

推荐 (维持)

双引擎驱动，把握光模块确定性投资机遇

2020 年 04 月 12 日

光模块行业深度报告

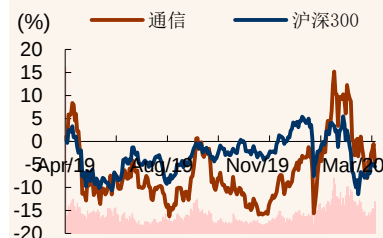
上证指数 2797

行业规模

		占比%
股票家数 (只)	132	3.5
总市值 (亿元)	16342	2.9
流通市值 (亿元)	12011	2.6

行业指数

%	1m	6m	12m
绝对表现	-10.0	5.7	-7.0
相对表现	-2.3	8.4	0.7



资料来源：贝格数据、招商证券

相关报告

- 1、《光迅科技(002281.SZ)——具备稀缺芯片自研能力的光器件一体化龙头》 2020-03-15
- 2、《天孚通信 (300394) 光模块产业链重构下的一体化光器件龙头》 2019-07-15
- 3、《天孚通信 (300394.SZ) ——匠心精神打造国内稀缺的一站式领先光器件平台》 2019-01-01

余俊

021-33938892
yujun@cmschina.com.cn
S1090518070002

研究助理

欧子兴

ouzixing@cmschina.com.cn

5G 和云计算数据中心同时进入新周期起点，5G 新应用将带动数据流量十倍级别爆炸式增长。光模块作为网络建设的关键部件，有望迎来技术代际更迭和需求高速增长双引擎驱动，是流量爆发逻辑最受益的细分领域。25G 前传起量、100G 需求恢复和 400G 蓄势待发驱动行业规模快速增长，未来光模块产业链将由中国企业主导，行业卡位优秀并具备上游芯片能力的行业龙头将引领产业发展。

- **5G 网络+数据中心双引擎驱动，光模块进入黄金发展期。**5G 网络规模建设落地，5G 新应用带动数据流量快速爆发。电信运营商和云巨头资本开支双双回暖，叠加流量驱动带来的光模块速率提升，光模块迎来技术代际更迭和需求爆发的双轮驱动。光模块产业链格局呈现橄榄球式分布，模块封装竞争较为激烈，具备高端光模块技术引领和核心芯片能力的公司将占据长期领先优势。
- **5G 前传 25G 灰光模块市场预期明确，彩光模块或成为产业黑马。**市场对 25G 光模块 2020 年需求规模的爆发预期认同度较高，产业链准备充分。无线前传可采用多种传输技术实现，我们判断 2020 年将主要收敛为光纤直驱和无源波分两大方案，光纤直驱主要采用 25G 灰光模块，竞争较 4G 时代更为激烈。无源波分的规模落地将打开 CWDM 彩光模块的市场空间，建议关注运营商对无源波分产品的推广落地情况和集采进度，把握新增市场投资机会。
- **数通市场代际更迭，100G 需求恢复，400G 蓄势待发。**超大规模数据中心建设持续高景气，100G 需求仍具备相当生命力，400G 光模块需求侧从数据中心架构到交换机设备结构已具备应用条件，供给侧解决方案完善成熟，400G 光模块产业蓄势待发。硅光技术逐渐成熟，未来将成为重要高速解决方案之一。
- **投资建议：**5G 规模建设与数据中心双双进入向上景气周期，光模块核心受益流量持续爆发。建议从赛道卡位龙头、新市场突破、核心芯片自供能力和一体化器件平台四个维度精选五个行业优质企业。重点推荐【中际旭创】【光迅科技】【新易盛】【天孚通信】；建议关注【剑桥科技】【太辰光】【博创科技】【华工科技】（电子组覆盖）。
- **风险提示：**5G 建设不及预期，数通光模块代际更迭不及预期，产品价格过快下滑，疫情进一步恶化的风险

重点公司主要财务指标

	股价	19EPS	20EPS	21EPS	20PE	21PE	PB	评级
光迅科技	32.00	0.55	0.72	0.89	44.4	36.0	4.9	强烈推荐-A
中际旭创	57.52	0.72	1.26	1.90	45.7	30.3	6.1	强烈推荐-A
天孚通信	45.55	0.82	1.21	1.49	37.6	30.6	8.0	强烈推荐-A
新易盛	65.01	0.90	1.38	1.64	47.1	39.6	12.3	审慎推荐-A
剑桥科技	36.72	0.13	0.81	1.49	45.3	24.6	5.4	未予评级

资料来源：wind、公司数据、招商证券（剑桥科技盈利预测数据来自wind一致预期）

扫一扫二维码

关注**纤亿通**公众号

免费获取报告



正文目录

一、5G 电信与 400G 数通市场共振，光模块行业站在新景气周期起点	7
1、5G 时代运营商资本开支回暖提升光模块产业景气	7
2、云计算巨头资本开支回暖叠加 400G 产品升级换代，打开数通光模块增长新空间	8
3、光模块产业链格局呈橄榄球式分布，中游模块封装竞争激烈凸显高端产品价值	10
二、5G 建设进入密集落地期，光模块迎来规模爆发节点	14
1、5G 网络建设进入高景气，光模块有望获无线网承载网双驱动	14
2、25G 光芯片产能提升，25G 光模块超频方案成本优势或降低	15
3、5G 前传向光纤直驱+无源波分方案收敛，光模块市场有望聚焦 25G 灰光模块和 CWDM 彩光模块	17
4、承载网规模落地建设，释放中回传光模块需求	21
三、5G 新应用带动需求侧景气高企，供给侧国内厂商蓄势待发，400G 光模块逐步成为数通市场主角	22
1、需求侧：超大规模数据中心建设进入 400G 时代，引领技术发展趋势	22
2、需求侧：400G 交换生态圈已成熟，提振光模块需求空间，加速市场爆发。	27
3、供给侧：上游芯片+无源器件准备就绪，400G 光模块蓄势待发	31
4、硅光模块，400G 光模块市场的搅局者还是赋能者？	34
四、行业面临变革机遇，四个维度精选细分赛道龙头	40
1、从四个维度布局光模块优质企业	40
2、优中选优，五大龙头卡位核心赛道	43
3、光迅科技（002281.SZ）：具备稀缺芯片自研能力的光器件一体化龙头	44
4、中际旭创（300308.SZ）：全球高速光模块龙头	48
5、天孚通信（300394.SZ）：国内稀缺的一站式光器件平台龙头	49
6、新易盛（300502.SZ）：高速光模块新龙头	52
7、剑桥科技（603083.SZ）：高端光模块崛起新势力	55
五、投资建议	58

图表目录

图 1：韩国 4G 和 5G 移动数据流量对比	7
图 2：三大运营商资本开支增速从 2019 年开始由负转正，重回上升通道	8
图 3：2020 年三大运营商无线和传输投资实现增长	8

图 4: 2020 年三大运营商无线和传输投资占比持续提升	8
图 5: 海外云计算四巨头资本开支持续回升	9
图 6: 2017 年-2019 年国内云计算三巨头资本开支	9
图 7: 数通光模块归一化均价 (左) 和年均降价速率 (右)	10
图 8: LightCounting 对数通光模块需求预测	10
图 9: SFP 封装光模块的结构图	11
图 10: 橄榄型格局分布的光通信产业链	12
图 11: 5G 承载网络结构	14
图 12: 全国 5G 基站建设规模预测 (万站)	15
图 13: 采用 25G 光芯片的光模块原理图	15
图 14: 采用超频 10G 光芯片的光模块原理图	17
图 15: 5G 前传光纤直驱方案	17
图 16: 5G 前传无源波分方案	17
图 17: 灰光模块商业模式	18
图 18: CWDM 波分复用器结构图	18
图 19: CWDM 无源波分系统波长使用情况	18
图 20: 彩光模块商业模式	19
图 21: 中国移动无源波分设备商中标次数统计	20
图 22: 5G 承载网整体架构示意图	21
图 23: 5G 承载设备的光口需求	21
图 24: 全球数据中心和机架数量统计及预测	22
图 25: 2018 年美国数据中心建设结构占比	22
图 26: 全球超大规模数据中心持续增长	22
图 27: 超大规模数据中心规模占比逐步提升	22
图 28: 各国超大规模数据中心占比	23
图 29: 2021 年全球数据中心流量流向	23
图 30: 三层 CLOS 网络架构模型	24
图 31: 对折三层 CLOS 网络架构模型	24
图 32: Spine+Leaf 网络架构和传统三层网络架构对比	24
图 33: 数据中心相关设备互联	25
图 34: Facebook F4 数据中心架构	27

图 35: Facebook F16 数据中心架构.....	27
图 36: Facebook F16 数据中心架构通过重用 100G 光模块实现所需带宽	27
图 37: Minipack 前视图&后视图	29
图 38: Minipack 交换机结构框图 (16×100G 场景)	29
图 39: Minipack 交换机结构框图 (4×400G 场景)	29
图 40: 交换芯片推出时间与对应光模块大规模商用关系	31
图 41: 高精度高稳定度透镜为数据中心模块产品提供优质连接	33
图 42: 基于 DSP 方案的 400G 光模块电路图.....	33
图 43: 硅光方案与传统分立式方案对比.....	35
图 44: 硅光方案的集成优势	35
图 45: 硅芯片的多种光源解决方案	35
图 46: Intel 的 400G DR4 硅光模块.....	35
图 47: 硅光模块 2018-2024 年的快速爬坡	36
图 48: 硅光市场目前竞争格局	37
图 49: 400G QSFP-DD DR4 硅光模块系统框图	37
图 50: 硅光模块的产业链.....	38
图 51: Intel 的硅光产品发展路线	39
图 52: 中国前 10 和国外前 7 光器件光模块供应商销售额.....	41
图 53: 光芯片在不同级别光模块中的高成本占比	42
图 54: 光模块行业从 IDM 模式转为垂直产业模式	42
图 55: 2018 年至今光模块相关公司股价走势 (以 2018 年 1 月 2 日为股价基点) ..	44
图 56: 光迅科技外延内生的发展历程	45
图 57: 光迅科技全芯片全产品全市场的一体化布局	46
图 58: 光迅科技近年营收保持增长趋势	46
图 59: 光迅科技近年净利润整体呈增长态势	46
图 60: 光迅科技近年毛利率和净利润率持续承压	47
图 61: 光迅科技近年各产品销售收入增长情况 (百万元)	47
图 62: 光迅科技近年海外营收占比逐渐提升	47
图 63: 光迅科技近年国内外营收增长情况 (百万元)	47
图 64: 中际旭创 2019Q2 单季度营收开始触底反弹	48
图 65: 中际旭创 2019Q2 单季度归母净利润增速转正.....	48

图 66: 中际旭创光模块营收占比持续增长	49
图 67: 中际旭创销售毛利率和销售净利润率	49
图 68: 天孚通信主要产品线	50
图 69: 天孚通信营业收入稳定增长	50
图 70: 天孚通信净利润整体呈增长趋势	50
图 71: 天孚通信光有源器件营收占比持续增加	51
图 72: 天孚通信国内外毛利率变动情况	51
图 73: 新易盛发展历程	52
图 74: 公司股权结构 (截止于 2019 年 9 月 30 日)	53
图 75: 新易盛 2019 年营业收入恢复高增长	53
图 76: 新易盛 2019 年净利润触底反弹	53
图 77: 新易盛近年营收构成	54
图 78: 新易盛近年毛利率及净利率	54
图 79: 新易盛近年国内外收入占比	54
图 80: 剑桥科技近年营业收入情况	55
图 81: 剑桥科技近年归母净利润情况	55
图 82: 2014 年至今剑桥科技营收构成情况	56
图 83: 近年剑桥科技各主营业务收入增长情况	56
图 84: 剑桥科技股权结构 (截止于 2019 年 9 月 30 日)	57
图 85: 通信行业历史 PEBand	59
图 86: 通信行业历史 PBBand	59
表 1: 近 10 年全球光模块供应商 Top10 变化情况	13
表 2: 光模块的主要器件和芯片	16
表 3: 不同激光发射芯片和接收芯片的特点及应用	16
表 4: 2020 年以来三大运营商无源波分重大采购项目	19
表 5: 数据中心常见的光模块使用场景	26
表 6: 市场主要交换机种类对比	28
表 7: 主流交换机制造商的 400G 数据中心交换机产品	29
表 8: 400G 交换机主要相关芯片	30
表 9: 400G 光模块的主流 PMD	31

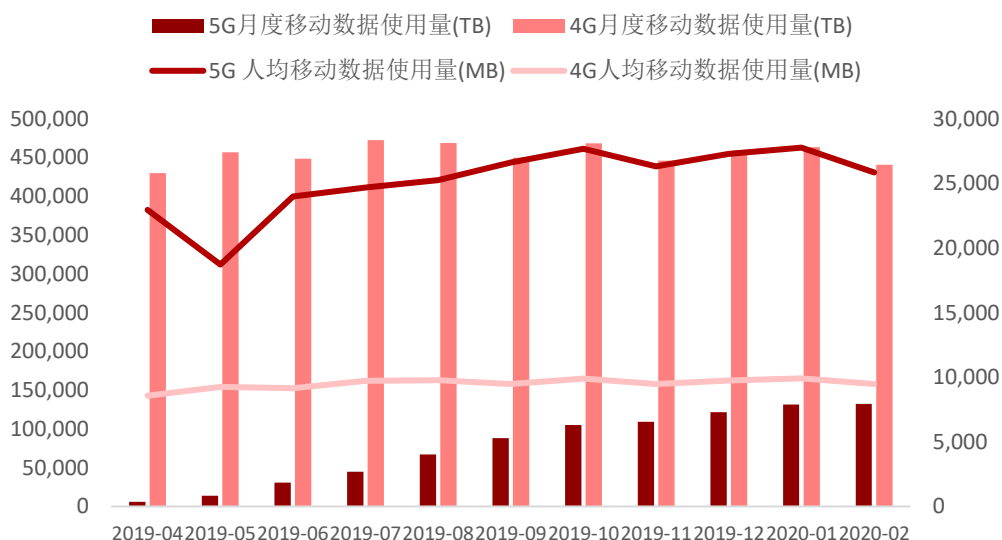
表 10: 400G 光模块主流制造商的封装情况	32
表 11: 主流光模块电芯片厂商的 400G 产品	33
表 12: 主流 400G 光模块厂家产品情况	34
表 13: 主流电信设备商的光模块供应商	40
表 14: 光模块产业链细分龙头受益逻辑	43
表 15: 估值对比表	58

一、5G 电信与 400G 数通市场共振，光模块行业站在景气周期起点

1、5G 时代运营商资本开支回暖提升光模块产业景气

5G 商用落地将有望带动移动数据流量的激增，推高数据中心数据流量。5G 高速率的特点将大大提升移动数据使用流量，网速提升 10 倍后，用户相应的使用需求也会随之上涨，业界预测 5G 网络的 DOU 至少是 60G。参考韩国 5G 商用后情况，5G 网络月均整体流量从 2019 年 4 月的 5,938TB/月提升到 2020 年 2 月的 132,057TB/月，使用量 10 个月内增长 22.24 倍，已超过 4G 流量使用量的 1/4。2020 年 2 月，韩国 5G 用户 DOU 高达 25.22GB，同期的 4G DOU 仅为 9.26GB，5G 数据使用量约为 4G 的 2.72 倍。根据工信部统计数据显示，2020 年 2 月国内 DOU 达到 8.88GB，按照韩国早期 5G/4G 的比例推算，当月国内 5G 用户平均月流量已突破 20GB。此外 5G 时代的到来将提升数据中心流量和推动数据中心设备的更新换代。车联网、AR/VR、高清视频直播等 5G 下游应用的高速发展和企业上云的大趋势将带动数据中心流量的提升，从而推动数据中心的代际更迭，使其核心网络从 100G 提升至 400G 升级。

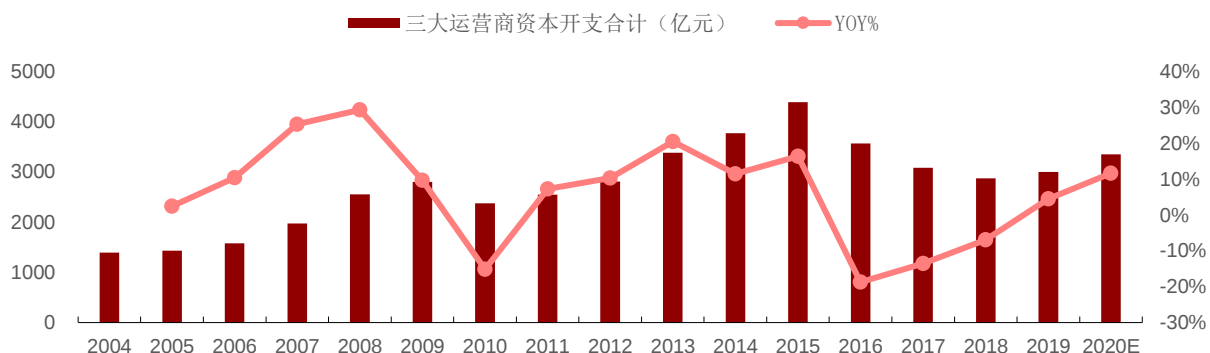
图 1：韩国 4G 和 5G 移动数据流量对比



资料来源：wind、招商证券

随着 5G 商用落地，三大运营商资本开支明显回升，有望打开电信市场新增长空间。2018 年，4G 网络建设已进入尾期，运营商资本开支下滑低谷。2019 年 6 月工信部向中国移动、中国联通、中国电信、中国广电发放 5G 牌照，标志着 5G 商用的正式落地，5G 建设周期正式拉开帷幕。从 2019 年起三大运营商资本开支增速开始由负转正，2019 年三大运营商资本开支达到约 2999 亿元，同比增长 4.50%，预计 2020 年合计资本开支约为 3348 亿元，同比增长 11.65%，进一步确立了三大运营商资本开支重回上升通道的趋势。国家高层和各部委多次强调加快 5G 建设，我们认为 2020 年三大运营商有望年内调整资本开支，进一步优化和扩大 5G 投资，整体资本开支在 5G 规模建设的拉动下出现较大增长，三大运营商 2020 年全年实际资本开支同比增速有望超过 15%，接近 3500 亿元。

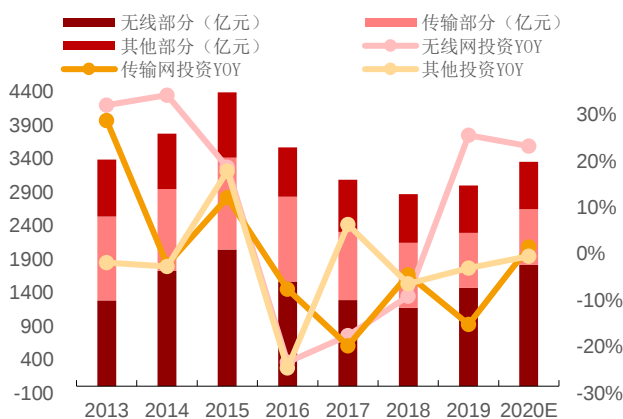
图 2：三大运营商资本开支增速从 2019 年开始由负转正，重回上升通道



资料来源：三大运营商公告、招商证券

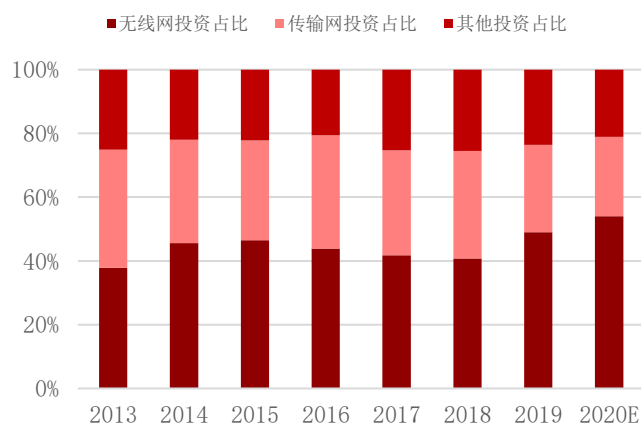
运营商资本开支聚焦无线网和承载网，有望带动前传光模块和中回传光模块需求的放量增长。从各运营商 2019 年的投资结构上来看，移动网络和传输网络的资本开支占比高达 75%左右，是运营商 CAPEX 增长的主要部分。2019 年三大运营商投向无线网合计约 1469 亿元，同比增长 25.59%，投资占比接近 50%。在此基础上，2020 年无线网资本开支进一步增长 23.23%，达 1810 亿元，已超过 TDD-LTE 整体规模建设的首年（2014 年，1719 亿元），略低于 FDD-LTE 规模建设首年（2015 年，2041 亿元），投资占比达到 54.06%，将成为资本开支的主要流向并有望带动前传光模块需求增长。此外随着 2020 年 SA 组网需求的增加，传输网部分有望结束连续 4 年的下滑，在 2020 年实现 1.48% 的同比增长，投资总额约为 834 亿元。5G 网络以 SA 组网为主，需建设独立的 5G 承载网，释放中回传光模块的需求。

图 3：2020 年三大运营商无线和传输投资实现增长



资料来源：运营商公告、招商证券

图 4：2020 年三大运营商无线和传输投资占比持续提升



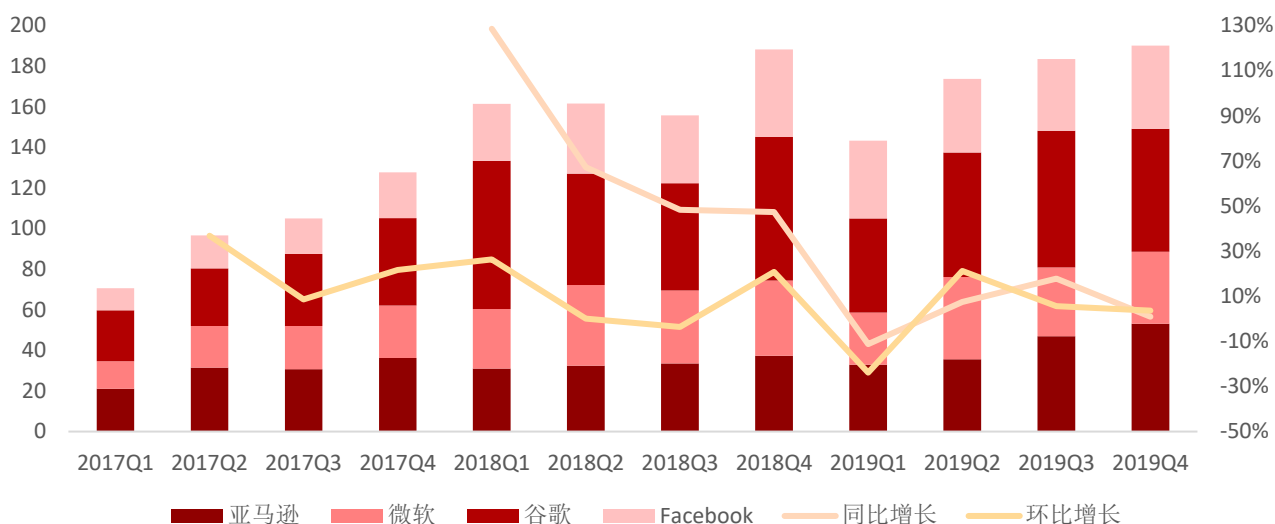
资料来源：运营商公告、招商证券

2、云计算巨头资本开支回暖叠加 400G 产品升级换代，打开数通光模块增长新空间

产业链下游云计算巨头资本开支逐步回暖将推动云基础设施建设发展。受到去库存和移动互联网步入 4G 后周期流量增速放缓的影响，海外四大云计算巨头（谷歌、亚马逊、微软、Facebook）的资本支出在 2018 年 Q2 出现下滑，2019 年 Q1 达到近一年谷底。随着厂商去库存的逐渐完成，2019 年 Q2 和 Q3 北美云计算巨头资本开支开始逐步回暖，Q3 达到 183 亿美元，较 Q1 的 143 亿增长近 28.03%。北美 5G 逐步商用带来流量增

速的提升，叠加 2019 年底 400G 交换机芯片的推出，2019 年 Q4 北美主要云计算巨头的资本开支持续提升，资本开支之和环比增长 3.61%，同比增长 0.99%，其中增幅最大为 Facebook 环比增长 16.08%。随着资本开支回暖和数据中心的代际更迭，云基础设施建设将有望迎来上升期，打开数通光模块需求空间。

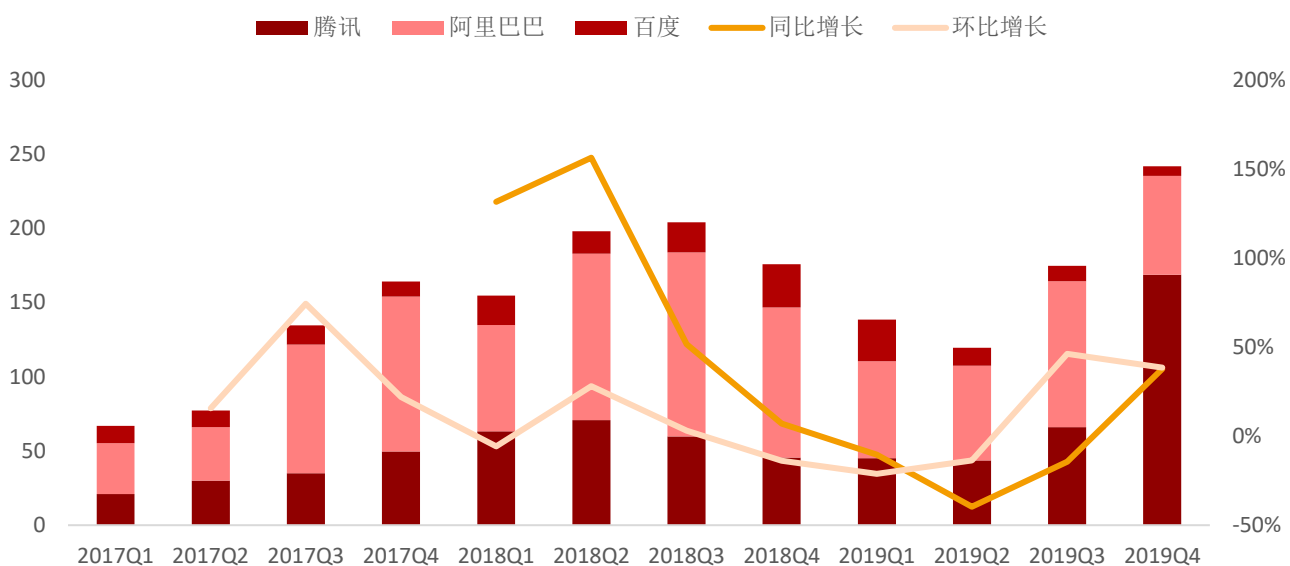
图 5：海外云计算四巨头资本开支持续回升



资料来源：Koyfin、bloomberg、招商证券

国内云计算巨头（阿里巴巴、腾讯和百度）单季资本开支达近三年峰值。2019 年 Q4 三巨头单季度的资本开支整体达到 242 亿元，同比增长由负转正至 37.7%，环比延续上升趋势，增加 48.5%。随着国内企业上云的加速和 5G 商用后移动数据流量的提升，将有望推动国内云计算巨头提升资本开支以提高其处理数据能力。

