



我国光通信有源器件产业的重大发展

光纤通信技术和网络国家重点实验室 光迅科技 徐红春 徐勇

目前，在有源光器件领域，高速光通信（40G/100G）、宽带接入FTTH、3G及LTE无线通信、高速光互联、智能光网络中所应用的芯片、器件及模块的技术正成为竞相开发的热点，而以光集成、高速光信号调制技术、高速光器件封装技术等为代表的光器件平台技术也越来越被广大OC厂商所重视。

1. 光通信有源器件的技术发展与突破

满足不断增长的带宽需求，同时不断降低资本和运维支出，将继续是推动光通信技术发展的两个主要动力。为了满足系统不断发展的需求，有源光通信器件的发展涉及到许许多多的技术，然而，近年来有几项技术值得我们特别关注：这包括40G/100G高速传输器件与模块技术、下一代光纤接入技术、光载射频ROF（RadioOverFiber）器件与模块技术、光集成技术、高速互连光电器件与模块等等。

1.1 40G/100G技术势不可挡

据有关专家总结，40G主要有以下四个方面的市场需求和驱动力：第一是TriplePlay，即

数据、视频、VoIP等服务的融合；第二是数据通信以及海量存储网络；第三是高速电信网络，如OC768，STM256，G.709FEC；第四是其他新兴数据需求。

目前，40G的价格是其获得爆发式增长的主要障碍，不过，40G甚至100G的发展已变得不可阻挡。40G/100G的CFPMSA多源协议已经发布，由此向CFP的器件/模块开放了大门。而在此技术方面，高速光信号的调制技术作为一个关键的技术平台尤为重要，其中以DPSK、RZ-DQPSK和DP-DQPSK等系列调制方式为代表。

1.2 10G速率的PON引领下一代接入技术

在光接入技术上，国际上主要采用的是PON。在过去的几年里，PON主要以GEPON和GPON技术为主，主流的用户分配带宽达到10~40Mb/s，而在未来的几年之后，由于用户带宽需求的进一步增长，则需要向下一代PON过渡。

随着2009年9月IEEE802.3av国际标准的正式通过，10G EPON的有源器件的研究得到了飞

随着3G时代的来临，光通信产业可谓又风生水起，迎来了前所未有的机遇。光纤接入是迄今各种类型的宽带接入方案中，最具发展生命力的一种。

速的发展，目前，10G EPON成为了下一代PON的最大热门。紧接着，2010年6月，10G GPON (XG-PON) 标准在日内瓦ITU-TSG15全会上顺利通过，仅比10G EPON的标准通过晚9个月，由于在光器件技术上的相似性，XG-PON的器件发展也非常迅速。这两个国际标准为下一代接入技术定下了发展的基调。WDM-PON，由于具有潜在的技术先进性，无疑也会在未来的PON接入网中占据一席之地。由于各种PON技术的蓬勃发展，一种更大的可能是在未来的技术领域内，各种PON技术会逐步走向相互渗透和融合。

沿着EPON和GPON的发展道路，下一代PON技术将形成三大趋势：EPON向10G EPON演进；GPON向XG-PON演进；未来形成各种技术融合的PON。

1.3 无线与光的技术融合带来光通信的新机遇

随着3G时代的来临，光通信产业可谓又风生水起，迎来了前所未有的机遇。光纤接入是迄今各种类型的宽带接入方案中，最具发展生命力的一种。我国90%以上的信息量是通过光纤传输的，特别是随着3G牌照的发放，我国迎来3G时代，光通信及相关光电产业正在成为带动整个信息产业的新的增长点。据估计，3G的启动可以带来1000亿元以上规模的光通信市场。虽然我们在技术上已经做好迎接3G的准备，光通信行业所面临的机遇毋庸置疑，但同时也要看到它所面临的挑战。

从目前的情况来看，未来的无线通信向LTE发展的方向已经相当明确。

在此领域的光器件、光模块技术中，光载射频ROF光器件/模块值得关注。

当前，对高速多媒体移动通信的需求不断增长，无线通信系统对宽带传输能力的要求也越来越高，同时伴随着无线通信系统容量的快速增长，小区半径越来越小，微小区、微微小区数目迅速增加。另一方面，多种无线标准的存在又要求接入系统具备多业务操作的能力。中国已经开始了“无所不在的网络中国(U-China)”计划，如何解决建筑物内的无线高速数据传输和无线接入覆盖问题就成为迫切需要解决的技术关键。ROF无线接入技术成为解决上述问题的一项最有希望的技术之一。

