5G 之光通信篇——

光通信，信息传输的终极方案

■ **光通信技术推动网络变革以满足数据增长需求。**全球数据量以指数级快速增长，光通信技术成为解决数据爆发式增长的终极方案。从广域网、城域网到局域网，从信息系统、设备到芯片，光通信正在逐步取代电连接成为信息传输的终极方案。从需求端看，5G 网络和数据中心双轮驱动，有望带来光通信行业新一轮发展机遇。

■ **光通信处于产能驱动快速成长期。**随着光通信的快速发展，电信网络逐步升级到大容量、高速率、高可靠的全光交换网络，数据中心光网络架构不断提升数据交换和处理能力。数据流量的高速增长推动了光线缆、光器件、光设备行业快速发展。结合光通信细分领域的市场规模、市场增速、竞争格局，光通信行业投资机会从大到小依次是光模块、光设备、光器件、光线缆。

■ **光电子产业未来市场前景广阔。**光通信行业依然处于行业发展早期，未来具有爆发式增长潜力。从产业发展节奏看，短期重点方向是上游核心光电芯片，中期发展趋势是硅光集成技术，长期发展目标是光电子在传统行业应用领域不断扩大，在消费电子、工业制造、光学显示、国防军工、光纤传感、自动驾驶、生物医疗等行业间接市场规模将突破万亿美元。

■ **建议围绕光模块、光设备、光器件积极布局。**中期看，受益于 5G 网络和数据中心建设需求，光通信行业未来 2-3 年具有确定性行业发展机遇。可积极参与光模块、光设备和光器件行业的股权、债券、信贷业务，其中数据中心行业龙头企业是重点方向。长期看，光电子产业正在走向更宽泛的消费电子、汽车、工业、医疗、国防军工等行业，可积极参与硅光集成、光电子新应用的早期股权投资。

■ **风险提示。**我国光通信产业上游依然比较薄弱，核心光芯片、电芯片制造和上游设备受制于人，国际贸易争端的加剧，可能影响光通信产业良性发展。光模块主要数据中心市场在海外，全球化进程受阻可能带来光通信需求市场的不确定性。

胡国栋

行业研究员

☎：0755-83169269

✉：huguodong@cmbchina.com

相关研究报告

《科技行业之 5G 行业篇—5G，引领信息领域创新发展的核心引擎》

2019.12.16

《5G 之网络篇——5G 网络，新经济商业模式的基础设施》

2020.4.8

《5G 之零组件篇——5G 时代，关注产品迭代升级及国产替代机遇》

2020.7.14

目录

1．光通信技术推动网络变革以满足数据增长需求 1
1.1 数据流量爆发式增长，光通信技术成为终极方案 1
1.2 从网络到信息系统，光通信市场逐步成熟壮大 3
1.3 5G 带给光通信行业新一轮快速发展机遇 6
2．光通信处于产能驱动快速成长期 7
2.1 光纤处于产能消化期，有源线缆市场快速增长 8
2.2 光器件渐入成熟期，未来市场潜力巨大 11
2.3 5G 与 IDC 双轮驱动，光模块市场快速增长 16
2.4 光通信设备市场稳步发展 19
2.5 光通信行业市场格局分析 22
3．光电子产业未来市场前景广阔 23
3.1 上游核心芯片是光通信短期突破方向 23
3.2 硅光集成是光通信中期发展趋势 24
3.3 光电子技术应用场景不断扩大成为长期发展目标 26
4．业务建议及风险 28

图目录

图 1：全球年度数据规模（ZB）.....1
图 2：互联网接入速率（BPS）.....1
图 3：光纤具备更多性能成本优势.....2
图 4：光芯片数据容量增长趋势.....3
图 5：以太网联盟技术发展路线图.....3
图 6：光通信变革从网络延伸到芯片.....3
图 7：运营商网络的光通信变革.....4
图 8：数据中心网络的光通信变革.....4
图 9：网络设备向全光交换方向发展.....5
图 10：设备内部架构的光互连变革.....5
图 11：光通信市场需求分层.....6
图 12：中国运营商 5G 宏基站部署预测.....7
图 13：全球 IDC 行业市场规模预测（亿）.....7
图 14：光通信产业链细分市场结构.....7
图 15：光通信产业产品结构.....8
图 16：光纤结构及光信号传输原理.....8
图 17：全球光纤市场规模（百万芯公里）.....9
图 18：2018 年全球光纤市场区域分布.....9
图 19：2013-2018 年全球光缆复合增长率.....10
图 20：全球光纤光缆企业市场份额.....10
图 21：有源光缆全球市场规模（百万美元）.....11
图 22：有源光缆产品路线图.....11
图 23：全球光器件市场规模（十亿美元）.....12
图 24：全球光器件企业市场份额.....12
图 25：不同类型光电芯片.....13
图 26：砷化镓 GaAs 市场规模及主要企业.....14
图 27：磷化铟 InP 市场规模（百万美元）.....14
图 28：半导体激光器类型.....15
图 29：VCSEL 市场规模预测.....15
图 30：APD 探测器市场分布.....16
图 31：电芯片销售量快速增长趋势.....16
图 32：光模块技术升级路线图.....17
图 33：光模块产品类别.....18
图 34：光电模块市场结构.....18
图 35：全球光模块市场预测（百万美元）.....18

图 36：全球光模块市场细分结构预测 18
图 37：电信网络高速光模块市场（百万美元） 19
图 38：数据中心高速光模块市场（百万美元） 19
图 39：主要的光通信设备类型 20
图 40：全球光传输设备市场预测（十亿美元） 21
图 41：全球光传输设备市场份额 21
图 42：全球路由器设备市场规模 21
图 43：全球路由器设备市场份额 21
图 44：全球交换机设备市场规模 22
图 45：全球交换机设备市场份额 22
图 46：硅光模块集成度越来越高 24
图 47：硅光设备带宽容量不断提升 25
图 48：全球硅光市场规模预测（百万美元） 25
图 49：硅光集成发展趋势 25
图 50：高性能计算应用-欧盟 PhoxTroT 26
图 51：消费电子应用-英特尔 Thunderbolt 26
图 52：汽车电子应用-LiDAR 27
图 53：工业制造应用-光纤激光器 27
图 54：光电子技术新应用不断涌现 28
图 55：光通信产业投资曲线 29

表目录

表 1：光元器件产品分类 11
表 2：电芯片主要类别 16
表 3：光通信行业市场格局分析 23

自二十世纪七十年代光纤诞生以来，光通信技术引领信息技术变革，光通信以光波作为信息传输的载体，以光纤作为信息传输媒介，具有高速率、大容量、长距离等技术优势，在移动通信、光纤宽带、数据中心、消费电子、汽车电子和工业制造等领域广泛应用。5G 建设承载先行，光通信技术是网络连接的核心，5G 将催生光通信新一轮发展机遇。

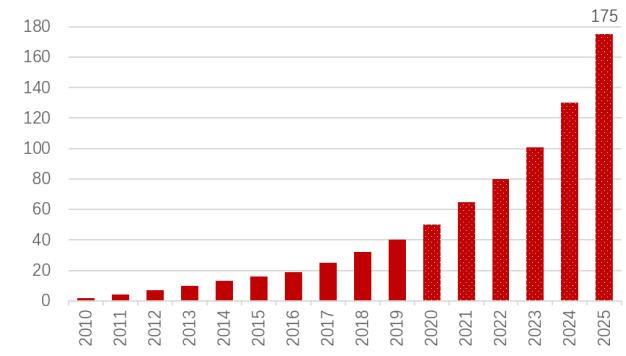
本篇报告从光通信技术驱动的应用变革入手，围绕光通信行业的光线缆、光器件、光设备三方面来分析光通信细分领域的市场格局和投资机遇，最后对光电子行业的发展趋势进行展望。

1. 光通信技术推动网络变革以满足数据增长需求

1.1 数据流量爆发式增长，光通信技术成为终极方案

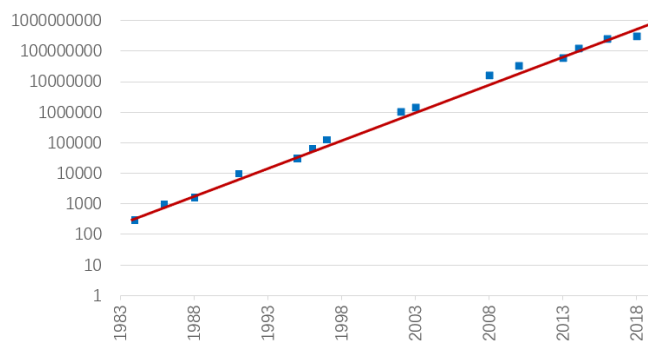
移动互联网、云计算、5G 推动了全球数据量指数级增长，数据量的爆增对网络提了挑战。由于云计算、视频、社交、电商、搜索、支付业务的快速发展，全球应用数据量和对通信容量的需求急剧增长。IDC 预测，到 2025 年全球数据总量将从 2018 年的 33 ZB 增长到 175 ZB，复合年增长率为 27%。随着全球 5G 网络的部署，从云端数据中心到边缘网络，再到用户侧的 PC、智能手机和物联网终端，需求爆发推动数据流量的持续增长。在物联网和实时数据增长的推动下，边缘计算的数据量将快速增长，预计 2025 年平均每人每天进行 5000 次数据交互，是目前的 7 倍。数据流量和数据交互量的高速增长对网络基础设施提出了挑战。

图 1：全球年度数据规模（ZB）



资料来源：IDC、招商银行研究院

图 2：互联网接入速率（BPS）



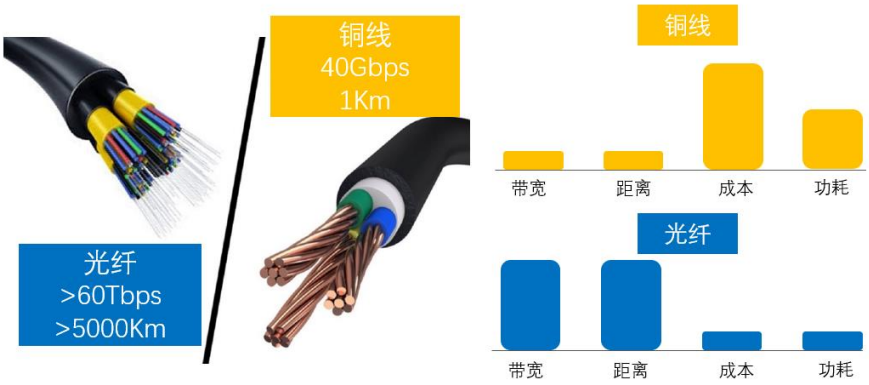
资料来源：Nielsen、招商银行研究院

互联网接入带宽速率与全球数据量保持同步增长，网络面临增长的压力。尼尔森互联网带宽定律指出，互联网接入带宽速率年均增长 50%。尼尔森定律类似于摩尔定律（每 18 个月容量翻一倍，相当于年均增长 60%），在过去 36 年时间里一直适用，从 1984 年的 IDSN 线路接入速率 300 bps，到 2003 年的 T1 线路 1.5Mbps，2010 年升级到 31Mbps，2019 年升级到 325Mbps。根据尼

尔森互联网带宽定律看，未来带宽速率的增长将对网络基础设施的升级提出了不小的挑战。

光进铜退已成为全球信息技术产业的发展趋势。铜线的传输性能无法满足数据流量日益增长的需求，光纤通信逐步替代铜线电路。铜线使用电子进行数据传输，而光纤使用光子。光比电速度快，光纤可以提供更高的带宽，光通信在传输速度、衰减、抗干扰、抗腐蚀、重量体积等性能指标更佳。光纤电缆传输数据的速度远远高于铜线，与铜线的 40Gbps 带宽相比，光纤带宽已超过 60Tbps，相差千倍以上。在数据信号衰减方面，光纤可提供更好的信号耐久性，在超过 100 米的距离，光纤信号损失仅 3%，而铜线信号损失高达 94%。由于光纤由玻璃制成，因此光纤受腐蚀性化学物质的影响很小，也不受电磁干扰和功率波动的影响。光纤具有抗干扰、温度波动和防潮的特性，可提供更加可靠的数据传输。

图 3：光纤具备更多性能成本优势



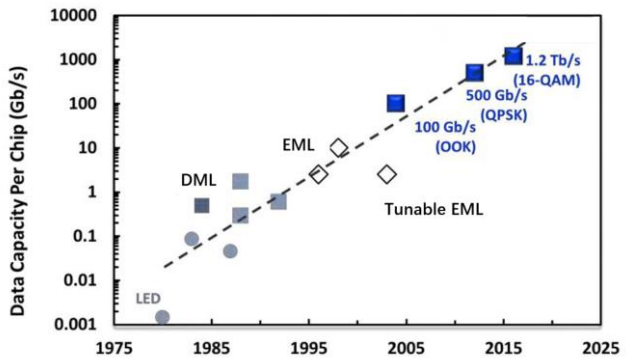
资料来源：公开资料、招商银行研究院

光通信芯片数据容量的增速可满足数据指数级增长需求。在过去的几十年中，光通信网络传输容量的增长需求导致光电子出现突破性的发展，光芯片不断增加功能和密度，其经济性、功耗、可靠性带来显著优势。伴随着 DML、EML、Tunable EML 芯片技术到 QPSK、16-QAM 调制技术等一系列技术升级，光通信的数据处理能力呈指数级增长，平均每 2.2 年翻一番，每十年提高一个数量级。光通信技术的发展已完全满足数据指数级增长的需求，并在未来一段时期仍然保持目前的增长速度。

