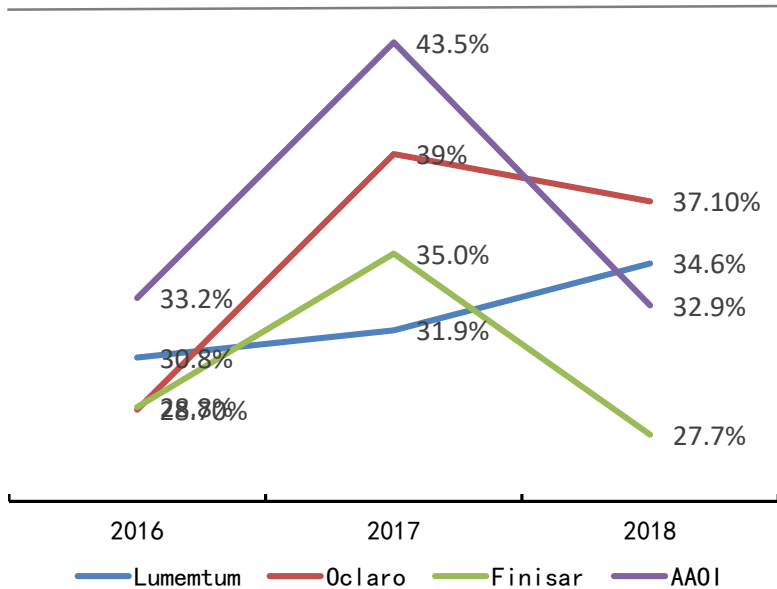


# 光模块：产业拐点+市场共振，价值提升带来投资机会

- ◆两产业拐点：芯片和速率，核心制约因素减弱
- ◆两市场共振：海外数通拐点，国内通信渐强
- ◆价值变迁：从高端产品向国产替代+成本控制转变
- ◆投资建议：核心技术突破+大订单+业绩反转

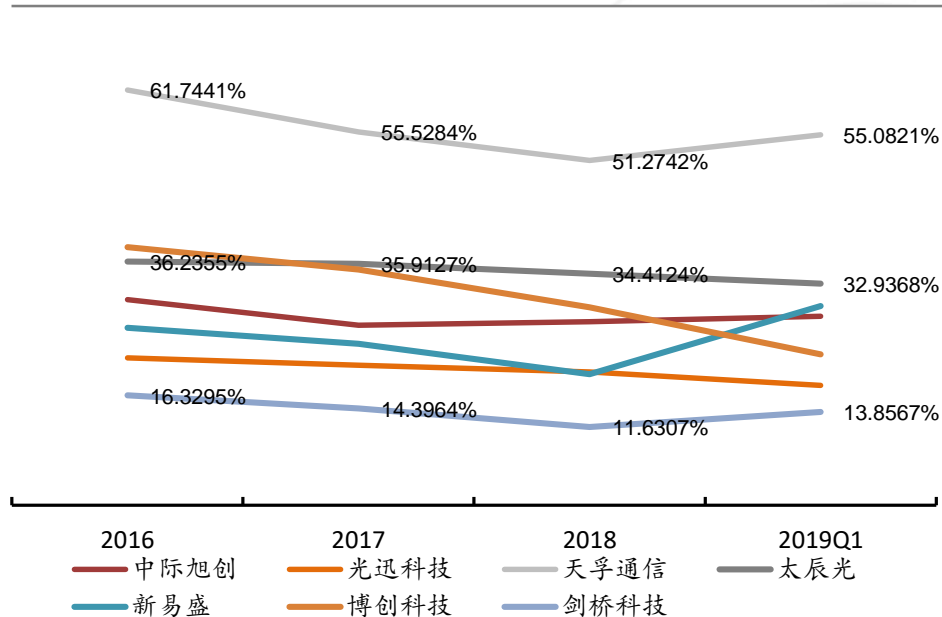
- 美国光模块：毛利率2018年都处在下降通道，三年平均毛利率分别为30.38%、37.35%、33.08%
- 国内光模块：毛利率2018年处于下降通道，平均毛利率23%，天孚通信器件毛利率较高

图1：2016-2018年美国主要光模块公司毛利率变化



数据来源：讯石光通信

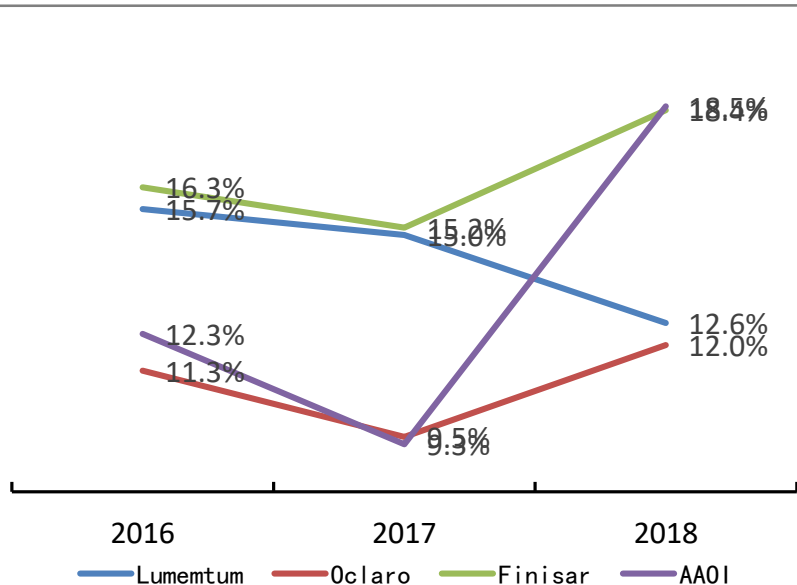
图2：2016-2019年中国主要光模块公司毛利率变化



数据来源：wind、财通证券研究所

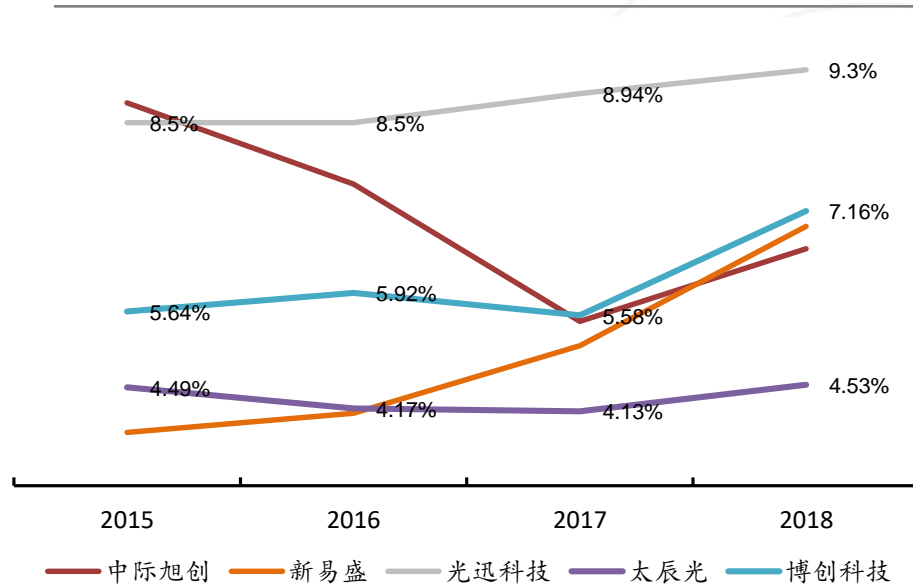
- 国外研发占比都有提升，主要厂商将技术升级换代作为抵抗周期的重要方向
- 国内研发占比总体比国外差一倍，在8个百分点左右

图3：美国主要厂商研发占比



数据来源：wind、财通证券研究所

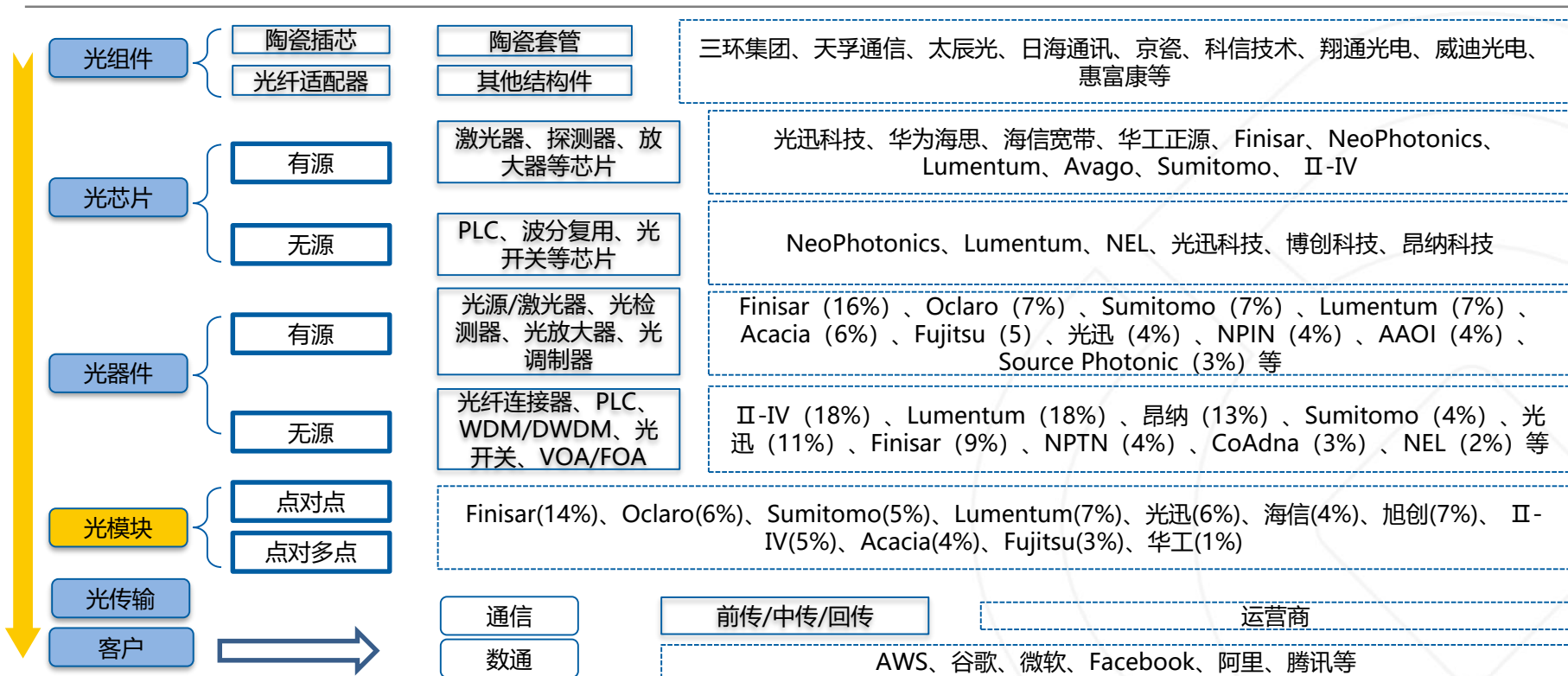
图4：国内主要厂商研发占比



数据来源：wind、财通证券研究所

- 以华为、中兴通讯和烽火通信为代表的下游光网络设备商的份额占据全球市场的半壁江山
- 我国上游主要光器件企业在全世界市场占据的份额仅为13%左右，体现出上下游发展不平衡

