

## 【国信通信 · 专题报告】

### 硅光模块大有可为

证券分析师：程成

E-MAIL: chengcheng@guosen.com.cn

证券投资咨询执业资格证书编码：

S0980513040001

证券分析师：马成龙

E-MAIL: machenglong@guosen.com.cn

证券投资咨询执业资格证书编码：

S0980518100002

2020年9月21日

# 摘要

- ◆ 硅基光子技术在成本方面相对于传统InP材料光子集成具有较大优势，是光通信技术进一步发展的方向，也是下一代计算机技术的组成之一
- ◆ 光模块市场前景广阔，当前处于高成长赛道。硅光技术有望凭借其成本、传输速率优势在光模块领域规模应用。当前5G和400G系统大型数据中心正处于规模建设初期，硅光模块有望逐步被引入，预计到2024年占到高速光模块市场的60%。
- ◆ 硅光模块产业链的核心在于硅光芯片的商业化和量产，其它环节均有成熟配套，目前该领域以Intel、Luxtera为代表的欧美企业为主导，国产化率极低，中国厂商更多以封装厂的身份参与到产业中。
- ◆ 上市公司中，博创科技通过与芯片厂商Sicoya的合作，在华为的支持下优先规模扩产硅光模块，走在各大传统光模块厂商前列，在电信领域有一定突破性，具备了一定的先发优势。同时公司产品未来也不排除大举进军数通领域，可重点关注。

# 目 录

- 一、硅基光集成技术简述
- 二、硅光模块应用前景
- 三、硅光模块产业链梳理
- 四、上市公司及投资机会梳理

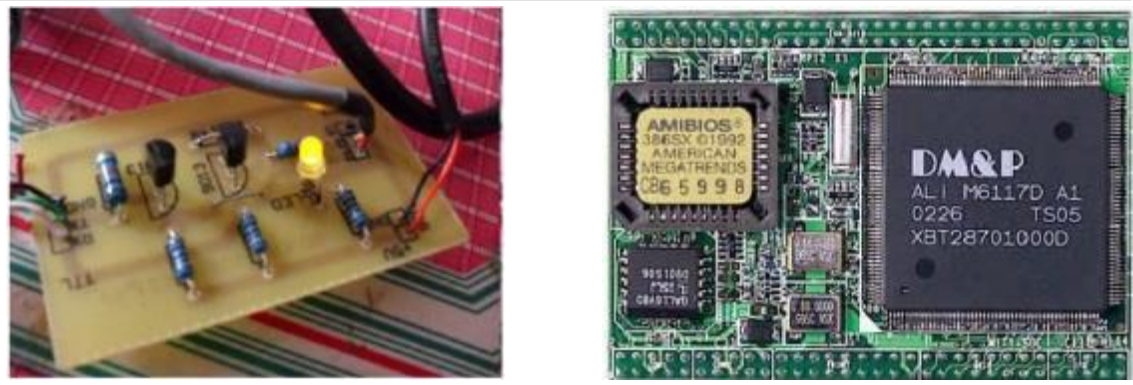
# 一、硅基光集成技术简述

---

# 电子集成技术简述

- ◆ 电子集成技术，也就是我们熟悉的集成电路技术（IC），是指采用一定的工艺，把一个电路中所需的晶体管、电阻、电容和电感等元件及布线互连一起，制作在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上，然后封装在一个管壳内，成为具有所需电路功能的微型结构。
- ◆ 集成电路具有体积小，重量轻，引出线和焊接点少，寿命长，可靠性高，性能好等优点，同时成本低，便于大规模生产。
- ◆ 当今半导体工业大多数应用的是基于硅的集成电路。硅和锗都具有良好的单向导电性，是重要的半导体基底材料。但因为英特尔公司力推硅芯片，奠定了硅作为主要材料的半导体格局。
- ◆ 由于受到RC（电阻电容）延迟经典物理效应的限制，电子技术难以突破纳秒的门槛，制约了超高速信息传输的发展，光子成为新的信息传输的载体，光子和电子的结合成为业界研究的重点。

图1：分离电路VS集成电路



资料来源：电子发烧友，国信证券经济研究所

表1：半导体材料

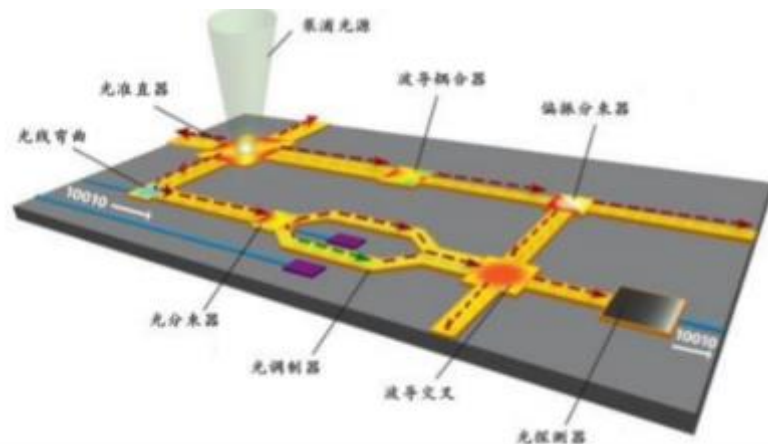
分类	材料	电导率
导体	铝、金、钨、铜等	$10^5 \text{S.cm}^{-1}$
半导体	硅、锗、砷化镓、磷化铟等	$10^{-9} \sim 10^2 \text{S.cm}^{-1}$
绝缘体	$\text{SiO}_2$ 、 $\text{SiON}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 等	$10^{-22} \sim 10^{-14} \text{S.cm}^{-1}$