在ROF系统中，由于光载波上承载的是模拟的微波信号，与传统的数字光纤传输链路相比，其系统对光器件的性能以及链路自身的色散、非线性效应等都有更为苛刻的要求。

尽管ROF技术距离大规模的商用还有很长的路要走，也有很多关键技术要攻克，但是，科学研究始终是走在技术产业化的前面。同时，光无线融合的大趋势是无法阻挡的，无论在现在还是将来，ROF都将是研究人员和运营商最为关注的一项技术之一。而对于ROF技术的研究，人们的目光也会由理论研究转向实际的应用，向更低成本，更高集成化努力。

1.4 光集成技术值得期待

光集成器件由于其综合成本低、体积小



巧、易于大规模装配生产、工作速率高、性能稳定等等优点，早在20世纪70年代就引起了世人的关注和研究。在随后的三十多年里，随着光波导制作技术以及各种精细加工技术的迅速发展，光集成器件正在大量地进入商用，尤其是基于平面光回路（PLC，Planar Lightwave Circuit）的一些光无源器件，如光分路器（Splitter）、阵列波导光栅（AWG）等等，目前已成为光通信市场上的热门产品。在光有源器件的领域中，有源的集成产品还远远未达到大规模的商用，但随着一些该领域中的先进技术如色散光桥光栅（Dispersion Bridge Grating）的成功开发，基于PLC的有源器件近来取得了长足的进步。

光集成的技术发展方向主要可分为两类：单片集成和混合集成。单片集成是指在半导体或光学晶体衬底上，经过同一制作工艺，把所有元件集成在一起，如：PIC和OEIC技术；而混合集成是指用不同的制作工艺，制作一部分元件后，再组装在半导体或光学晶体衬底上。

以前，Si基的混合集成的实际制作工艺一直是相当复杂的，但近来，一些研究机构对传统倒装为基础的混合集成工艺作了改进，取得

了较大进展。其中，最能引人瞩目的成果有两项：第一项是加州大学SantaBarbara分校与Intel公司合作研究的基于晶片（Wafer）级结合的混合集成器件；第二项是比利时根特（Ghent）大学的基于芯片（Chip）和晶片（Wafer）结合的混合集成器件。

近年来光集成的技术发展，使得其迅速成为光通信领域中非常值得期待的一项平台技术，可望得到极其广泛的应用。

1.5 高速光电互连技术超乎想象

高速光电互连技术通过并行光模块和带状光缆或电缆来实现。并行光模块是基于VCSEL阵列和PIN阵列，波长850nm，适合50/125 μ m和62.5/125 μ m的多模光纤。封装上其电接口采用标准的MegArray连接器，光接口采用标准的MTP/MPO带状光缆。目前比较通用的并行光模块有4路收发和12路收发模块。在当前的市场上，较为常见的高速并行光模块有：4 \times 3.125Gb/s（12.5Gb/s）并行光纤模块，应用在如高端计算机系统如刀片式服务器的短距离互连；12 \times 2.725Gb/s（32.7Gb/s）并行光纤模块，应用在高端交换设备中以及背板联接中。并行光模块的应用正在逐渐走向成熟。

当前，超级计算机、云计算、短距离高速数据通信等应用的兴起，直接推动了高速光电互连技术的迅猛发展，其市场应用规模及技术发展将会超乎人们的想象。

2.我国光通信有源器件的产业发展

我国从70年代开始了光电子器件的研究开发和产业化，培养了大批有经验的工程师和技术工人，有源器件方面以光迅科技等为代表的一批民族企业茁壮成长，与此同时也为外企在国内建立生产基地创造了条件。从2000年以来，外企通过一些方式进入中国，如：直接投资，招聘人员，如Oclaro，JDSU等；购并国内企业，如Neophotonics购并Photon，MRV购并Fiberxon等；通过CM、OEM或ODM等方式建立生产基地。至今可以说，中国已成为国际上最大的光电子器件生产基地，为世界光器件产业的发展做出了巨大的贡献。