图5：光模块产业链格局和市场份额



- 光通信产业竞争力：我国电信市场在全球仅次于美国，数通市场也在高速成长中，光通信产业链从芯片→组件→模组→系统中，越往下游竞争力越强，芯片领域是当前瓶颈

图6：国内光通信产业竞争力

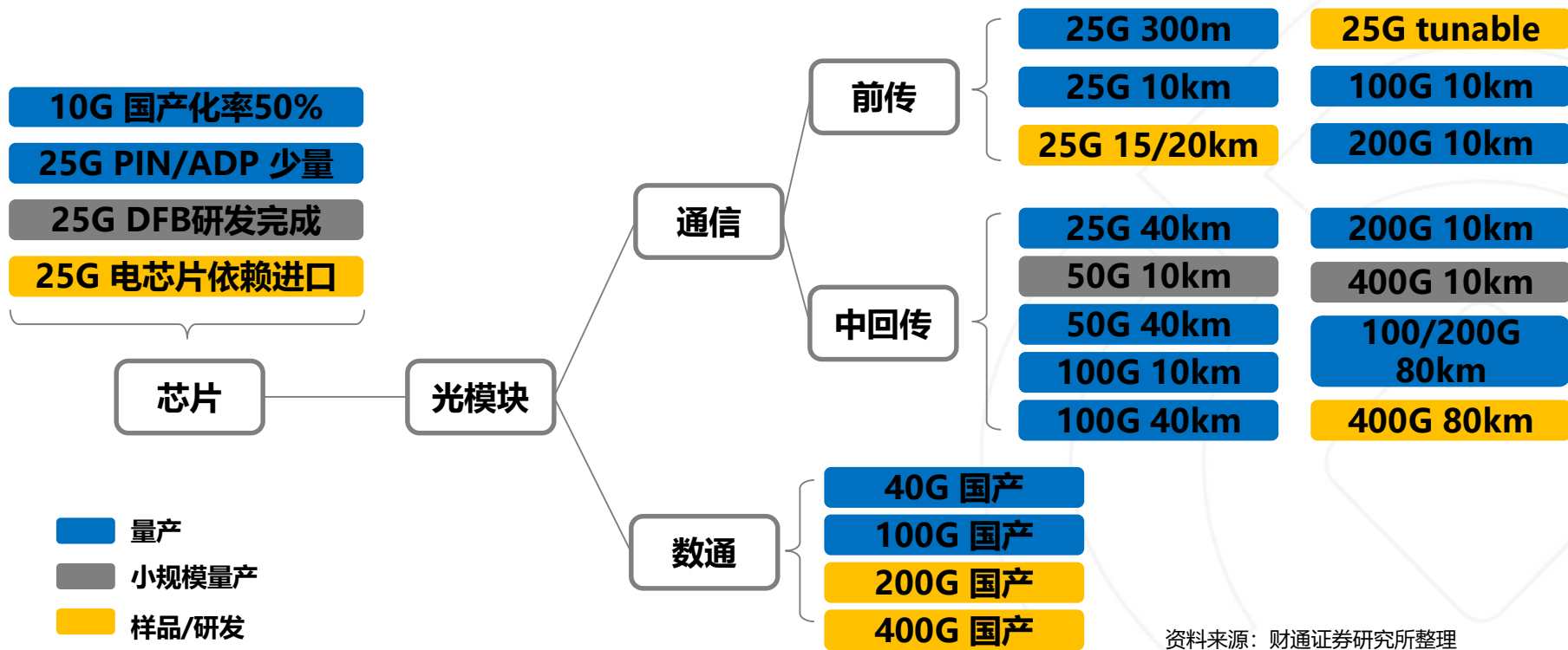


表1：光模块功能、芯片及国产替代情况

速率	传输距离	收发模块					交叉复用串并转换	
2.5G	300米	收模块 (ROSA)	激光检测器	国产	相干器件	进口	解调芯片	国产
		发模块 (TOSA)	激光发生器	国产	功率芯片	进口	调制芯片	国产
	10千米	收模块 (ROSA)	激光检测器	国产	相干器件	进口	解调芯片	国产
		发模块 (TOSA)	激光发生器	国产	功率芯片	进口	调制芯片	国产
10G	300米	收模块 (ROSA)	激光检测器	国产	相干器件	进口	解调芯片	国产
		发模块 (TOSA)	激光发生器	国产	功率芯片	进口	调制芯片	国产
	10千米	收模块 (ROSA)	激光检测器	国产	相干器件	进口	解调芯片	国产
		发模块 (TOSA)	激光发生器	国产	功率芯片	进口	调制芯片	国产
	40千米以上	收模块 (ROSA)	激光检测器	进口/国内正在研究	相干器件	进口/国内正在研究	解调芯片	进口/国内正在研究
		发模块 (TOSA)	激光发生器	进口/国内正在研究	功率芯片	进口/国内正在研究	调制芯片	进口/国内正在研究
100G	300米	收模块 (ROSA)	激光检测器	进口/国内正在研究	相干器件	进口/国内正在研究	解调芯片	进口/国内正在研究
		发模块 (TOSA)	激光发生器	进口/国内正在研究	功率芯片	进口/国内正在研究	调制芯片	进口/国内正在研究
	10千米	收模块 (ROSA)	激光检测器	进口/国内正在研究	相干器件	进口/国内正在研究	解调芯片	进口/国内正在研究
		发模块 (TOSA)	激光发生器	进口/国内正在研究	功率芯片	进口/国内正在研究	调制芯片	进口/国内正在研究
	40千米以上	收模块 (ROSA)	激光检测器	进口/国内正在研究	相干器件	进口/国内正在研究	解调芯片	进口/国内正在研究
		发模块 (TOSA)	激光发生器	进口/国内正在研究	功率芯片	进口/国内正在研究	调制芯片	进口/国内正在研究
400G	300米	收模块 (ROSA)	激光检测器	进口	相干器件	进口	解调芯片	进口
		发模块 (TOSA)	激光发生器	进口	功率芯片	进口	调制芯片	进口
	10千米	收模块 (ROSA)	激光检测器	进口	相干器件	进口	解调芯片	进口
		发模块 (TOSA)	激光发生器	进口	功率芯片	进口	调制芯片	进口
	40千米以上	收模块 (ROSA)	激光检测器	进口	相干器件	进口	解调芯片	进口
		发模块 (TOSA)	激光发生器	进口	功率芯片	进口	调制芯片	进口

# 芯片拐点：国内厂商纵向延伸，逐步减少芯片依赖 (1/3)

- 二级市场：光迅科技、海信宽带、华工正源、剑桥科技、新易盛等通过自研或者收购的形式入局
- 一级市场：云岭光电、光安伦、长光华芯、中科光芯、源杰科技、仕佳光电子、华兴半导体、芯芸光电等也受到资本关注

**表2：光器件公司近年来并购、引进新技术情况汇总**

收购方	并购公司/引进技术	时间	金额	并购方向
光迅科技	IPX	2013	260万美元	高端无源光芯片
	Almae	2016	2340万美元	10G以上高端有源芯片
华工正源	成都研发中心	2017	-	在25G、100G PON 以及 NG PON2 等PON系列高端产品寻求突破
新易盛	引进博通7nm的400G光模块生产线	2018	-	最低功耗超大规模数据中心和云网络中400G DR4/FR4系列光模块
金信诺	江苏万邦微电子	2017	-	集成电路和模组的设计研发、测试和技术服务
	东莞瀚宇电子有限公司	2015	5380万元	生产、加工、销售电线, 电缆, 光纤连接器相关零组件
	常州安泰诺特种印制板有限公司	2017	1.3亿元	通信用射频印制板及其它通信器材制造、加工
博创科技	成都迪谱光电科技有限公司	2018	1.18亿元	光电技术、通信设备, 电子产品
	Kaiam Corporation		-	平面光波导
中际旭创	苏州旭创	2017	28亿元	光模块
剑桥科技	Oclaro Japan, Inc.	2019	4160万美元	光通信, 5G传送网
	MACOM	2019	预计不超过3.8亿元	光模块
太辰光	广东瑞芯源	2017	-	平面光波导芯片
昂纳科技	Advance公司光学组件和模块业务	2015	500万美元	模块及光纤光栅
鸿腾科技	Avago光模块事业单位	2015	-	光模块产品及100G光收发器
Avago	CyOptics	2013	4亿美元	光子集成芯片, 领先的InP激光器和探测器技术
II-VI	Oclaro瑞士苏黎世半导体激光器业务	2013	1.15亿美元	业界领先的半导体激光技术
NeoPhotonics	Emcore可调波长激光器和光模块产线	2014	1750万美元	高端100Gbps光器件产品线
Macom	BinOptics	2014	2.3亿美元	领先的高性能射频、微波和毫米波产品
Lumentum	Oclaro	2018	18亿美元	业界领先的InP激光器、光子集成技术 (PIC) 相干器件模块研发能力



- 10Gb/s速率的光芯片国产化率接近50%，但25Gb/s速率及以上国产化率不超过5%，严重依赖于新博通、MAOM、三菱、住友、Oclaro等美日公司
- 二级市场：光迅科技、海信宽带、华工正源等也通过自研或者收购的形式入局
- 一级市场：云岭光电、光安伦、长光华芯、中科光芯、源杰科技、仕佳光电子、华兴半导体、芯芸光电等受到资本关注

**表3：5G承载典型光模块产品化能力**

核心芯片	主要品类	全球主要供应商	国内技术自给率	中国替代供应商
无源芯片	PLC、AWG	Finisar、NeoPhotonics、Lumentum、Bookham、PPI、华为海思	100%	华为海思、中兴通讯、仕佳光子、光迅科技、昂纳科技、上海鸿辉
10G及以下光芯片	LED、FP、DFB、EML、VCSEL、PIN、APD	Oclaro、Neophotonics、三菱、住友、安华高/博通、华为海思	100%	华为海思、光迅科技、长瑞光电、海信宽带、华工正源、嘉纳海威
25G及以上光芯片	VCSEL、DFB、EML、PIN、APD、相干光芯片	Oclaro、Neophotonics、三菱、住友、安华高/博通、华为海思	40%	华为海思、光迅科技、华工科技
10G及以下电芯片	LD、TIA、CDR、Mux&DeMux、DSP	Inphi、Macom、Semtech、美信、三菱、住友、TI、ADI	100%	华为海思、飞昂光电、厦门优讯、中兴通讯、烽火飞思灵
25G及以上电芯片	LD、TIA、CDR、Mux&Demux、DSP (含相干)	Inphi、Macom、Semtech、美信、三菱、住友、TI、ADI	15%	华为海思、光迅科技、华工科技
硅光集成芯片	100G数通硅光芯片、100G/200G硅光相干芯片	英特尔、Acacia、Luxtera、Kotura、Mellanox	未批量出货	研发进展领先：华为海思、光迅科技、中国信通

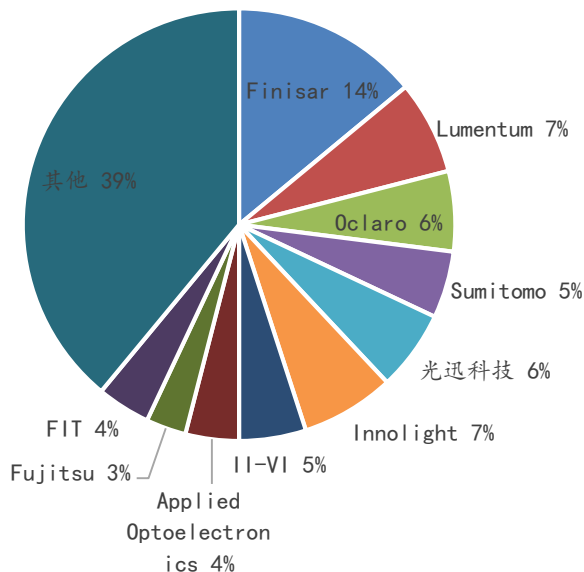
**表4：光模块电芯片主要品类及研发难度**

	主要功能	难度	公司	竞争力评价
LD激光驱动器芯片	在DFB、FP等激光器前产生驱动电信号	中	华光光电、光迅科技、海信宽带	量产10G，重点突破25G
TIA跨阻放大器芯片	实现电信号的功率调节	中	南京美辰微电子、厦门优讯	在TIA, LA, LD领域有产品已实现大规模量产
MA主放	实现电信号的功率调节	中	——	——
DSP数字信号处理芯片	实现PAM4调制或相干调制	高	华为、南京美辰微电子	正交调制器, DPD接收机, ADC等芯片产品上已有可量产方案
CDR时钟和数据恢复电路	在输入数据信号中提取时钟信号并找出数据和时钟正确的相位关系	高	飞昂通讯	CDR技术指标均达到国际一流水平, 100G多模光互连收发芯片成功量产
MUX&DeMUX并串/串并转换电路	实现并行数据和串行数据的转换	低	亿源通、奇芯光电	自主开发的CWDM MUX/DeMUX集成芯片实现规模交付出货

资料来源：讯石通信网、中国产业信息网、公开资料整理

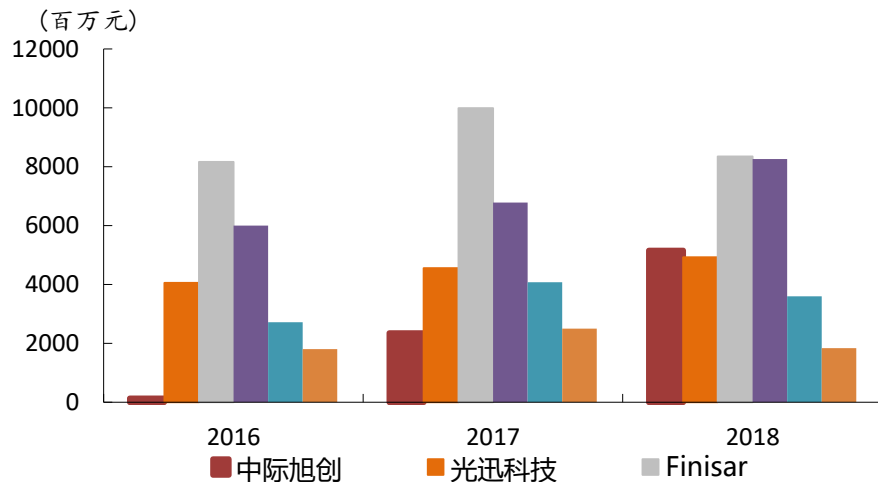
- 全球光模块厂商集中度提升，国内光模块份额逐步加大。2017年光器件市场份额前三分别为Finisar、Lumentum和Oclaro，CR4仅为35%。2018年光模块市场发生巨变，行业龙头整合进入高峰。2018年3月10日，Lumentum宣布以18亿美元收购Oclaro，11月8日，无源光器件巨头II-VI宣布以32亿美元收购光器件市场领导者Finisar
- 国内近年来光模块封装技术进步，营收规模逐步赶超国外，中际旭创已经超越Oclaro和AAOI

图7：2018年光通信市场份额



数据来源： OIDA Market Update October 2018

图8：2016-2018年营业收入变化 (百万元人民币)



数据来源：公司公告、wind

- 2015-2018年中国光器件在全球市场份额的不断提升，2015年市场份额占比不到10%，2018占比达20%，国内光器件市场份额稳步提升

图9：2015年光通信市场份额

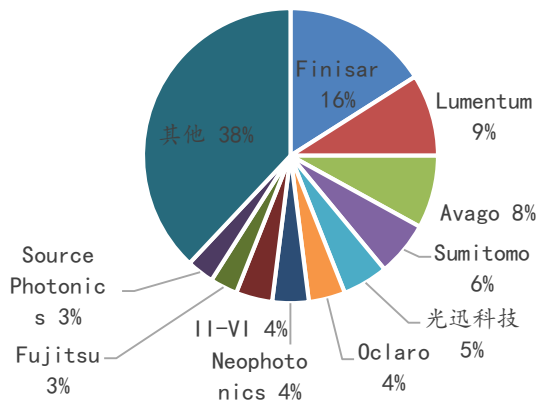


图11：2017年光通信市场份额

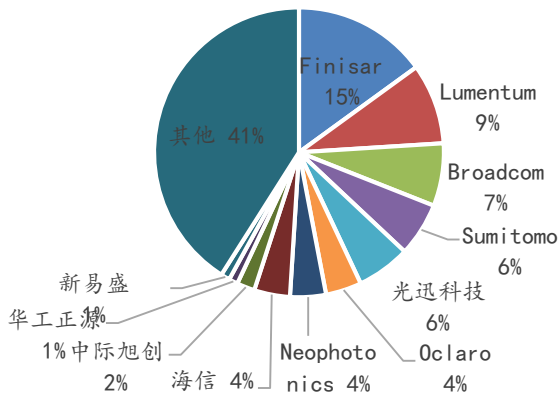


图10：2016年光通信市场份额

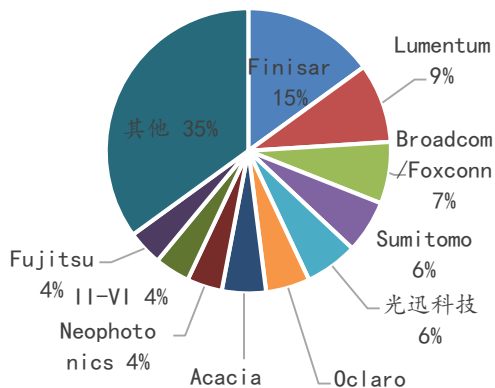


图12：2018年光通信市场份额

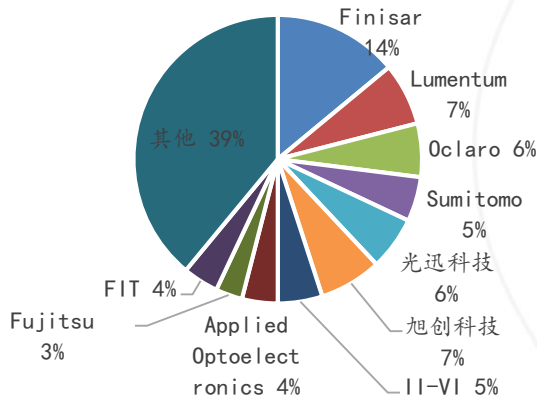
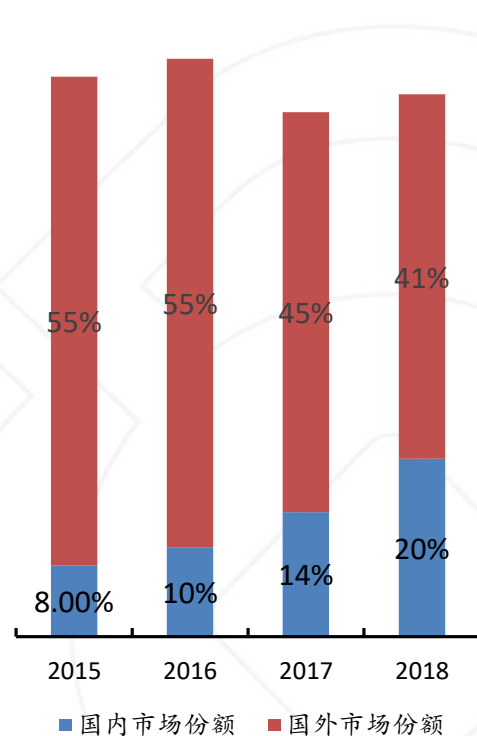