图 6：2017 年-2019 年国内云计算三巨头资本开支

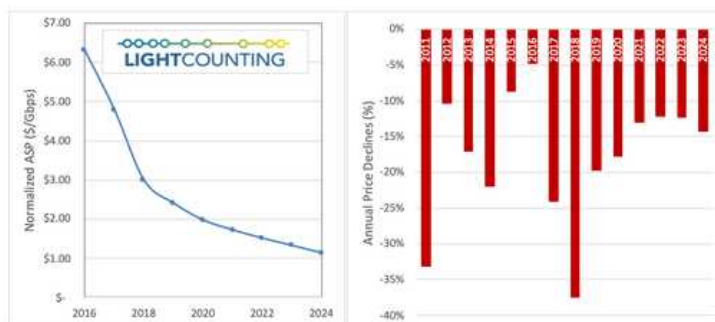


资料来源：公司报告、招商证券

随着北美数据中心巨头的资本开支回暖和去库存趋于结束，数通市场光模块需求将逐步恢复，价格降幅收窄。2019 年 Q2 全球 100G 的 PSM4，CWDM4，LR4 和 ER4 Lite 模块的销量实现大幅增长，其中，凭借价格低和应用领域广的优势，100G CWDM4 模

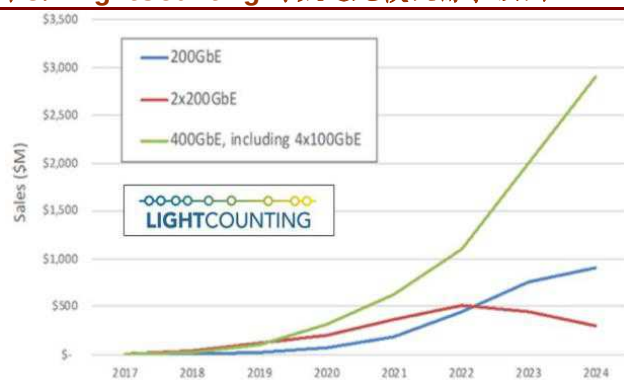
块正成为 100G 数通领域主流光模块，根据智研咨询数据显示，CWDM4 在 100G 中占比有望从 2018 年 40.2% 增加 2020 年 47.6%。此外，据 LightCounting 预测，200GbE 及以上（包括所有 200GbE，2x200GbE，400GbE）光学产品的需求正在增加，全球光模块市场将重回两位百分数的增长，预计到 2024 年的 CAGR 增长率将维持在 15%。价格方面，经历 2017-2018 年由 100G 带动的价格大幅下滑（2018 年 100G 价格降幅高达 50%）后，数通光模块价格的年均下滑斜率将恢复较为缓慢的趋势，预计 2024 年将降至 1 美元/Gb 的均价水平。相关价格在 2019 年的降幅明显收窄，预期 2020 年数通光模块的平均价格下降幅度将进一步收窄，回到历史平均水平。

图 7：数通光模块归一化均价（左）和年均降价速率（右）



资料来源：LightCounting、招商证券

图 8：LightCounting 对数通光模块需求预测

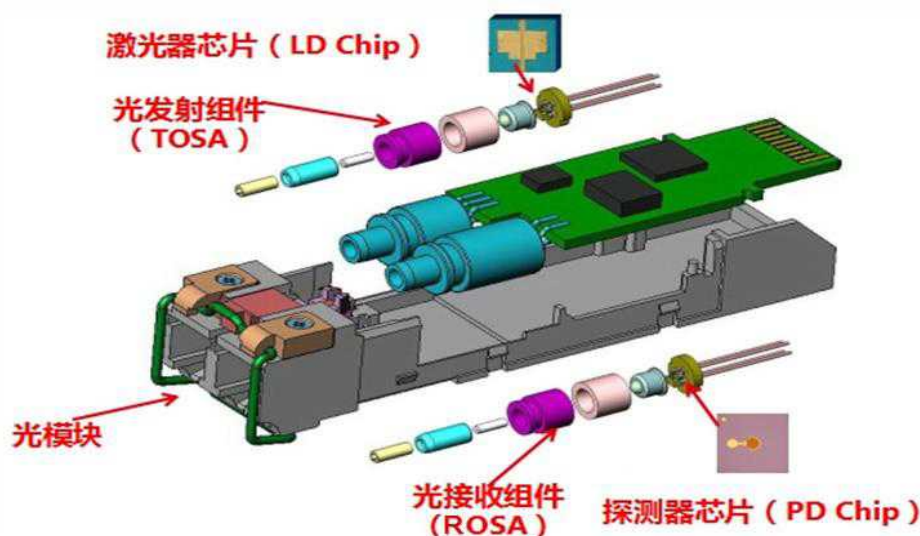


资料来源：LightCounting、招商证券

3、光模块产业链格局呈橄榄球式分布，中游模块封装竞争激烈凸显高端产品价值

较高的技术壁垒和复杂工艺流程，光芯片在光模块成本中占比较高。简单来看，光芯片主要由光芯片、电芯片、光组件和其他结构件所构成，其中上游光器件元件是光模块成本中的主要部分，在光器件元件中，光发射模块 TOSA 和光接收模块 ROSA 成本占比较高。TOSA 的主体为激光器芯片（VCSEL、DFB、EML 等），ROSA 的主体为探测器芯片（APD/PIN 等）。随着市场对光模块高速率需求的提升，光芯片的性能要求和制造工艺难度在增加，光芯片在光器件以及光模块中成本占比进一步提升，根据公开资料整理分析，一般光模块中光芯片成本占比在 30%-40% 之间，在高端高速光模块中，这一占比可以达到 50% 左右。

图 9: SFP 封装光模块的结构图



资料来源：工信部《5G 承载光模块白皮书》、招商证券

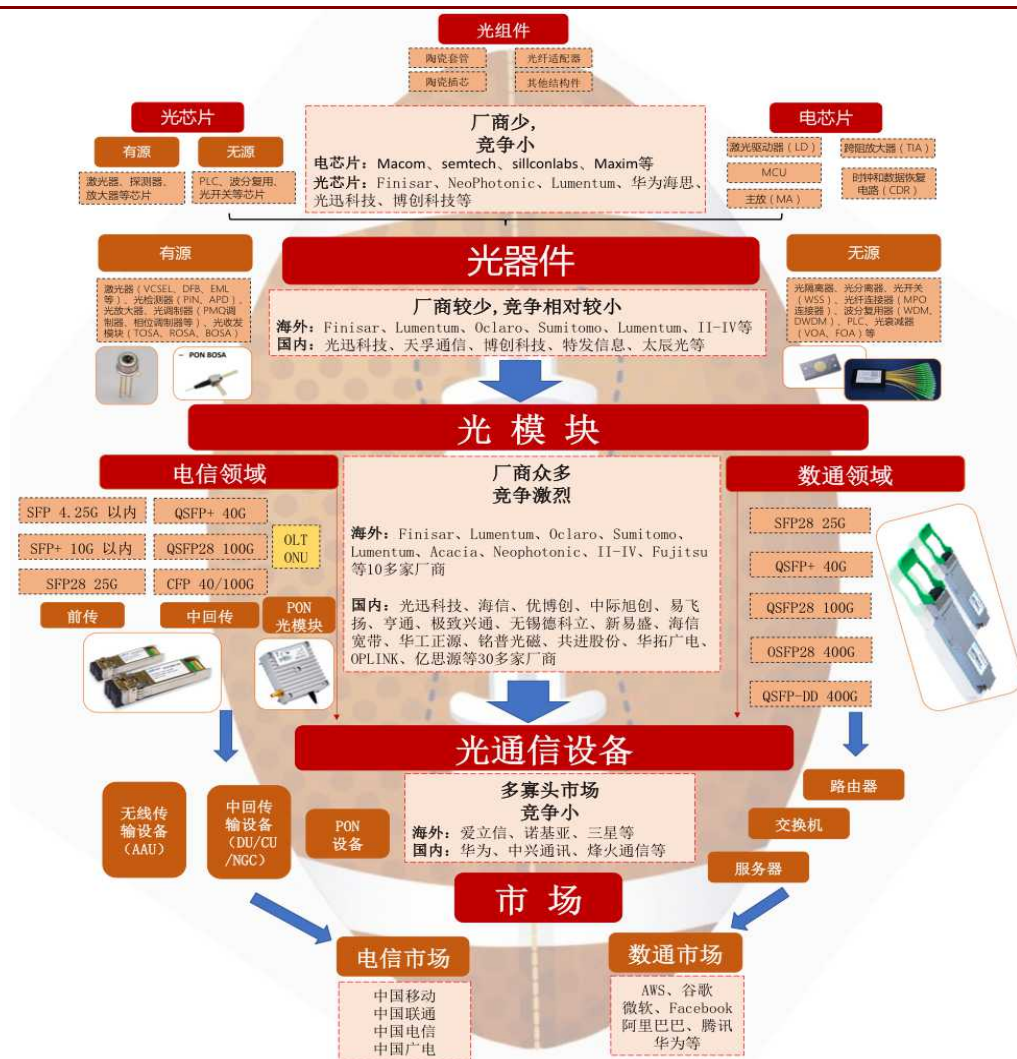
光模块产业链竞争格局呈橄榄球式分布，上游芯片和下游设备竞争格局确立，具备技术和资本垄断优势，中游竞争较为激烈，模块厂商众多，向高端产品升级成为光模块厂商脱颖而出的重要途径。光模块产业链大致可分为“芯片->器件->模块->设备”这四大环节。其中上游的芯片、器件和下游的设备市场参与竞争者较少，但把控着产业链的供应端和需求端，影响较大。中游的模块则由于技术门槛相对较低，参与者较多，特别是低端低速的光模块封装厂商，所以市场竞争激烈。在技术差异较小的情况下，激烈的竞争最终体现在光模块的价格厮杀中，光模块厂家的毛利率和业绩承受较大压力，光模块厂商希望通过向高端 400G 数通和 25G 前传光模块的升级，在高端市场占据一席之地。

上游：主要包括芯片、组件以及两者组成的光器件。芯片包括光芯片和电芯片，这两部分占整个光模块价值量的较大部分，同时由于技术门槛较高，供应商较少，其性能和产能对光模块产业链的影响较为深远。保持安全的供应链运转，对光模块厂商的经营尤为重要。目前高端的光芯片和电芯片国产率较低，对进口依赖性较大。光组件主要是无源器件和结构件，部分高端产品涉及精密加工领域，也具有较高技术门槛。

中游：光模块的封装生产按应用场景不同可分为电信领域和数通领域，两者的外观和功能作用都类似，但内部结构差异较大，供应链和下游客户差别也较大。由于光模块应用场景较多，具体型号需求广泛，低中高性能的光模块生产能力要求不同，对应生产厂商的实力参差不齐，竞争整体激烈程度较高，但涉及高端高速的产品仍处于蓝海市场。

下游：按光模块的场景对应下游客户可分为两大类，电信客户和互联网客户。电信客户主要包括电信网络设备如无线基站、传输系统、PON 网络等的设备制造商和网络建设运营商；互联网客户则是近年兴起的数据中心相关的服务器、交换机和路由器的设备制造商和使用者。两个市场差异较大但相互间又存在较为紧密的商业关系，需综合分析以对光模块整体市场有准确的把握。

图 10：橄榄型格局分布的光通信产业链



资料来源：招商证券整理

产业链进一步向中国集中，国内光模块供应商开始主导全球市场，市场份额有望超 50%。LightCounting 最近一期调查报告指出，来自中国的中际旭创、海信、光迅科技、华工正源和新易盛等 5 家光模块厂商有望在 2020 年进入全球前十，主导全球光模块市场，对比 2010 年时只有一家中国企业进入前十。中际旭创有望在 2020 年终结 Finisar 的“连冠”记录，登顶光模块前十排行榜。报告发布时未考虑到新冠病毒的爆发的影响，如今中国已经率先从新冠疫情的阴影中走出，大部分地区已经实现复工复产，欧美等国仍深受新冠疫情影响。叠加近期中国 5G 网络及数据中心建设的加速落地，中国光通信产业有望率先迎来强劲复苏期，中国光模块厂商有望进一步提升全球市场份额。

表 1: 近 10 年全球光模块供应商 Top10 变化情况

排名	2010	2016	2018	2020E
1	Finisar	Finisar	Finisar	中际旭创
2	Opnext	海信	中际旭创	Finisar
3	Sumitomo	光迅科技	海信	海信
4	Avago	Acacia	光迅科技	光迅科技
5	Source Photonics	FOIT(Avago)	FOIT(Avago)	Broadcom(Avago)
6	Fujitsu	Oclaro	Lumentum/Oclaro	Cisco(Acacia)
7	JDSU	中际旭创	Acacia	Intel
8	Emcore	Sumitomo	Intel	Lumentum
9	武汉电信器件有限公司	Lumentum	AOI	华工科技
10	NeoPhotonics	Source Photonics	Sumitomo	新易盛

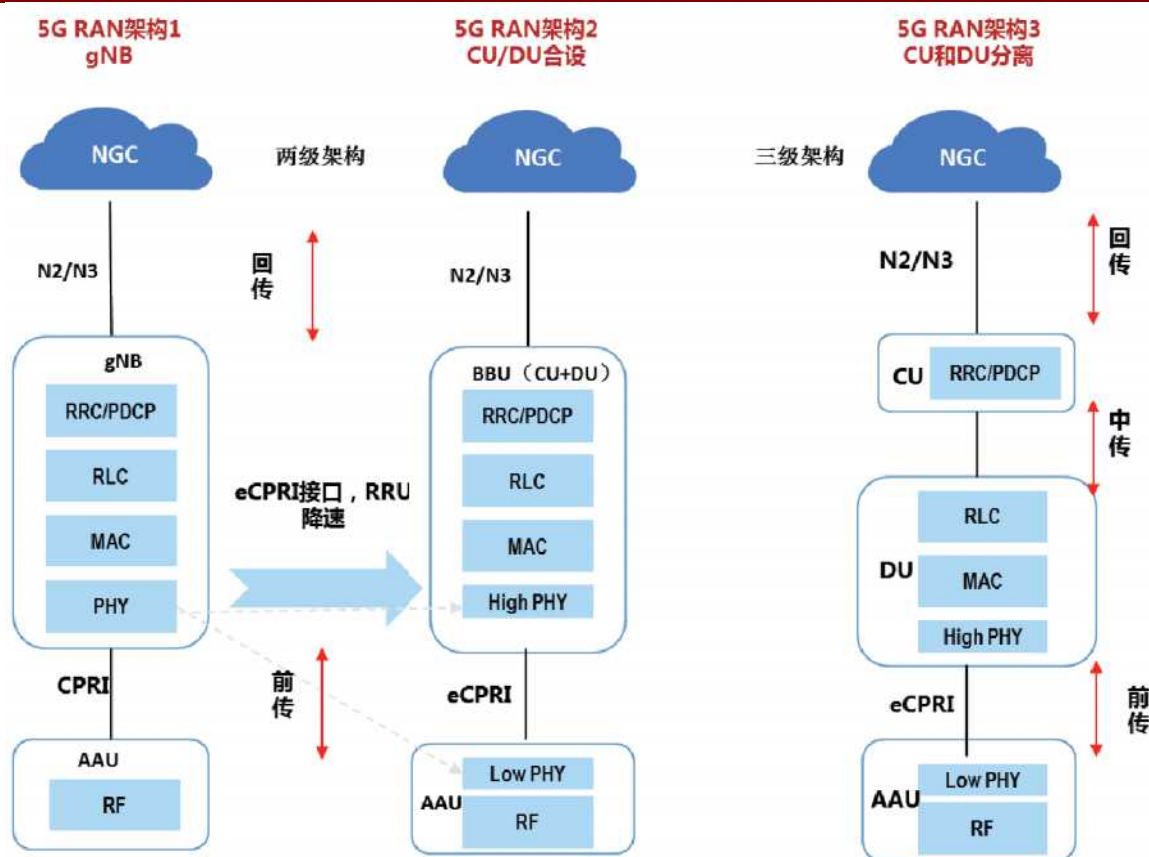
资料来源: C114 通信网、LightCounting、招商证券整理 (注: 根据 LightCounting 整理收集光模块销售额进行的排名)

二、5G 建设进入密集落地期，光模块迎来规模爆发节点

1、5G 网络建设进入高景气，光模块有望获无线网承载网双驱动

5G 网络主要由三个主要部分组成，分别为无线网、承载网、核心网。5G 网络建设将在 2020 年进入高速发展期，无线网和承载网都将迎来技术的代际升级，光模块随之也迎来换代需求。其中无线网侧的基站中，AAU 与 DU 之间的中传光模块将从 10G 升级到 25G 光模块，此外将新增 DU 和 CU 间的中传需求。在承载网的回传需求中，城域网将从 10G/40G 升级到 100G，骨干网将从 100G 升级到 400G。2019 年建设的 5G 网络主要依托 4G 网络进行非独立组网，BUU 还未分离成 DU 和 CU，因此中传的光模块需求未正式打开。2020 年进入 5G 独立组网建设，CU 和 DU 的分离将打开中传光模块的市场。

图 11：5G 承载网络结构

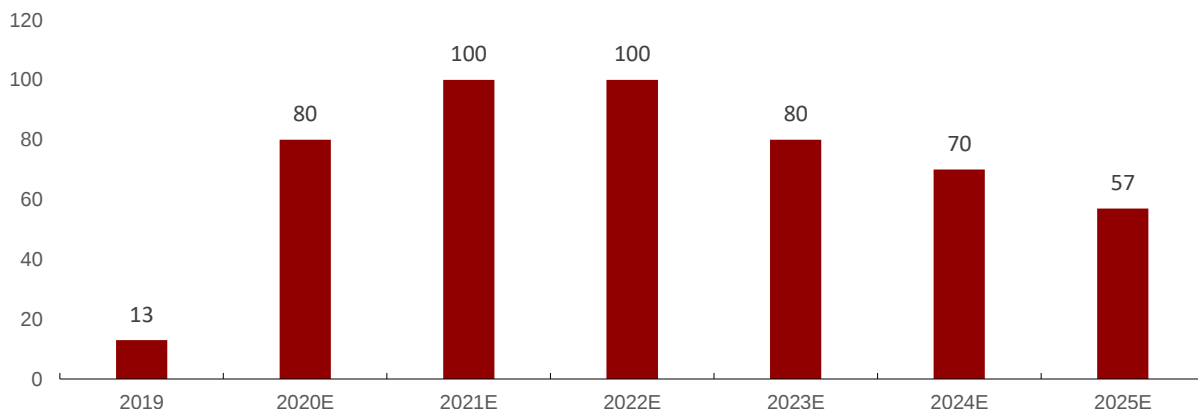


资料来源：NGOF、招商证券

2020 年 5G 大规模建设，前传光模块需求有望迎来爆发点，成电信光模块最大市场。据工信部数据，2019 年中国已开通 12.6 万个 5G 基站。国家有关部门近期多次强调 5G 建设对扩大有效需求、“稳投资”、带动产业链发展的积极作用，我们认为 2020 年三大运营商有望进一步优化和扩大 5G 投资，整体资本开支在 5G 规模建设的拉动下出现较大增长，通信行业将进入新一轮的高景气周期。2020 年在疫情导致宏观经济承压，中央政治局重磅定调 5G 对于拉动经济，帮助其他行业产业升级的重要性背景下，全年通信行业投资有望加码，对于 5G 基站建设规模，我们上调全年预测至 80 万站以上。未来 5G 基站建设将快速增长并在 2021-2023 年左右达到峰值，当年有望新增超 100

万站，若按行业平均单基站 10 个光模块的需求估算，将带来超过 1000 万只前传光模块的需求。5G 基站的规模建设落地一方面直接夯实了前传光模块的需求量，另一方面拉动配套的承载网建设的同步建设，释放中回传光模块的需求。

图 12: 全国 5G 基站建设规模预测（万站）



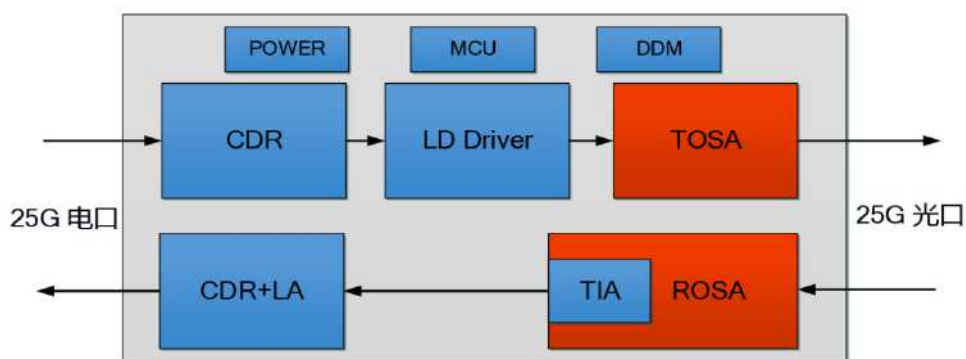
资料来源：招商证券预测

2、25G 光芯片产能提升，25G 光模块超频方案成本优势或降低

5G 时代，25G 光模块将成为主流前传光模块。5G 前传演进为 eCPRI 接口后，64T/64R 的宏站前传只需使用 25G 光模块即可满足传输需求，25G 光模块将成为 5G 前传的主流方案。

25G 光模块的实现方式原理较为简单。在接收端，直接采用 25G 激光探测芯片，然后通过集成在 ROSA 上的 TIA 将探测芯片输出的电流信号转换成一定幅值的电压信号，再通过由集成 CDR 和 LA 集成的组件，将变化幅值的电压信号转化成稳定的电压信号，并提取其中时钟信号传输给应用光模块的设备；在发送端，通过 LD Driver 将 CDR 输出的电信号转换成对应的调制信号，并驱动 25G 激光发射芯片发光。

图 13: 采用 25G 光芯片的光模块原理图



资料来源：IMT-2020 推进组、招商证券

表 2: 光模块的主要器件和芯片

结构	作用	类型
TOSA	光发射组件: 通过激光发射芯片实现电信号到光信号的转换	光器件
ROSA	光接收组件: 通过探测芯片实现光信号到电信号的转换	光器件
CDR	时钟数据恢复芯片: 在输入信号中提取时钟信号, 并找出时钟信号和数据之间的相位关系, 简单点说就是恢复时钟。	电芯片
LD Driver	激光驱动器: 将 CDR 的输出信号, 转换成对应的调制信号, 并驱动激光器发光 (TOSA)。	电芯片
TIA	跨阻放大器: 将 ROSA 输出的电流信号转换成一定幅值的电压信号。	电芯片
LA	放大器: 将 TIA 输出的变化波动幅值转化成等幅的电信号, 给 CDR 和判决电路提供稳定的电压信号。高速模块中, LA 通常和 TIA 或者 CDR 集成在一起。	电芯片
MCU	负责底层软件的运行和一些特定功能。	电芯片
DDM	主要负责实时监控组件温度、Vcc 电压、Bias 电流、Rx power、Tx power 5 个模拟量信号, 通过这些参数判断光模块的工作状况, 便于维护。	电芯片

资料来源: 公开资料、招商证券整理

激光发射光芯片为 TOSA 光发射组件的关键核心部件, 主要作用是将电信号转化为光信号。目前主流的激光发射芯片为 DML(DFB)、EML 和 VCSEL。DML 是直接调制半导体激光器, 而 DFB 是一种最常用的 DML, 主要应用于中长距离传输; EML 激光属于外调制激光器, 主要通过 DFB 的基础上增加电吸收片 (EAM) 作为外调制器, 更适用于长距离传输; VCSEL 这种面发射器发光传输距离较短, 一般只适用于 500m 内的短距离传输, 但其具有单纵模、圆形输出光斑、价格低廉和易于集成等特点。激光探测芯片是 ROSA 光接收组件的核心部件, 主要作用是将光信号转化为电信号, 目前主要应用的包括两大类芯片: PIN 和 APD。

表 3: 不同激光发射芯片和接收芯片的特点及应用

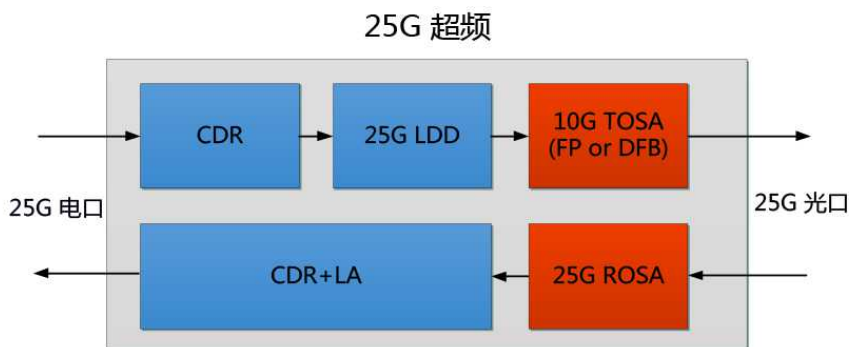
结构	速率范围	传输距离	优点	缺点
FP	155M~10G	20km 以内	线宽较窄, 成本较低	耦合效率低, 线性度差, 温度特性差, 多纵模
VCSEL	155M ~ 25G	500m 以内	线宽窄, 功耗低, 耦合效率高, 成本低	线性度差, 温度特性差, 多模, 发散角大
DML (DFB)	2.5G~40G	40km 以内	单纵模, 线宽极窄, 调制速率高, 波长稳定性好	价格较高, 温度特性差
EML (DFB+EA)	10G 以上	40km 以上	传输特性和传输效果比 DFB 激光器更好, 尤其在高频调制或长距离传输方面, 驱动电压低, 单模特性好	价格较高, 制造难度较大
PIN	-	短距离	噪音小, 工作电压低, 使用时间较长, 价格便宜	灵敏度不高
APD	-	长距离	灵敏度高, 用于弱信号的检测	噪音大, 工作电压大, 价格较高

资料来源: 公开资料、招商证券整理

25G 光芯片产能提升, 超频方案成本优势或降低。目前 25G 光模块有主要两种光芯片组成方式: 25G 光芯片和 10G 光芯片超频。相较于 10G 光芯片超频, 25G 光芯片具有可靠性好和稳定性高的特点, 但其量产工艺要求高, 供货渠道主要是海外。而 10G 光芯片具有相对成熟的供应链, 且部分国内厂商如光迅科技、华工科技等具有批量生产 10G 光芯片的能力, 可以有效降低光模块成本。超频方案与 25G 光芯片方案的主要区

别在发送端，在发射组件中采用 10G 激光发射芯片并搭载 25G 的 LD Driver 来达到超频效果。2019 年由于业界对前传光模块需求量急速提升的准备不足，导致上游 25G 芯片出现产能不足，叠加 10G 芯片的成本优势，所以超频方案得到了广泛应用。随着海外光芯片厂如 Lumentum 将产能向 25G 光芯片倾斜，国内如光迅科技等在 25G DBF 芯片量产的突破，行业中 25G 光芯片有望在 2020 年实现产能提升和成本下降，10G 超频方案的成本优势或将逐渐降低。

图 14: 采用超频 10G 光芯片的光模块原理图

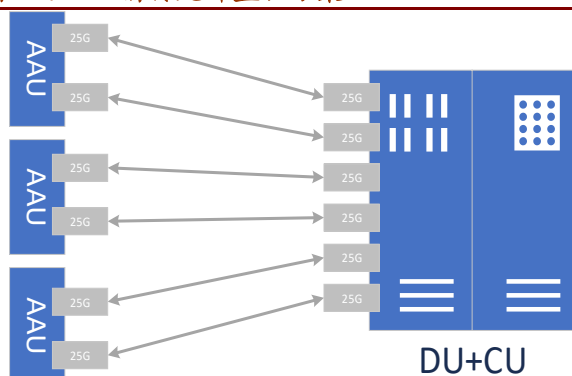


资料来源: IMT-2020 推进组、招商证券

3、5G 前传向光纤直驱+无源波分方案收敛，光模块市场有望聚焦 25G 灰光模块和 CWDM 彩光模块

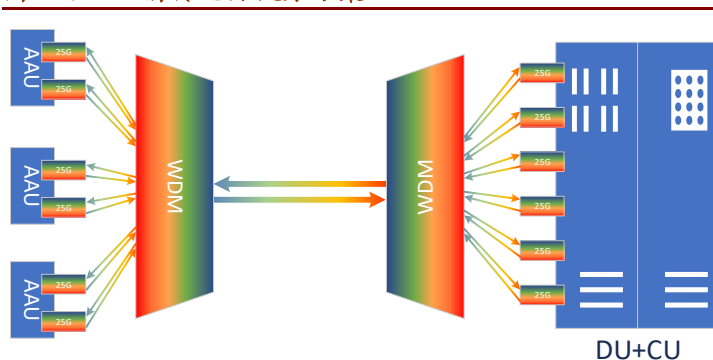
5G 基站进入规模建设阶段，前传光模块收敛两大方案。业界对于 5G 前传曾经有光纤直驱、无源波分、有源波分和半有源波分等多种实现方案，随着基站建设进入规模落地阶段，前传方案也得到了落地收敛。由于有源波分实现的复杂度和高成本，半有源波分方案的产业链支持程度还有待提高，基于业界调研和 5G 基站需快速落地组网的分析，有源波分和半有源波分两种方案从产业链支持成熟度和价格成本方面都还不具备竞争优势，我们判断，在 2020 年，5G 前传将主要以光纤直驱和无源波分这两种方案为主。