资料来源：电子发烧友，国信证券经济研究所

# 光子集成技术简述

- ◆ 光子集成技术，即光子集成电路技术（PIC，Photonic Integrated Circuit），与电子集成技术科类似，只不过集成的是各种不同的光学器件或光电器件，比如激光器、电光调制器、光电探测器、光衰减器、光复用/解复用器以及光放大器等。
- ◆ 通过将很多的光学元器件集成在一个单片之中，大规模单片PIC使得系统尺寸、功耗以及可靠性都得到大幅度提高，同时大大降低了系统成本。随着运营商网络向100G/400G高速系统的不断升级，低成本的集成技术成为必然选择。
- ◆ 现有PIC所采用的基底材料主要包括磷化铟（InP）、砷化镓（GaAs）、铌酸锂（LiNbO3）、Si/SiO2，目前**已经商用的大规模单片PIC采用的就是磷化铟材料。**

图2：光子集成示意图



资料来源：讯石光通讯，国信证券经济研究所

图3：光子集成发展目标

光子集成技术的发展目标					
	器件功能	材料 [材料]	集成技术 [技术]	集成技术	
被动光学器件	Splitters	SiO <sub>2</sub> Silicon Polymers	PECVD FHD PVD	被动器件集成	BE: 半导体能带修正技术 (Bandgap engineering)
	VOAs				
	AWGs				
	Switches				
主动光学器件	Lasers	InGaAs AlInGaAs InP	MOCVD Regrowth Select RG	被动/主动集成	材料: InP 技术: QWI BE
	Modulator				
	SOAs				
	PDs				
	Switches				
电学控制器件	TIA	SiGe Silicon InP	MOCVD Litho.	电子器件集成	QWI: 量子阱混合技术 (Quantum well intermixing)
	LA				
	LD driver				
	I. contr.				

微小集成:  
HollyGrill

被动/主动  
/电控器件  
全面集成  
材料: InP  
技术: BE

资料来源：讯石光通讯，国信证券经济研究所



# InP（磷化铟） VS Si（硅）

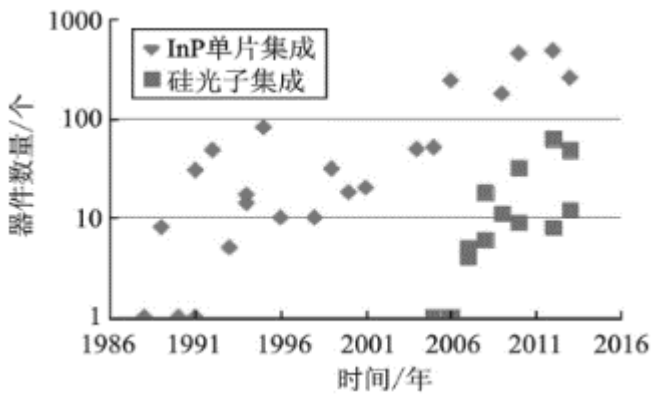
- ◆ 目前大规模光子集成的材料主要是InP，但是其由于价格昂贵，业界在探讨基于硅的解决方案。**硅由于本身材料低廉且在半导体工艺中已实现成熟应用**，半导体巨头纷纷探索硅光子的可能性。
- ◆ 硅材料由于发光效率低等原因，在光通信领域受到了一定的限制。如，目前难以实现单片硅光集成，而是需要以硅为衬底，外接激光器，实现混合集成。硅基光混合集成（OEIC）可以说是过渡方案，但是在目前理论为突破前提下的可落地方案。当前，业界对于硅基激光器的研究已实现了一定突破，未来有望实现单片集成的全光芯片。
- ◆ InP单片光子集成已有多年的发展历史，目前已实现大规模集成的应用突破。硅基光子集成技术研究历史较短，但研究力量和关注度极高，目前已有小批量落地产品。Infinera是大规模InP PIC技术及产业的领导者；Intel、Luxtera等致力于硅基光子集成的研究，对推动产业应用做了大量贡献。
- ◆ 硅光子除了在通信电子领域有广阔应用前景，在光伏能源、自动控制、航空航天中均有重要作用。

