

■ 光电印制电路板的发展评述 (1)

——光电印制电路板的基本概述 (下)

(南美覆铜板厂有限公司 528231) 张家亮

Review of Progress about Optical-Electronic Circuit Boards(1): Basic Review of EOCB

Zhang Jialiang

4 光互连相对于电互连的优点

为什么印制电路板的制造技术要进一步发展成为光电印制电路板？这是因为传统印制电路板受到电性连接物理特性的限制，其传输速度的增加几乎已达极限，对现代需求高速传输的宽频通讯的实用化造成瓶颈。

我们知道，要实现铜背板信号传输更快有以下几个方法：(1) 增厚导电铜层；(2) 使介质层变得更薄；(3) 使用更低介质损耗的介质层；(4) 增加更多的信号层；(5) 减少信号的长度；(6) 增大信号之间的距离；(7) 增加板面积（更宽和更长）以处理每层更多的信号。但是，从电子工业的发展要求来看，这是不现实的。有鉴于此，为迎合新一代需要的光电印制电路板，就是将印制电路板加上一层导光层——有机光波导软膜，再把光电组件及其驱动组件组装整合在电路板上，基于光传输速度可数倍于电路传输，可以达成短距离高速传输的功效。由于计算机及信息网络科技的快速发展，促进了宽频通讯的广泛应用，未来如宽频视讯会议、语音影像传播、动画及游戏等网络应用预期将成为个人及商业的基本需求。这也同时意味着未来信息网络系统或终端用户都必须拥有高速

* 本课题受江苏省科技厅科技发展计划资助，项目编号为BG2005011。

率的传输系统和设备，才能真正达成高速率双向传输的目标。例如，目前网络业者利用现有的宽频传输科技——非对称式数字用户回路 (Asymmetric Digital Subscriber Line, ADSL) 已能成功地应用电话线提供高速的传输速率。但终端用户使用的计算机则始终受限于印制电路板的电性信号传输速度，不能把从计算机及服务器的微处理器传出的高速信号再以高速传送至系统内部或外围的模块，以至延误了网络终端用户接受或送出信息的实时性，未来应用高速传输光电印制电路板所设计制造的系统，可望大幅改进这项缺陷^[7]。

同时，导线传输的比特率取决于其寄生参量：电阻、电容和电感。在较低频率，印制电路板导线的串接（寄生）电阻和旁路（寄生）电容限制了脉冲前后沿的过渡时间，从而限制了传输速率。在较高频率，如现在所用的印制电路板，串接感抗作为阻抗因子比电阻的影响更为重要，但结果都是限制了脉冲信号的传输速率^[8-9]。

和在电信网络里的情形类似，信号一从光纤干线落到铜线速率就立刻降下来了。所以电信公司要把光纤尽可能接到离最终用户最近的地方。如果光互连设计者要得到最大带宽，也得把光互连尽可能贴近处理器。现在所有的条件已经存在：便宜的激光器、高

灵敏度探测器及传输和转换的技术。问题是何时光互连的性能可以达到要求,成本可以被接受。

电子计算机的研究与推广已经对科学进步产生了重大而深远的影响,随着科学技术的进步与发展,传统的冯·诺伊曼方式的电子计算机结构已难以适应科学技术对计算能力日益增大的要求,尽管在今后的几十年中,VLSI (Very Large Scale Integration) 工艺将保持其强劲的发展势头,使得今后通过提高计算机主频来提高计算机系统的性能仍然可行,但这一途径不久就会走到尽头。光计算机原理思想的提出最终冲破传统的电子计算机结构,开创了计算技术的新纪元,电子计算机对于超并行、大容量的数据和图像的快速计算和实时处理越来越不适应了,尤其是在目标识别与跟踪、人工智能等领域。这些困难主要是由于在超大规模集成电路中电信号的传输引起的,主要缺陷表现在:

(1) 冯·诺伊曼“瓶颈”效应。目前的冯·诺伊曼型计算机主要采用二进制算法和串行结构,无论数据存取或中央处理器的工作,或存储器的读写,都只能以串行的方式互连和操作,这使得电子计算机不具有快速实时处理问题的能力,这就是冯·诺伊曼瓶颈效应。

(2) 电互连速度受限。

(3) 互连带宽问题。电脉冲在任何线路上传播时都会出现畸变,尤其是高频,于是频率不能超过一定的范围,信号传输速度与距离的关系见图8,铜连接与光连接技术对频率的依赖性见图9。