图 15: 5G 前传光纤直驱方案



资料来源: 招商证券整理

图 16: 5G 前传无源波分方案



资料来源: 招商证券整理

光纤直驱灰光方案仍为主流前传方案，竞争格局较为稳定。2019 年作为 5G 网络建设元年，其中前传方案主要以光纤直驱为主，推动 25G 灰光模块市场在 2019 年的快速起

量增长。2020 年光纤直驱仍将是 5G 无线前传的最主要的方案。基于 2020 年 5G 无线基站建设规模将远超 2019 年的预期，我们判断 2020 年 25G 灰光模块的需求将延续去年快速增长放量的趋势。光纤直驱是传统的 5G 前传方案，使用的主要是传输距离为 300m 和 10km 的灰光模块。灰光模块的商业模式一般是由无线基站设备商统一向光模块厂商采购，并与设备商所生产的无线基站搭配销售给运营商。市场中主要是海信宽带、华工科技、光迅科技、新易盛等出货量较大，竞争格局较为稳定。

图 17：灰光模块商业模式



资料来源：招商证券整理

无源波分是一种常用的前传技术，商用以 CWDM 方案为主。主要作用是在发送端通过将原本多路不同波长搭载的信号进行复用成一路信号，通过单根光纤进行发送传输，在接收端对一路信号进行解复用成多路不同波长信号传输至对应设备，整个传输过程中涉及的设备均为无源器件，这是别于有源波分（OTN）的主要特点。常见的无源波分设备主要包括三部分组成：彩光模块、波分复用器和机框辅材。无源波分常用于光纤资源紧张的环境中，可有效减少传输对光纤资源的需求。目前常用的无源波分技术主要包括 CWDM、LWDM 和 MWDM 等，技术区别主要是工作波长的不同。目前商用较广泛是 CWDM 技术，即粗波分复用技术，产业链成熟度也较高。彩光模块与波分复用模块需进行搭配才可实现波分复用功能。CWDM 技术共提供 1271nm-1611nm 共 18 个波长使用，每个工作波长间距为 20nm。波分复用模块按照使用的通道复用数量可分为 6 路、12 路和 18 路，对应的是 CWDM 的 6 个波长、12 个波长和 18 个波长。

图 18：CWDM 波分复用器结构图



资料来源：纤亿通、招商证券

图 19：CWDM 无源波分系统波长使用情况

1271	1291	1311	1:6 波分系统
1331	1351	1371	
1471	1491	1511	1:12 波分系统
1531	1551	1571	
1391	1411	1431	1:18 波分系统
1451	1591	1611	

资料来源：招商证券整理

无源波分是彩光模块在前传中最主要的应用场景。随着 2020 年 5G 基站的规模建设，作为无线前传主要解决方案之一，无源波分设备有望打开市场空间，成为拉动彩光模块最主要的引擎。近期三大运营商已进入集团公司或者省分公司采购高峰期，其中，2020 年中国移动已招标采购超过 10.6 万套无源波设备，中国电信集采超 15 万套无源波分设备，这也验证了我们对无源波分方案成为前传主流方案的判断。与灰光模块的由通信设

备商打包销售的商业模式不同的是,彩光模块一般由无源波分设备商通过自产或者外采的方式获得,再与波分设备商所生产的无源波分设备搭配销售给运营商。

图 20: 彩光模块商业模式

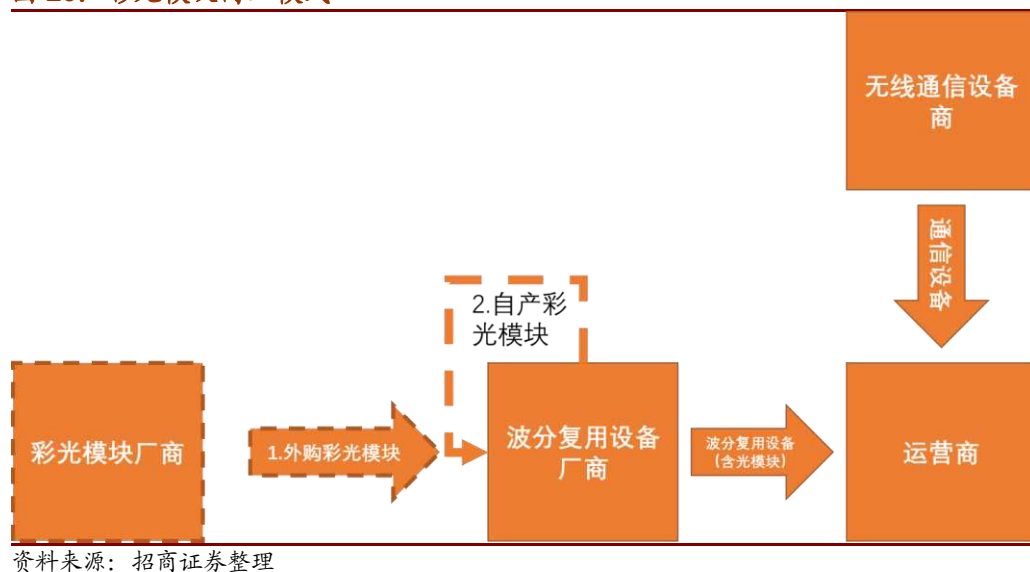


表 4: 2020 年以来三大运营商无源波分重大采购项目

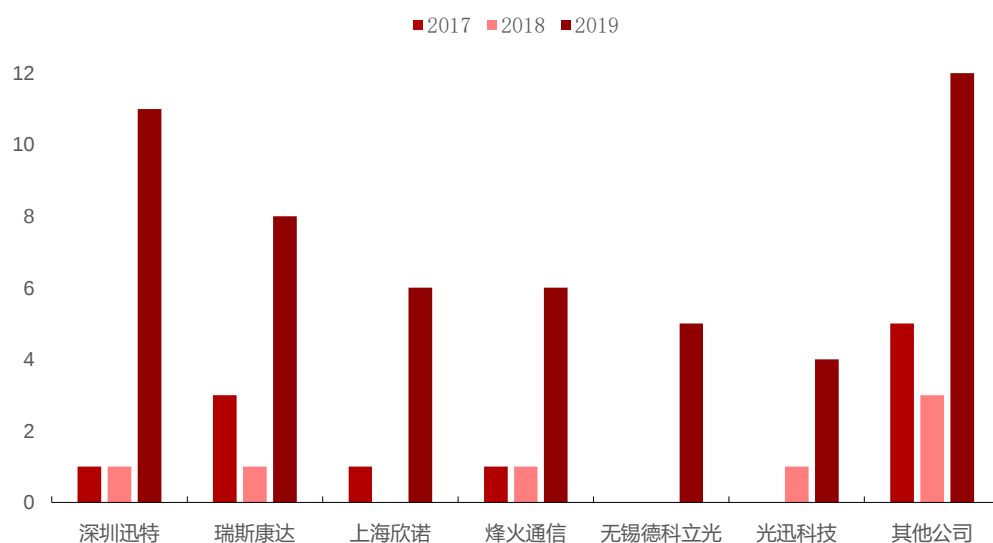
发标时间	运营商	项目名称	招标预算 (万元)	主要采购内容
1/3	中国电信	中国电信无源波分彩光设备 (2020 年) 集中采购项目	-	预计采购 15 万套无源波分彩光设备
1/3	中国移动	2019 年-2020 年青海移动无源波分设备框架	1000	共计 2000 套无源波分设备, 其中包含 12000 个 25G 彩光模块
2/14	中国移动	辽宁公司 2020 年无源波分设备招标采购项目	4560	共计 8000 套 1:12 双星型无源波分设备, 其中包含 48000 个 25G 彩光模块
2/20	中国电信	2020 年海南公司面向 5G 前传的 25Gb/s 无源粗波分框架采购项目	720	共计 3000 套 无源波分设备, 其中包含 18000 个 25G 彩光模块
2/21	中国移动	北京公司 2020 年无源波分采购项目 (第一批次)	3153.46	共计 11909 套无源波分设备, 其中包含 44454 个 25G 彩光模块
2/27	中国联通	2020-2021 年广东联通无源波分设备集中采购招标项目	1687.2	共计 2030 套无源波分设备, 用于 4G/5G 前传承载、客户接入等场景需求
3/13	中国联通	2020 年浙江联通 25G 无源粗波分集中采购项目	480	25G 无源粗波分设备
3/13	中国移动	江苏公司 2019 年度 5G 项目无源波分彩光设备班车式采购 (阶段二) 项目	3677.28	共计 16920 套无源波分设备, 其中包含 67680 个 25G 彩光模块
3/18	中国移动	四川公司 2020 年-2021 年无源波分复用设备二级集采项目	9071	共计 19921 套无源波分设备, 其中包含 109646 个 25G SFP+彩光模块
3/20	中国联通	2020-2021 年中国联通吉林省分公司无源波分设备及光模块集中招标	1733	对无源波分和现网光收发模块进行集中采购, 其中包含 10G 光模块、25G 光模块、100G 光模块、10G CWDM 彩光模块、25G CWDM 彩光模块及

发标时间	运营商	项目名称	招标预算 (万元)	主要采购内容
				波分复用器。
3/24	中国移动	重庆公司无源波分系统采购申请	2565	共计 8800 套无源波分设备, 其中包含 8100 套 5G 无源波分设备, 49200 个 25G 彩光模块
3/24	中国电信	2020 年中国电信东莞分公司无线 5G 无源波分设备框架采购项目	638.5	共计 1510 套无源波分设备, 其中包含 9060 个 25G 彩光模块
3/27	中国移动	内蒙古公司 2020 年无源波分复用设备采购项目	4145	共计 6400 套无源波分设备, 其中包含 3100 套 25G 无源波分彩光设备, 27600 个 25G 彩光模块
4/3	中国移动	河南移动 2020-2021 年无源波分复用设备采购项目	-	共计 12200 套无源波分设备, 其中 73200 个 25G 彩光模块

资料来源: 三大运营商采购网、招商证券整理

规模爆发增长的无源波分市场吸引了众多参与者, 竞争格局较为波动。与灰光模块由无线设备商打包在基站设备参与运营商集采的方式不同, 无源波分主要由运营商各省分公司自行采购为主, 所以导致竞争格局比较分散, 以中国移动为例, 在 2017-2019 年间, 总共有 18 家供应商中标过中国移动的无源波分设备采购项目, 其中包括有传输系统提供商(烽火通信、瑞斯康达等)、光模块生产商(深圳讯特、光迅科技等)、光纤光缆生产商(长飞光纤、特发信息、苏州苏驼等)、无线射频生产商(深圳国人等), 此外还有传统的主设备生产商如华为, 以及通信服务提供商等也曾参与过竞争。未来运营商有望将无源波分设备上提到集采, 如中国电信在 2020 年 1 月公告无源波分彩光设备(2020 年)集中采购项目集中资格预审, 拟采购约 15 万套无源波分彩光设备。这将增加无源波分设备和彩光模块市场竞争的不确定性, 原有竞争格局可能被打破。根据运营商集采的历史经验, 综合实力更强成本优势更明显的参与者有望在竞争中取得优势。

图 21: 中国移动无源波分设备商中标次数统计



资料来源: 中国移动采购与招标网、招商证券整理

5G 规模建设打开 25G 灰光模块和 CWDW 模块市场空间。由于中国移动 5G 频谱和中国电信中国联通共建共享的 5G 频谱分别达到了 160MHz 和 200MHz, 单个基站需使用

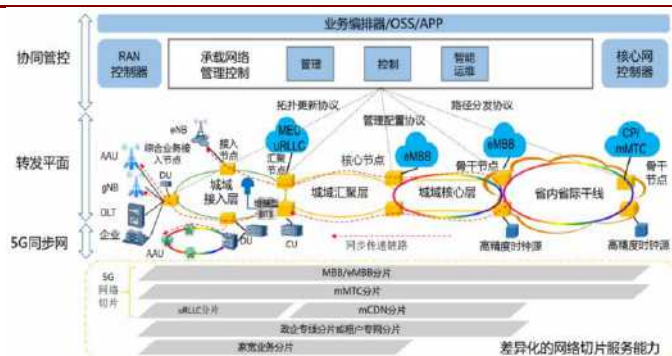
6 对 25G 接口。假设今年共计建设 80 万个 5G 基站，其中 60%采用 CWDM 无源波分系统，则国内市场将共带来 $80 \times 40\% \times 12 = 384$ 万个灰光 25G 模块和 $80 \times 60\% \times 12 = 576$ 万个 25G 彩光 CWDM 光模块的需求。根据市场调研的情况，25G 300m 灰光模块单价约为 230 元，25G 10km 灰光模块单价约为 260 元，25G BiDi 模块单价约为 310 元，假设三种模块占比为 2:3:2；25G CWDM 彩光模块单价约为 360 元，则 2020 年国内的 25G 灰光模块的市场规模约为 10 亿元，25G CWDM 彩光模块市场规模约为 21 亿元。

4、承载网规模落地建设，释放中回传光模块需求

2020 年 5G 承载网与无线网同步进入规模建设期。与 4G 承载网先于无线网建设的节奏不同，5G 时代承载网建设与无线网基本同步。由于前期建设的 5G 网络主要以 eMBB 场景为主，4G 承载网可满足带宽要求，2020 年 5G 网络将以 SA 组网为主，承载网需要提供如切片等 5G 支持功能，因此需要与无线网同步建设。目前三大运营商已完成 5G 承载网设备集采招标工作，标志着 5G 承载网正式进入规模建设期。

承载网设备落地建设，释放中回传光模块需求。各大运营商的承载网的整体架构大同小异，基本都分成骨干网、省网和城域网。骨干网和省网由于需要高速大容量的传输，所以比较多会选择 OTN 等适合大颗粒远距离的传输网络。具体到城域网，可以在细分为核心层、汇聚层、接入层。不同层级的承载网通过不同的端口速率提供不同能力的中回传服务，对应不同层级的承载网设备需使用不同速率要求的中回传光模块。今年中国移动的 SPN 承载网已经完成首期共计 14.56 万端设备采购，近期将进入规模建设阶段，中国电信与中国联通也分别开展 5G 承载网的采购与建设。假设中国电信与中国联通建设的规模之和与中国移动的建设规模相当，参考本期中国移动 SPN 网络设备模型设计和产业经验，初步测算出今年 5G 承载网设备将带来超过 2.5 万个 200GE、25 万个 100GE、38 万个 50GE 和超过 500 万规模数量的 25GE/10GE/GE 光口需求。据行业估算，所有光模块在承载设备中的价格占比约为 20%，按照本次中国移动 SPN 设备的平均报价约 90 亿元的情况，今年全国承载网建设有望带来超过 36 亿元的中回传光模块需求，打开中回传高速光模块的市场空间。

图 22：5G 承载网整体架构示意图



资料来源：IMT-2020 推进组、招商证券

图 23：5G 承载设备的光口需求

	核心层	汇聚层	C-RAN接入层	D-RAN接入层
200GE光口	√			
100GE光口	√	√		
50GE光口		√	√	
25GE光口			√	
10GE光口	√	√	√	√
GE光口	√	√	√	√

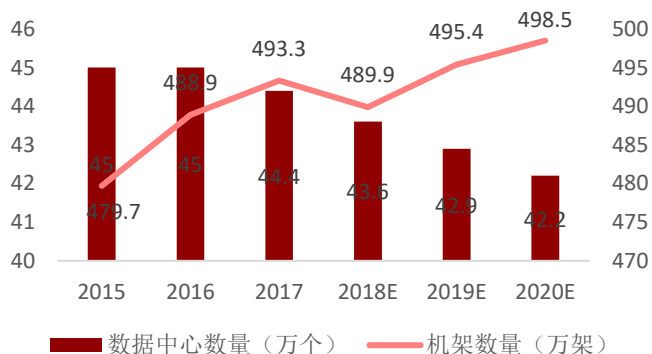
资料来源：招商证券整理

三、5G 新应用带动需求侧景气高企，供给侧国内厂商蓄势待发，400G 光模块逐步成为数通市场主角

1、需求侧：超大规模数据中心建设进入 400G 时代，引领技术发展趋势

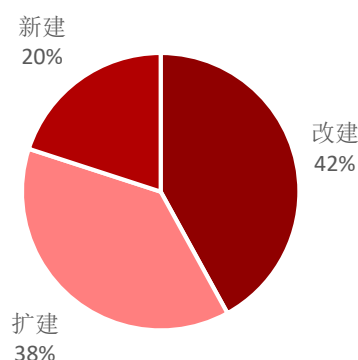
全球数据中心建设呈现大型化和集约化特点，转向更大规模发展。据 Gartner 统计和预测，全球数据中心数量呈现逐年下滑的趋势，但机架数仍维持增长，预计到 2020 年全球数据中心约为 42.2 万个，机架数量则达到 498.5 万架，服务器将超过 6200 万台，每个数据中心的平均机架数呈明显的上升趋势，数据中心转向更大规模的趋势发展。从 2012 年至今，数据中心开始进入整合、升级和云化的新阶段，如美国数据中心从粗放式发展阶段进入规模建设阶段，发展模式将转入以改建和扩建等利旧建设，2018 年美国数据中心建设主要以改建和扩建为主，新建规模占比降低至 20%。

图 24：全球数据中心和机架数量统计及预测



资料来源：Gartner、招商证券

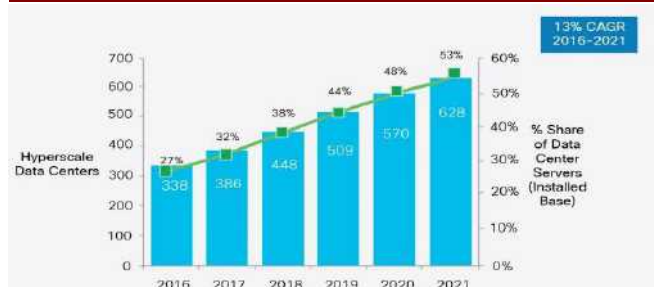
图 25：2018 年美国数据中心建设结构占比



资料来源：前瞻产业研究院、招商证券

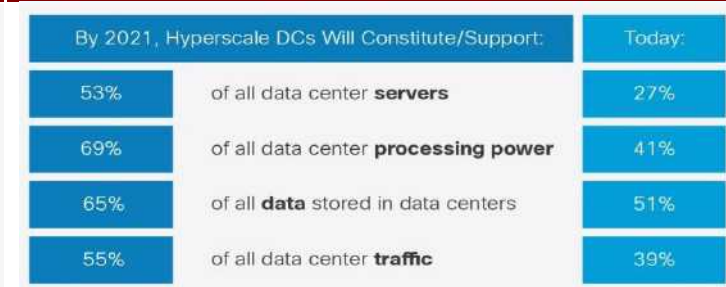
超大规模 (Hyperscale) 数据中心建设持续高景气周期。“超大规模”的定义各不相同，一般指拥有 5 万-10 万服务器的数据中心，但 Synergy Research 的标准较高，认为是拥有“几十万台服务器，有时甚至是数百万台”。根据 Synergy Research 数据，2018 年全球超大规模供应商运营的大型数据中心数量将达到 430 个，同比增长了 11%，到 2019 第三季度已突破 504 个，目前还有 151 个超大规模数据中心正在规划或在建设当中，超大规模数据中心的建设高景气将有望持续。据 Cisco 的数据，预计到 2021 年，超大规模数据中心的服务器数量将占全部数据中心服务器总量的 53%，流量占比将达到 55%，成为市场主力。

图 26：全球超大规模数据中心持续增长



资料来源：Cisco、招商证券

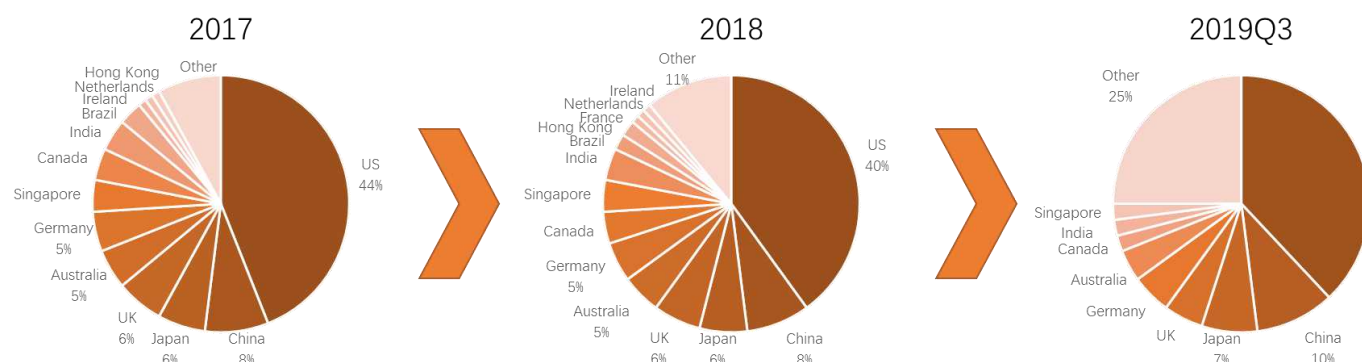
图 27：超大规模数据中心规模占比逐步提升



资料来源：Cisco、招商证券

超大规模数据中心作为新技术担当，代表数据中心未来的发展方向。超大规模数据中心的软硬件设计、配置、能耗和管理运维等技术要求较高，通常需要综合技术能力和资金实力较强的大型互联网公司才有能力设计建设和运营，其技术预研的方向往往被认为是代表数据中心技术发展的方向。业界普遍认为谷歌、亚马逊、微软、Facebook、腾讯、百度以及阿里巴巴等可以被称为超大规模数据中心运营商。亚马逊和微软在过去的 12 个月内开设了最多的新数据中心，合计超过总数的一半。紧随其后的是谷歌和阿里巴巴。从地区上看，美国超大规模数据中心数量占比始终是全球最大，但近年随着中国、日本等地区数据中心建设热潮的兴起，占比逐渐下滑。

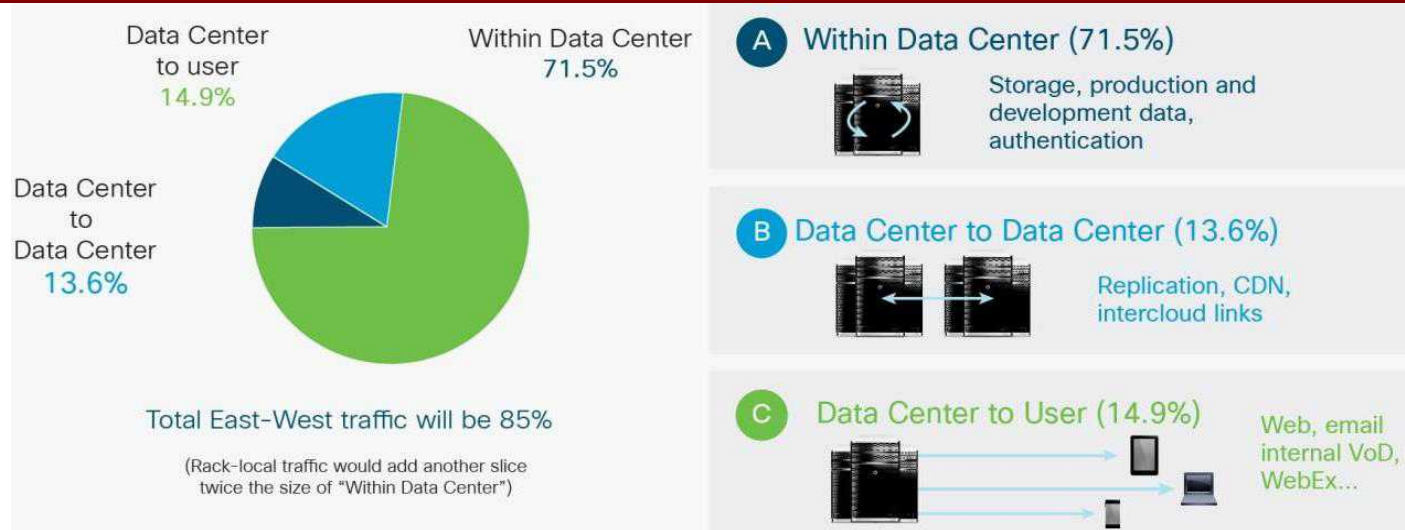
图 28：各国超大规模数据中心占比



资料来源：Synergy Research、招商证券

数据中心东西流量远超南北流量。一般的数据中心内部主要由服务器、交换机和路由器组成。其中服务器提供数据的存储、计算、控制等功能，是数据中心的核 心；交换机作为数据中心的骨干组成，搭建起数据中心内外部 的神经中枢，通过连接服务器与服务器提供东西流量通道，连接服务器与路由器提供南北流量通道；路由器主要承担数据中心数据的进出口流量的传输和控制。据 Cisco 预测，数据中心的所有数据流量中，东西流量占比将在 2021 年达到 85%，南北流量仅占 15%。其中数据中心与数据中心之间的流量占比将由 2016 年底的 10% 提升到将近 14%，超过数据中心内部（75.4%→71.5%）和数据中心到用户流量（基本维持在 14.5%）的增长，这主要是受 CDN 网络、云服务和数据中心备份等应用场景的增加所致。

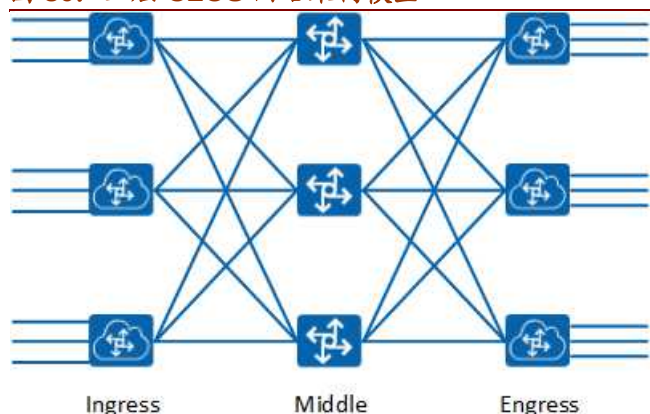
图 29：2021 年全球数据中心流量流向



资料来源：Cisco、招商证券

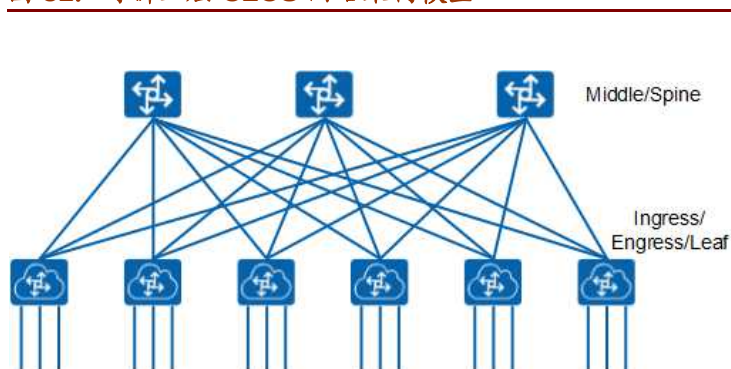
Spine+Leaf 架构成为数据中心内部组网主流。与传统的三层网络架构不同，扁平化的两层网络设计已成为现今数据中心内部主流的组网架构。Spine+Leaf 架构起源于 CLOS 网络，网络中各节点按层次结构组织，在交换阵列中可实现非阻塞。一个三层 CLOS 网络架构由一个 Ingress 节点，一个 Middle 节点和一个 Egress 节点组成，通过对折，即可得到实际网络中常见的 Spine+Leaf 架构。Spine+Leaf 架构有一个显著的特点，即 Spine 交换机和 Leaf 交换机之间是 Full-mesh（全网状）连接，即每一个 Spine 交换机都会和所有 Leaf 交换机连接，每一个 Leaf 交换机都会和所有的 Spine 交换机连接。

