

光电子集成芯片技术发展现状与趋势¹

文 / 傅耀威 孟宪佳 (科技部高技术研究发展中心 西北大学)

光电子集成芯片技术正处于高速发展时期。全球都投入了大量资源进行高端光电子器件的研发,在有关基础科学问题、关键技术、示范应用、产业推广等方面均有重大进展和突破。本文对光电子集成芯片技术国内外发展现状与趋势进行了梳理分析,并提出了我国进一步发展的对策建议。

一、关于光电子集成芯片技术

光电子集成芯片技术是将光电材料和功能微结构集成在单一芯片上²,实现系统功能的新技术。发展与微电子集成电路类似的光电子集成芯片技术,是光电子器件技术正在面临着的一次里程碑式变革。

目前的光子器件总体处于“单个晶体管”时代,信息系统的能耗和容量问题仍然没有得到有效的解决。光电子集成芯片技术具有低功耗、高速率、高可靠、小体积等突出的优点,必将在光传输、光信息处理与交换、光接入以及光与无线融合等领域的关键环节,发挥着越来越重要的作用,是突破信息网络所面临的速率和能耗两大技术瓶颈的必由之路。光电子集成芯片技术在传感、计算、生物、医药、农业等领域也有着广泛的应用前景。

二、国际发展现状与趋势

当前,光电子集成芯片技术发展的趋势特点主要体现在以下几个层面:

1. 芯片与器件层面:光电子集成化

集成化是光电子技术发展的必由之路,这已经是光电子科学技术发展已经证明了的事实,也是学界和产业界的共识。只有集成才能够支撑未来信息系统对速率带宽、能耗体积以及智能可控等发展需求。然而,光电子集成与基于单一硅材料的微电子集成有着巨大的差别,涉及异质(材料)、异构、异速、异维等关键科学问题。

2. 功能模块层面:可重构智能化

随着各种信息应用的动态化和复杂化,为了支撑信息传输、交换及处理的智能化需求,光电子功能模块必

须具备可重构的能力,在对系统性能没有影响的情况下完成所需要的快速功能转换(例如波长、偏振、频段等)。“可调试”“可编程”“可重构”等关键词将成为绝大多数高性能光电子模块的基本特征。

3. 系统应用层面:多维信号调控

为了适应现代信息社会对带宽需求的高速增长,核心光网络系统所面临的信号维度已经不是传统的单一维度(如波长 WDM、幅度 OOK 等),而是越来越复杂的维度组合(波长、偏振、模式、轨道角动量等等),各种复用技术如波分复用技术(WDM)、时分复用技术(TDM)、偏振复用技术(PDM)、正交频分复用技术(OFDM)、空分复用技术(SDM)和各种高阶调制格式如 PSK、QPSK、QAM 等已被广泛应用于光纤通信系统中,因此,高效的信号调控机制(包括产生、传输、

交换、处理、接收等）将成为下一阶段的研究重点。

光电子器件及集成技术正处于高速发展时期，进入 21 世纪以来，国际上围绕光电子技术部署了许多重大的研究计划，投入了大量的人力物力进行高端光电子器件的研发，在光电子的基础科学问题、关键技术、示范应用、产业推广等方面均有重大进展和突破，有力支撑了各国信息领域整体水平的提升。

欧盟在前期 5th Framework 项目 PICCO 基础上部署了 6th Framework 项目 PICMOS 和 ePIXnet，在 7th Framework 中部署了 HELIOS、PhotonFAB 和 ERA-NET-PLUS 等项目，而“Horizon 2020”计划更是集中部署了光电子集成研究项目，旨在实现基于半导体材料或二维晶体材料的光电混合集成芯片。

日本先后实施了世界最尖端 IT 国家重点研究开发项目——光电子元件技术开发项目，TIA 项目（筑波纳米技术革新平台），下一代高效率网络器件技术开发项目等等，目前正