(4) 时钟歪斜问题。由于VLSI 计算机系统中,许多单元要求同步运行,计算机内部有一时钟源,产生时钟信号发往各个部件。显然,发往各部件的信号同步性是计算机正确工作的重要保证,但以电导线连成的电子计算机中,由于各部件之多,以及分布之复杂,要达到这一点是很困难的,这就是时钟歪斜问题。

(5) 串音问题。由于互连导线中来自电阻、电容的相互干扰和损耗,使得用提高频率、增加带宽的方法来提高数据的传输率很快就达到了极限;并且随着VLSI 集成度和运算速度的进一步提高,将导致传输的信号交叉串扰的加剧,以致于芯片无法工作。

一般来讲,采用光学互连方案的主要原因在于:

(1) 光互连的速度与互连通道无关;(2) 光学信号在空间可以独立地传播,彼此间相互不干扰;(3) 光学信号可以在三维自由空间中传播;(4) 光互连可

以通过空间光调制器(SLM)适当改变;(5) 光学信号非常容易转变成电信号。

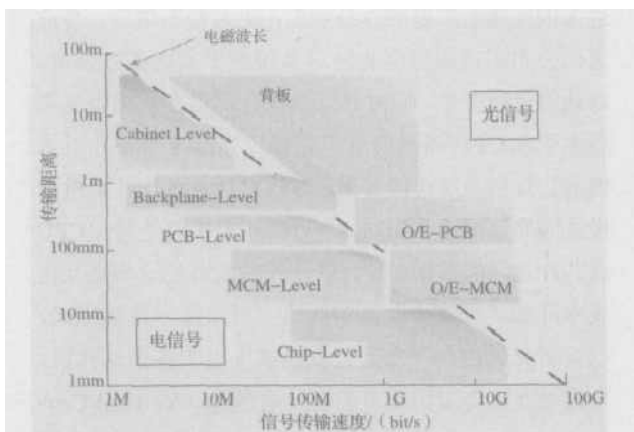


图8 信号传输速度与距离的关系

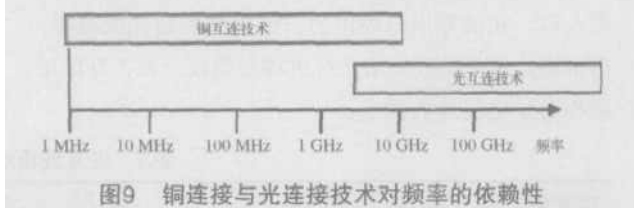


图9 铜连接与光连接技术对频率的依赖性

计算机中的数据传输与现代城市交通流量刚好相反,在PC的中心CPU处,比特率非常高,而在CPU与电路板及板之间的铜连线上,数据速率变得非常低。对于2.4GHz P4微处理器,总线上的数据率只有400MHz,然而在数据进入高速光纤通信网络后,速度又大幅提高。总线无疑成为数据传输的瓶颈。

因此业内人士预测,今后几年,PC内的铜互连将被高速光互连取代,光子取代电子将在板之间及芯片之间传输数据。具体实现机理与现有通信系统非常相似,来自CPU的电信号通过调制微型激光束,经过空中传播或波导,到达光探测器,而后再恢复为电信号,尽管目前光通信仍比电通信成本高,但随着CPU性能大幅提高,也只有光通信才能满足高性能的要求。铜连线的数据传输率受寄生电阻,电容和电感的影响。在低频段,电路板的串接电阻和旁路电容对性能影响很大,直接决定上升沿和下降沿的转换时间(Transition Time),从而影响数据速率,在高频段,连线串接感抗影响超过电阻,但最终的结果相同,限制数据传输率,所有这些寄生因素很大程度上依赖于连线的几何形状,电阻正比于连线长度,而反比于截面积。因此连线越长越细,则数据率越低,空间限制将不允许将连线做的太粗。另外为降低转换时间可采用较硬的连线,但同时增加系统噪声和功耗,同时使本

已严重的散热问题会更加棘手。在通信系统中,从远程的全光网络到较低带宽的 MAN 速率明显减慢,再进入铜连线的家庭或办公室后,更是慢不堪言。目前通信公司正试图将全光网尽量接近于家庭或办公室,以获得较高带宽,同时光互连设计师也在试图将宽带技术引入 CPU 周围的总线连接。光互连可将几百米内的计算机系统连接起来,背板设计也可使计算机内板之间的数据速率提高,今后需要解决的是增加 CPU 或芯片之间的数据带宽,以及何时能够使这些光互连成本降低,以逐步取代铜连线。对于波导传输方式,已有研究机构在开发光背板连接飞机中各个计算机,多数光互连将采用垂直腔面发射激光(Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL),激光在经过透镜后,被扩束到直径为几个毫米,经扩束的激光到达波导入口,在波导出口经由另一透镜聚焦到光探测器,据报道,聚合物波导比光纤更容易集成。表 3 为光互连相对于电互连的优点。