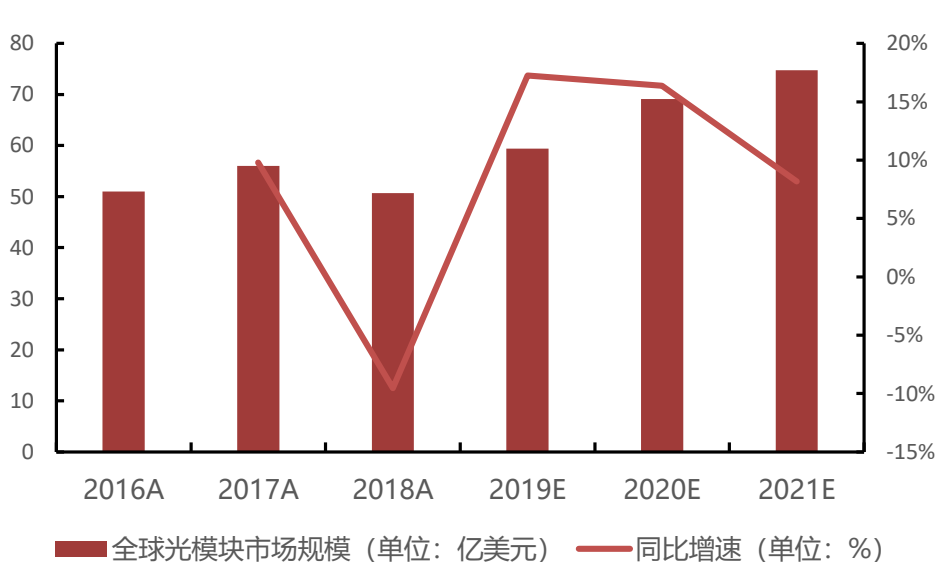
图13：2015-2018年国内外光通信市场份额



- ◆两产业拐点：芯片和速率，核心制约因素减弱
- ◆两市场共振：海外数通拐点，国内通信渐强
- ◆价值变迁：从高端产品向国产替代+成本控制转变
- ◆投资建议：核心技术突破+大订单+业绩反转

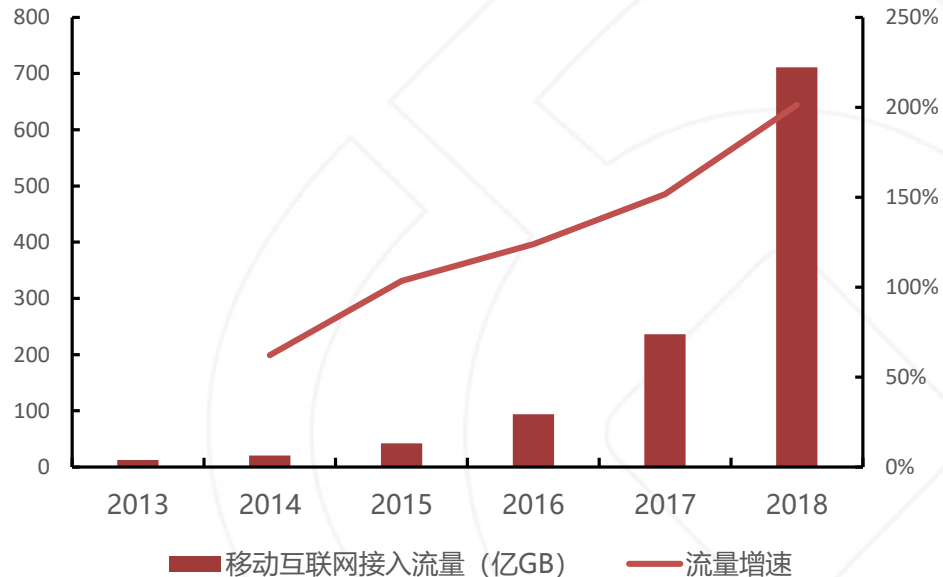
- 2016-2021 年全球光模块市场规模逐年上涨，同比增速平均保持在 9%。随着全球数据量的增加，光模块向着超高频、超高速和超大容量发展
- 根据 LightCounting 数据，全球光模块市场规模不断增大，预计到 2024 年全球光模块市场规模将超过 150 亿美元
- 2018年中国移动互联网接入流量4GB/月人，2019年5G试商用人均流量60GB/月人

图14：全球光模块市场规模及增速



数据来源：LightCounting、财通证券研究所整理

图15：2013-2018年中国的流量增长



数据来源：LightCounting、财通证券研究所整理

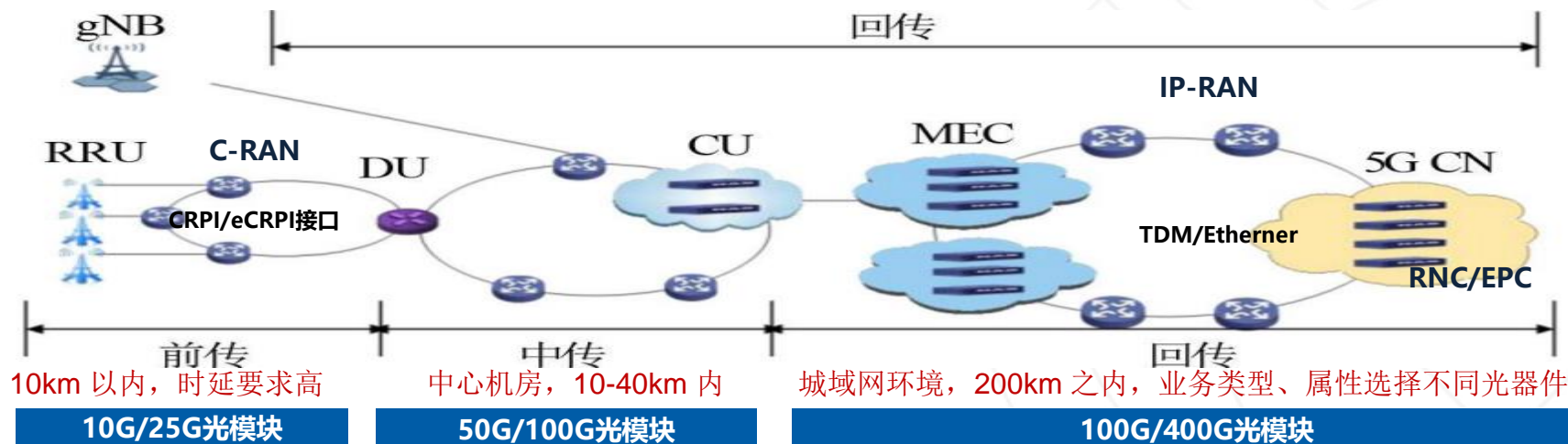
## ● 速率升级

- 前传从6G/10G向25G升级，上半年华为、中兴25G 10km和300m招标，旭创、海信宽带、华工正源份额靠前
- 回传光模块逐渐以100G//200G/400Gbit/s 速率为主
- 25G Baud 光电子器件、PAM4 调制解调技术及城域相干光模块技术将得到广泛应用

## ● 价格下降

- 前传：25G 10KM 跌破 50 美元，25G 300M 价格更低，厂商相继推出 10G 超频方案，带动 25G 价格快速下降
- 中传：电芯片降成本早于光芯片，50G PAM4 会成为中传及 PON 网络升级主流模块。预计2019年下半年招标
- 回传：通常采用200G/400G相干光模块，单载波 200G/ DP-16QAM 技术可能会成主流，预期2020年启动招标

图16：5G 传输网络架构



- 各运营商基于网络基础有不同建设方案
  - 电信联通侧重AAU对应DU/CU模式，DU=基站数，DU：AAU=1:3-1:6，DU对应AAU数量取决于组网方式
  - 移动传输和站址资源相对缺乏，倾向采用C-RAN模式，一般BBU对应3个左右基站，即9个左右AAU
- 无线侧一个基站的光模块需求为6-8个（以一个基站对应一个BBU进行测算）
  - 天线侧：1个5G基站三个扇面，对应6个10G/25G光模块
  - BBU侧：前传对应6个25G光模块，中传对应2个50G/100G光模块

**表5：5G宏基站建设数量及对应光模块市场空间**

无线侧增量	2019	2020	2021	2022	2023	合计
宏基站建设数量 (万座)	20	100	120	120	100	460
小基站建设数量 (万座)	40	200	240	300	300	1080
接入层 (BBU) 数量 (万个)	13	67	80	90	83	333
宏基站光模块数量 (万只)	120	600	720	720	600	2760
小基站光模块数量 (万只)	40	200	240	300	300	1080
接入层 (BBU) 光模块数量 (万只)	160	800	960	1020	900	3840
25G光模块价格 (元/只)	550	467.5	411.4	370.3	333.2	
10G光模块价格 (元/只)	150	127.5	112.2	101.0	90.9	
宏基站光模块规模 (亿元)	6.6	28.1	29.6	26.7	20.0	110.9
小基站光模块规模 (亿元)	0.6	2.6	2.7	3.0	2.7	11.6
接入层 (BBU) 光模块规模 (亿元)	7.2	30.6	32.3	29.7	22.7	122.5
新增市场空间 (亿元)	14.4	61.2	64.6	59.4	45.4	245.0

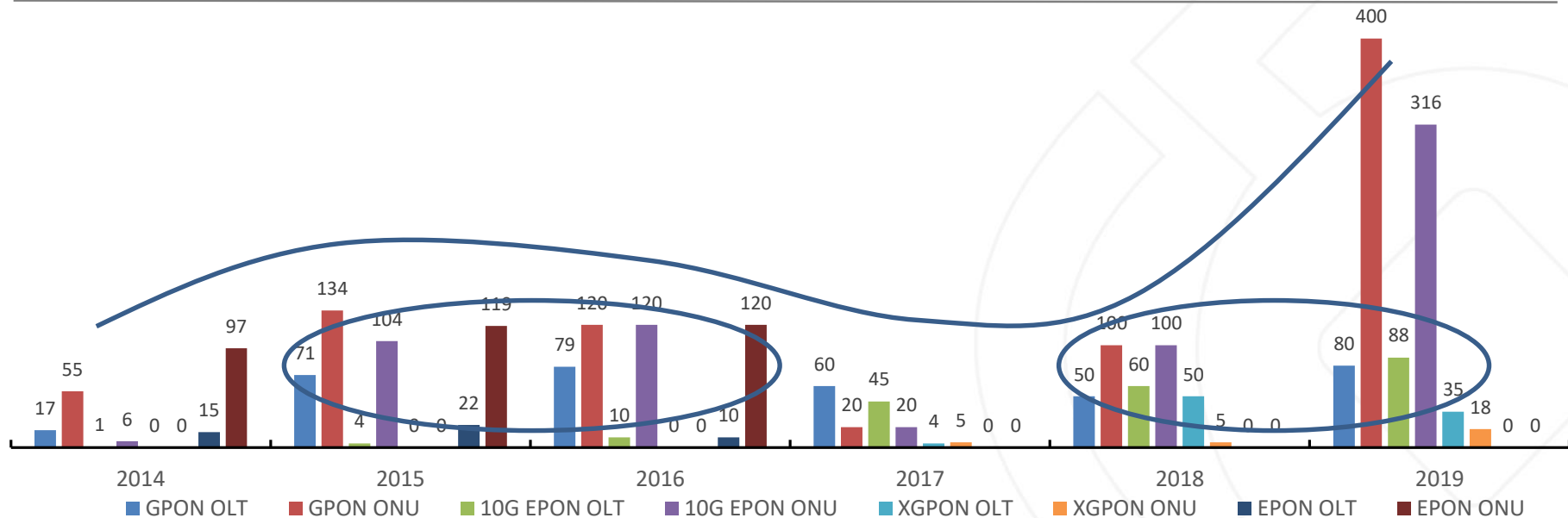
说明：光模块产品众多，预测单价和销量以主流产品的平均单价和主流产品的类比销量做替代，市场空间为近似测算

数据来源：财通证券研究所测算



- 2018年全球光模块市场规模约60亿美元，其中电信承载网市场规模17亿美元，每年以15%的速度增长，接入网市场规模约12亿美元，年增长率约11%
- 运营商对有线侧的投资有两个高峰
  - 牌照发放后2年内，有线侧为了应对无线侧的速率提升，对接入网进行升级，接入侧升级到千兆，ONU从GPON、EPON升级到10GPON、10G EPON、XGPON等，采购规模千万只级别
  - 牌照发放后第4-5年，杀手应用成熟带来全网流量大规模增长，促使汇聚网和核心网光器件需求大幅增长

图17：2014-2019年中国电信PON设备采购规模（单位：万端口）



## ● 测算逻辑

- 接入网按照路由器、服务器数量的设备升级的逻辑测算，BBU之间需要光纤汇聚环，50GE的城域汇聚环，不同城域通过100G汇聚到骨干
- 城域网之上按照流量逻辑进行测算，2019-2020年城域网有部分扩容需求，2021年之后核心网开始扩容

## ● 关键假设

- 接入网：用户数/占用率/典型设备端口数=PON口数\*2=光模块数量
- 汇聚网和核心网：实际使用带宽\*用户数\*并发率\*占比=OLT出口总流量/带宽利用率=带宽需求/光模块规格=OLT上行端口数\*2=光模块数

表6：光模块（有线网）需求及市场空间

有线网增量	2019	2020	2021	2022	2023	合计
新增：入户光模块G数量（万只）	5000	5500	11000	11500	6375	39375
新增：接入网光模块10G数量（万只）	500	650	850	1050	1200	4250
新增：城域网光模块数量（万只）	50	65	85	105	120	425
新增：核心网光模块数量（万只）	12.5	16.3	21.3	26.3	30.0	106.25
入户光模块价值规模（亿元） G光模块	55.0	54.5	98.0	92.2	46.0	345.7
接入网光模块价值规模（亿元） 10G	27.5	32.2	37.9	42.1	43.3	182.9
城域网光模块价值规模（亿元）	5.6	6.3	7.2	7.8	8.0	34.9
核心网光模块价值规模（亿元）	4.0	4.2	4.4	4.4	4.2	21.2
新增市场空间（亿元）	92.1	97.1	147.5	146.5	101.5	584.7

