



可插拔光收发机：市场与技术

KOZLOV V G

(LightCounting 市场研究公司, 美国 俄勒冈州 尤金 97401)

摘要: 可插拔的光收发机为各种光网络提供了一种可实用化的标准光电接口方案。首先展示了多种 10 Gbit/s 光收发机, 然后将全球光收发机市场按照器件技术进行了分类, 展示了 FTTx 中 ONU 的平均售价, DWDM 网络、以太网及 FTTx 中 ONU 光模块的归一化平均售价以及 100GbE SR4 和 CWDM4 收发机的平均售价, 最后给出了与 ASIC 开关联合封装的板载光模块。

关键词: 可插拔; 光收发机; 售价

中图分类号: TN29

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019050

Pluggable optical transceiver: market and technology

KOZLOV V G

LightCounting Market Research, LLC, Eugene, OR 97401, USA

Abstract: Pluggable optical transceivers provide a practical, standard optoelectronic interface solution for a variety of optical networks. Firstly, a variety of 10 Gbit/s optical transceivers were shown, and then the global optical transceiver market was classified according to device technology. The average selling price of ONU in FTTx, ONU optical modules in DWDM networks, Ethernet and FTTx and 100GbE SR4 and CWDM4 transceivers were revealed. Finally, the onboard optical module packaged with the ASIC switch was given.

Key words: pluggable, optical transceiver, price

全光网络是 20 世纪 90 年代电信业泡沫时期的热点话题之一。全光网的重要优势之一是可通过减少光电接口以大幅降低网络成本。然而, 要想实现全光网是非常困难的, 其未能实用化的部分原因是控制如此庞大的网络是十分复杂的。可插拔的光收发机为各种光网络提供了一种可实用化的标准光电接口方案。这些光模块方案使光连

接在众多网络应用中成为可能: 包括从数据中心和企业网中的百米级以太网, 到千公里级的 DWDM 电信网络。

光学器件领域技术的进步极大地降低了光收发机的复杂性和成本。图 1 展示了多种 10 Gbit/s 光收发机示例。图 1 中最大的器件是铌酸锂 (LN) 调制器, 较小的器件均是基于磷化铟 (InP) 技术的

收稿日期: 2018-10-10; 修回日期: 2019-03-05

翻译: 崔嘉斌, 纪越峰

英文原文见 <http://www.infocomm-journal.com/attached/file/20190320/2019050.pdf>



激光器和调制器。铌酸锂调制器目前仍被应用于高端的 100 Gbit/s/200 Gbit/s/400 Gbit/s DWDM 传输模块之中，然而随着对基于磷化铟技术和硅光（SiP）技术调制器研究的不断深入，有望实现体积更小、成本更低的光模块，其技术优势也逐渐显现出来。

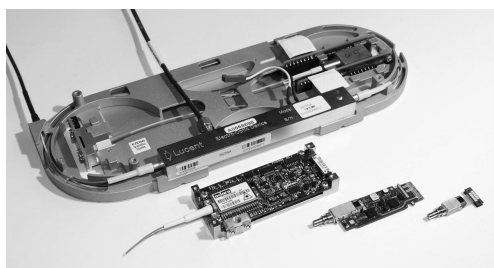


图1 10 Gbit/s 速率光调制器及其组件示例
(资料来源: Oclaro)

磷化铟技术和硅光技术的另一个重要优势是为集成光学器件的制造提供了平台。光学集成的规模可以从仅组合两个功能单元到结构极其复杂的光子集成电路（PIC）。为使本文内容更加翔实，从更广泛的角度来定义集成，即一个产品只要在一块芯片或平面光波导（PLC）上组合了两个或以上的关键功能模块，如激光器、调制器或探测器等，就被认为是集成器件。简便起见，本文所讨论的关键功能模块不包括光学透镜、滤波器和隔离器。

例如：某个集成产品的示例是在一块芯片上组合了激光器和调制器两个功能模块的电吸附调制激光器（EML）。再如：另一个更加紧凑的集成产品示例是基于硅光技术的 100 Gbit/s DWDM CFP 封装的光转换器在一块芯片上组合了超过 4 种功能模块。

分立型光学器件包括由预先封装的激光器和探测器组成的光收发机。光纤接入技术（FTTx）主要应用的收发机或单纤双向光器件（BOSA）以及 100 Gbit/s 以太网 CFP 模块在本文中均被视为分立型器件。

