

# 通信

## 光通信的再思考——5G 流量爆发下的数据密度革命

**流量爆发，数据中心步入 400G 势不可挡。**随着全球 5G 商用化进程加速，应用端不断涌现新的大带宽应用，未来全球流量将持续保持高速增长，数据中心南北向流量也将随之迎来大增长。与此同时，云计算、人工智能为主的技术兴起，数据中心内部东西向流量也将爆发式增长，数据中心升级显得刻不容缓。当前数据中心叶脊网络架构结构是主流，使得核心交换机不能通过仅仅堆端口数来提升带宽，必须通过提高端口带宽速率的方式实现升级，而当前 40G/100G 端口密度已逐渐无法满足流量爆发需求，400G 革命势在必行，推荐星网锐捷、紫光股份。

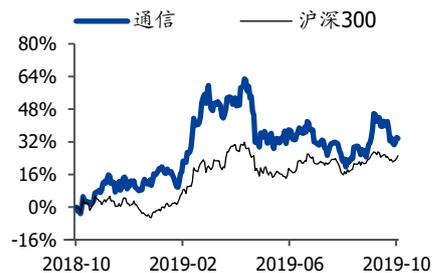
**400G 交换机突破，光模块蓄势待发。**2018 年思科、Arista 等厂商已率先在核心交换机上实现 400G 的升级，并提供多种成熟的解决方案，包括向下支持 40G/100G 的逐步替代解决方案，也有全新的 400G 方案，云厂商无论是升级还是新建数据中心都有成熟的方案可选。主流光模块厂商已实现 400G 光模块小批量供货。随着流量的驱使，中大型云厂商将继续加大对数据中心资本投入的力度，北美四大云厂商即将步入 400G 升级，未来对 400G 光模块的需求将迅速扩大。数据中心必然要升级来满足日益增长流量的需求，数据中心的 400G 密度革命已经开启，推荐新易盛、天孚通信、光迅科技。

**为了实现更快的网络速度，400G 数据中心的布线领域同样面临升级。**如何增加传输通道速率、实现更快速的网络？在数据中心布线领域，以康普公司的解决方案为例，1、通过增加光纤芯数来实现，需要大量采用 MPO 连接器，根据所需芯数不同主要包括 MPO12、MPO24、MPO8、MPO16、MPO32。同时超低损耗的 MPO 会迅猛发展。2、为了增加波长数量，需要使用波分复用技术 CWDW/DWDW/SDWM，需要采用更好的光纤，多模 OM5 光纤将成为主流，主推太辰光。

**大规模数据中心的建设会增加高速 PCB 板的用量。**数据中心承载流量大且传输速度快，向高速大容量高宽带的方向持续发展，对 PCB 的层数和材料要求进一步提高，提升高速高密度多层印制电路板的需求，利好沪电、华正。

增持（维持）

### 行业走势



### 作者

分析师 宋嘉吉

执业证书编号: S0680519010002

邮箱: songjiaji@gszq.com

分析师 程响晴

执业证书编号: S0680519050006

邮箱: chengxiangqing@gszq.com

### 相关研究

- 1、《通信：三季报将近，业绩为王》2019-10-13
- 2、《通信：关注 10 月贸易摩擦进展，聚焦三季报业绩确定性个股》2019-10-08
- 3、《通信：十一国庆 5G 行业要闻集锦》2019-10-06

### 重点标的

股票代码	股票名称	投资评级	EPS (元)				PE			
			2018A	2019E	2020E	2021E	2018A	2019E	2020E	2021E
002396	星网锐捷	买入	1.00	1.22	1.51	1.86	30.45	24.96	20.17	16.37
300502	新易盛	买入	0.13	0.76	1.06	1.28	309.23	52.89	37.92	31.41
300570	太辰光	买入	0.66	0.98	1.36	1.75	44.47	29.95	21.58	16.77
300394	天孚通信	买入	0.68	0.90	1.21	1.58	53.46	40.39	30.04	23.01
002463	沪电股份	买入	0.33	0.68	0.85	0.99	78.21	37.96	30.36	26.07
603186	华正新材	买入	0.58	0.99	1.40	1.79	75.00	43.94	31.07	24.30

资料来源：贝格数据，国盛证券研究所

请仔细阅读本报告末页声明



## 内容目录

1. 投资要件 .....	5
区别于市场的观点 .....	5
2. 5G 时代光模块的再思考——流量爆发下的数据密度革命 .....	6
2.1 流量驱动下的东西向“叶脊架构”需求增长 .....	6
2.2 北美云厂商的资本开支见底回暖 .....	9
2.3 端口密度升级是大型数据中心必经之路 .....	9
3. 400G 数通设备——数据密度革命之主战场 .....	12
3.1 数据中心网络架构的发展历程 .....	12
3.2 400G 时代交换机率先实现最高密度转发 .....	13
3.3 新一代数据中心交换机主要厂商方案 .....	14
3.3.1 思科 .....	14
3.3.2 Arista .....	16
3.3.3 新华三 H3C .....	17
3.3.4 锐捷网络 .....	17
4. 400G 光模块——数据密度革命之急先锋 .....	18
4.1 400G 光模块放量在即 .....	18
4.2 QSFP-DD 或成 400G 光模块主流封装形式 .....	19
4.3 光模块主流厂商的进展情况 .....	21
4.2.1 中际旭创 .....	21
4.2.2 新易盛 .....	22
4.3.3 Finisar .....	23
4.4 主流芯片/收发器厂商的进展情况 .....	24
4.4.1 博通 .....	24
4.5 关于硅光 .....	25
4.5.1 硅光技术简介 .....	25
4.5.2 前路并不平坦，400G 时代或遇发展新机遇 .....	25
5. 数据中心 400G 布线及连接——数据密度革命之新蓝海 .....	27
5.1 数据中心的光学连接方案 .....	27
5.2 光纤连接器标准解析 .....	29
5.3 主流布线/连接器供应商 .....	31
5.3.1 康宁 .....	31
5.3.2 康普 .....	32
5.3.3 太辰光 .....	33
5.3.4 光迅科技 .....	34
6. 高速 PCB 板——数据密度革命之基石 .....	34
6.1 高速 PCB 板在数据中心的使用 .....	34
6.2 主流 PCB/覆铜板供应商 .....	36
6.2.1 深南电路 .....	36
6.2.2 沪电股份 .....	37
6.2.3 生益科技 .....	37
6.2.4 华正新材 .....	38
7. 投资建议 .....	38
8. 风险提示 .....	39

## 图表目录

图表 1: 在新应用尚未爆发情况下, 韩国 KT 5G 人均流量实现 3 倍增长 (GB) .....	6
图表 2: 全球云数据中心流量增长 (单位: ZB) .....	7
图表 3: 2019 数据中心流量分布预测, 数据中心内部流量占 72% .....	7
图表 4: 更加扁平胖宽的叶脊架构 (左) 与传统三层架构 (右) 比较 .....	7
图表 5: 叶脊架构所需高速光模块数量更大 .....	8
图表 6: Facebook 数据中心上一代 4 fabric 网络架构 .....	8
图表 7: Facebook 数据中心整体网络架构 .....	8
图表 8: 光模块出货量及生命周期预测 (2018) .....	8
图表 9: 北美云厂商 2015~2019 的单季度资本支出 (万/USD) .....	9
图表 10: 四家北美云厂商 2015-2019 的单季度资本支出合计 (万/USD) 以及同比、环比增速 (%) .....	9
图表 11: 400G 光模块出货量预测, 云厂商率先进行 400G 升级 (2018) .....	10
图表 12: 谷歌数据中心端口升级时间线 .....	10
图表 13: Facebook 新一代网络架构采用了 16*100G 方案来满足带宽需求 .....	11
图表 14: "核心-汇聚-接入"传统三层架构 .....	12
图表 15: 2008 年 Gartner 给出的服务器虚拟化趋势分析 .....	12
图表 16: 具有采用部分或者全部 SDN 技术的数据中心占比 .....	13
图表 17: 数据中心内 SDN/NFV 东西向流量占比 .....	13
图表 18: 主流 1RU 交换机交换机升级路线图, 整个行业正向 12.8T 支持 400G 升级 .....	13
图表 19: 交换机芯片升级与光模块升级的相关性 .....	14
图表 20: 思科 Nexus GX 系列 CloudSec 脊交换机和叶交换机规格 .....	15
图表 21: 思科 Nexus 9316D-GX 脊交换机 .....	15
图表 22: 思科 Nexus 93600CD-GX 叶交换机 .....	15
图表 23: 思科 Nexus 3408-S .....	15
图表 24: 支持 400G 的 Arista 7800R3 系列 .....	16
图表 25: Arista 7800R 系列数据中心交换机 .....	16
图表 26: 支持 400G 的 Arista 7368X4 系列 .....	16
图表 27: Arista 7280R3 系列数据中心交换机 .....	16
图表 28: 新华三 S12500 系列云计算数据中心核心交换机 .....	17
图表 29: 2019MWC 大会亮相的 RG-N18018-CX 400G 核心交换机 .....	17
图表 30: RG-N18000-X 系列云架构核心交换机产品图 .....	17
图表 31: 数通光模块收入预测 (亿美元) .....	18
图表 32: 400G 光模块收入预测 (亿美元) .....	18
图表 33: LightCounting 预测数通市场将在 2020 年恢复增长 .....	18
图表 34: 中国公有云市场规模及增速 .....	19
图表 35: 中国私有云市场规模及增速 .....	19
图表 36: 400G 光模块的三种封装对比 .....	20
图表 37: QSFP-DD 在所有类型中具有最高的带宽密度 .....	20
图表 38: QSFP-DD 成为 400G 光模块的主流封装方式 .....	21
图表 39: 主流厂商光模块布局情况 .....	21
图表 40: 旭创科技 400G 光通信模块产品组合 .....	22
图表 41: 旭创 400G 光模块进展 .....	22
图表 42: 新易盛 400G OSFP 产品 .....	23
图表 43: 新易盛 400G 产品参数 .....	23

图表 44: Finisar 400G QSFP-DD 产品.....	24
图表 45: Finisar 400G CFP8 产品.....	24
图表 46: 博通 400G PAM4PHY 芯片 BCM87400.....	25
图表 47: 博通 400G PAM4PHY 芯片 BCM87400 架构.....	25
图表 48: 间接带隙材料的发光效率低.....	26
图表 49: Si 仅对波长低于 850nm 的光具有较强的吸收系数.....	26
图表 50: 2018-2024 年 100G、200G 和 400G 光模块硅光产品收入预测.....	27
图表 51: 交换机之间借助光模块和光纤连接器实现连接.....	27
图表 52: 交换机、光模块、光纤连接器具体连接方式.....	28
图表 53: 太辰光光纤连接器的定制方案.....	28
图表 54: 光纤连接器主流接头型号.....	28
图表 55: 400G 以太网布线方案.....	29
图表 56: 400GBase-SR8.....	29
图表 57: 400GBase-SR4.2.....	29
图表 58: 400GBase-DR4.....	30
图表 59: 400GBase-FR8.....	30
图表 60: IEEE 802.3 以太网应用的不同多模光纤 (MMF) 标准规范及其支持的链路距离.....	30
图表 61: OM5 光纤使用示意图.....	31
图表 62: 美国光纤连接器市场规模预测 (2017) (百万美元).....	31
图表 63: 康宁品种齐全的光纤连接器产品.....	32
图表 64: 康宁数据中心 EDGE 光纤布线系统.....	32
图表 65: 康普型号丰富的光纤跳线产品.....	33
图表 66: 太辰光光纤连接器产品规格齐全.....	33
图表 67: 光迅科技 40/100G 光纤布线解决方案.....	34
图表 68: 光迅科技 400G 光纤布线解决方案.....	34
图表 69: 老款服务器主板一般为 6-8 层 PCB.....	35
图表 70: 下一代服务器主板多为 16 层以上 PCB.....	35
图表 71: 浪潮 FP5466G2 服务器, 采用 M6 级主板, 14 层 PCB, 全内层走线.....	35
图表 72: 11-18 年全球服务器出货量及其增速.....	36
图表 73: 17-22 年中国服务器出货量及其增速预测.....	36
图表 74: 深南电路针对高速大容量应用的解决方案.....	36
图表 75: 沪电支持最高 32 层的高速高密度 Line card 产品.....	37
图表 76: 生益科技 Symanic 6N 高速产品.....	37

## 1. 投资要件

### 区别于市场的观点:

(1) **市场对5G时代流量爆发的认知不足。**市场认为当前大带宽高流量新应用的爆发趋势尚不明显,当前流量增长需求不清。我们认为,5G时代的流量的爆发将会是数十倍的量级。结合我们韩国调研成果,在当下5G应用尚未大规模兴起的情况下,仅依靠高清视频、直播等既有的业务,韩国在5G推出半年的时间内,就实现了人均流量DOU近3倍增长。未来在新应用的不断涌现带动下,流量将迎来大爆发,包括受益于5G网络带宽提升而即将推广的云游戏、应用场景逐步完善的AR/VR、以及车联网、工业互联网等B端物联网应用等,都将带动流量向人均100G的DOU增长。

(2) **市场对数据中心升级带来的需求认知不足。**市场对北美率先展开的400G数据中心升级所拉动的需求认知不足。我们认为,随着流量的爆发和云计算、人工智能等技术的不断兴起,数据中心对外南北向以及对内东西向流量均迎来爆发,升级刻不容缓。北美云厂商的资本支出在2020年会迎来高增长,400G的资本支出一定高于以外任一阶段的数据中心升级。数据中心升级不仅在于光模块,还包括交换机、光纤、连接器等需求进一步升级,高速PCB板也将大量应用。这些上游设备和器件将随着400G的投资推进而加速放量。

### 关键假设:

(1) 当前全球5G整体正处于商用前夕,我们认为随着5G基础设施建设铺开、SA独立组网标准落地、5G手机终端换机潮展开,人均流量将迎来十倍增长。

(2) 参考率先商用的韩国市场,我们预计正式进入5G时代后,高带宽大流量的无线业务应用的出现将带动流量进一步爆发增长。同时云计算、人工智能还将继续高速发展,流量将继续高速成长,带动大型云厂商率先加大数据中心资本投入,推动数据中心加速进入400G元年。

(3) 当前主流云厂商数据中心均已采用叶脊架构,或基于叶脊架构进行开发升级。我们认为未来随着云将成为大趋势,数据中心内部的东西向流量将占到整个数据中心流量的大头,内部流量的爆发将带动数据中心采用叶脊架构,器件向更高密度进行升级。

### 股价上涨的催化因素:

- (1) 5G建设及用户迁移进程加速;
- (2) 流量爆发超预期;
- (3) 高带宽、大流量新应用涌现;
- (4) 云厂商400G升级提速。

### 投资风险:

- (1) 5G进度不达预期;
- (2) 全球贸易摩擦加剧;
- (3) 大型云厂商数据中心资本开支进展不及预期。

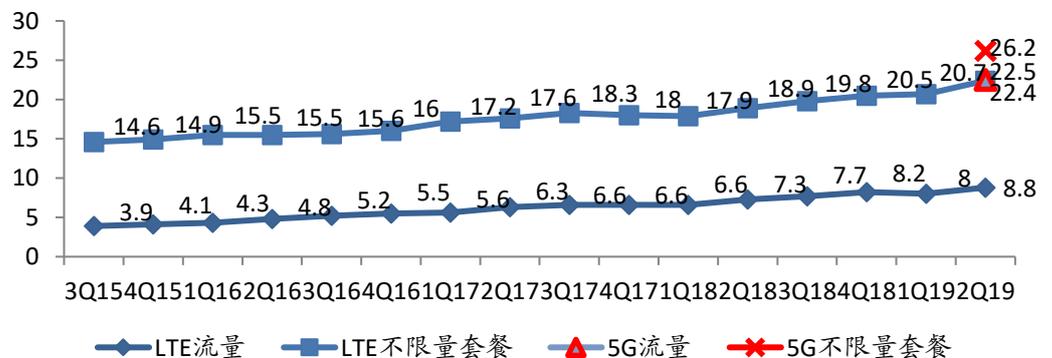
## 2. 5G 时代光通信的再思考——流量爆发下的数据密度革命

我们一直在思考一个问题：5G 流量再爆发中，光模块的产业演进路径如何？结合此前日韩 5G 研究、光博会草根调研，我们本文系统性地从架构的变化衍生出对设备、光芯片、光模块、连接器件以及 PCB 材料演进路径的分析。站在当前时点，市场担心光通信同质化竞争严重，会影响产品毛利率进而拖累业绩增长，但我们看到，5G 对数通设备、400G、MPO 连接器、高频高速材料等提出新的要求，流量爆发下的数据密度革命即将到来，新产品、新市场的出现将极大提振盈利能力，优秀企业在产品能力、渠道能力、成本管控等方面的竞争优势将进一步体现，从而拉开业绩差距。因此，不必过分担心同质化竞争而忽略了 5G 的大机遇，在全球 5G 放量的前夕，光通信仍是最确定的方向。