说明：光模块产品众多，预测单价和销量以主流产品的平均单价和主流产品的类比销量做替代，市场空间为近似测算

图18：有线网（传输网）光模块配置模型

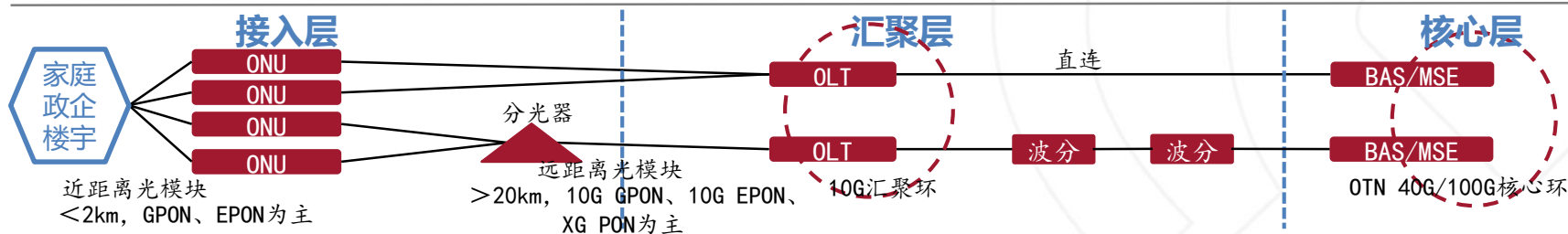
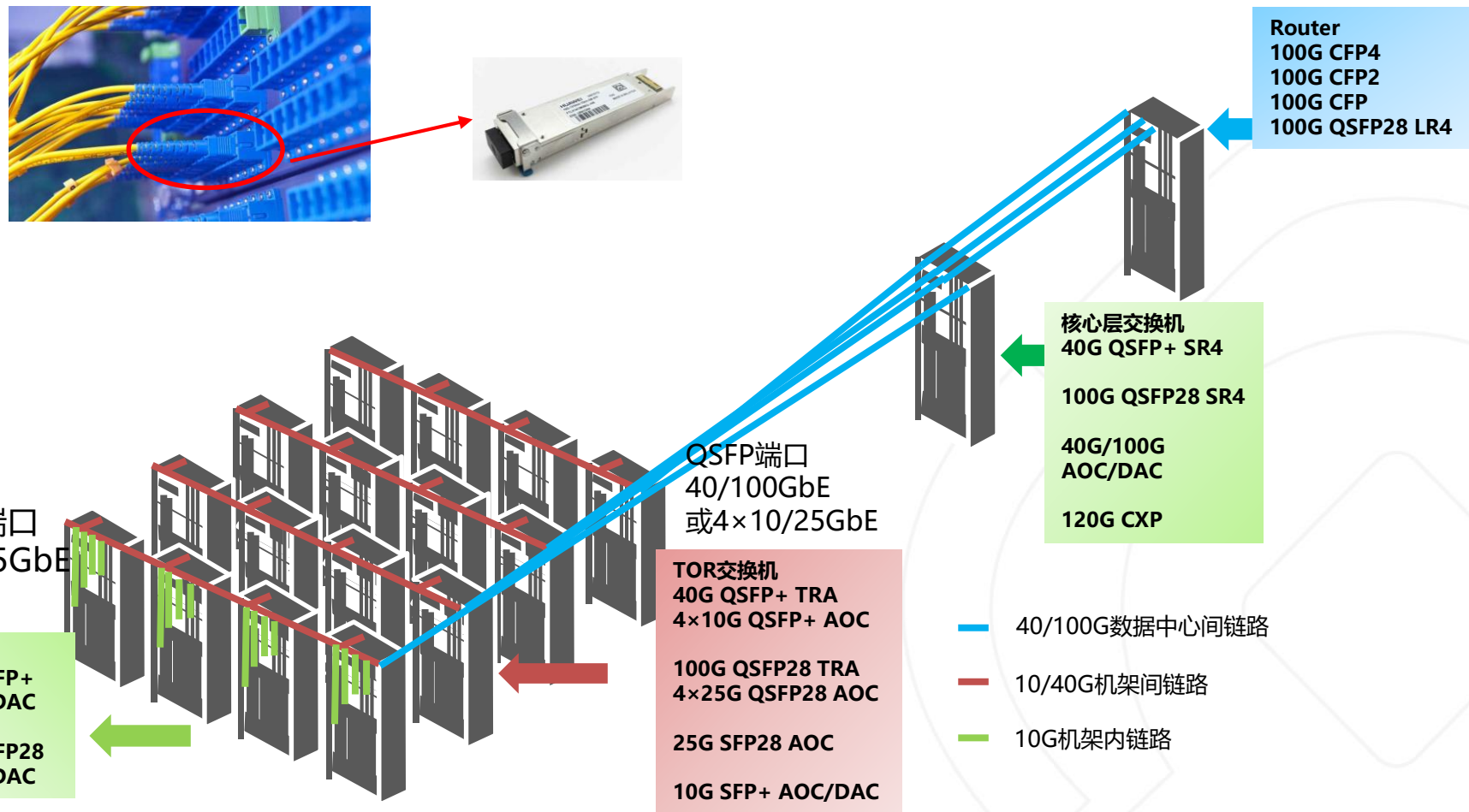
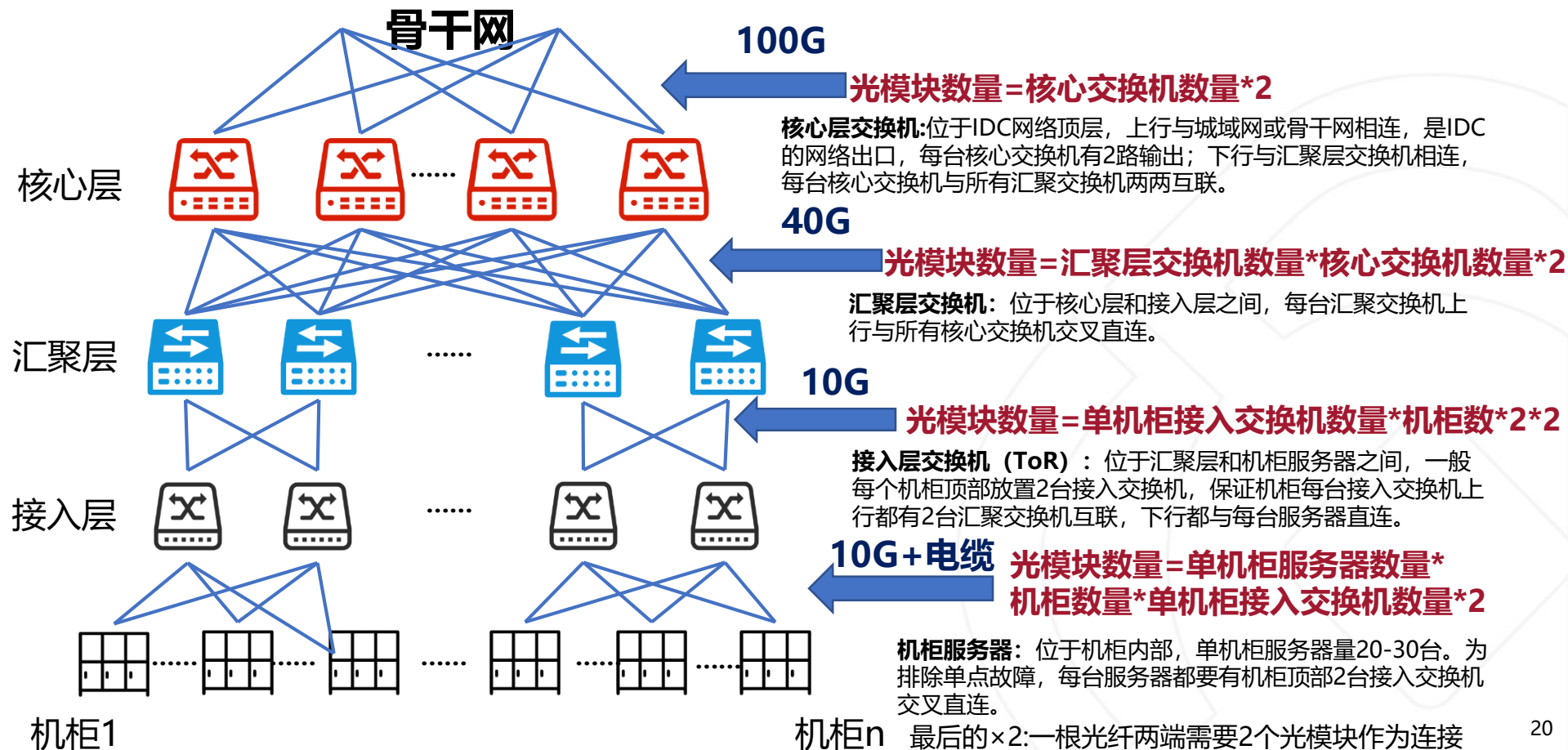


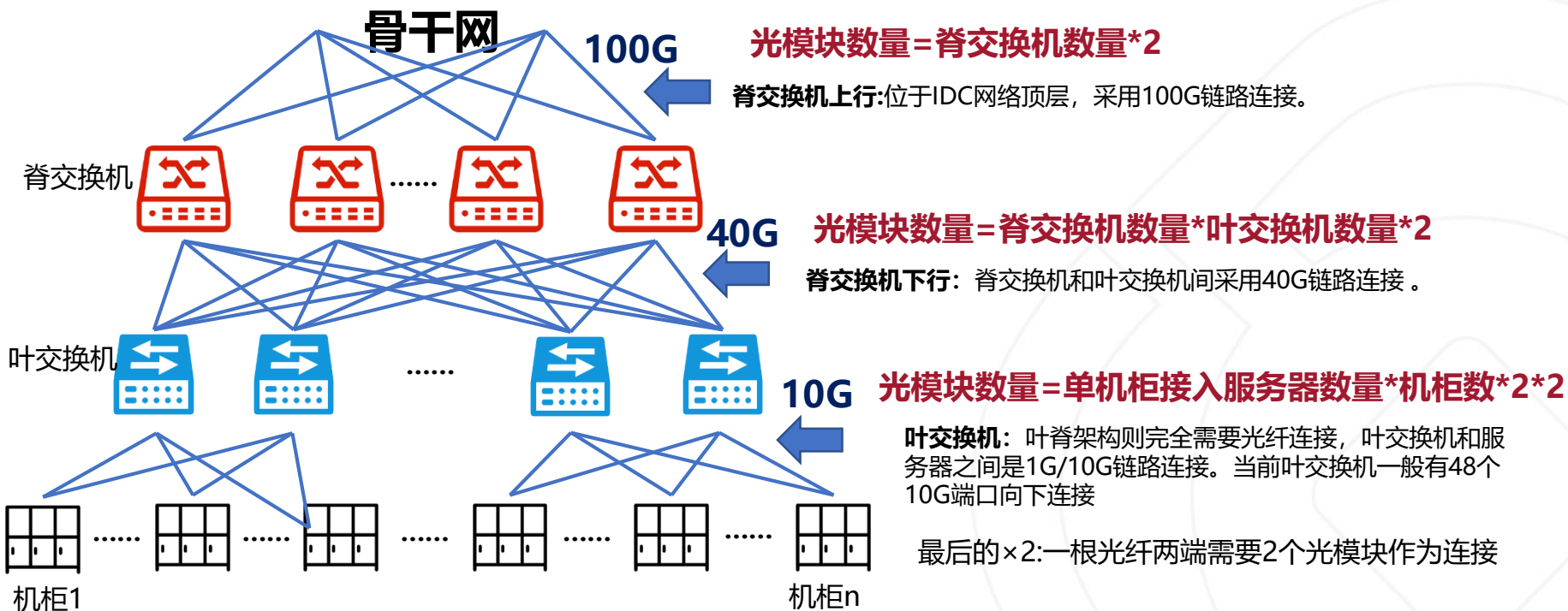
图19：云计算中心机柜图



- 当前主流的IDC构架：传统三层构架、叶脊构架
- 传统三层构架分为接入层、汇聚层和核心层，每一层之间使用光纤直连，需要大规模使用光模块



- 叶脊构架将IDC网络从三层扁平化为二层，提高了网络效率。
- 叶脊构架每一个叶交换机都和另一个叶交换机之间都只是隔了一跳，减少了设备寻找或者等待连接的需求，从而减少了延迟以及降低了瓶颈。



- 传统数据中心中，机柜每台占地面积 $3-5\text{ m}^2$ ，取均值4
- 一般单机柜服务器容量为20-30台，取均值25
- 那么 $1000\text{ m}^2$ 的机柜数为250台，服务器数量为6250台。假设500台接入层交换机，汇聚层交换机为5台，核心层交换机为2台

表7：光模块需求

光模块种类	位置	数量	核心假设
10G	服务器与接入层交换机之间；接入层交换机与汇聚层交换机之间	$25*250*2*2+2*250*2*2=27000$	为排除单点故障，每台服务器都要有机柜顶部2台接入交换机交叉直连；每台接入交换机上行都有2台汇聚交换机互联；
40G	汇聚层交换机与核心层交换机之间	$5*2*2=20$	每台汇聚交换机上行与所有核心交换机交叉直连。5台汇聚层交换机与2台核心层交换机互联
100G	核心层交换机与骨干网或城域网之间	$2*2*2=8$	每台核心交换机有2路输出，下行与汇聚层交换机相连，每台核心交换机与所有汇聚交换机两两互联。2台核心层交换机与城域网或骨干网连接。
总计		27028	其中40G及以上的高速光模块数量在28个

- 机柜每台占地面积3-5 m<sup>2</sup>，取均值4，占地1000 m<sup>2</sup>的数据中心机柜数为250台，服务器数量为6250台
- 以飞速(FS)交换机为例，一台叶交换机有48个下行10G光端口
- 根据设计网络时需要考虑的一个重要因素是收敛比不能超过3:1，对应的叶交换机、脊交换机数量分别为：131台、4台

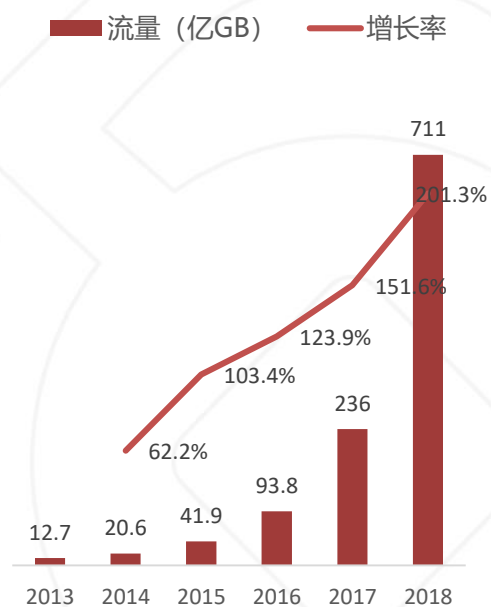
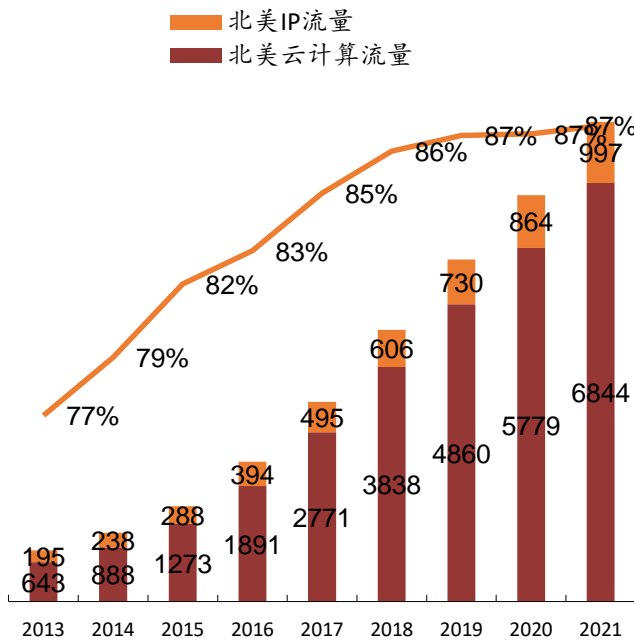
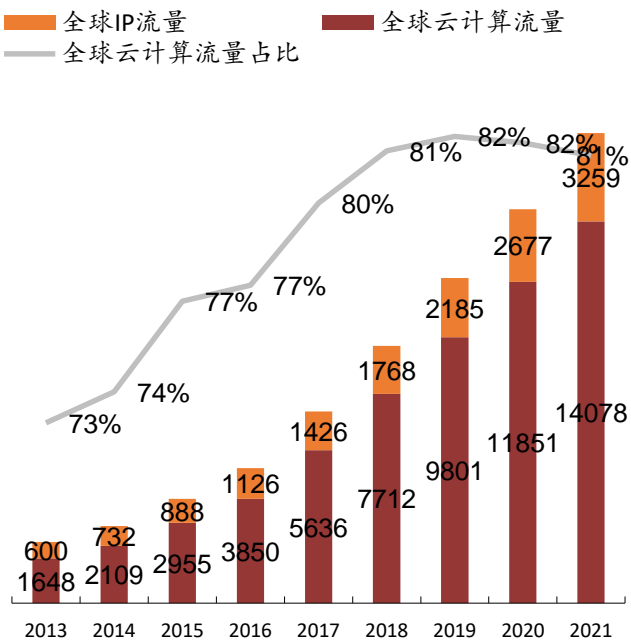
**表8：光模块需求**