表2：硅 VS InP 材料在光通信领域的应用

	优点	缺点	成熟应用场景
硅	成熟应用于电子集成电路， <b>价格便宜，工艺成熟，适合规模化生产</b>	1、激光发射效率很低，硅基激光器非常难以实现，2.需要引入Ge PD进行通讯波段的接收探测，需要特殊工艺；3.硅折射率高导致波导尺寸小，与光纤耦合难度大	无源PIC（如AWG）
磷化铟	能够同时集成有源与无源光器件可保证工作波长为目前光通信广泛使用的1310nm和1550nm波段；可以大规模生产，节约成本；可同时实现激光发射、探测、光放大以及电光调制	磷化铟是稀有材料，价格相对来说十分昂贵； <b>晶圆尺寸为2-3寸无法实现大规模集成（产出低）</b>	分立DML、EML、可调光源等

资料来源：电子发烧友，国信证券经济研究所

图4：光子集成发展历程

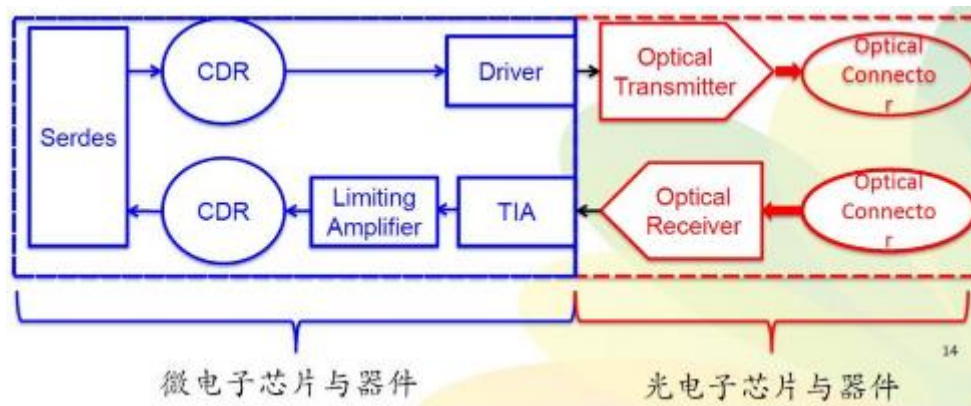


资料来源：《光电集成技术研究综述》，国信证券经济研究所

# 硅光集成（OEIC）——光模块成为可见的落地应用

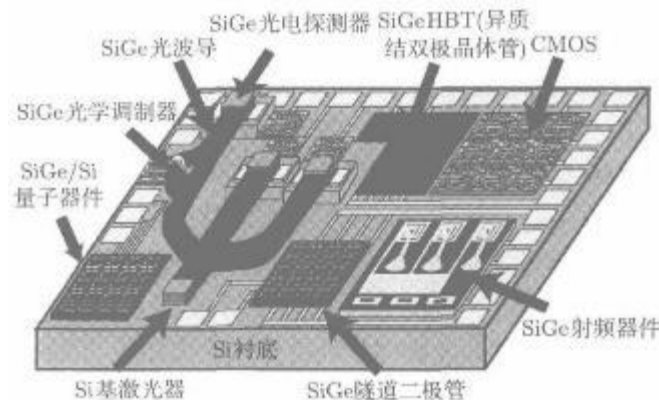
- ◆ 硅基光电集成（OEIC），即在硅的衬底上，实现光子的传输。其分为单片集成和混合集成。目前，光波复用/解复用、光波长调谐和变换等器件已可实现单芯片集成，而光模块需要混合集成。虽然混合集成是过渡方案，但使得**硅光技术在光模块领域有了落地的应用**。
- ◆ 目前的混合集成方案是在硅基上同时制造出电子器件和光子器件，将电子器件（Si-Ge量子器件、HBT、CMOS、射频器件、隧道二极管等）、光子器件（激光器、探测器、光开关、光调制器等）、光波导回路集成在同一硅片或SOI上。当前，硅基探测器（Ge探测器）、光调制器（Si-Ge调制器）、光开关、光波导等均已实现了突破，**激光器是最大瓶颈**，但也有了Si基量子级联激光器、硅纳米晶体激光器、硅基III-IV族异质结构混合型激光器、混合型面发射激光器等初步方案。混合集成方案逐步成熟并进入商用阶段。
- ◆ 当然硅光混合集成技术在生物传感、军事、光学仪器、光计算领域也有广泛应用。