### 2.1 流量驱动下的东西向“叶脊架构”需求增长

**5G 与 400G 数据中心是双生式同步发展。**当前，全球主要国家正在积极参与 5G 的商用化。运营商正在全速部署下一代网络设备，为 2020 年及以后的 5G 服务做好准备。4K/8K 高清视频、直播、视频会议、VR/AR 等大带宽的持续发酵酝酿，NB-IoT 等技术引发物联网产业新一轮增长，海量移动设备的接入，应用端的发展正指向着流量的大爆发。在当下 5G 应用尚未大规模兴起的情况下，依靠高清视频、AR/VR 等既有业务，韩国在 5G 推出半年的时间点，实现了流量近 3 倍增长（DOU 从约 8G 到 25G），结合近期不断涌现的新型应用（如一夜爆红的 AI 视频换脸 ZAO），我们预计在 5G 时代随着高宽带应用的逐步落地，流量的爆发将会是数十倍的量级。

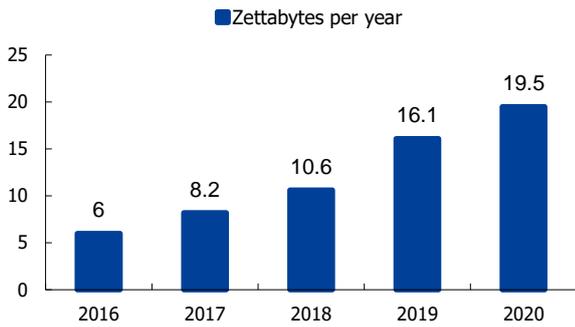
图表 1: 在新应用尚未爆发情况下，韩国 KT 5G 人均流量实现 3 倍增长 (GB)



资料来源: KT, 国盛证券研究所

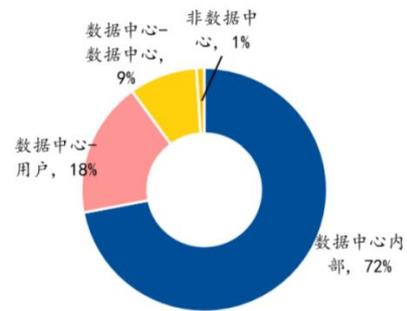
**云成为大趋势，大型数据中心规模持续增长。**根据 Synergy Research 数据显示，2018 年年底全球超大规模数据中心数量已经达到 430 个，美国占据其中 40%。超大规模数据中心的成长势头不减，公司收入每年平均增长 24%，而资本支出增长则超过 40%——其中大部分用于建设和装备数据中心。据思科预测，2021 年全球数据中心流量将增长到每年 20.5ZB，且 95% 的数据中心流量将是云流量。在即将到来的 5G 时代，流量的爆发将汇聚成数字海啸。过去几年，海外云厂商经历了从需求爆发到去库存的周期轮回，但随着 5G 到来，我们认为，数据中心的需求增长仍是确定性的。近期市场担心四季度海外能否起量也仅是短期维度的压制因素，随着 2020 年 5G 整体起量，大型数据中心是不可或缺的基础设施。

图表 2: 全球云数据中心流量增长 (单位: ZB)



资料来源: Cisco, 国盛证券研究所

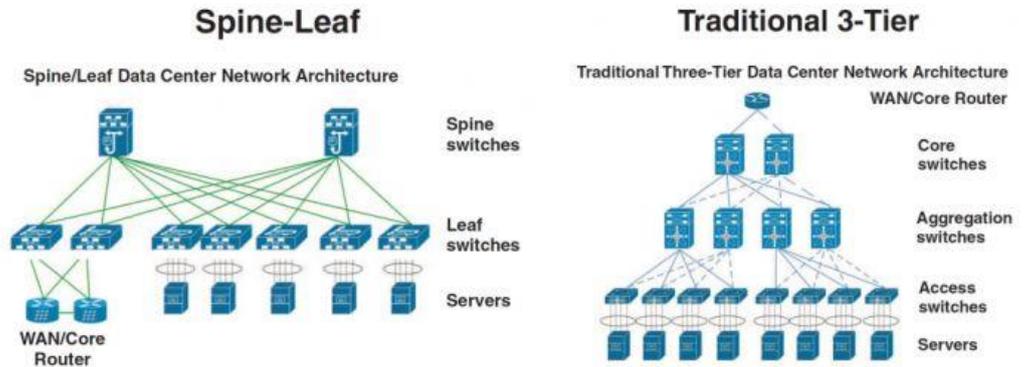
图表 3: 2019 数据中心流量分布预测, 数据中心内部流量占 72%



资料来源: Cisco, 国盛证券研究所

大型数据中心叶脊架构已成主流架构, 新的交换模式可以带来更低的延时, 传统三层架构退出历史舞台。首先大型云厂商在即将到来的 5G 时代, 以及云进程的进一步深入加速, 大型云厂商数据规模越来越大, 数据中心内部东西向流量已然占据主导地位, 更适于数据中心内部数据交互的扁平胖宽的叶脊架构已成为数据中心的首选。叶脊架构使得数据中心规模变得更大、更扁平化, 这使得整个数据中心需要更多的交换机, 交换机之间也需要更快的传输速率以及更高的光纤覆盖率来满足内部海量流量的互通。我们在近期国内市场的走访中已经越来越多听到关于叶脊架构的讨论。

图表 4: 更加扁平胖宽的叶脊架构 (左) 与传统三层架构 (右) 比较



资料来源: 公开资料, 国盛证券研究所

交换机之间连接都需要高端光模块来完成, 叶脊架构所需高速光模块数量巨大。对于有 1000 个机柜 (单机柜 30 台服务器) 的大型数据中心, 总出口带宽 1T, 单服务器带宽 10G, 采用传统三层架构, 核心层交换机 4 个, 汇聚层交换机 20 个, 接入层交换机 2000 个。则核心层与汇聚层之间 40G/100G 高速光模块  $4 \times 20 \times 2 = 160$  个。同样规模下采用叶脊架构的数据中心, 需要的叶交换机数量在 300 个左右 (单台叶交换机下行连接 100 台服务器), 则下行带宽  $100 \times 10G = 1000G$ , 为了保证收敛比, 上行带宽约为 330G, 如果采用 40G 光模块, 则对应脊交换机 8 个, 则需要的高速光模块是  $300 \times 8 \times 2 = 4800$  个; 如果采用 100G 光模块, 则对应脊交换机 4 个, 则需要的高速光模块是  $300 \times 4 \times 2 = 2400$  个。对比可知, 叶脊架构所需的高速光模块数量是传统三层架构的 15-30 倍。对大型和超大型数据中心而言, 随着机柜和服务器数量增加, 整体结构将更趋于大型化和复杂化, 对应的叶脊架构下所需高速光模块的数量是巨大的, 且数据中心规模越大, 需求的加速度

越大。

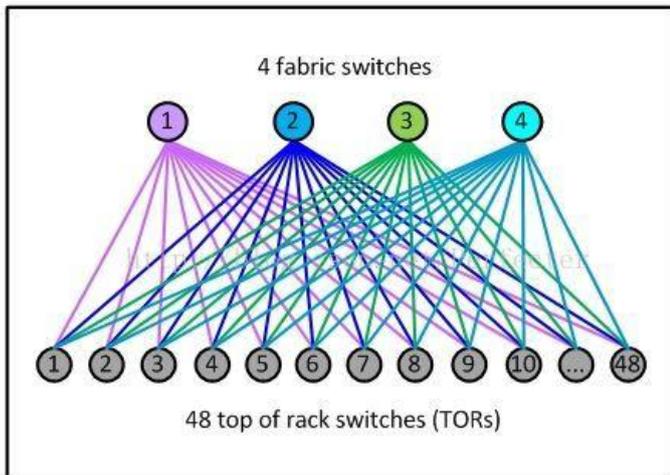
图表 5: 叶脊架构所需高速光模块数量更大

数据中心	机架	光模块数量		
		10G	40G	100G
1000个机柜中大型数据中心	传统机架	128000	160	8
	叶脊机架	120000	4800	32

资料来源: 公开资料整理, 国盛证券研究所

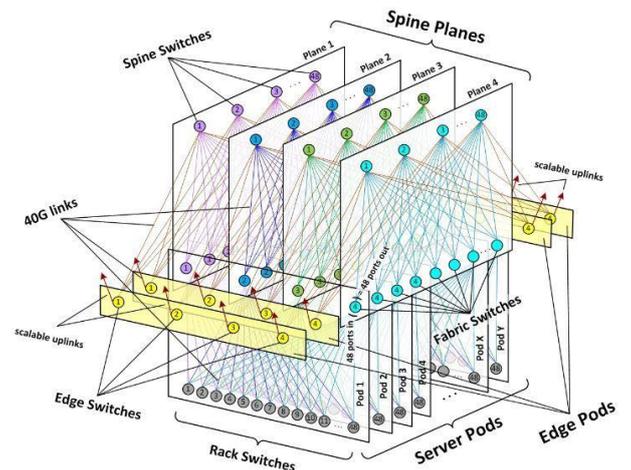
**100G** 会有较长的生命力, 随着 **400G** 的启动会逐步放缓, **400G** 元年启动。我们参考 Facebook 基于叶脊网络架构基础的 fabric 网络架构, 可以看到对于大型数据中心来说, 为了实现数据中心内部东西向流量的通信, 在二维叶脊架构基础上, 进行了三维拓展, 实现了一个立体的结构, 使得整个数据中心的拓展延伸性得到了维度级的提高。通过 fabric 架构, Facebook 可以从容的应对整个数据中心内部东西向流量的爆发带来的通信难题, 通过构建了一个互通性极强的立体结构, 既保证了数据中心东西向数据通信的畅通, 又保证了其大型数据中心规模的可拓展性, 使得整个数据中心更具生命力。

图表 6: Facebook 数据中心上一代 4 fabric 网络架构



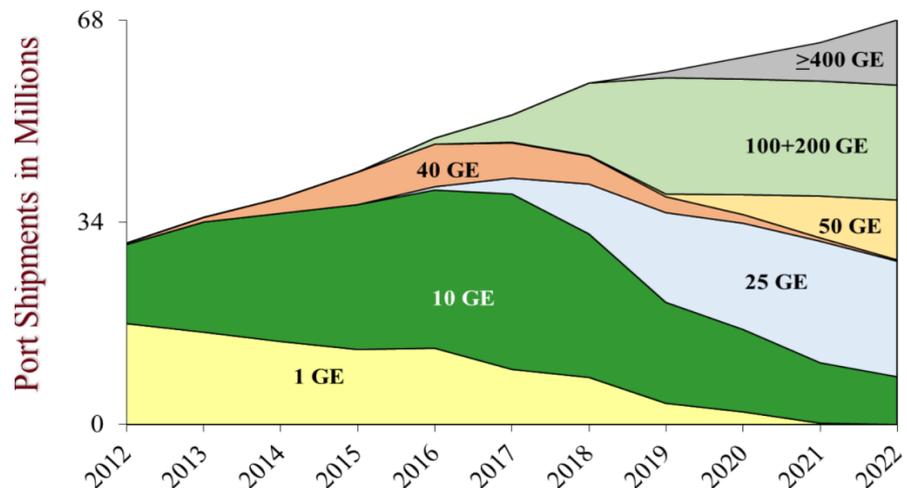
资料来源: Facebook, 国盛证券研究所

图表 7: Facebook 数据中心整体网络架构



资料来源: Facebook, 国盛证券研究所

图表 8: 光模块出货量及生命周期预测 (2018)

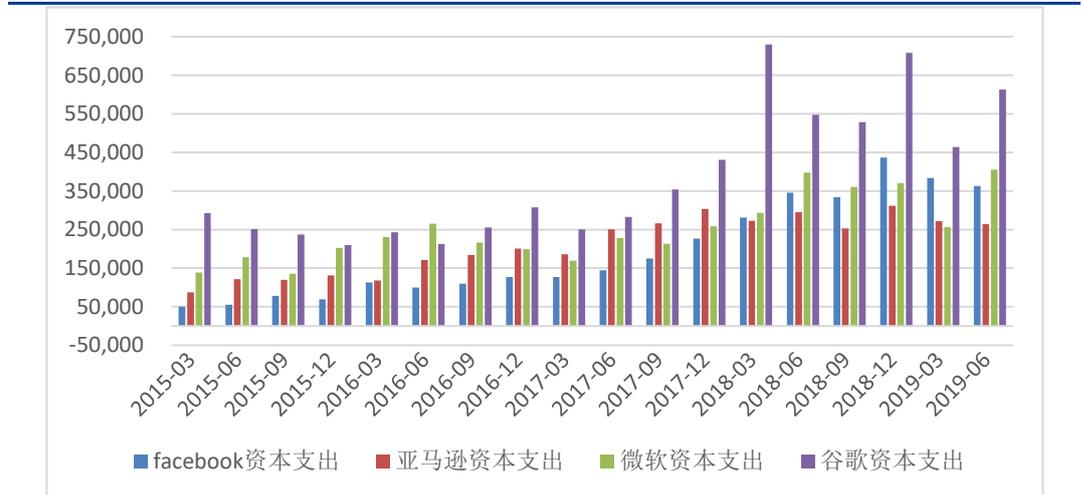


资料来源: Dell'Oro, 国盛证券研究所

## 2.2 北美云厂商的资本开支见底回暖

云厂商资本开支 19Q2 实现触底反弹。从北美主要四家云厂商（facebook、亚马逊、微软、谷歌）的资本支出情况来看，2016 年整体进入同比加速增长阶段，到 2018 年 Q1 四家整体资本开支在单季度达到 157 亿美元，同比增速达到高点 115%。随后整体资本开支开始放缓，19 年 Q1 的增速同比和环比均出现下滑，达到最低点，Q2 出现增速回升。数据中心建设模式为循序渐进式，在需求的推动下，预期 400G 将会带动资本开支逐季回升。

图表 9: 北美云厂商 2015~2019 的单季度资本支出 (万/USD)



资料来源: wind, 国盛证券研究所

图表 10: 四家北美云厂商 2015-2019 的单季度资本支出合计 (万/USD) 以及同比、环比增速 (%)



资料来源: wind, 国盛证券研究所

## 2.3 端口密度升级是大型数据中心必经之路

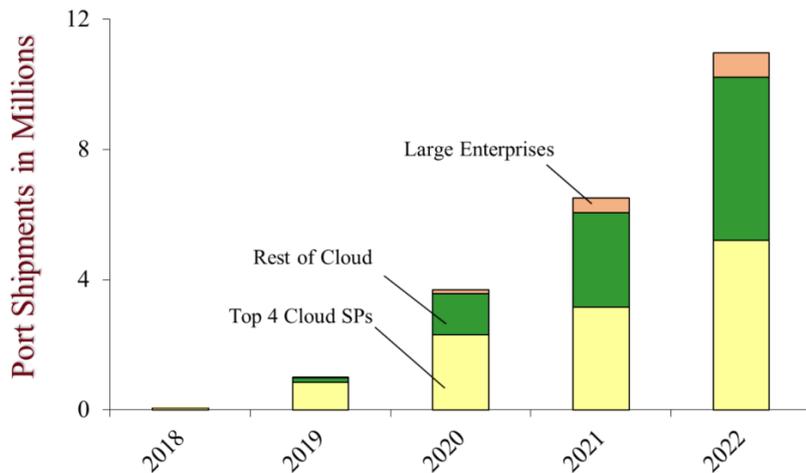
叶脊架构全连接特性要求每台叶交换机与每台脊交换机一一连接。在叶脊架构中，脊交换机之间或者叶交换机之间不需要链接同步数据（不像三层网络架构中的汇聚层交换机之间需要同步数据）。我们知道叶脊架构的初衷就是提高整个数据中心内部流量的通信效率，对于数据中心内任何两台服务器，只需要经过一台叶交换机和一台脊交换机便能实现服务器间的数据传输，大大提高了数据传输的效率。每个叶交换机的上行链路数等于脊交换机数量，同样的每个脊交换机的下行链路数等于叶交换机的数量，脊交换机和叶