速率	位置	数量	核心假设
10G	服务器与接入层交换机之间；接入层交换机与汇聚层交换机之间	$25*250*2*2=25000$	叶交换机有48个下行端口，尽可能使用最少的叶交换机，则最少需要131台；每台服务器都与两台叶交换机直连
40G	汇聚层交换机与核心层交换机之间	$131*4*2=1048$	根据收敛比不超过3:1，叶交换机下行带宽 $48*10G=480G$ ，上行带宽最大为 $480G/3=160G$ ，则最多可以连接 $160G/40G=4$ 台脊交换机
100G	核心层交换机与骨干网或城域网之间	$4*2*2=16$	每台脊交换机有2路输出
总计		26064	其中40G及以上高速光模块数量在1064个

- 全球超大型数据中心数量预计由 2016 年的 338 个增长至 2021 年的 628 个（占比达 53%），CAGR 达 13%
- 全球数据中心总流量将由 2016 年的 6819EB 增至 2021 年的 20555EB，CAGR 达 23%
- 由数据中心内部流量和数据中心互联流量组成的横向流量占数据中心总流量约 85%

图20：2013-2018年全球及北美数据中心流量增长情况

图21：中国数据中心流量增长情况





## ● 测算逻辑

–按照全球服务器数量、上述两模型服务器数量与光模块数量的比例关系，考虑到产品迭代、价格变化等因素后，进行测算

## ● 关键假设

–2021年随着5G应用落地，机架增速将显著提升。按照Gartner预测，全球IDC机架数在2020年将达到498.5万个

–数据中心规模有大中小型之分，假设平均下来单机架服务器数量为12台（参考Gartner公布的全球机架数与服务器数比例）

–叶脊构架占比逐渐提升，400G会逐渐对100G形成替代，100G替代40G，10G光模块会向25G演进

–光模块价格逐年下降20%

**表9：全球数通光模块需求**

年份	单位	2019	2020	2021	2022
全球数据中心机架数	万座	496	546	600	660
服务器数量	万个	5952	6547	7202	7922
10G&25G光模块数量	万只	24951	24910	25957	27034
40G光模块数量	万只	246	102	32	16
100G光模块数量	万只	1669	1769	1951	2147
400G光模块数量	万只	83	141	293	537
10G&25G光模块价格	美元/只	20	18	16	15
40G光模块价格	美元/只	200	160	128	102
100G光模块价格	美元/只	160	128	102	82
400G光模块价格	美元/只	625	500	400	320
市场规模	亿美元	82.9	83.3	84.9	89.2

说明：光模块产品众多，预测单价和销量以主流产品的平均单价和主流产品的类比销量做替代，市场空间为近似测算

## ● 测算逻辑

–按照全球国内服务器数量、上述两个模型的服务器数量与光模块数量的比例关系，在考虑到产品迭代、价格变化等因素后，进行测算。

## ● 关键假设

–根据工信部《全国数据中心应用发展指引（2018）》，17年国内机架166万，假设19-20年增速15%，之后逐步递增至20%

–国内叶脊构架占比提升速度略小于全球，国内光模块产品结构低一些，高端光模块对低端光模块的替代速度会更慢

–10G光模块价格逐年下降10%，10G以上高端光模块价格逐年下降20%

**表10：国内数通光模块需求**

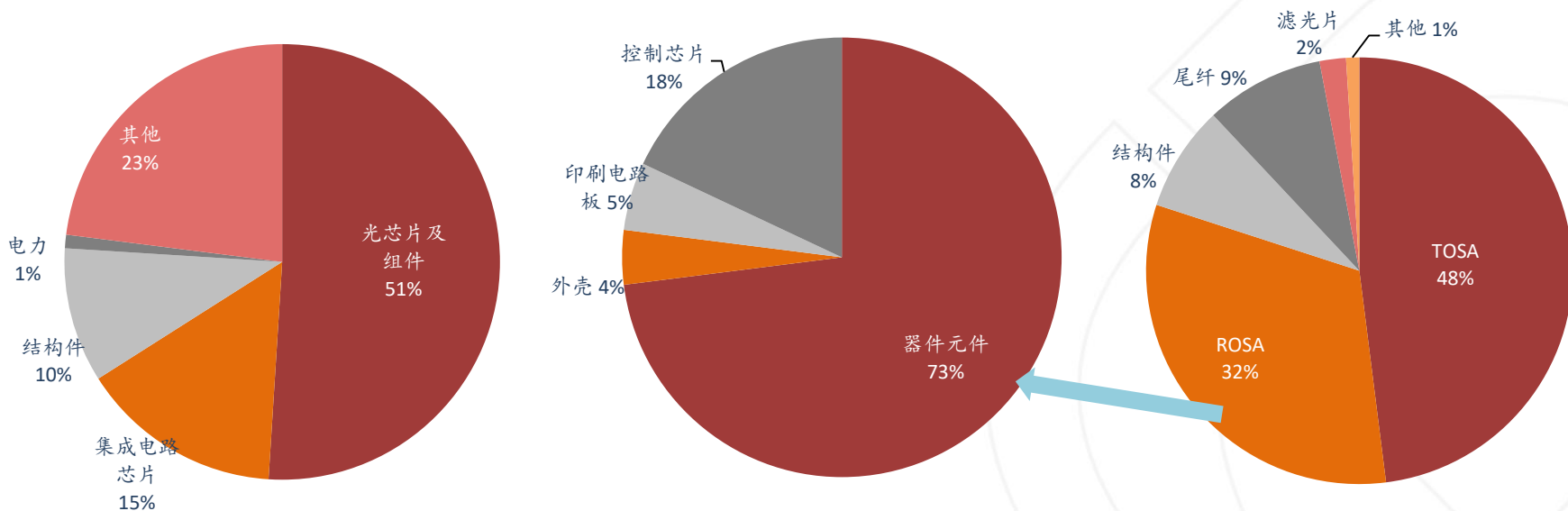
年份	单位	2019	2020	2021	2022
国内数据中心机架数	万座	220	253	299	358
服务器数量	万个	2640	3036	3582	4299
10G&25G光模块数量	万只	11109	12678	14846	17677
40G光模块数量	万只	96	70	67	47
100G光模块数量	万只	632	773	966	1225
400G光模块数量	万只	32	62	145	306
10G&25G光模块价格	美元/只	20	18	16	15
40G光模块价格	美元/只	200	160	128	102
100G光模块价格	美元/只	160	128	102	82
400G光模块价格	美元/只	625	500	400	320
市场空间	亿美元	36.2	36.9	40.6	46.1

说明：光模块产品众多，预测单价和销量以主流产品的平均单价和主流产品的类比销量做替代，市场空间为近似测算

- ◆两产业拐点：芯片和速率，核心制约因素减弱
- ◆两市场共振：海外数通拐点，国内通信渐强
- ◆价值变迁：从高端产品向国产替代+成本控制转变
- ◆投资建议：核心技术突破+大订单+业绩反转

- 芯片占成本66%，其中光芯片占成本51%，是成本最大的一部分
- 光收组件如 TOSA 和 ROSA 的价值占比最高，约占 73%的价值量，而在光收发组件中—实现电光转换的激光器（DFB）和光电转换的探测器（APD）等芯片器件占据近 80%的价值量—各类元器件成本及封装成本等占据20%价值量

图22：光模块成本结构占比



数据来源：中际旭创、OFWeek

- 中际旭创公司在 10G/25G/40G/100G 产品技术路线选择正确，产品良率和成本控制能力领先，技术与研发能力领先光通信行业同仁
- 产业链多家公司逐步推出 400G 产品，客户送样和认证进展顺利完成，有利于光模块领域毛利率改善

图23：2016-2019年中国主要光模块公司毛利率变化

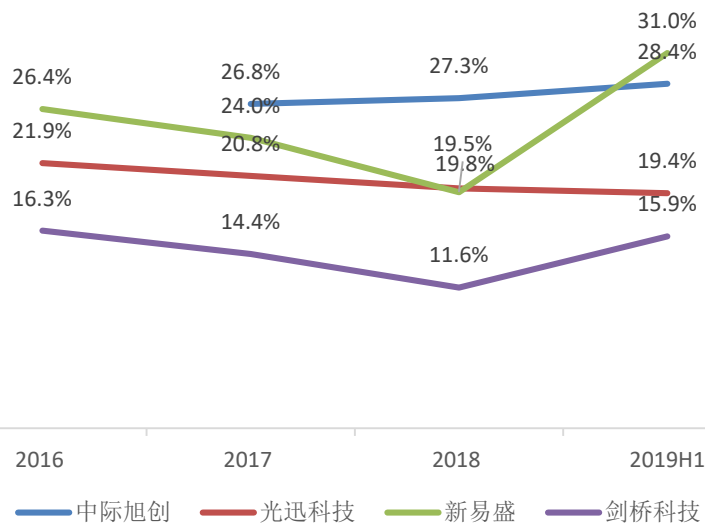
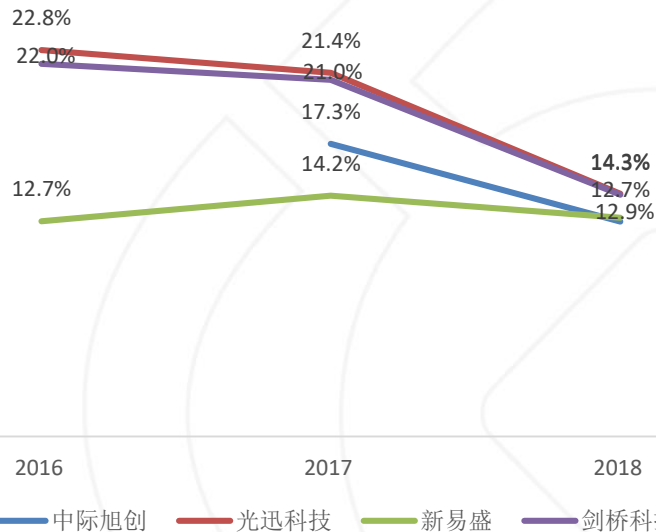
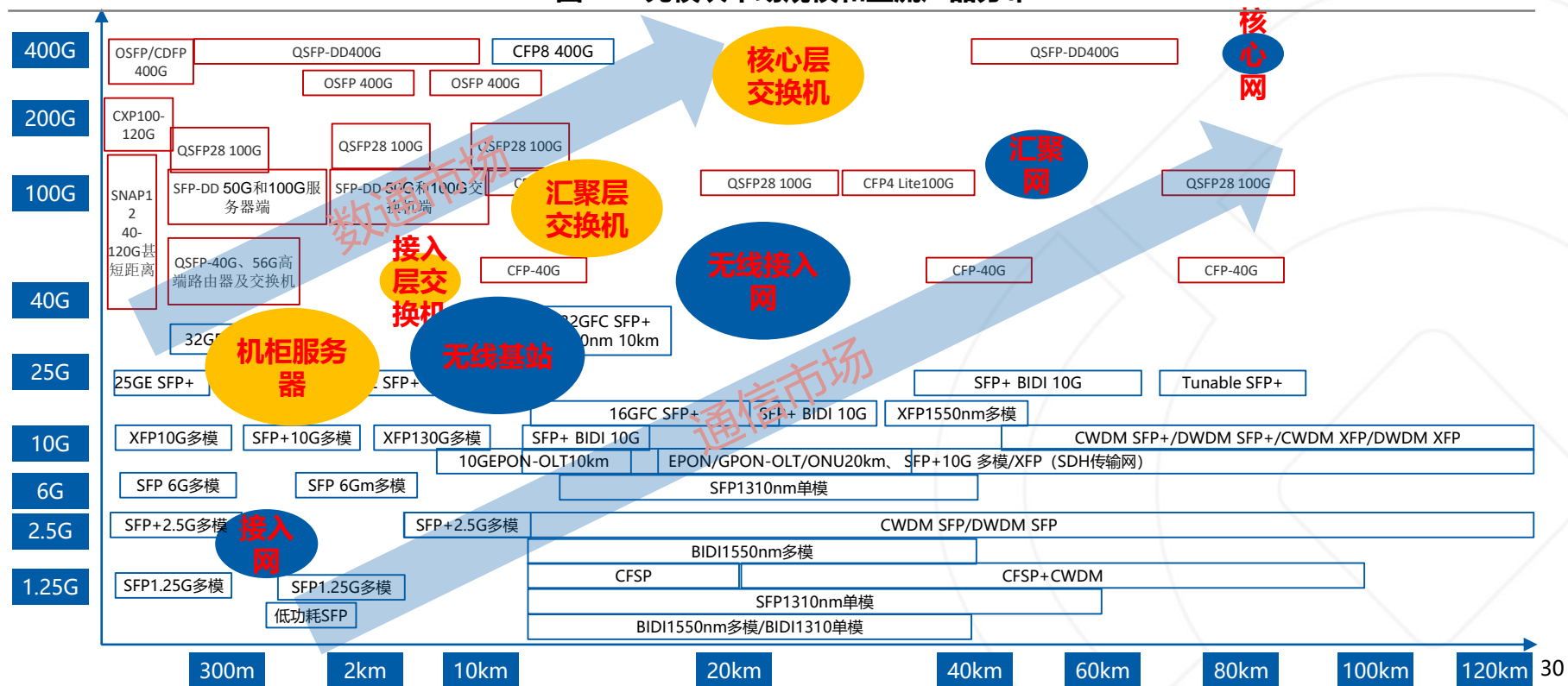


图24：2016-2019年研发支出、管理费用、销售费用占营收比



- 不同封装在单/多模光纤上传输距离差异巨大。速率=通道数\*每通道运行速率，改变通道数可以改变光模块速率
- 当前通信10G和数通100G产品种类最为齐全，是市场主力。未来将变为25G和400G
- 数通产品的系列性更好，通信产品的应用场景更加复杂，导致产品型号更为多样
- 100G\200G\400G高速长距离光模块在数通和通信市场都能够使用

