

# 下一代光接入网的核心光电芯片技术

## Core Optoelectronic Chip Technology for Next Generation Optical Access Network

陈雷/CHEN Lei

(中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)  
(ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)



**摘要:** 50 G 无源光网络(PON)已经成为下一代光接入网的主要技术。该技术的实现有多种技术途径,采用高阶调制4电平脉冲幅度调制(PAM4)技术和不归零码(NRZ)技术是最重要的2种实现方式。采用高阶调制PAM4技术,可以降低对光芯片的带宽要求,降低光芯片的成本,但需要额外增加具有数字信号处理功能的电芯片。采用NRZ技术,则不需要增加其他功能的电芯片,但需要使用高带宽的激光器和探测器光芯片,这种高带宽的光芯片开发难度大,成本高。

**关键词:** 下一代光接入网; 50 G PON; PAM4; NRZ

**Abstract:** 50 G passive optical network (PON) has become the main technology for the next generation of optical access network, and there are many technical approaches to implement 50 G PON. High order modulation 4 pulse amplitude modulation (PAM4) and non-return to zero (NRZ) are the most important technologies of 50 G PON implementation. By using high-order modulation PAM4 technology, the bandwidth requirement and the cost of optical can be reduced, but the electric chip with digital signal processing function needs to be added. NRZ technology does not need to add electrical chips with other functions, but needs to use high-bandwidth lasers and detector optical chips, the development of which is difficult and costly.

**Key words:** next-generation optical access network; 50 G PON; PAM4; NRZ

DOI: 10.12142/ZTETJ.201905008

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/34.1228.TN.20190927.1139.002.html>

网络出版日期: 2019-09-27

收稿日期: 2019-08-08

## 1 下一代高速光接入网的发展

近年来,在“三网融合”和“光进铜退”政策的大力推动下,中国光接入网的接入用户数量和产品覆盖率得到了飞速发展。截至2018年,中国大部分中心城市都已经基本实现光纤到户(FTTH)或者光纤到楼(FTTB)。据统计,中国已经成为了全球光接入用户数量最多

的国家。由于市场规模效应的驱动,近些年来中国的光接入网产业以及光接入网技术都进入了快速发展的轨道。

光接入网的技术标准是从最早的宽带无源光网络(BPON)开始,2003年国际电信联盟(ITU)制定了吉比特无源光纤网络(GPON)标准。随后,电气和电子工程师协会(IEEE)于2004制定了以太网无源

光网络(EPON)标准。经过10余年的发展,到2019年光接入网先后发展形成了10 G EPON、非对称10 G PON第1阶段(XG-PON1)、40 G PON第2阶段(NG-PON2),以及对称10 G PON(XGS-PON)4种不同类型的标准,速率分为1.25 Gbit/s、10 Gbit/s、40 Gbit/s。图1是光接入PON的标准演进路线图。除了这些主流的国际标准以外,根据中国

市场的特殊需求,还衍生出了一些自定义的标准,例如:混合型无源光网络(COMBO PON)标准。

2015年9月,IEEE成立NG-EPON 研究组,确定研究目标为实现 25 G/50 G/100 G 对称及非对称的下一代 100 G EPON 系统。2015年11月,IEEE 802 全会成立正式 IEEE 802.3ca 100 G-EPON 工作组并确定标准时间表。2018年ITU 正式发布 10 G PON 之后的下一代 PON 技术为单波 50 G PON,50 G PON 正式成为了各标准组织及企业的主要研究内容。