图5：光电子集成收发模块示意图



资料来源：豆丁网，国信证券经济研究所

图6：硅基光电子集成电路示意图



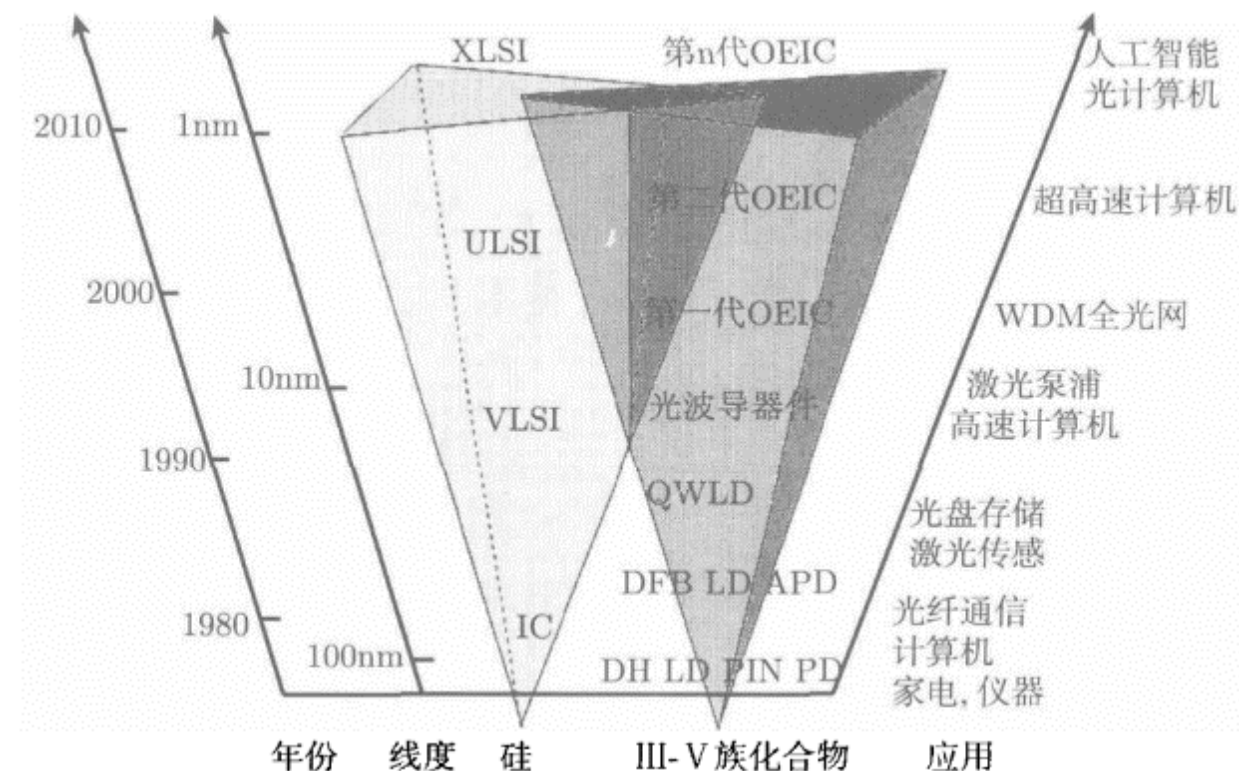
资料来源：《光电集成技术研究综述》，国信证券经济研究所



# 硅基光电集成技术的未来

- ◆ 硅光芯片，即硅基光混合集成在单芯片上的实现，将推动多技术领域的突破：
  - 硅芯片上的光子晶体结构可降低光速，**光学数据缓冲存储**成为可能
  - 全光逻辑控制器件的突破，将帮助实现**全光网络交换系统**的到来
  - 在硅基光子器件中实现单光子探测，将推动**量子通信**的发展
  - 硅基光子技术在液晶显示领域的应用，有望进一步推动**微投影技术**的发展，催化新的信息显示模式