图25：光模块市场规模和主流产品分布



**表11：400G/100G高端光模块电芯片主要品类及研发难度**

公司名称	400G相关产品	出货、送检、研发情况	100G相关产品	出货、送检、研发情况
中际旭创	400G QFSP-DD FR4、400G QFSP-DD SR8、400G OSFP AOC 等	1、市场采购需求已经显现，也已经实现了小批量出货； 2、募集17亿元用于400G光模块的研发生产	100G QSFP28、100G Single Lambda、100G SFP-DD AOC	2018年全年100G产品出货量达到了上年同期出货量的280%
光迅科技	400G OSFP SR8、400G QSFP-DD SR8、400G OSFP AOC等	1、400G全系列产品日益完善，具备为下一代数据中心提供整体解决方案的能力。 2、在未来2-3年内实现大规模商用400G的部署和互联。	100Gbps QSFP28和有源光缆 (AOC)、100Gbps中短距光收发模块	100G硅光芯片通过客户的测试具备量产条件
新易盛	400G QSFP-DD DR4/SR4等	成功研发出200G、400G光模块产品，部分产品已通过验证并实现量产	100G QSFP28	批量交付100G光模块、掌握高速率光器件芯片封装和光器件封装
海信宽带	400G QSFP-DD FR4 等	成功突破400G QSFP-DD和400G OSFP技术	100G CFP2/CFP4、100G PSM4、CWDM4/PSM4	100G技术已逐渐成熟
易飞扬	400G QSFP-DD SR8/FR8/DR8等	与AT&T，就400G QSFP56-DD AOC等产品签署战略合作备忘录	GPP-55192-ERC/GCP-XX192-ERC CWDM/GDP-XX192-ERC DWDM	顺利通过国内外设备商光传输测试的100G CFP-DCO相干光模块
铭普光磁	400G QSFP-DD SR8 等	400G光模块目前在研发阶段	100G QSFP28、100G AOC	100G以下光模块目前能够量产
立讯光电	400G QSFP-DD AOC、400G QSFP-DD SR8等	携手Innovium演示最新100G~400G光电互联产品	100G QSFP28 SR4/PSM4/CWDM4光模块 & AOC(有源线缆)	5G前传的100G & 25G系列产品已经完成批量生产
华工正源	400G QSFP-DD SR8 等	于OFC发布400G光通信和5G无线高速模块	100G QSFP28、100G CFP2	100G AOC产品已经开始规模出货

- ◆两产业拐点：芯片和速率，核心制约因素减弱
- ◆两市场共振：海外数通拐点，国内通信渐强
- ◆价值变迁：从高端产品向国产替代+成本控制转变
- ◆投资建议：核心技术突破+大订单+业绩反转

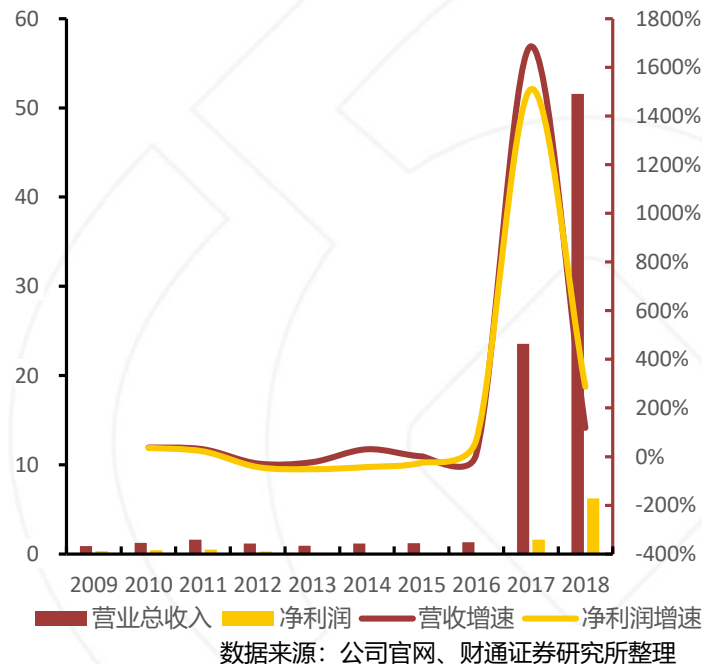


- 光模块产能、良率（100G良率90%）、成本控制较好。400G市场份额50%，19年预计30万只左右，谷歌6-7成、亚马逊2成、思科和其他客户占20%，2020年数量增长100%。贸易战关税对方承担，已建立海外代工厂可实现境外出货
- 数通市场19年比18年会增长：亚马逊、思科19Q2起要货持续增多，谷歌Q4要100G。竞争对手无法快速大量交付100G
- 通信光模块：主要做高端产品，传输、中传、后传，毛利和数通相当
- 亚马逊19年100G和400G都在用，2020年更多用400G。国内2020年主要还是100G，2021年才会用400G
- 重点客户：Amazon、Google、Facebook、思科、华为、阿里、腾讯等

表12：公司主流产品及应用场景

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
光模块	400G	400G QSFP-DD、400G OSFP		主要应用于400G以太网、数据中心和云网络。
	100G	100G QSFP28/ Single Lambda、100G CFP4		主要应用于100G数据中心内部网络、数据中心互联、城域网、5G网络等环境。
	40G/25G/10G	40G QSFP+、25G SFP28、10G XFP、10G SFP+		广泛应用于大型数据中心、园区网络、城域网等环境。
智能部分产品线	空调、冰箱压缩机定子生产线	采用独有的专利技术能够适应小槽口、高槽满率电机定子的生产需要		该系列生产线适应于定频、变频空调和冰箱压缩机电机定子的自动化生产。
	汽车发电机定子生产线	，能够实现高槽满率、高效能电机定子的自动生产。		该系列生产线适用于汽车发电机定子的自动生产。
	新能源汽车定子生产线	能够实现多股漆包线的并行无交叉绕制和嵌线，保持漆包线在嵌线模具中单根排列，互不交叉，绕线效果好，自动化程度高	 	该系列生产线适用于新能源汽车电机定子的自动生产

图26：2009-2018年营业收入、净利润及增速

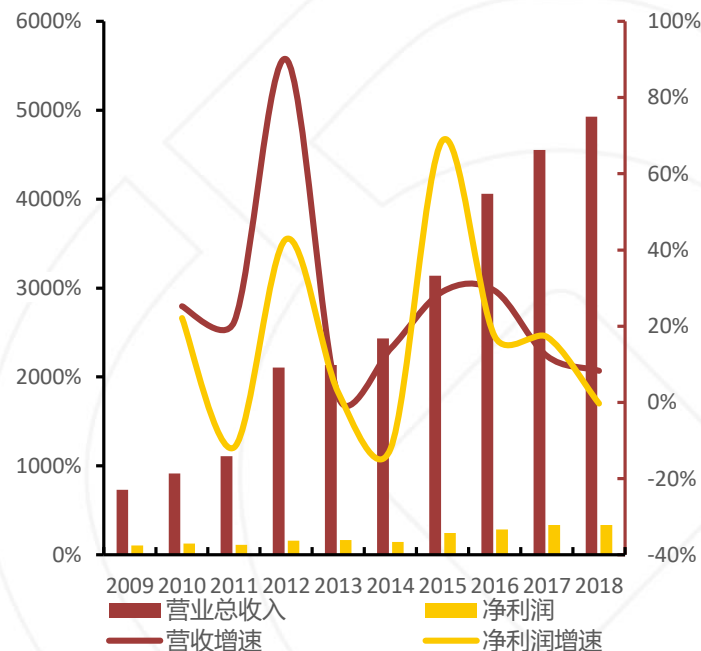


- 4Q17-3Q18年度内光迅科技占全球市场份额约7.1%，行业排名第四，同比上升一位
- 10G 激光器、探测器芯片及 PLC/AWG 芯片制造工艺以及配套 IC 设计、封测能力；25GPD探测器已量产
- 10G芯片全自产，25G10-20%自产，电芯片100%外购。芯片自产对能力帮助很大，毛利率市场占优
- 主要销往欧洲。美国销量月1000万美元/年，对美国依赖性不强，贸易战加税影响不大
- 重点客户：华为、烽火、中兴、运营商

**表13：公司主流产品及应用场景**

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
传输类产品	光传输收发模块	客户侧和线路侧模块10Gbps XFP/SFP+、40Gbps/100Gbps CFPx/400G OSFP 等		中短距、中长距电信网络传输
	光纤放大器	掺铒光纤放大器、拉曼放大器和混合光放大器		光纤通信线路中，实现信号放大，光传送网所需的光器件
	各类无源光器件	AWG、VUMX、WDM、VOA、OPM 等光传送网所需的光器件		光传送网络 (OTN)、光纤到 (FTTH、无源光网络 (PON)、可重构光分插复用系统 (ROADM)
接入类产品	固网接入类产品	GPON OLT/ONU 的BOSA/BOX, 10Gbps PON (10G EPON/10G GPON) 以及TWDM PON光收发模块		主要应用于接入网光纤到户 (FTTH)
	无线接入类产品	4G LTE/5G网络用 6Gbps/10Gbps/25Gbps/50Gbps/100Gbps中短距光收发模块		中短距光收发模块
数据通信产品	光电器件、模块、板卡、AOC产品	10Gbps/25Gbps SFP /SFP+光收发模块, 40Gbps QSFP /100Gbps QSFP28和有源光缆 (AOC) /400G QSFP DD 等产品		主要用于数据中心、企业网、存储网等领域

**图27：2009-2018年营业收入、净利润及增速**

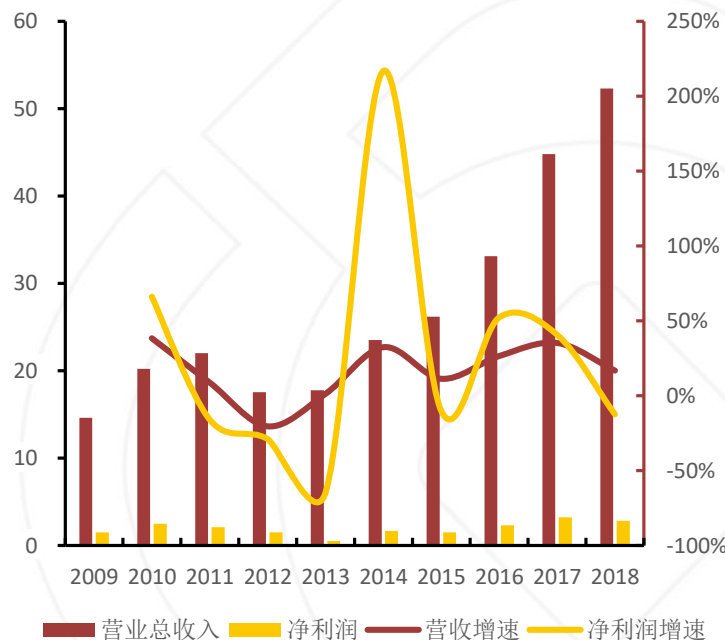


- 放弃了部分低毛利率智能终端业务，围绕5G和数通布局高速光模块，提供全套解决方案；虽然收入规模有所下降，但光通信业务毛利率提升至11.81%。
- 通信前传25G导入全球四大设备商并实现批量交付，华为2018年度全球金牌供应商奖
- 10G光芯片实现量产，25G光芯片及器件送样，100G双速率海外批量发货，400G产品开始小批量试产
- 重点客户：华为、中兴、爱立信、诺基亚、运营商

表14：公司主流产品及应用场景

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
能量激光领域	激光制造加工解决方案	激光精密微细制造设备、大功率数控激光制造装备”、数控精细等离子切割系列、激光器及核心部件		激光制造加工
	汽车行业应用	漫威系列光纤激光切割机、奥博三维五轴激光切割机系列新产品		白车身顶盖焊接、汽车保险杠加工、等离子厚板切割
	激光微加工	激光标记、焊接、切割、精细微加工设备、PCB/FPC装备、新能源装备、显示及半导体装备和自动化产线		聚焦激光精细加工领域深耕
信息激光领域	端到端产品线和整体解决方案	具备从芯片到器件、模块、子系统全系列产品的垂直整合能力，产品包括有源光器件、智能终端、无源光器件、光学零部件等		致力于成为国际一流光电企业，服务全球顶级通信设备和数据应用商
	激光全息防伪技术	主要开发生产专版定位镭射烫金膜、专版不定位镭射烫金膜、通用版镭射烫金膜、镭射防伪包装材料、全息水转印定位花纸等产品		在烟草、酒类、医药、日化等名优产品的防伪和包装，以及证卡防伪和证件防伪
传感器领域	物联网用新型传感器的产业化	家电、汽车、OA、医疗、消费类电子、航空航天等领域提供温度、湿度、光、空气等多维感知和控制解决方案		致力于物联网用新型传感器的产业化

图28：2009-2018年营业收入、净利润及增速



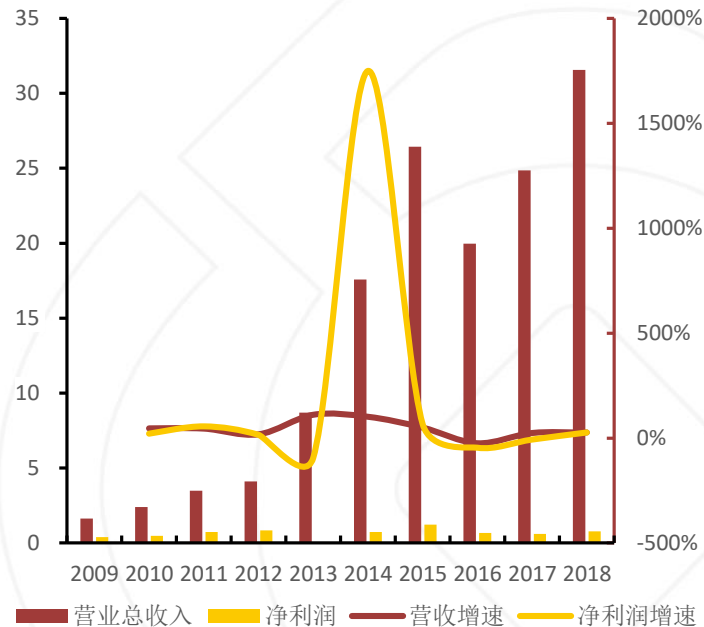
数据来源：公司官网、财通证券研究所整理

- 2018年/2019年分别收购MACOM/Oclaro日本公司的部分资产，获得LR4是技术转让和CWDM是技术授权，100G及更高速光模块和组件的技术、产权、工艺。工厂搬回上海，考验整合能力、技术能力、成本能力等
- 目前公司非公开发行项目已经获得证监会受理，募投项目将大幅提升公司的高速光模块产能
- 重点客户：华为、诺基亚、HPE-Aruba、ACTIONTEC、FPT、烽火通信、上海贝尔、瑞斯康达、深圳创维等