尽管经历了金融海啸的影响，但近几年来国内光器件产业仍然保持着快速增长的势头，有源光器件无论从传统的中低端器件，还是PON器件、高速器件等各方面，已经形成了具备国际影响力的产业群，但无庸讳言，在一些核心高端光电器件方面，和世界上领先的国家相比，还存在较大的差距。在光收发模块方面，目前中国有大约200多家企业，但真正具有从芯片到器件到模块的垂直集成能力的厂家却屈指可数。

就产业规模而言，按生产制造地划分，2008年中国生产制造的光器件已占全球25%的市场份额，其中大陆本土企业的销售约占全球光电子器件市场17%的份额；而到2009年，仅大陆本土光器件企业的市场份额就已经增长到全球的26%，市场规模达到约75亿人民币，其中有源部分约51亿，占据了相当大的部分。在全球的中低端光收发模块中，国内企业占据了相对大的比例，据中国信息产业网数据表明，

全球中低端有源光器件市场上光迅科技的份额已超过三分之一，充分展现了中国品牌的世界影响力。

2.1 10G以上高速器件

随着光传输网向更高速率、更大容量、更长距离的发展，10G产品的产业化以及40G、100G产品的批量投放，新的高速率调制格式、相干探测等已经成为了我国有源器件发展的重点。

目前，就10G及10G以下的有源器件而言，除了TIA、LDD、LA等系列的集成芯片外，其余部件包括LD芯片、PD芯片、金属陶瓷件、WDM滤光片等，均有国产化能力。近几年来10G产品市场需求大幅增长，这刺激了10G模块的销售的大幅增长，来自光迅科技的数据表明，10G产品销售的年增长率自2008年以来均达到了100%以上，成为了产品结构转型的重点方向。

就40G/100G系统而言，在2009年，40G的系统应用只出现在骨干网中，2011年之后，40G甚至100G的系统逐步应用在骨干网、城域网中，只是在接入网方面维持在10G及以下速率。同时来自Lightcounting的数据分析表明，



在40G今后几年的增长中，来自线路端和客户端的需求几乎是保持在同一水平上。

由于缺乏高端器件的相关核心资源和技术积累，国内光器件厂家在40G/100G器件与模块的开发上显然受到了种种局限，尤其体现在以DP-QPSK调制方式为代表的产品上，因为引入了发射端的偏振复用以及接收端的平衡相干

探测等复杂的技术。但即便如此，国内还是有少数厂家能够自主研发出40G的器件和Transponder收发合一模块，并且已将目光投向了更高端的100G光电模块。图1展示的是光迅科技在40G系列产品上的垂直集成资源的情况，表明了其从有源芯片、发射接收器件、一直到收发一体模块的垂直整合能力。

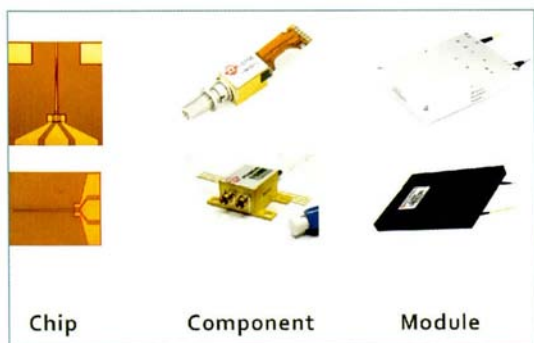


图1 40G系列垂直集成资源示意图

2.2 PON器件

目前，全球每年新增光纤接入宽带用户有几千万户，我国的FTTx已经处在大量应用前期阶段，xPON的产品市场日趋火爆，同时市场对PON产品的低成本、大规模的可制造性、高可靠度、向更高带宽平滑升级等的要求进一步提高。

中国光通信行业2009年的高增长已无疑异，步入2010年后，FTTH催生的巨大增量市场维系了中国光通信行业的高速增长态势。事实上，FTTH的规模增长，2008年已经显现，其后