## 2 下一代光接入网技术路线

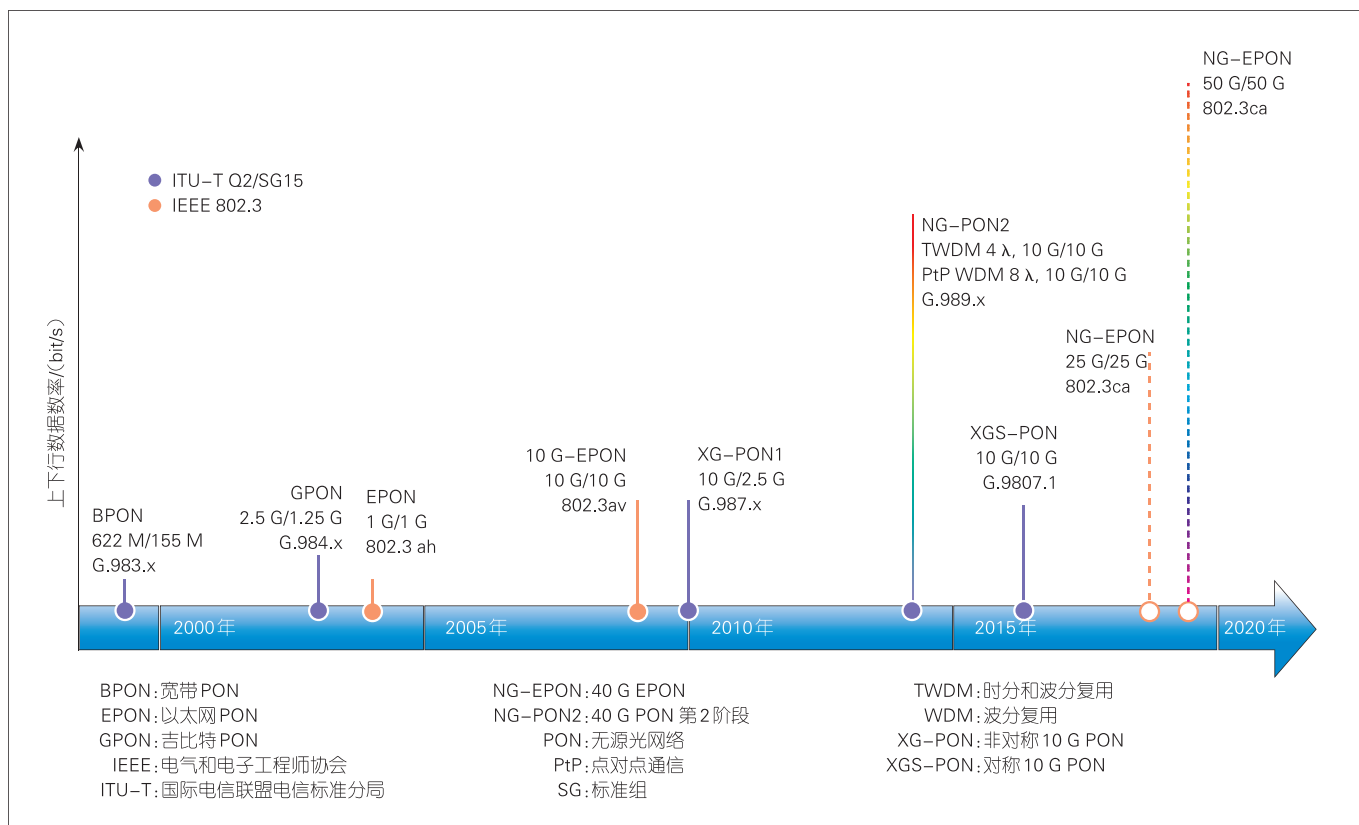
实现单波 50 G PON 的技术路线主要分为 2 种:一种是在光器件

带宽受限的条件下,使用高价调制技术;第 2 种则是延续以前 1.25 G/10 G 发展的路线,采用 50 G 不归零码(NRZ)幅度调制技术。

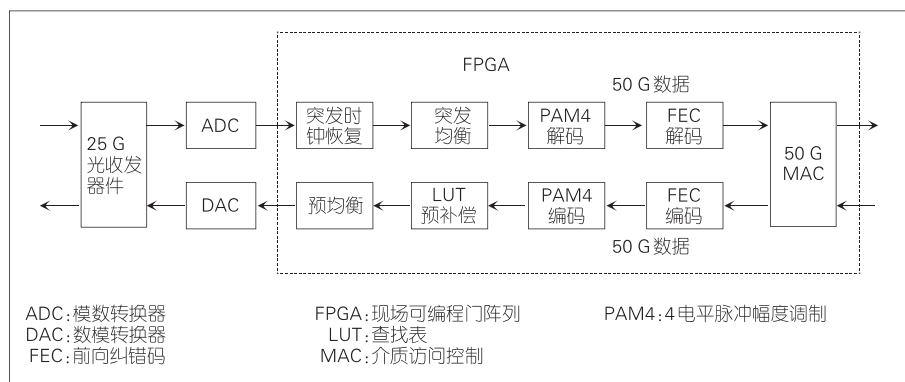
采用高阶调制技术可以降低系统对光器件的带宽要求,降低光芯片的成本。低带宽的光芯片和电芯片产业链成熟可用,也可以快速形成产品并商用化。当前主要可选的调制技术包括双二进制码(DB)、4 电平脉冲幅度调制(PAM4)信号、离散音频调制(DMT)等。PAM4 技术是高阶调制技术的首选方案,具体如图 2 所示的 50 G PAM4 原理框图。采用 PAM4 技术存在需要突破的难点:(1)采用 PAM4 高阶调制技术的信号接收端灵敏度比幅度调制技术的要低,无法满足接入网的高

功率预算要求;(2)高阶调制技术需要使用数字信号处理技术(DSP)芯片,调制/解调制算法比 NRZ 复杂很多,增加了算法成本。虽然近年来,高阶调制技术已经在城域、骨干网实现规模商用,针对数据中心应用的以太网技术也进行了相关技术研究和标准化,但在具有高功率预算、上行突发等特点的接入网领域的应用还处于技术研究阶段。

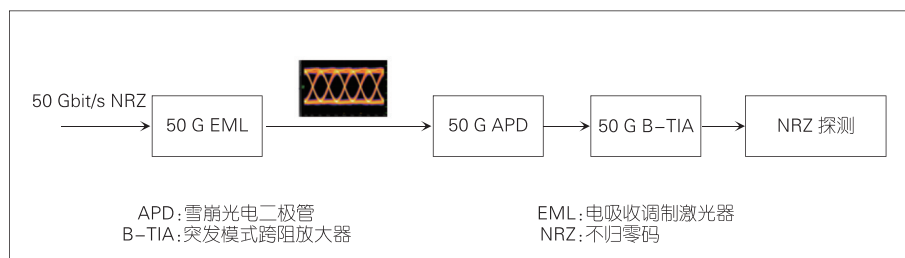