**表15：公司主流产品及应用场景**

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
传输/基站	传输类产品	光纤接入产品 PON (GPON, EPON, 10G PON): SFU、MDU; 局端设备: Open OLT (JDM)、2.5G SFP PON Mac 模块、10G SFP PON Mac 模块; 铜线接入产品: VDSL2 CPE		面向固网运营商，基于各种有线宽带技术，应用于家庭或者楼道，实现多业务综合接入
	无线网络与小基站	企业及运营商级 WLAN 产品、AP 产品、家用无线互联产品		实现无线接入和无线互联，应用于电信、企业及各种商业环境
		4G/5G 移动通信小基站		4G/5G 分布式移动通信小基站
物联网	工业物联网基础硬件	工业 AP、AR 系列路由器、工业以太网交换机、物联网网关等		工业环境下的数据传输与智能控制，应用于工业与智能制造领域。
光模块	高速光组件与光模块	200G TOSA/ROSA: FR4、400G TOSA/ROSA: FR4、100G 光模块: SR4, AOC, CWDM4, LR4, ER4、100G 光模块: DR, FR, LR、200GFR4、400GDR4, FR4, LR4, SR8、4×FR, 4×LR, 等等		电信运营商和数据中心，用于骨干传输网，城域网和接入网领域，也用于数据中心内部互联。
		XG-PON和 XGS-PON 光模块、工业温档 5G 无线网络前传光模块 25G DUPLEX 及 BIDI 模块工业温档 5G 无线网络前传光模块 100GCWDM/DWDM/LRTOSA/ROSA 及模块 5G 回传光模块 50G 基于 PAM4调制技术		面向海内外无线运营商，产品主要运用于企业级无线接入和电信级基站市场，以及家庭无线综合接入。

**图30：2009-2018年营业收入、净利润及增速**



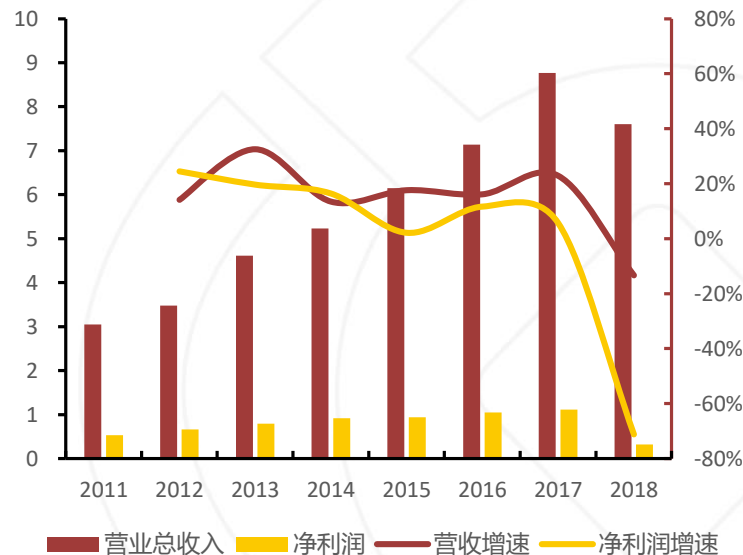
数据来源：公司官网、财通证券研究所整理

- 5G光模块：19年降低PON产品收入占比（2018年14.7%），向中高端转型，高速率收入占比越来越大
- 高速率光模块光器件：批量交付100G光模块、掌握高速芯片封装和光器件封装，与国外巨头合作出样业界最低功耗的400G系列光模块，进入大客户产品验证，预计Q4实现销售收入
- 参与了5G承载工作组组织的5G光模块测试，送测光模块最多，所有送测产品均顺利完成全部测试
- 重点客户：中兴、烽火通信、运营商

表16：公司主流产品及应用场景

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
光模块	点对点光模块	SFP, GBIC, XFP, COPPER SFP, CWDM		主要应用于电信骨干网
	PON 光模块	BIDI, XENPAK, CISCO, SF		主要应用于终端接入
	组件	NETWORK, TRANSCIEVER, MODULE, FIBER, OPTICA		覆盖了数据宽带、电信通讯、数据中心、安防监控和智能电网等行业

图30：2011-2018年营业收入、净利润及增速

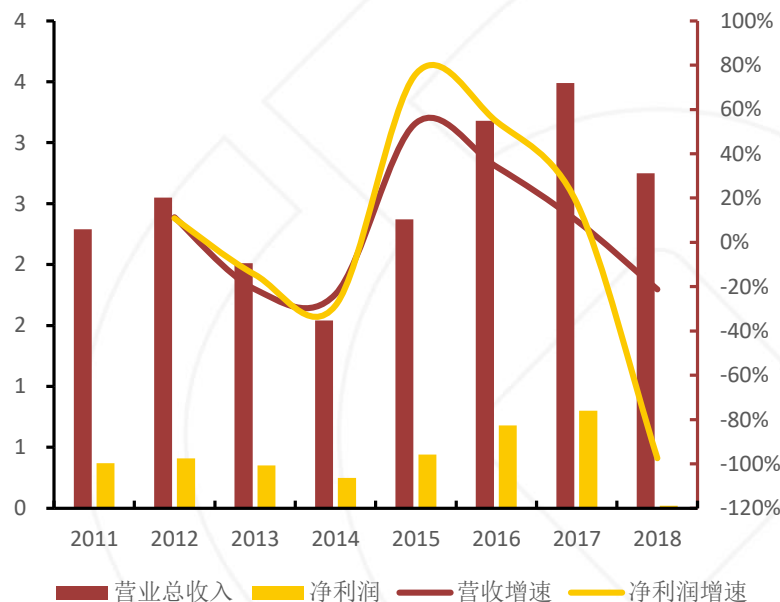


- 5G推动电信运营商传输网升级扩容，2020年局端光模块、终端大规模出货。博创10Gpon产能3-5万只/月，密集波分产品持续受益
- 18年7月成都迪谱（主要做封装）并表，中兴10Gpon局端波分模块增加，通过华为认证19年7月份参与招标。
- 国内数通突破：收购英国Kaiaam公司PLC资产，具备全球较领先PLC芯片制造能力，如AWG、MEMS芯片等
- 重点客户：中兴、华为、运营商

**表17：公司主流产品及应用场景**

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
光器件	光无源器件	PLC光分路器、集波分复用 (DWDM)、阵列波导光栅 (AWG)、可调光功率波分复用器 (VMUX)、可调光衰减器 (VOA)		电信传输网及接入网和数据通信
	光有源器件	40G、100G光接收组件 (ROSA) 及光收发模块、用于光纤接入网 (PON) 的光收发模块		光电能量转换

**图31：2011-2018年营业收入、净利润及增速**



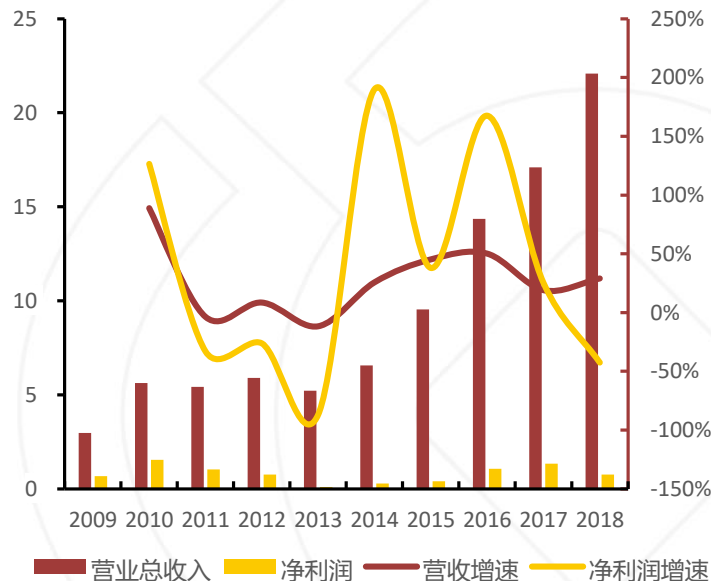
数据来源：公司官网、财通证券研究所整理

- 研发中心在美国，激光器在法国，激光光源在加拿大，参股IOC做wuss和自动开关总系统
- 19年收入无源70%，有源10%，20%工业激光、汽车雷达、电子烟等。19年开始做短距100G有源器件
- 公司泵浦器和华为公司合作，2019年良率从50%提升到70%，激光芯片、泵浦激光器拉动对华为出货量增长50%，其中40%是无源，10%是有源。
- 重点客户：nokia20-25%、华为15%、sienna15%、intel5%，中兴4%、数据中心10%左右

**表18：公司主流产品及应用场景**

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
光网络产品	数据中心	AMPLIFIER、COUPLER & CONNECTOR、FREE SPACE ISOLATOR、ICR、ISOLATOR & HYBRID、MICRO OPTICS、POLARIZATION MAINTAINING、PUMP LASER、SIGNAL MONITORING、TUNABLE FILTER、VOA & SWITCH、WDM		电讯和数据中心
	光纤激光器	kW Fiber Laser Blade、Panda NT – Fiber Laser for LiDAR、1.5kW Fiber Laser System、6kW Fiber Laser System、2kW Fiber Laser System		大功率光纤激光器系统
工业应用产品	机器视觉	SV通用视觉系统、连接器系统、机械手系统		机器视觉
	电子烟配件	玻纤绳发热电阻丝、有机棉发热电阻丝、陶瓷发热电阻丝、空心圈发热电阻丝		全球领先的电子烟自动化设备及零配件供应商
	手机部件	指纹保护片镀膜、陶瓷 (Logo + AF) 镀膜、摄像头镀膜、玻璃镀颜色膜		智能手机、高端消费电子类产品的光学镀膜业务

**图32：2009-2018年营业收入、净利润及增速**

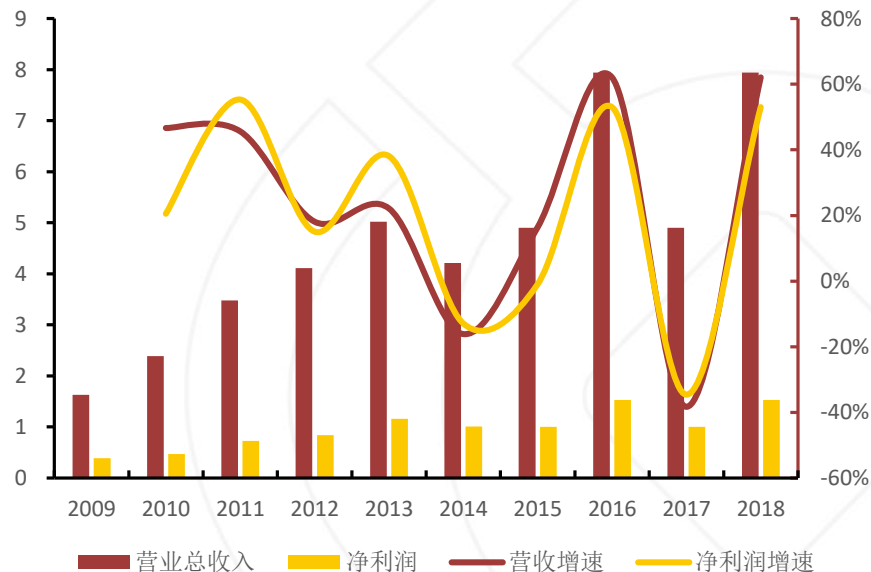


- 2019年H1营收4.3亿，同比增长43%，毛利率34.78%，同比增长2.73PP，盈利能力明显提升
- 给康宁供应光纤连接器，扩展到插芯和配套组件。公司在北美另一互联网巨头获突破，逐步上量
- 北美数据中心从100G向400G演进，连接器从12/24芯向16/32芯升级，MTP/MPO连接器价值量大幅提高
- 收购整合景德镇和川粉体和广东瑞芯源，完成了陶瓷插芯从上游粉体到成品制作的全产业链布局
- 重点客户：产品主销国外 客户以欧美为主

**表19：公司主流产品及应用场景**

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
光通信产品	光无源器件	陶瓷插芯、光无源器件、光无源器件、光分路器、光分路器		数据中心，通信领域
光传感产品	光纤传感器	光纤光栅、光纤光栅、光纤光栅、解决方案		大型变压器、开关柜、高压电抗器、高压电缆等电力设备在线检测/带电检测/状态检修的重要手段

**图33：2009-2018年营业收入、净利润及增速**



数据来源：公司官网、财通证券研究所整理

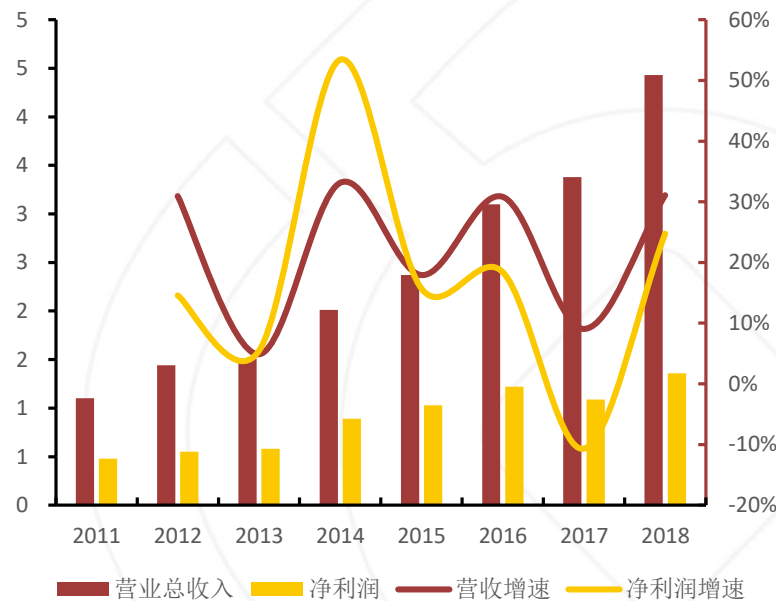


- 下游光模块会降价，公司卡位上游，具有良好的价格控制能力。新品的研磨、光路对接、耦合等良率最高
- 隔离器、MPO、OSA代工等新产品持续释放，多个产品实现量产，主要产品和技术行业内领先
- 设立美国子公司加大海外拓展力度，18年海外收入占比35%，19H1营收增长国内8.48%，海外44.52%
- 收缩国内低毛利客户，2019H1毛利率53.97%，同比提升5.26PP；
- 重点客户：主要是光模块公司，与主设备公司关系不大

**表20：公司主流产品及应用场景**

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
光器件	有源/无源器件	氧化锆陶瓷产品线、CNC金属精密产品线、光收发组产品线、OSA ODM/OEM产品、隔离器产品、线缆连接器产品、SC/ADAPTERS 部分产品类型		电信通信、数据通信、物联网等领域
解决方案	有源解决方案	高速率同轴器件封装解决方案，高速率BOX器件封装解决方案，AWG系列光器件无源解决方案等		一站式提供多种高速率器件、多种封装方案
	无源解决方案	AWG WDM 系列、TFF WDM 系列、SR 系列、AOC 系列、PSM4 系列无源光器件无源解决方案等		高端无源器件整体解决方案






**图34：2011-2018年营业收入、净利润及增速**



数据来源：公司官网、财通证券研究所整理

- 成立于2003年，是海信集团旗下专业从事高性能光通信产品和家庭多媒体产品研发、生产、销售及服务的公司。产品主要销往北美、欧洲、亚洲等全球多个国家和地区
- 2019年7月，海信宽带终端事业部推出第二代I-PON光融合一体机产品，并开始大批量发货，该产品采用海信自主研发光芯片方案，技术全球领先，在大客户招标中以巨大优势取得头名
- 重点客户：国内三大电信运营商和广电运营商、科通芯城