在实施的 First Program（先端研究开发计划）部署了“光电子融合系统技术开发项目”。

美国更是集中精力开展光电子技术研究，尤其以 DARPA 和 NSF 资助了多个重大研究计划，包括 HPC/UHPC、EPIC、UNIC、POEM 和 MURI 等计划。2014 年 10 月美国总统奥巴马宣布光子集成技术国家战略，联邦政府结合社会资本投入 6.5 亿美元打造光子集成器件研发制备平台。

无论是美国 NRC 报告《Optics and Photonics: Essential Technologies for Our Nation》（2012 年）和美国国家纳米技术计划组织（NNI）发布的《2020 及未来纳米电子器件发展计划》（2010 年），还是欧洲的《Towards 2020-Photonics Driving Economic Growth in Europe》（2013 年）和“电子器件与系统”计划（ECSEL）（2014 年），以及其它国家繁多的研究报告，都明确了光电子与微电子技术对未来信息产业和国家经济发展的重大作用，并指出了当前和未来五到十年内光电子

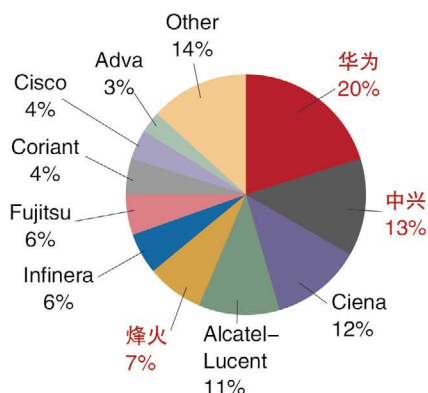
与微电子研究的趋势。

三、我国发展现状与水平

“十二五”期间我国在多波长激光器阵列、超高速长距离光传输、高速光调制器、大规模光交换芯片，以及全光信号处理芯片等光电子集成芯片相关技术方面取得了重要进展。

在研发层面上的光电子单元器件部分指标已经达到国际水平，如 70Gb/s 硅基调制器，40Gb/s 锗硅探测器，24GHz 模拟直调激光器，高效光栅耦合器及波分复用器等，而光电子器件集成芯片技术与发达国家还存在较大差距；尤其是在高端光电子芯片及器件的研发方面能力严重不足，包括芯片制备和标准化工艺。我国光通信系统整机和设备制造能力已经位居世界前列，例如自主整机产品已占全球光网络的五分之二，光接入设备占全球的四分之三，光纤光缆占全球的二分之一。但我国光电子器件产业缺乏核心技术，设计和制造能力不足，高端光电子器件和芯片主要依赖进口。

2015年全球光网络设备商排名



2015年全球光电子器件企业排名

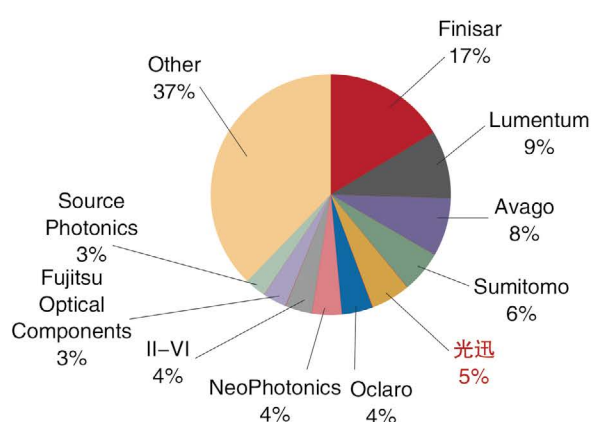
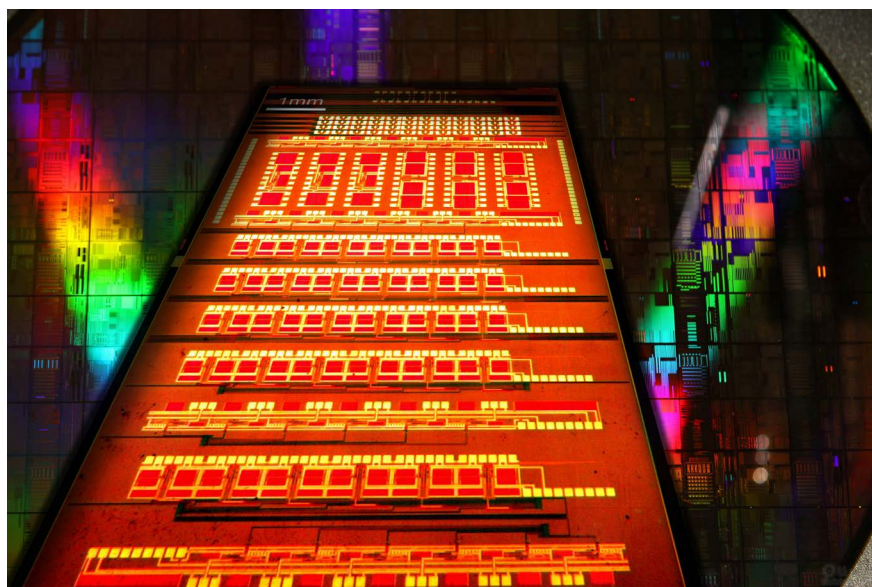


