

美国和日本光互连技术研究及其借鉴

吕惠琳

(广东省科技图书馆, 广州 510070)

摘要:光互连作为未来取代电互连加速计算机电路板间及芯片间数据传输能力和处理能力的一种互连方式,正受到世界各国的关注。美国和日本是全球光电子理论研究、技术研究以及成果产业化方面的领先国家。美国政府通过制定科学发展战略、建立产业协会等方式引导资本进入光电子领域,通过实施信息高速公路等一系列重大产业计划来推动光互连技术相关的光通讯技术的发展;日本政府较早地认识到光电产业在国际科技战略发展中的重要地位,通过成立光产业技术振兴协会整合企业和政府资源,将“光通信网络”的建设放在国家基础设施的首位。通过从产业政策、光互连项目开展及研发情况两方面介绍美国、日本的光互连技术开展情况,并总结其经验,以期为我国发展光互连技术研究提供参考。

关键词:美国;日本;光互连;光电子;光电产业

中图分类号: TN929.1-1(712 313) **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2015.02.006

光互连被认为是可能解决超型计算或巨型计算机内部互连网络性能瓶颈的关键技术,同时也是建立信息高速公路的基础之一^[1]。自1970年“光通信元年”至今,在长距离的通信领域,光纤通讯技术已是非常成熟,但是在甚短距离的互连领域,如芯片间互连,仍然存在巨大的光互连技术研究及市场应用需求需求。产业分析公司CIR 2013年发布的报告《光互连的收入机遇:市场和技术预测——2013到2020第二卷:芯片内与芯片间互连》显示^[2],芯片级光互连的目标市场收入最终可能突破数亿:到2019年,总收入可达近5.2亿美元;到2021年,总收入可持续增加至10亿美元。

基于光互连技术在光电产业中的重要战略意义,近年来,各国纷纷投入资源对光互连器件及其制造技术、光传输技术、光互连网络模型及结构、专用光互连网络的应用等进行研究^[3],其中,尤以美国和日本等国在该技术领域的研究中处于领先地

位。本文从产业政策、光互连项目开展及研发情况两方面,分别介绍了美国、日本的光互连研究开展情况,并总结其经验,以期为我国发展光互连技术研究提供参考。另外需要特别说明的是,由于光互连技术属于光通讯领域的范畴,因此,本文界定和光互连相关的产业政策主要是涉及光电子信息产业政策的相关内容。

1 美国光互连技术研究开展情况

1.1 产业政策

在发展战略方面,美国于1991年成立了“美国光电子产业振兴会”(OIDA),以引导资本和各方力量进入光电子领域。OIDA制定了美国发展光电子产业的5、10、15及20年规划。2000年,美国国家科学院等机构联合提出了“21世纪光学与光学工程”的研究报告,从信息技术与远距离通讯等7个方面全面阐述了光电子技术的发展现状及未来。

作者简介:吕惠琳(1985—),女,硕士,助理馆员,主要研究方向为文献计量学、专利分析。

基金项目:广东省科技图书馆馆长科研基金项目(JL2013TA03)

收稿日期:2014-11-13

在重大产业规划方面，20 世纪 90 年代开始，美国实施了信息高速公路等一系列电子信息产业规划，如，信息高速公路计划等，同时成立了若干个“光子学高技术中心”。

在产业化及市场方面，由于处于新兴阶段的光电子产业在产品成本和实用性等方面还存在一些问题，市场规模尚未形成，美国早期主要依赖政府采购和国防采购，这些为光电子技术的持续创新提供了必要资金支持和市场支持，也为后期民用市场的

发展奠定了基础。在这一阶段，美国开始注重国际合作，和日本共同开展联合光子计划，加强产业化应用。

1.2 光互连项目开展及研发情况

1.2.1 政府资助项目

基于提高光通信信息传递能力以满足军事应用和平台的需要，美国国防部高级研究计划局（DARPA）一直致力于推进芯片级光子器件的发展和光子集成电路技术的研究（见表 1 所示）^[4]。