图7：硅基光电子集成电路示意图

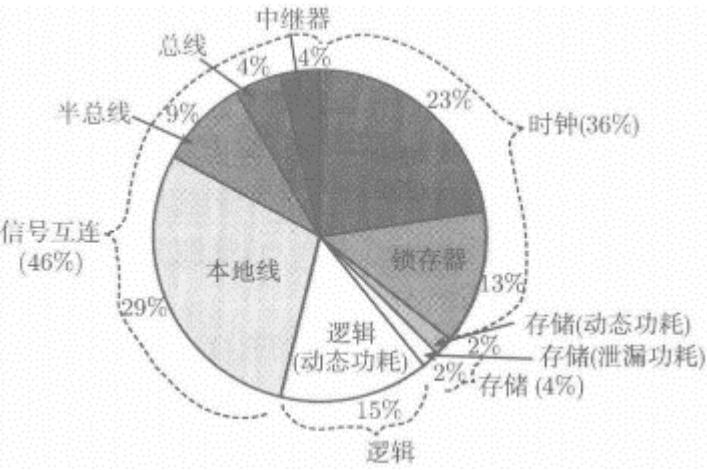


资料来源：《光电集成技术研究综述》，国信证券经济研究所

# 计算机光互联-硅光技术最有想象力的应用场景

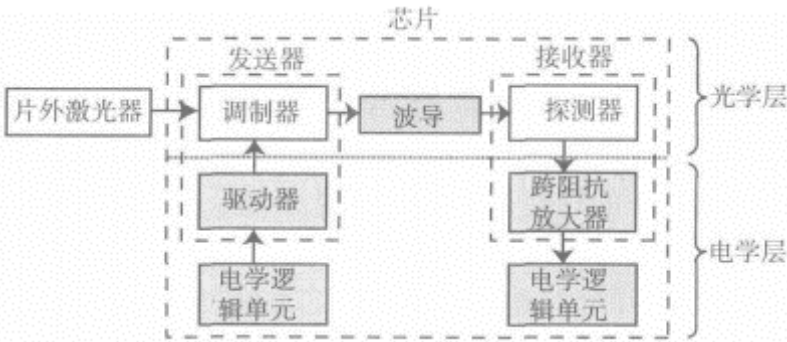
- ◆ 计算机的互连包括计算机站间、机柜间、电路板间、芯片间和芯片内的互连。计算机站间、机柜间已经和正在采用光纤实现光互连，而电路板间、芯片间 和芯片内的互连都是依靠铜线等金属进行的，它们之间的互连受电子器件(电阻电容)效应的影响，信息的传输速率大大降低，解决这一难题的办法就是**采用硅光子器件来提高传输速率**。一个硅基光互连系统主要包括外部光源、耦合器、光波导、调制器/光开关和光电探测器等。
- ◆ 采用电子互联，计算机芯片间传输速度可达**12Gb/s**，而采用硅光子器件可轻易提高到**40Gb/s**（2010年数据）。**硅光技术在片上互连、片间互连的应用，将推动计算机光互连甚至是光计算的革命，使得计算速度全面提升**，这是硅光技术的重要应用领域。也正是如此，Intel、思科等巨头全力研究硅光技术，以期在未来的技术革命中继续引领潮流

图8：集成电路中的能耗分布



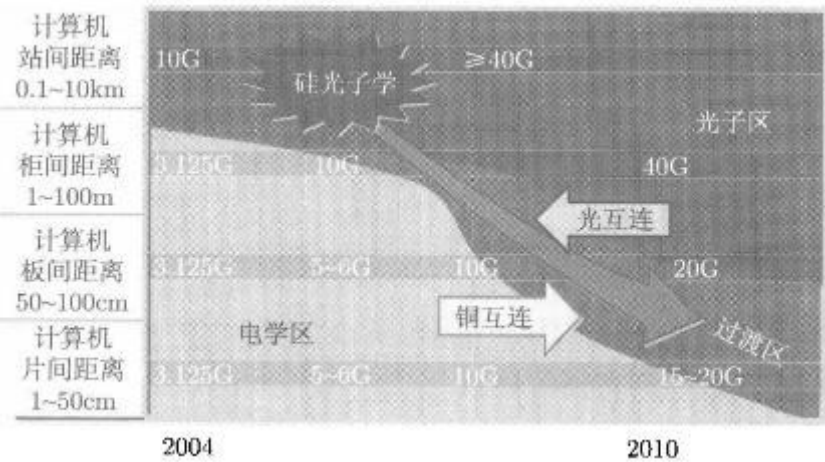
资料来源：《光电集成技术研究综述》，国信证券经济研究所

图9：点对点的光互连总线



资料来源：《光电集成技术研究综述》，国信证券经济研究所

图10：硅光在计算机互连中的应用速率



资料来源：《光电集成技术研究综述》，国信证券经济研究所

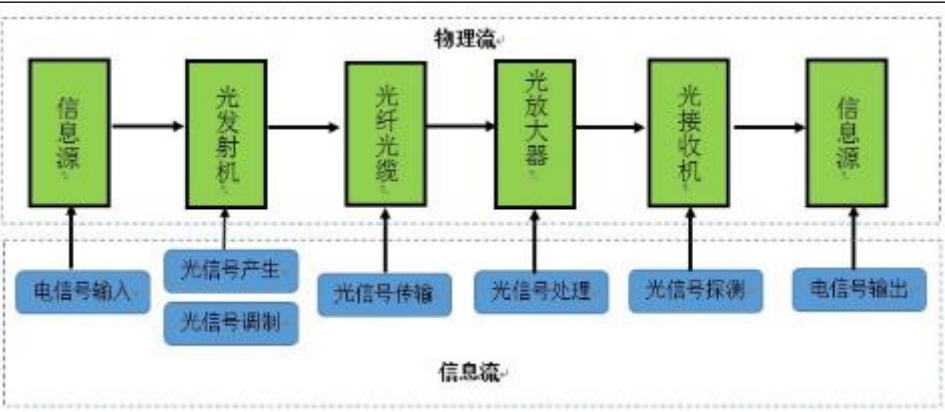
## 二、硅光模块应用前景

---

# 光模块市场前景广阔

- 光模块是实现光电转化的核心器件，其伴随数据交换需求的增长而增长。目前，光模块广泛运用于FTTx、通信基站、承载网、数据中心等节点。其中，需要高速传输的承载网、数据中心，是硅光技术的重要应用场景
- 根据LightCounting数据，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%，而数据中心和以太网市场规模已达30亿美元，未来5年复合增长率达19%