光通信技术推动以太网不断变革以满足数据量增长需求。在以太网诞生以来，网络速率保持了每十年增长十倍的发展趋势。随着 5G 的到来，从移动互联网向车联网、工业互联网、电力互联网等垂直应用发展，用户体验需求的不断提高，对以太网的发展也提出了更高的诉求，大带宽、大连接、低成本、安全可靠的物联网互联互通是业界对于以太网技术的期待。目前，多行业应用驱动以太网光通信的演进与革新，通信运营商需求推动了 100G、400G 的发展，数据中心需求推动了 25G、40G、100G、400G 的发展。根据以太网联盟 2020 年

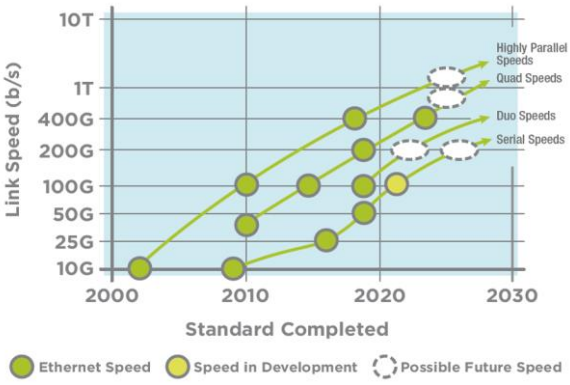
技术发展路线图显示，单通道 100G 的光收发器件将成为以太网发展趋势，到 2025 年可达到 1T 带宽的数据处理速率。

图 4：光芯片数据容量增长趋势



资料来源：IEEE JSTQE、招商银行研究院

图 5：以太网联盟技术发展路线图



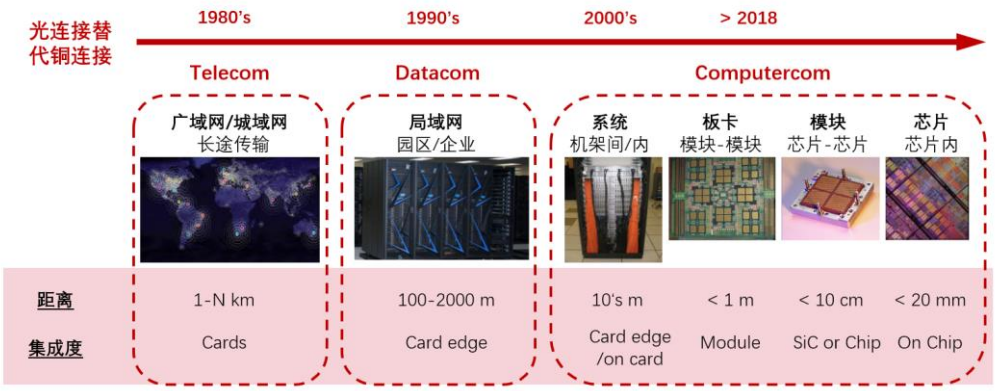
资料来源：Ethernetalliance、招商银行研究院

1.2 从网络到信息系统，光通信市场逐步成熟壮大

自 1980 年代光纤诞生以来，光通信技术引领了信息技术革命性变革，光通信以光波作为信息传输的载体，以光纤作为信息传输媒介，具有高速率、大容量、长距离、低损耗、体积小、重量轻、抗干扰能力强等优势，在无线通信、光纤宽带、数据中心和消费电子等领域广泛应用。

光通信变革从网络逐步延伸到系统芯片，从广域网、城域网到局域网，从系统、设备到芯片，正在逐步取代电信号的信息传输。1980 年代，运营商大带宽长距离通信需求持续增长，光通信首先在广域网应用，随着成本的逐步降低，在运营商城域网又广泛使用。1990 年代，数据流量快速增长，光通信进入园区、企业层面的中短距离应用领域。进入 2000 年，超级计算和大型数据处理需求增长，光通信在数据中心的系统机架间广泛使用，大幅提升了系统级数据处理速度。随着全球数据流量的持续增长，光通信未来将逐步实现板卡级、模块级、芯片级的高速传输，市场规模有望达到数百亿美元。

图 6：光通信变革从网络延伸到芯片

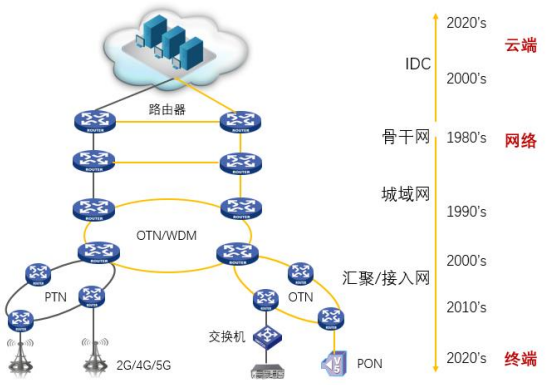


资料来源：IBM、招商银行研究院

运营商光通信变革从骨干网延伸到城域网、接入网、基站，未来向全光网演进。随着数量流量的增长，电子器件存在的带宽限制、容量不足、高功耗等缺点凸显，在通信网中出现了“电子瓶颈”的现象。为了解决这一瓶颈，运营商骨干网线路最先采用光通信，并逐步延伸到城域网、接入网和基站。在线路完成光纤化之后，进一步提出了全光网概念，数据只是在进出网络时才进行电光和光电转换，而在网络中所有传输和交换的过程始终以光的形式存在，网络中的设备由电路交换升级到高可靠、大容量和高灵活度的光交叉连接数据交换。在全光网中，由于没有光电转换环节，支持各种不同协议和编码形式，信息传输具有透明性，数据传输效率进一步提升。目前，全球运营商骨干网和城域网已实现光纤化，部分地区接入网光纤化已完成，向全光网的演进已经开始。

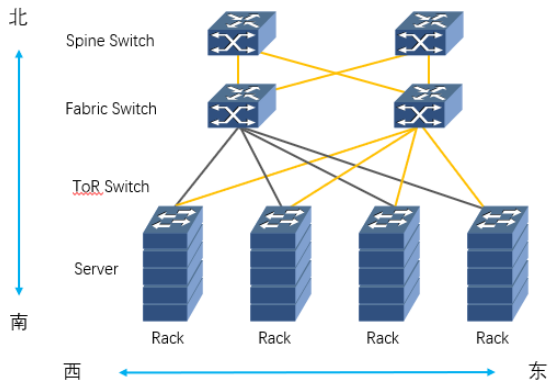
应对数据量指数级增长，光通信成为数据中心解决方案。随着移动互联网和云计算的发展，全球互联网业务和应用数据处理都在数据中心进行，数据中心的计算能力和数据交换能力也呈指数级的增长。和传统电信网络不同，数据中心网络主要是机器和机器之间的东西向流量。随着网络速率的不断提高，光通信技术在数据中心得到大量的使用，光通信的应用主体从电信运营商网络转向了数据中心，数据中心成为光通信的最大市场。现代数据中心为了应对数据流量的快速增长，普遍采用 Spine-Leaf 网络架构，数据中心内部数据交换和处理能力更强，网络结构也更加扁平化和密集。

图 7：运营商网络的光通信变革



资料来源：招商银行研究院

图 8：数据中心网络的光通信变革

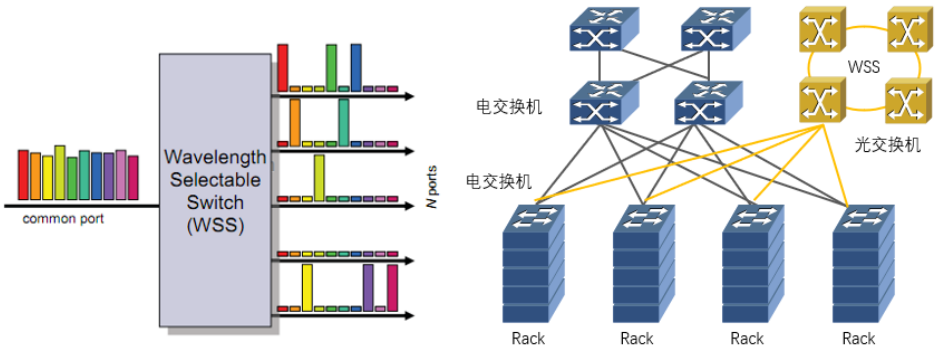


资料来源：招商银行研究院

随着光器件的成熟，网络设备内部引入光交换，实现全光网络传输。网络线路实现光纤化仅是全光网络的第一步，随着光交换、光存储、光多路复用器件的成熟，网络设备节点由光电转换、电交换技术向光交换方向发展，将会引领走向一个全动态的数字光网络。5G 对光网络的容量、时延、光纤密度要求很高，需要强大的传输承载架构，全光网是 5G 最理想的承载技术，具有巨大的可用频谱、超大容量、超高速率等优势。数据中心对交换性能、功耗、集成

度、成本等关键指标要求较高，引入全光交换技术，可进一步节能增效，满足数据中心内部海量连接需求。

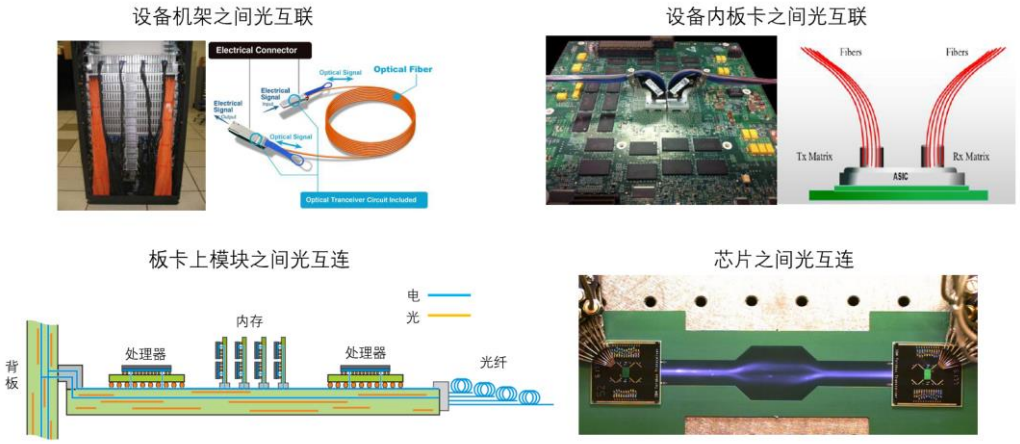
图 9：网络设备向全光交换方向发展



资料来源：公开资料、招商银行研究院

光互连演进到计算机系统内部，从机架级、设备级、板卡级到芯片级，推动着计算机体系架构对速度的不断突破。摩尔定律依然在发挥效力，推动处理器性能不断进步，计算机系统内外部 I/O 互连性能远低于处理器性能，成为计算机系统的瓶颈。基于铜线互连的链路在 10Gbps 以上速率出现明显的瓶颈，在设备机架之间互连、设备板卡之间互连、板卡模块之间互连和芯片之间互连，无法满足计算和数据快速增长的需求。光互连具有高速率、低功耗、小尺寸的性能优势，在铜互连成为计算机系统架构瓶颈时，有望成为最佳解决方案。计算机系统内外部的互连线缆已实现从无源铜缆、有源铜缆到有源光缆的逐步升级，在数据中心已广泛使用。计算机系统内部 PCB 电路板升级到 OPCB 光路板，芯片铜线互连升级到芯片光互连，可满足未来更高速率的数据计算处理需求，可大幅提升计算机系统的数据处理能力，具备较大的市场空间。

图 10：设备内部架构的光互连变革

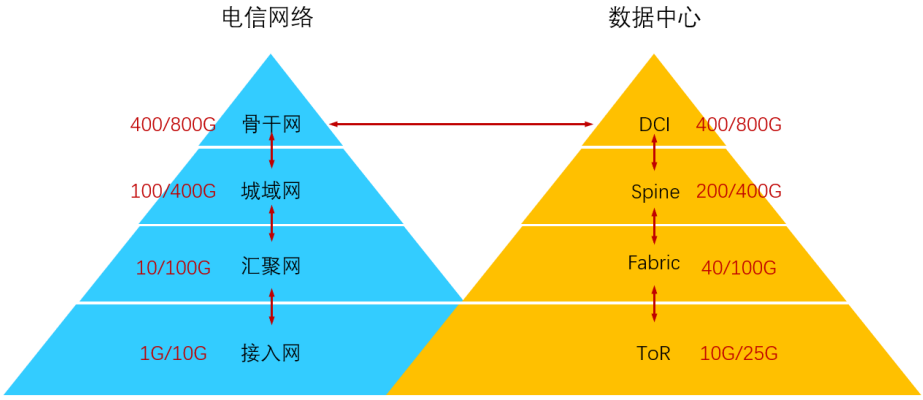


资料来源：公开资料、招商银行研究院

1.3 5G 带给光通信行业新一轮快速发展机遇

电信市场和数据中心市场是光通信主要需求市场。从应用市场来看，光通信目前主要市场为电信市场、数据中心市场、消费电子等新兴市场。电信市场是光通信最开始发力的市场，市场规模大、收入占比高，主要应用于接入网、汇聚网、城域网、骨干网。数据中心市场是光通信增速最高的市场，未来有望超过电信市场规模，主要应用于数据中心内部（Spine/Fabric/ToR）和数据中心间 DCI 网络。消费电子等新兴市场是未来规模潜力最大的市场，手机、汽车普及 3D 感应的市场空间较大，目前还处于早期状态，未来具有爆发式增长机会。采用金字塔需求分层模型，可以看出数据中心各层次的带宽需求高于电信网络各层次带宽需求，决定了未来数据中心市场规模在光通信市场的主导地位。

