

光子集成电路的发展方向解读

来源：半导体行业观察

光子集成电路（Photonic Integrated Circuit, PIC）相对于传统分立的光-电-光处理方式降低了复杂度,提高了可靠性,能够以更低的成本构建一个具有更多节点的全新的网络结构,虽然目前仍处于初级发展阶段,不过其成为光器件的主流发展趋势已成必然。PIC 单片集成方式增长迅速,硅基材料发展势头强劲。产业发展模式多样,产业链不断构建,新产品与应用进展也在不断推进。相关厂商众多集中度低,我国的储备相当薄弱,因此非常有必要加快发展该通信底层核心技术,提高国际竞争力。

一、混合集成占据主导,单片集成上升明显

按照集成的元器件是否采用同种材料,PIC 可分为单片集成和混合集成。其中混合集成采用不同的材料实现不同器件,而后将这些不同的功能部件固定在一个统一的基片上。混合集成的好处是每种器件都由最合适的材料制成,性能较好,但元器件集成时需要精密的位置调整和固定,增加封装的复杂性,限制集成规模。而单片集成则是在单一衬底上实现预期的各种功能,结构紧凑、可靠性强,不过目前实现起来仍有较大的技术难度。目前,混合集成是光子集成的主要集成技术,占 PIC 全球市场收入的主体,并且预计在未来几年内这一情况仍将持续。不过单片集成作为业界的长期目标,正在以很快的速度增长,预计 2015 年至 2022 年期间复合年均增长率将达到 26.5%。

二、制备材料丰富多样,硅基发展势头强劲

光子集成的制备材料丰富多样,主要包括以下几类:铌酸锂、聚合物、光学玻璃、绝缘体上硅(SOI)、二氧化硅/硅、氮氧化硅/二氧化硅以及三五族化合物半导体。目前,磷化铟(InP)和 SOI 共同占据市场营收的主体。InP 的主导地位主要归因于其将光电功能集成到光学系统芯片的能力。而硅基作为 PIC 制造平台能够基于全球历时五十年、投入数千亿美元打造的微电子芯片制造基础设施,利用成熟、发达的半导体集成电路工艺提高集成光学工业化水平,进行低成本规模化生产。虽然目前硅光子还面临很多技术瓶颈,但在整个产业界的向心力下,正在被一个一个地克服,产业界对硅光子大规模商用也抱有极大的信心。尤其是数据中心的短距离应用,让硅光子找到了用武之地。根据市场研究公司 Yole Développement 报告,数据中心以及其他几项新应用将在 2025 年以前为硅光子技术带来数十亿美元的市场。

三、发展模式多样化,产业链不断构建

2010 年以来,光子集成技术进入了高速发展时期。光子集成技术主要有以下几种发展模式:一是国家项目资助,如美国国防部监管的“美国制造集成光子研究所”(AIM Photonics)、日本内阁府资助的研究开发组织“光电子融合系统基础技术开发”(PECST)等;二是像 Intel、IBM 等 IT 巨头的巨额投入;三是小型创业公司前期靠风险资金进入,后期被大企业并购再持续投入,该模式已成为一种重要发展模式;最后是一些新崛起的初创公司,如 Acacia、SiFotonics 等。

光子集成技术产业仍在发展,产业链不断构建,目前已初步覆盖前沿技术研究机构、设计工具提供商、器件芯片模块商、Foundry、IT 企业、系统设备商、用户等各个环节。然而,光

子集成供应链相比于集成电路（IC）仍然落后，尤其在软件和封装环节较为薄弱。

四、厂商众多集中度低，美国厂商规模占优

全球 PIC 市场发展态势良好，市场规模于 2015 年达到 2.7 亿美元，预计 2018-2024 年间将以 25.2% 的复合年均增长率持续增长，到 2021 年突破 10 亿美元。

全球 PIC 市场高度分散，其特点是存在大量参与者。PIC 市场的领先企业包括 Finisar（美国）、Lumentum（美国）、Infinera（美国）、Ciena（美国）、NeoPhotonics（美国）、Intel（美国）、Alcatel-Lucent（法国）、Avago（新加坡）以及华为（中国）等，其中美国厂商规模占优。总体来讲，我国光子集成技术还处于起步阶段，制约我国光子集成技术发展的突出问题包括学科和研究碎片化，人才匮乏，缺乏系统架构研究与设计，工艺设备的研发实力薄弱，缺乏标准化和规范化的光子集成技术工艺平台，以及芯片封装和测试分析技术落后等。幸运的是，该领域仍处于资产不断重组过程中，今年就发生了两起重大并购案，3 月 Lumentum 收购排名紧随其后的 Oclaro；11 月 II-VI 收购 Finisar。如果我们抓住机遇超前布局，精心组织和重点投入，将会为产业发展创造良好的契机。

五、新产品与应用进展不断推进

除传统应用领域，光子集成芯片技术还有很多重要的新兴分支，其中具有代表性的有集成微波光子芯片以及高性能光子计算芯片。

集成微波光子芯片主要在光学域上实现射频信号的处理，其功能可以覆盖无线系统的整个射频信号链，具有更高的精度、更大的带宽、更强的灵活性和抗干扰能力，被认为是具有竞争力的下一代无线技术平台。目前在俄罗斯大约有 850 家公司参与微波光子学的研究和开发，欧盟也正联合开发新型全光子 28GHz 毫米波 mMIMO 收发信机芯片。

光子计算被认为是突破摩尔定律的有效途径之一，具有内禀的高维度的并行计算特性。2016 年 MIT 提出了使用光子代替电子作为计算芯片架构的理论。2017 年英国 Optalysys 公司发布了第一代高性能桌面超级光子计算机。除了传统的高性能计算外，光子芯片也将是未来 AI 计算的硬件架构，并且是未来量子计算的候选方案之一。

综上，PIC 目前仍处于初级发展阶段，不过其成为光器件的主流发展趋势已成必然，近几年的发展速度亦有目共睹。随着基础材料制备、器件结构设计、核心制作工艺等核心关键技术的突破，加之产业需求的急剧升温，特别是光互联、超 100 Gbit/s 高速传输系统和 FTTH 接入终端对小尺寸、低功耗和低成本的强劲驱动，PIC 在未来几年将迎来更快的发展，集成度和大规模生产能力逐步提升，成本不断下降，产业链进一步完善，并引发光器件、系统设备，乃至网络和应用的重大的变革。