表3 光互连相对于电互连的优点

电互连	光互连
能量消耗高	较少衰减和分散,长传导距离低能消耗
互连密度受限于 EMI	互连密度不受 EMI 影响,无地层或参考平面
低针密度(小于 50 针/in)	大针密度
直接调制或 GHz 载波调制	THz 载波调制
较小带宽	很大带宽
难于控制反射	易于控制过反射

5 垂直共振腔表面放射激光制造技术对光电印制电路板发展的促进

在推进光通信的关键技术方面,近年又有新突破——适宜低成本、阵列化的表面发光激光器件垂直共振腔表面放射激光的问世,也给实现光波导线路的产业化奠定了更完善的技术基础,加快了光电印制电路板开发工作的进展,VCSEL 在光电印制电路板中的作用参见图 7。

近几年才成熟的 VCSEL 产品,是光纤通讯所采用的光源之一。面射型激光在半导体激光历史中发展虽较晚,但其研究时间也超过 20 年以上,1977 年日本东京工业大学的伊贺教授实验室首先提出面射式激光的概念,并于 1979 年发表全世界第一个 VCSEL 元件,所用材料是 InGaAsP/InP,室温脉冲操作激光至 1984 年才出炉,也是伊贺实验室做出了 AlGaAs/GaAs 面射型激光,自此面射型激光发展才打开了新的纪元。美国对 VCSEL 研究直至 20 世纪 80

年代晚期才有显著的成就。面射型激光因特性不同于传统的边射型激光(Edge-emitting Laser),所以孕育出相当广泛的研究题目,包括微共振腔物理及复杂的化合物半导体异质结构之基础研究,以及先进的磊晶成长和元件制程等技术,这些吸引了全世界无数的研究机构,从实验室初期研究进而开发出 VCSEL 雏型品,1996 年 Honeywell 公司首先制造出世界第一个商品化的 VCSEL 产品,至今 VCSEL 技术发展已迈入成熟的生产阶段,并且开始大量使用在高速传输的光纤网络上^[9]。

有别于 LED(发光二极管)和 LD(Laser Diode,激光二极管)等其它光源。VCSEL 光源最特别之处是产生激光的共振腔位于晶粒层之间,所以光束是从晶粒的垂直面发射,而非传统的侧面发射。仅这一点就可以使 VCSEL 在尚未切割及封装前,可进行整片晶片(Wafer)检测,无须经过切割,简化了检测程序。其实 VCSEL 诱人之处并非仅在生产过程中

的方便检测,更主要的是有像 LED 那样便宜的价格。LED 虽然便宜,但受限于可操作的频率,在光纤通讯中,其传输速度仅能达到 600Mbps,且传输距离也仅 500 公尺之遥。相比之下,VCSEL 的可调变频率就达数 GHz,传输速率自然也有 Gbps 等级。虽然传统 LD 也有上述性能,但价格较为昂贵,且发光的效率远差于 VCSEL。另外 VCSEL 所需的驱动电压和电流很小,使得寿命有千万小时以上,为其它光源的 100 倍以上。VCSEL 所发出的光点大小适中,非常适合耦合导入多模光纤。因此 VCSEL 的优点可归纳如下:(1) 低发散之圆形激光光束,易与光纤耦合;(2) 具有快速调变功能,利于高速光纤网络传输;(3) 元件制程技术适于量产产品粒;(4) 在元件尚未切割及封装前,整个晶片可用晶圆级测试做每个晶粒特性检测,减低大量生产成本;(5) 可做成 1D 或 2D 激光阵列,利于串接或并列式光纤传输。

以上 (3) (4) 两项优点,都使 VCSEL 元件利于

大量生产及低成本制程。由于 VCSEL 的特质使其增加了更多的基本研究及光电应用, 应用领域涵盖数据通讯、光连接器、光列印机、光资讯、扫描器及光感测等, VCSEL 元件在光通讯中的应用主要有: 光纤网路传输 (Data Communications); 可作为系统与系统间、电路与电路间, 甚至是元件与元件间的连接 (Inter-connect); 矩阵元件应用 (Array Applications)。