交换机之间以 full-mesh 方式连接，即每台叶交换机与每台脊交换机一一连接。

**光端口升级是大型数据中心必经之路。**随着数据流量的爆发，云厂商数据中心的扩建和升级需求是显而易见的。目前以云厂商为主的大型和超大型数据中心都已采用叶脊架构，对于叶脊架构而言，为了实现总带宽的升级，只通过提高端口的数量而不升级端口带宽的方法来实现升级并不是理想的方案。大型数据中心由于规模大、机柜量多，日常的运维管理维护的难度更大，对数据中心的结构和布线等要求更高。

同时大型云厂商的用户数量巨大，流量的增速更快，云厂商对数据中心的扩展性要求更高。仅通过提高端口数量的做法，会使得整个数据中心结构迅速复杂化，对运维管理的要求更高，且结构的复杂使得后续在同样端口密度下扩展的空间更小，后续若要继续升级依然只能选择光端口升级的方法来实现，是大型数据中心绕不过的核心点。

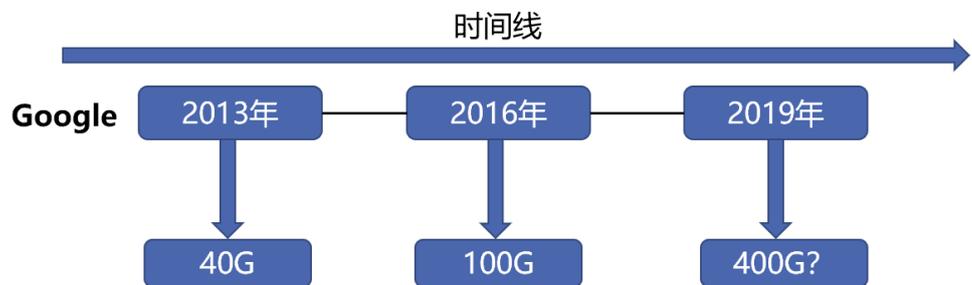
图表 11: 400G 光模块出货量预测，云厂商率先进行 400G 升级 (2018)



资料来源: Dell'Oro, 国盛证券研究所

**谷歌、微软、亚马逊已陆续开启 400G 升级进程。**谷歌为了满足带宽需求，一般超大规模数据中心会每 2-3 年对整体网络架构进行一次升级。我们参考 Google 数据中心升级路线，谷歌在 2013 年第五代数据中心谷歌开始启用 40G，2016 年下半年则开始大规模使用 100G，以此类推 2019 年年底有望开启 400G 规模商用。400G 以太网技术的同步实施，在今后的数年内将会继续增长，成为交换芯片和网络平台上普遍采用的速度。与此同时，微软、亚马逊也于 2019 年陆续开展 400G 升级的前期工作，前期的送样测试工作基本完成，400G 升级进展顺利。

图表 12: 谷歌数据中心端口升级时间线



资料来源: 公开资料整理, 国盛证券研究所

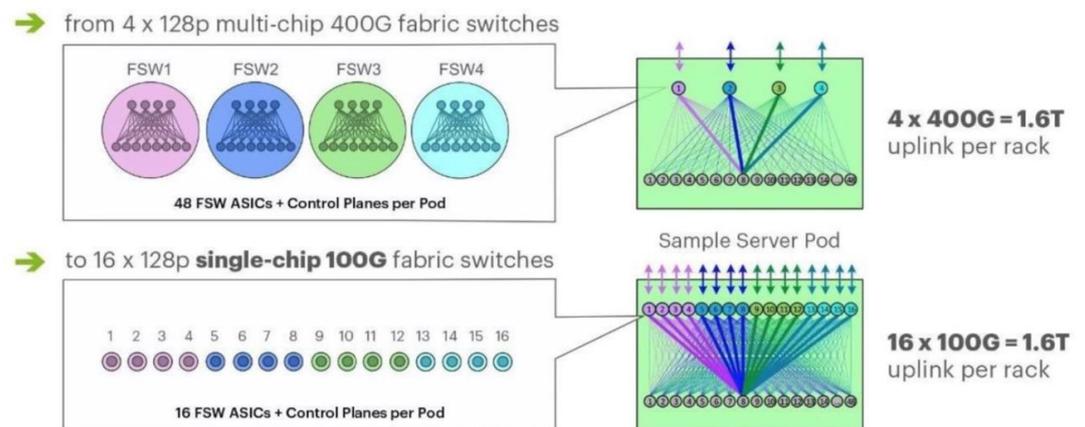
针对 Facebook 19 年数据中心新架构的分析。2019 年 3 月，Facebook 在 OCP Summit

2019 会议上重磅发布了下一代 IDC 网络 F16、新一代的 Fabric Aggregator-HGRID，以及其核心组件 Minipack，以满足数据中心高速增长的流量需求。新一代 IDC 网络架构 F16 相比上一代 4 fabric 网络架构，在没有使用更高速率光模块前提下，通过提升网络平面数及减少跳数来达到同样带宽的需求，这直接提升了 Facebook 对 100G 光模块需求。

我们认为此次架构升级依然利好 **400G**，其架构依然是基于叶脊架构的 **Fabric** 架构，通过提高端口的数量，使用端口数量更多的交换机，来实现带宽的升级。从短期看 Facebook 会更集中于 100G 光模块的需求，而中长期来看更是为顺利过渡至 400G 打好了结实的架构基础。Facebook 通过避开 400G 光模块前期高价阶段，把其端口密度升级的进程稍稍往后推迟，随着 400G 光模块的放量价格将逐渐下降，在 400G 光模块价格稳定后，facebook 再进行全方位的光端口密度升级，从资本开支角度可以节省资金。

而其新的 F16 架构全新的架构，端口数量较上一代 F4 架构明显大增，对于相同数量的服务器，需要 3-4 倍的 100G 光学器件。海外数据中心光模块专业咨询机构 LightCounting 于 2019 年 4 月发布光通信市场预测报告，其中上调了对于以太网段光模块销售收入预测，主要原因是 100G 光模块的销量在增长，同时认为 Facebook F16 数据中心新网络架构对于相同数量的服务器，它需要 3-4 倍的 100G 光学器件，整个数据中心端口数量较之前有数倍增长，那么当 Facebook 开展 400G 升级进程后，对 400G 光模块需求量将会是巨大的。

图表 13: Facebook 新一代网络架构采用了 16\*100G 方案来满足带宽需求



资料来源: Facebook, 国盛证券研究所

目前来看，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 4x100G DR4，谷歌将由 100G 升到 200G 转换至 2x200G 模块的形式，主要使用 2x200G SR8 和 FR8 光模块，Facebook 则基于其新型 F16 架构使用 100G 光模块实现带宽升级，并计划进一步升级到 200G，微软则更多考虑 400G ZR 可用于长距离互连区域性数据中心之后，再在数据中心内部署 400G，实现跨区域数据中心的超高速数据互通。

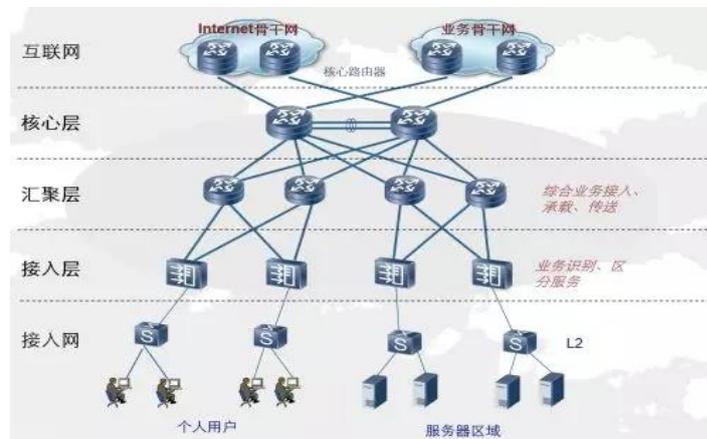
流量的加速爆发，使得云厂商们势必需要对现有数据中心进行升级改造或者新建更多的数据中心。这将大大提升数据中心对光通信器件、模块及设备的使用及升级需求，而大型数据中心的结构特点和高扩展性，使得端口 400G 升级成为必经之路。流量的大爆发将成为驱动 400G 光通信产业发展升级的根源力量。

### 3. 400G 数通设备——数据密度革命之主战场

#### 3.1 数据中心网络架构的发展历程

虚拟化、软件定制化数据中心成为时代主流。早期数据中心的规模和需求并不大，一个数据中心所容纳的服务器规模在百台左右。随着数据流量的不断增加，数据中心容纳的服务器从数千台发展到如今的数十万台，规模越来越大。数据中心的技术也从最传统的路由交换技术发展虚拟化技术(NFV)、软件定义网络(SDN)和二者的结合(SDN/NFV)，其架构也从经典的三层架构发展至今日主流的叶脊架构。追本溯源，数据中心规模的扩大、技术的演进都是因需求端数据量不断地增加而驱动的。在2008年以前，经典数据中心架构采用“核心-汇聚-接入”这种传统的三层架构，当时大多数数据中心的服务器对应的就是一个应用，按照功能不同被放置在固定的功能区域内。

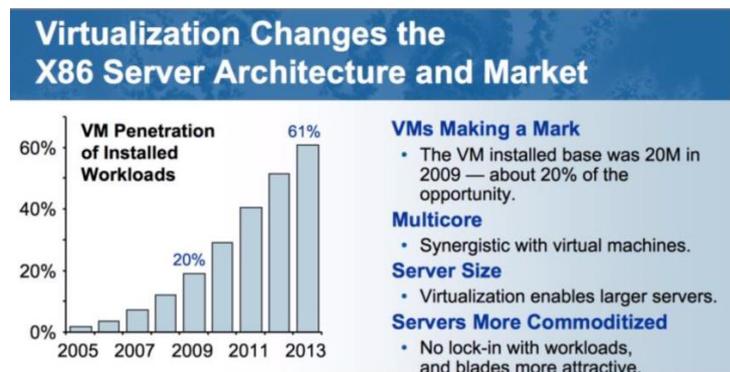
图表 14: “核心-汇聚-接入”传统三层架构



资料来源: 博客园, 国盛证券研究所

但随着数据量的增长, 服务器的数量越来越吃紧。服务器的虚拟化趋势越来越强, “提高服务器利用率”、“充分发挥计算资源”成为主流声音。

图表 15: 2008 年 Gartner 给出的服务器虚拟化趋势分析

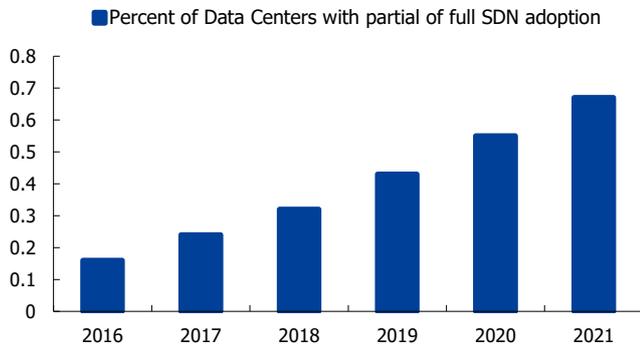


资料来源: Gartner, 国盛证券研究所

2011年起, 数据中心网络架构开始逐渐向扁平化架构发展, 计算资源池化、SDN/NFV 兴起, 叶脊架构成为主流。随着移动互联网和云计算的迅猛发展以及 SDN/NFV 的逐渐兴起, 数据中心南北向流量和数据中心内部东西向流量的爆发使得叶脊网络架构成为主流。在叶脊网络架构, 脊交换机之间或者叶交换机之间不需要链接同步数据 (不像三层网络架构中的汇聚层交换机之间需要同步数据)。每个叶交换机的上行链路数等于脊交换机数

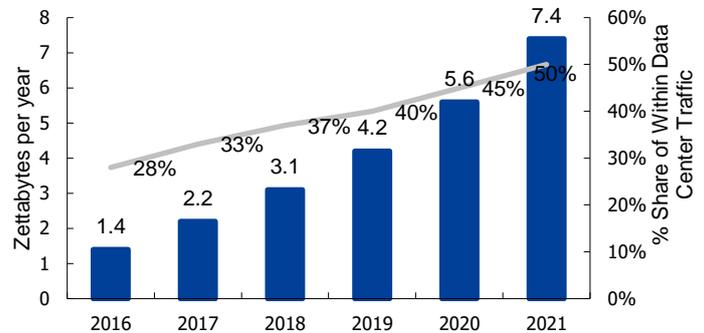
量，同样的每个脊交换机的下行链路数等于叶交换机的数量。脊交换机和叶交换机之间以 full-mesh 方式连接。传统的三层网络架构是垂直的结构，而叶脊网络架构是扁平的结构，从结构上看，叶脊网络架构更易于水平扩展，以满足日益提升的流量需求。

图表 16: 具有采用部分或者全部 SDN 技术的数据中心占比



资料来源: Cisco, 国盛证券研究所

图表 17: 数据中心内 SDN/NFV 东西向流量占比



资料来源: Cisco, 国盛证券研究所

### 3.2 400G 时代交换机率先实现最高密度转发

交换机率先实现 400G 高密度转发，节省能耗、降低成本。交换机在整个数据中心的结构中占据重要的位置，它是整个数据中心的骨架。交换机的升级对于数据中心整体升级来说具有指导性意义。对于 400G 密度升级而言，交换机需先升级至支持 400G 型号的产品，再至上而下的对光模块、布线等进行逐一升级。自 17 年博通 400G 交换机芯片送样后，400G 交换机进展顺利，18 年思科、Arista、Juniper 等主流交换机厂商争相发布 400G 交换机产品，到 19 年已能提供丰富的 400G 系列产品，而国内的数通厂商如新华三、锐捷也于 19 年陆续推出 400G 交换机产品，交换机率先实现了 400G 高密度转发。

图表 18: 主流 1RU 交换机升级路线图，整个行业正向 12.8T 支持 400G 升级

First Deployed	Electrical I/O [Gb/lane]	Switching Bandwidth	TOR/Leaf Data Center Switch Configuration
~2010	10G	1.28T	32xQSFP+ (40G)
~2015	25G	3.2T	32xQSFP28 (100G)
~2018	50G	6.4T	32 ports of 200G
~2019	50G	12.8T	32 ports of 400G

3.2Tb/s switches based on 100G QSFP28 modules being deployed in cloud data centers today.

Given the multiple switching ICs expected to be available, the market is likely to be fragmented in the future.