图 30：三层 CLOS 网络架构模型



资料来源：华为、招商证券

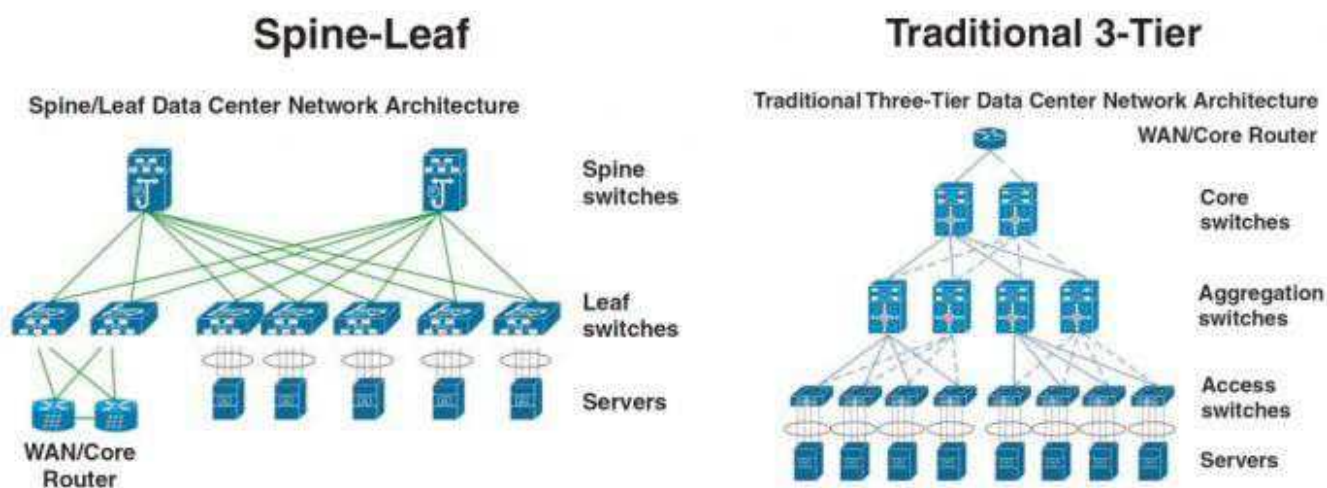
图 31：对折三层 CLOS 网络架构模型



资料来源：华为、招商证券

在 Spine+Leaf 架构中，Leaf 交换机相当于传统三层架构中的接入交换机，主要实现 L2 网络传输，作为 TOR（Top Of Rack）直接连接物理服务器，另外还有与 Leaf 交换机并行的 Edge 交换机连接 WAN/Core Router，实现南北流量的传输；Spine 交换机相当于核心交换机，为 Leaf 交换机提供一个弹性的 L3 路由网络。与传统三层架构相比，Spine+Leaf 架构扁平化的设计更利于横向的水平扩展。

图 32：Spine+Leaf 网络架构和传统三层网络架构对比

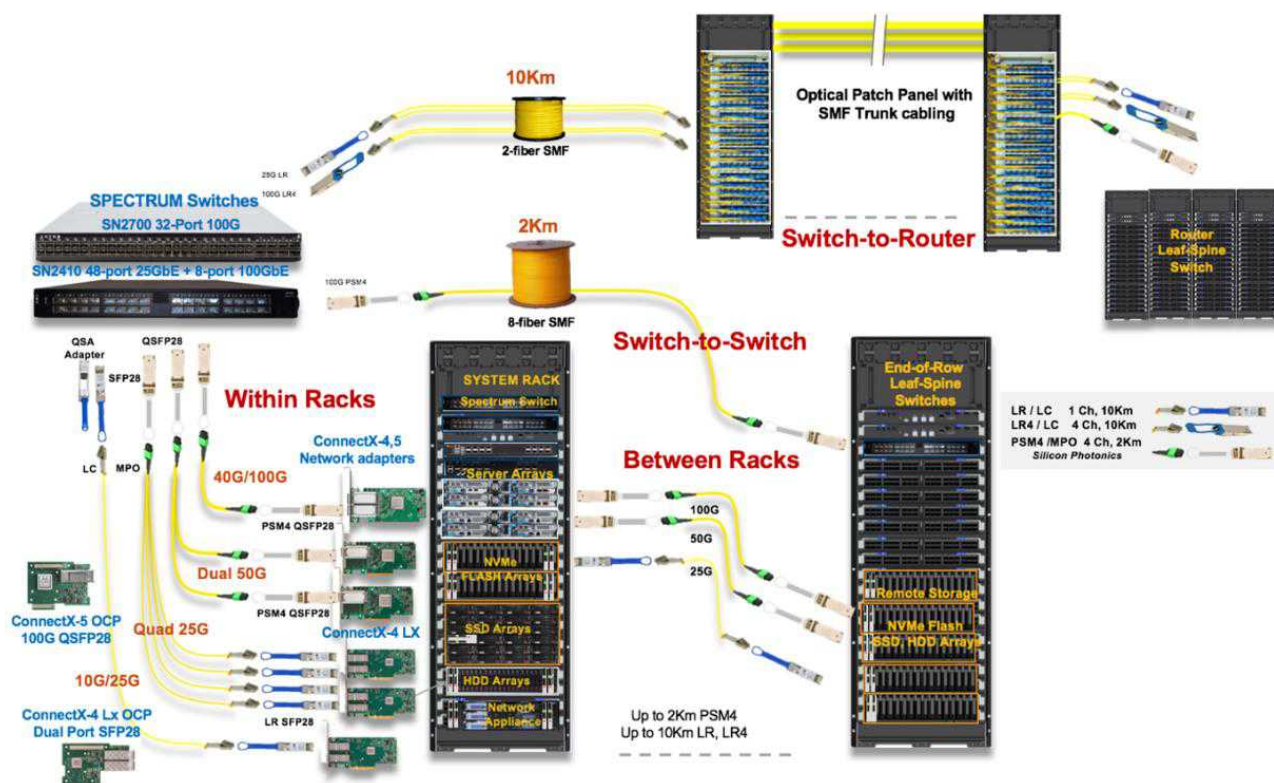


资料来源：知乎专栏《数据中心网络架构浅谈》、招商证券

数据中心内部外部传输需求场景丰富，光模块需求差异大。为满足数据中心东西和南北向的传输需求，数据中心具有非常丰富的传输场景，包括常见的机架内 TOR 交换机与服务器等设备之间，Leaf 交换机与 Spine 交换机之间，Edge 交换机与 Router 之间，Router 与其他数据中心 Router 或者 WAN 之间的连接传输，另外还存在机架设备与机架设备之间的连接，如不同机架的服务器和存储设备之间的连接。不同的传输场景中对

传输链路的速率、模式和成本控制要求有较大不同，所需的光模块需求也存在较大的差异。如机架内 TOR 交换机与服务器之间由于距离短，所需带宽较小，直接使用低速率的 DAC 或者 AOC 直连；对于 Leaf 交换机与 Spine 交换机之间，带宽要求较高，但距离较短，可使用 PSM4 或者 CWDM4 光模块实现传输，PSM4 光模块成本较低但光纤用量较大，距离增加时方案总成本上升较快，在中长距离传输时 CWDM4 方案会更具优势。

图 33：数据中心相关设备互联



资料来源：Mellanox、招商证券

数据中心流量进入爆发期，光模块有望进入 400G 时代。随着 5G 网络建设的落地，数据中心流量进入爆发性增长的阶段，对数据中心互联的带宽提出了新的需求。数据中心的互联场景中，机柜内部的服务器与 TOR 交换机主要以 10G/25G 为主，正向 50G/100G 阶段过渡。Leaf 交换机与 Spine 交换之间的互联、数据中心之间的互联目前主要以 40G/100G 为主，正向 400G 过渡。

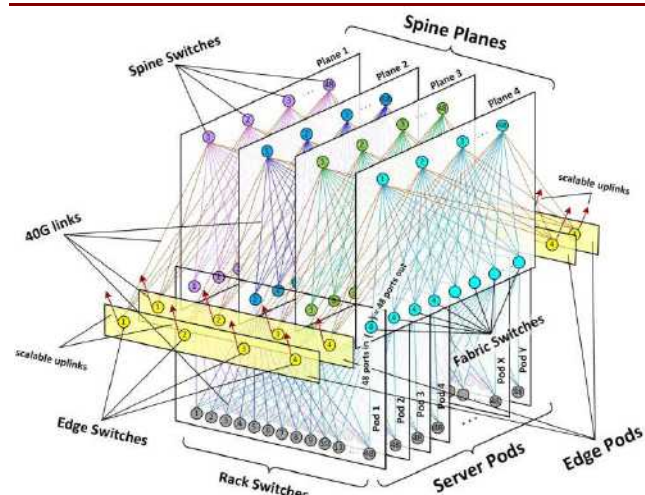
表 5: 数据中心常见的光模块使用场景

距离	使用场景	常见速率	传输解决方案
<20m	机柜内部的服务器和 TOR 交换机互联	以 10G、25G 为主, 正在向 50G 或 100G 过渡	以 DAC(直接连接的铜线电缆)或 AOC(有源光缆)电缆为主
20m~500m	数据中心同一机房内 Leaf 到 Spine 交换机的互联	以 40G、100G 为主, 正在向 400G 过渡	主要采用 PSM 或 CWDM4 方案
500m~10Km	数据中心楼宇间交换机或路由器的互联	以 100G 为主, 正在向 400G 过渡	以 1310nm 波长的粗波分复用(CWDM)技术为主, 部分短距离(500m~2km)场合仍可以使用 PSM 技术
>10Km	多个数据中心间的互联	以 100G 为主, 正在向 400G 过渡	以 100G+DWDM(密集波分复用为主), 未来 80km 以上主要采用 400G 相干通信+DWDM, 80km 以下也有采用 PAM4+DWDM 的实现方式。传输波长以 1550nm 波长为主。部分短距离(10km~40km)、速率要求不高的场合仍可以使用 1550nm 波长的 CWDM 技术。

资料来源: 是德科技、招商证券

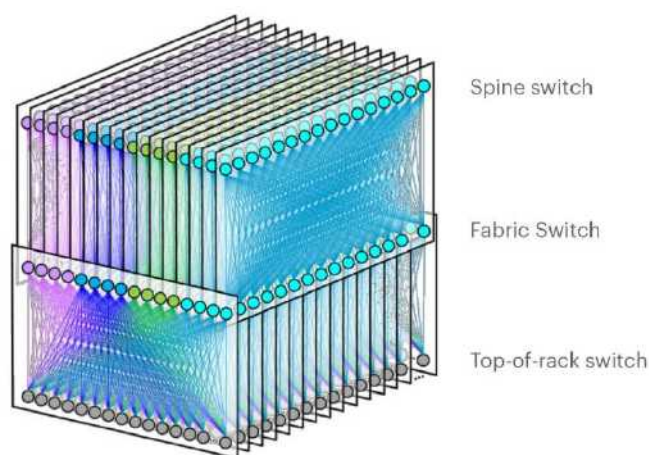
Facebook 新一代数据中心架构重用 4×100G 实现 400G 带宽, 提升 100G 光模块需求, 同时为后续 400G 光模块奠定规模基础。Facebook 在 2014 年公开其数据中心架构 F4, 使用的是一个五级 Clos 架构, 在普通的 Spine 交换机和 Leaf 交换机之间增加一个 Fabric 交换机。Facebook 将 Leaf 交换机叫做 TOR, 与 Fabric 交换机构成了一个三级 Clos 结构。48 个 TOR 交换机、4 个 Fabric 交换机和对应的服务器组成的集群称为一个 POD (Point Of Delivery), 是 Facebook 数据中心的最小组成单位; 往上一层由 Fabric 交换机作为 Leaf, 由 Spine 交换机作为 Spine, 构成一个三级 Clos 架构, 成为 Spine Plane。在 2019 年 OCP 峰会上 Facebook 发布了其下一代数据中心 Fabric 网络架构 F16, 重用已有成熟的交换 ASIC (Tomahawk 3, 可提供 32x400GbE, 64x200GbE 或 128x100GbE 端口) 和 100G 光器件 (100G CWDM4 光模块), 通过建立 16 个单芯片构成的平面和 100G 链路组合来替代多芯片平面和 400G 链路, 用 16 个 128 口的 100G 交换机实现了 4 个 128 口 400G 交换机的带宽。相比 F4 架构中, F16 架构所需光连接数将为原来的 3-4 倍, 有望在短期大幅提升 100G 光模块的用量。面向中长期演进, F16 可以通过更换更大容量的交换 ASIC 和更高速度的光模块, 实现性能的持续提升, 以满足未来更大流量的需求。当交换机单端口速率切换到 400GE 时, 可预见 F16 架构将提供大量的 400G 光模块需求。

图 34: Facebook F4 数据中心架构



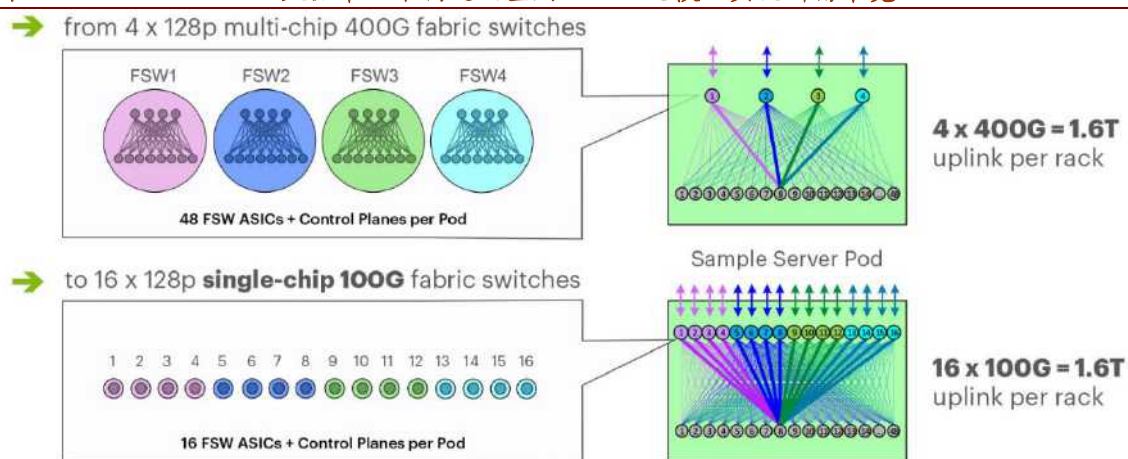
资料来源: Facebook、招商证券

图 35: Facebook F16 数据中心架构



资料来源: Facebook、招商证券

图 36: Facebook F16 数据中心架构通过重用 100G 光模块实现所需带宽



资料来源: Facebook、招商证券

北美主流云计算公司对于下一代产品升级的技术路线尚未形成统一。亚马逊主张使用的是 400G DR4，谷歌将采用 2x200G 模块的形式，主要使用 2x200G SR8 和 FR8 光模块，Facebook 构建的 F16 新型高密度 100G 交换结构，适用于 4 倍容量，目前正在使用 100G 光模块并计划进一步升级到 200G，微软在 400ZR 可用于互连区域性数据中心之后，考虑在数据中心内部署 400G。

2、需求侧：400G 交换生态圈已成熟，提振光模块需求空间，加速市场爆发。

交换机是数据心里十分重要和关键的网络设备，SDN 催生白盒化模式。作为数据中心内部数据传输通道的骨干，交换机的容量和速率决定了数据中心可对外提供的能力。数据中心借助交换机协同内部密集的服务器阵列进行整合，对外提供存储和算力等服务。东西向是数据中心占比最多的流量应用场景，内部数据传输通道的带宽很大程度上决定了数据中心整体能力的表现。目前市场的交换机按软硬件内部设计界面划分，可分为裸机交换机、白盒交换机和传统商业交换机等，其中传统商业交换机为传统常见的模式，

由设备商自行设计硬件并加载操作系统，提供功能通用的交换机，常见的制造企业包括思科、华为、Juniper 等；裸机交换机则主要由制造商提供组装好的硬件，由用户自行加载操作系统，制造商通常为 ODM 厂家，如 Accton, Quanta QCT 等；白盒交换机则是近几年兴起并得到超大规模数据中心运营商青睐的交换机种类，在软件定义网络（SDN）出现以后，通过软件控制器和直接流表转发的白盒交换机就可以完成数据中心网络的部署，而且这种网络部署快、成本低、便于维护，十分适合超大规模数据中心的批量建设。据 Crehan Research 的统计，2018 年亚马逊、谷歌和 Facebook 对白盒交换机的购买规模已经超过了其市场总规模的三分之二，虽然白盒交换机在数据中心交换的整体市场采用率在 20% 的范围内，但是亚马逊，谷歌和 Facebook 倾向于更早采用这些设备以满足对更新更快网络速度的追求，白盒交换机将继续增长。目前谷歌几乎所有 400GbE 数据中心都是白盒级交换机驱动的。

表 6：市场主要交换机种类对比

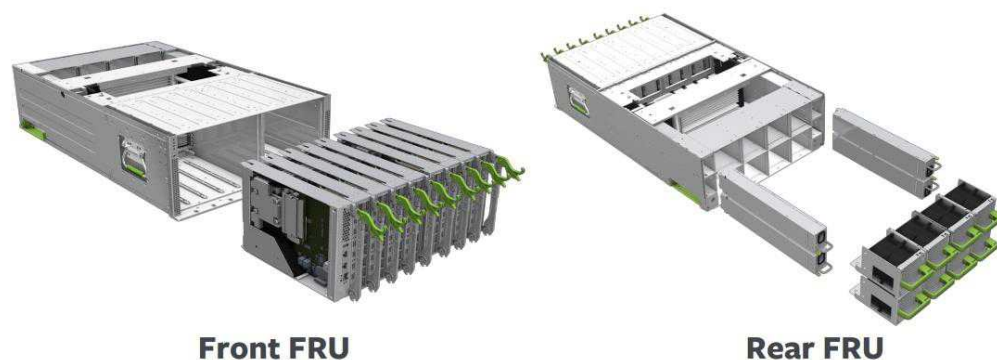
	裸机交换机	品牌裸机交换机	白盒交换机	传统商业交换机
定义	只包含硬件	只包含硬件，以及一些基本品牌服务	通用硬件，预先加载网络操作系统	商业硬件和网络操作系统
硬件成本	低	低	低	高
硬件构成	商用元器件，包括 ASIC	商用元器件，包括 ASIC	商用元器件，包括 ASIC	品牌自研芯片
网络操作系统	不含（可自行加载 PicOS/Cumulus/Big Switch）	不含（可自行加载 PicOS/Cumulus/Big Switch）	自研或第三方系统	品牌交换机软件
商用产品	Accton AS5712(Broadcom) Penguin 48000(Broadcom) Quanta 3048(Broadcom)	Dell S4810-ON/S6000-ON(Broadcom) HP 5700/5712/6700(Broadcom)	Arista 7250X(Broadcom) Dell S6000(Broadcom) HP 5930(Broadcom)	Nexus 7000 HP 3500/5400/8200(HP ProVision) Juniper 9200(Trio)

资料来源：SDNLAB、招商通信

市场中各公司的数据中心交换机设计不一，但整体起来看主要是由交换板、转发板、主控板、电源子系统、风机子系统。我们以 Facebook 推出的下一代交换 Minipack 的为例，对数据中心交换机的内部结构进行介绍。Minipack 是 Facebook 配合其 F16 架构推出的新一代交换机，可以用作 F16 架构中的 Fabric 交换机和 Spine 交换机，基于博通 Tomahawk 3 交换芯片设计，提供 16 × 100GE 和 4 × 400GE 两种模式。前面转发板、主控板竖插，交换板在后部水平放置，正交架构使 PCB 路径更短，利于散热。

图 37: Minipack 前视图&后视图

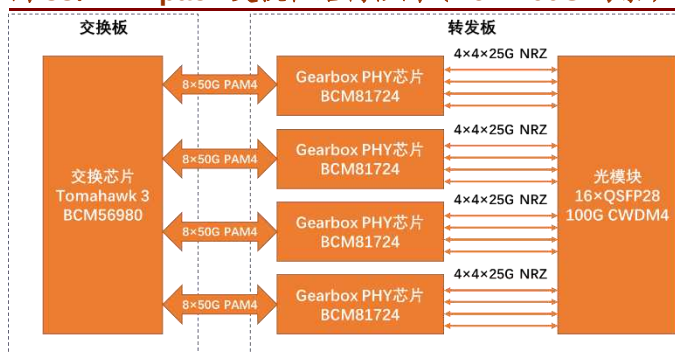
Minipack FRUs



资料来源: Facebook、招商证券

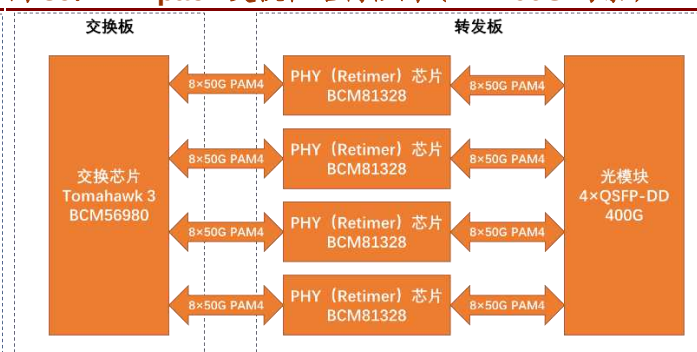
Minipack 的交换板主要用于对各转发板接入的互联通道按需进行高速交换传输, 搭载 Tomahawk 3, 提供整机的交换功能, Tomahawk 3 集成 256 个 56G-PAM4 SerDes 高速串行接口, 可提供 32x400GbE, 64x200GbE 或 128x100GbE 等端口使用方式。转发板主要用于接入待交换的光信号, 完成初步的信号处理后交由交换板。Minipack 提供两种转发板 PIM-16Q 和 PIM-4DD, 供不同的使用场景应用。其中 PIM-16Q 用在单板 16×100G 场景中, 由博通 BCM81724 Gearbox PHY 芯片提供 4×25G NRZ 信号到 56G PAM4 信号的转换, 以满足 Tomahawk 3 的接口要求; PIM-4DD 用在单板 4×400G 场景中, 单板可接收 4 个单光模块传输的 8×50G PAM4 信号。

图 38: Minipack 交换机结构框图 (16×100G 场景)



资料来源: 招商证券整理

图 39: Minipack 交换机结构框图 (4×400G 场景)



资料来源: 招商证券整理

需求端生态圈已成熟, 催生 400G 光模块规模空间。数据中心交换机是 400G 数通光模块规模最大的应用场景。光模块在数据中心交换机中价值量占比较高, 以运营商数据中心现网所使的 100G 端口交换机为例, 光模块价值量占比已超过数据中心交换机整体的一半。目前各主流交换机制造商已纷纷推出多款面向 400G 的数据中心交换机产品, 这些交换机产品可提供数十到数百个 400G 端口, 可预计, 当数据中心批量部署相关的 400G 交换机时, 将有望为 400G 光模块带来较大的市场空间。

表 7: 主流交换机制造商的 400G 数据中心交换机产品

厂商	时间	交换机型号	性能
新华三	2018.4	S12500X-CF	高密度 400G 交换机支持最多 576 个 400G 端口全线速转发, 支持 QSFP-DD 接口
Juniper	2018.7	QFX10003	紧凑型 3-RU 规格尺寸实现 32x400GbE, 由下一代 Q5

敬请阅读末页的重要说明

Arista	2018.10	QFX5220	芯片提供支持
		7060X4	紧凑型 1-RU 规格尺寸实现 32x400GbE
		Nexus 3432D-S	1U 机箱最多可支持 32 个 400G 的端口，有两种配置，支持 OSFP 和 QSFP-DD 400G 光模块
思科	2018.11	Nexus 3408-S	1RU 交换机，提供 32 个 400G 端口
		Nexus 9316D-GX	8 插槽 4RU 机箱，允许混合 100G 至 400G 连接。两者都具有单个 12.8Tbps 芯片和 70MB 缓冲。
		Nexus 93600CD-GX	1RU Spine 交换机，具有 16 个 400/100-Gbps QSFP-DD 端口
星网锐捷	2019.3	RG-N18018-CX 400G	1RU Leaf 交换机，支持 8 个 400/100-Gbps QSFP-DD 端口
			单机支持 576 个 400G 端口线速转发，有效带宽达 691.2T，具备升级 1.38PB 的能力
华为	2019.9	CloudEngine 16800	数据中心框式交换机，支持业界最高密 400GE 接口线卡，单槽位支持 48 端口 400G 线卡，整机提供 768 端口的 400G 交换容量
	2019.9	CloudEngine 8851	数据中心盒式交换机，支持 400GE 上行转发

资料来源：公司官网、招商证券

400G 交换机芯片的生态丰富，适配 400G 光模块的各种应用场景。博通公司在 2019 年发布单芯片 25.6Tbps 交换能力的 Tomahawk 4 交换芯片，采用 7nm 工艺，配备 512 个 50G PAM4 SerDes，支持 64×400G/128×200G/256×100G 端口。其高集成，高效率架构相比其他产品实现了成本和功耗 75% 的下降。此外思科也推出 Silicon One 交换芯片，可提供 10.8Tbps 带宽，支持 P4 编程，可同时完成交换和路由的功能，并实现了交换芯片和交换矩阵芯片的一体化。此外，为适配不同的 400G 光模块方案，博通还推出多款 PHY 芯片，通过 Gearbox 功能，实现如 50G/100G/200G/400G (NRZ/PAM4) 等多种传输信号与 50G PAM4 信号的转换。