6 光电印制电路板三个时代

世界著名的电子产品市场咨询、调查公司——英国 BPA 公司曾在近期发表了光波导线路产品、技术的发展前景预测报告^[10]。根据 BPA 国际顾问公司分析, 光电印制电路板可分为三个时代, 即分散型光纤连接 (Discrete Fiber Interconnects) 技术、挠性基板光连接 (Flex Foil Interconnects) 技术和混杂式光电连接技术。图 10 为三代光电印制电路板的发展路线, 表 4 为三代光电印制电路板的特点, 图 11~图 13 分别为三代光电印制电路板的示意图。

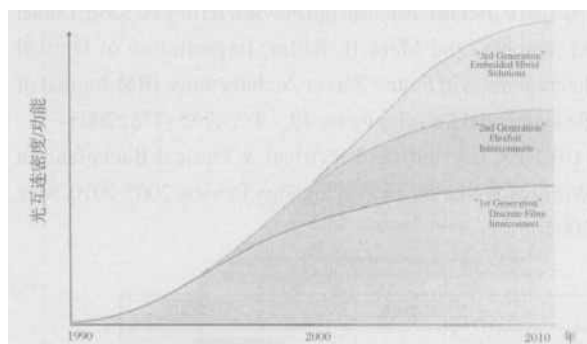


图10 三代光电印制电路板的发展路线

6.1 第一代光电印制电路板——在 PCB 上分散纤维光芯片—芯片互连和板—板互连

发展于 20 世纪 90 年代初期, 主要使用分离式光纤及光纤连接器来进行模组与模组之间或模组与元器件间的互换, 为目前大型主机所广泛采用。由于构造简便, 因此可提供较低廉的点对点光连接。由于采用单模 (Discrete) 光纤在载板内的光互连, 这种形式的光互连, 是过去已采用的光纤通信技术的一种衍生。因此它比较容易实现将光通信信号由一点传递到另一点的定向传送的形式。



图11 第一代——光纤互连

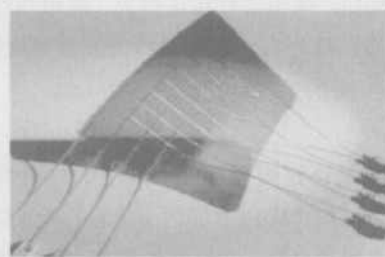


图12 第二代——挠性箔光互连

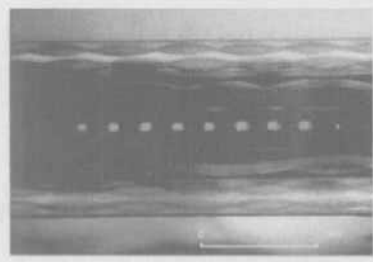


图13 第三代——埋入光波导互连

6.2 第二代光电印制电路板 - 挠性基板光连接技术

发展于 20 世纪 90 年代中期, 利用挠性基板进行光纤分布, 同样地, 该技术可应用如前所述的连接器进行点对点的光连接。挠性光波导薄板构成光信号网络, 是光波导线路产品形式和技术的第二发展阶段的最突出特点。由光纤替代了金属丝线。这样对于它的特点, 是以挠性材料作为固定的载体, 实现挠性光纤的光信号传送。在配线中的特性阻抗高精度的控制方面, 它要比原有电气配线形式也有了明显的改善。

6.3 第三代光电印制电路板——混杂式光电连接技术

根据埋入式材料和结构的特点, 大概可以分为以下四种技术: 表面型高分子波导、埋入式高分子波导、埋入式光纤技术、埋入式光波导玻璃。与前两种

表4 三代光电路板的特点

	开始时间	特点
第一代	1990	在 PCB 上分散纤维光芯片—芯片互连和板—板互连
第二代	1995	挠性箔板光连接技术
第三代	2000年后	混杂式光电连接技术

最大的区别是此技术可提供多回路的光波导,而且可以与有源及无源元件进行连接。第三代的光波导线路方式,是以现有印制电路板与光传送线路形成一体化的光电印制电路板。实现这种复合化的优点在于:在板上能够有比初期阶段引入光纤配线形式具有更高的光传送线路的布线密度。同时还实现了光电转换元件等的自动化安装。在PCB内的光传送通路使用材料方面的开发动向,采用了低传送损失、高耐热性的高聚物(本系列连载将重点阐述)作为光波导线路材料。日本JIEP发布的光封装路线图见图14。

7 结束语

由于电互连在物理性能方面上的局限性,光互连已经登上了新一代PCB的历史舞台,其涉及到的主要内容有光波导材料、光波导的制造方法、低成本光元器件(传输元件与接收元件)以及光组装等。而且,以上技术必须与传统的PCB设计、制造、加工和配合精度相兼容,相信,随着光电印制电路板产业化的加速,必将大大提高终端产品的性能。PCI