表 1 美国国防部高级研究计划局（DARPA）光互连相关项目列表^[4]

计划	时间/年度	预算/百万美元	主要内容
模拟光信号过程	2002—2005	37	通过光模拟信号技术提升系统性能。
芯片间光互连（C2OI）	2003—2007	45	芯片间光连接技术，处理器之间高速连接。
芯片级 WDM	2002—2005	40	研发使用 WDM 和元件的下一代动态可重构网络。
光主导的数据网络	2002—2006	60	运用电子、光子和 MEMS 技术的超过 100 Tbps 的可扩展光学路由器的发展。
光学 CDMA	2003—2007	45	用于光学 CDMA 和网络架构的硬件改良。
光子 A/D 技术	1998—2001	40	通过光学过程的信号数字化技术的建立，集中开发同步模式激光器和高速调制器。

表 1 中 C2OI 项目^[5]的目标是，通过制定和实施创新的光学解决方案，以克服目前的芯片到芯片的电气互连瓶颈。该项目涉及的研究技术包括 40 Gbps 光收发器件、激光发射器、光电集成技术、光波导材料等，其主要参与成员见表 2 所示。可以看出，该项目是由政府—企业（产业代表）—学术

机构各自发挥优势，共同承担的一个项目。值得特别关注的是，IBM 和安捷伦（Agilent Technologies）联合承担了 C2OI 计划中名为“Terabus”的联合项目，该计划经费占到整个 C2OI 项目经费的 75%，项目目标是实现能够满足 Tb 级宽带需求的低功耗、低成本、微型化芯片间光互连解决方法^[6]。

表 2 C2OI 项目主要参与成员^[5]

成 员	发展情况
IBM、安捷伦	系统实证，40 Gbps 发射器技术。
加利福尼亚圣芭芭拉大学、德克萨斯大学奥斯汀分校	40 Gbps 发射器技术、40 Gbps 放大器光学接收器技术。
科罗拉多州立大学	高速 VCSEL 技术。
梅奥基金会	求值程序。
美国军方实验室	集成技术和低功率转换器/接收器设备设计（特拉华大学）。
美国空军实验室	聚合物材料评估、波导制造方法。
麻省理工林肯实验室	体系结构。

2008—2013 年，DARPA 开始资助“超高效纳米光子芯片间通讯”项目（UNIC）^[7]。该项目是 DARPA 以向当时的美国太阳计算机系统（Sun

Microsystems，已被美国甲骨文公司收购）提供 4 430 万美元预算的形式启动的硅光子开发项目，目标是开发和 CMOS 兼容的光子技术用于高通

量的通讯网络。UNIC 项目成员包括：Luxtera 公司、Kotura 公司、美国加州大学圣地亚哥分校、美国斯坦福大学等^[8]。

1.2.2 近年来研发情况

光互连技术中器件的集成化和小型化是一个重要的发展方向，硅光子技术是器件集成化和小型化的关键技术，以基于硅光子技术的有源光缆的 IC 实用化为契机。近年来，关于光互连的研发报道多来自于企业主体，由此可见，以学术机构为中心的光互连技术研发体制正转向以厂商为主导^[9]。美国以 IBM、Intel、Luxtera 公司为代表，近年来都在光互连技术研发方面取得了不错的成绩。

IBM，2005 年提出了第一个光互连原型；2007 年利用级联微环振荡器研发出硅芯片超压缩光缓冲区；2008 年铺开了许多项目，以开发光连接、低功率光收发器与光谐振器；2010 年提出了“CMOS 集成硅纳米光子”的概念；2012 年宣布“硅纳米光子”可利用 100 nm 以下工艺，在单颗硅芯片内同时整合多种不同的光学部件和电子电路；2013 年与 Dow Corning 展示了基于硅材料的新型聚合物光波导。