表 8：400G 交换机主要相关芯片

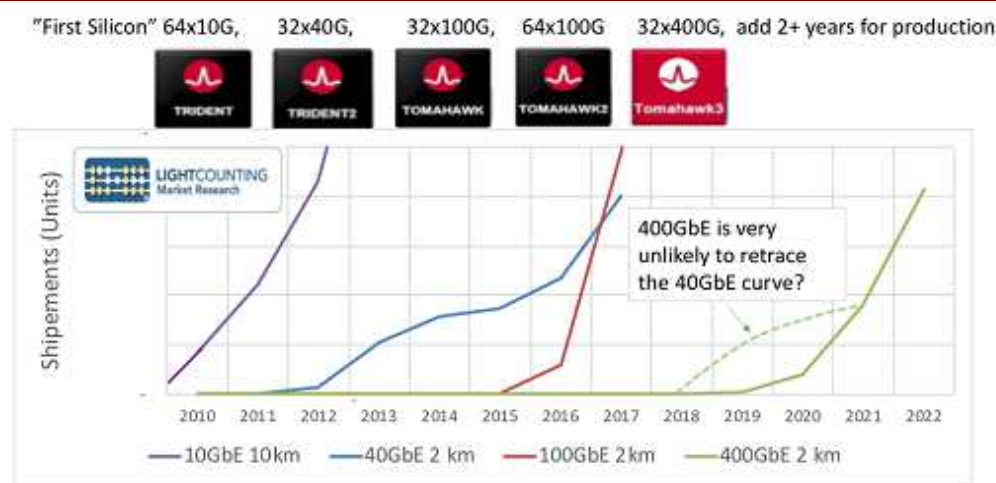
厂商	类型	型号	功能&性能
博通	交换芯片	TomaHawk4	容量为 25.6Tbps，支持 64×400G/128×200G/256×100G 等端口
博通	交换芯片	TomaHawk3	容量为 12.8Tbps，支持 32x400G/64x200G/128x100G 等端口
思科	交换芯片	Silicon One Q100	容量为 10.8Tbps，最高可支持 400G 端口
Intel (Barefoot)	交换芯片	Tifino2	容量为 12.8Tbps，支持 32x400G/64x200G/128x100G 等端口
Innovium	交换芯片	TERALYNX7	容量为 12.8Tbps，支持 32x400G/64x200G/128x100G 等端口
NVIDIA (Mellanox)	交换芯片	Spectrum-2	容量为 6.4Tbps，支持 16×400G/32×200G/64×100G 等端口
博通	PHY 芯片	BCM81724	支持 8×53 Gb/s (at 26-Gbaud PAM4) 与 16×25 Gb/s (NRZ) 的信号转换
博通	PHY 芯片	BCM81328	业界首个 16nm 8x56G PAM-4 PHY 芯片，主要用于线卡，系统侧接口兼容支持传统 28Gbps NRZ 以及下一代 56Gbps PAM4

资料来源：公司官网、招商证券整理

新一代交换芯片发布，有望提振 400G 光模块需求，加速市场爆发时点。作为下一代超大规模数据中心网络所需的理想部件，博通 Tomahawk 4 交换芯片的发布标志着数据中心 400G 交换产业链进入成熟期。交换芯片作为光模块的上游，其升级换代将推动整个产业链的技术进步和成本下降，叠加云计算厂商资本开支重回增长轨道，将激励云巨头

加快在 400G 领域部署，并有望加速 400G 光模块市场爆发点的到来，提振交换机、服务器及光模块厂商景气向上。从交换芯片推出时间与光模块的一般相关关系来看，从交换芯片推出到相应速率的光模块市场开始放量有 2-3 年的时间，而且一旦开始就有一个快速增加的过程。对比 100G 发展历史来看，2014 年 Tomahawk1 推出，支持 32*100G 端口，2 年后随着 64*100G 端口的 Tomahawk2 推出，100G 光模块迅速爆发。如果 400G 产品延续这个逻辑，爆发时点也即将到来。Tomahawk4 芯片将于 2020 年实现量产，随着产能提升，产品批量出货，400G 产业链部署成本降低，400G 光模块市场有望迅速放量。

图 40：交换芯片推出时间与对应光模块大规模商用关系



资料来源：LightCounting、招商证券

3、供给侧：上游芯片+无源器件准备就绪，400G 光模块蓄势待发

封装和电气标准均已成熟发布，400G 光模块可适配多种应用场景。光模块的标准制定主要有两个组织，IEEE 和 MSA。MSA 即 Multi-Source Agreement，多源协议，主要由行业相关代表厂商针对某一特定领域制定的行业标准，如在光模块领域就有封装标准 SFF MSA，100G 光模块的实现标准 PSM4 MSA 和 CWDM4 MSA 等。在 400G 光模块中，相关的 MSA 主要包括封装相关的 QSFP-DD、OSFP 和 CFP8，传输模式相关的 CWDM8，相关标准均已制定并发布。另外 IEEE 的 802.3 系列标准专门是对有线网络的物理层和数据链路层的介质访问控制进行定义，其中与 400G 光模块相关的是对多种型号物理介质相关（PMD）接口进行了定义。相关标准的成熟发布为业界推进 400G 光模块的商用奠定了基础，同时丰富的标准也有利于 400G 光模块可适配多种对距离、所需光纤数量、单波速率等有不同需求的应用场景。

表 9：400G 光模块的主流 PMD

PMD	传输媒介	距离	光纤数	单纤波长数	单波速率	制定标准
400GBASE-SR16	16 对 MMF	100m	32	1	25G NRZ	IEEE 802.3bs
400GBASE-SR4.2	8 根 MMF(BiDi)	100m	8	2	50G PAM4	IEEE 802.3cm
400GBASE-SR8	8 对 MMF	100m	16	1	50G PAM4	IEEE 802.3cm
400GBASE-DR4	4 对 SMF	500m	8	1	100G PAM4	IEEE 802.3bs
400GBASE-FR4	1 对 SMF	2km	2	4	100G PAM4	IEEE P802.3cu

PMD	传输媒介	距离	光纤数	单纤波长数	单波速率	制定标准
400GBASE-FR8	1 对 SMF	2km	2	8	50G PAM4	IEEE 802.3bs
400GBASE-LR4	1 对 SMF	10km	2	4	100G PAM4	IEEE P802.3cu
400GBASE-LR8	1 对 SMF	10km	2	8	50G PAM4	IEEE 802.3bs
400GBASE-ER8	1 对 SMF	40km	2	8	8 × 50G PAM4	IEEE P802.3cn
400GBASE-ZR	1 对 SMF	80km	2	DP-16QAM	相干 DWDM	IEEE P802.3ct
400GE-CWDM8-10	1 对 SMF	2m to	2	8	8 × 50G	CWDM8 MSA
400GE-CWDM8-2	1 对 SMF	2m to	2	8	8 × 50G	CWDM8 MSA

资料来源：IEEE、MSA、招商证券整理

QSFP-DD 最受市场青睐，有望成为 400G 的主流封装。目前 400G 光模块主要有三种封装结构：QSFP-DD、OSFP 和 CFP8。目前市场对 QSFP-DD 的支持力度相对是最大的，其生态圈也是最为成熟的。主流光模块厂商所生产的 400G 光模块，最常见的就是 QSFP-DD 封装，同时包括主流交换机，主流商业交换机 PHY 芯片等都对 QSFP-DD 的支持最为广泛。QSFP-DD 和 OSFP 都是电口支持 8 × 50G PAM4 信号，光口最高可支持 8 路并行，能耗较低，CFP8 电口支持 16 × 25G NRZ 信号，光口最高可支持 16 路并行，功耗相对较高。

表 10：400G 光模块主流制造商的封装情况

制造商	QSFP-DD	OSFP	CFP8
Amphenol	✓	✓	
AAOI	✓	✓	
Colorchip	✓		
Eoptolink	✓	✓	
Finisar	✓		✓
Fujitsu	✓	✓	
易飞扬	✓		
Hitachi Metals	✓	✓	
中际旭创	✓	✓	
Kaia	✓		
Lumentum	✓		✓
Mellanox	✓		
索尔思	✓		

资料来源：互联网资料、招商证券整理

400G 光模块可复用成熟光芯片，无源器件获精密加工技术加持。为适配不同的应用场景，400G 光模块具有多种形态的 PMD，不同 PMD 的光模块内部具体结构的实现方式不尽相同，如 DR4 和 FR4 就存在着有无 Mux/DeMux 的区别。一般而言，光模块主要由结构、光学器件和电路三部分组成。目前的无源器件的设计已实现结构和光学两部分的融合，光芯片主要封装在 TOSA/ROSA 等结构中。在 400G 时代，光芯片主要通过复用产业链成熟的 25G 系列芯片实现快速部署，此外精密加工技术的发展，很好地满足了 400G 高速率对光模块无源器件集成度和精密度的高要求，如高精度高稳定度的透镜产品。

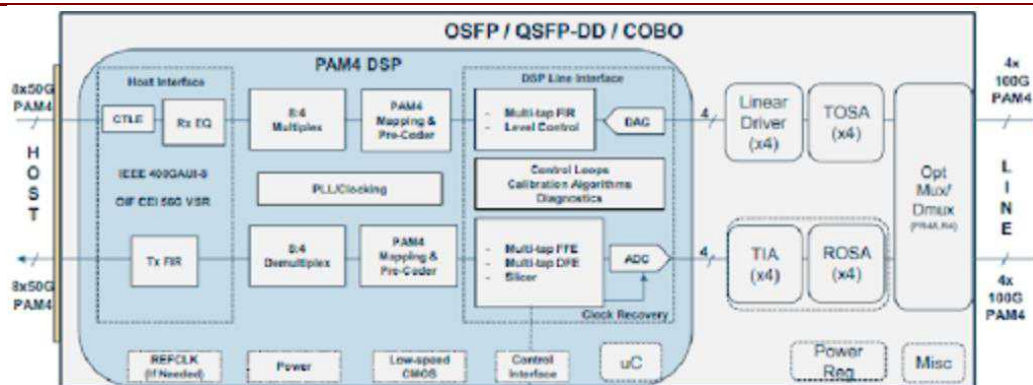
图 41: 高精度高稳定度透镜为数据中心模块提供优质连接



资料来源：天孚通信、招商证券

成熟的 50G PAM4 芯片，助力 400G 光模块批量商用。400G 光模块的电路主要包括光发射驱动电路（Driver）、光接收放大电路（TIA）、控制电路 MCU、信号处理电路和外围的供电/时钟电路等。Driver 主要用于驱动 LD 发射激光，TIA 主要对 PD 接收的信号进行放大。400G 的光模块较多会使用到 PAM4 技术，目前 PAM4 主要有两种电路实现方式，基于 DSP 的数字 DAC 或者是基于模拟的 Combine。其中在 PAM4 DSP 芯片解决方案中，芯片厂一般会将 MCU、Gearb 等数字电路与 DSP 合设，电路设计比较简单，便于光模块集成，主要代表厂商有 Inphi 和博通；模拟电路方案主要基于 CDR 实现时钟和信号恢复，实现成本功耗较低，主要代表厂商有 Macom 和 Semtech。

图 42: 基于 DSP 方案的 400G 光模块电路图



资料来源：易飞扬、招商证券

表 11: 主流光模块电芯片厂商的 400G 产品

公司	适用于 400G 的 PAM4 产品
Macom	拥有完整的基于 CDR 和 L-PIC（集成有激光器的硅光子集成电路）的产品组合，包括发射端带有集成驱动器的 MAOM-38053 四通道发送 PAM4 CDR 和 L-PIC 发射器。接收端有 MATA-03819 四通道 TIA、MACOM BSP56B 光电探测器和 MASC-38040 四通道接收 PAM4 CDR。与目前 DSP 的 PAM4 解决方案相比，预计能够降低每千兆的成本，减少 25% 以上的功耗。
Broadcom	针对数据中心和云架构的 7nm 工艺 400G PAM-4 PHY 芯片 BCM87400，基于博通最新的 7nm Centenario 112G PAM-4 DSP 平台，提供 400G 8:4 gearbox 和低功耗性能。适用于 DR4/FR4/LR4 的 QSFP-DD/OSFP 等光模块。

公司	适用于 400G 的 PAM4 产品
Credo	CMX450100P 电口可支持 8 个双向 56G PAM4 通道, 光口可支持 4 路双向 112G PAM4 信号, 支持单波 100G 传输, 适用于 DR4/FR4 等应用场景。
Inphi	Porrima 第二代单波 PAM4 平台包括搭载了一颗集成激光驱动器 (LDD) 的 DSP, 带有 28GBaud PAM4 和 NRZ 电气接口, 56Gband 光口可满足功耗低于 10W 的 400G QSFP-DD 光收发器, 支持 4X100G 模式。此外, 配合 DSP 还有 IN5661TA/5664TA 线性跨阻放大器 (TIA)。
MaxLinear	Telluride(MxL935XX)系列的 400Gbps PAM4 DSP SoC(系统级芯片), 集成了 EA-EML(电光吸收调制激光器)驱动器, 包括 EA-EML 驱动器功耗在内的 DSP 总功耗为 6.7W, 芯片电口支持单通道 56G PAM4 信号, 光口支持 112G PAM4 信号, 适用于 DR4/FR4 QSFP-DD、OSFP 和 COBO 光收发器应用。
Semtech	Tri-Edge 是基于 NRZ 的 CDR 平台技术, 扩展到 PAM4 信令。Tri-Edge CDR 平台适合于 100G, 200G 和 400G 模块需求, 适合于与 VCSEL 以及 SiP 配合应用。

资料来源: 公司官网、招商证券整理

400G 光模块产品丰富, 适配多种实际使用场景。针对不同的使用场景, 各光模块厂家发布了多种 400G 光模块产品, 涵盖有 QSFP-DD、OSFP 和 CFP8 这三类主流的封装。今年中际旭创推出了业界首款 400G QSFP-DD ER4 光模块, 基于 LWDM 波分复用技术, 采用 EML 激光器 (TOSA) 和 APD 光探测器 (ROSA), 通过 DSP 集成的 Gearbox 实现 8 通道 25GBaud PAM4 信号与 4 通道 50GBaud PAM4 信号的转换, 功耗低于 10W, 适用于 DCI 光互连和城域网应用。此外新易盛基于博通 PHY 芯片 BCM87400 推出去了功耗低于 10W 的 400G QSFP-DD 和 OSFP DR4/FR4 光模块, ColorChip 基于 Credo 的 DSP 芯片 CMX450100P 推出了 400G QSFP-DD FR4 光模块。

表 12: 主流 400G 光模块厂家产品情况

	QSFP-DD	OSFP	CFP8
光迅科技	FR4/LR4	SR8/FR4/AOC	LR8
中际旭创	ER4/DR4/DR4+/FR4/LR4/SR8/AOC	DR4/DR4+/FR4/2 × FR4/LR4/SR8/AOC	
新易盛	DR4/FR4/LR4/SR8/AOC	DR4/FR4/2 × FR4	
剑桥科技	FR4/LR4	DR4/FR4/LR4	LR8
海信	SR8/DR4/FR4/AOC		
索尔思	DR4/LR8		
Finisar	DR4/FR8/LR8	SR8	FR8/LR8
Lumentum	FR4	FR4	
AAOI	DR4/FR4/FR8/LR8/SR8	DR4/FR4	
Intel	DR4		

资料来源: 公司官网、招商证券整理

4、硅光模块, 400G 光模块市场的搅局者还是赋能者?

硅光技术有效提高光模块集成度, 更适用未来高速光模块生产。硅光技术主要是基于 CMOS 工艺, 在同一硅基衬底上利用蚀刻的方法, 同时制作光子器件和电子器件, 实现光信号处理和电信号处理的深度融合, 形成一个具有综合功能的完整大规模集成芯片。传统光模块采用分立式结构, 光器件部件多, 封装工序复杂且需要较多人工成本。相对传统的分立式器件, 硅光模块将多路激光器, 调制器和多路探测器等光/电芯片都集成在硅光芯片上, 体积大幅减小, 有效降低材料成本、芯片成本、封装成本, 同时也能有效控制功耗。硅光芯片内的功能部件主要通过光子介质传输信息, 连接速度更快, 因此更适合数据中心和中长距离相干通信等应用场景。其中在 400G 光模块领域, 由于单通道光芯片速率瓶颈问题, 多通道的 PAM4 电调制方案不可或缺, 而电调制带来的损耗较

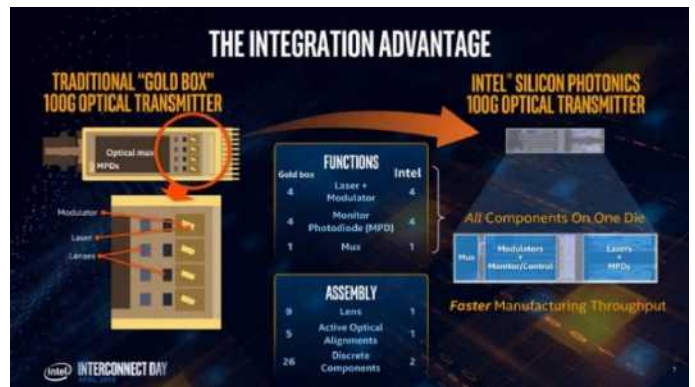
大，要求传统方案光模块内部激光器、调制器、DRIVER、MUX 等器件更加紧凑，激光器芯片处于裸露状态，受环境损耗的可能性大幅度提升。另外通道数的增加导致器件数量增加，器件集成复杂度和工作温度提升带来的温漂问题都具备较大挑战性。硅光方案通过高度集成能很好解决以上问题。

图 43：硅光方案与传统分立式方案对比



资料来源：招商证券整理

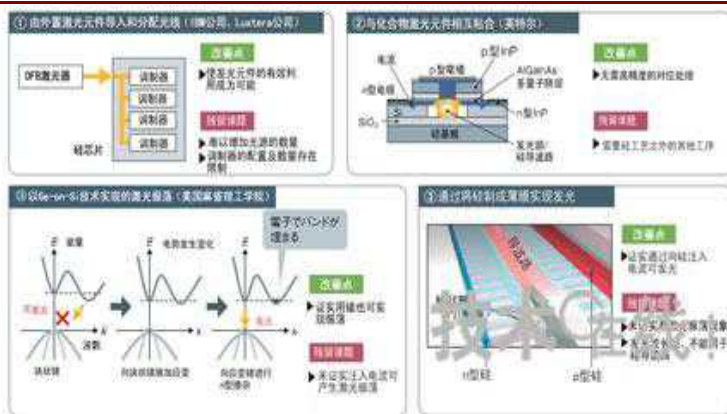
图 44：硅光方案的集成优势



资料来源：Intel、招商证券

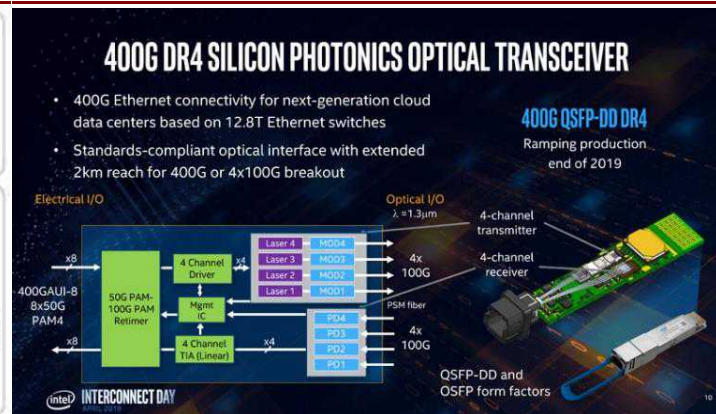
硅光技术逐渐成熟，400G 硅光模块已具备商用条件。关于硅芯片上的光源主要有两种主流的方案，通过外置激光器导入光源 (Luxtera) 和通过激光器粘合在硅芯片上 (Intel)，两种方案均已成熟商用产品。其中在 400G 光模块场景中，Intel 在成功推出 100G 光模块的基础上，继续使用在硅晶圆上粘合 InP 光源的方式推出了 400G QSFP-DD DR4 光模块。业界认为 DR4 将是 400G 硅光模块的基础形态，既可以实现 1 分 4 的 Breakout 组网，实现与已有的 100G DR1/FR1 对传，又可替代接入侧短距离多模 400G 光模块的互联，具备端到端成本竞争力。此外在单纤传输的优势下，与多波长光源封装即可轻易切换为 WDM 模块形态。

图 45：硅芯片的多种光源解决方案



资料来源：日经技术在线、招商证券

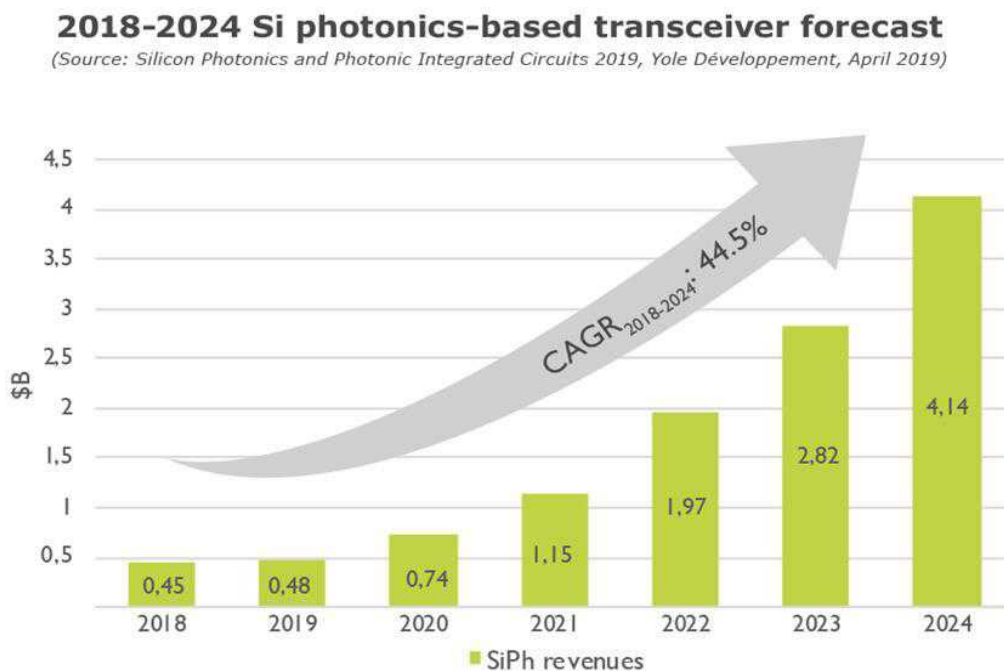
图 46：Intel 的 400G DR4 硅光模块



资料来源：Intel、招商证券

硅光模块市场规模快速爬坡。硅光模块市场仍处于爬坡阶段，但市场空间增长速度较快，据 Yole 预测，硅光模块在 2018 年-2024 年间的复合年增长率将达到 44.5%，有望从 2018 年的 4.55 亿美元增长到 2024 年的 40 亿美元，届时有望占整体市场规模 21%，较 2018 年增加约 10 个百分点。硅光模块的市场主要集中在相干通信和 DCI 应用场景。

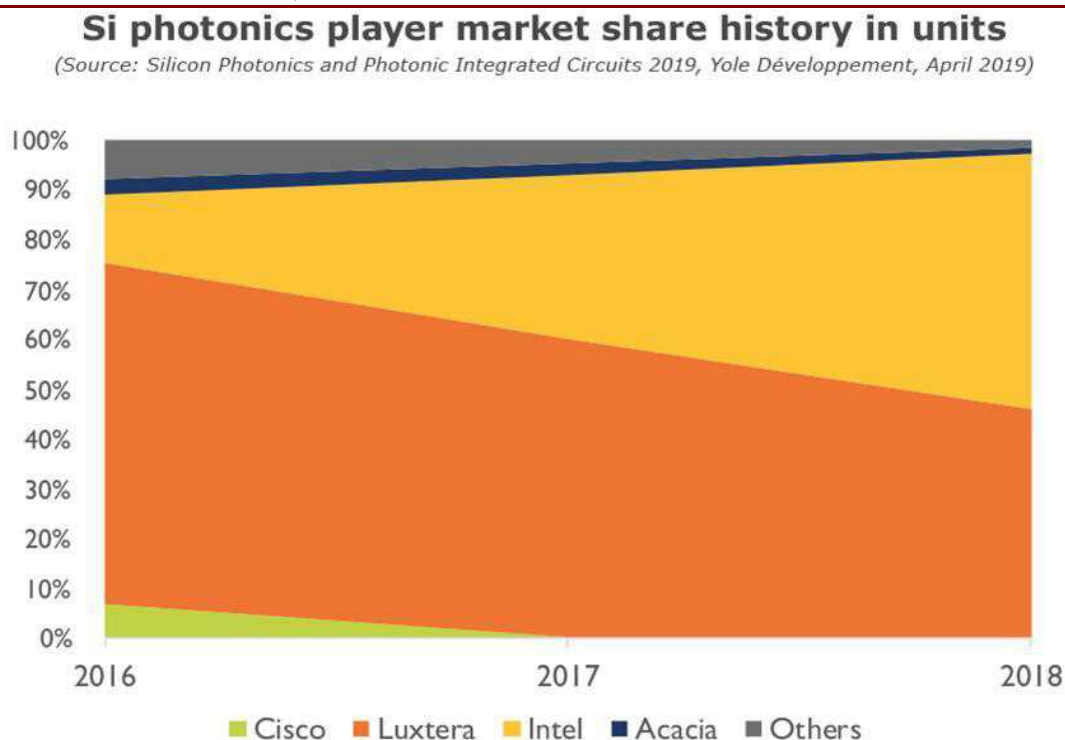
图 47：硅光模块 2018-2024 年的快速爬坡



资料来源：Yole、招商证券

相干光通信及数通 400G 模块有望成硅光最佳市场切入点。目前硅光模块市场的竞争者主要集中在 Luxtera 和 Intel 之间,两者均已推出应用于 DCI 市场的 100G PSM4 产品,另外 Intel 还有 100G CWDM4 产品,另外 Acacia 也占据一定的份额,主要在相干通信领域。Luxtera 和 Acacia 已先后被 Cisco 收购,表明 Cisco 对硅光模块市场的信心。目前已商用的 100G 硅光模块无论在良率还是成本控制方面与传统分离式方案相比还不存在竞争优势,因此硅光技术的市场冲击还不明显。未来随着数据流量的快速增长,电信骨干网城域网和数据中心间 DCI 链接由于更长距离和更大容量的传输需求进入相干光通信时代;数据中心内部也进入 400G 时代。硅光技术在相干光通信和 400G 模块中具有显著的技术和成本优势。相干光模块需要使用更多的电子器件实现相干调制功能,硅光技术可有效实现电芯片的高度集成;400G 光模块需要对多路光通道进行更高速率的 PAM4 调制,硅光技术高度集成调制器,同时可使用单一光源实现 4 路信号的调制和传输,更具成本优势。相干光通信和 400G 光模块(如短距离 DR4)有望成为硅光技术的最佳市场切入点。

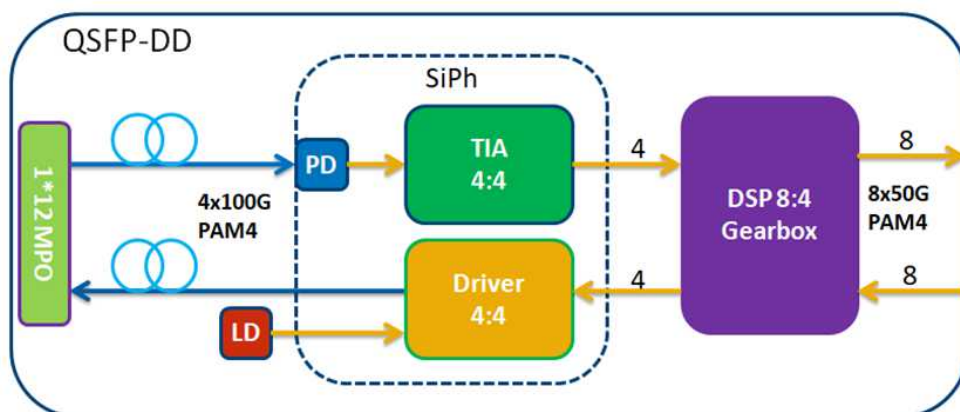
图 48: 硅光市场目前竞争格局



资料来源: Yole、招商证券

硅光技术发展迅速，寡头市场或迎来更多竞争者。未来随着技术的不断推进，将有越来越多的竞争者加入，如阿里已发布基于硅光技术的 400G DR4 光模块，与 Elenion 和海信宽带的深入合作及联合技术攻关，预计 2020 年下半年将在阿里全球数据中心投入使用；博创科技推出了高性价比的 400G QSFP-DD 数据通信硅光模块解决方案 DR4 (500m)和 DR4+ (2km)；亨通光电与英国洛克利硅光子公司合作开发 400G 硅光子芯片及光子收发器技术，并已发布采用此硅光技术的 400G QSFP-DD DR4 模块。未来的硅光市场有望呈现两超（Intel 和 Cisco）多强的竞争格局。