的驱动因素则是：政策支持；运营商搁置了技术制式争议，明确当前以EPON、GPON并举的发展思路。

国家七个部委于2010年3月联合印发了《关于推进光纤宽带网络建设的意见》，计划在3年内投资于光纤宽带网总额超过1500亿元。值得一提的是：广电系统未来进行的双网改造和NGB实质上与电信网络差异并不大，都是基于PON的架构，加上未来物联网的支持，上述预期应该是较为客观的。

受上述大环境的影响，国内PON模块厂家的业务呈现蒸蒸日上的势头，据专家分析，FTTx这个势头至少还能火10年，目前已经成为了光通信市场上最大的一块蛋糕。在国内，已有多家拥有系列的EPON/GPON ONU/OLT光收发模块产品线，在很多产品的出货量上基本占据了全球的半壁江山，但其中真正拥有完善解决方案，能够完全采用自主研制的FP/DFB/PIN/APD管芯，在PON系列上具备垂直整合能力，并且已经规模化生产的厂家，却是凤毛麟角，这也是许多专家大力呼吁全力打造“中国芯”的原因，同时也进一步表明，打造中国芯，就要从PON器件开始。

为了适应模块的小型化封装要求，GEAPON模块用的器件BOSA（Bidirectional Optical Sub-Assembly）的体积也越来越小了，即使是采用SC/UPC光接口插拔的BOSA器件，也可方便地应用于SFP的小型化封装中（参见图2）。



图2 GEAPON模块的常见封装外型图



受到各种带宽需求的驱动，光接入网势必要向下一代接入网演进。目前国内厂家都在关注速率达到10Gb/s的PON，并且在10G EPON以及XG PON的技术、产品的研发上作了非常积极的投入。

举例来说，由GEPON向10G EPON的平滑升级可分四步进行：

第一步：ONU向10G/1G转变，而OLT则向10G/1G单纤双向转变；

第二步：ONU向10G/10G转变，而OLT则向10G/10G单纤双向转变；

第三步：ONU向10G/1G转变，而OLT则向10G/1G单纤三向转变；

第四步：ONU向10G/10G转变，而OLT则向10G/10G单纤三向转变；

目前国内大多数的器件还集中在第一、第二和第三步，器件的典型外形如图3所示。而对于将来模块的封装形式，业界普遍希望是OLT端采用XFP，ONU端采用SFP+。但目前OLT端由于发射是1577nm EML激光器，即使暂不集成1490nm的1G的激光器，实现XFP封装也是对OLT器件的一个挑战。



图3 10G EPON BOSA和模块的常见外型图

至于XG PON的器件，发展态势与10G EPON大致类似。目前，国内厂家的光模块光器件的研发主要集中在XG-PON1，即：非对称的10G/2.5G的GPON上，该产品与非对称的10G/1G EPON在技术上有细微差别。

2.3 ROF器件

在国内，无线通信的发展随着三大运营商的激烈竞争，争夺的战场由3G一直向LTE延伸。根据工信部公布的数据，全国建设的3G基站数超过了43万个，投资超1800亿元。而对于4GLTE来说，要实现相同的覆盖范围，将布置更多的基站。目前，3G和LTE的网络大量采用的是BBU + RRU分布式光纤基站的技术方案，而BBU和RRU都要采用光模块。

目前，在宽频光收发器件、模块的研究方

- 国内企业中，已经有光迅科技、海信分别成为CSFPMSA国际
- 联盟的第5、第8家正式成员，并且正在积极开发该产品，相关的
- 国内行业标准也正在积极的准备之中。

面，50MHz~3GHz模拟传输光电器件与收发模块、CATV用带智能预失真处理的光发射模块、2G、3G光纤直放站光收发合一模块、GPS及卫星信号接收光电收发模块等相关产品均已批量投放市场，其典型外形可参见图4。



图4 常见的射频模块图

为了进一步解决ROF的BBU以及RRU在400M~4GHz射频工作频段的器件、模块在商用阶段的重大性能和关键质量问题，光迅科技与大唐移动、浙江大学等单位开展了联合科技攻关，并着力解决针对密集小区组网应用时的一些关键问题。