采用 50 G NRZ 幅度调制技术是一种可延续的技术路线。从技术发展的角度来看,50 G NRZ 幅度调制技术的整体架构非常简单,只需要将原来的 10 G 速率对应转化为 50 G 速率即可。具体如图 3 所示的 50 G NRZ 的原理框图,该方案不需要增加模数转换器(ADC)和 DSP 芯



▲图1 PON标准的演进



▲图2 50 G PAM4的原理框图



▲图3 50 G NRZ的原理框图

片。但这种技术路线也存在技术上的难点:(1)50 G的光芯片当前发展遇到技术瓶颈,例如当前业界还没有企业能研发出50 G速率的雪崩光电二极管(APD)探测器芯片,因为研制的难度非常大;(2)满足50 G速率要求的光芯片、电芯片晶圆制造工艺良品率低,导致成本比10 G速率至少高出30%。总体上来说,满足单波50 G NRZ传输的上行突发、下行突发的光/电芯片都还处于实验室技术研究阶段。

### 3 下一代高速光接入电芯片关键技术

#### (1)前向纠错码(FEC)技术。

每一代PON的发展中,都需要考虑FEC技术。考虑到10 G EPON的技术演进,下一代单波长50 G PON的FEC会优先选择低密度奇

偶校验码(LDPC),并要求输出误码率(BER)优于 $10^{-12}$ ,输入误码率BER阈值在 $1e-2$ 或以上。FEC可以考虑采用软值判决,但编码冗余应小于18%(目标在16%以内)<sup>[1]</sup>。LDPC码技术在业界已经比较成熟,在WiFi、电缆数据传输业务接口规范(DOCSIS)、数字视频广播(DVB)等通信中都被应用,因此LDPC码的实现不存在技术障碍,具备实现的可行性。