图 49: 400G QSFP-DD DR4 硅光模块系统框图

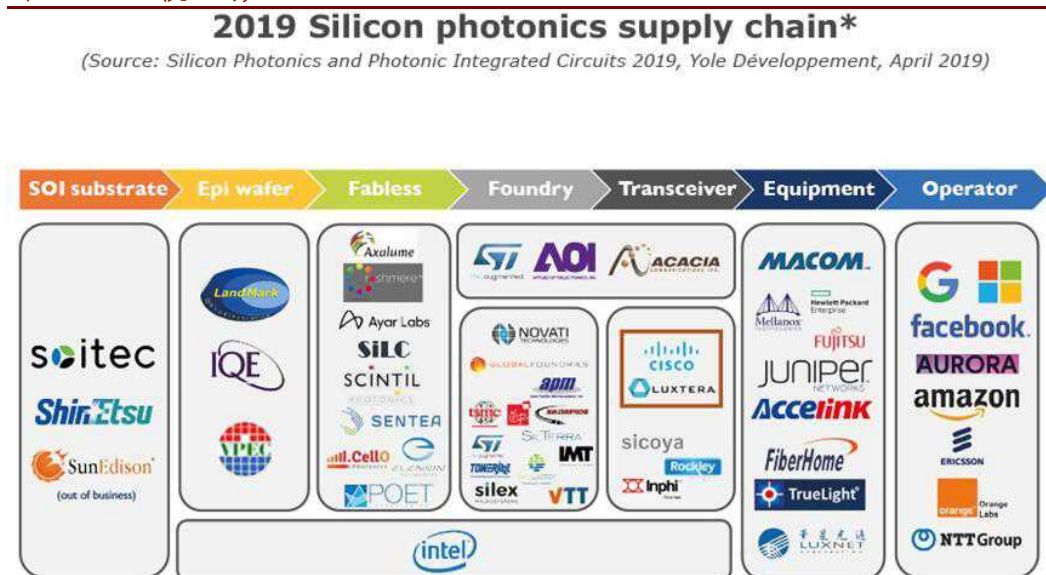


资料来源: 博创科技、招商证券

硅光产业链布局完整，Fabless 模式有望进一步推动硅光模块成熟商用。硅光应用经过多年的发展，充分利用已有产业资源，形成自己特有的成熟产业链。与半导体产业链类似，硅光产业链涉及有上游的 SOI、晶圆材料生产，硅芯片设计和生产，光模块的封装生产，中游的光模块封装生产以及下游设备和互联网和电信运营商等最终客户。其中硅

光芯片的产业格局也与半导体类似，存在有 IDM 和 Fabless 两种模式，其中前者的代表为 Intel；Fabless 的模式如 Luxtera 与台积电合作生产硅光芯片。Fabless 产业模式的成熟将会催生更多的硅光设计公司，有望进一步推动硅光技术的发展和硅光模块的成熟商用。

图 50：硅光模块的产业链



*Non exhaustive list of companies

资料来源：Yole、招商证券

硅光模块优势与劣势明显，短期难完全取代传统光模块，或在细分领域彰显特点。硅光模块基于大规模 CMOS 集成生产，优势十分明显，包括低能耗、低成本、带宽大、传输速率高等。但同时由于硅光芯片在材料和生产技术方面的复杂，还存在着明显的劣势：

- 1) 良率不高导致生产成本低，同时传统分立方案成本在持续优化，硅光模块成本优势尚不明显；
- 2) 硅波导与光纤的耦合效率低导致损耗较大，不利于长距离应用；
- 3) 硅光芯片集成的合分波器件存在温漂问题，所以目前成熟常用的 400G 硅光模块主要以 DR4 为主，限制了硅光技术应用场景。

光模块作为连接网络的关键部件，产业链下游客户更关心的是实现同等传输性能技术上的综合成本，对内部实现的技术并不敏感。我们认为在短期硅光模块难以完全取代传统光模块，下游客户仍需要较长的时间去认证和认可，但可能会在某些细分领域会发挥其成本、能耗和速率等优势率先取得突破，并逐渐取得相应的市场份额，如在数据中心领域已实现商用的 100G PSM4 和 CWDM4，以及未来的 400G DR4。传统分立光模块与硅光模块将会长期共存。

图 51: Intel 的硅光产品发展路线



资料来源: Intel、招商证券

四、行业面临变革机遇，四个维度精选细分赛道龙头

1、从四个维度布局光模块优质企业

2020 年光模块将在 5G 和数据中心两个市场驱动下，进入全面的高景气周期。受益于 5G 基站快速建设，电信市场 5G 前传、中传和回传光模块需求确定，但 25G 光纤直驱和无源波分方案的普及，市场竞争加剧仍不可避免。数通市场北美云巨头资本开支拐点向上，受云端流量激增的驱动，今年全球将加大数据中心建设，叠加 400G 交换芯片和设备等产业链的成熟，对 100G/200G/400G 等高速光模块的需求也将较大幅度提升，相比 100G 时代，海外光模块巨头逐步退出市场，越来越多的中国厂商将成为全球云计算高速光模块厂商的主要玩家。光芯片和电芯片成为限制光模块成本端的主要部分，安全且自主的芯片供应能力成为长期竞争能力的重要决定力量。上游核心无源器件在光模块中成本越来越不可忽视，具备进口替代能力的无源器件平台厂商成为稀缺资源。高速光模块行业发展日新月异，行业竞争日趋激烈，在 5G 即将带来的数据量爆发时代，我们建议从四个维度对光模块公司进行布局：

1) 未来光模块市场将集中度提升，“强者恒强”，从行业卡位能力精选行业龙头，重点推荐中际旭创、光迅科技。

光模块的主要下游市场属于不完全公开市场，客户主要包括设备商（如华为、中兴、烽火、思科等）和云服务提供商（亚马逊、微软、谷歌、Facebook、阿里等）。下游客户的供应商管理一般采取认证制，即经过客户的测试认证后，光模块企业才具备参与招标的资格。下游客户为保证供应链的安全可控，一般不会轻易大规模更换成熟的供应商。对于已进入重点客户供应链清单的光模块企业，其客户粘性较大，这一方面保证了销售订单的充足，另一方面具有明显规模优势，也保证了一定的议价能力和产品利润空间，因此更具有竞争优势，具有“强者恒强”的特点。中际旭创是全球高速光模块的龙头企业，与主流云巨头客户绑定较深，多款 400G 产品已进入客户供应链，具有先发优势，电信领域也已进入主流设备商的供应链，进一步打开成长空间；光迅科技是传统电信领域的龙头企业，在主流客户的重点产品供应链中常年占据前三份额的位置，5G 进入规模建设阶段将核心受益。

表 13：主流电信设备商的光模块供应商

设备商	光模块提供商
华为	光迅科技、中际旭创、海信宽带、华工科技、剑桥科技、索尔思等
中兴	光迅科技、新易盛、中际旭创、华工科技等
烽火	光迅科技、华工科技、中际旭创、新易盛、新飞通等

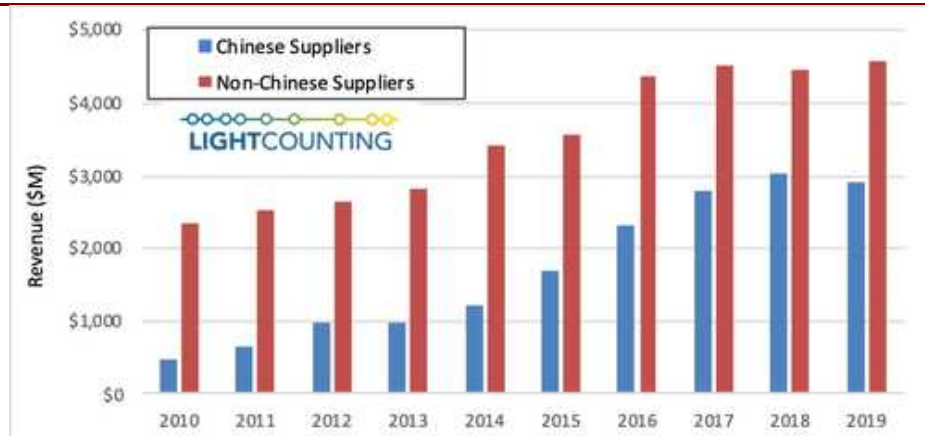
资料来源：招商证券整理

2) 无论电信还是数通领域，光模块产业链都将继续向中国转移，部分国内公司将在数通和电信市场实现新的突破，打开新市场空间。重点推荐新易盛、剑桥科技。

全球光模块产业链呈现明显的向中国集中的趋势，国外企业已逐步退出光模块封装领域。中国光器件光模块企业销售额从 2010 年略超 5 亿美元到 2018 年的 30 亿美元，2019 年受云巨头需求下滑影响中际旭创的销售导致整体有所下滑，2020 年 5G 规模建设将有力提振前传光模块的需求，占据市场份额的基本都是中国企业，国外企业几乎没有参与其中。此外在数通 400G 光模块领域，各云巨头已通过认证的供应商也是以中国企业为主。海外的光模块厂商逐步的退出或者转型专注于光芯片，

国内企业凭借较强的成本控制能力取得竞争优势，在数通和电信领域实现了新的突破，其中新易盛和剑桥科技均实现在高端产品新的突破，进入主流客户供应链，有望在 2020 年进一步打开成长空间。

图 52：中国前 10 和国外前 7 光器件光模块供应商销售额



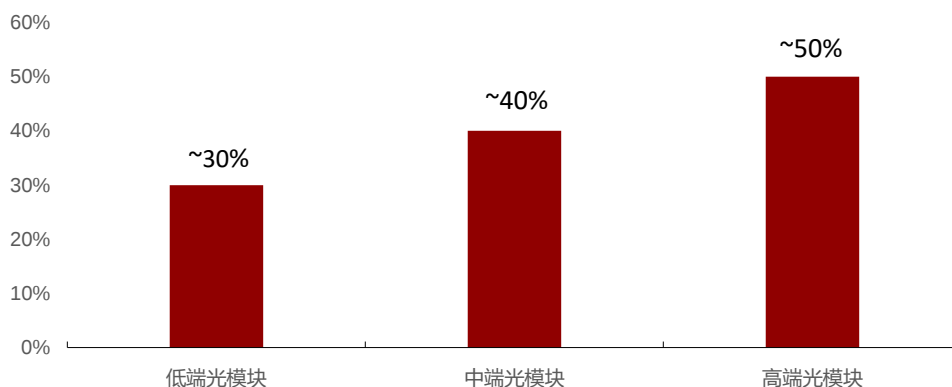
资料来源：Lightcounting、招商证券整理

- 3) 光芯片和电芯片成为制约光模块成本的主要因素，目前全球光芯片由海外巨头把持，未来具备国产替代能力的公司将具有更强的成本及供应安全把控能力。重点推荐光迅科技。

光模块企业的商业模式是自产或外购相关的芯片光器件等物料进行封装，生产成光模块产品进行销售。上游供应链的安全成为光模块企业参与竞争的重要能力。由于上游如光芯片等物料的扩产投入较大，复杂程度较高，短时间内供应能力的提升速度与下游需求的增长速度不能得到匹配，特别是今年受疫情影响，上游供应紧张。安全优质的上游供应链，如具有物料自主生产能力、上游供应商的优先供应能力等，有效保证企业的生产销售，同时可降低物料成本，提升市场竞争力。

在光通信产业链中，我国的上下游企业市场占比不均衡，下游设备和中游光模块封装国内企业在全市场的占比较高，上游的光器件光芯片中，特别是光芯片领域，国内整体在全市场份额占比小于 1%。目前国内企业在上游光器件和高速光芯片等取得较大突破，光迅科技自产光模块的芯片自制比率已经超过 70%，中低端芯片如 10G VCSEL/DFB/EML 等光芯片均已实现自产，25G DFB 光芯片已经通过重点客户认证，正逐步在自家光模块产品中进行切换。光模块企业在上游光芯片等关键器件自主可控的突破，有助于保证自身供应链安全，同时自制芯片较外购有较大成本优势，可提升光模块的盈利能力。

图 53：光芯片在不同级别光模块中的高成本占比

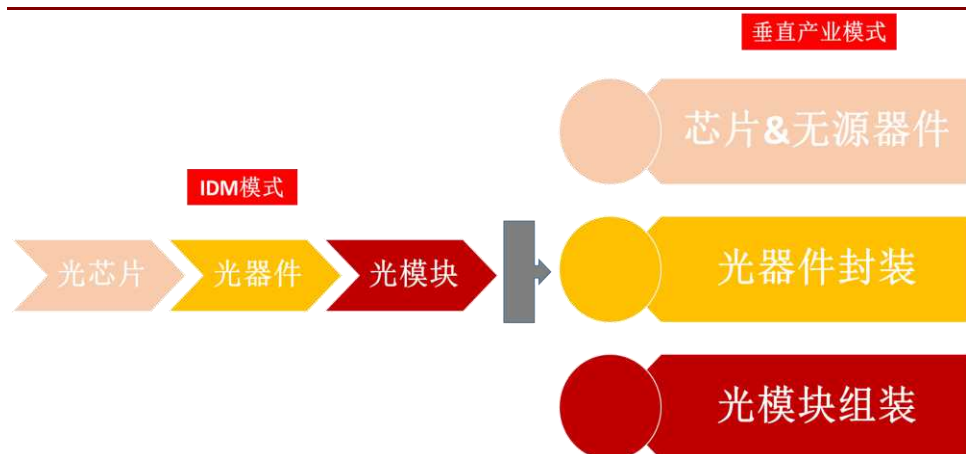


资料来源：招商证券整理

4) 上游光器件厂商在高速光模块时代将进一步向头部集中，具备无源器件平台化能力的公司将脱颖而出，从而实现高中低端产品的一体化供应能力。重点推荐天孚通信。

未来光模块在数据中心、5G、骨干网等应用场景的多样化，光模块的需求数量将大幅增加，内部设计复杂度也将提高，随之将带来光模块产业链的分工模式发生较大的变化。一家光模块厂商很难覆盖内部所有组件器件的生产，光模块行业将由之前的模块封装厂商从采购光电芯片及无源器件的 IDM 一体化加工组装模式，逐渐转变为分工更加专业细致的垂直分工模式。作为光模块最重要部分的光器件封装也将逐步独立出来。无源器件在整个光模块里面的成本占比也将随之提升，这样对于模块厂商来说，具备一站式无源器件供应能力的高品质供应商将大幅提高模块厂商的产品周转效率。天孚通信从无源器件起家，拓展到有源器件和高速光器件封装代工领域，目前已具备光器件一体化供应能力，客户覆盖全球主流的光模块头部企业，未来随着光模块产业进一步向头部集中，有望占据产业链更加重要的价值部分。

图 54：光模块行业从 IDM 模式转为垂直产业模式



资料来源：招商证券整理

2、优中选优，五大龙头卡位核心赛道

2020 年光模块行业有望成为优质赛道，细分领域五大龙头核心受益。2020 年的光模块产业链在 5G 网路网络建设和数据中心建设的双重驱动下有望释放较大需求，其中电信市场的 25G 灰光模块和 CWDM 彩光模块、数通领域的 400G 高速模块有望成为 2020 年光模块产业链受益确定性最高的细分赛道，同时光模块的景气度提升也有望提振上游光器件需求。我们判断，【光迅科技】【中际旭创】【天孚通信】【新易盛】【剑桥科技】这五家细分领域的优质龙头有望核心受益。

表 14：光模块产业链细分龙头受益逻辑

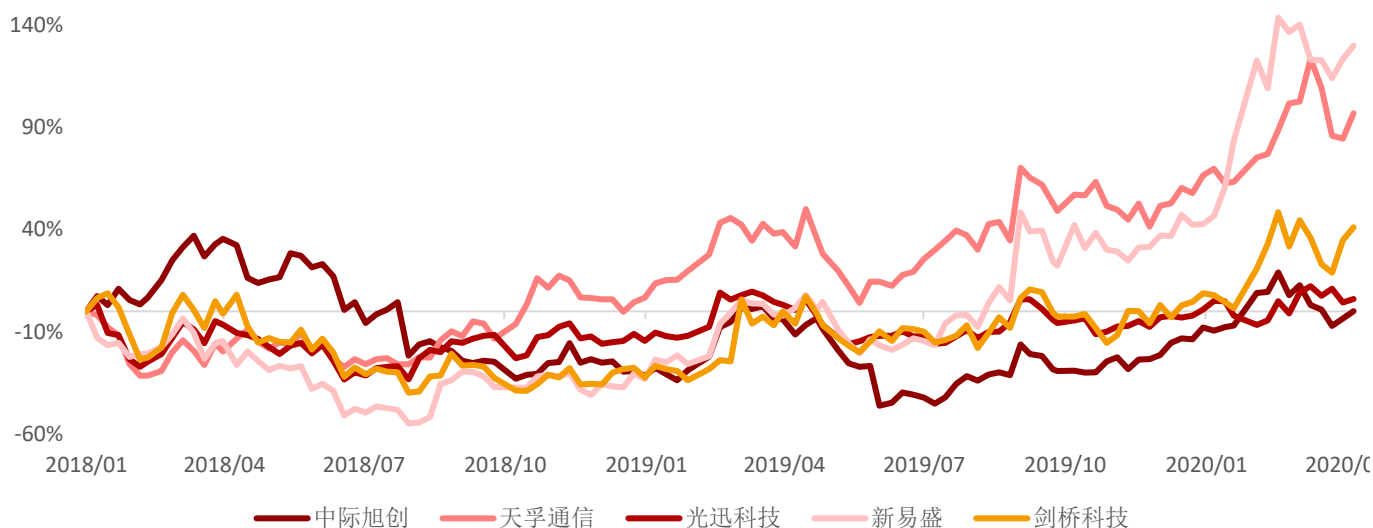
上市公司	行业地位	受益逻辑
光迅科技 (002281.SZ)	具备稀缺芯片自研能力的光器件一体化龙头	公司作为具备光芯片、器件及模块一体化能力龙头，产品覆盖电信（25G 灰光/CWDM 彩光）和数通市场（400G）全产品序列，同时具备稀缺的光芯片自研能力。公司在数通市场开拓和自主光芯片产品化有较强的边际改善，有望实现业绩和估值的双提升。
中际旭创 (300308.SZ)	全球高速光模块龙头	凭借在全球高速光模块较大的市场份额，有望核心受益云计算巨头资本开支回暖，凭借优异的技术先发和客户认可优势，有望把握 400G 代际更迭机遇实现业绩较大增长，进一步加强在数据中心市场的龙头地位。公司电信光模块在 5G 时代有望取得较大突破，电信市场有望成为公司新驱动力。
天孚通信 (300394.SZ)	国内稀缺的一站式光器件平台龙头	公司新产品产能将进一步放量以及光器件封装代工规模的扩大，公司未来两年收入利润复合增长有望超 40%。公司核心竞争力在于新产品研发拓展，原材料精密加工，光器件一站式供应，以及与全球主流光模块客户高度粘合能力，具备向光通信平台型公司跃迁的潜力。
新易盛 (300502.SZ)	高速光模块新龙头	公司电信市场产品线丰富，数通市场高速光模块具有先发优势，已与上游芯片供应商、下游客户如主流设备商云厂商等建立良好合作关系，有望把握 5G 网络规模建设和云计算数据中心投资回暖的机遇，打开业绩增长空间，同时凭借高速数通模块的先发优势，有望在代际更迭中弯道超车成长为高速光模块新龙头。
剑桥科技 (603083.SZ)	高端光模块崛起新势力	公司通过收购全球领先光模块厂商的优质资产，获得 5G 无线网络产品和 100G/400G 等产品的相关技术和产能，并拓宽原有客户群，有望实现在光模块领域的弯道超车。近期公司通过定增项目提升相关产品产能，有助于公司把握未来几年 5G 大规模建设和数据中心升级换代的机遇，打开长期成长空间。

资料来源：招商证券整理

光模块企业二级市场行情与运营商和云厂商资本开支的周期相关性较高。以光迅科技、中际旭创、天孚通信、新易盛、剑桥科技等五家上市公司为例，在 2018 年移动网络建设和云厂商资本开支低谷期，光模块产业相关企业股票整体表现较为低迷，除天孚通信外，其余 4 家公司全年股价跌幅超过 10%，其中新易盛和中际旭创 2018 年全年跌幅约为 30%。随着 2019 年第二季度海外云厂商资本开支的回暖和数通网络代际更迭，带动高价值的高速数通光模块的需求量提升，叠加 2019 年 6 月 5G 牌照发放利好电信市场光模块，2019 年下半年大部分光模块相关股票实现股价上涨，除此之外新易盛和天孚通信股价增长趋势陡增。从 2019 年全年来看，大多数光模块相关股票都实现 10% 以上的涨幅，其中天孚通信和新易盛涨幅分别达到 50.63% 和 106.91%。进入 2020 年后，光模块相关股票整体仍保持上涨趋势。2020 年 5G 网络和数据中心建设有望加快建设，

运营商和云厂商资本开支维持上升趋势，有望进一步推高光模块企业股价。

图 55：2018 年至今光模块相关公司股价走势（以 2018 年 1 月 2 日为股价基点）

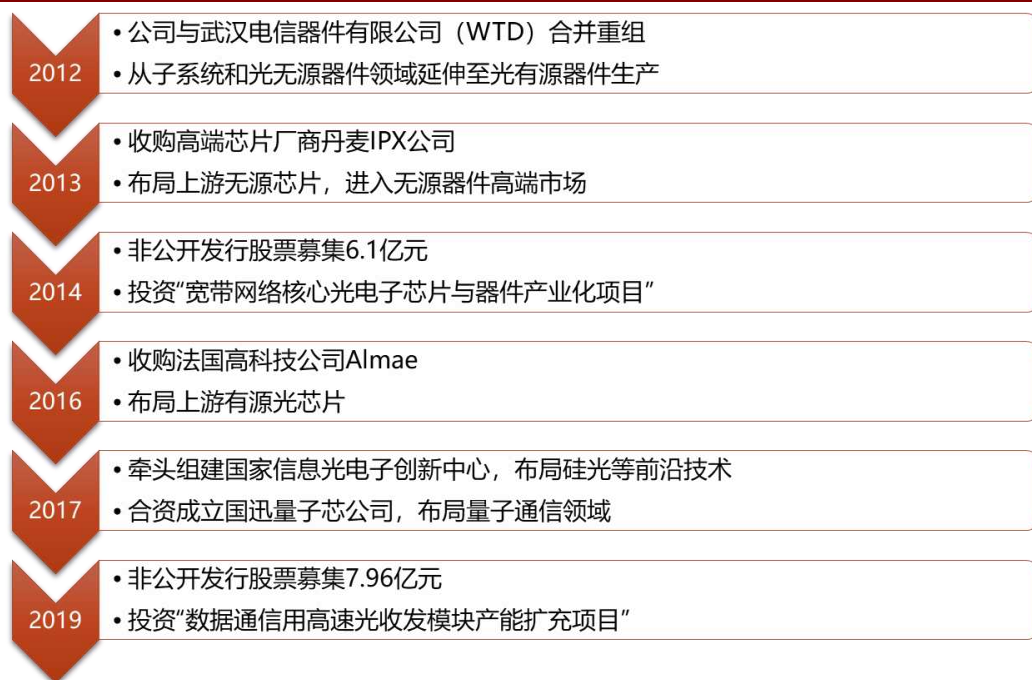


资料来源：wind、招商证券

3、光迅科技（002281.SZ）：具备稀缺芯片自研能力的光器件一体化龙头

2001 年光迅科技由邮电部固体器件研究所转制成立，是光通信器件领域传统的龙头。2009 年公司从深圳交易所成功登陆 A 股，成为 A 股市场首家光电子器件企业，同时开始公司外延内生并举的扩展步伐。在外延扩张方面，2012 年公司在完成同 WTD 的重组合并后，实现了主营业务向上游的拓展，在子系统业务的基础上新增了光模块业务。2013 年和 2016 年，公司分别收购了丹麦 IPX 和法国 Almae 公司正式由光模块领域迈入上游高端光芯片领域。2017 年，公司合资成立迅量子芯公司，布局量子通信领域。从内生增长方面，2014 年公司通过定向增发募集 6 亿元投向“宽带网络核心光电芯片与器件产业化”项目，并且招募大量芯片人才致力研发。2017 年公司牵头成立了国家级光电子创新中心，布局硅光和高速激光器等前沿技术。去年，公司完成数通扩产项目非公开发行再融资，募集资金 7.96 亿元。经过近 20 年发展，公司已经成长为中国光器件龙头企业，根据 Ovum 数据显示，近几年来，公司始终位居全球光器件市场份额的前十名，2018 年度公司占全球市场份额约 7.3%，跃居行业排名第四。其中电信市场排名第三（7.2%），接入市场排名第一（14.3%），数据市场排名第六（4.7%）。

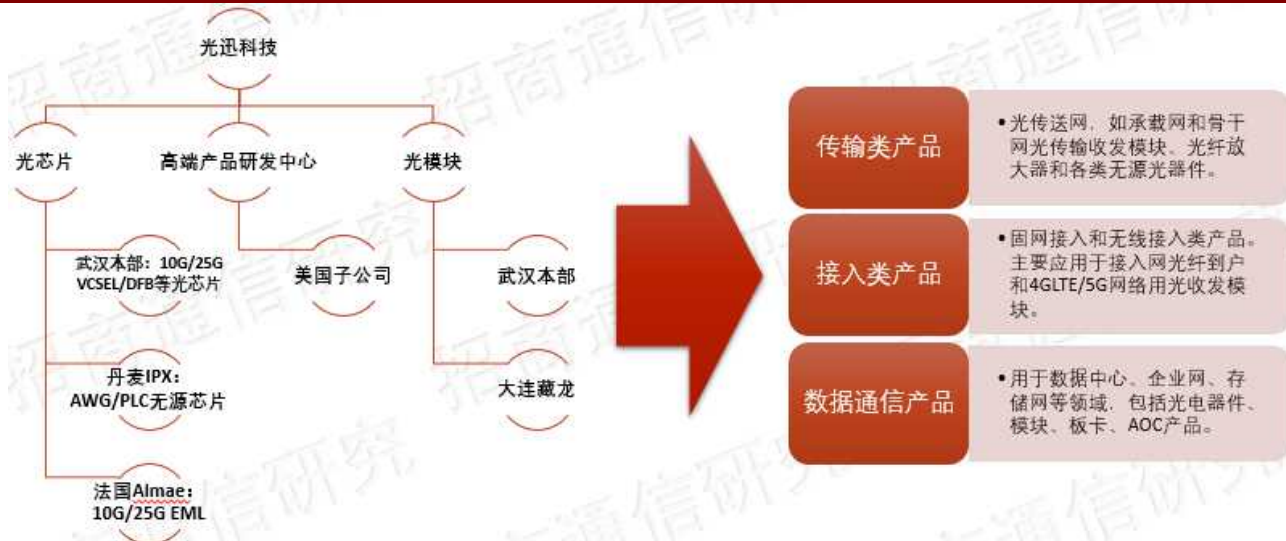
图 56：光迅科技外延内生的发展历程



资料来源：互联网资料、招商证券整理

市场稀缺的光芯片器件模块全产品覆盖的光通信器件龙头。通过在高速光模块和核心芯片领域的持续高研发投入，公司形成了海内外协同发展，涵盖 10G/25G VCSEL/DFB/EML 光芯片和接入/传输/数通光模块的全系列产品研发和生产能力，是市场稀缺的具备从芯片到模块封装、从电信市场到数通市场全覆盖的龙头企业。目前公司在 5G、数通以及光芯片等产品上都取得阶段性进展。在 5G 方面，公司在重点客户处完成 5G 主流产品验证和规模销售，完成多省份 5G 前传解决方案的推广和试用，面向 5G 前传、中回传等场景应用的光收发模块实现型号全覆盖；在光芯片方面，公司已经实现 10G DFB、EML 光芯片的量产和自供，2019 年多款 25G 激光器芯片取得阶段性进展，并基本实现批量生产；在数通领域，公司 400G 高速光模块完成样机开发，此外公司完成了 400G 多模 COB 平台工艺能力建设，具备小批量交付能力，完成单模 8 通道 COB 工艺平台搭建。