图11：光模块理论示意图

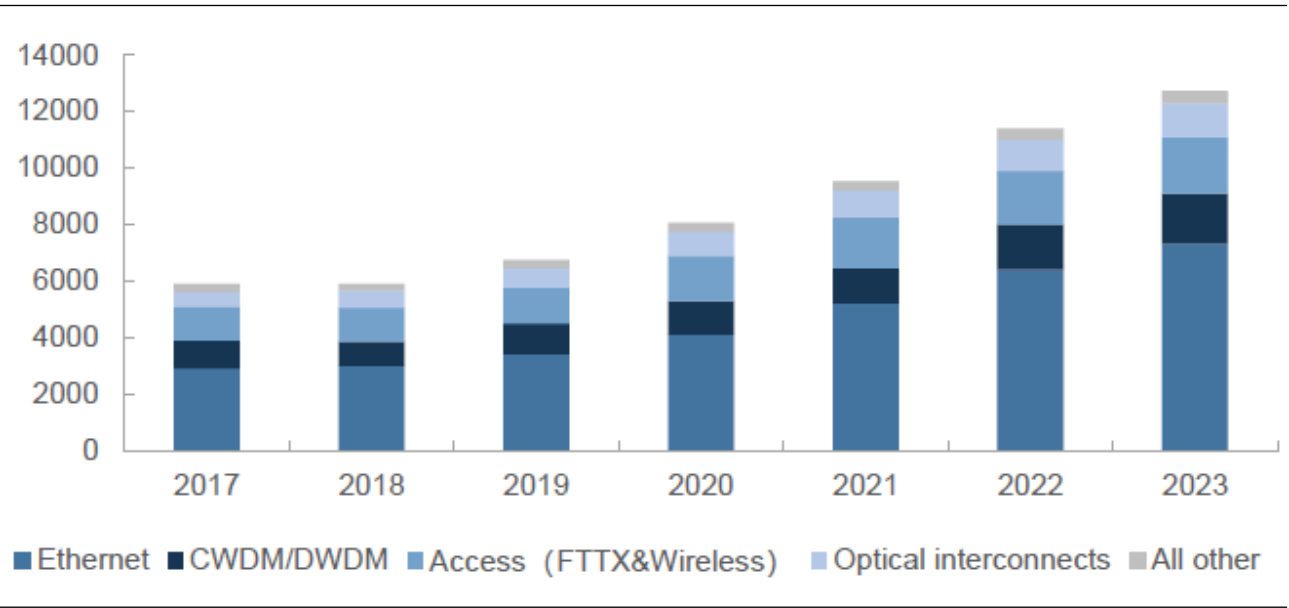


资料来源：《中国光电子器件产业技术发展路线图2018-2022》，国信证券经济研究所整理

图12：光模块示意图



图13：2017-2023年全球光模块市场规模及结构预测（百万美元）



资料来源：Lightcounting，国信证券经济研究所整理



# 硅光模块有望逐步替代传统光模块

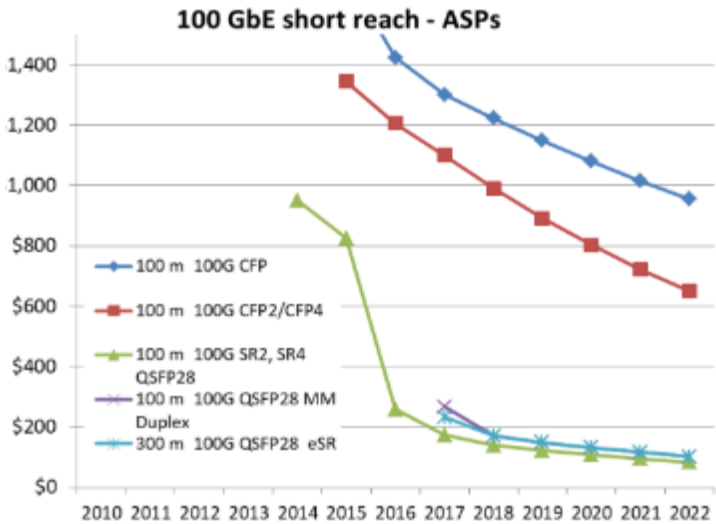
- 根据Intel的硅光子产业发展规划，硅光模块产业已经进入快速发展期，2022年，硅光子技术在每秒峰值速度、能耗、成本方面将全面超越传统光模块。
- 当前来看，硅光模块的工艺难度大，封装成本较高，在1.5~2美元/GB。但是传统光模块的成本在1+美元/GB，难以进一步降低，而硅光模块的成本理论上有望降至0.3美元/GB，在规模量产情况下具有极强的成本优势。
- 近些年，大量光通信龙头企业涌入硅光技术的研发和产业化中，成果显著。

表3: 硅光子模块性能指标

	2013	2016	2019	2022
Flops	20P	160P	1.28E	10.2E
Aggregate BW	80 Pbps	640 Pbps	5.12 Ebps	40.8 Ebps
Ennergy/bit	75 pJ/bit	11 pJ/bit	1.7 pJ/bit	250 fJ/bit
Size	<2400 mm^3/Gbps	<120 mm^3/Gbps	<6 mm^3/Gbps	<50 mm^3/Gbps
Cost	6 \$/Gbps	1 \$/Gbps	0.16 \$/Gbps	0.02 \$/Gbps