在光互连领域，Intel 也是较早开始该领域研究的企业，其研究主要集中在硅基发光技术、芯片上及芯片间光互连及封装技术等方面。2010 年，Intel 出资 50 万元，和拥有量子点激光器技术的东京大学纳米量子信息电子研究机构开展光互连用光源研究；2011 年，华盛顿大学和 Intel 启动了“OpSIS”硅光子开发项目；2013 年，Intel 发布了采用硅光子技术的有源光缆。

在硅光子研究方面，硅光子集成技术开发商 Luxtera 公司的表现也值得关注。2008 年，Luxtera 公司展出全球首款基于硅光子技术、符合 DisplayPort 标准的光学互连产品；2010 年，Luxtera 与 Amphenol 签署协议，合作开发市场革新性光学产品；2011 年，Luxtera 公司推出可适用于下一代高性能计算（HPC）和数据中心光学互连的新型光学成像芯片。

从美国光互连政策导向来看，美国政府：通过制定科学发展战略及建立产业协会等方式引导资本进入光电子领域；通过把相关技术列入国家科技战略，并实施信息高速公路等一系列重大产业计划，

来推动光互连技术相关的光通讯技术的发展；通过早期政府采购和国防采购，为技术持续创新提供市场支持，并为后期转入民用市场奠定基础；采取国际合作等方式，加快民用市场的产业化进程。

从光互连项目开展及研发情况来看，DARPA 在推进芯片级光子器件的发展和光子集成电路技术的发展中扮演了较为重要的角色。此外，以学术机构为中心的光互连技术研发体制正转向以厂商为主导，这是当前美国发展光互连技术的一个鲜明特点。

2 日本光互连技术研究开展情况

2.1 产业政策

在发展战略方面，1980 年，为推动光电子技术的发展，日本成立了光产业技术振兴协会（OITDA）^[10]。1996 起，OITDA 开始制定光电技术路线图，目的是指引光电技术研究的方向，该路线图也成为了日本制定光通讯、光存储、光显示等领域的国家级项目所参考的纲领性文件之一。自 2011 年起，OITDA 开始面向 2030 年制定“光电技术路线图”；2012 年起，OITDA 致力于促进光电子技术的商业化模式发展，其采取的措施包括，为中小型光电企业提供技术咨询服务、资助企业参展“InterOpto 展览”等。基于大规模集成电路内芯片互连及板间互连的研究热潮，2012 年之后的 OITDA 年度报告新增了光互连技术趋势的调查研究^[11]。

在重大产业规划方面，20 世纪 90 年代，日本政府把“光通信网络”的建设列为国家五大基础设施的首位。2003 年，日本在全球率先推动光纤入户（FTTH）工程，后续相继提出 i-Japan 计划、“u-Japan”计划和“下一代宽带发展战略 2010”，日本在大力发展 FTTH 网络建设的同时，也有力推进了包括光互连技术在内的光电子器件、光传输技术、光互连网络模型及结构的发展。另外，日本富士通、日立、松下等公司，也建立了光互连相关技术研发实验室，并在一定程度上获得政府研发资助。

在产业化及市场方面，由于光电领域的重大技术发明多产生于美国，因此，早期日本政府主要是靠引进外国技术进行消化吸收，后期则是自主创新过程。针对这一发展特点，日本政府在早期对当时处于技术优势的美国公司征收高额关税，控制美