图 1 全球光网络设备和光电子器件发展现状（来源 Ovum）

图1给出了国际权威机构(Ovum)对宽带光网络设备和光电子器件企业情况。从图中可见,我国光网络设备供应商企业华为、中兴和烽火在全世界分别排第1、第2和第5位,仅仅这三家公司占全球市场40%以上,处于国际领先水平。

在已经广泛使用的宽带光网络的核心传输和交换设备中,光电子器件的成本比重分别达到70%和60%,在目前正在进行商业化的超100G光网络设备中,光电子器件的成本比重超过80%。然而我国光电子器件需求和产能严重失调,目前我国仅有武汉光迅、海信多媒体、华美光电和中科光芯等企业具有一定规模的光器件生产能力。在全球前10位的光电子器件供应商中,我国仅有光迅排第5位(占全球市场份额5%)。高端光芯片95%从日本和美国进口,2014年光电子器件综合国产化率仅为13%(主要集中在中低端器件)。以光电子收发器件为例,速率为2.5Gb/s、10Gb/s和100Gb/s的光电子收发器件需求为37、44和29亿元,国产化率分别为30%、4%和空白。

总体来讲,我国光电子器件技术还处于跟跑阶段,制约我国光电子技术发展的突出问题包括光电子器件加工设备研发实力薄弱,缺乏标准化和规范化的光电子器件工艺平台,以及芯片模块化封装和测试分析技术落后等,导致国内自主芯片和工艺装备一



直处于十分落后的状态,差距有逐渐扩大的风险。

四、我国进一步发展对策建议

对应我国当前光电子集成芯片技术发展面临巨大的挑战,提出对策建议如下:

1. 加强器件技术研发和生产,迅速提高国产化率。尽快启动国家重点研发计划“光电子器件与集成”重点专项,并加大中央财政资金投入,加快基础和技术创新。制定促进光电子产业发展的相关政策,光电子企业享有与集成电路企业相同的产业政策、税收政策和人才政策,快速提升光电子器件的国产化率。

2. 优化光电子产业生态,构建长效战略合作机制。加强光电子器件生

产制造装备研发,建立光电子芯片公益性光电子器件工艺加工平台,为高端光电子芯片研发和生产提供技术支持和服务。建立光电子器件设计和制备技术标准化体系,增强产业群体国际话语权。鼓励建立光电子器件产业协作联盟,整合产业中分散的研发力量,完善创新体系与产业生态环境。

3. 加强国际合作,实现我国光电子器件跨越发展。利用加拿大以及荷兰、意大利、西班牙、德国等欧洲国家在光子集成芯片等高端光电子器件方面的技术优势,迅速提升未来网络急需的集成光电子器件研发能力。加大光电子器件产业核心人才引进力度,继续推动出台针对的相关人才回国就业和创业支持政策。科技

注:

¹ 本报告为科技创新战略研究专项项目“重点科技领域发展热点跟踪研究”(编号:ZLY2015072)成果之一。

² 即将多个光电子分立器件,如激光器、光调制器、光探测器、光放大器和解复用器等,通过合理的优化、设计、工艺加工和封装,集成到单一芯片上。

本文特约编辑:姜念云