图 11：光通信市场需求分层



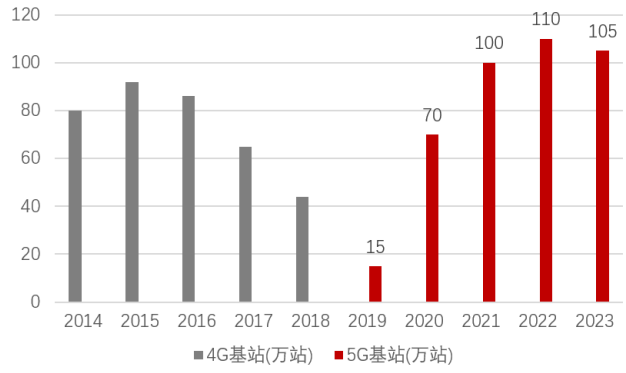
资料来源：招商银行研究院

5G 带动电信市场光通信需求向上。光通信在电信市场主要应用于传输承载网、固网接入网、无线接入网。2020 年是中国 5G 网络规模建设元年，预计 2019-2023 年我国三大运营商 5G 宏基站建设规模 400 万站，5G 传输网投资达 2600 亿元。5G 带动传输承载网络设备、光纤光缆的需求增长，5G 基站接入在前传、中传、回传光模块需求增长显著，中国移动研究院以建设 200 万基站为例推算，预计将带来 4800 万支光模块需求。预计 5G 光模块需求是 4G 光模块需求的 2 倍以上，25G/50G/100G 光模块将逐步在前传、中传和回传引入，100G/200G/400G 高速光模块将在传输汇聚和核心层引入。

5G 推动全球数据中心光通信需求增长。根据韩国科学信息部的统计，韩国 5G 用户流量是 4G 的 3 倍。根据中国移动的预测，5G 用户流量年均复合增速达 25%。随着全球加快 5G 建设速度，推进 5G 垂直行业应用落地，构建高速、智能、泛在的 5G 应用生态圈，5G 在传统行业的推广将持续推动全球数据中心高速增长。根据思科全球云指数 CGCI 的报告，2016-2021 年全球超大规模数据中心将从 338 个增长到 628 个。到 2021 年，亚太地区将超越北美地区的超大

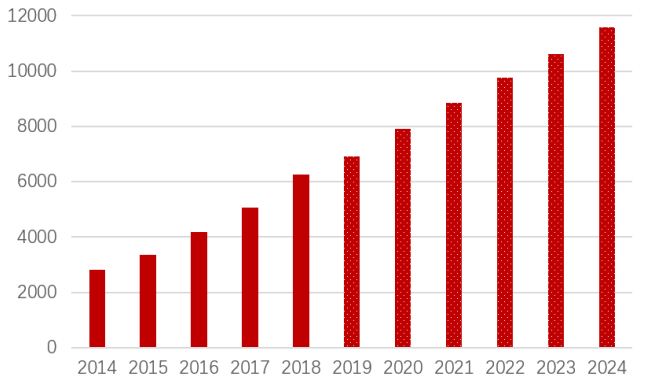
数据中心领先地位，亚太地区超大数据中心占比将达到 39%，北美地区占比达到 35%。尽管面临疫情和经济挑战，全球云数据中心的资本支出在 2020 年仍然将实现更高的增长。全球主要的云计算厂商亚马逊、微软、谷歌等也均表示 2020 年持续加大数据中心的资本支出。随着数据中心市场规模的持续提升，有望成为驱动光通信行业最大的细分市场。

图 12：中国运营商 5G 宏基站部署预测



资料来源：工信部、招商银行研究院

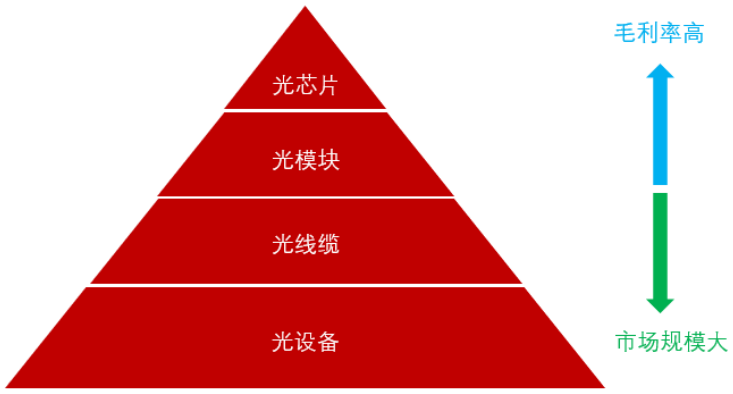
图 13：全球 IDC 行业市场规模预测（亿）



资料来源：中国 IDC 圈、招商银行研究院

受益于 5G 网络和数据中心需求，光通信行业发展空间广阔。光通信产业链包括光器件、光线缆和光设备等细分领域。光器件位于光通信产业链上游，市场规模较小、毛利率较高，由日美企业主导行业技术和发展方向。光线缆和光设备位于光通信产业链中下游，市场规模较大、毛利率较低，由中美企业占据全球主要市场份额。受益于 5G 网络和数据中心建设需求，下游光线缆和光设备需求激增，带动上游光器件，光通信行业具备长期增长潜力。

图 14：光通信产业链细分市场结构

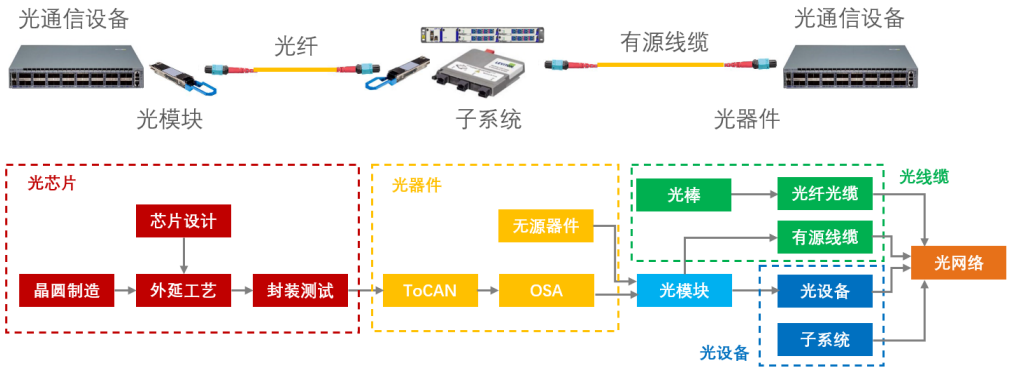


资料来源：招商银行研究院

2. 光通信处于产能驱动快速成长期

光通信产业链主要包括光线缆、光器件和光设备。光线缆包括光纤光缆和有源线缆，光器件包括光芯片、有源器件、无源器件和光模块，光设备包括传输设备和数通设备。

图 15：光通信产业产品结构



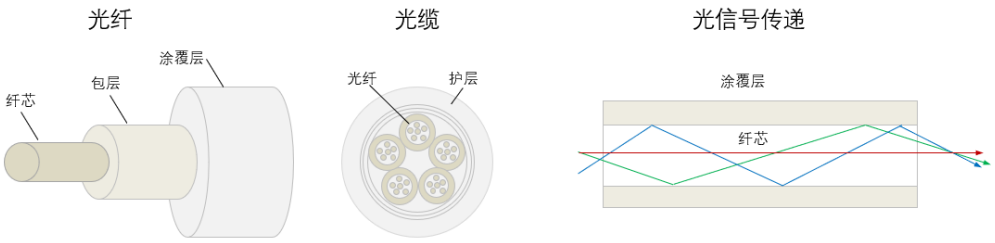
资料来源：招商银行研究院

2.1 光纤处于产能消化期，有源线缆市场快速增长

从上世纪八十年代开始，光纤传输陆续替代了电缆传输，从光纤发明至今经过半个世纪，光纤网络已成为全球信息网的主干。光纤的应用领域也从最早的通信和数据传输，发展到互连光纤网、基站光纤网、存储光纤网、物联光纤网和传感光纤网等。云计算、视频、5G、物联网需求的快速商业化，大连接、大容量、大能力成为未来光纤网络的核心。

光纤的主要成分是高纯度二氧化硅，经过千度高温制成光纤预制棒，光纤预制棒经过拉丝退火工艺制成光纤。光缆是由一定数量的光纤组成缆芯，外面包裹有护套和保护层。光纤是信息传递的载体，光信号在光纤内经过多次折射传输到终点的，光信号在折射后会分散或者衰减，需要把光信号每隔一定距离进行信号放大。

图 16：光纤结构及光信号传输原理

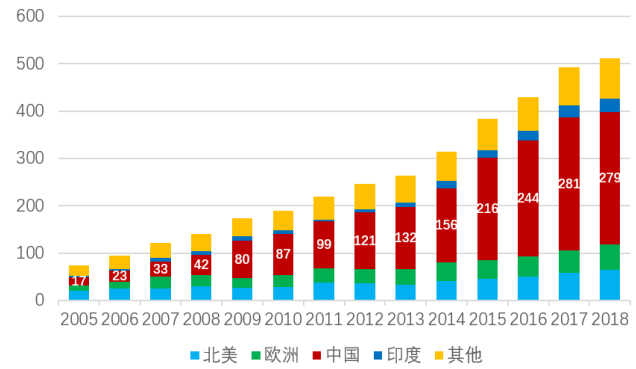


资料来源：招商银行研究院

光纤光缆行业中期产能过剩，长期保持高景气

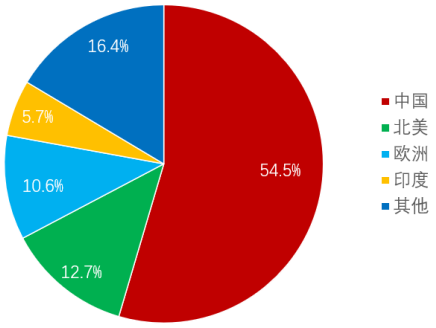
光进铜退持续推进，光纤光缆长期保持高景气。随着全球信息产业的高速发展，通信、互联网等信息技术产业的快速发展带动了全球光纤光缆行业的稳步增长。根据 Communications Today 的报告显示，2018 年全球光纤光缆市场需求达 5.1 亿芯公里，市场规模达 76 亿美元。2005-2018 年，全球光纤市场复合年增长率达到 16%。中国市场成为推动全球光纤光缆行业的重要市场，其市场份额从 2005 年的 30%提升到 2018 年的 54%。

图 17：全球光纤市场规模（百万芯公里）



资料来源：Communicationstoday、招商银行研究院

图 18：2018 年全球光纤市场区域分布

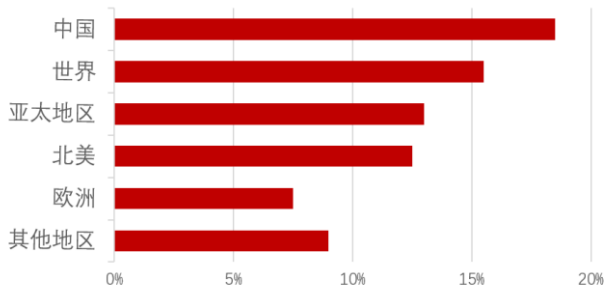


资料来源：Communicationstoday、招商银行研究院

三年高增长后产能过剩，光纤光缆进入产能消化期。伴随着 2014-2018 年全球 4G 建设和中国光纤宽带的高速发展，光纤光缆行业迎来一轮产能扩张。根据 CRU 统计，2013-2018 年，全球光缆产量复合增长率排名，中国高达 18%，超过全球平均水平。随着中国光纤宽带家庭覆盖率超过 90%，2018 年底以来，需求侧主要的中国光纤宽带市场回落，供给侧光棒、光纤、光缆产能规模不断扩大，光纤市场出货量和价格同步下降，结束了 2016-2018 年的光纤需求紧张的局面，光纤光缆行业进入产能消化期。

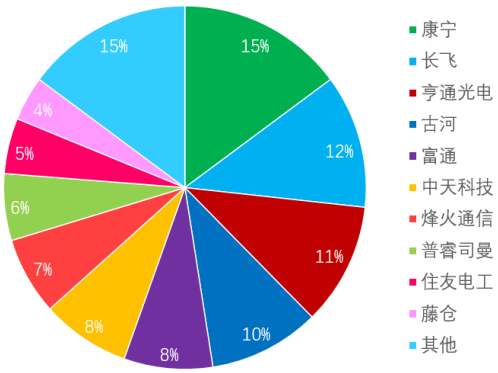
中国企业占据全球光纤光缆市场的半壁江山。网络电信 2019 年光通信行业竞争力数据显示，中国企业光纤光缆市场占有率为 46%，美国企业市场占有率为 15%，日本企业市场占有率为 19%。光纤光缆主要供应商包括康宁、长飞、亨通光电、古河、富通、中天科技、烽火通信、普睿司曼、住友电工、藤仓。