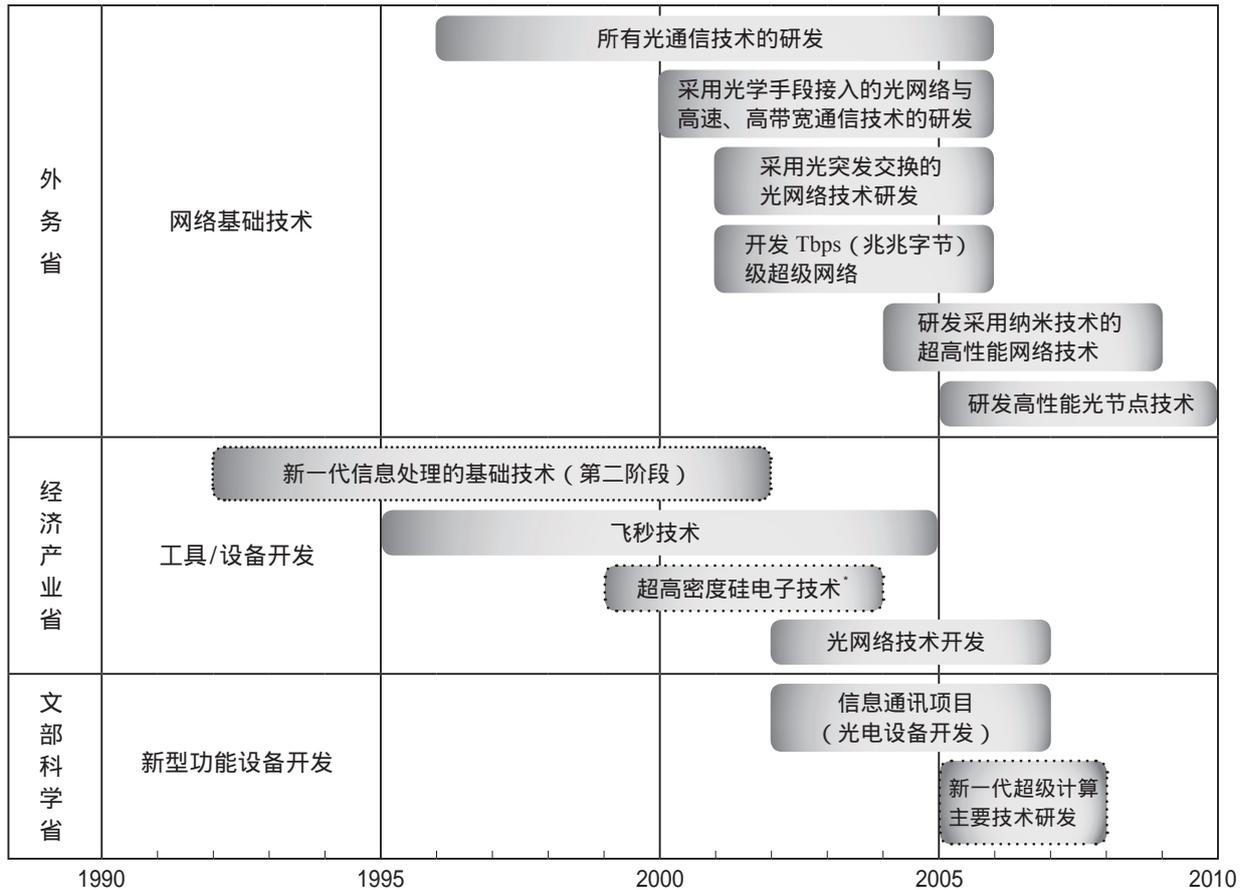
国高技术产品对日本的出口，保护国内高技术产品的市场，并且严格控制甚至禁止美国公司在日本高科技产业领域投资，迫使美国企业通过专利授权、技术转让等方式对日本企业出口技术。日本得到技术后，重点进行消化吸收再创新，迅速超出美国公司，并抢占美国企业的市场份额^[12]。通过这些举措，日本在全球光通讯等光电子产业市场占据了极大份额。

2.2 光互连项目开展及研发情况

2.2.1 政府资助项目

日本政府对光电子研究的支持主要是在通产省的支持和指导下完成的，另外，日本科技厅、

邮政省和文部省也向其所属的研究机构及大学提供光电基础研究的资助。早期，日本政府对基础研究所需资金实行 100% 的资助，后来则由通产省提供 30%，剩下的 70% 由参与的各家公司提供。1990—2010 年，日本由政府支持的光通讯项目见图 1 所示^[4]，其中，虚线框部分是这 10 年间涉及到光互连的相关项目。由图 1 可以看出，日本较早开始光互连技术的相关研究，早期主要集中在光互连工具/设备的开发方面，随着硅光子技术的全面发展和新一代超级计算机大容量数据传输的需求，日本在光互连相关技术的研究布局和投入方面也逐渐加大。