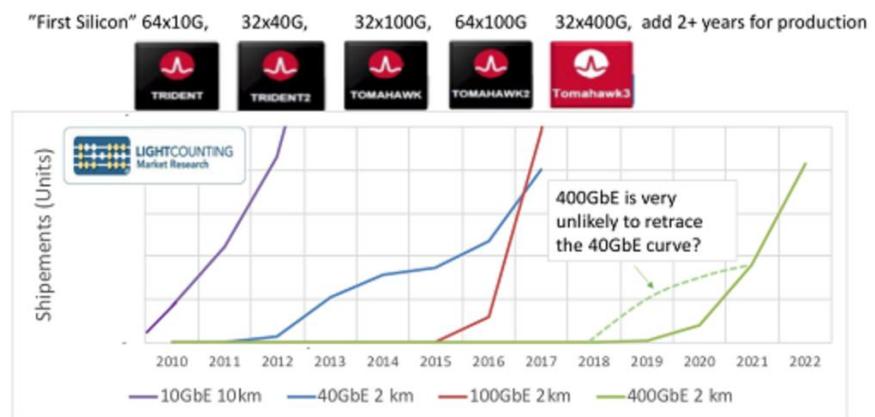
资料来源: Finisar, 国盛证券研究所

交换机芯片发展顺利，各大厂商陆续推出 400G 交换机。用于交换机的 56G PAM-4 ASIC(专用集成电路)芯片在不断发展的过程中功能日益强大，这些新型的 ASIC 可以提供 12.8Tbps 的带宽，从而使得下一代交换机可提供 32 个 400 Gbps 的端口。从时间线上看，Juniper 在 2018 年 7 月宣布计划将 400G 创新成果注入到 PTX IP 传输系列，QFX 数据中心系列和 MX WAN 系列的交换机中。2018 年 10 月，思科加入了 400G 行列中，

宣布面向超大规模云提供商，大型企业数据中心和电信提供商，提供 400G 交换机。思科为网络用户推出两款新的 Nexus 3400-S 固定交换机，并为其大型企业和服务提供商常用的应用中心基础设施（ACI）架构推出两款新的 Nexus 9000 交换机，这四个交换机都向后兼容 Cisco 的 100G 平台。同样在 18 年 10 月，Arista 公布了一条支持 400G 的新型交换机产品线，新的 400G 固定系统主要针对的是超大规模云和数据中心网络，这些网络需要更多带宽用于人工智能（AI），机器学习和无服务器计算等技术。Arista 7060X4 系列还包括可为 100G 端口提供向后兼容性的光学器件。这使得客户可以灵活地构建高密度叶脊网络，包括与服务器的 100G 连接和叶脊结构中的 400G 连接。

从交换机与光模块的相关性看，400G 有望在 2019 年底迎来规模商用。一般来说从交换芯片推出到光模块开始放量要有 2-3 年的时间，而且通常会有一个快速放量的过程。100G 光模块的市场在首款 32X100G 交换芯片(博通 Tomahawk)开始送样是在 2014 年，2016 年 100G 的光模块开始规模上量。以此类推，2017 年底博通 32X400G Tomahawk3 芯片开始送样，预计到 2020 年 400G 有望迎来规模商用，结合流量爆发加速，这一过程有望更加迅速。

图表 19: 交换机芯片升级与光模块升级的相关性



资料来源: 光纤在线, 国盛证券研究所

### 3.3 新一代数据中心交换机主要厂商方案

#### 3.3.1 思科

思科 Nexus 系列产品支持提供全面的 400G 解决方案。思科已宣布其 Nexus 系列相关的 400G 产品将满足所有网络架构的需求，将经济高效地为具有大型网络规模的客户提供高密度的 100G/400G 支持，整个系统将具有更高的灵活性。其 400G Cisco ACI 系统将在抱着高密度带宽的同时，赋予自动化、可视化、稳定性以及安全性。

Nexus 9300-GX 是 Nexus 9000 系列支持 400G 的新一代非模块化产品。该系列基于思科 Cloud Scale 技术，引入完全向后兼容的 400G 光纤接口-四通道小型封装热插拔-双密度(QSFP-DD)端口，可以通过透明方式将现有数据中心交换矩阵从 40Gbps 和 100 Gbps 速度迁移到 400Gbps。凭借高度灵活的第二层和第三层可扩展性，以及可以满足虚拟数据中心和自动化云环境不断变化需求的高性能。思科为 Nexus 9000 系列交换机提供了两种操作模式，可以部署思科以应用为中心的基础设施（思科 ACI™ 模式）或思科 Nexus 交换机环境（思科 NX-OS 模式）。

图表 20: 思科 Nexus GX 系列 CloudSec 脊交换机和叶交换机规格

项目	规范	
设备	N9K-C9316D-GX	N9K-C93600CD-GX
端口	• 16 个 400/100/40 Gbps QSFP-DD 端口	• 28 个 100/40 Gbps QSFP28 端口和 8 个 400/100 Gbps QSFP-DD 端口
物理	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 系统内存: 24 GB NX-OS 和 ACI</li> <li>• 固态硬盘 (SSD): 128 GB</li> <li>• USB 端口: 1 个</li> <li>• RS-232 串行控制台端口: 1 个</li> <li>• 管理端口: 2 个 (1 个 10/100/1000BASE-T 和 1 个 1 Gbps SFP+)</li> <li>• Broadwell-DE CPU: 4 核</li> <li>• 尺寸 (高 x 宽 x 深): 3.38 x 17.37 x 22.27 英寸 (8.59 x 44.13 x 56.58 厘米)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 系统内存: 24 GB NX-OS 和 ACI</li> <li>• 固态硬盘 (SSD): 128 GB</li> <li>• USB 端口: 1 个</li> <li>• RS-232 串行控制台端口: 1 个</li> <li>• 管理端口: 2 个 (1 个 10/100/1000BASE-T 和 1 个 1 Gbps SFP+)</li> <li>• Broadwell-DE CPU: 4 核</li> <li>• 尺寸 (高 x 宽 x 深): 1.72 x 17.37 x 25.5 英寸 (4.37 x 44.13 x 64.8 厘米)</li> </ul>

资料来源: Cisco, 国盛证券研究所

图表 21: 思科 Nexus 9316D-GX 脊交换机



资料来源: Cisco, 国盛证券研究所

图表 22: 思科 Nexus 93600CD-GX 叶交换机



资料来源: Cisco, 国盛证券研究所

**Nexus 3400-S 是 Nexus 3000 产品系列中第一款配备 400G 功能的交换机。** 配备 50 Gbps PAM4 串行解串器 (SerDes), 专为数据中心而设计, 具有业界领先的每瓦特性能。凭借 12.8-Tbps ASIC, Nexus 3408-S 系列提供 128 个 100G 端口或 32 个 400G 端口, 允许客户在其结构中使用更少数量的交换机实现大规模的布局, 简化管理并降低成本。Nexus 3400-S 提供可编程管道, 转换为灵活的配置文件, 无论是最长前缀匹配 (LPM) 优化还是第三层主机优化。此外, Nexus 3400-S 交换机还支持深层网络分析, 提供流量监控、队列取证和丢包分析, 帮助监控客户网络。

图表 23: 思科 Nexus 3408-S



资料来源: Cisco, 国盛证券研究所

**思科对于 400G 系列产品未来持乐观态度。** 在思科最新季度财报的电话会议中, 思科表示面对即将全面开启的 400G 升级, 思科相比较竞争对手而言正处于一个有利的位置, 思科在 400G 技术上已经足够成熟, 并通过和大客户的交流沟通获得了足够的支持, 预计公司将会在 400G 升级上取得更大的优势。

### 3.3.2 Arista

Arista Networks 是为数据中心和云计算环境构建可扩展的高性能和超低延迟网络的领导者。专业的硬件加上世界先进的网络操作系统 Arista EOS，提供跨所有平台的单一二进制系统映像、最长系统运行时间、状态故障修复、零接触服务开通、延迟分析和完全可访问的 Linux 内核。Arista 以太网交换机系统支持 VMware 虚拟化并且集成了数百个 Linux 应用程序的，满足当今要求最严苛的数据中心电力和冷却需求。

Arista 7800R3 系列是高密度骨干平台，采用经过验证的云级架构，可编程支持超过 250 万条路径、前所未有的 400/100G 密度和灵活的表尺寸。Arista 7800R 具有高达 460Tbps 的性能，带有嵌入式 MACsec，是最高容量数据中心网络和通用骨干的理想平台，可满足云、服务提供商和有线网络运营商的需求，具有互联网规模路由和高可靠性。

图表 24: 支持 400G 的 Arista 7800R3 系列



资料来源: Arista, 国盛证券研究所

图表 25: Arista 7800R 系列数据中心交换机



资料来源: Arista, 国盛证券研究所

Arista 7368X4 系列是 4RU 高密度 100G 和 400G 模块化数据中心交换机，具有线速 2 层和 3 层功能和用于软件驱动云网络的高级功能。7368X4 提供丰富的接口速度和密度选择，允许网络无缝演进到 400G。

Arista 7280R3 系列在高密度和灵活的固定配置交换路由器中提供了动态和深度缓冲区、高性能和全互联网规模路由的组合，并融合了 INT、VXLAN 和加速 sFlow 等丰富功能。7280R3 专为下一代云和 IP 存储、内容交付网络和无损双层设计中的互联网对等而构建，同样适用于通用骨干或数据中心边缘。

截至目前，Arista 总共推出数十款不同型号的 400G 交换机，丰富的产品线可以覆盖绝大多数不同的数据中心升级方案。在最新的财报中，公司对 400G 产品充满信息，并预计 400G 产品将在未来一年内为公司业绩带来实质性的影响。

图表 26: 支持 400G 的 Arista 7368X4 系列



Arista 7368X4: 128 ports of 100G or 32 ports of 400G

资料来源: Arista, 国盛证券研究所

图表 27: Arista 7280R3 系列数据中心交换机



Arista 7280R3 Series

资料来源: Arista, 国盛证券研究所

### 3.3.3 新华三 H3C

新华三 S12500 系列交换机也成功完成自身的又一次技术革新和突破。作为新华三数据中心交换机家族中的旗舰产品，S12500 依托多项先进硬件设计理念，让整机性能与机框完全解耦，24 端口 400G 以太网接口板让 S12500 系列在 400G 时代抢占了先机，使之有向未来新的标准不断演进的能力。此次 400G 板卡的成功商用，也让 S12500 成为业界首个支持全速率端口的交换机产品，为用户提供更为灵活的组网方案，及未来更大的平滑扩容空间。

作为数字化解决方案领导者，新华三长期以来引领网络设备和技术架构的创新迭代，本次 400G 以太网商用项目的成功实施，更将进一步推进中国网络建设的升级换代，推动社会迈向智能互联新时代。

图表 28：新华三 S12500 系列云计算数据中心核心交换机



资料来源：新华三，国盛证券研究所

### 3.3.4 锐捷网络

锐捷在 2019MWC 大会重磅推出其 RG-N18018-CX 400G 产品。锐捷网络 Newton 18000-X（简称 RG-N18000-X）系列交换机是锐捷网络面向云架构网络推出的新一代高性能核心交换机，该产品在 100T 的交换平台上，是零背板技术的开启者，在提供高效、稳定交换服务的同时，可实现未来 10 年网络可持续平滑升级。

图表 29：2019MWC 大会亮相的 RG-N18018-CX 400G 核心交换机



资料来源：锐捷，国盛证券研究所

图表 30：RG-N18000-X 系列云架构核心交换机产品图



资料来源：锐捷，国盛证券研究所

RG-N18000-X 系列交换机采用先进的硬件架构设计，是目前业界顶级配置的核心交换机之一。其采用先进的 CLOS 直接正交交换架构，单机箱最大可支持 576 个 100GE、576 个 40GE、2304 个 25GE、2304 个 10GE 全线速接口，未来还将支持单卡 36 个 400GE 接口、单机箱最大支持 576 个 400GE 全线速接口。RG-N18000-X 系列提供 RG-N10006-X、RG-N18010-X、RG-N18018-X 三个产品形态，可以根据业务需要部署在互联网数据中心和园区数据中心的场景。

## 4. 400G 光模块——数据密度革命之急先锋

### 4.1 400G 光模块放量在即

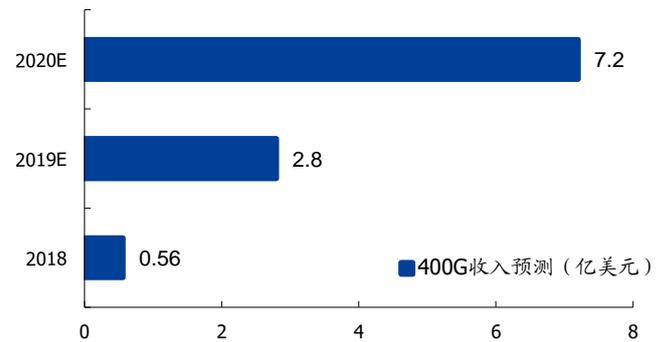
**400G 光模块将快速放量。**根据 Ovum 预测,2016-2020 年全球光器件市场总体保持 10% 增长,2020 年销售超过 122 亿美元,其中数据中心占比超过 40%。2015 年全球数通光模块市场空间 26 亿美元,预计 2020 年达到 50 亿美元,年复合增速 15%。根据 Lightcounting 想干预测,2018-2020 年全球 400G 光模块市场规模将分别达到 0.56 亿美元,2.8 亿美元和 7.2 亿美元,400G 市场在未来几年将迅速扩大。

图表 31: 数通光模块收入预测 (亿美元)



资料来源: Ovum, 国盛证券研究所

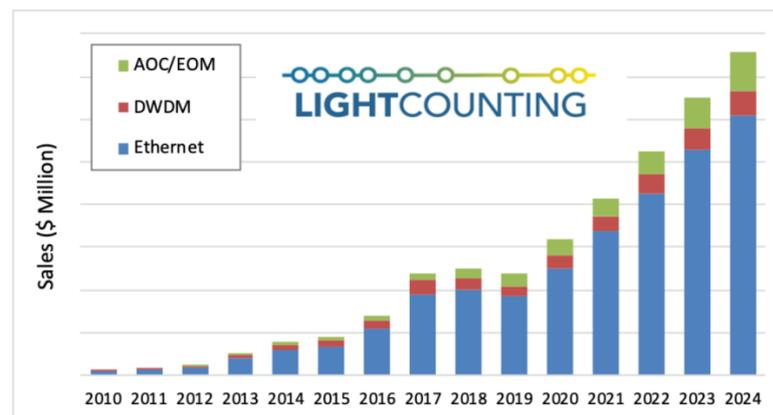
图表 32: 400G 光模块收入预测 (亿美元)



资料来源: Lightcounting, 国盛证券研究所

**数据中心光模块需求企稳回升。**根据 LightCounting 最新的研报数据显示,光模块厂商无需担心主要云数据中心运营商需求的长期前景,明年就会看到需求恢复增长,且接下来的未来几年都回保持高速增长,需求的主力来自 100GbE DR1, 200GbE, 2x200GbE 和 400GbE DR4。这与我们上文中云厂商资本开支分析结果趋于一致。

图表 33: LightCounting 预测数通市场将在 2020 年恢复增长



资料来源: LightCounting, 国盛证券研究所

**中国的云市场保持高速增长。**2018 年我国云计算整体市场规模达 962.8 亿元,增速 39.2%。其中,公有云市场规模达到 437 亿元,相比 2017 年增长 65.2%,预计 2019-2022 年仍将处于快速增长阶段,到 2022 年市场规模将达到 1731 亿元。私有云市场规

模达 525 亿元，较 2017 年增长 23.1%，预计未来几年将保持稳定增长，到 2022 年市场规模将达到 1172 亿元。

**全球范围加速云布局利好光模块。**根据 LC 的数据分析，2020 年数据中心光模块市场重新增长的原因是有新的竞争者加入。当前的大型云数据中心市场中，亚马逊，阿里，Facebook，谷歌和微软占据了 65% 的市场，对这一市场格局有望发起挑战的最大希望来自中国。除了已经进入前五名的阿里，百度、腾讯、金山云、青云、UCloud 等公司也有望加入其中，还有潜在的可能加入竞争的公司如今日头条。同样被 LightCounting 看好的还有印度的公有云市场，这个未来的世界人口第一大国也将是云市场的重中之重，全球地缘摩擦的加剧将刺激如印度等国家自建云服务，这些都将成为光模块发展的催化剂。

图表 34: 中国公有云市场规模及增速



资料来源: 中国信息通信研究院 2019.07, 国盛证券研究所

图表 35: 中国私有云市场规模及增速



资料来源: 中国信息通信研究院 2019.07, 国盛证券研究所

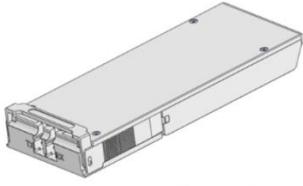
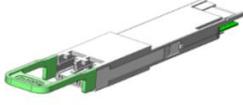
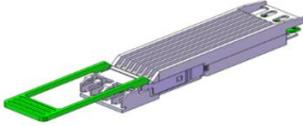
在过去 5 年中，我们看到 100G 崛起给国内厂商带来的机遇，而在过去两年中，随着海外需求增长放缓，市场将目光重新聚焦于 400G。我们认为，100G 仍将是未来一段时间的里程碑式产品，但对成本控制能力的要求会越来越高，需以此来抵消产品价格的下降。而 400G 方兴未艾，虽然在放量时点上存在一定分歧，但从今年 Google 等龙头厂商的需求看，2020-2022 年有望进入黄金期。