图 19：2013-2018 年全球光缆复合增长率



资料来源：CRU、招商银行研究院

图 20：全球光纤光缆企业市场份额



资料来源：网络电信、招商银行研究院

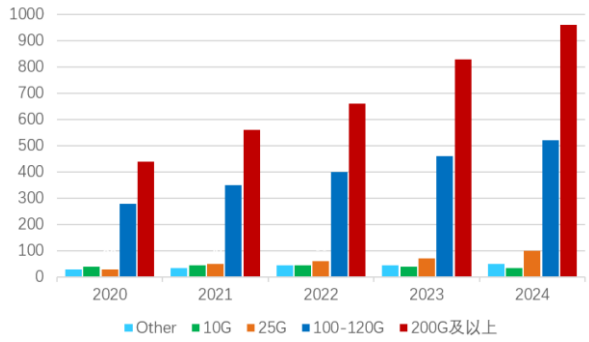
进军新市场成为光纤光缆企业发展的方向。我国主要的光纤生产企业均选择进军新市场，来消化过剩产能，扩大全球市场占有率。从产品扩张来看，海底光缆和数据中心光纤成为主要方向，多个中国企业进入海底光缆市场，包括亨通、中天、烽火、富通和长飞等。从地域扩张来看，欧洲成为主要目标市场区域，海外建立合资公司成为市场突破的发展方向。

性能优势显著，有源光缆市场快速增长

有源光缆成为主流数据传输线缆。有源光缆（AOC）由两端的光收发器和中间一根光缆跳线组成，有源光缆的主要优势带宽大、重量轻、功耗低、易使用。有源光缆的主要市场包括数据中心和消费电子市场，基于云的应用、音频视频终端、在线游戏和有线电视需要高速率大带宽数据服务，推动有源光缆在云端数据中心和终端消费电子广泛使用。根据 CIR 的预计，2020 年-2024 年有源光缆市场将从 9.5 亿美元增长到 19 亿美元。随着中国数据中心加速建设，预计 2024 年中国市场有源光缆收入将达到 3.8 亿美元。从产品结构看，随着交换机到路由器互联链路向 100G-400G 链路升级，100G 以上链路产品收入占比较高，200G 以上链路线缆销售将快速增长，2020 年成为 400G 链路销售放量的元年。有源光缆最大的细分市场将是 200G 及以上市场，预计到 2024 年市场销售规模将达到 9.7 亿美元。

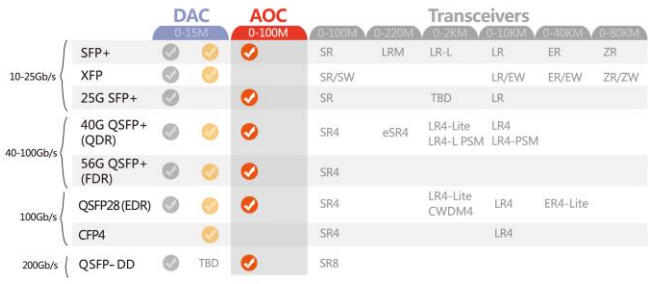
中国厂商市场份额逐步扩大。全球有源光缆市场较为分散，市场参与者超过 200 家企业，随着竞争的加剧，市场集中度越来越高，主要供应商包括 10Gtek、海信、旭创、Mellanox、Cisco、Intel、II-VI（Finisar）、Amphenol、Fujitsu、Broadcom 等。随着中国有源光缆公司逐步占领市场，有源光缆价格也承受了巨大压力，市场竞争日益激烈。由于贸易摩擦的影响，有源光缆行业相关公司预计在 2021 年开始调整产能布局，将制造转移到劳动力成本较低的东南亚国家，供应链面临重新洗牌。

图 21：有源光缆全球市场规模（百万美元）



资料来源：CIR、招商银行研究院

图 22：有源光缆产品路线图



资料来源：10Gtek、招商银行研究院

2.2 光器件渐入成熟期，未来市场潜力巨大

光器件依然处于行业早期。光器件位于光通信行业的上游，通过核心光电元件实现光信号的发射、接收、信号处理等功能，是光通信系统的核心。从产业发展周期看，光器件依然处于行业早期，并购整合成为该阶段市场的主旋律。随着行业头部企业规模增大，全球光器件行业将逐步进入成熟期。

光器件种类繁多、百花齐放。按光通信上下游划分，光器件可分为光电芯片、光器件和光模块。光电芯片是光器件的核心元件，根据材料不同可分为 InP、GaAs、Si/SiO2、SiP、LiNbO3、MEMS 等芯片，根据功能不同可分为激光器芯片、探测器芯片、调制器芯片。光器件根据是否需要电源划分为有源器件和无源器件。有源器件主要用于光电信号转换，包括激光器、调制器、探测器和集成器件等。无源器件用于满足光传输环节的其他功能，包括光连接器、光隔离器、光分路器、光滤波器、光开关等。光模块是多种光器件封装组合的一体化模块，包括光收发模块、光放大器模块、动态可调模块、性能监控模块等。光器件性能向着速率高、频谱宽、损耗小、功耗低、灵敏度高、时延短、非线性弱、集成度高、尺寸小、价格便宜的方向不断发展。

表 1：光元器件产品分类

产品类别	主要代表产品
芯片	InP 芯片（10G/25G DFB、EML 芯片、PD 芯片，SOA 芯片）；GaAs 芯片（10G/25G VCSEL 芯片、PD 芯片）；Si/SiO2 芯片（PLC 光分路器芯片、AWG 芯片）；SiP 芯片（相干光收发芯片、调制器芯片、光开关芯片）；LiNbO3 芯片（调制器芯片）；MEMS 芯片（VOA 芯片，可调滤波器芯片，光开关芯片）

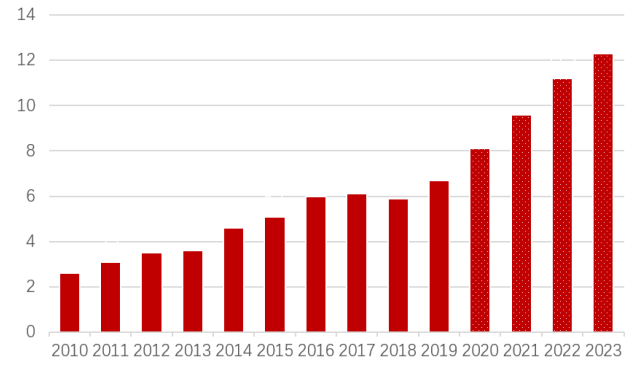
光有源器件	激光器（VCSEL、DFB、DML、EML、可调激光器、外调激光器）；光探测器（PD、APD）；光调制器（强度调制器、相位调制器、偏振调制器）；集成器件(相干光收发器件、阵列调制器)
光无源器件	光分路器、光波分复用/解复用器、光耦合器、光隔离器、光滤波器、光开关（OS、WSS）、光连接器（单芯和多芯、MTO/MPO）、光背板
光模块与子系统	光收发模块（10G/25G/100G/400G）；光放大器模块（EDFA、Raman）；动态可调模块（ROADM、MCS、OXC）；性能监控模块（OPM、OTDR）；光纤传感子系统

资料来源：中国电子元件行业协会、招商银行研究院

光器件市场保持快速增长。根据 LightCounting 的预测，2019-2023 年全球光器件市场规模从 70 亿美元增长到 120 亿美元。5G 将带来光模块市场强劲增长，中国移动研究院以建设 200 万基站为例推算，预计将带来 4800 万支光模块需求。25G/50G/100G 高速光模块将逐步在前传、中传和回传引入，100G/200G/400G 高速光模块将在传输汇聚和核心层引入。预计 5G 光模块需求是 4G 光模块需求的 2 倍以上，我国 5G 光模块市场规模将达到 200 亿元。

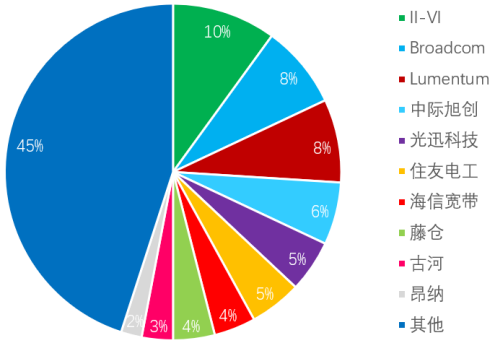
我国企业在光器件市场份额进一步扩大。根据网络电信的研究，美国日本企业依然占据全球光器件市场领先地位，掌握核心光芯片、电芯片、光器件的全球主要份额，美国企业市占率约 26%，中国企业市占率约 17%，日本企业市占率约 12%。我国企业进步明显，依靠光模块市场份额的提升，和行业头部企业的差距逐步缩小。全球光器件市场领导者主要包括 II-VI、Broadcom、Lumentum、苏州旭创、光迅科技、住友电工等。国内光模块市场的主要供应商包括苏州旭创、光迅科技、海信宽带、昂纳科技、华工科技、新易盛等。

图 23：全球光器件市场规模（十亿美元）



资料来源：LightCounting、招商银行研究院

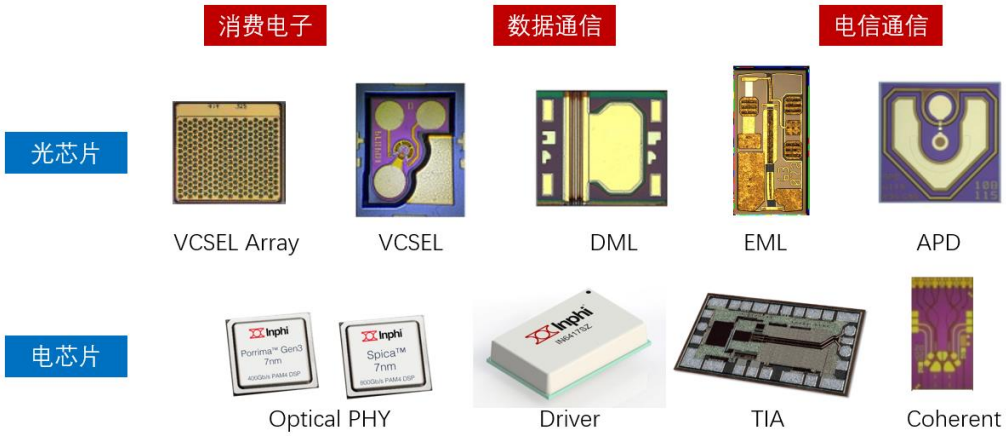
图 24：全球光器件企业市场份额



资料来源：网络电信、招商银行研究院

光电芯片是光器件的核心部件，主要包括光芯片（化合物半导体激光器芯片、光电探测器芯片）和电芯片。在高端模块中，光芯片成本占比通常在 40%-60%，电芯片成本占比通常在 10%-30%，两者合计占高端光模块成本的 80%。

图 25：不同类型光电芯片



资料来源：IIVI、Lumentum、招商银行研究院

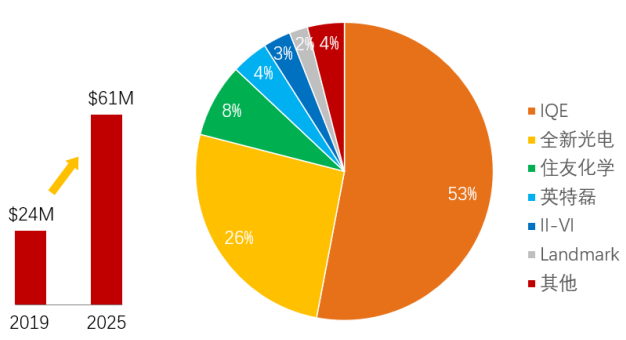
光芯片材料以 III-V 族化合物为主

光芯片材料主要有以砷化镓 GaAs 和磷化铟 InP 为代表的 III-V 族化合物半导体材料为主。III-V 族化合物材料拥有最佳的能量转化效率，适用于高速、高频、大功率光电子芯片场景，广泛应用于光通信、卫星通讯、移动通讯和 GPS 等领域。而不同芯片材料的基态能级差不同，具有不同的发光工作波长，结合光纤传输损耗窗口，常用的发光波长为 850nm/1310nm/1550nm。

数据中心和消费电子需求驱动砷化镓市场增长。砷化镓在光通信领域主要应用于 VCSEL 激光器，产品分布在数据中心和手机 3D 感应市场。根据 Yole 的预测，2019-2025 年砷化镓光通信市场规模从 2400 万美元增长的 6100 万美元，复合年增长率 17%。砷化镓衬底主要供应商包括 Freiberger、住友电工、AXT 和 Vital Materials，主流尺寸为 3 英寸和 4 英寸。砷化镓外延材料主要供应商包括 IQE、全新光电、住友化学、英特磊、II-V。