参考文献

- [1] Griese, Elmar, Optical Interconnection Technology for PCB Applications, PC Fab, June 2002, 20~36
- [2] E. Griese, A High-performance Hybrid Electrical-optical Interconnection Technology for High-speed Electronic Systems, IEEE Transactions Advanced Packaging, Vol. 24, No. 3, 375~383, August 2001

- [3] D. Krabe, W. Scheel, Optical Interconnects by Hot Embossing for Module and PCB Technology - The EOCB Approach, Proceedings of 49th Electronics Components & Technology Conference, 1164~1166, San Diego, CA (USA), June 1999
- [4] 骆伟仲. 光电基板简介[J]. 工业材料杂志, 2005, 1
- [5] D. Krabe, F. Ebling, N. Arndt-Staufenbiel, G. Lang, W. Scheel: New technology for Electrical/optical Systems on Module and Board Level: The EOCB Approach. Proceedings of 50th Electronics Components & Technology Conference, pps. 970-974, Las Vegas, NV (USA), May 2000
- [6] Yuzo Ishii, Tsuyoshi, Hayashi, and Hideyuki Takahara. Demonstration of On-PCB Optical Interconnection Using Surface-Mount Package and Polymer Waveguide. Proceedings of 53th Electronics Components & Technology Conference, 1147-1152, Las Vegas, NV (USA), May 2003
- [7] Steffen Uhlig, et al. Polymer optical Interconnects - a scalable Large Area Panel Processing Approach. IEEE Transactions on Advanced Packaging, January 2005
- [8] H. T. Holden. The Developing Technologies of Integrated Optical Waveguides in Printed Circuits. Circuit World, 29 (4): 42~50, 2003
- [9] Alan F. Benner, Michael Ignatowski, Jeffrey A. Kash, Daniel M. Kuchta, and Mark B. Ritter. Exploitation of Optical Interconnects in Future Server Architectures. IBM Journal of Research and Development, 49(4-5): 755~775, 2005
- [10] BPA Consulting. Electrical & Optical Backplanes a Worldwide Market and Technology Review 2005-2010, May 2005

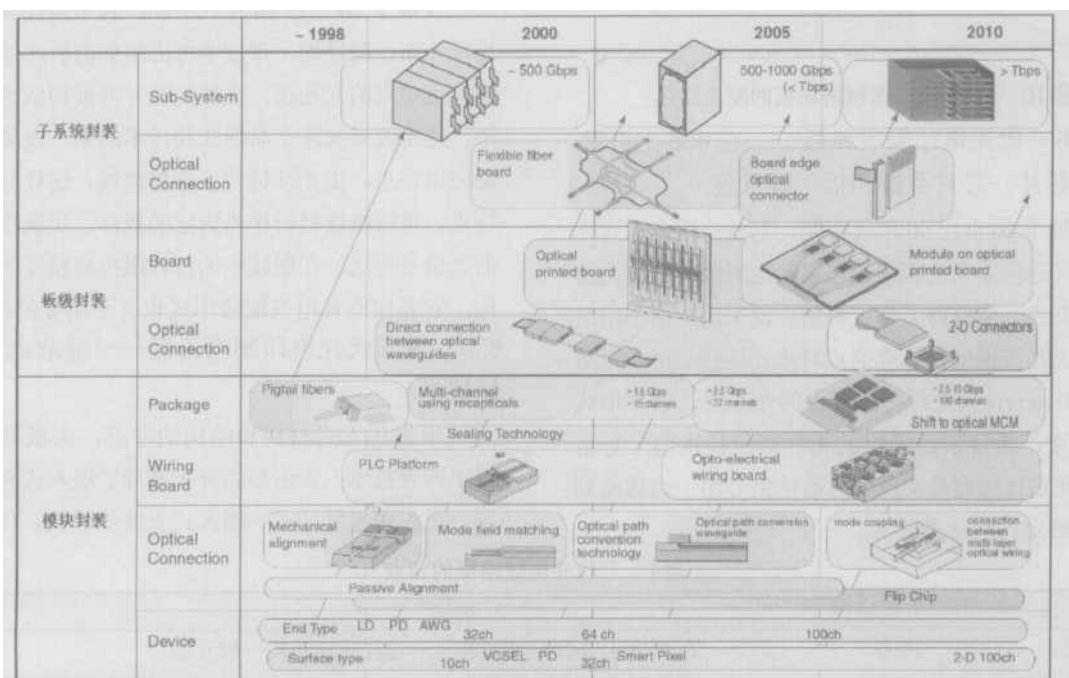


图14 JIEP光封装路线图