## 4.2 QSFP-DD 或成 400G 光模块主流封装形式

**400G 光模块的三种封装形式。**400G 共有三种封装形式，分别是 QSFP-DD、OSFP 和 CFP8。与传统的电信接入网传输设备不同，数据中心互联需要实现信息量更大、更密集的传输，要求交换设备拥有更高速率、更低功耗，以及更加小型化。数据中心 400G 光模块的解决方案是目前主流的 QSFP-DD 和 OSFP 两种封装形式。QSFP-DD 的尺寸更小，更适合数据中心应用，是主流发展方向；OSFP 封装尺寸稍大一些，功耗更大，更适合电信应用。

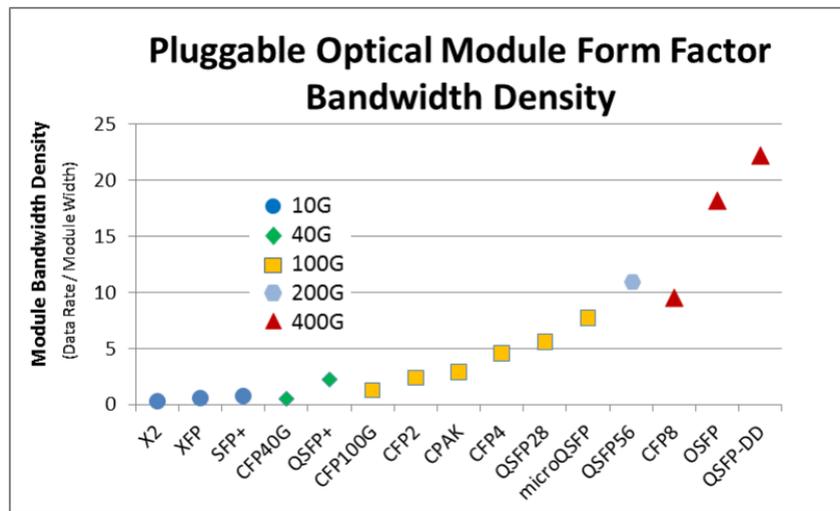
**OSFP 和 QSFP-DD 同样在电接口上提供了 8 个传输通道，支持 25GBaud 波特率的 PAM4 信号 (50Gb/s)，因此可以实现  $8 \times 50\text{Gb/s} = 400\text{Gb/s}$  的信号传输。**最后一种 CFP8 封装是三种型号中功耗最高尺寸最大的，其功耗最高达到 18w，尺寸是其他两种封装形式的两倍，更适合长距离传输的电信接入网和 DWDM 转发系统。

图表 36: 400G 光模块的三种封装对比

CFP8	QSFP-DD	OSFP
		
<b>Width x Height x Length</b> 40mm x 9.5mm x 102mm	<b>Width x Height x Length</b> 18.35mm x 8.5mm x 78.3mm (Type 1) 18.35mm x 8.5mm x 93.3mm (Type 2)	<b>Width x Height x Length</b> 22.58mm x 13mm* x 100.4mm (* 9mm excl fin)
<b>Power Consumption</b> 12-18W	<b>Power Consumption</b> 7-10W	<b>Power Consumption</b> 12-16W
<b>Routers, DWDM, Transponders</b>	<b>Selected for Intra DC connectivity</b>	<b>Selected for Intra DC connectivity</b>

资料来源: 公开资料整理, 国盛证券研究所

图表 37: QSFP-DD 在所有类型中具有最高的带宽密度



资料来源: QSFP-DD 白皮书, 国盛证券研究所

**QSFP-DD 或成为 400G 光模块主流封装方式。**由于当前 400G 光模块的需求最主要的来源是大型云厂商, 对于大型云厂商的大型、超大型数据中心而言, 并不要求长距离传输, 且对能耗指标和尺寸要求较高, 综合来看, QSFP-DD 是最适合数据中心的 400G 光模块。目前全球领先的光模块厂商都推出了各自的 400G 光模块, 我们可以看到除了被收购的 Finisar 以外, 其他厂商都采用了 QSFP-DD 封装——市场已经认可了 QSFP-DD 作为 400G 光模块封装的首选。除此之外, 部分厂商推出了 OSFP 封装光模块作为补充。

图表 38: QSFP-DD 成为 400G 光模块的主流封装方式

Manufacturers	Form-factors		
	QSFP-DD	OSFP	CFP8
Amphenol	✓	✓	
Applied Optoelectronics	✓	✓	
ColorChip	✓		
Eoptolink	✓	✓	
Finisar	✓		✓
Fujitsu	✓	✓	
Gigalight	✓		
Hitachi Metals	✓	✓	
Innolight	✓	✓	
Kaia	✓		
Lumentum	✓		✓
Mellanox	✓		
Source Photonics	✓		

资料来源: 公开资料整理, 国盛证券研究所

### 4.3 光模块主流厂商的进展情况

OSFP 和 QSFP-DD 是 400G 光模块的主流封装形式, 国内厂商纷纷发力 400G 的研发生产。在 2019 年 9 月深圳举办的光电博览会上, 多家企业纷纷展出了 400G QSFP-DD DR4、400G QSFP-DD FR4、400G QSFP-DDLR4 和 400G QSFP-DD SR8 等光模块以及 400G AOC 等产品, 表明相关光模块光器件厂家已具备 400G 的商用能力。从公司官网数据来看, 中际旭创具有最全的 400G 产品线, 其次是新易盛, 具有规模出货能力, 剑桥科技也在今年推出了新品。

图表 39: 主流厂商光模块布局情况

	OSFP	QSFP-DD	CFP8
中际旭创	DR4/FR4/LR4/FR8/SR8	DR4/FR4/LR4/FR8/SR8/AOC	
新易盛	DR4/FR4	DR4/FR4/LR4/FR8/SR8/ACO	
光迅科技	DR4/FR4	DR4/FR4/LR4/SRU	LR8
剑桥科技	FR4/LR4	FR4/LR4	LR8
AAOI	DR4	DR4/FR4/FR8/LR8	
Finisar		FR8/LR8	FR8/LR8

资料来源: 公开资料整理, 国盛证券研究所

#### 4.2.1 中际旭创

中际旭创旗下旭创科技拥有全面的 400G OSFP 和 400G QSFP-DD 光通信模块产品组合。OSFP 包括 4x50Gx2 和 4X100G 两种架构方案, 该系列的产品符合 IEEE 802.3bs 和 OSFP MSA 标准, 主要应用于 400G 以太网、数据中心和云网络。QSFP-DD 包括 8x50G 和 4X100G 两种架构方案。该系列的产品符合 IEEE 802.3bs 和 QSFP-DD MSA 标准, 主要应用于 400G 以太网、数据中心和云网络。这两种方案各有优势, 400G QSFP-DD 在与 100G/200G QSFP28/56 的向后兼容性方面表现卓越, 而 400G OSFP 则在向上升级至 800G 方面具有优势。

图表 40: 旭创科技 400G 光通信模块产品组合

产品	图例	简介
OSFP		包括 4x50Gx2 和 4X100G 两种架构方案。该系列的产品符合 IEEE 802.3bs 和 OSFP MSA 标准, 产品系列包括 AOC (3~100m)、SR8 (100m)、2*FR4 (2km)、DR4 (500m)、DR4+ (2km)、FR4 (2km)、LR4 (10km)
QSFP-DD		包括 8x50G 和 4X100G 两种架构方案。该系列的产品符合 IEEE 802.3bs 和 QSFP-DD MSA 标准, 产品系列包括 AOC (3~100m)、SR8 (100m)、DR4 (500m)、DR4+ (2km)、FR4 (2km)、LR4 (10km)

资料来源: 旭创科技, 国盛证券研究所

中际旭创在高端光通信收发模块产品研发和设计领域、成本管控及经营管理上均具有突出优势。公司拥有包括独特光学设计封装平台、超高的光学耦合效率、高速光模块的设计能力、高频电路和信号完整性专业设计及自主研发的全自动高效测试平台等业内领先技术, 且在经营管理上实行精细化管理, 通过销售订单为主导的生产模式和优秀的供应链管理, 在降低成本的同时保证产品质量, 提高产品竞争力, 深受国内外知名客户的青睐。根据 Lightcounting 报告, 苏州旭创在 2017 年全球光模块市场份额中位列第二。

图表 41: 旭创 400G 光模块进展

	2017/9 参展瑞典哥德堡 ECOC 2017 展会, 展示最新一代 400G OSFP 与 400G QSFP-DD 产品
	2018/3 在美国加州圣地亚哥的 OFC 2018 展会上, 推出业内首款 400G QSFP-DD FR4 光通信模块。
	2018/9 在深圳的 CIOE 2018 展会上, 推出数据中心的 400G QSFP-DD 系列光模块和服务于 5G 的高速光模块。
	2018/9 在 ECOC 2018 展会上, 旭创科技现场演示了单波 100G QSFP28 DR1 与 400G Q-DD DR4 的互通, 成为业内首家做此演示的厂商。

资料来源: 公司官网, 国盛证券研究所

中际旭创有望继续享受 400G 的红利。2017 年 3 月的 OFC 会议上, 公司推出业内首款 400G OSFP 产品。2018 年 3 月的 OFC 会议上, 公司率先推出世界首款 400G QSFP-DD FR4 光通信模块。除了研发进度处于领先优势, 在送样测试及小批量供货方面都领先于竞争对手, 根据公司 2018 年年报, 公司 400G 产品在 18 年下半年开始向客户小批量供应, 在业内保持了 400G 产品导入客户的领先优势。预计中际旭创将延续 100G 时代的态势, 充分享受 400G 时代红利。未来公司将继续受益于数据中心流量的增加, 预计至 2021 年, 400G 高速光模块需求将有较大增加, 并成为中际旭创业绩主要驱动力。

#### 4.2.2 新易盛

公司部分 400G 产品有望量产, 积极布局数通市场。公司在 OFC2018 期间展出系列 400G 光模块产品, 能在 1RU 尺寸内实现 12.8Tbps 传输容量, 为高性能应用的大容量传输需求提供便利。19 年 1 月公司发布业界首例功耗在 10W 以下应用于大规模数据中心的 400G QSFP-DD 和 OSFP 封装的 DR4 以及 FR4 产品, 为业界最低功耗的 400G 系列光模块产品。目前公司正积极进入数通市场, 有望在 400G 市场弯道超车。

图表 42: 新易盛 400G OSFP 产品



**QSFP-DD 400G**

QSFP56-DD electrical interfaces will employ eight /four lanes that operate up 50/100 Gbps PAM4 modulation, providing solutions up 400 Gbps aggregate

**OSFP 400G**

Eoptolink is developing OSFP(Octal Small Form Factor Pluggable) a new pluggable form factor with eight high speed electrical lanes that will initially support 400 Gbps (4\*100G and 8x50G)

资料来源: 新易盛, 国盛证券研究所

OSFP 旨在支持下一代 800G 光学模块, 这些模块将使用 8 个 100Gbps 通道, 并向后兼容 100G QSFP。它们符合 OSFP MSA, 根据 CMIS (通用管理接口规范) 的规定, 可通过 I2C 接口提供数字诊断功能。新易盛的 400G QSFP56-DD 收发器正在解决实现高速 400G 互连的技术挑战。这些收发器有四个光通道, 工作在 100Gbps PAM4 调制, 提供高达 400 Gbps 的解决方案。收发器在电气侧具有 53.125Gbps PAM4 的 8 个通道。它们符合 QSFP-DD MSA。根据 CMIS (通用管理接口规范) 的规定, 可通过 I2C 接口提供数字诊断功能。QSFP-DD 可在 1U 交换机插槽中实现高达 14.4Tbps 的总带宽。

图表 43: 新易盛 400G 产品参数

	Part No.	Description	Data Rate	Wavelength	Temp.	Distance
400G / 200G QSFP-DD	EOLD-164HG-E-02-1	QSFP-DD 2*200G CWDM4	8*50G PAM4	1271nm/1291nm 1311nm/1331nm	0℃~70℃	2km
	EOLD-162HG-E-02-1	QSFP-DD 2*100G CWDM4	8*25G 200GbE	1271nm/1291nm 1311nm/1331nm	0℃~70℃	2km
	EOLD-162HG-E-10-1	QSFP-DD 2*100G 4WDM-10	8*25G 200GbE	1271nm/1291nm 1311nm/1331nm	0℃~70℃	10km
	EOLD-162HG-E-10-L	QSFP-DD 2*100G LR4	8*25G 200GbE	1295nm/1300nm 1305nm/1310nm	0℃~70℃	10km
	EOLD-134HG-5H	QSFP-DD 4*100G DR4	4*100G 400GbE	1310nm	0℃~70℃	500m
	EOLD-164HG-02	QSFP-DD 4*100G FR4	4*100G 400GbE	1271nm/1291nm 1311nm/1331nm	0℃~70℃	2km
	EOLD-164HG-10-L	QSFP-DD 4*100G LR4	4*100G 400GbE	1295nm/1300nm 1305nm/1310nm	0℃~70℃	10km
400G OSFP	EOLO-164HG-E-01	OSFP 2*200G FR4	8*50G PAM4	1271nm/1291nm 1311nm/1331nm	20℃~60℃	2km

All committed QSFP-DD products can also be manufactured in OSFP form factor

资料来源: 公司官网, 国盛证券研究所

整体而言, 新易盛扎根四川, 成本控制能力优秀, 且近年来调整产品及渠道结构, 瞄准海外高端市场的战略已经在收入端和利率端有所体现, 400G 市场有望实现弯道超车。

### 4.3.3 Finisar

Finisar 于 2018 推出其业界首款 400G QSFP-DD LR8 收发器样品, 可以满足服务提供商对 10km 传输距离的必要条件。通过使用 50GPAM4 调制技术, 样品可以达到光模块在解复用单模光纤(SMF)上超过 10km 的数据传输。另外, Fninsar 还将展示 10kmLR8 模块的细分产品, 例如 2kmFR8 模块, 该产品可在数据中心互联中产生重要作用。LR8 模块和 FR8 模块都使用 DML 发射器技术, 为 400G 提供了低功耗、低风险和低成本解决方案。

图表 44: Finisar 400G QSFP-DD 产品



400GBASE-LR8 QSFP-DD光收发器  
FTCD1323E1PCL

构成因素: QSFP-DD 距离: 10公里 数据速率(最大): 425 Gb/s 波长: 1310nm波段  
协议: 符合400G以太网标准



400GBASE-FR8 QSFP-DD光收发器  
FTCD1333E1PCL

构成因素: QSFP-DD 距离: 2公里 数据速率(最大): 425 Gb/s 波长: 1310nm波段  
协议: 符合400G以太网标准

资料来源: Finisar, 国盛证券研究所

除了 QSFP-DD 产品外, Finisar 另一种产品是基于 CFP8 的 400G LR8 光模块。公司并没有基于 OSFP 的相关产品。

图表 45: Finisar 400G CFP8 产品



400GBASE-LR8 10km CFP8光纤收发器  
FTCD1314E1BCL

构成因素: CFP8 距离: 10公里 数据速率(最大): 425 Gb/s 波长: 1310nm波段  
协议: 符合400G以太网标准



400GBASE-FR8 2km CFP8光纤收发器  
FTCD1324E1BCL

构成因素: CFP8 距离: 2公里 数据速率(最大): 425 Gb/s 波长: 1310nm波段  
协议: 符合400G以太网标准

资料来源: Finisar, 国盛证券研究所

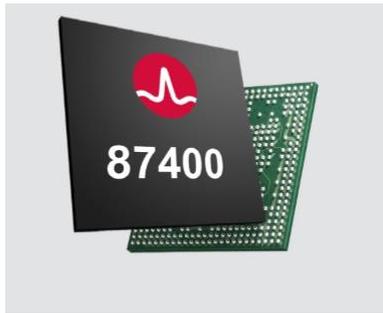
## 4.4 主流芯片/收发器厂商的进展情况

### 4.4.1 博通

博通 **BCM87400** 支持 **QSFP-DD** 和 **OSFP** 光模块。博通 BCM87400 的 400GbE PAM4 8:4 gearbox PHY 芯片采用了最新 7nm 工艺平台, 相比其他 16nm 工艺器件, 可以更好地降低功耗, 适用于 12W 光模块。BCM87400 系列器件是业界性能最高, 功耗最低的单芯片 400GbE PAM-4 PHY 收发器平台, 能够以 56Gbaud 驱动四通道 112Gb/s PAM-4, 同时支持 DR4/FR4/LR4 光链路。在 400GbE 模式下, BCM87400 将 8 个 53Gb/s 的通道 (26-Gbaud PAM-4) 从系统侧转换为 4 个 106Gb/s 通道 (53-Gbaud PAM-4)。BCM87400 利用 Broadcom 市场领先的 PAM-4 PHY 技术平台, 代表业界首款采用 7-nm CMOS 的 400G PAM-4 PHY 收发器。Broadcom 先进的 DSP 技术和均衡技术可在保持世界上最低功耗的同时补偿光学损伤, 从而可在可插拔光学模块和共同封装的光学解决方案中进行部署。