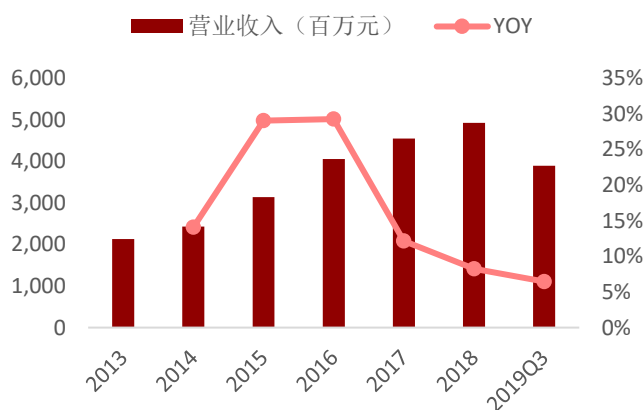
图 57：光迅科技全芯片全产品全市场的一体化布局



资料来源：公司公告、招商证券整理

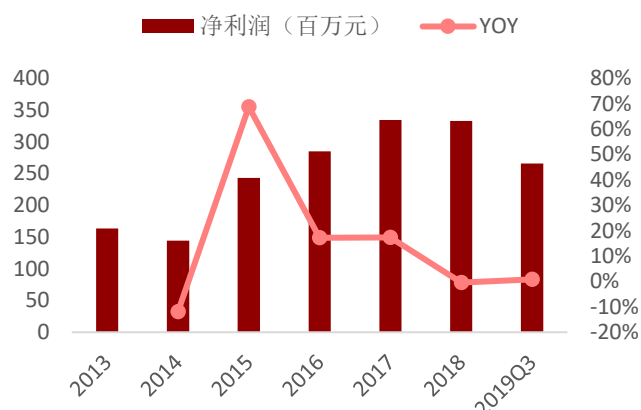
公司近年营业收入和净利润保持持续增长趋势。受益于 5G 网络商用落地和海内外云厂商资本开支回暖。2019 年前三季度公司营收达 38.96 亿元，同比增长 6.46%，延续近年持续增长的趋势，归母净利润达 2.66 亿元，同比增长 0.87%。

图 58：光迅科技近年营收保持增长趋势



资料来源：Wind、公司公告、招商证券

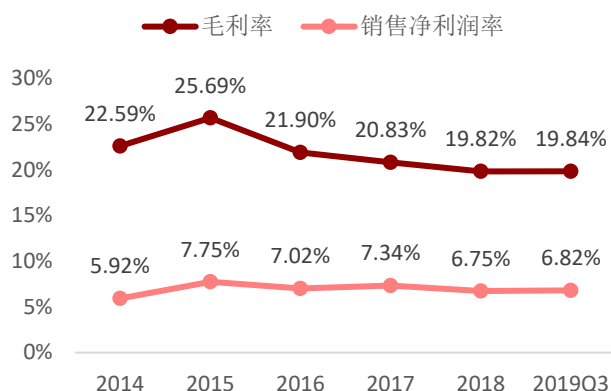
图 59：光迅科技近年净利润整体呈增长态势



资料来源：Wind、公司公告、招商证券

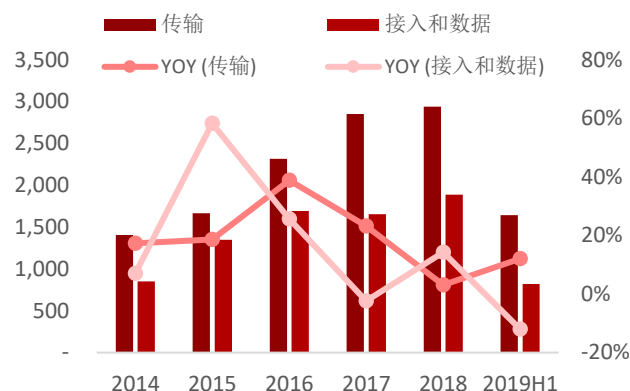
毛利率近期持续承压，但随着产品结构不断优化，毛利率有望企稳回升。受到光模块低速产品价格持续走低和家宽渗透率已达较高水平而增速放缓的影响，2016 年至 2018 年，公司毛利率持续承压下行，从 2015 年 25.69% 下降至 2018 年 19.82%。同期净利润率下降将近 1 个百分点至 2018 年 6.75%。随着 5G 正式商用和 5G 下游应用逐步落地，数据流量的激增，移动无线网络、承载网、有线接入网和数据中心的代际更迭已成趋势：无线前传由 10G 向 25G 过渡，承载网端口由 10G/40G/100G 向 25G/100G/400G 升级，有线接入网由 GPON/EPON 向 10GPON 升级，数据中心端口速率由 100G 向 400G 演进。长期来看，随着公司产品结构持续向壁垒更高、盈利能力更强的高速率产品持续迭代，叠加公司光芯片自给率提升，10G DFB、EML 已实现全面量产，25G DFB、EML 已取得阶段性进展，近期有望批量供应，公司毛利率有望逐步企稳回升。

图 60: 光迅科技近年毛利率和净利润率持续承压



资料来源: Wind、公司公告、招商证券

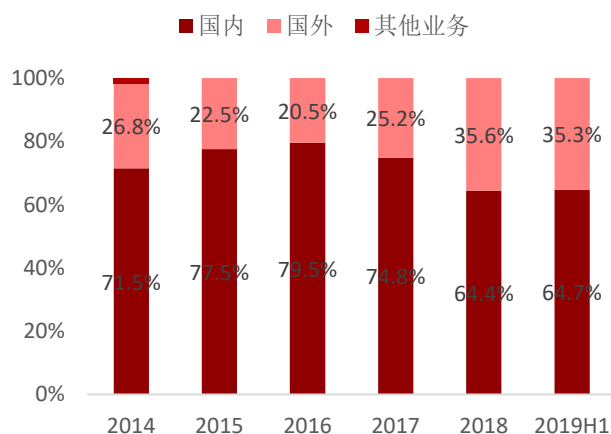
图 61: 光迅科技近年各产品销售收入增长情况(百万元)



资料来源: Wind、公司公告、招商证券

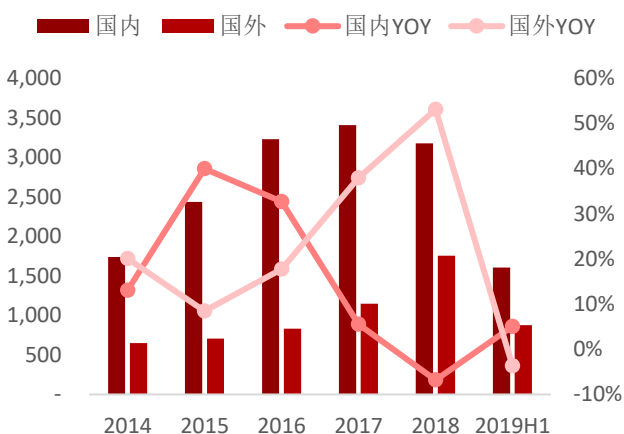
海外销售收入持续增长支撑整体营收稳步提升，国内收入占比仍保持较高占比。随着公司海外市场空间的逐步打开，公司海外销售收入呈持续增长，2017 年和 2018 年同比增长率高达 37.9% 和 53.0%，受到下游大客户需求的影响，2017 年国内销售收入增速明显放缓，增速同比收窄 27.1 个百分点至 5.5%，2018 年出现负增长，下滑至 31.74 亿元，同比下降 6.8%。同期海外销售收入持续提升，2017 年和 2018 年同比分别上升了 37.9% 和 53.0%。2019 年上半年，国内营收恢复增长，同比提升 5.0%，实现 16.03 亿元营收，海外收入略有下降，同比下滑 3.6%。

图 62: 光迅科技近年海外营收占比逐渐提升



资料来源: Wind、公司公告、招商证券

图 63: 光迅科技近年国内外营收增长情况(百万元)



资料来源: Wind、公司公告、招商证券

光通信领域具备光芯片、器件及模块一体化能力龙头。通过在高速光模块和核心芯片领域的外延并购+内生投入，公司已形成海内外协同发展，涵盖 10G/25G VCSEL/DFB/EML 光芯片和接入/传输/数通光模块的全系列产品研发和生产能力，是市场稀缺的具备从芯片到模块封装、从电信市场到数通市场全覆盖的龙头企业。公司在研发费用持续高投入，夯实国内光器件领域龙头地位和光芯片的研发能力。公司前三大客户分别为国内三大通信设备巨头，公司有望核心受益数字新基建浪潮。

5G 网络+数据中心建设进入快车道，公司在巩固电信市场同时力图突破数通市场。通信行业投资有望加速加码，云计算行业有望进入发展快车道。公司已实现 5G 前传、中传、回传光模块多场景全覆盖，有望深度受益 5G 网络建设。10G 光芯片和 25G 光

芯片的自研优势将与光模块产品线已形成闭环生态圈。公司数据中心产品具有技术和市场的先发优势。定增加码 100G 产能，逐步进入云计算客户，提升公司在业界的竞争优势；400G 光模块产品满足各种细分互联场景，有望把握数据中心代际更迭机遇，卡位布局高端光模块市场。

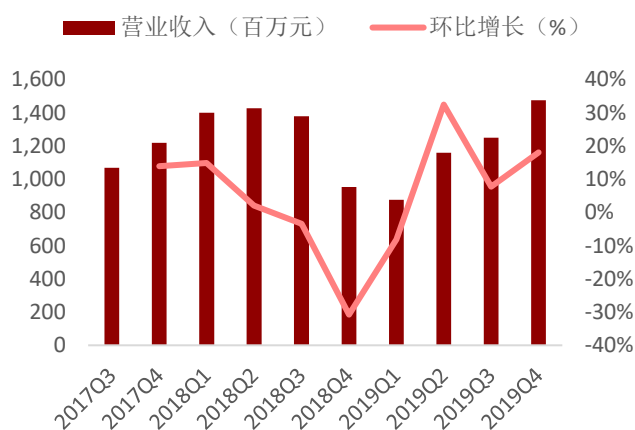
国内稀缺光芯片龙头，有望把握进口替代新机遇。公司通过外延+内生双驱动，构筑高端光芯片全球一流平台。公司已具备 PLC/AWG 高端无源光芯片和 10G/25G VCSEL/DFB/EML 等高端有源光芯片的生产能力，打开自主光芯片市场空间，有望把握高端光芯片国产化替代机遇。同时借助国家信息光电子创新中心平台，公司已实现 100G/200G 全集成硅基相干光收发集成芯片和器件的量产，400G 硅光集成芯片已进入模块验证环节。

4、中际旭创（300308.SZ）：全球高速光模块龙头

中际旭创是一家集光通信器件设计研发制造、智能装备制造于一身的技术创新型企业，公司业务涉及高端光通信模块、电机定子绕组制造装备等多个产业领域。近几年公司以高端光通讯收发模块为核心业务，通过完成 400G 数通光模块研发和小批量生产巩固了全球高速光模块龙头地位，同时公司积极完善 5G 电信领域的全产业链布局，实现“数通+电信”双驱动模式。

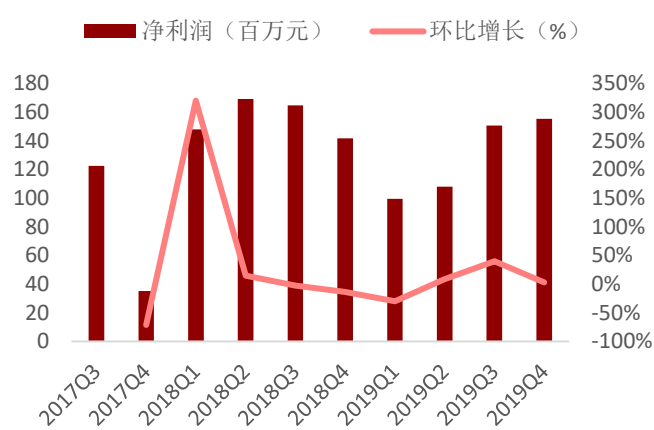
2019 Q2 公司营收和归母净利润实现触底反弹。2018 年下半年和 2019 年初受到海外三大云厂商资本开支减少和去库存的影响，从 2018 年第三季度开始，公司营收和净利润同时出现下滑，于 2019 年第一季度达到谷底。进入二季度以后，公司通过进一步优化业务布局、抗风险能力增强；同时，得益于 100G 产品需求回暖、400G 产品逐步起量、5G 产品批量交付等原因，公司销售收入和净利润在季度间稳步回升，2019 年 Q3 公司营业收入达到 12.49 亿元，环比增长 7.7%。根据 2019 年公司业绩快报，公司 2019 全年实现净利润 5.13 亿元，其中第四季度净利润约 1.55 亿元，同比增长 9.7%，环比增长 3.1%。

图 64：中际旭创 2019Q2 单季度营收开始触底反弹



资料来源：Wind、公司公告、招商证券

图 65：中际旭创 2019Q2 单季度归母净利润增速转正

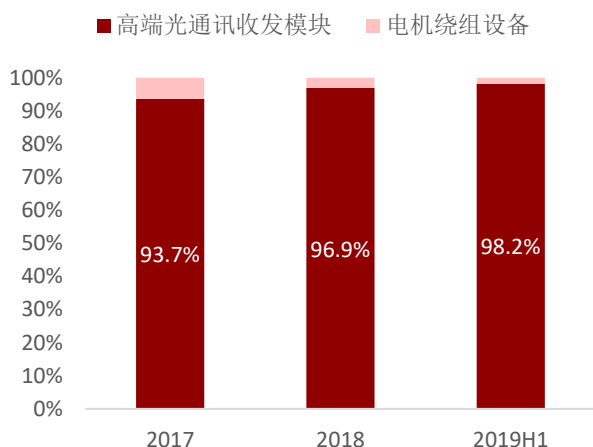


资料来源：Wind、公司公告、招商证券

公司产品结构不断优化，光模块业务营收占比持续提升，毛利率维持较高水平。公司高端光通讯收发模块业务“数通+电信”双驱动，收入占比持续增长，2019 年上半年高达

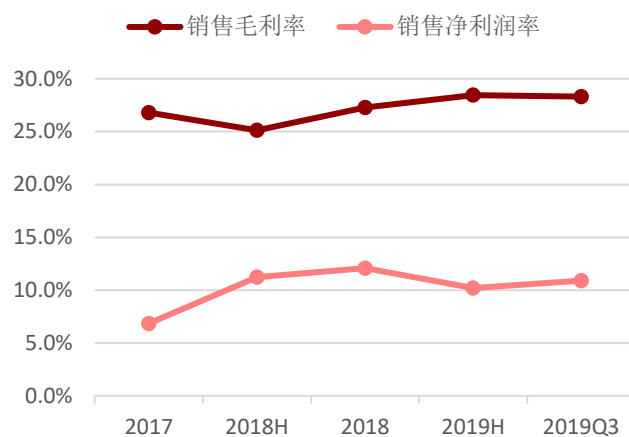
98.2%，较 2018 年增加 1.3 个百分点。2019 年，公司已经实现 400G 产品的小批量交付，同时在电信领域 25G 高速率前传光模块也已经开始批量交付，得益于这两个高端光模块产品的高价值，公司整体毛利率和净利率维持较高水平。

图 66：中际旭创光模块营收占比持续增长



资料来源：Wind、公司公告、招商证券

图 67：中际旭创销售毛利率和销售净利率



资料来源：Wind、公司公告、招商证券

全球高速光模块龙头，100G 和 400G 驱动业绩增长。北美数据中心仍处于高速发展中，100G 需求仍较为强劲，客户 100G 等高速光模块需求仍持续增长，同时新的 400G 需求也不断增加，随着企业库存的不断消化，云巨头资本开支的逐步回暖，以及 400G 对 100G 的迭代，数通市场需求有望回暖。公司 100G 产品出货量保持在业内前列，400G 新产品的客户认证和导入保持业内领先，公司是全球少数几个受到大客户认可的 400G 供应商，400G 新产品正在小批量供应重点客户。400G 产品技术壁垒较高，公司拥有优质的芯片供应渠道、业内领先的研发团队、强劲的研发实力等，凭借优质的 400G 产品有望加强在北美和国内数据中心市场的龙头地位。

5G 光模块有望成为新驱动力，给业绩带来新增长点。5G 时代，运营商基站光模块速率和数量均将得到大幅提升，驱动光模块需求大幅提升。公司于 2015 年开始布局适用于 5G 的基站光模块产品，目前已经有前传、中传、回传全面的 5G 基站光模块系列产品。在 5G 前传光模块方面，公司取得了良好的份额和订单，并已实现批量交付，我们认为公司在 5G 时代有望取得较大突破，电信市场有望成为公司新驱动力。

5、天孚通信（300394.SZ）：国内稀缺的一站式光器件平台龙头

苏州天孚光通信股份有限公司是业界领先的高端无源器件垂直整合方案提供商、高速光器件封装 ODM/OEM 厂商。公司拥有十大产品线，产品广泛应用于电信通信、数据中心、物联网等领域，并提供七大高端无源器件整体解决方案和高速光器件封装 OEM 方案。

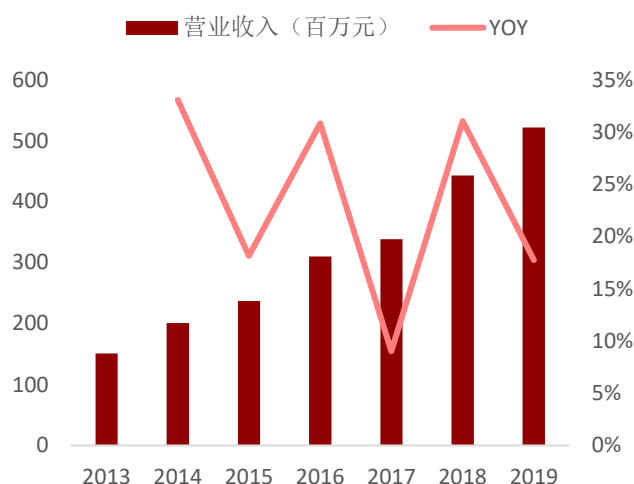
图 68: 天孚通信主要产品线



资料来源: 公司官网、招商证券

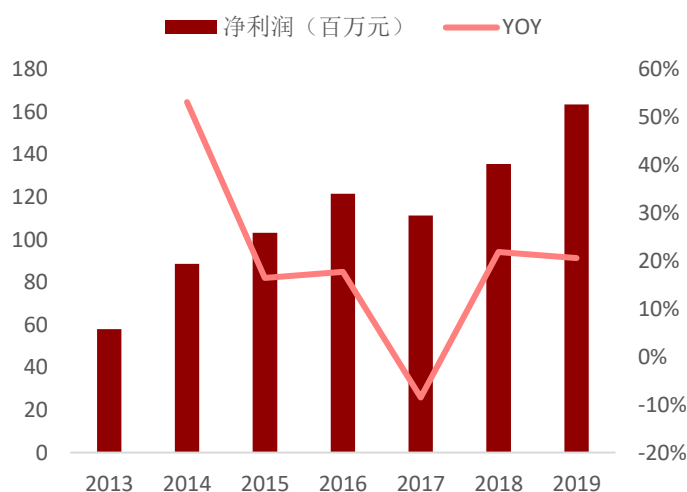
公司专注于光组件和光器件领域, 打造光器件一站式深度服务, 处于光通信产业链上游。公司从高精度陶瓷套管组件起家, 通过内生研发、外部合资及并购等多种方式不断延伸上游产线, 已成为精密元器件一站式解决方案的平台公司。公司坚持不涉及下游光模块封装领域, 不与客户竞争, 只为给下游光模块客户提供一站式深度服务。由于产业链上游的高精密光组件和高端光器件具有较高的技术壁垒, 有竞争力的厂商较少, 竞争激烈程度较小。得益于下游光模块厂商众多, 且上游高质量的光器件厂商稀缺, 公司对于下游光模块客户具有一定的议价权, 公司毛利率和净利润率常年维持在 50% 和 30% 以上。受益于 5G 大规模建设的提速, 进一步释放光模块光器件的需求, 公司未来营业收入和净利润有望维持增长趋势。

图 69: 天孚通信营业收入稳定增长



资料来源: Wind、公司公告、招商证券

图 70: 天孚通信净利润整体呈增长趋势

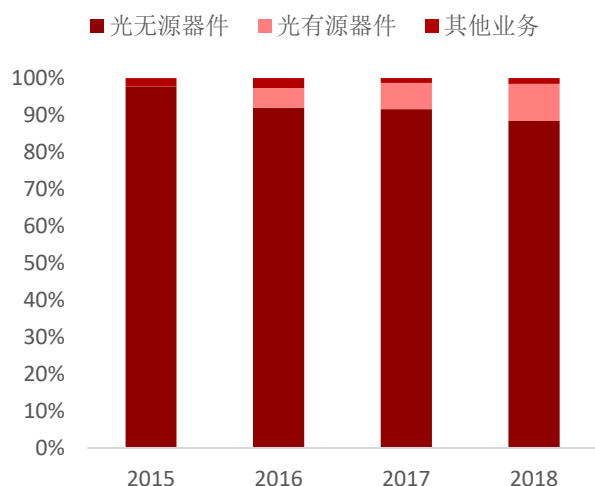


资料来源: Wind、公司公告、招商证券

光有源器件营收占比持续增加, 公司坚持盈利导向。光无源器件在总营收占比较高, 总体略有下滑趋势, 从 2015 年的 97.9% 下滑到 2018 年的 88.3%, 光有源器件占比在不断提升, 从 2016 年的 5.2% 提升到 2018 年的 9.9%。2020 年国内 5G 网络进入规模建

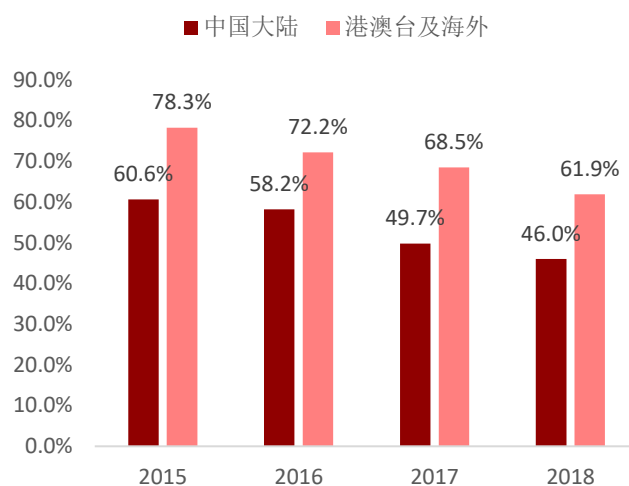
设阶段，光通信市场有望进入高速成长时期。在经历扎实的系列产品认证之后，新产品正逐步放量，封装代工规模也在不断扩大，根据公司股权激励承诺条件，未来两年收入利润复合增长有望超过 35%，新一轮高速成长周期确立。从成立之初，公司即以高端精细化作为经营准则，不过分追求产品规模化，而是以盈利为导向。从盈利能力上看，海外市场毛利率显著高于国内市场，公司加大对海外市场的开拓力度对于公司维持高毛利率经营战略具有重要支撑效用。

图 71: 天孚通信光有源器件营收占比持续增加



资料来源: Wind、公司公告、招商证券

图 72: 天孚通信国内外毛利率变动情况



资料来源: Wind、公司公告、招商证券

电信及数通领域新产品成熟放量，夯实未来增长。公司在无源器件垂直整合优势显著，光模块单品占比提升显著，无源器件打开未来空间。公司从套管、接口组件等无源器件起家，逐步拓展到隔离器、透镜、MUX/DEMUX 等高质量无源器件，目前形成包括 AWG WDM、TFF WDM 在内的多种高端无源器件解决方案。5G 基站进入规模建设阶段，无线前传侧光模块率先进入爆发期，利好公司的 OSA 等产品，公司提前布局了 TO 封装和 BOX 封装等新产品线，有望带来价值量的提升。数通市场方面，AWG 产品线投产后已实现稳定交付，通过不断提高良率和效率，有望在未来带来更多的业绩贡献。公司通过不断调整客户结构，不断调整产品结构，维持公司整体的高毛利率，夯实未来业绩增长，公司无源产品占光模块成本比从 1-2% 提升到 10% 以上，公司无源产品收入未来有望从 2017 年的 3 亿左右提升到 10 亿元以上，打开收入空间。

产品线拓展布局形成高度协同，公司有望成长为多器件多封装的一站式光通信平台。公司从最初的五条产品生产线拓展到现在的十三条，其中 2018 年新引入的 AWG Mux/De-Mux、FA 产品线已在 2019 年进入规模量产，这表明公司已逐步成长为国内涵盖 OSA 代工、多种无源器件制造及平台集成、多封装工艺的一站式光器件提供商。公司切入有源光器件封装代工可以与公司现有齐全的无源器件高度协同，在为全球主流光模块厂商代工有源光组件的同时带动无源器件的销售，形成有源到无源的闭环，实现商业模式的良性循环。未来随着产业链结构的逐步成熟完善，公司占据光模块产业链价值将逐步提升。我们看好公司在光通信领域的产业链定位升级，公司具备成为一站式提供多种高速率器件、多种封装方案的光通信平台型公司的潜力，以及与全球主流光模块客户高度粘合能力。

6、新易盛（300502.SZ）：高速光模块新龙头

成都新易盛通信技术股份有限公司成立于 2008 年，公司是领先的光收发器解决方案和服务提供商，主要从事电信和数通全系列光模块的研发、制造、销售以及服务；公司致力于围绕主业实施垂直整合，实现光器件芯片制造、光器件芯片封装、光器件封装和光模块制造环节全覆盖。目前，公司光通信产品涵盖多种标准的通信网络接口、传输速率、光波长等技术指标，应用领域覆盖数据宽带、电信通讯、数据中心、安防监控和智能电网等行业，产品销往全球各个国家和地区。公司已成功研发适用于数据中心的 400G 光模块，实现光模块全速率的覆盖。