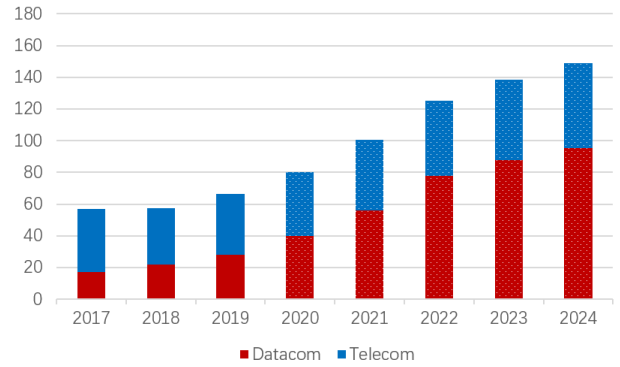
5G 和数据中心需求驱动磷化铟市场增长。磷化铟主要应用在光通信波长为 1000nm 以上的激光器，主要包括分布式反馈激光器（DFB）、电吸收调制激光器（EML）。DFB 适用于速率在 25G 及以下、传输距离在 10 千米以内的基站和数据中心场景，EML 适用于速率在 50G 及以下，传输距离在 80 千米以内的骨干网、城域网和 DCI 互联场景。随着 5G 基站和数据中心高速光模块需求的增长，对于磷化铟的需求有望快速增长。根据 Yole 的预测，2018-2024 年磷化铟光通信市场规模从 5700 万美元增长到 1.49 亿美元，复合年增长率为 14%。磷化铟衬底的主要供应商包括住友电工、AXT、JX Nippon Group，主流尺寸为 2 英寸和 3 英寸。磷化铟外延材料主要供应商包括联亚光电、IQE。

图 26：砷化镓 GaAs 市场规模及主要企业



资料来源：Yole、招商银行研究院

图 27：磷化铟 InP 市场规模（百万美元）



资料来源：Yole、招商银行研究院

SOI 是未来硅光集成领域的应用材料。根据 Markets and Markets 的预测，2019-2024 年 SOI 硅片市场规模将从 9 亿美元增长至 22 亿美元，年复合增速超 29%。目前，SOI 晶圆供应商包括 Soitec、信越、SUMCO、环球、上海新傲、TowerJazz、Sony、WaferPro 等。

化合物半导体激光器是市场主流

激光器是光模块的核心器件，激光器将电流注入化合物半导体材料中，通过光子震荡和增益产生光信号。化合物半导体激光器是最主要的光通信激光器，主要包括 VCSEL（垂直腔面发射激光器）、FP（法布里-珀罗激光器）、DFB（分布式反馈激光器），适用于不同传输距离和速度。激光器调制方式分为直接调制和外调试，DFB 激光器基于不同调制方式分为 DML 直接调制激光器和 EML 电吸收调制激光器。

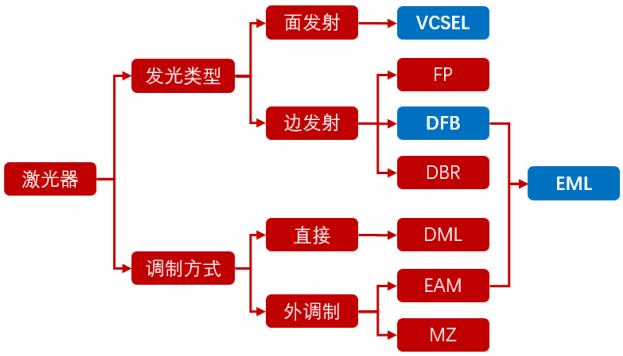
VCSEL 在消费电子市场具有广阔空间。VCSEL 在通信领域主要应用于 850nm 波段数据传输，广泛应用于数据中心和接入网。根据 Yole 的预测，2018-2024 年 VCSEL 市场规模从 7.38 亿美元增长到 37.75 亿美元，复合年增长率 31%。随着 VCSEL 在苹果手机 3D 传感的应用突破，未来 VCSEL 有望广泛应用于消费电子、工业、汽车、医疗等新兴领域。VCSEL 的主要供应商包括 Lumentum（Oclaro）、Broadcom、II-VI(Finisar)、光迅科技、华芯半导体等。

FP 激光器适用于短距离通信。FP 主要应用于 1310nm/1550nm 波段低速率短距离传输，速率一般在 1.25G 以内，主要应用于接入网 GPON/EPON 市场。由于存在损耗大、传输距离短的问题，逐步被 DFB 激光器取代。

DFB 激光器适用于中长距离通信。DFB 基于 FP 的基础，目前是最常用的直接调制激光器，主要使用于 1310nm、1550nm 波段数据通信，广泛应用于数据中心、城域网及接入网。DFB 的主要供应商包括 II-VI(Finisar)、Lumentum（Oclaro）、Neophotonics、三菱、光迅科技、海信宽带等。

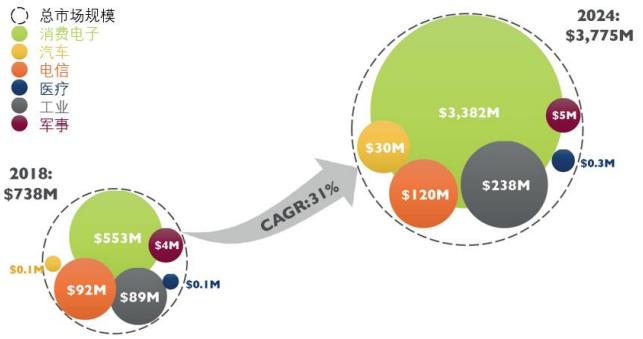
EML 激光器成为高速远距离主流光芯片。EML 是 DFB 与 EAM（电吸收调制器）的集成激光器芯片，与直接调制的 DFB 激光器相比，EML 具有功率高、窄线宽、宽波长调谐范围等传输优势，广泛应用于数据中心、城域网和骨干网。EML 的主要供应商包括 Lumentum（Oclaro）、Broadcom、II-VI(Finisar)、瑞萨、住友电工、Neophotonics、光迅科技等。

图 28：半导体激光器类型



资料来源：招商银行研究院

图 29：VCSEL 市场规模预测



资料来源：Yole、招商银行研究院

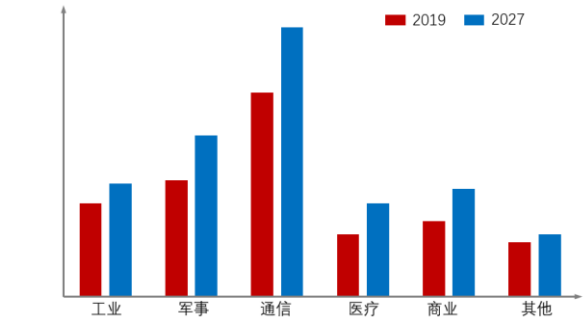
光电探测器市场保持同步快速增长

光电探测器能够检测光信号并完成光信号向电信号的转换。主要的光电探测器包括 PIN（光电二极管探测器）和 APD（雪崩光电二极管探测器）。

PIN 探测器适用于中短距离的光通信场景。PIN 只能实现光电转换功能，输出光电流较弱，适用于中短距离、低灵敏度的场景。 主要的 PIN 供应商包括 Lumentum（Oclaro）、Broadcom、II-VI(Finisar)、瑞萨、住友电工、环宇通讯、光迅科技等。

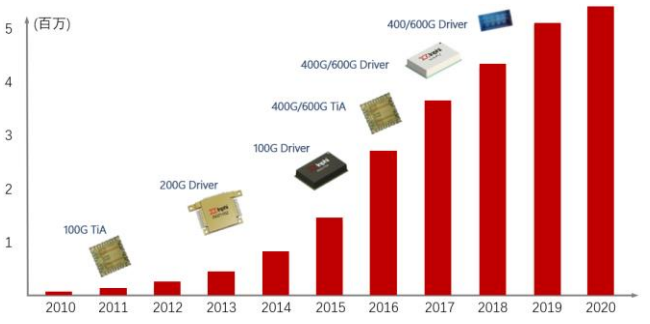
APD 探测器是一种高灵敏度探测器。APD 除了可实现光电转换功能，对光电流具有放大作用，具备更高的灵敏度、高响应和高可靠性的特性，广泛应用到通信、工业、航空、医疗等各领域。预计 2019-2027 年全球 APD 市场规模从 rel.51 亿美元增长到 2.03 亿美元，复合年增长率为 3.5%。APD 的主要参与者包括 Lumentum（Oclaro）、Broadcom、II-VI(Finisar)、瑞萨、Excelitas、环宇通讯、光迅科技等。

图 30：APD 探测器市场分布



资料来源：Inphi、招商银行研究院

图 31：电芯片销售量快速增长趋势



资料来源：Inphi、招商银行研究院

伴随网络速率提升，电芯片需求日益增长

电芯片主要功能包括对光芯片的配套支撑、电信号功率调节和复杂的数字信号处理。在光模块发射端，Driver 驱动芯片用于产生电信号，驱动激光器实现电信号到光信号的转换。在光模块接收端，TIA 跨阻放大器芯片在光探测器芯片接收光信号后，完成光信号到电信号的转换，并进行信号放大。在光通信领域，DSP 主要用于支持更高速率调制，以提高频谱效率。

逐步提升制造工艺成为控制功耗和成本的主要方式。随着光器件集成度提升，对光模块功耗的要求越来越高，电芯片降低功耗的方法比较有限，提升芯片工艺成为主要方式。电芯片制造工艺逐步从 28nm、16nm 到 7nm，从 16nm 升级到 7nm 工艺能够降低功耗高达 65%。

从应用市场来说，运营商市场主要是大于 40km 的相干芯片，数据中心市场主要是小于 40km 的 PAM 芯片。电芯片主要的供应商包括 Broadcom、Inphi、ADI、瑞萨等。

表 2：电芯片主要类别

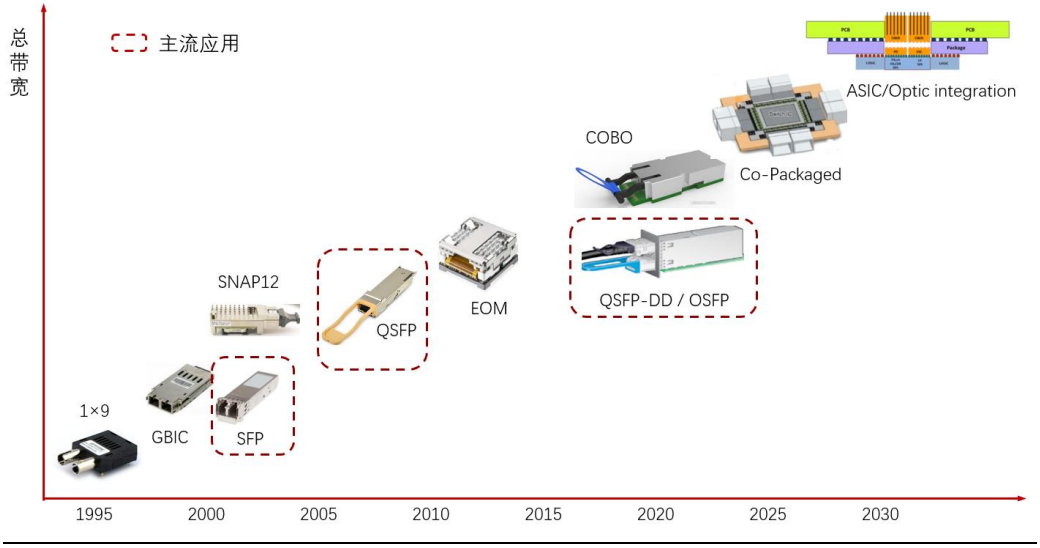
类别	主要功能
Driver 驱动芯片	用于发射端激光器前产生驱动电信号，完成电光转换
TIA 跨阻放大器芯片	用于接收端电流信号转换成电压信号，并进行信号放大
DSP 数字信号处理芯片	用于调制或相干调制
CDR 时钟和数据恢复芯片	用于从信号中提取恢复时钟时序信号，主要影响光模块的数据锁定时间、抖动指标
LA 限幅放大器	用于信号放大、整形、过压保护

资料来源：中国电子元件行业协会、招商银行研究院

2.3 5G 与 IDC 双轮驱动，光模块市场快速增长

光模块是光通信设备最重要的组成部分，是光世界与电世界的互连通道。光模块也叫光纤收发器，主要用于信号的光电转换，在发射端将设备的电信号转换成光信号，在接收端将光信号还原成电信号。光模块由发射端激光器、接收端探测器、数据编/解码的电子器件组成。光模块广泛应用于服务器、存储、网络等各有线网络连接领域。

图 32：光模块技术升级路线图

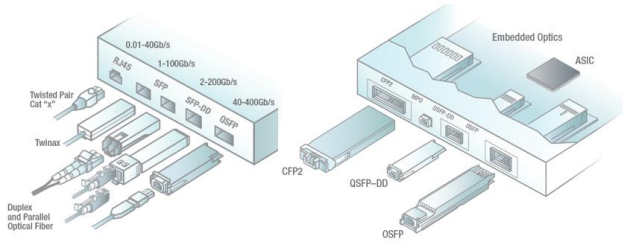


资料来源：LightCounting、招商银行研究院

光模块向大带宽小型化硅光集成方向演进。随着信息技术产业的快速发展，数据流量的快速增长，对光模块的性能指标要求越来越高，数据速率、传输距离、功耗、体积成为重要的考量指标。光模块技术不断演进，不断出现新的应用类型，在 400G 以上高速率光模块的应用场景中，硅光集成的比例将越来越大，成为未来主流技术方向。