为了评估集成技术给产品销量带来的影响，

重点关注光收发机的市场情况，而不是激光器芯片、封装发射机或接收机等。这样便可以应用 LightCounting 近 15 年来收集的器件市场数据。

图 2 将全球光收发机市场按照器件技术进行了分类。除了上面提到的磷化铟和硅光技术外，还包括了基于砷化镓（GaAs）技术的产品，例如可用于多模光纤传输的 850 nm 波长激光器。图 2 还对集成产品和分立型产品进行了区分。为分析简便，铌酸锂调制器技术没有被列入讨论的范围内。

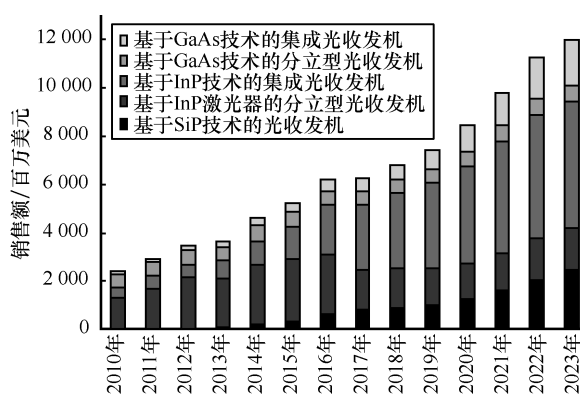


图2 按发射机组件技术分类的光收发机全球销售额统计
(资料来源: LightCounting)

如图 2 所示，基于磷化铟激光器的分立型光收发机在 2010—2016 年占据了市场的主体地位。然而这类产品的销售量在 2017 年因为对 FTTx 和前传网络需求的下降而明显下降。

基于磷化铟技术的集成收发机销量在 2017 年猛然上涨，并占据了最大的市场份额。在过去的 20 年里，基于 EML（调制器集成光源）技术的光发射机，即在一块芯片上集成激光器和调制器，被广泛应用于 2.5 Gbit/s 和 10 Gbit/s 速率的市场之中。100 Gbit/s 光互联技术给基于 EML 技术的产品带来了更多的应用场景，包括用于 100GbE LR4（10 km 距离）收发机的 4×25 Gbit/s 技术方案。

砷化镓技术在如今的光收发机市场中占据了第二大份额。此类产品的销售额在 2017 年超过了 10 亿美元。这一技术使得短距离（100~500 m）的 1 Gbit/s 和 10 Gbit/s 光连接能在多模光纤中实

现多种应用。40 Gbit/s 和 100 Gbit/s 的以太网产品则分别采用矩阵式集成 4×10 Gbit/s 和 4×25 Gbit/s 的垂直腔面发射激光器 (VCSEL) 和光电探测器 (PD), 然后连接到带状光纤。这类技术产品的销售额预计在 2023 年将达到 25 亿美元, 使得集成模块的份额也将占到总体销售额的 80%。

基于硅光技术的光收发机销售额在 2016 年翻了一番, 超过了 6.5 亿美元, 并在 2017 年达到了 7.98 亿美元, 增长率超过了 22%。如果按照这个趋势发展下去, 基于硅光技术的产品将是 2018—2023 年销售额增长最快的集成器件, 总市场份额从 2017 年的 13% 增长到 21%。并且此类器件从功能及价格上来说主要是高端产品, 例如 100 Gbit/s 及以上的器件。

这一趋势可能与许多业界专家的期望不吻合, 即许多专家认为硅光技术将带来廉价可量产的光连接方案, 并取代现有的磷化铟和砷化镓平台。然而, 如果硅光技术的主要优势体现在易集成上, 那么这一技术最适合的应用场景应是需要大量集成的复杂高端器件。

之前有些公司将集成光模块引入 FTTx 的诸多应用场景, 这也是到目前为止占光收发机市场份额最大的部分。然而这些尝试并没有取得很大的成功。原因在于基于分立器件的 FTTx 产品供应商能够随着出货量的增加而降低产品价格。例如光接口模块的出货量从 2010 年的 5 000 万支增加到了 2016 年的 1.7 亿支, 这类 FTTx 产品的价格也降到了 10 美元。到了 2017—2018 年, 虽然出货量在下降, 但其价格仍下降到了 5 美元。