图例：虚线框 光互连相关开发

注*：2004 年起，该研究由日本产业综合技术研究所下属机构光电子系统集成合作研究组接手。

图 1 1990—2010 年日本由政府支持的光通讯项目^[4]

2.2.2 近年来研发情况

2010 年，日本开始实施尖端研究开发资助计划 (FIRST)，该计划由日本内阁府提供支援。FIRST 计划是从 600 个提案中选出 30 个核心科研

项目予以资助，项目资助的总金额达到 1 000 亿日元。光电子融合系统基础技术开发 (PECST)^[13] 是 FIRST 计划的一部分，以在 2025 年实现“片上数据中心”为目标。PECST 除东京大学等多所大

学和日本产业技术综合研究所参加外，还有企业开发组织 PETRA（PETRA 是由 NEC、Hitachi、Fujitsu、NTT、OKI 等公司组成的企业联合组织）的参加，其具体参与机构及分工情况见图 2 所示^[14]。从图中可以看出，PECST 模式是一种典型的产学

研合作模式。2012 年 9 月，PECST 发布了可在 1 cm^2 的硅芯片上集成 526 个数据传输速度为 12.5 Gbps 的光收发器技术。该技术将芯片间布线驶入“光的高速公路”。目前，PECST 的研究还在持续推进中。

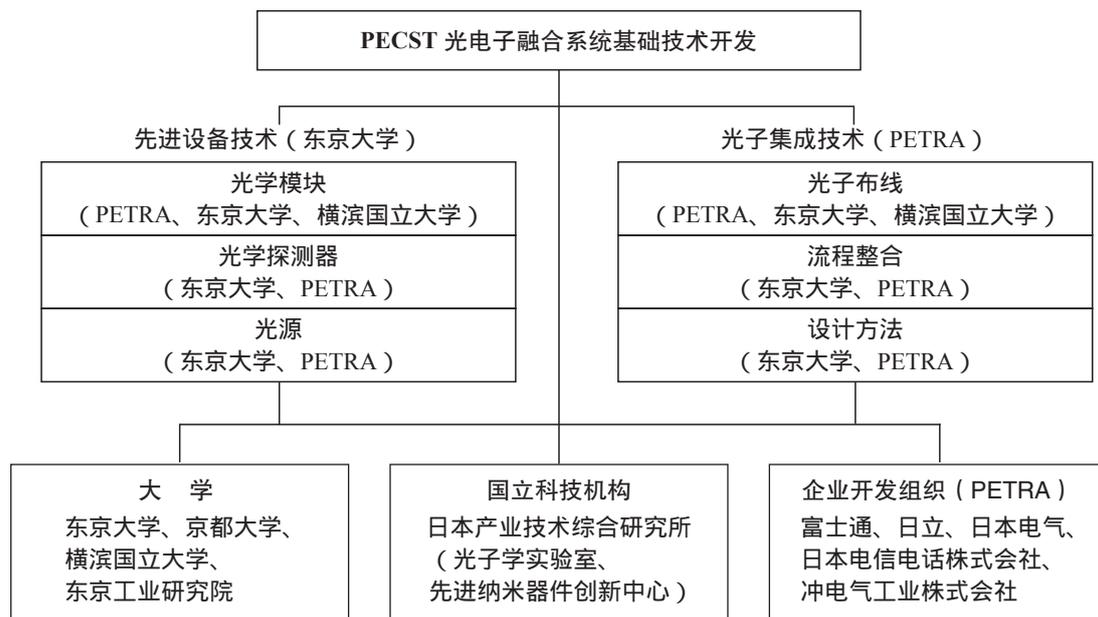


图 2 PECST 项目的具体分工情况^[14]

从日本的光互连政策导向来看，日本政府较早地认识到了光电产业在国际科技战略发展中的重要地位：通过成立光产业技术振兴协会，整合企业和政府资源；将“光通信网络”的建设放在国家基础设施的首位，用光纤通讯技术的发展带动光互连相关技术研究；通过调整进出口政策，获得较高全球市场份额。