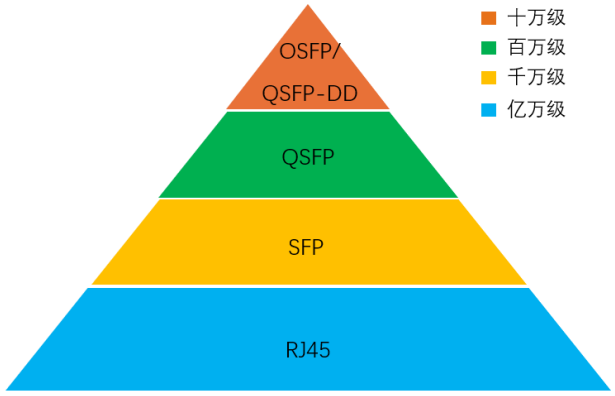
光模块市场仍处于行业初期，不同类型产品可满足多样化需求。按光模块封装可分为 QSFP、QSFP28、CFP、CFP2、CFP4、CXP、SFP、CSFP、SFP+、GBIC、XFP、XENPAK、X2、SFF 等多个类型。SFP、QSFP 具有高性能低功耗优势，成为目前大规模使用的产品，对 100G/400G 高数据速率光模块的需求不断增长，将带动 QSFP、QSFP-DD、OSFP 光模块市场的增长。按光模块速率可分为 1Gbps、2.5Gbps、10Gbps、25Gbps、40Gbps、50Gbps、100Gbps、200Gbps、400Gbps 等主流型号。按速率市场分层，低速率光模块需求量最大，可用于宽带用户、服务器、企业网络接入；越高速率光模块需求量越小，主要用于运营商、数据中心的长距离通信。按光纤接入类型分为单模光模块和多模光模块。多模光模块的传输距离较短，通常在 500 米至 2000 米，单模光模块的传输距离较远，通常在 10 千米至 160 千米。

图 33：光模块产品类别



资料来源：Ethernetalliance、招商银行研究院

图 34：光电模块市场结构



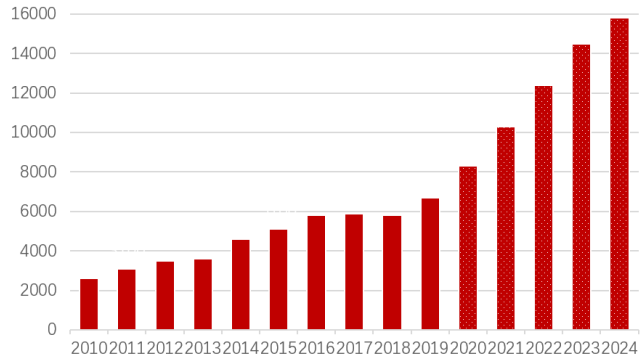
资料来源：招商银行研究院

全球光模块市场保持快速增长。根据 LightCounting 的预测，2020-2024 年全球光模块市场从 80 亿美元增长到近 160 亿美元，复合年增长率高达 18%。5G 网络建设加速和传统垂直行业数字化转型推动了云计算需求不断增长，运营商市场和数据中心市场成为未来五年光模块市场增长的主要推动力。

高速率光模块出货量占比不断上升。随着数据流量需求的不断增长，终端用户、云端服务器、网络互连带宽同步增长，宽带用户接入从 1G 升级到 10G，基站接入从 1G 升级到 25G，服务器接入从 1G-10G 升级到 10G-100G，网络从 10G-40G 升级到 100G-400G。2021 年，100G 光模块将成为出货量最大的类型，400G 光模块规模量产，25G 光模块成为最普及的设备接入类型。

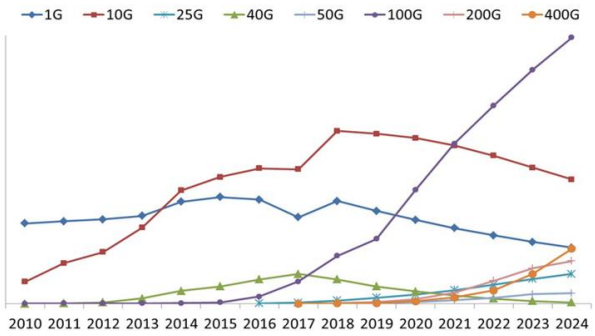
400G 成为电信网络高速光模块市场的主流类型。电信网络市场对大带宽需求爆发较早，2018 年开始 400G 应用已经进入电信骨干网，随着 5G 建设，城域网将启用 400G 光模块传输。根据 OVUM 的预计，2018-2021 年电信网络高速光模块市场从 40 亿美元增长到 55 亿美元，到 2024 年 400G 光模块市场规模占比将超过 50%。

图 35：全球光模块市场预测（百万美元）



资料来源：LightCounting、招商银行研究院

图 36：全球光模块市场细分结构预测

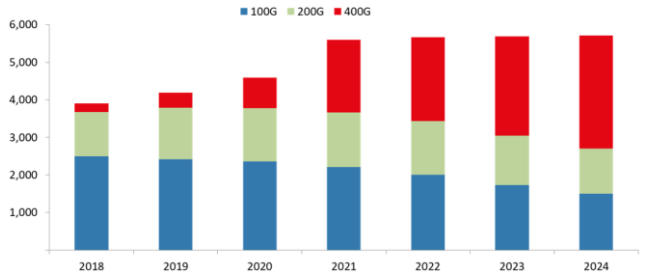


资料来源：LightCounting、招商银行研究院

100G 和 400G 是数据中心高速光模块市场的主流类型。光模块在数据中心内部互连和数据中心间 DCI 连接起着至关重要的作用，随着 5G 和 AI 等出现，

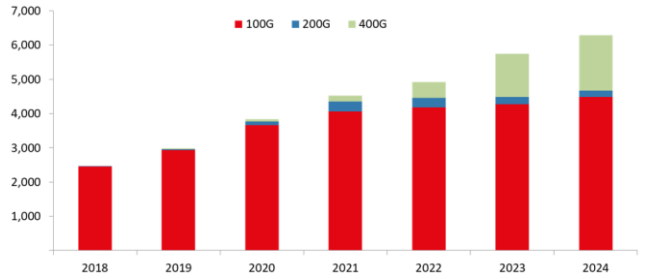
对更高带宽的需求日益增长。根据 LightCounting 的预估，2019 年数据中心光模块销量超过 5000 万个。根据 OVUM 的预计，2018-2024 年数据中心高速光模块市场从 25 亿美元增长到 60 亿美元，复合年增长率 16%。40G 光模块在 2020 年退出新增需求，100G 成为高速光模块需求量最大的类型，400G 在 2020 年开始批量部署并成为未来增速最快的类型。

图 37：电信网络高速光模块市场（百万美元）



资料来源：OVUM、招商银行研究院

图 38：数据中心高速光模块市场（百万美元）



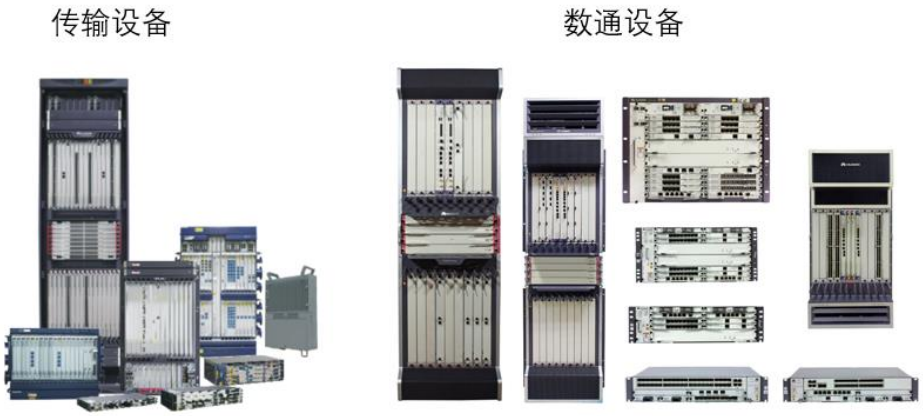
资料来源：OVUM、招商银行研究院

我国企业逐步扩大光模块市场份额。以亚马逊、微软、谷歌、脸书为代表的四大互联网巨头拥有全球最大规模的数据中心，四大巨头对高速数据通信的需求推动全球光模块市场不断增长。光模块市场核心供应商以美日企业为主，主要供应商包括 II-VI(Finisar)、Lumentum(Oclaro)、Broadcom（FIT）、住友电工、光迅科技、富士通、苏州旭创、AOI、Cisco（Acacia）、Intel、NeoPhotonics、Renesas 等。我国企业在光模块市场份额不断提升，但仍然以劳动密集型为主的中低速率产品为主，国内光模块市场的主要供应商包括苏州旭创、光迅科技、海信宽带、昂纳科技、华工科技、新易盛、剑桥科技等。

2.4 光通信设备市场稳步发展

光通信设备是利用光波传输技术，提供大带宽、高可靠、低时延的数据流量传输能力的通信设备。光通信设备从应用领域看，可分为传输设备和数通设备，传输设备主要分为传送网设备和接入网设备，数通设备主要是路由器和交换机。

图 39：主要的光通信设备类型



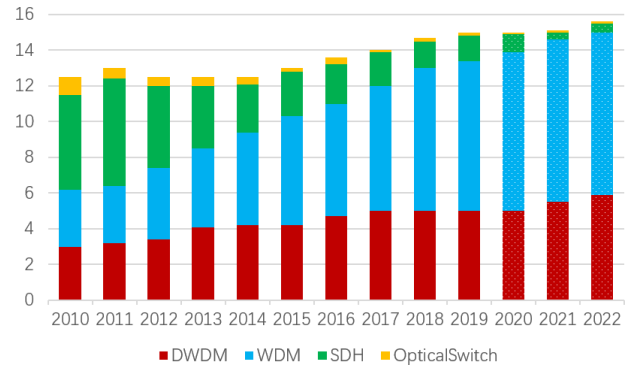
资料来源：华为、招商银行研究院

5G 带动光传输设备市场周期向上

光进铜退持续推进，光传输设备市场空间广阔。传输网是信息传递的基础设施，在通信产业占据重要地位，面向运营商、数据中心提供高速可靠的传输解决方案。根据 Dell'Oro 的统计数据，2014-2019 年全球传输设备市场复合年增长率约 4%。预计 5G 网络部署将带动全球光传输设备市场规模将达 160 亿美元。从产品结构看，DWDM 系统出货量有望达到 18%的年复合增长率，WDM 系统市场保持高速增长，其市场份额有望超过 50%，城域部署需求成为主要推动因素。

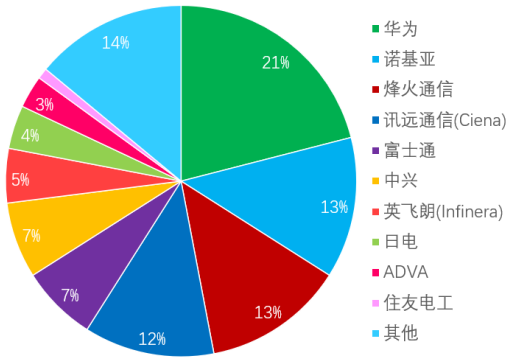
中国企业已经成为全球传输设备产业引领者。网络电信 2019 年光通信行业竞争力数据显示，在全球光传输设备企业市场份额排名中，中国企业全球市场占有率为 41%，美国企业全球市场占有率为 17%，欧盟企业全球市场占有率为 16%，日本企业全球市场占有率为 12%。全球光传输设备市场领先企业包括华为、诺基亚、烽火通信、讯远通信、中兴通讯。随着全球运营商 5G 网络建设的陆续开展，依靠 5G 技术领先优势，华为、中兴通讯和烽火通信有望进一步扩大全球传输设备的市场份额。

图 40：全球光传输设备市场预测（十亿美元）



资料来源：Dell'Oro、招商银行研究院

图 41：全球光传输设备市场份额

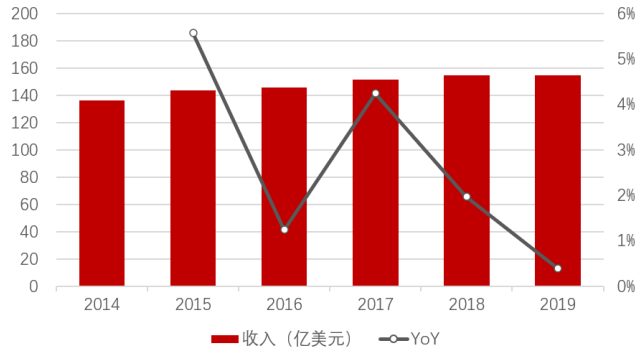


资料来源：网络电信、招商银行研究院

新兴区域市场保证了路由器市场稳定增长

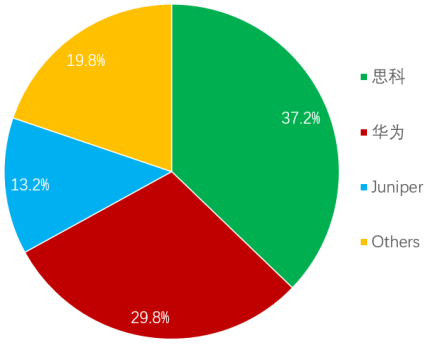
全球信息化程度提升，路由器市场增长缓慢。路由器是连接全球互联网的核心设备，以实现全球不同区域之间和区域内部的互联网数据流量转发，主要运用于骨干网、城域网、移动承载和企业接入等领域。随着全球经济发展和信息技术成熟度提升，各地区网络基础设施市场增长放缓，路由器市场的增长与运营商骨干网增长保持同步。根据 IDC 的统计数据，2014-2019 年全球路由器市场复合年增长率约 3%。2019 年，全球路由器市场规模达 155 亿美元，同比增长 0.4%。

