T_c 的最高纪录。值得一提的是, 1911年昂内斯 (Onnes) 发现的历史上第一个超导体正是纯金属汞, 不过其 T_c 仅仅为4.16K。在古希腊神话中, 汞 (mercury) 的原意是信使, 取其跑得快的含义, 金属水银和行星水星都由此得名。前者在受热时“跑得很快”, 后者在九大行星中绕太阳转得最快。有趣的是, 在高温超导的 T_c 竞赛中, 汞系化合物在短短几个月内, 其 T_c 由最初的94K迅速提高到了160K以上, 成为“跑”在 T_c 最前列的超导体