虽然LDPC码应用已经有可参考的经验,但是将LDPC码应用到接入网中,还有很多地方需要研究。例如:LDPC码型的选择,长度、编码和译码等算法性能的优化,算法复杂度的简化都将成为了业界研究的主要点。其中,LDPC的成本和功耗与译码算法非常相关,它直接决定了电芯片的尺寸、功耗等,所以

突破LDPC的关键技术,可降低后期电芯片的成本。

#### (2)DSP技术。

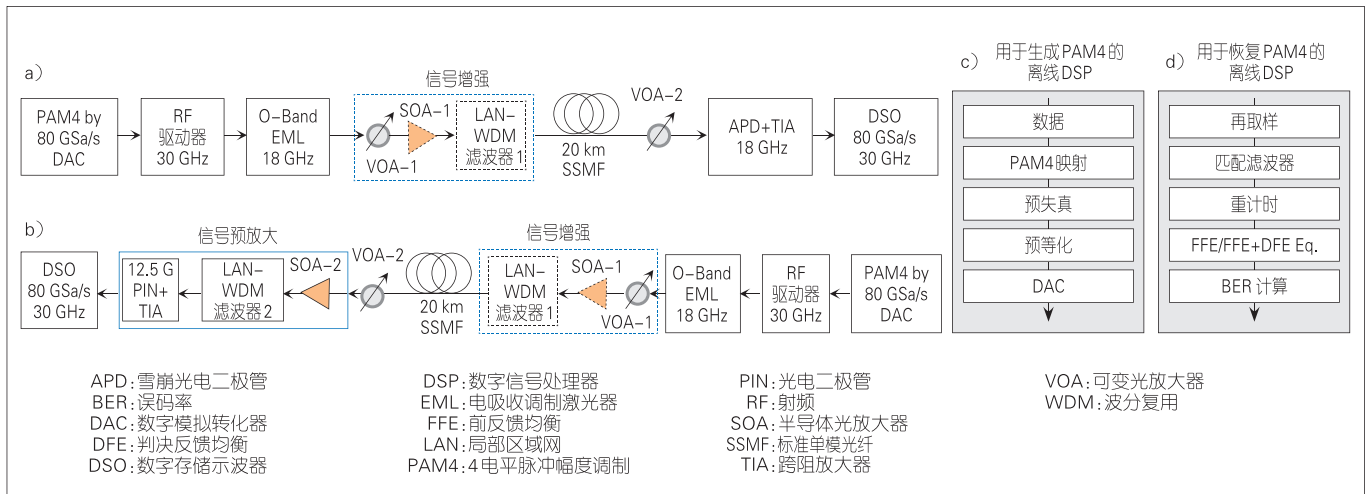
在50 G PON的关键电芯片中,DSP是最重要的。突发的时钟恢复和突发均衡则是实现DSP的最主要挑战。目前未有任何厂家对该方向作研究性支持或产品报道。基于2倍采样的全数字化突发时钟恢复,目前还仅处于实验阶段,但从离线实验和FPGA的验证结果来看:其性能基本理想,所以方案的可行性也得到了证明;但其突发均衡还需要进一步研究,通过降低序列长度,来加快收敛值得思考。另外,采用符号间隔采样的突发时钟恢复方法也有待进一步的技术验证。

在DSP芯片可获得性方面,目前未有支持PON系统的高级调制方案的DSP芯片。迫切需要产业界和学术界加强合作与交流,持续推动电芯片技术研发。

### 4 下一代高速光接入光芯片关键技术

当单波50 G采用高阶调制技术,可以直接使用25 G电吸收调制激光器(EML)/直接调制激光器(DML)激光器和25 G APD探测器。这2种光芯片当前在数据中心和以太网中已经大规模应用。

图4是50 G PAM4时分和波分复用(TWDM)PON在O-Band的链路框图。通过模拟仿真,已经证明PAM4技术可满足PR30链路预算代价需求的传输要求<sup>[2]</sup>。采用PAM4方案后,在发射下行,需要采用APD来接收,在接收上行则采用