图 42：全球路由器设备市场规模



资料来源：IDC、招商银行研究院

图 43：全球路由器设备市场份额



资料来源：IDC、招商银行研究院

新兴市场增速较快，两大巨头齐头并进。从市场地域位置看，亚太地区、北美、欧洲是路由器的主要市场，高端路由器集中在北美地区，最大的美国市场 2019 年收入下降 3.1%。中东和非洲新兴市场保持积极增长，2019 年收入增速分别为 2.4%和 7.2%。全球路由器市场领先企业包括思科、华为、Juniper、诺基亚。2019 年，从企业增速来看，思科收入下降 3.4%，Juniper 收入下降 11.7%，华为收入增长 4.1%。从市场占有率来看，思科市占率 37.2%，华为市

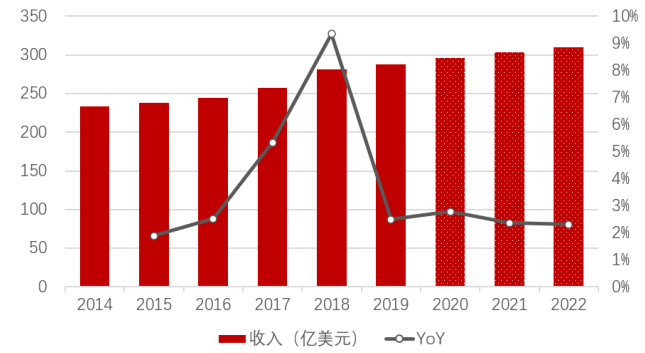
占率 29.8%，Juniper 市占率 13.2%，依靠成本优势，华为对思科全球市场形成持续压力。

数据中心高速率需求推动交换机市场持续快速增长

受益数据中心快速发展，交换机市场迎来增长机遇。交换机可提供稳定可靠安全的数据交换服务，主要应用于云数据中心、运营商网络边缘汇聚接入、企业接入。云计算业务和云流量的快速增长，带动数据中心进入快速发展通道，交换机在数据中心市场迎来巨大发展空间，市场规模远大于路由器。根据 IDC 的统计数据，2014 -2019 年全球交换机市场复合年增长率约 4.5%。2019 年，全球交换机市场规模 288 亿美元，同比增长 2.3%。

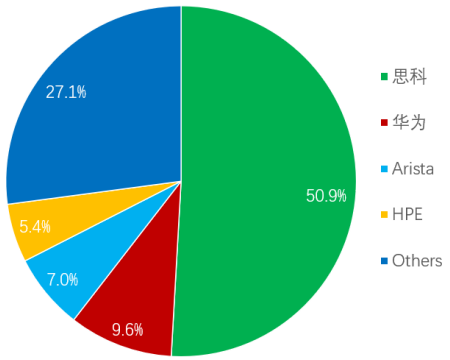
数据中心市场的高速率交换机成为竞争焦点。从市场地域位置看，最大的美国市场，中东和非洲市场增速最快，同比增长 9.8%。从产品结构看，高速率交换机增速最快，100G 端口交换机市场份额为 18.3%，10G 端口交换机市场份额为 27.3%。全球交换机市场领先企业包括思科、华为、Arista、HPE、华三。2019 年，从企业增速来看，思科增长 0.1%，华为增长 7.8%，Arista 增长 9.8%，HPE 下降 9.1%。在竞争激烈的 100G 细分市场中，思科仍然是市场领导者。Arista 专注于超大规模云计算厂商，在高端 100G 交换机市场保持优势。

图 44：全球交换机设备市场规模



资料来源：IDC、招商银行研究院

图 45：全球交换机设备市场份额



资料来源：IDC、招商银行研究院

2.5 光通信行业市场格局分析

光通信行业受益于 5G 网络和数据中心建设需求，未来 2-3 年具有确定性行业发展机遇。光通信行业包括光纤光缆、有源线缆、光器件、光模块、光设备等细分领域，各细分行业在技术难度、市场规模、市场增长率和市场竞争格局又有所差异。各行业市场格局对比分析如下表所述，行业机会从大到小依次是光模块、光设备、光器件、光线缆。

表 3：光通信行业市场格局分析

细分行业	技术难度	市场规模	市场增长率	市场格局
光模块	中	85 亿美元	18%	处于行业高速成长期，中国企业市占率不断提高，具有规模效应和成本优势，竞争力较强
光设备	中	580 亿美元	3%	处于行业成熟期，中国企业市占率约 26%，在传输设备领域具有领先优势
光器件	高	80 亿美元	15%	处于行业快速成长期，美日企业占据技术领先优势，中国企业市占率约 17%，以低端产品为主
光纤光缆	低	76 亿美元	11%	处于行业成熟期，中国企业市占率 54%，未来 3 年处于产能消化阶段
有源线缆	低	10 亿美元	20%	处于行业发展早期，市场高速增长，市场集中度将逐步提升，中国企业具有较强竞争力

资料来源：招商银行研究院

3. 光电子产业未来市场前景广阔

3.1 上游核心芯片是光通信短期突破方向

国内外政策层面积极布局

国外政府积极布局研究光电子先进技术。20 世纪 80 年代以来，光电子产品市场规模不断扩大，应用日益广泛，大规模光子集成芯片已成为国际竞争最激烈的领域之一，美欧发达国家纷纷将光子集成产业列入国家发展战略性规划。美国宣布光子集成技术国家战略，建立“国家光子集成制造创新研究所”，打造光子集成器件研发制备平台。欧盟“地平线 2020”计划中集中部署光电子集成研究项目，旨在实现基于半导体材料和二维晶体材料的光电混合集成芯片。日本实施的“先端研究开发计划”部署光电子融合系统技术开发项目。

我国在光电子技术产业也进行了政策重点布局。“十二五”期间我国在多波束、高速率、大规模和全光信号处理芯片等光电子集成芯片相关技术方面取得了重要进展。“十三五”期间，我国明确了信息光电子方向的技术发展趋势，高端光电子关键技术达到国际先进水平。工信部和电子元器件行业协会也推出了中国光电子器件产业技术发展路线图。

我国光通信上游核心高端芯片器件亟待突破

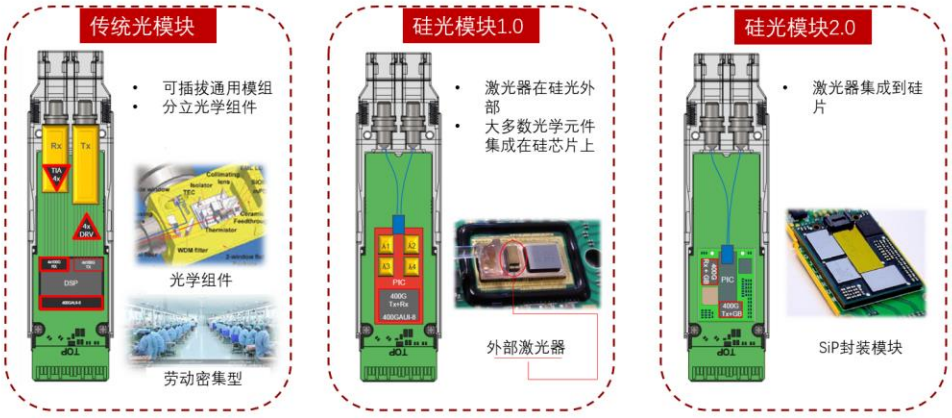
我国光通信领域企业整体实力仍然偏弱，产业结构不合理，大部分企业位于产业中低端领域。从产品结构看，光通信上游光芯片和光器件处于光通信产业链的核心位置，具有技术壁垒高、产品价值含量高的特点。我国企业虽然逐步提升了在光通信设备器件的全球市场占有率，但仍以中低端的光模块封装制造为主，在上游核心光芯片领域与国际先进水平差距较大。上游材料和芯片的薄弱导致相应的光器件及模块业务发展受到制约，严重依赖于进口。

核心光电芯片成为短期重点突破方向。目前，光芯片核心技术主要掌握在美国、日本厂商手中，我国企业虽然具有光芯片量产能力，但依然以中低速率光芯片、无源芯片制造为主，产品附加值不高，产品同质化严重。国内光模块制造对于高速率光芯片、可调谐激光器芯片、相干 DSP 芯片、电跨阻放大芯片（TIA）、半导体制冷器（TEC）等高价值核心器件的需求依然依赖进口，未来成为重点突破方向。

3.2 硅光集成是光通信中期发展趋势

硅光集成是光通信未来发展方向。随着高速光模块在数据中心的大量运用，传统光模块将面临成本高、功耗高、体积大的问题。硅光集成技术以硅基衬底材料作为光学介质，利用成熟 CMOS 工艺制造光电器件，利用这些器件进行光子发射、传输、检测和处理，实现在光通信、光互连、光计算等领域的应用。硅光集成将大量分立光学元器件集成在单个硅片上，提升了产品性能，降低了产品价格，将传统光模块的劳动密集型产业升级到高端半导体制造业，是光通信行业未来的发展方向。

图 46：硅光模块集成度越来越高



资料来源：Juniper、招商银行研究院

光电芯片一体封装（Co-Package）成为硅光集成的技术方向。随着数据中心对于功耗与高密度安装的要求越来越高，可插拔模块渐渐不能满足要求。Co-Package 技术是不再需要连接交换机面板上的光模块与 PCB 板上交换芯片

之间的铜线，而且其更简单的 SerDes 接口不仅可以带来更低功耗，也带来更低延迟。Co-Package 凭借尺寸小、功耗低，受到大型互联网公司的青睐。网络交换机的数据速率每 18 个月翻一番，2017-2025 年交换机的数据速率将从 5Tbps 增长到 51.2Tbps，光模块的数据速率将从 100Gbps 增加到 800Gps。Co-Package 成为交换机升级到 51.2Tbps 的关键因素，更低的损耗和更好的热管理技术解决了光器件集成带来的散热问题。

图 47：硅光设备带宽容量不断提升

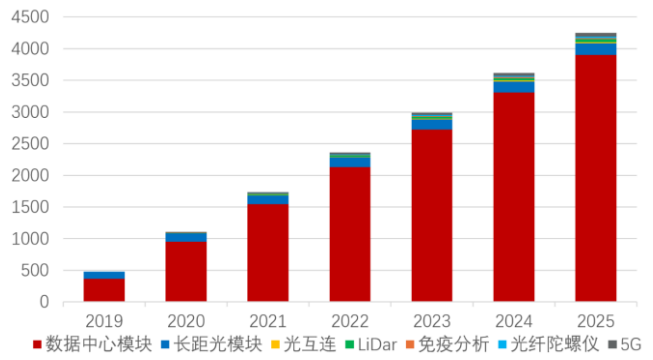


	可插拔	On-Board	Co-Package
系统成本	最高	中到低	最低
端口密度	最低	中到高	高
能耗	最高	中到高	最低
系统带宽	14.4T 或 28.8T	40T	>75T

资料来源：Juniper、招商银行研究院

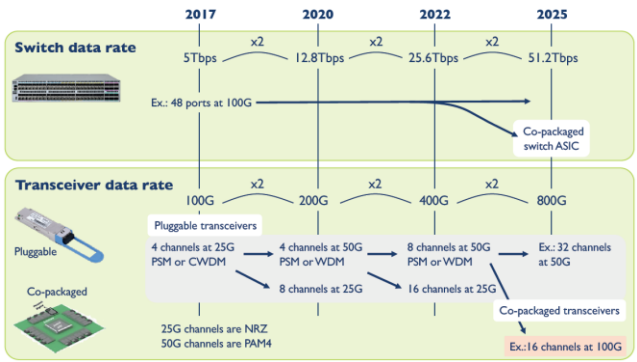
数据中心成为硅光最大细分市场。根据 Yole 的报告，2019-2025 年硅光市场有望从 4.8 亿美元增长到 39 亿美元，复合年增长率达 40%。其中，数据中心市场是最大细分市场，从 3.64 亿美元增长到 36 亿美元，复合年增长率达 46%。预计到 2025 年，5G 市场规模 6100 万美元，长距离光模块市场规模 18600 万美元，光互连市场规模 1800 万美元，汽车 LiDAR 市场规模 4400 万美元，免疫测试市场规模 2200 万美元，光纤陀螺仪市场规模 2000 万美元。

图 48：全球硅光市场规模预测（百万美元）



资料来源：Yole、招商银行研究院

图 49：硅光集成发展趋势



资料来源：Yole、招商银行研究院

Intel 和 Cisco 引领硅光市场。在硅光集成领域有众多公司参与竞争，其中 Intel、IBM、Cisco(收购 Acacia 和 Luxtera)、Mellanox 等公司具有较强竞争力。经过了十多年的发展，亚马逊、谷歌、微软等互联网公司的数据中心已大规模采用 100G 硅光模块，随着 400G 以上高速率光模块的应用，硅光技术在良率和成本价格方面逐步具备竞争优势。我国企业在硅光集成领域还需加大投入，在硅光器件以及无源硅光集成芯片等领域均有突破。