资料来源：《100G硅光调制器集成芯片研究》，国信证券经济研究所整理

图14: 100G光模块均价走势



资料来源：Lightcouting，国信证券经济研究所整理

表4: 硅光模块最新进展

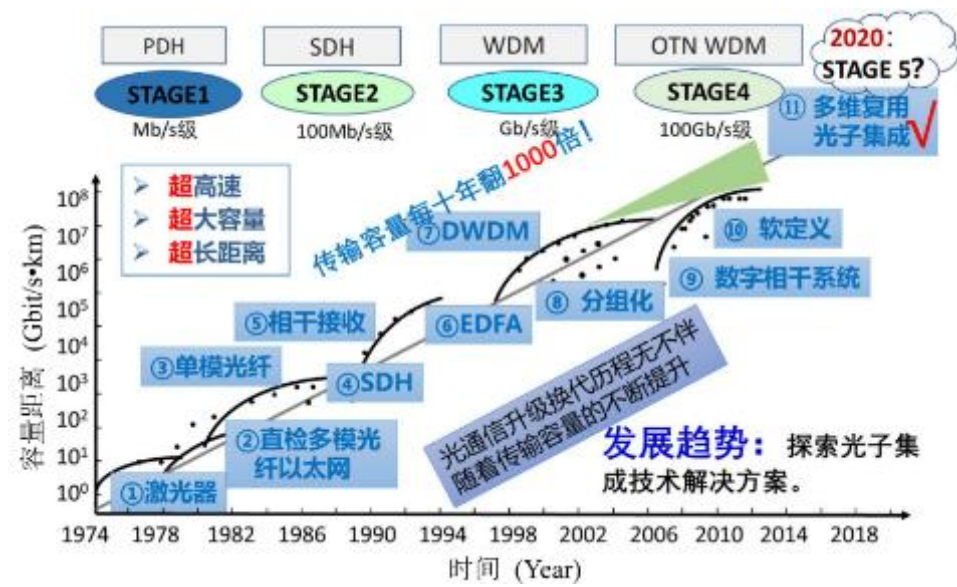
时间	进展
2018	新加坡AMF公司推出多层SiN-on-Si集成平台
2019	Intel推出400G硅光子收发器
2019	新加坡Compound Tek公司推出硅光芯片工艺设计工具库
2019	美国Juniper公司发布400G硅光模块
2020	加拿大Ranovys推出硅光平台Odin
2020	Intel将硅光引擎与交换机甲集成
2020	Sifotonics交付超过500万个锗硅光电器件

资料来源：讯石光通信，国信证券经济研究所整理

# 5G时代网络升级或逐步引入硅光技术

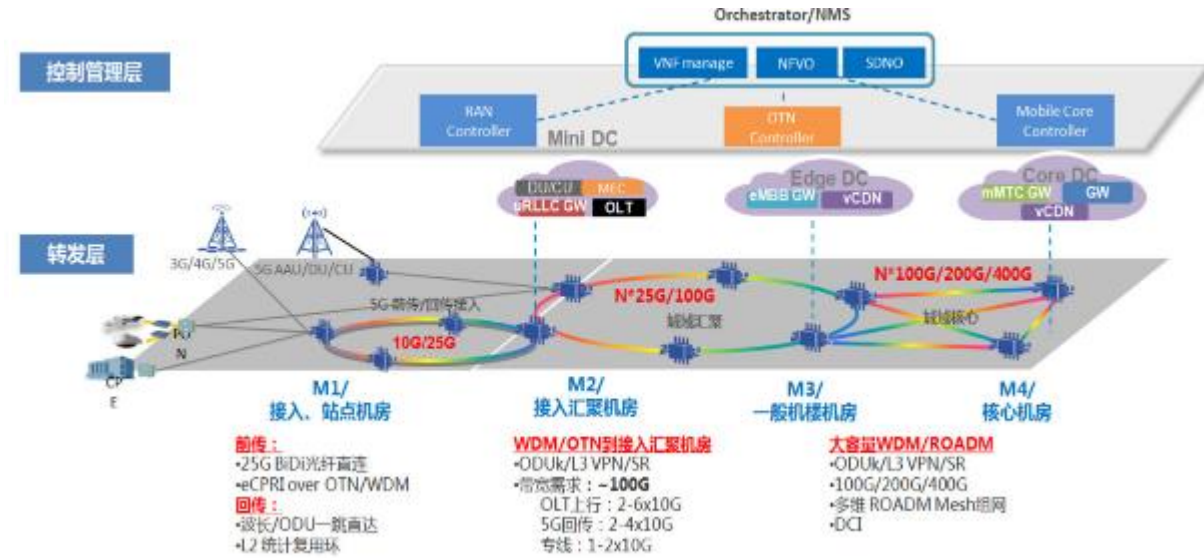
- **硅光技术有望突破当前光通信传输速率瓶颈。**光通信系统的每一次升级，都有赖于新技术的引入。当前主流的**100G**网络系统下，相干光通信技术和波分复用技术已被大量应用，随着流量的继续快速攀升，后续骨干网向**400G**、**800G**甚至**1.6T**演进，单模光纤**100Tb/s**的传输速度或成为门槛。而硅光子集成技术的引入，有望打破这一限制，实现**Pb/s**量级的传输
- **5G时代**，核心骨干网向**400G**系统升级，或逐步引入硅光子技术，实现高速度大容量的数据传输