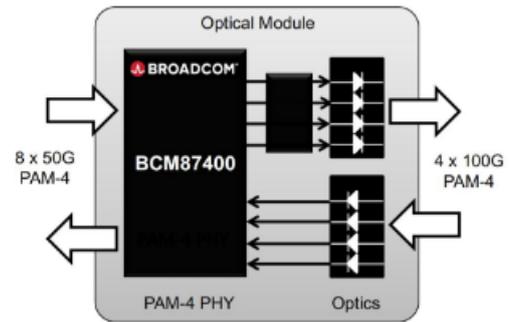
随着市场上 12.8Tbps 交换机的可用性普遍提升 (例如思科 Nexus 9300 交换机), 超大规模数据中心运营商和云服务提供商将在这类交换机上部署 400G 端口, 以满足客户持续增长的高带宽需求。低功耗 7nm Centenario PAM4 DSP 芯片可满足使用 QSFP-DD 或 OSFP 光模块的高密度 400G 连接要求, 跟目前可用的 CMOS 解决方案相比, 每个 400G 光模块降低 4W 功耗的意义非常重大, 在超大规模网络部署向 400G 光模块演进过程中, 它可以有效缓解市场对功耗的担忧, 这有助于 400GbE 网络基础设施向前发展。

图表 46: 博通 400G PAM4PHY 芯片 BCM87400



资料来源: 博通, 国盛证券研究所

图表 47: 博通 400G PAM4PHY 芯片 BCM87400 架构



资料来源: 博通, 国盛证券研究所

## 4.5 关于硅光

### 4.5.1 硅光技术简介

硅基光电子包括硅基光子材料、硅基光子器件、硅基光子集成三个主要方面。其中硅基光子器件，是指以硅半导体材料技术制作的各种光有源及无源器件，包括硅基发光二极管、硅基激光器、硅基光探测器、硅基光调制器、平面波导、光栅耦合器等。

相比于 InP 和 GaAs 半导体材料技术，以硅半导体材料的最大优势是可以利用集成电路领域最成熟有效的制造设备，大幅降低成本、提高系统集成度。在摩尔定律下，集成电路每单位价格逐年下降。由于高纯硅的独特性，集成度越高，晶体管的价格越便宜。在 20 世纪 60 年代初，一个晶体管要 10 美元左右，但随着晶体管越来越小，直小到一根头发丝上可以放 1000 个晶体管时，每个晶体管的价格只有千分之一美分。

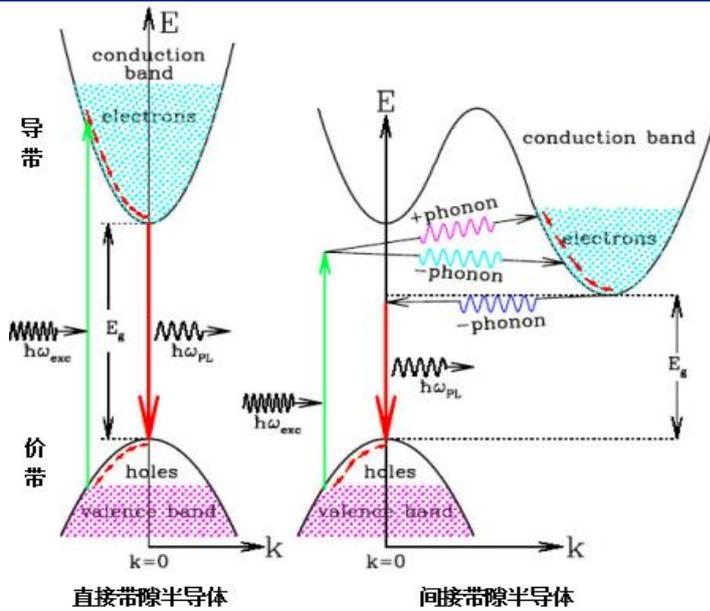
硅光可以使用 8 英寸和 12 英寸晶圆，使用高产能工厂、拥有精确工艺控制、从而能在高度复杂、高度集成的芯片上实现大产能、高良率的可能性。而 III/V 族（即 InP 和 GaAs，Si 和 Ge 为 IV 族）仍然使用着硅晶圆早期的技术，停留在 2 英寸、3 英寸、4 英寸；比现硅晶圆能达到的精度要粗 10 倍；工艺控制和自动化程度也要落后很多。

### 4.5.2 前路并不平坦，400G 时代或遇发展新机遇

硅光因为材料的变化，虽提高了集成度、降低功耗，但代价却是发光效率，这使得硅光的商用化进程并非坦途。其核心原因是传统光学材料（磷化铟 InP 和砷化镓 GaAs）是直接带隙半导体，而硅光半导体材料（Si）是间接带隙半导体。传统光学材料 InP 能发出 850nm、1310nm 和 1550nm 三种光，而且发光效率比较高（能耗低），而硅光要使用的半导体材料 Si 的发光性能不好，只能发出 850nm 的光，而且发光能耗高、效率低（发光效率和外量子转换效率（EQE）仅为直接带隙半导体 InP、GaAs 的十万分之一）。

间接带隙半导体在电子跃迁时，有声子产生，导致发光效率低。从能带图谱可以看出，电子在跃迁时，由于 k 轴空间位置出现了变化，导致部分能量释放给晶格，转化为声子。而直接带隙中的电子跃迁前后，k 轴无位置变化，于是便有更大的几率将能量保持光子的形式释放出来。

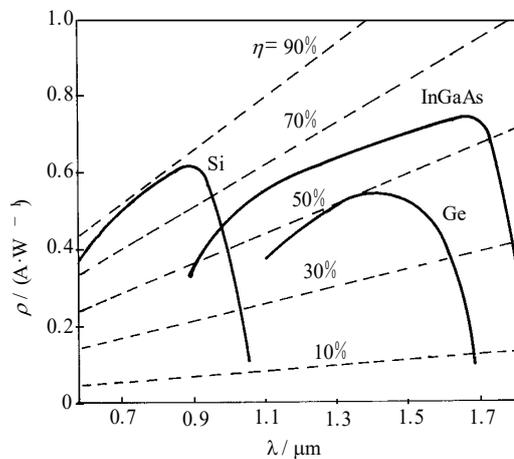
图表 48: 间接带隙材料的发光效率低



资料来源: ned.ipac.caltech.edu, 国盛证券研究

**Si 材料仅在光波长低于 850nm 时，才能提高效率。**光学特征要与光器件匹配。传统光学材料的工作波长有短波长 850nm、长波长 1310nm 和 1550nm。相比之下 Si 材料，仅对于波长低于 850nm 的光具有较强的吸收系数，而对于长波长 1310nm 和 1550nm 的光吸收系数比较低，导致外量子效率较低。

图表 49: Si 仅对波长低于 850nm 的光具有较强的吸收系数



资料来源: 电子工程世界, 国盛证券研究

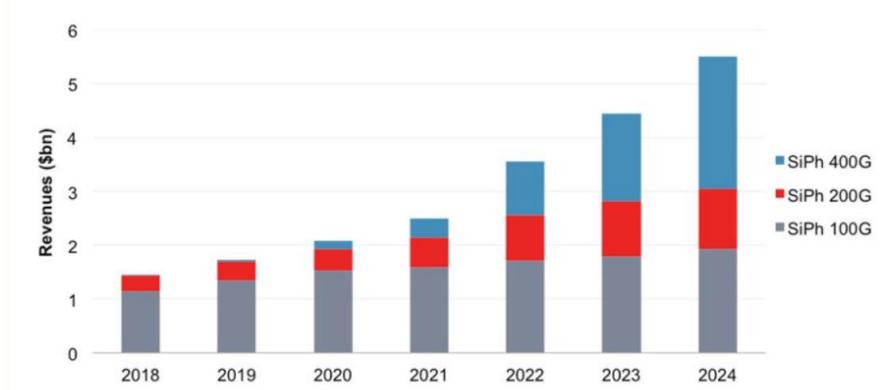
以上两个主要技术点解决办法通常是通过掺杂引入发光体、石墨烯等纳米材料，将能量引入发光体或改进其面临的缺点使其发光，以提高发光效率。

**400G 时代硅光光模块或遇发展新机遇。**当前大型数据中心使用的 100G 光模块已大规模放量，传统光模块技术成熟稳定、价格实惠，硅光光模块并没有优势。而即将到来的 400G 时代，由于传统的 VCSEL、EML、DML 信号调制方式已经接近带宽极限，对硅光技术来说是一次弯道超车的机会。若在制定标准或协议时考虑硅光技术，或将会对硅光技术以及硅光光模块的应用带来一定程度促进，400G 时代光模块或遇发展新机遇。

各大厂商重视硅光领域技术布局。目前英特尔公司已经出货了超过 100 万个 100G 硅光光模块，并开始展望硅光 400G 进程。英特尔一直致力于将处理器上的电子 I/O 通过光学 I/O 进行取代。思科通过收购硅光专业公司 Luxtera 后为硅光市场提供了重大推动力。思科将直接控制关键的成本投入，并更直接地控制传输技术路线图。通过收购 Aurrion，瞻博网络 (Juniper) 也已经进入硅光领域，并打算通过合约制造合作伙伴参与商业市场。

根据 Ovum 最新研究显示，硅光光模块已经占据整体光模块市场收入的四分之一。Ovum 预计这一比例到 2024 年将增至近 40%。硅光市场发展的主要驱动力是数据中心内部连接市场的增长。硅光子的最大看点是将精细化和昂贵的光学制造技术转化为大规模的 CMOS 制造经济。其他的吸引力在于其更小的外形尺寸和更低的功耗。历史上的挑战一直是如何获得基于硅的解决方案来发射、调节和探测光线。制造成本也是一个挑战。

图表 50: 2018-2024 年 100G、200G 和 400G 光模块硅光产品收入预测



资料来源: Ovum, 国盛证券研究所

## 5. 数据中心 400G 布线及连接——数据密度革命之新蓝海

### 5.1 被低估的数据中心光学连接方案

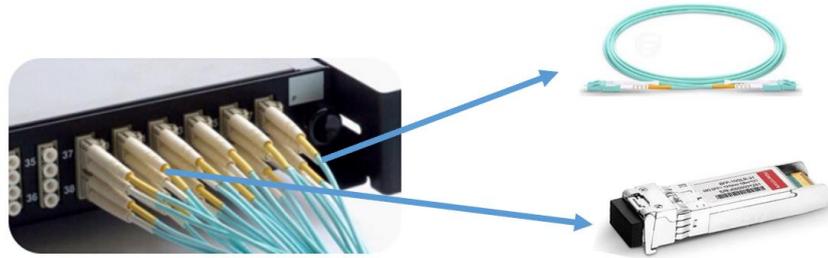
数据中心内部光学连接需要借助光模块和光纤连接器来实现。此前市场对光模块比较重视,但低估了 400G 高密度下光连接的增量市场。要实现交换机 A 和交换 B 之间的连接,需要借助光模块和光纤连接器来实现。光模块的电口插进交换机 A 的电口使二者相连,将电信号通过光模块转换成光信号,并将光模块的另一端光接口与光纤连接器相连实现光信号传输,再依次将光纤连接器的另一端与另一个光模块的光口相连,光模块的电口和交换机 B 的电口连接,最终实现两台交换机之间的连接

图表 51: 交换机之间借助光模块和光纤连接器实现连接



资料来源: 华为, 国盛证券研究所

图表 52: 交换机、光模块、光纤连接器具体连接方式



资料来源: 公开资料整理, 国盛证券研究所

光纤连接器种类繁多, 按客户具体要求可进行灵活定制。光纤连接器可根据接头型号(两端定制, 有 MPO/FC/SC/ST/MU/LC 等型号)、端面(两端)、光纤芯数(2 芯、4 芯、8 芯、12 芯、16 芯等)、光纤模式(单模 or 多模, OS1/OS2 或者 OM1/OM2/OM3/OM4/OM5)、光缆外径、全长、尾纤长度等要求进行精准定制, 满足客户的各种需求。

图表 53: 太辰光光纤连接器的定制方案

■ 订货信息

MPO-male / APC / 12F - FC / UPC / SM /  $\Phi 0.9$  - L / L1 - RJ  
① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

名称	单位	参数
① 接头型号 1#	--	MPO-female*, MPO-male
② 端面 1#	--	PC, APC
③ 光纤芯数	--	2, 4, 8, 12 & 24 MT Fiber
④ 接头型号 2#	--	MPO-female*, MPO-male, FC, SC, ST, MU, LC, E2000
⑤ 端面 2#	--	PC, UPC, APC
⑥ 光纤模式	--	SM(OS1, OS2), MM(OM1, OM2, OM3, OM4)
⑦ 光缆外径	(mm)	$\Phi 2, \Phi 3, \Phi 4$
⑧ 全长	(M)	L=1, 2, 3, 4 ...
⑨ 尾纤长度	(M)	L1=0.5, 0.6, 1.0
⑩ 光缆类型	--	RJ: Jacket Ribbon Cable, RB: Bare Ribbon Cable, MIC: 250um mini round cable

※For female MPO Connector, female can be omitted in the ordering information

资料来源: 太辰光, 国盛证券研究所

图表 54: 光纤连接器主流接头型号



资料来源: 公开资料整理, 国盛证券研究所

## 5.2 光纤连接器标准解析

光纤连接器与光模块需匹配，目前标准众多，未达成统一。IEEE 根据数据中心 400G 不同的距离需求，发布了一系列的以太网标准，这些标准看似繁杂实际上存在着一些共同的规律：SR 代表传输距离 70, 100 或者 150 米，采用多模光纤；DR 代表传输距离 500 米，采用单模光纤；FR 代表传输距离 2000 米，采用单模光纤；LR 代表代表传输距离 10km，采用单模光纤；ER 代表传输距离 40km，采用单模光纤。SR 和 DR 后面的数字代表光纤对数。IEEE802.3bs 标准已经于 2018 年发布，IEEE802.3cm 标准正在制订中，预计 2019 年底能被正式批准。除了 IEEE 已经完成及正在进行的标准，如果加上 MSA 的 400G 应用，实际上可以参考的 400G 应用不下 10 种。

图表 55: 400G 以太网布线方案

Rate	PMD	Media	Reach	Fibers	Wave Lengths	Lane Rate	IEEE or Not
400G	SR4.2	4 Pairs MM	100m	8	2	50G	IEEE802.3cm
	SR8	8 Pairs MM	100m	16	1	50G	IEEE802.3cm
	SR16	16 Pairs MM	100m	32	1	25G	802.3bs (2018)
	DR4	4 Pairs SM	500m	8	1	100G	802.3bs (2018)
	FR8	1 Pair SM	2km	2	8	50G	802.3bs (2018)
	LR8	1 Pair SM	10km	2	8	50G	802.3bs (2018)