2.4 集成器件

光电集成技术作为一种平台技术，几乎可以应用到光通信领域中的每个角落。刚开始，绝大多数厂家都将光集成器件的开发集中在了出货量最大的FTTx产品上，但通过几年的实践发现，由于技术和工艺离大规模的商用还有相当大的距离（如采用PLC技术的单纤双向器件与模块），致使光集成产品的成品率和成本难以达到预期的效果，因此难以真正替代传统的同轴工艺封装的产品。虽然很多企业正在加大力量继续开发FTTx用光电集成器件和模块，但在

目前这种形势下，CSFP产品似乎成了光电集成器件的新的热门研究方向。

CSFP (Compact Small Form Factor Plug gable) 即是紧凑型SFP，是在现在流行的SFP封装基础上，发展更为先进、更为紧凑的CSFP封装。通过采用双通道、四通道的设计，CSFP采用现有SFP通用接口，但将外形尺寸缩小到现有工业标准的一半和四分之一，通过组合还可灵活配置通道数量。如果继续采用传统分立元件方案，那么在技术上将很难实现上述功能。CSFP结合高集成度的光电集成技术，在拥有SFP所有的技术优势的基础上，可大幅度减小光收发模块和光系统设备的外形尺寸，显著增加通信端口密度及数据吞吐量，降低系统成本，可望在数据通信市场上大显身手。国内企业中，已经有光迅科技、海信分别成为CSFPMSA国际联盟的第5、第8家正式成员，并且正在积极开发该产品，相关的国内行业标准也正在积极的准备之中。

从图5可以看到CSFP器件与模块的一些基本情况。

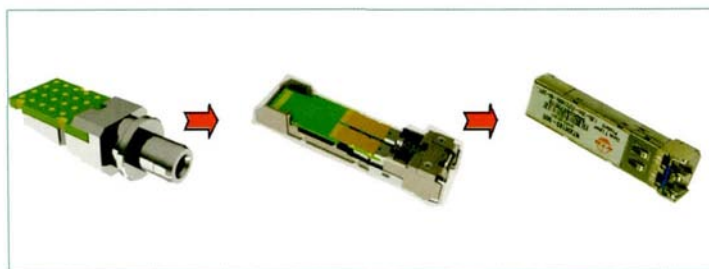


图5 CSFP器件与模块示意图



2.5 光电互连器件

中国的天河-1A 超级计算机成功晋级为全球 HPC500 强，它采用了数万个 AOC (Active Optical Cable) 即有源光缆产品连接整个系统的交换机/路由器。该系统中，高达 80Gb/s 的网络连接和两个 4X10GAOC 绑定在一起，以满足带宽需求。

权威调查机构 Ovum 在对全球光通信区域市场调查后，得出的一个这样的结论：并行光电技术是一项决定性的重大技术。然而，在此技术领域内，国内企业的基础却非常令人担忧。由于缺乏核心的高速 VCSEL 芯片，以及相应的器件阵列的耦合封装技术积累，光互连产品几乎为国外企业所垄断。近年来，国家也正在大力支持包括片上光互连等高端技术的投入，从目前的形势来看，在加大光互连的投入的同时，国内企业在电互连器件、模块方面还是非常有条件取得突破的。图 6 为电互连模块示意图，单个模块速率已经可以高达 40Gb/s，国内已经具备批量的生产能力，在短距离的通信互连方面的优势十分明显。



图6 高速电互连模块示意图

结语

历史上，光纤通信对于现代通信的最大贡献就在于根本上解决了干线传输问题。下一步光纤通信要解决带宽进家的问题。目前，不少厂家已经将 40G 相干技术和产品作为通向 100G 的垫脚石，如思科收购了 CoreOptics，宣布推出 40G 线路端模块，Oclaro (通过收购 Mintera)、JDSU、Opnext 等也都已经将 40G，甚至 100G 的基于相干技术的 Transponder 列入即将推出的产品之列。在此领域里，国内企业自然也不甘被拉得太远，相关有源器件厂家正在大力推出该类模块。

下一代 PON 就标准而言已经完成了对 10Gb/s 的支持；对世界上首个 WDM-PON 的标准也即将展开讨论。国内非对称速率的 10G EPON、XG-PON 的产品发展非常迅速，下一步将转入商用，并逐步推出对称速率的 10G PON 产品。