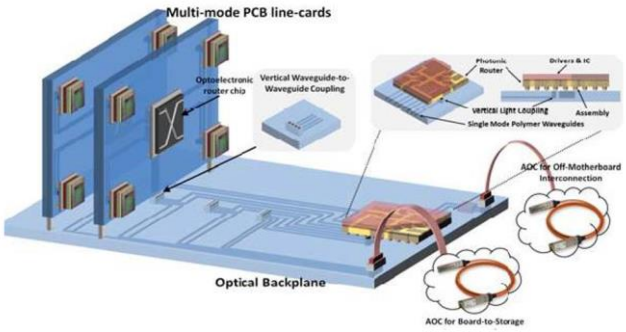
3.3 光电子技术应用场景不断扩大成为长期发展目标

随着 5G、云计算、大数据和人工智能的迅猛发展，光电子市场规模不断扩大，光电子技术在数据中心、高性能计算、消费电子、自动驾驶、卫星通信、生物医疗、工业制造等领域的应用越发广泛，光电子产业获得前所未有的市场机遇，产业规模持续扩大。

光电子技术将彻底改变数据中心和高性能计算体系。多国已将光电子技术列为 21 世纪的国家战略核心技术，投入了巨额资金进行大规模研究工作。光电子技术在高性能计算领域具有高性能、低成本和低功耗特性。以欧盟第七框架计划资助的 PhoxTroT 项目为例，该项目目标以实现 Tbps 级别速率的光互联，实现光路板速率超 1Tbps、光背板速率超 2Tbps、有源光缆传输速率超 1.28T bps、集成 3D SiP 模块和功耗降低 50%以上。光电子技术在高性能计算领域逐步成熟，将有利于未来光电子技术在更大的服务器市场、PC 市场逐步替代原有的铜互连技术，实现规模化商业应用。

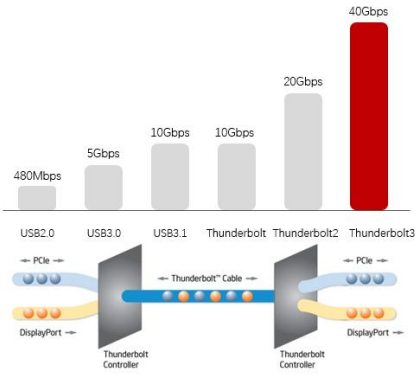
光电子在消费电子市场即将迎来爆发性增长。消费电子市场在移动互联网时代刚刚崛起，在 5G 智能穿戴时代将迎来全面爆发。随着大带宽需求的增长，消费电子的连接问题日益暴露出来，带宽、传输距离等受到极大挑战，以光纤作为传输介质的连接线解决铜线传输的瓶颈，能确保数据高质量无损传输。英特尔和苹果公司推出 Thunderbolt 技术，将光电子用于消费电子市场，能够提供 40Gbps 以上的传输速率。根据 Yole 的预计，2018-2024 年 VCSEL 在手机 3D 感知市场规模将从 5.5 亿美元增长至 33.8 亿美元。苹果公司 iPhone 的 3D 感知技术，采用 ToF 技术，将人机互动由 2D 触摸屏互动推向 3D 感知互动发展，深刻改变人力生产生活，未来在智能家居、智能汽车、AR/VR 设备、游戏、虚拟现实、生物识别等领域发展空间巨大。

图 50：高性能计算应用-欧盟 PhoxTroT



资料来源：OFC2014、招商银行研究院

图 51：消费电子应用-英特尔 Thunderbolt



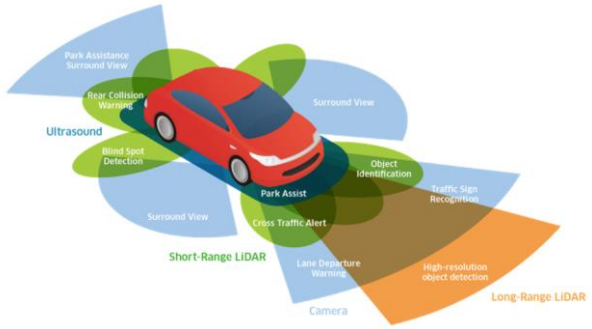
资料来源：Apple、招商银行研究院

光电子开启汽车电子市场，3D 感知提升汽车智能化和自动驾驶安全性。3D 感知技术在提高智能自动驾驶汽车的安全性和功能性方面发挥越来越重要的作用，短距激光雷达可应用于 10-50 米范围的车辆周边区域检测，远程激光雷达

可应用于 200 米范围内障碍物和行人检测，车内驾驶舱感测通过收集信息用于支持车载导航、驾驶员疲劳提醒和手势操作识别等让驾驶体验更加轻松舒适。激光雷达将成为未来汽车的一项核心技术，根据 Yole 的预计，激光雷达市场将获得巨幅增长，2017-2022 年市场规模将从 3 亿美元增长至 44 亿美元。

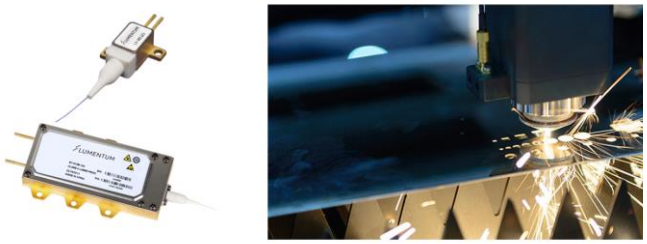
光纤激光器用于工业精密切割和焊接，比传统焊接工艺效率更高。光纤激光器作为新一代工业激光器，已广泛应用于雕刻、打标、切割、焊接和制造领域。光纤激光器具备精度高、功率高、散热好、稳定性好、重量体积轻等性能优势，迅速在工业激光器市场快速增长，随着传统替代和新兴应用场景的不断开发，光纤激光器在全球的市场占比加快提升。根据 Optech 的报告，光纤激光器快速增长，2005-2017 年全球市场规模从 1.05 亿美元增长到 22 亿美元，年均复合增速达到 29%，预计到 2025 年全球市场规模将达到 44 亿美元。

图 52：汽车电子应用-LiDAR



资料来源：Lumentum、招商银行研究院

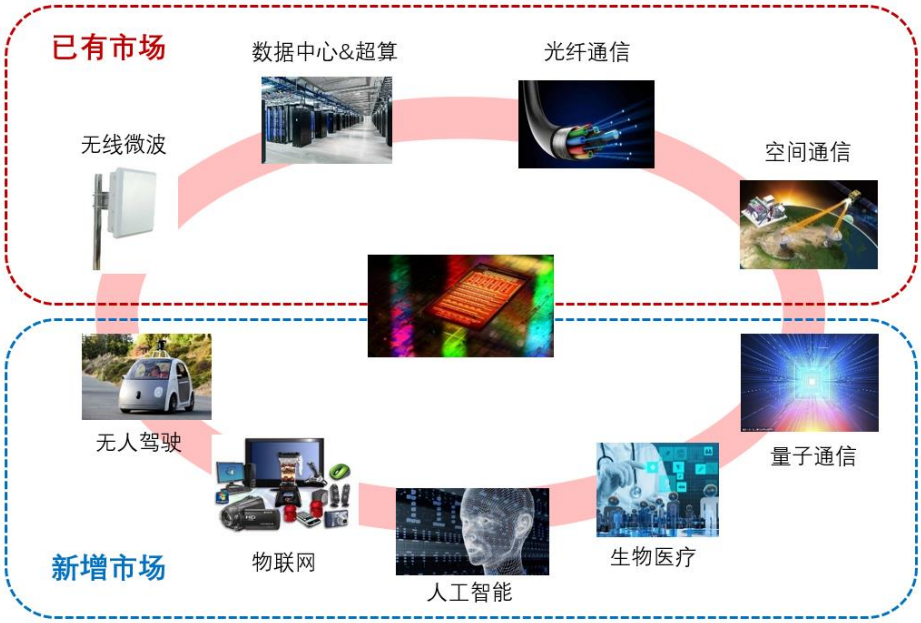
图 53：工业制造应用-光纤激光器



资料来源：Lumentum、招商银行研究院

光电子技术应用场景不断扩大，新应用不断涌现。光电子技术是电子信息技术的分支，包括半导体、微电子、光学、通信、计算机、材料等多学科交叉技术。光电子产业链包括激光器、光探测、光传输、光处理、光显示、光存储、光集成、光转换等多个领域。根据光纤在线的报告，光通信产业直接市场规模近 500 亿美元，随着光电子产业的迅猛发展，全球光电子器件市场规模逐年攀升，光电子技术成为 5G、消费电子、工业制造、光学显示、国防军工、光纤传感、自动驾驶、生物医疗等领域推动力量，间接市场规模突破万亿美元。

图 54：光电子技术新应用不断涌现



资料来源：FiberHome、招商银行研究院

4. 业务建议及风险

我们采用产业投资曲线方法，把光通信细分产业按照其成熟度归类到技术驱动、产能驱动、品牌驱动三阶段，依照不同阶段的投资风险和产业波动程度，将 5G 细分产业分别匹配到风险投资者（股权）、产业投资者（股权、债券、信贷）和财务投资者（股权、债券、信贷），以指引各部门的业务布局。**建议围绕上游光器件、中游光模块、下游光设备积极布局。**

（1）中期看，受益于 5G 网络和数据中心建设需求，光通信行业未来 2-3 年具有确定性行业发展机遇，结合光通信细分领域的市场规模、行业增速、竞争格局，行业机会从大到小依次是光模块、光设备、光器件、光线缆。可积极布局产能驱动阶段的子行业，包括光模块、光设备和光器件。

光模块市场受益于 5G 网络和数据中心市场双轮驱动，具有确定性高速增长机会，我国企业市场占有率较高。其中，数据中心光模块市场规模较大，行业龙头企业是重点方向。

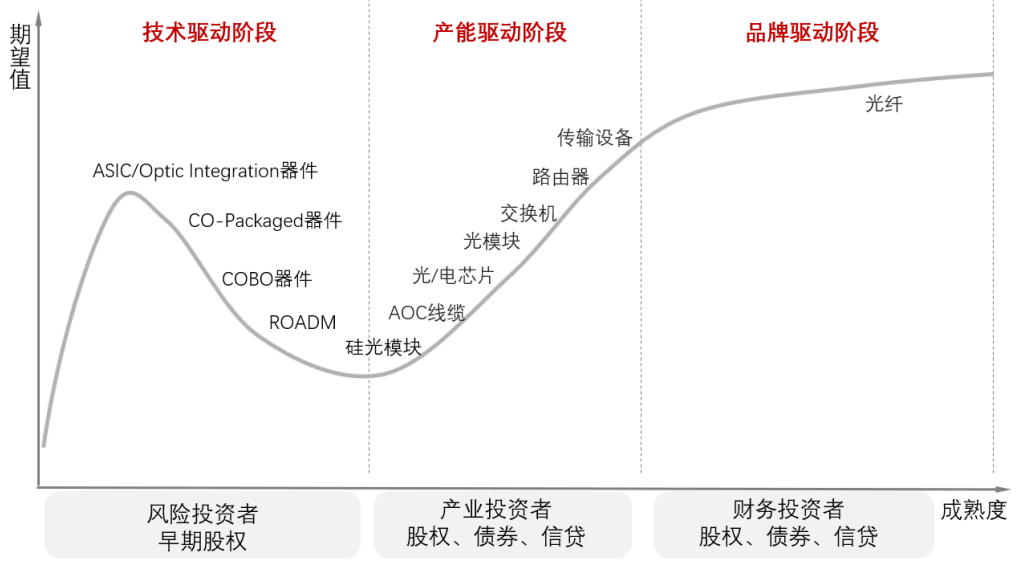
光设备市场规模较大，我国企业在传输设备领域具备较强技术优势和领先的市场份额，在 5G 网络建设期具有行业增长机会。

光器件市场规模较小，毛利率和系统重要性较高，美日企业具备较强技术优势，我国企业在部分领域具有成本和规模优势。

光纤光缆处于行业下行期，未来 3 年处于产能消化阶段，需要关注龙头企业的融资需求。有源线缆处于行业早期，未来有高速增长预期。

（2）**长期看，光电子产业是下一个半导体产业**。光电子产业从通信到消费电子，正在走向更宽泛的汽车、工业、医疗、国防军工等行业，市场规模将突破万亿美元。可参与硅光集成和光电子在传统行业新应用的早期股权投资。

图 55：光通信产业投资曲线



资料来源：招商银行研究院

投资风险：

（1）我国光通信产业上游依然比较薄弱，核心光芯片、电芯片制造和上游设备受制于人，国际贸易争端的加剧，可能影响光通信产业良性发展。

（2）光通信主要数据中心市场在海外，全球化进程受阻可能带来光通信需求市场的不确定性。

免责声明

本报告仅供招商银行股份有限公司（以下简称“本公司”）及其关联机构的特定客户和其他专业人士使用。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。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。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。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。

本报告的信息来源于已公开的资料，本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。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保持在最新状态。同时，本公司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。本公司可能采取与报告中建议及/或观点不一致的立场或投资决定。

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告作为投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向专业人士咨询并谨慎决策。

本报告版权仅为本公司所有，未经招商银行书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，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。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“招商银行研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

未经招商银行事先书面授权，任何人不得以任何目的复制、发送或销售本报告。

招商银行版权所有，保留一切权利。

招商银行研究院

地址 深圳市福田区深南大道 7088 号招商银行大厦 16F（518040）

电话 0755-83195702

邮箱 zsyhyjy@cmbchina.com

传真 0755-83195085

更多资讯请关注招商银行研究微信公众号
或一事通信息总汇