在光互连项目资助方面，从早期研究主要集中在光互连工具/设备的开发方面，到后期随着硅光子技术的全面发展和新一代超级计算机大容量数据传输的需求，日本在其相关技术的研究布局和投入逐渐加大，并呈现出以产学研形式为主的特点。

3 对我国发展光互连技术的启示和借鉴

我国光通信研究始于 1972 年，1982 年，我国实现了第一个光通信实用化工程，截止到目前，我国也建立了一批以国立研究院所和高校为主体的研发机构，如，华中科技大学、中国科学院微电子研究所、中国科学院半导体所、国防科技大学等，都在光互连领域取得了一定成果。我国还陆续在北

京、武汉、上海、石家庄、深圳、长春、西安等地建立了光电子信息产业基地。2014 年 11 月 12 日，中国光纤控股子公司南明光纤的有源光缆项目启动，同时，南明光纤与上海交通大学签署光互连技术产业化合作协议，与上海交通大学共同设立“上海交通大学南明光互连技术联合实验室”，南明光纤将投入人民币 2 500 万元科研经费用于光互连技术产业化的研究与开发^[15]。

尽管如此，我国在光互连技术开发环境和成果产业化方面还存在一些问题，因此，结合美国和日本光互连相关政策导向特点和项目资助情况来看，我国可以得到如下启示：

(1) 确立光互连技术和光电子信息产业的战略地位。光电子产业是各国争夺的战略产业，当前光互连技术的研究热潮更是推动的这一产业的发展，因此，我国应该学习美国和日本，重视该产业的发展，并制定相关战略规划。

(2) 倡导政府资助下的产学研模式和以厂商为主导的研发体制，形成基础研究和应用研究的有机结合。

(3) 加强国际交流与合作。

(4) 建立和完善光电子产业推进机构和中介组织。美国 OIDA 和日本的 OITDA 在引进光电子技术和资金资源，营造良好的产业发展环境方面起到了重要作用，不仅美国和日本，德国、韩国、

台湾等地区也都有类似的发达中介组织（见图 3 所示）^[16]。而我国，目前主要还是以政府在资源分配中占据主导地位，部分中介机构的作用还不够完善，随着光互连技术研究的发展，今后可更多地发挥和完善中介组织的作用。



图 3 国际光电产业联盟成员国及其中介组织^[16]