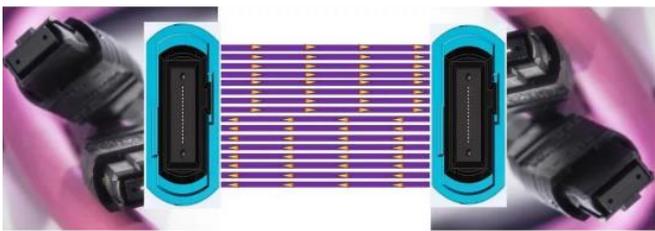
资料来源：光纤在线，国盛证券研究所

根据光纤在线以及康普公司的判断来看，市场认可度比较高的 2 个模型如下：

### 1、400GBase-SR4.2

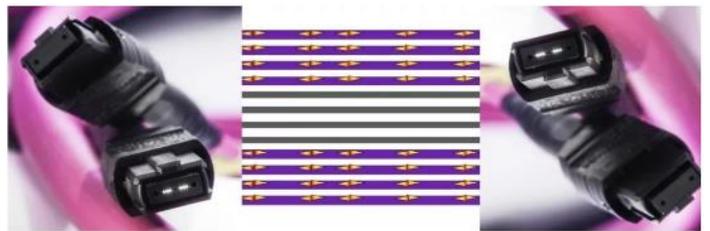
采用 4 路并行传输技术和波分复用技术，每个通道传输双向 50G 共 100G。接口可以采用普通 12 芯 MPO，其中两侧 8 芯可以用于传输，多模光纤可以采用 OM3, OM4 及 OM5，支持的长度分别为 70 米，100 米，150 米。这种应用特点：接口与 40G / 100G 相同可以向下兼容，但由于采用波分复用技术，收发器成本相对单波长的收发器成本更高。

图表 56: 400GBase-SR8



资料来源：罗森伯格，光纤在线，国盛证券研究所

图表 57: 400GBase-SR4.2

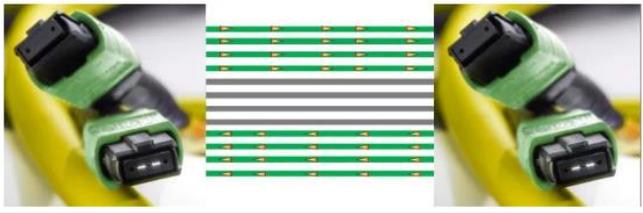


资料来源：罗森伯格，光纤在线，国盛证券研究所

### 2、400GBase-DR4

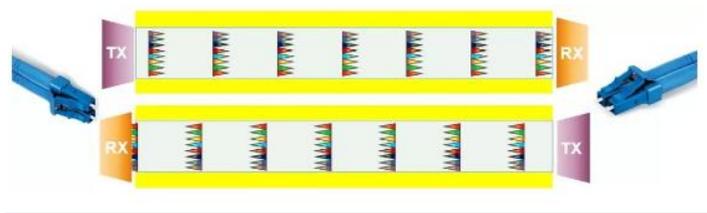
采用单模光纤单波长并行传输技术，每个通道传输单向 100Gbps。接口可以采用普通 12 芯单模 MPO，两侧 8 芯可以用于信号传输，支持应用距离 500 米。应用特点：接口与 40G / 100G 相同可以向下兼容，有单波长应用，收发器成本相对有优势，比多模的收发器成本要更高一些。

图表 58: 400GBase-DR4



资料来源: 罗森伯格, 光纤在线, 国盛证券研究所

图表 59: 400GBase-FR8



资料来源: 罗森伯格, 光纤在线, 国盛证券研究所

**多模光纤将主导 400G 以太布线方案。**除了 SR4.2 以及 DR4 这两种呼声比较高的选型外, 400GBase-SR8、400GBase-FR8 也有较高的支持度, 可应用于不同场景。SR8 采用多模光纤单波长单向 8 通道, 每通道传 50G, 接口采用 16 芯/24 芯 MPO 接口。FR8 采用单模光纤 8 波长波分复用技术, 每波长传 50Gbps, 接口可以采用普通单模 LC, 支持应用距离 2 公里。从数据中心主干历代演进规律来看, **多模光纤**由于其功耗低密度高距离近的特点, 特别适合用于数据中心内部的短距离连接, 目前多模光纤可以满足 90% 数据中心主干应用的需要。布线领先厂商康普认为, 未来主流的应该只会有两种: 一种是以 400G SR4.2 为代表的多模方案, SR4.2+OM5 的多模光纤; 另一种是以 400G DR4 为代表的单模方案。这二者的物理特性非常接近。

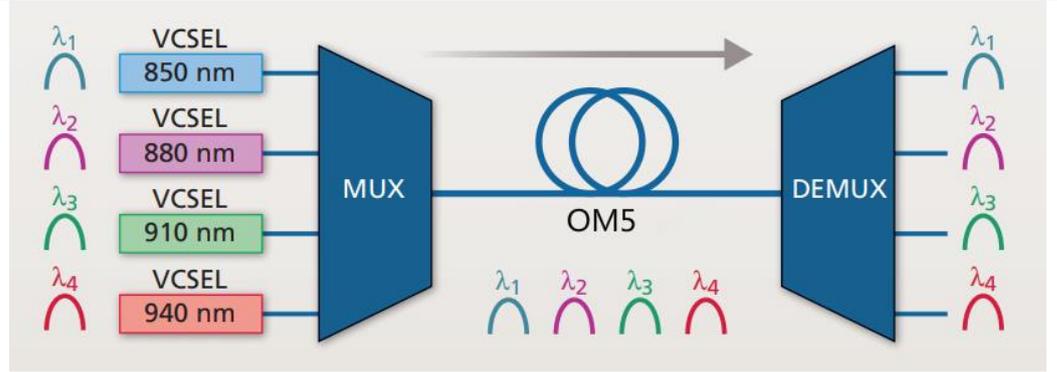
图表 60: IEEE 802.3 以太网应用的不同多模光纤 (MMF) 标准规范及其支持的链路距离

Fiber cable type ISO/IEC 11801	Glass fiber specification TIA-492AAx	Core diameters ( $\mu\text{m}$ )	Max refractive index difference $\Delta n$	Minimum modal bandwidth (MHz·km)						Maximum glass fiber attenuation (dB/km) TIA-492AAx IEC 60793-2-10			Maximum fiber cable attenuation (dB/km) TIA 568-3-D ISO/IEC 11801			IEEE 802.3 link distance				
				Overfilled launch (OFL) bandwidth			Effective modal bandwidth			850nm	953nm	1300nm	850nm	953nm	1300nm	1000-SR	10G-SR	40G-SR4 & 100G-SR10	100G-SR4 & 400G-SR16	50G-SR & 200G-SR4*
				850nm	953nm	1300nm	850nm	953nm												
OM1	TIA-492AAAA	62.5	0.02	200	/	500	/	/	3.2	/	0.9	3.5	1.5	275 m	33 m	/	/	/		
OM2	TIA-492AAAB	50	0.01	500	/	500	/	/	3	/	1	3.5	1.5	550 m	82 m	/	/	/		
OM3	TIA-492AAAC	50	0.01	1500	/	500	2000	/	2.5	/	0.8	3.0	1.5	/	300 m	100 m	70 m	70 m		
OM4	TIA-492AAAD	50	0.01	3500	/	500	4700	/	2.5	/	0.8	3.0	1.5	/	400 m	150 m	100 m	100 m		
OM5	TIA-492AAAE (WBMMF)	50	0.01	3500	1850	500	4700	2470	2.5	1.8	0.8	3.0	2.3	1.5	no spec	400 m	150 m	100 m	100 m	

资料来源: IEEE802.3, 国盛证券研究所

**高密度 OM5 多模光纤代表未来。**光通信中“OM”是指“Optical Multi-mode”, 是多模光纤表示光纤等级的标准。目前, TIA 和 IEC 定义的光纤跳线标准有 OM1, OM2, OM3, OM4, 以及最新的 OM5。OM5 宽带多模光纤衰减从以前 OM3、OM4 光缆的 3.5dB/km 降低到 3.0dB/km, 另外增加 953nm 波长上的带宽要求。OM5 的几何外形 (50  $\mu\text{m}$  芯线, 125  $\mu\text{m}$  包层) 与 OM3 和 OM4 的相同, 因此可以向下兼容这些类型的光纤。OM5 光纤同时支持未来的 400G 以太网, 对于更高速的 400G 以太网应用比如 400G Base-SR4.2 (4 对光纤 2 个波长, 每个通道采用 50G PAM4) 或者 400G Base-SR4.4 (4 对光纤 4 个波长, 每个通道采用 25GNRZ), 只需要 8 芯 OM5 光纤。OM5 光纤是一种经激光优化的多模光纤 (MMF), 专为波分复用 (WDM) 指定了带宽特性。这种新的光纤分类方法的目的在于为 850nm 和 950nm 之间的多种“短”波长提供支持, 该范围内的波长在聚合后适合高带宽的应用。

图表 61: OM5 光纤使用示意图

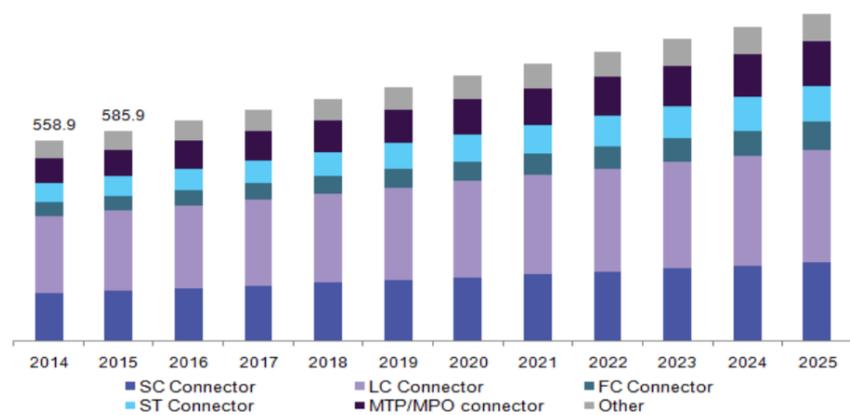


资料来源: cabling installation & maintenance 2017.09, 国盛证券研究所

**12/24 芯连接器将继续作为主流范式。**随着 400G 进程的逐渐深入，对于连接器的需求还将继续扩大，且在高密度下，考虑到链路损耗问题，链路损耗与光缆损耗、连接器损耗、光纤熔接点损耗有关，连接器的选择非常重要。当前 40G/100G 连接器的芯数主流是 12/24 芯，在新的 400G 进程中，连接器大概率将继续保持使用 12/24 芯。我们可以看到 400GBase-SR4.2 和 400GBase-DR4 两款方案需要 4 对光纤，使用 12 芯即可满足连接需求（首尾 4 对，中间空出）。从目前的主要的布线方案看，增加芯数会使得数据中心布线结构更加复杂，不利于日常运维管理维护，而减少芯数的方案对光纤制作工艺要求更高，光纤产品良率将下降，成本提高。综合来看，400G 下连接器的光纤芯数更大的可能性是维持当前主流的 12/24 芯。

**大型数据中心集中地美国光纤连接器市场依然强劲。**根据 Grand View Research 预测，美国光纤连接器市场因为对互联网数据中心建设和通信基础设施建设的投入不断增大，接下来几年将呈现持续稳定上升的趋势。

图表 62: 美国光纤连接器市场规模预测 (2017) (百万美元)



资料来源: Grand View Research, 国盛证券研究所

## 5.3 主流布线/连接器供应商

### 5.3.1 康宁

康宁通信推出的 LANscape EDGE 高密度可扩展解决方案是高密度的预端接光缆系统解决方案，简化了数据中心环境下的现场安装并提高了系统性能。EDGE 解决方案实现了更高的系统密度，并提供市场上最高的端口密度，模块化的系统管理方式和预端接组件

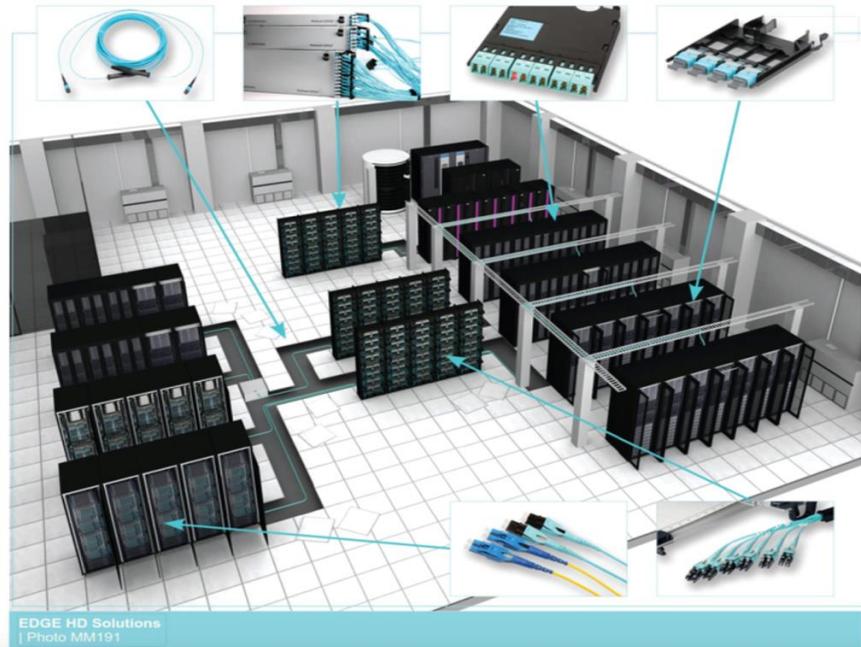
可以减少安装时间，实现更快的移动、新增和变更。EDGE 解决方案由主干光缆、主干延伸光缆、模块、分支光缆、配线架和跳线等组成。全系列产品均采用康宁 ClearCurve 光纤，从而减小光缆直径和光缆弯曲半径。

图表 63: 康宁品种齐全的光纤连接器产品



资料来源: 康宁, 国盛证券研究所

图表 64: 康宁数据中心 EDGE 光纤布线系统

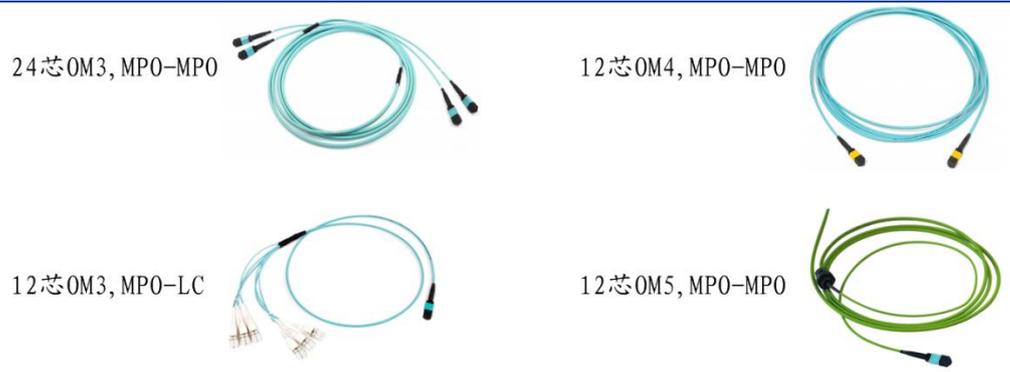


资料来源: 康宁, 国盛证券研究所

### 5.3.2 康普

光纤和布线领域的领导厂商美国康普 CommScope 针对提升数据中心的网络容量，灵活性和安装密度推出整合若干康普光纤产品的高速迁移平台，可以针对单模和多模光纤等各种应用。康普的高速迁移平台将包括一下产品：多种 MPO 连接方案，包括可以降低初始安装成本的 24 芯 MPO 以及指出标准 12 芯光纤架构拓展的 12 芯连接器和针对 QSFP 应用的 8 芯 MPO；支持双路以及并行端口，支持多种安装密度的光纤面板；超低损耗预先端接的器件，支持更长链路距离，支持对衰减灵敏的场合；LazrSPEED WideBand OM5 光缆，康普旗舰的 SYSTIMAX 产品线的一部分，支持 SWDM。康普将促进数据中心容量的进一步提升，加快他们数字化转型的步伐，帮助用户迅速从 10G/40G 向 100G/400G 迁移。