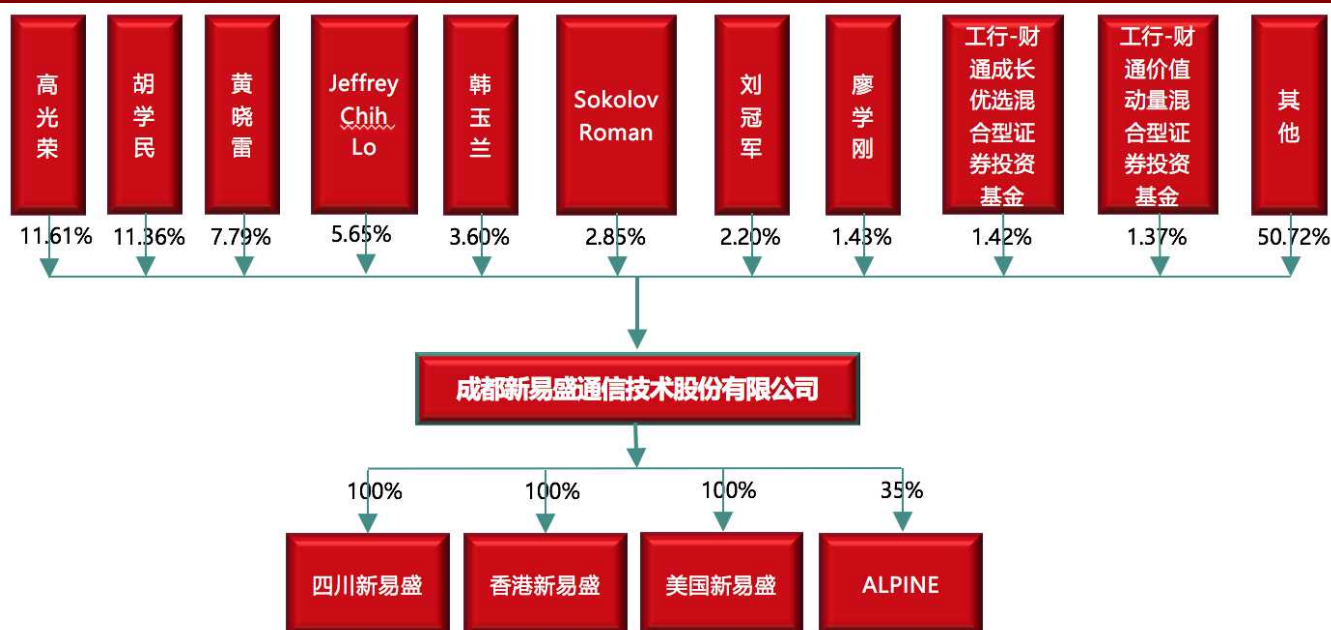
图 73：新易盛发展历程



资料来源：公司公告、招商证券

公司 2011 年 12 月完成股份制改革，正式更名为成都新易盛通信技术股份有限公司，2016 年 3 月，公司在深圳证券交易所发行上市。截止于 2019 年 9 月 30 日，实际控制人为高光荣、胡学民、黄晓雷、韩玉兰（四人为一致行动人），总共拥有 81,236,577 股，占 34.36%。新易盛目前有三家子公司和一家海外联营公司，其中四川新易盛子公司（母公司 100%持股）和美国 ALPINE（母公司 35%持股）联营公司主要负责公司产品生产业务，香港新易盛（母公司 100%持股）和美国新易盛（母公司 100%持股）两家子公司主要负责海外销售业务。

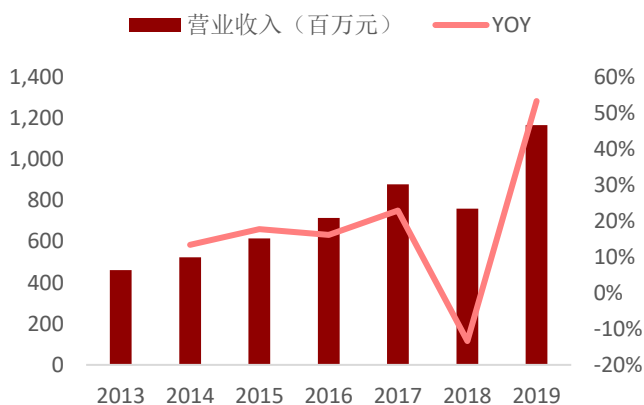
图 74: 公司股权结构 (截止于 2019 年 9 月 30 日)



资料来源: 公司公告、招商证券

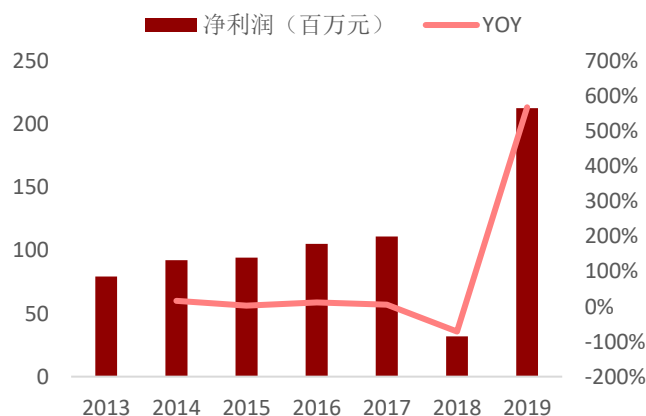
2019 年公司营收和归母净利润恢复高增长。根据公司公布 2019 年年度业绩快报, 2019 年实现净利润约为 2.13 亿元, 同比增长 568.7%, 超市场预期。公司业绩实现触底反弹, 主要源于公司在高速光模块产品取得突破, 产品结构进一步优化。2015 年至今, 公司营业收入和净利润整体呈上升趋势, 2018 年受公司的第一大客户影响, 公司营收和业绩出现较大下滑。随着 2019 年客户生产和订单的恢复, 叠加国内 5G 网络进入落地建设的新阶段, 公司 2019 年的营收和业绩取得较大增长。

图 75: 新易盛 2019 年营业收入恢复高增长



资料来源: 公司公告、招商证券

图 76: 新易盛 2019 年净利润触底反弹



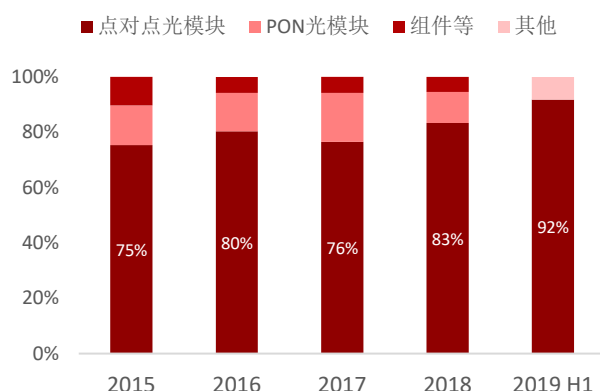
资料来源: 公司公告、招商证券

从产品上看, 光模块产品是公司主要收入, 近年来的光模块营收占比一直维持在 90% 以上, 是公司经营的主要业务。其中点对点光模块占比自 2017 年以来持续上升, 2019 年三季度营收占比达到了 92%。

从毛利率和净利率来看, 公司整体处于较高水平, 2018 年受到大客户影响导致业绩下滑, 产品毛利率和净利率也出现较大幅度下滑, 其中净利率同比下滑超过 8 个百分点。2019 年随着大客户订单的恢复和 5G 建设的加速, 2019 年 Q3 公司毛利率和净利率分

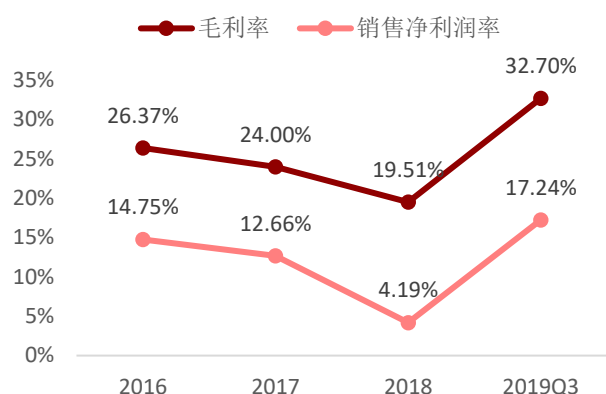
别达到了 32.7%和 17.24%，达到了公司上市以来最高水平。

图 77：新易盛近年营收构成



资料来源：公司公告、招商证券

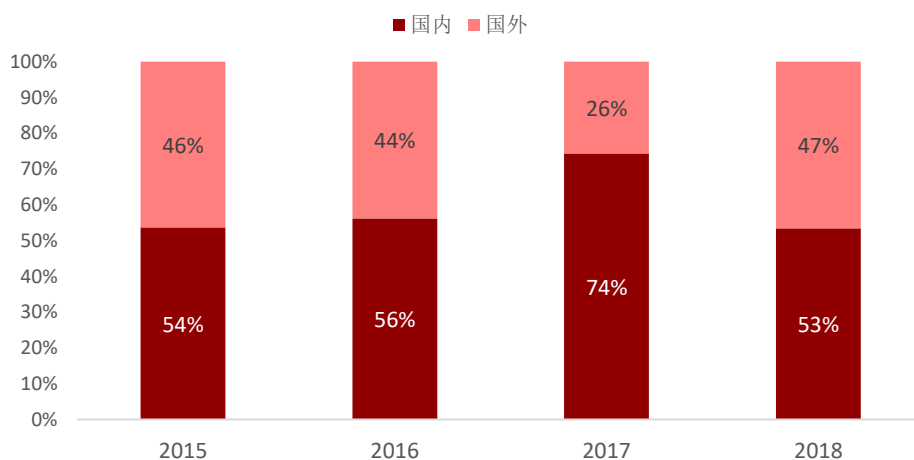
图 78：新易盛近年毛利率及净利率



资料来源：公司公告、招商证券

从地区上看，除 2017 年以外，公司来源于国内和国外的营业收入占比比较平均，国内营业收入率略高于国外营业收入，大约占比维持在 55%左右。2017 年，由于国内营业收入实现较大增长，从 4.01 亿元提升至 8.77 亿元，其营收占比也随之同比提升 18 个百分点，达到 74%。

图 79：新易盛近年国内外收入占比



资料来源：公司公告、招商证券

电信市场 5G 产品线丰富，有望把握机遇，直接受益 5G 建设高景气。5G 进入全面建设阶段，全年运营商资本开支走出投资谷底，并有望在国家新基建的战略驱动下实现进一步加码。公司产品覆盖 25G 10km、Bidi 10/20km 等多种前传光模块，以及 50Gb/s PAM4 10/40km 等中/回传光模块。公司配合 IMT-2020(5G)推进组顺利完成 5G 光模块测评，具有较强的产品技术能力。公司在维持国内主流无线设备商的光模块主力供应商位置的基础上，积极拓展新客户，调整产品结构并持续提升产能，有望乘 5G 规模建设东风，延续营收业绩双增长。

云巨头资本开支回暖，叠加 400G 代际更迭，数通市场有望迎来新突破。2019 年 Q2 开始，北美云计算巨头资本开支逐步回暖，2019 年 Q4 北美主要云计算巨头的资本开支持续提升，资本开支之和环比增长 3.61%，同比增长 0.99%，其中增幅最大为 Facebook 环比增长 16.08%，云计算巨头资本开支上升趋势明确。同时 Tomahawk 4 交

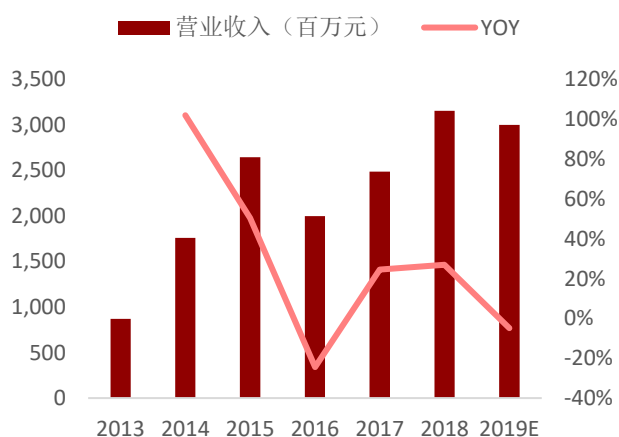
换芯片的交付意味着数据中心 400G 时代即将正式开启,400G 交换产业链成熟有望加速 400G 光模块市场爆发点的到来,预计 2020 年 400G 光模块有望逐步放量。公司积极开拓海外云计算高端客户,与交换芯片供应商具有良好的合作关系,较早完成 400G 光模块技术储备,推出业界首款功耗低于 10W 的 400G QSFP56-DD 系列光模块产品,有望把握云巨头资本开支回暖及技术代际更迭双机遇,突破海外高速光模块市场,进一步提振业绩空间。

7、剑桥科技（603083.SZ）：高端光模块崛起新势力

上海剑桥股份有限公司成立于 2012 年,前身为新桥网络科技有限公司。目前公司主要业务包括家庭、企业及工业应用类电信宽带接入终端、无线网络与小基站、工业物联网基础硬件、高速光组件与光模块四大领域产品的研发、生产和销售。2018 年,公司收购美国 MACOM 公司在日本的部分资产并成立剑桥科技日本子公司。2019 年,公司收购美国 Oclaro 公司在日本的部分资产,通过两次收购,公司拓宽了原有客户群,掌握了核心技术,成为全球高速光组件和光模块技术领先企业。

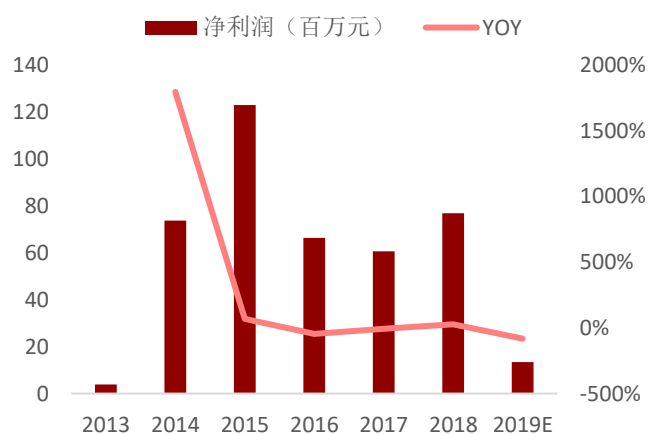
并购调整期,公司营收和业绩出现下滑。公司近几年业绩总体保持较快增速增长,营业收入在 2018 年增长了 26.94%,净利润增长 26.69%。但 2019 年受到并购、整合 Oclaro 日本子公司部分资产的影响,2019 年公司预计营业收入将小幅下滑 5.0%至 30 亿元,归母净利润将会大幅下降至 400 万元~2288 万元,取中位数计算,同比下降约 82.5%,主要是因为:(1)公司在并购完成后需要重新开始采购部分物料,物料交期影响了部分产能;(2)公司出于降低长期成本的考虑加快把原 Oclaro 日本子公司在泰国代工厂的部分生产设备搬迁到上海工厂,期间工厂产能受到影响;(3)主要客户需要重新认证公司的产品和工厂,并重新签署采购协议,也延缓了产能爬坡的进度。以上原因导致公司的日本子公司全年亏损,因而影响母公司整体营收和利润水平。但随着物料采购链的成熟、迁厂结束和客户认证完成,公司产能将逐渐恢复,叠加 5G 大规模建设和海外云厂商资本开支回暖,光模块业务将有望成为公司未来快速发展的助推器。

图 80: 剑桥科技近年营业收入情况



资料来源: Wind、公司公告、招商证券(注: 2019 净利润为业绩预告平均值)

图 81: 剑桥科技近年归母净利润情况

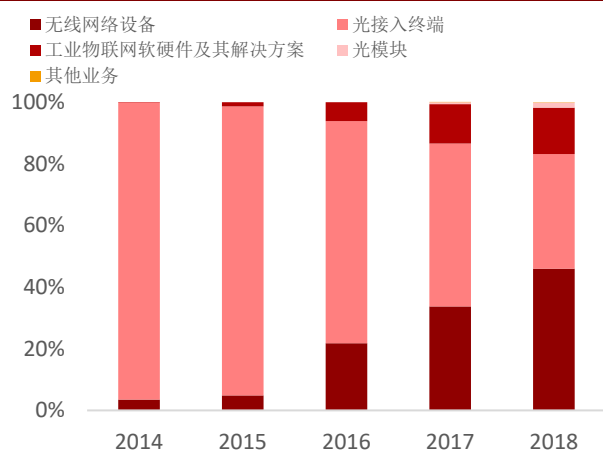


资料来源: Wind、公司公告、招商证券(注: 2019 净利润为业绩预告平均值)

公司产品结构进一步优化,多领域产业格局的形成,保障公司未来业绩长期稳定增长。2014 年公司推出无线网络设备产品,一年后便推出工业互联网相关业务,2017 年公司开始通过自研和海外并购方式布局光模块产品,公司在发展过程中不断开发新产品、

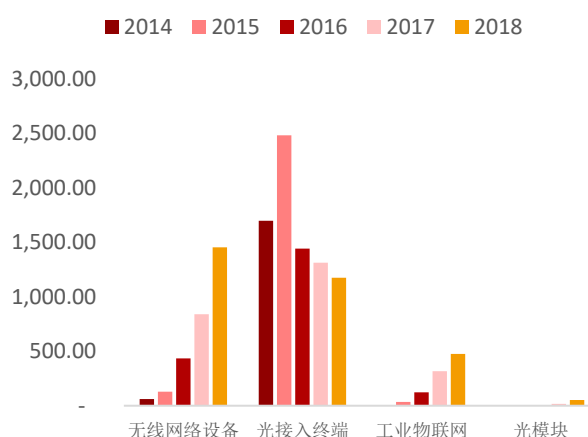
拓展新领域，产品线不断拓展。从产品营收构成角度而言，电信宽带接入终端收入不断下滑，从 2016 年的 14.41 亿下降到 2018 年的 11.74 亿，下降幅度达到 18.6%，占总收入比例也由 2016 年的 72.14% 下降到 37.21%。无线网络与小基站业务营收不断增加，并在 2018 年超过电信宽带接入终端业务，占总营收比例近 50%。工业物联网基础硬件业务收入稳定增长，增长速率达到 49%。2017 年公司高速光组件与光模块业务开始盈利，以 219.53% 的速率高速增长。随着 5G 产业发展和海外市场的扩张，公司小基站业务和高速光组件与光模块业务有望继续保持高增长，成为为公司利润新的拉动点。

图 82：2014 年至今剑桥科技营收构成情况



资料来源：Wind、公司公告、招商证券

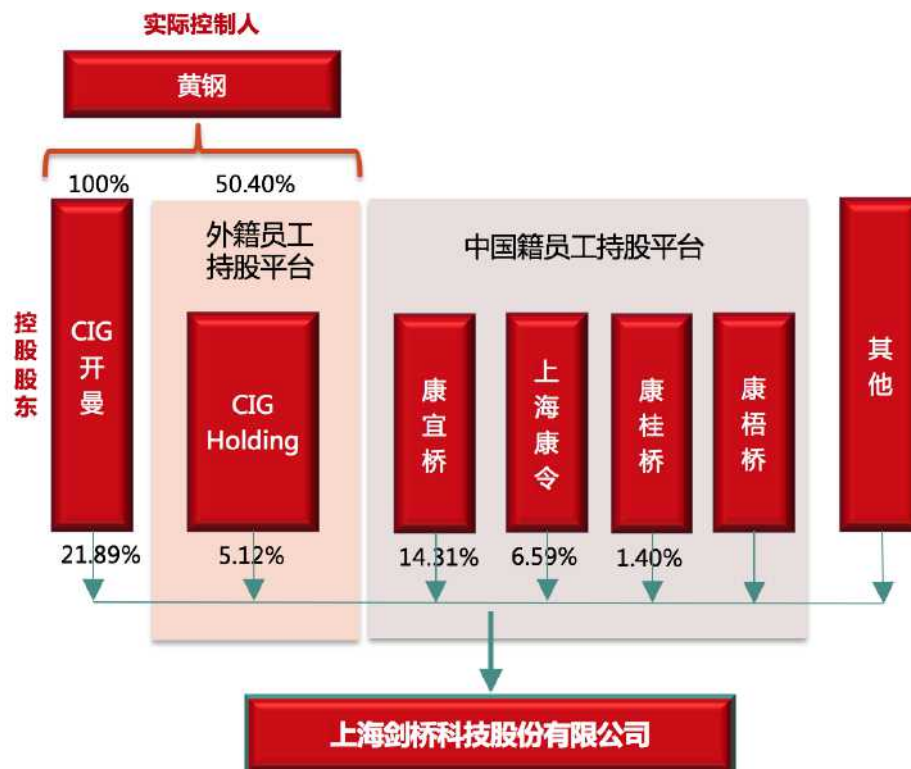
图 83：近年剑桥科技各主营业务收入增长情况



资料来源：Wind、公司公告、招商证券

稳定股权结构和完善的股权激励机制将保障公司长期稳定的发展。公司实际控制人黄钢 (Gerald G Wong) 通过 CIG 开曼以及 CIG Holding 合计持有剑桥科技上市公司 27.01% 股份，同时与上海康令唯一股东赵海波为一致行动人，股权结构稳定。公司设有明确的股权激励机制，在公司成立之初便设立 CIG Holding、康宜桥、上海康桂桥、上海康令和上海康梧桥等员工持股平台，通过激励提升核心员工的稳定性和公司的成长性。

图 84: 剑桥科技股权结构 (截止于 2019 年 9 月 30 日)



资料来源: Wind、招股说明书、招商证券

公司内生外延布局光模块产业，有望通过“数通+5G”市场打开长期成长空间。2017年公司设立光器件事业部开始布局光模块业务，并同年在上海和美国设立了两个光模块技术研发中心，开展数通 PAM4/200G/400G 光模块及组件预研，并具有批量生产低速光模块能力。在 2018 年和 2019 年，公司收购全球领先光模块厂商 Macom 和 Oclaro 日本资产，通过 Macom 获得 100G LR4/ER4 和 CWDM4 光模块及其组件生产能力，通过 Oclaro 日本资产，拥有了 100G LAN WDM 中长距离、5G 无线网络传送系列、100G(PAM4)单波长系列、200G PAM4 系列和 400G PAM4 系列产品和相关技术。收购完成后，公司具有批量生产下一代数据中心主流高速光模块和 5G 无线传输网络光模块的能力，并拓宽原有客户群，有望实现在光模块领域的弯道超车。近期公司发布定增公告，拟募集不超过 7.5 亿元，投向高速光模块及 5G 无线通信网络光模块项目，预计项目达产之后，公司将形成年产 101 万只 100G 光模块、5 万只 200G 光模块、18 万只 400G 光模块和 135 万只 5G 无线通信网络光模块的生产能力。产能的提升将有助于公司把握未来几年 5G 大规模建设和数据中心升级换代的机遇，打开长期成长空间。

五、投资建议

5G 规模建设和数据中心建设双双进入高景气周期，数据流量爆发时代即将来临。光模块为网络建设的关键部件，将迎来高速技术代际更迭和需求爆发带来的双轮驱动发展机遇，是流量爆发受益确定性最高的细分领域。随着网络建设的规模落地，电信和数通技术方案进一步收敛，25G 前传和 400G 数通光模块有望成为受益确定性最高的细分赛道。建议从赛道卡位龙头、新市场突破、核心芯片自供能力和一体化器件平台四个维度精选行业优质企业。

重点推荐：有望成长为全球第一的高速光模块龙头【中际旭创】，具备稀缺芯片自研能力的光器件一体化龙头【光迅科技】，突破数通高速光模块市场新贵【新易盛】，国内稀缺的一站式光器件平台龙头【天孚通信】；

建议关注：高端光模块崛起新势力【剑桥科技】，【太辰光】、【博创科技】、【华工科技】（电子组覆盖）。

表 15：估值对比表

公司	代码	股价		EPS			PE	
		2020/4/10	2019E	2020E	2021E	2019E	2020E	2021E
光迅科技	002281	32.00	0.55	0.72	0.89	58.2	44.4	36.0
中际旭创	300308	57.52	0.72	1.26	1.9	79.9	45.7	30.3
天孚通信	300394	45.55	0.82	1.21	1.49	55.5	37.6	30.6
新易盛	300502	65.01	0.90	1.38	1.64	72.2	47.1	39.6
剑桥科技	603083	36.72	0.13	0.81	1.49	282.5	45.3	24.6

资料来源：Wind、招商证券

风险提示：

1、5G 建设不及预期。

5G 规模建设是电信前传和中回传光模块实现业绩增长的驱动力，如果 5G 建设延迟，行业相关产品的销售将可能出现延期。

2、数通光模块代际更迭不及预期。

数据中心光模块向 400G 演进是光模块行业新增业绩弹性的主要来源，如果 400G 更迭不及预期，行业相关产品的销售将可能不及预期，影响相关公司营收和业绩。

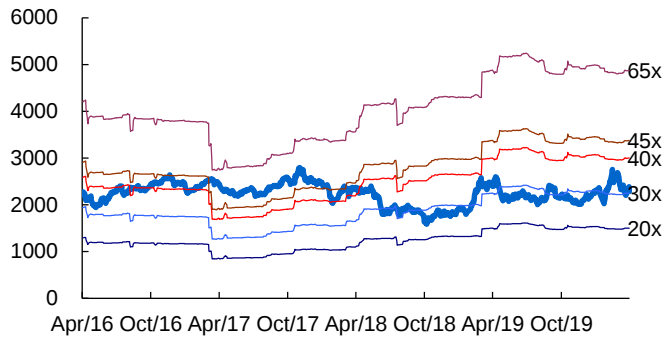
3、产品价格过快下滑。

光模块产品价格呈现逐年下滑趋势，若下滑过快，可能会对光模块的封装生产公司和上游光器件制造公司带来不利影响，影响相关公司营收和业绩。

4、疫情进一步恶化的风险。

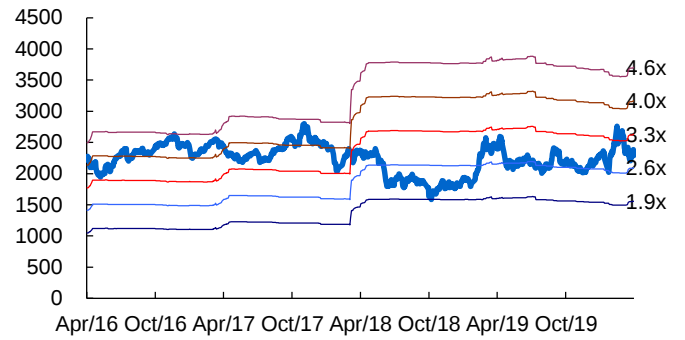
光模块产业链的生产商、上游供应商和下游客户所在地区基本都出现疫情，若全球疫情进一步恶化，可能会对光模块的供应链带来不利影响，影响相关公司营收和业绩。

图 85: 通信行业历史PEBand



资料来源：贝格数据、招商证券

图 86: 通信行业历史PBBand



资料来源：贝格数据、招商证券

分析师承诺

负责本研究报告的每一位证券分析师，在此申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

余俊 招商证券通信行业首席分析师 东南大学微电子学硕士，7 年民航空管通信方向技术及管理经验，民航局通信导航专家库成员。2017 年金牛奖第一名，新财富第四名，保险资管最佳分析师第二 重要团队成员；2016 年新财富第三，水晶球第二 重要团队成员。

欧子兴 招商证券通信行业研究助理 北京邮电大学工学硕士，6 年中国移动集团采购和供应链管理工作经验，2019 年加入招商证券，专注于通信上游元器件（天线及射频器件、光模块、光纤光缆等）、通信设备、卫星通信卫星导航等相关领域研究。

投资评级定义

公司短期评级

以报告日起 6 个月内，公司股价相对同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为标准：

- 强烈推荐：公司股价涨幅超基准指数 20%以上
- 审慎推荐：公司股价涨幅超基准指数 5-20%之间
- 中性：公司股价变动幅度相对基准指数介于±5%之间
- 回避：公司股价表现弱于基准指数 5%以上

公司长期评级

- A：公司长期竞争力高于行业平均水平
- B：公司长期竞争力与行业平均水平一致
- C：公司长期竞争力低于行业平均水平

行业投资评级

以报告日起 6 个月内，行业指数相对于同期市场基准（沪深 300 指数）的表现为标准：

- 推荐：行业基本面向好，行业指数将跑赢基准指数
- 中性：行业基本面稳定，行业指数跟随基准指数
- 回避：行业基本面向淡，行业指数将跑输基准指数

重要声明

本报告由招商证券股份有限公司（以下简称“本公司”）编制。本公司具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告基于合法取得的信息，但本公司对这些信息的准确性和完整性不作任何保证。本报告所包含的分析基于各种假设，不同假设可能导致分析结果出现重大不同。报告中的内容和意见仅供参考，并不构成对所述证券买卖的出价，在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。除法律或规则规定必须承担的责任外，本公司及其雇员不对使用本报告及其内容所引发的任何直接或间接损失负任何责任。本公司或关联机构可能会持有报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。客户应当考虑到本公司可能存在可能影响本报告客观性的利益冲突。