▲图4 50 G PAM4的基于时分和波分复用的PON在O-Band的链路框图

半导体光放大器(SOA)+光电二极管(PIN)的接收组合方式。上下行发射都只需要采用18 GHz O-Band的EML激光器,可大大降低光芯片的带宽需求,节约光芯片成本。但是发射端需要增加SOA芯片,来增加光功率。由于高阶调制技术对器件线性度要求很高,所有要求激光器也是线性PAM4的激光器<sup>[3]</sup>。

采用PAM4技术后,接收机的灵敏度会低于采用不归零码(NRZ)方式的接收灵敏度。该PAM4对光反射非常敏感,如果有高功率预算要求,例如32 dB功率预算,采用PAM4的光器件来实现则显得非常困难。

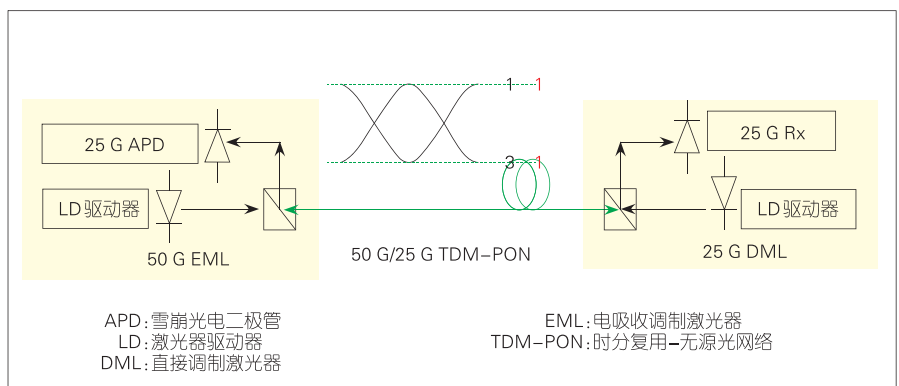
当单波50 G采用NRZ幅度调制技术时,则需要使用50 G EML和50 G APD。ITU于2018年率先规定50 G PON将采用NRZ幅度调制的方式,其下行波长采用1 342 nm波长,具体结构图5所示。

图5中的方案必须采用50 G的EML激光器和50 G APD探测器。由于传输速率越高,激光器在O-

Band的传输色散代价就越大。接入网通常需要传输20 km,色散代价将会严重影响光信号传输距离,这对激光器的研发将带来巨大的挑战。为了解决这个问题,通常还需要再进行光域或电域的色散补偿。

当前50 G探测器APD设计难度最大,主要难点在于探测器带宽的提高,因为探测器的带宽受限于探测器的制作工艺。当前PD探测器所用的工艺一般是锗硅SiGe或者磷化铟INP,2种工艺在带宽的设计上也存在差异。为了不受本身工艺带宽的限制,可以用SOA和PIN的方案来替代高带宽APD。PIN管

的设计很容易满足50 G带宽需求,但是PIN管的接收灵敏度比较低,能接收的最小光功率不满足PON的应用要求,所以必须在PIN管接收前端加入一级光放大,光放大可以采用半导体光放大器SOA。SOA是运用电流受激辐射的原理放大光信号<sup>[4]</sup>,只要注入电流,就可以实现光信号的增强放大。SOA通常具有较宽的带宽<sup>[5]</sup>,可以覆盖50 G带宽的需求。为了减小接收器件的尺寸,需要将SOA芯片和PIN芯片进行高度集成,在同一个工艺平台上进行耦合,但这种耦合工艺非常复杂。因为SOA波导尺寸很小,而



▲图5 50 G不归零码光芯片结构图



PIN管接收面比较大,两者进行光学对准耦合会存在比较大的耦合损耗,从而影响信号接收的灵敏度。实现低损耗的波导耦合是一个非常大的技术难点。

## 5 结束语

下一代光接入网络的发展已经进入到了50 G PON时代。50 G PON由于速率的提升,对于光芯片、电芯片的设计都提出了巨大的挑战。50 G PON可以使用多种技术方案,高阶调制技术可以降低光器件带宽要求,节约器件成本。传统的NRZ幅度调制技术可以延续上一代PON的技术思路,设计原理简单;高阶调制技术却增加了电芯片的设