**表21：公司主流产品及应用场景**

类别	主流产品	产品	产品图	应用场景
光通信	接入网	NGPON 2、XGPON/XGSPON、10G EPON、GPON/EPON、BiDi/CSFP、CPON、25G EPON		数据接入
	数据中心	Fiber Channel、Ethernet、Optical Interconnection		数据处理
	传输网	SFP、SFP+、CFP2、SFP28、XFP、QSFP28、		数据传输
	无线网	3G/4G Wireless Network、5G Wireless Network Fronthaul、5G Wireless Network Middlehaul&Backhaul		数据传输
终端产品	网络融合终端、ONT BOX、IPTV 机顶盒、有线广播机顶盒、PON STICK、		数据传输	

代码	简称	主要产品	总市值/亿 (8.30)	收盘/元 (8.30)	EPS			PE		
					2018A	2019E	2020E	2018A	2019E	2020E
300308.SZ	中际旭创	数通高速光模块	287.65	39.55	1.31	0.94	1.37	31.05	42.67	29.32
002281.SZ	光迅科技	光芯片、通信光模块、数通光模块	199.18	28.56	0.51	0.58	0.78	52.29	51.03	37.67
000988.SZ	华工科技	激光器件、通信光模块	192.65	17.42	0.28	0.43	0.53	42.33	44.12	35.95
300502.SZ	新易盛	通信光模块、高速数通光模块	74.53	29.78	0.13	0.73	1.06	147.14	43.47	29.63
0877.HK	昂纳科技	激光泵浦器、激光器件、通信光模块	31.4	3.82	0.34	0.33	0.41	11.03	11.75	9.40
300570.SZ	太辰光	光器件	71.21	30.34	0.66	0.93	1.24	27.65	33.40	25.01
603083.SH	剑桥科技	光模块、光接入终端	40.58	23.92	0.60	0.78	1.26	41.26	30.92	19.18
300548.SZ	博创科技	无源光模块	33.97	38.26	0.03	0.87	1.22	1317.63	46.90	33.35
300394.SZ	天孚通信	光无源器件	66.13	33.17	0.68	0.89	1.14	35.48	37.35	29.16

- 运营商对于传输网络扩容以及 5G 建设进度不达预期或部署方案变化对光模块需求产生影响；
- 国内数据中心市场需求不及预期；
- 中美贸易摩擦加剧，对光芯片等加征关税导致国内光模块厂商产品竞争力下降

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，并注册为证券分析师，具备专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解。本报告清晰地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响，作者也不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

## 资质声明

财通证券股份有限公司具备中国证券监督管理委员会许可的证券投资咨询业务资格。

## 公司评级

- 买入：我们预计未来6个月内，个股相对大盘涨幅在15%以上；
- 增持：我们预计未来6个月内，个股相对大盘涨幅介于5%与15%之间；
- 中性：我们预计未来6个月内，个股相对大盘涨幅介于-5%与5%之间；
- 减持：我们预计未来6个月内，个股相对大盘涨幅介于-5%与-15%之间；
- 卖出：我们预计未来6个月内，个股相对大盘涨幅低于-15%。

## 行业评级

- 增持：我们预计未来6个月内，行业整体回报高于市场整体水平5%以上；
- 中性：我们预计未来6个月内，行业整体回报介于市场整体水平-5%与5%之间；
- 减持：我们预计未来6个月内，行业整体回报低于市场整体水平-5%以下。

本报告仅供财通证券股份有限公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。

本报告的信息来源于已公开的资料，本公司不保证该等信息的准确性、完整性。本报告所载的资料、工具、意见及推测只提供给客户作参考之用，并非作为或被视为出售或购买证券或其他投资标的邀请或向他人作出邀请。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

本公司通过信息隔离墙对可能存在利益冲突的业务部门或关联机构之间的信息流动进行控制。因此，客户应注意，在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的情况下，本公司的员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告仅作为客户作出投资决策和公司投资顾问为客户提供投资建议的参考。客户应当独立作出投资决策，而基于本报告作出任何投资决定或就本报告要求任何解释前应咨询所在证券机构投资顾问和服务人员的意见；

本报告的版权归本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。



请搜索：**通信涛略**  
或扫描二维码

## 财通通信团队简介:

李宏涛，北京邮电大学经济学硕士，十五年通信互联网实业和3年金融从业经验。曾就职于中国电信集团、方正证券研究所、凯盛融英、中航基金专户部，2018年加入财通证券研究所任通信首席分析师。

赵晖，复旦大学金融学硕士，3年通信行业研究经验，曾就职于国金证券、国泰君安证券，2019年2月加盟财通证券研究所任通信组分析师。

多谢聆听！





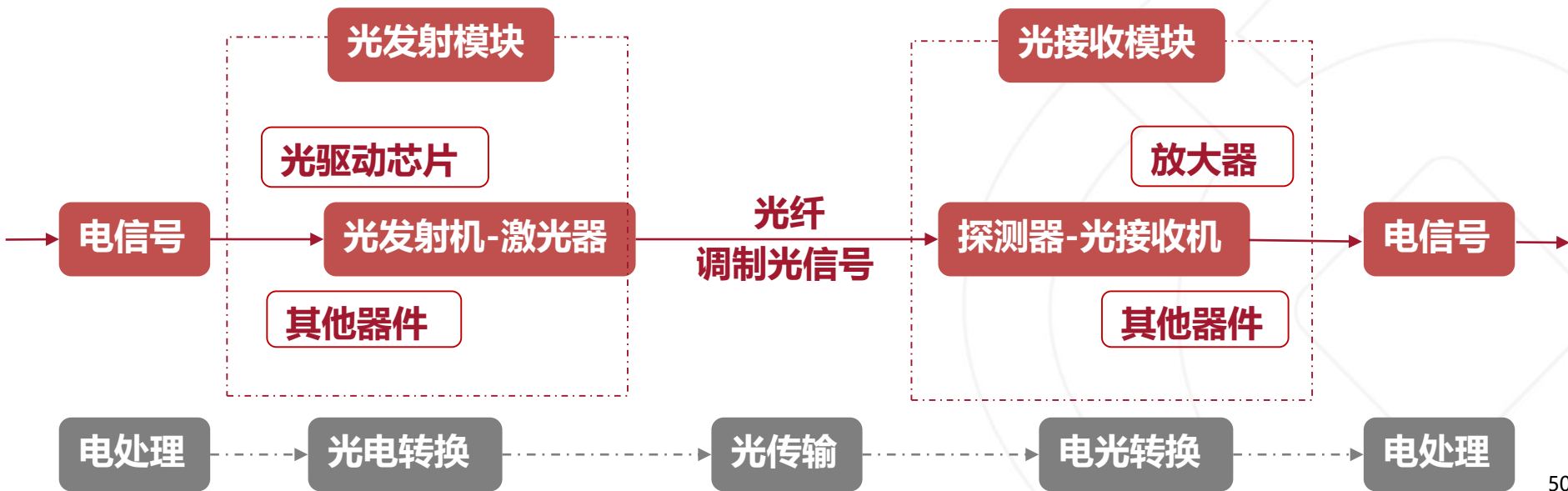
财通证券

CAITONG SECURITIES

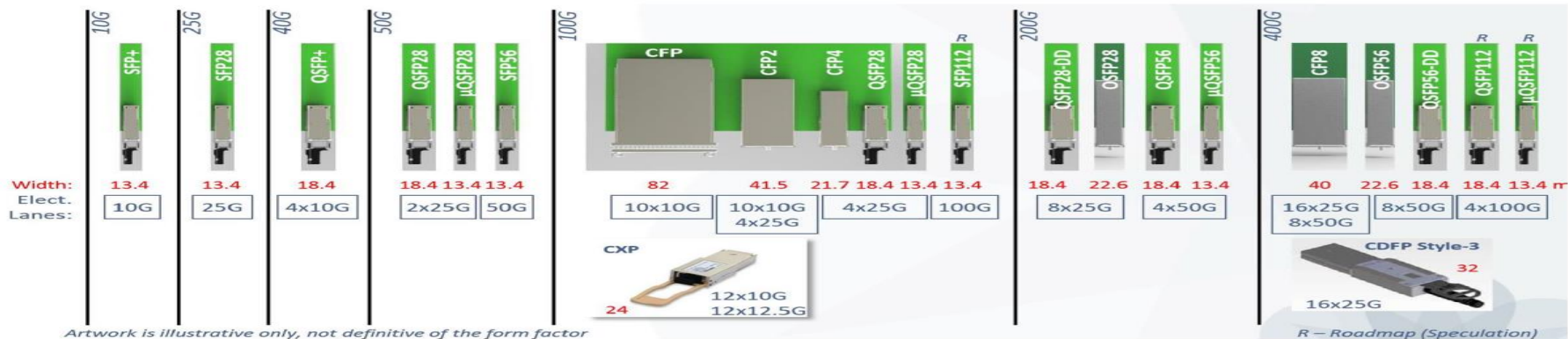
更懂你的综合金融服务商

- 光模块：利用半导体材料（例如InP系和GaAs系等）内部能级跃迁过程伴随的光子的产生和吸收，进而实现光电信号的相互转换的电子元器件。
- 光芯片速率越高，光纤通信系统的传输效率越高，但研发、量产的难度也越高。
- 高速光芯片提高传输速率并确保信号质量，控制激光器开启与关闭频率的难度提升。

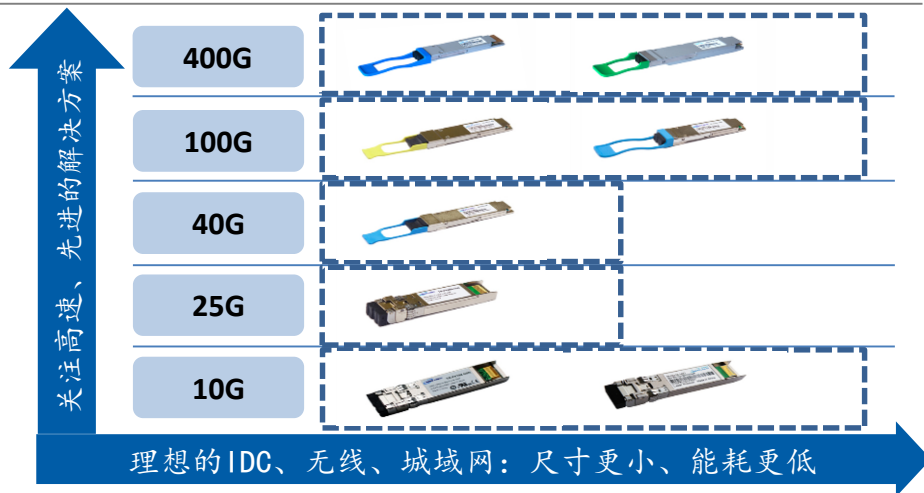
图S1：光模块在光通信系统工作原理



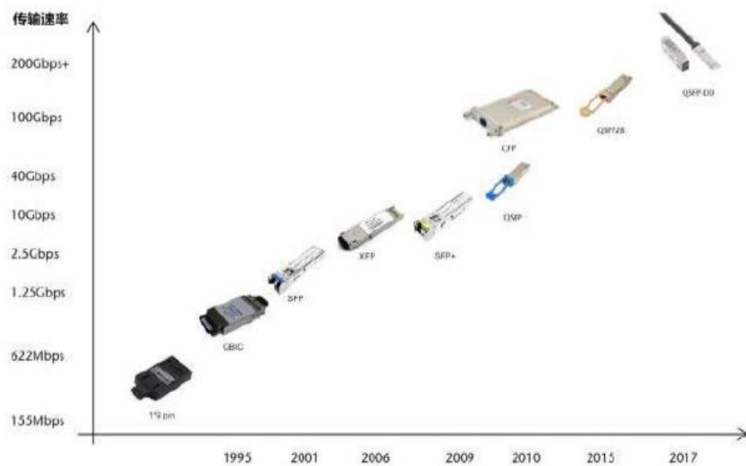
图S2：主流光模块速率与尺寸变动趋势



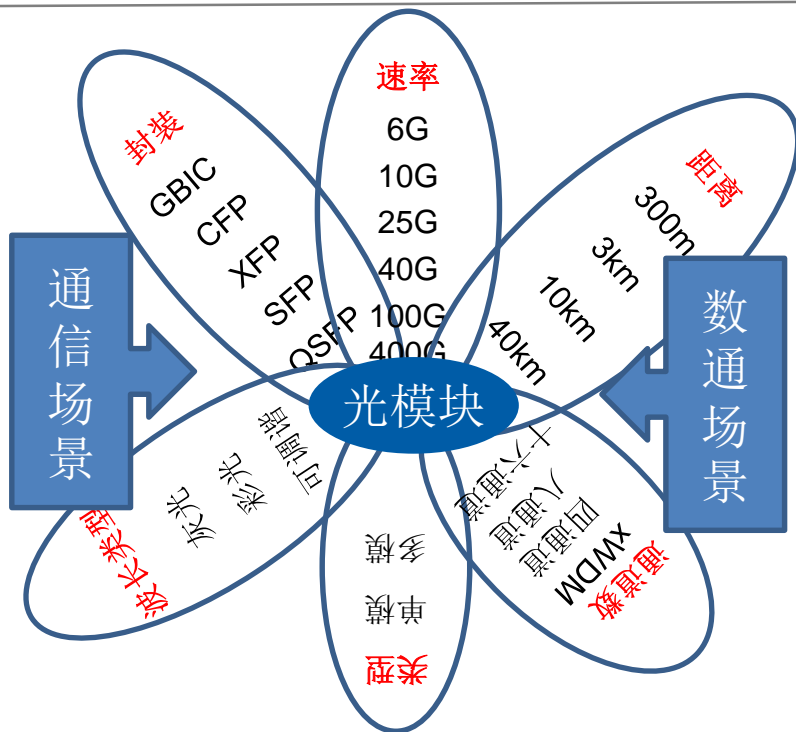
图S3：光模块典型产品矩阵



图S4：光模块产品演进路径



图S5：光模块性能、属性、场景多样，产品型号众多



表S1：光模块性能、属性

封装模式	速率	距离						
		多模			单模			
		850nm	1310nm	1550nm	1310nm	1490nm	1550nm	CWDM
SFP	100/155M	N/A	2km		10-60km		60-160km	40-120km
SFP	1.25G	550m	2km		10-40km		40-160km	40-120km
SFP	2.5G/4.25G	330m	2km		10-40km		40-120km	40-120km
SFP	6G/10G	330m	2km		10-40km		N/A	N/A
BIDI	100/155M			10-40km	10-40km	40-120km	40-120km	
BIDI	622M			10-40km	10-40km	40-120km	40-120km	
BIDI	1.25G			10-40km	10-40km	40-120km	40-120km	
BIDI	2.5G/4.25G			10-40km	10-40km	40-120km	40-120km	
GBIC	100/155M			10-40km	10-40km	40-120km	40-120km	
GBIC	622M			10-40km	10-40km	40-120km	40-120km	
GBIC	1.25G			10-40km	10-40km	40-120km	40-120km	
GBIC	2.5G/4.25G			10-40km	10-40km	40-120km	40-120km	
CWDM						80km	80km	
XFP		300m	10km	40km				
SFP+		300m	220m					
SFP+		82m	10m					
SFP+		66m	10km					
SFP+		33m						
SFP+		26m						