图 3 展示了 FTTx 中 ONU 的平均售价 (ASP), 具体包括 BPON、EPON、GPON 和 10 Gbit/s PON 中的收发机以及 BOSA, 并将 DWDM 网络和以太网中的光模块价格与其进行对比。图 3 的纵坐标采用了对数形式, 因此 FTTx 产品价格

也掩盖了 GPON 模块降价的事实。有趣的是, 在过去的 10 年里, DWDM 网络模块的平均售价一直保持稳定, 而以太网收发机的价格在 2016—2017 年有明显增长。这与 100 Gbit/s 收发机销售量的上涨有直接关系。

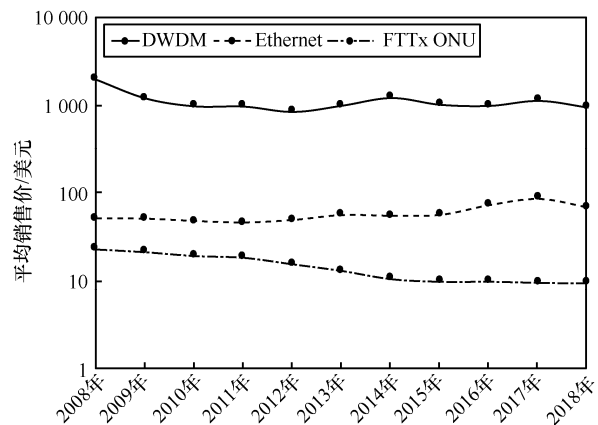


图3 DWDM网络、以太网和FTTx ONU模块平均售价(ASP)
(资料来源: LightCounting)

图4展示了DWDM网络、以太网及FTTx中ONU光模块的归一化平均售价(ASP), 即计算出各网络中光模块的售价/速率(美元/(Gbit·s⁻¹)), 以应对不断上涨的产品数据速率。为了将所有网络的价格在一张线性纵坐标的表中展示, DWDM网络产品的价格均除以了10。

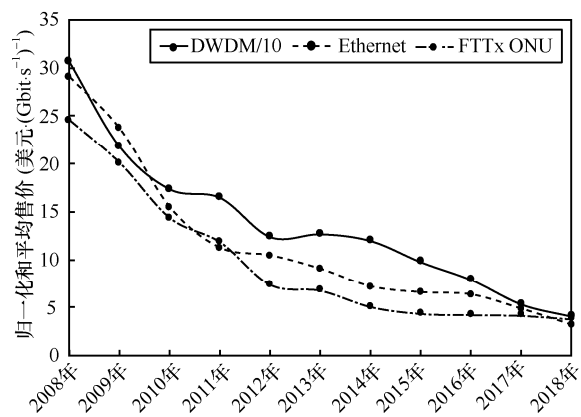


图4 DWDM网络、以太网及FTTx ONU中光模块的归一化的平均售价(ASP)
(资料来源: LightCounting)

图4清晰地说明了光学器件和模块供应商在降低光纤传输 1 Gbit/s 数据的成本方面取得了多



大的进步，包括从百米级的以太网连接到千公里级的 DWDM 网络产品。

有趣的是，图 4 中的 3 条曲线在 2017—2018 年趋于平稳汇聚，正是集成技术的进步使得以太网和 DWDM 网络模块的平均售价（ASP）大幅降低。

Acacia 在 2016 年取得了令人难以置信的巨大进展，生产出了第一支基于硅光技术的 CFP DCO 模块。Oclaro 在 2017 年实现了基于集成磷化铟光学器件的 CFP2 ACO 器件的出货。Cisco 在 2014—2015 年利用硅光技术生产出了 10 Gbit/s 速率的以太网收发机。Luxtera 和 Intel 在 2017 年利用基于硅光的模块主导了 100GE 的 PSM4 市场。Intel 成功开发了 100GE CWDM4 收发机——适时地迎合了 2018 年市场对这一模块的巨大需求。

在 100GE CWDM4 收发机的市场上，目前最大的竞争对手是磷化铟和硅光技术，其威胁可能来自应用于制造 100GbE SR4 模块的砷化镓技术。Intel 在 2018 年为其基于硅光技术的 CWDM4 产品提供了非常积极的定价，以获得市场份额。如果 Intel 在 2019—2020 年继续这一战略，100GbE CWDM4 产品的平均售价将低于预测价格，有可能降至 100GbE SR4 产品的价格水平（如图 5 中虚线所示）。