图表 65: 康普型号丰富的光纤跳线产品



资料来源: 康普, 国盛证券研究所

### 5.3.3 太辰光

太辰光成立于 2000 年, 起家于陶瓷插芯业务, 目前是以光纤连接器为核心产品 (收入占比过半), 同时拥有陶瓷插芯、PLC 分路器、波分复用器、耦合器、光纤光栅等光器件的领先光器件厂商。

太辰光的光纤连接器产品线丰富, 400G 进程下, MPO/MTP 的高端化将有望使公司迎来新的增长。公司光纤连接器规格齐全, 符合 IEC 标准, 具有低插入损耗和高回波损耗等特点。提供的连接器包括单/双芯连接器、多芯连接器、MT 连接器、保偏连接器、模式转换连接器等, 支持的类型包括 LC、MU、FC、ST 等多种型号。公司基于自产插芯的技术优势和经验积累, 成为行业内少数的具备了符合 IEC61755 标准的 B 级跳线(跳线分为 A、B、C、D 四个等级, A 级为测试线, B 级是常规跳线的最高等级)和标准测试线等高标准连接器的成熟制造工艺和规模生产能力的企业之一。目前公司正重点生产 MPO/MTP 高密度光纤连接器等高端连接器产品, 作为北美云厂商的重要供应商, 400G 的时代将赋予公司强劲的增长动力。

图表 66: 太辰光光纤连接器产品规格齐全



资料来源: 太辰光, 国盛证券研究所

### 5.3.4 光迅科技

光迅科技针对目前在建 40G/100G 光纤布线系统进行重新设计，提出“可平滑升级的从 40G/100G 到 400G 数据中心光纤布线解决方案”，在基于目前以太网 40/100G 应用下，提供一个简单且易于管理的光纤布线解决方案，为未来 400G 以太网光纤布线系统应用平滑升级提供坚实的光纤布线基础，以减少客户对光纤资源的重复投入，实现客户的最大成本控制优势。

光迅科技提出“可平滑升级的从 40G/100G 到 400G 数据中心光纤布线解决方案”为基于 16 芯/24 芯 MTP/MPO 预端接主干光缆，并采用模块化的管理方式和预端接 MTP/MPO 跳线，实现即插即用、高密度、可扩展，减少施工时间，该解决方案正在实现数据中心光纤布线系统从 40G/100G 到 400G 的快速平滑升级。

该解决方案主要有如下优点：1. 主干光缆采用 16 芯多芯光缆，实现光纤 100% 利用率。2. 适用于 16 芯/24 芯 MTP/MPO 光纤连接器，满足 4 通道 (SR4)、8 通道 (SR8) 应用，实现最简单可靠的 40G/100G 到 400G 以太网平滑升级路径。3. 模块化设计，即插即用，易于扩展和施工，便于升级。4. 低插入损耗：MTP/MPO 光纤连接器插入损耗  $\leq 0.35\text{dB}$ 。

图表 67: 光迅科技 40/100G 光纤布线解决方案



资料来源：光迅科技，国盛证券研究所

图表 68: 光迅科技 400G 光纤布线解决方案



资料来源：光迅科技，国盛证券研究所

## 6. 高速 PCB 板——数据密度革命之基石

### 6.1 高速 PCB 板在数据中心的使用

大规模数据中心的建设会增加服务器 PCB 的用量，数据中心承载流量大且传输速度快，向高速大容量高宽带的方向持续发展，对 PCB 的层数和材料要求进一步提高，提升高速高密度多层印制电路板的需求。多层板的优点有很多，装配密度高、体积小、电子元器件之间的连线缩短，信号传输速度提高，且方便布线。对于高频电路，加入地线层，使信号线对地形成恒定的低阻抗，屏蔽效果好。数通用的高速高密度多层印制电路板正越来越受到主流供应商的重视，包括深南电路、沪电股份等一线 pcb/覆铜板供应商都已加快布局高速高密度多层印制电路板的进程。

图表 69: 老款服务器主板一般为 6-8 层 PCB



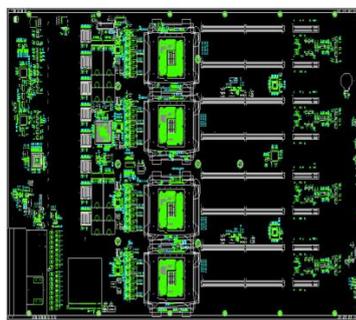
华硕 (ASUS) TUF GAMING X570-PLUS (WIFI) 主板, 6层PCB



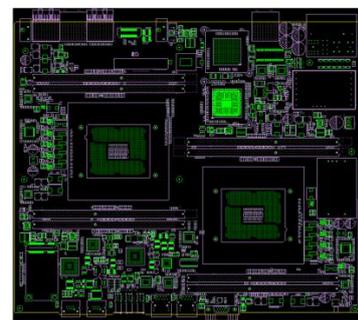
华硕 (ASUS) PRO WS X570-ACE 主板 (AMD X570/socket AM4), 8层PCB

资料来源: ENCOURAGE, 国盛证券研究所

图表 70: 下一代服务器主板多为 16 层以上 PCB



四路至强96DIMMs服务器  
主板, 16层PCB



双路至强ATCA服务器  
主板, 18层PCB

资料来源: ENCOURAGE, 国盛证券研究所

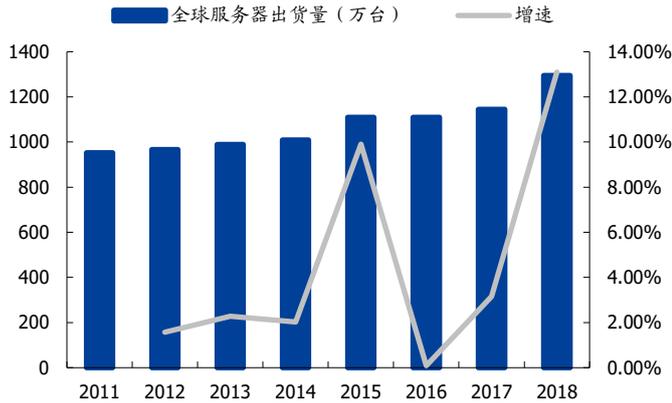
图表 71: 浪潮 FP5466G2 服务器, 采用 M6 级主板, 14 层 PCB, 全内层走线



资料来源: 浪潮, 国盛证券研究所

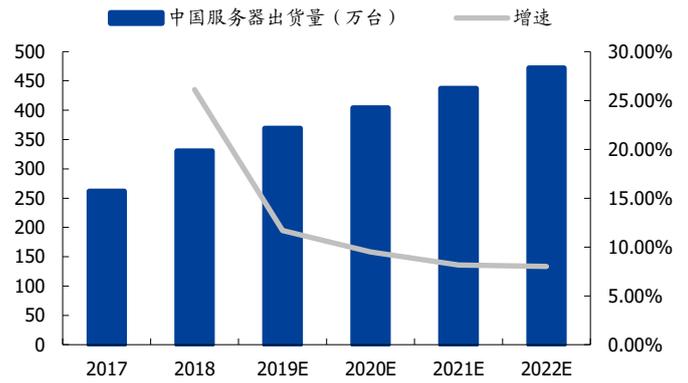
高速 PCB 板主要应用在服务器、交换机、光模块和传输网络等方面, 其中服务器对于高速 PCB 板的需求量最大。大型数据中心能容纳的服务器数量是数十万级别的, 流量的爆发也会提升数据中心服务器的需求, 而下一代服务器陆续将会使用高速多层 PCB 板。在单路、双路服务器上 PCB 板一般在 4-8 层之间, 而 4 路、8 路等高端服务器主板要求 16 层以上, 背板要求则在 20 层以上。服务器出货量有望继续稳定, 利好布局高速 PCB 板的相关公司。

图表 72: 11-18 年全球服务器出货量及其增速



资料来源: IDC, 国盛证券研究所

图表 73: 17-22 年中国服务器出货量及其增速预测



资料来源: IDC, 国盛证券研究所

## 6.2 主流 PCB/覆铜板供应商

### 6.2.1 深南电路

深南电路成立于 1984 年, 专注从事印刷电路板 PCB 业务。经过 30 余年的发展, 公司已成为中国印制电路板行业的产值第一的龙头企业。针对数据中心 400G 进程, 深南提供了专门的高速大容量应用解决方案, 针对核心叶脊交换机、光传输网络、服务器、储存器等, 提供了针对性的光连接板、高密度系统板和背板, 数据中心 400G 进程将促进深南电路相关的产品销量的提升。

对于高速板的主要应用领域, 主要是应用于承载网、核心网、交换机、BBU 和服务器。以前主流的高速板型号有 m4/m6/m7, 未来更高端的材料会越来越多。目前交换机都已经用上高速板材, 而服务器才刚刚开始。接下来的新一代服务器平台将会使用 m4 型材料。深南的南通二期定位高速 PCB 板, 主要面向数通、以高速背板为主要生产线。客户主要包括惠普、联想、浪潮、戴尔等。目前的服务器正处于平台切换阶段, 对高速 PCB 板也呈现了很多通信的特点, 这是恰好又是深南电路擅长的。对于即将到来的数据中心 400G 升级, 深南电路已经做好了充分的准备。

图表 74: 深南电路针对高速大容量应用的解决方案



资料来源: 深南电路, 国盛证券研究所



### 6.2.4 华正新材

浙江华正新材料股份有限公司成立于 2003 年，是华立集团的控股成员企业，是国内最早从事研发生产环氧树脂覆铜板的企业之一。随着云端传输技术的广泛应用，通讯 4G / 5G 时代的来临，数据交换总量急速上升，数据处理设备呈现爆炸式增长，通讯基站、超级计算机、云端服务器等设备将被大量使用，高速基材成为时下 CCL 厂家研发与生产的热点。目前公司青山湖一期厂区可实现每月 60 万张的高速板产能，可以与 FR4 覆铜板按需灵活切换产能。针对不同的应用领域，公司对现有树脂体系进行全面的升级，研究开发了品种丰富、性能优异稳定的高速基材产品系列。经过前期与部分客户的合作认证，高速覆铜板已实现批量生产。目前公司新厂区的二期扩产正在筹划中，将进一步加大高速高频材料的产能扩张。

## 7. 投资建议

全球 5G 商用加速，云计算、人工智能加速发展，数据中心外部南北向流量和内部东西向流量将继续高速增长，数据中心升级刻不容缓。

北美四大云厂商即将率先步入 400G 升级，未来对 400G 光模块的需求将迅速扩大。从数据中心的整体结构上看，400G 升级将以升级交换机、光模块、连接器为主，加宽数据中心内外部信息交互的通道，实现数据密度升级。

除此之外，流量的爆发和密度的升级还将带动高速 PCB 的用量，大规模数据中心承载流量大且传输速度快，服务器 PCB 材料向高速大容量高宽带方向持续发展，对 PCB 的层数和材料要求进一步提高，提升高速高密度多层印制电路板的需求。

综上所述，我们给出投资建议如下：

#### 1) 主设备

设备主要以数据中心交换机为主，包括叶交换机、脊交换机和核心交换机，目前国内数通厂商星网锐捷和新华三均推出 400G 交换机产品，有望在这一新的产品线获取一定市场份额。而国内云厂商和 IDC 也将陆续进行数据中心升级，在当前大国博弈背景下，国产替代已成为确定优势，我们推荐：**星网锐捷、紫光股份（新华三）**；

#### 2) 光模块

大型云厂商数据中心均已采用叶脊架构，或在叶脊架构基础上进行拓展升级的架构，其全连接特性对光模块数量的需求较早期传统架构更大，进行 400G 升级对光模块的需求将会是巨大的。光模块龙头中际旭创深耕数通领域多年，市场份额稳定；小黑马新易盛抓住 400G 有望实现弯道超车，进入新领域想象空间大。我们推荐：**新易盛、中际旭创、光迅科技、华工科技**，关注剑桥科技、铭普光磁等。

#### 3) 无源器件系列：连接器、光模块上游组件

太辰光的光纤连接器产品线丰富，400G 进程下，MPO/MTP 的高端化将有望使公司迎来新的增长，同时作为北美云厂商的长期重要供应商，市场格局稳固，在内资企业中拔得先机。天孚通信作为光模块上游领先的器件制造商，产品线种类丰富，覆盖全球主流的光模块龙头厂商，竞争力强，直接受益于 5G 电信市场/400G 数通市场的光模块的需求增长，我们推荐：**太辰光、天孚通信**；

#### 4) PCB

沪电股份主导的 14~28 层中高端企业通信板产品在高速通讯领域的应用泛广。数据中心数据升级对服务器和数通产品 PCB 材料提出新要求。深南电路为核心交换机、光传输网

络、服务器等产品提供光连接板、高密度系统板和背板，投入南通二期全面布局高速 PCB 板。生益科技的 Synamic 6N 高速产品广泛应用在数通产品内。华正新材正对公司现有树脂体系进行全面的升级，研究开发了品种丰富、性能优异稳定的高速基材产品系列，其青山湖一期厂区可实现每月 60 万张的高速板产能，二期正在筹划中。我们推荐：沪电股份、深南电路、生益科技、华正新材。

## 8. 风险提示

- (1) 5G 进度不达预期，对于整体流量的提升不达预期；
- (2) 全球贸易摩擦加剧，对国内上游供应商的全球贸易有影响；
- (3) 大型云厂商数据中心资本开支进展不及预期，导致相应的上游供应商业绩不达预期。

### 免责声明

国盛证券有限责任公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。本报告仅供本公司的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告的信息均来源于本公司认为可信的公开资料，但本公司及其研究人员对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告中的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，可能会随时调整。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。本公司不保证本报告所含信息及资料保持在最新状态，对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的资料、工具、意见、信息及推测只提供给客户作参考之用，不构成任何投资、法律、会计或税务的最终操作建议，本公司不就报告中的内容对最终操作建议做出任何担保。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。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。

投资者应注意，在法律许可的情况下，本公司及其本公司的关联机构可能会持有本报告中涉及的公司所发行的证券并进行交易，也可能为这些公司正在提供或争取提供投资银行、财务顾问和金融产品等各种金融服务。

本报告版权归“国盛证券有限责任公司”所有。未经事先本公司书面授权，任何机构或个人不得对本报告进行任何形式的发布、复制。任何机构或个人如引用、刊发本报告，需注明出处为“国盛证券研究所”，且不得对本报告进行有悖原意的删节或修改。

### 分析师声明

本报告署名分析师在此声明：我们具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，本报告所表述的任何观点均精准地反映了我们对标的证券和发行人的个人看法，结论不受任何第三方的授意或影响。我们所得报酬的任何部分无论是在过去、现在及将来均不会与本报告中的具体投资建议或观点有直接或间接联系。

### 投资评级说明

投资建议的评级标准		评级	说明
评级标准为报告发布日后的6个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的相对市场表现。其中A股市场以沪深300指数为基准；新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以摩根士丹利中国指数为基准，美股市场以标普500指数或纳斯达克综合指数为基准。	股票评级	买入	相对同期基准指数涨幅在15%以上
		增持	相对同期基准指数涨幅在5%~15%之间
		持有	相对同期基准指数涨幅在-5%~+5%之间
		减持	相对同期基准指数跌幅在5%以上
	行业评级	增持	相对同期基准指数涨幅在10%以上
		中性	相对同期基准指数涨幅在-10%~+10%之间
		减持	相对同期基准指数跌幅在10%以上

### 国盛证券研究所

#### 北京

地址：北京市西城区平安里西大街26号楼3层

邮编：100032

传真：010-57671718

邮箱：gsresearch@gszq.com

#### 南昌

地址：南昌市红谷滩新区凤凰中大道1115号北京银行大厦

邮编：330038

传真：0791-86281485

邮箱：gsresearch@gszq.com

#### 上海

地址：上海市浦明路868号保利One56 1号楼10层

邮编：200120

电话：021-38934111

邮箱：gsresearch@gszq.com

#### 深圳

地址：深圳市福田区福华三路100号鼎和大厦24楼

邮编：518033

邮箱：gsresearch@gszq.com