计难度;NRZ幅度调制技术则增加了光芯片的设计难度。无论选用那种技术路线,50 G PON都将寻求一种低成本、可实现的方式。

Networks: A Practical Perspective [M]. USA: Morgan Kaufman, 1998

### 参考文献

- [1] LAUBACH M, YANG S H, RYAN H, et al. FEC Proposal (LDPC) for NGEPON: IEEE 802.3ca [S]. 2017
- [2] ZHANG J, WEY J S, YU J J, et al. Symmetrical 50-Gb/s/λ PAM-4 TDM-PON in O-Band with DSP and Semiconductor Optical Amplifier Supporting PR-30 Link Loss Budget[C]//2018 Optical Fiber Communications Conference and Exposition (OFC). USA: IEEE, 2018
- [3] TAO M H, ZHOU L, ZENG H, et al. 50-Gb/s/λ TDM-PON Based on 10G DML and 10G APD Supporting PR10 Link Loss Budget After 20-km Downstream Transmission in the O-Band [C]// 2017 Optical Fiber Communications Conference and Exhibition (OFC). USA: IEEE, 2017
- [4] MYNBAEY D K, SCHEINER L L. 光纤通信技术 [M]. 徐公权,译. 北京:机械工业出版社
- [5] RAMASWAMI R, SIVARAJAN K. Optical

### 作者简介



陈雷,中兴通讯股份有限公司短距离/互联光模块产品经理,国家02重大专项“高速低功耗硅基光互连共性工艺和集成芯片研究”子课题项目负责人;长期从事10 G PON、NG-PON2、50 G PON等标准技术预研工作,现从事高速光模块/光器件的研究与开发工作;多次主持完成高速器件/光模块的开发设计以及多款中兴通讯自研光/电芯片的研发与测试工作,包括具备光纤检测功能的集成电芯片、25 G高速突发跨阻放大器芯片等,在光通信电芯片开发方面具有丰富的经验,先后多次参与国家“863”项目、02重大专项、国家电子发展基金项目;已申请国家专利7篇。

## 综合信息

### 中兴通讯技术杂志社第24次编委会议隆重召开

2019年8月17—18日,来自国内外高校、运营商及企业界的近百位ICT专家、学者齐聚山东烟台,参加“中兴通讯技术杂志社第24次编委会议暨2019通信热点技术研讨会”。中兴通讯董事长李自学、总裁徐子阳等领导专家和专家出席会议。

编委会上,李自学董事长致欢迎辞,代表公司感谢业界专家学者长期以来对中兴通讯的帮助和支持,感谢编委们为公司刊物做出的无私奉献;中兴通讯已经走出困境,正在全方位打造核心竞争力;希望刊物继续发挥桥梁和纽带作用,促进学术交流,促进产学研合作,为信息通信产业的发展创造更大的价值。

编委们对中兴通讯的经营现状、未来发展非常关注。徐子阳总裁做了“携手赢未来——5G时代的中兴通讯发展战略”的演讲,就中兴通讯的经营现状、5G发展规划、公司战略方向等做了明晰的介绍,通过高含金量的内容、形象的比喻和有感染力的语言,消除了专家们对中兴通讯的担心,极大增强了与会代表对中兴通讯未来发展的信心。专家们表示,将一如既往地关注、支持中兴通讯的发展。

杂志社常务副总编黄新明做了杂志社年度工作报告,介绍了编委换届情况。代表们充分肯定编辑部的工

作和刊物取得的成绩,新增编委表示将尽力为刊物发展做贡献。会议还讨论了中英文两刊2020年组稿计划。

在通信热点技术研讨会上,郑纬民、祝宁华、李少谦、张跃平等18位海内外专家发表前沿技术演讲,分享了各自专业领域的最新研究成果。

一年一度的杂志编委会,吸引了越来越多的海内外专家学者前来参会。刊物是媒介,汇聚八方资源;刊物是平台,促进产学研合作。这样一个专业、平等、开放的交流平台,正在为行业进步、技术创新和企业发展创造越来越大的价值。