参考文献：

- [1] 张以谟. 光互连网络技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006: 3-11.
- [2] 激光网. CIR 预测芯片级光互连市场收入将达 10 亿美元 [EB/OL].(2013-10-14)[2014-10-09]. <http://laser.ofweek.com/2013-10/ART-240002-8420-28733479.html>.
- [3] 刘兴长. 大规模并行计算机光互连网络研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [4] Takeuchi K. Technical Trends in Optical Interconnection Technology—Towards its Implementation in the “Keisoku” Supercomputer[R/OL].(2006-07)[2014-10]. <http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/eng/stfc/stt020e/qr20pdf/STTqr002.pdf>.
- [5] Federal Business Opportunities. A-Chip-to-Chip Optical Interconnects (C2OI)[EB/OL]. [2014-10-09]. <https://www.fbo.gov/index?tab=core&s=opportunity&mode=form&id=33ca53343ba3ca7378434b927ce36ca5>.
- [6] IBM. IBM and Agilent Technologies Launch \$30 Million Interconnect Program[EB/OL].(2003-09-11)[2014-10]. <http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/5828.wss>.
- [7] Feldman M. DARPA Places \$44M Bet On Optical Interconnects[EB/OL].(2008-03-28)[2014-10-09]. [http://archive.hpwire.com/hpwire/2008-03-28/darpa_places_\\$44m_bet_on_optical_interconnects.html](http://archive.hpwire.com/hpwire/2008-03-28/darpa_places_$44m_bet_on_optical_interconnects.html).
- [8] Haney M W, Sparacin D K, Hodiak J. The Transition to Chip-level Optical Interconnects[C/OL]//Optical Fiber Communication (OFC), Collocated National Fiber Optic Engineers Conference, 2010 Conference on (OFC/NFOEC), 21–25 March 2010. IEEE, 2010 [2014-10-09]. <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=05465368>.
- [9] OFweek 光通讯网. 中科院半导体研究所俞育德：光互连硅光器件与 PIC 现状和发展趋势[EB/OL].(2013-10-31)[2014-10-09]. <http://fiber.ofweek.com/2013-10/ART-210001-8120-28739397.html>.
- [10] OITDA. Pamphlet[R/OL].(2008-09-05)[2014-10-09]. <http://www.oitda.or.jp/main/info/pamphlet08/oitda2008pe.pdf>.
- [11] OITDA. Annual Technical Report 2012[EB/OL].(2013-03-31)[2014-10]. <http://www.oitda.or.jp/main/ar/atr2012.pdf>.
- [12] 唐良智. 中国光电子信息产业发展战略与对策综合分析报告[M]. 北京：人民出版社，2008：45-46.
- [13] PECST. Research Members[EB/OL]. [2014-10-09]. http://www.pecst.org/members_en.html.
- [14] PETRA, University of Tokyo, AIST. FIRST Program. PECST Photonics-Electronics Convergence System Technology[R/OL].(2008-09-05)[2014-10-09]. <http://www.pecst.org/brochure2011.pdf>.
- [15] 讯石光通讯网. 中国光纤 AOC 项目正式启动 首期产能 2 万套[EB/OL].(2014-11-13)[2014-11-13]. <http://www.iccsz.com/site/cn/News/2014/11/13/20141113005410880926.htm>.
- [16] OITDA. Pamphle[R/OL].(2014-99-26)[2014-10-09]. <http://www.oitda.or.jp/main/info/pamphlet14/oitda2014pe.pdf>.

(下转第 62 页)

Investigation of the American Experiences in Establishing Harmonious Doctor-Patient Relationship

YIN Jun-xiang

(The China National Center for Biotechnology Development, Beijing 100039)

Abstract: Medical disputes and conflicts between doctors and patients are urgent problems in the Chinese healthcare industry nowadays. In the United States, the Doctor is the main side of doctor-patient relationship. Doctors' value orientation, medical capability, service quality and communication skills are closely related to the relationship. Patients' attention and appropriate manners are also very important. On the other hand, as the main place for medical activities, hospitals' service ideas, medical rules and regulations, infrastructure, education and training, medical quality control and so on, have an important impact on the relationship. In addition, the U.S. government, medical administration departments and related organizations have been making efforts to reduce medical disputes through announcing relevant policies and regulations. This paper analyzes the American experiences in establishing harmonious doctor-patient relationship so as to provide reference for Chinese related departments to improve the doctor-patient relationship.

Key word: America ;doctor-patient relationship ;establishing harmonious doctor-patient relationship

(上接第 40 页)

Development of Optical Interconnection Technology in the U.S. and Japan

LV Hui-lin

(The Science and Technology Library of Guangdong, Guangzhou 510070)

Abstract: As a new way of interconnection, optical interconnection has caught the attention of the world by accelerating data transmission capacity of CPU between circuit board and chips. USA and Japan are in the leading position in aspects of photonics theoretical research and industrialization of optical interconnection technology. The US government guided capitals to enter the field of photonics through setting scientific development strategy and establishing industrial associations, and promoted the development of optical communications technology through implementing a series of industrial programs like the Information Superhighway Project. Japanese government has recognized the importance of optoelectronics industry in the international science and technology strategy development, and established the Optoelectronics Industry and Technology Development Association (OITDA) to integrate the enterprises and government resources. In Japan, the construction of "optical communication networks" is the priority in the national basic facilities construction. This paper summarizes policy guidance and implementation experience of projects in the field of optical interconnection in both countries. It may provide a reference for development of optical interconnection in China.

Key words: the United States ;Japan ;optical interconnection ;photoelectron ;optoelectronics industry