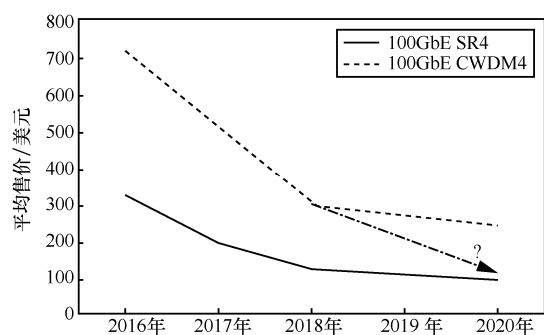


图 5 100GbE SR4 和 CWDM4 收发机平均售价
(资料来源: LightCounting)

2018 年，100GbE SR4 和 CWDM4 的出货量大幅上升，预计到 2019—2020 年，这些模块因云数据中心的应用，其市场需求将继续保持强劲的

增长态势。然而，这些模块价格的下降将影响主要的云数据中心运营商选择下一代 400GbE 光学技术的策略。如果基于硅光的 CWDM4 收发机价格下降的速度快于基于砷化镓的 SR4 模块，那么基于硅光技术的下一代 DR4 和 FR4 400GbE 模块可能成为首选解决方案，从而限制了基于砷化镓的 SR8 或 SR4.2 400GbE 模块的采用。

除了基于硅光技术的产品制造成本较低以外，这些器件的高可靠性也可能影响云数据中心运营商的决策。尽管基于磷化铟和砷化镓激光器的质量几十年内一直在进步，但它们的可靠性仍然是个问题。光收发机 95% 以上的故障与激光器性能下降有关，这一问题与磷化铟和砷化镓材料的缺陷有关，但这些缺陷是非常难以追踪的，激光器制造商只能依靠广泛的老化测试来消除所谓的“婴儿死亡”。尽管有这些努力，仍有大约 1% 的激光器在使用的第一年就不能使用了。这意味着购买 100 万支光收发机的客户（其中有一些），将部署 1 万支有缺陷的模块，这些有缺陷的模块将在部署第一年就产生故障。

尽管在激光器和收发机可靠性方面取得了渐进式的进步，基于硅光技术的设备能否弥补上述问题中的缺陷还有待观察。其问题在于硅光技术不能用来产生激光，所以这些设备一般还会使用磷化铟激光器。然而在设计用于硅光光电路的激光器时具有更大的灵活性，这可以用来提高它的可靠性。随着部署在外场的基于硅光的收发机的数量逐渐增加，将可以获得越来越多的硅光器件可靠性统计数据，并将受到关键客户的密切关注。

容易更换故障模块是可插拔光收发机的一个主要优势，这也是在过去 20 年中这些模块被广泛采用的原因。激光器故障是板载式（非插拔）模块在超级计算机应用中的一个重要障碍。板载式收发机通常可以提供更高的端口密度，这对于高速交换机、路由器和处理器来说是至关重要的。

如果硅光技术能够生产更可靠的光学器件，这将扩大板载模块的应用，并促进光学和电子器件的联合封装解决方案的开发，如图 6 所示。

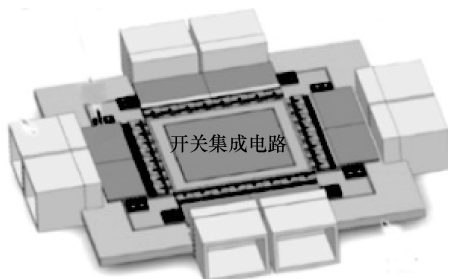


图 6 与 ASIC 开关联合封装的板载光模块示意图
(资料来源: LightCounting)

联合封装或更紧密的集成光学和电子系统的开发，可能会限制 10 年内的可插拔光收发机销售量的增长，但这不太可能影响对 2019—2023 年的市场预测。可插拔光模块仍然是云数据中心、电信运营商和企业网络之中众多应用的首选方案。

[作者简介]

Kozlov V G，男，莫斯科国立大学和布朗大学的物理学博士，LightCounting 创始人兼首席执行官。在 RHK Technology 公司、朗讯科技和普林斯顿大学担任市场分析师、产品开发和研究人员，拥有多项美国专利，并在光电子领域拥有众多出版物。