图15：光纤通信网络进化历程



资料来源：《100G硅光调制器集成芯片研究》，国信证券经济研究所整理

图16：5G承载组网架构



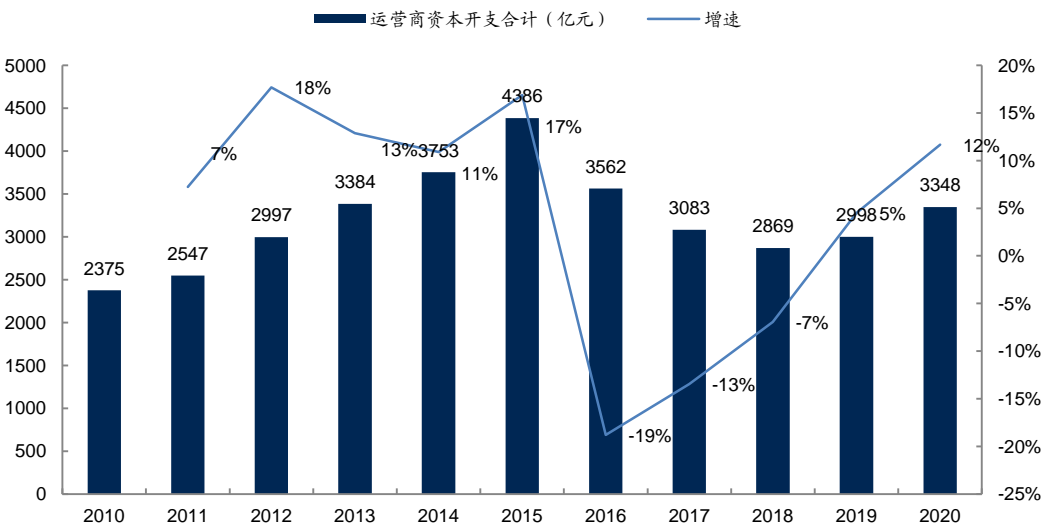
资料来源：工信部，国信证券经济研究所整理



# 2020年进入5G规模建设期

- 5G是新基建七大领域之一（特高压、新能源充电桩、5G 基站建设、大数据中心、人工智能、工业互联网和城际高速铁路和城市轨道交通），2020年以来政治局会议多次要求加快5G建设
- 2019年6月6日工信部向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电发放5G商用牌照，10月底运营商宣布5G商用
- 2019年是国内5G基站建设元年，2020年是5G基站建设爆发期，三大运营商资本开支计划明确

图17：运营商资本开支计划



资料来源：工信部，国信证券经济研究所整理

表4：三大运营商5G建设情况

5G资本开支（亿元）	2019	2020	增速
中国移动	240	1000	317%
中国电信	93	453	389%
中国联通	79	350	343%
合计	412	1803	338%
5G新建基站数（万）	2019	2020	增速
中国移动	5	25	400%
中国电信	6（其中有2万与联通共建共享）	25（前三季度，与联通共建共享）	317%
中国联通	6（其中有2万与电信共建共享）	25（前三季度，与电信共建共享）	317%
合计	15	50	233%

资料来源：运营商年报，国信证券经济研究所整理

# 5G基站建设进度预判：2020-2022年达到高峰期

- 参考4G周期，2020-2022年是国内5G建设高峰期
- 5G建设初期进度不如4G迅猛，或将推迟高点到来的年份，整体建设进度或更加平稳

表5：运营商基站数预测

4G基站新增数（万座）	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	合计
中国移动	7	63	40	41	36	55	68	310
中国电信	6	12	33	38	28	21	21	159
中国联通	1	8	31	34	11	14	42	141
合计	14	83	104	113	75	90	65	
增速		498%	25%	8%	-33%	19%	-27%	
累计	14	97	201	314	389	479	609	
5G新增基站数预测（万座）	2019	2020E	2021E	2022E	2023E	2024E	2025E	
中国移动	5	25	60	70	60	50	40	310
中国电信+中国联通	10	25	30	35	25	20	20	165
合计	15	50	90	105	85	70	60	
增速		233%	80%	17%	-19%	-18%	-14%	
累计	15	65	155	260	345	415	475	

资料来源：工信部，国信证券经济研究所整理

# 海外5G亦于20年进入规模建设期

- 2019年4月，美韩两国抢先宣布5G商用，欧洲处于积极跟进状态，英德意西等16国共27家运营商启动5G，截至2019年10月底，全球已有32个国家/地区的58家运营商实现5G商用。目前落后的日本在加大追赶力度，计划于2020年春季推出5G商用服务。
- 2019年全球5G基站出货量约为100万台，2020年全球多数国家/地区陆续进入5G规模建设期，华为预计年2020年全球5G基站累计发货量将达到150万

图17：全球各区域5G规模建设时间点预测



资料来源：5G行业应用，国信证券经济研究所整理

表6：欧美日韩5G建设情况

5G商用时间		5G频段	建设进度
韩国	2019.4	3.5GHz、28GHz	2019年底，5G基站已超过19万个，覆盖韩国93%的人口
美国	2019.4	T-Mobile（600M）、Sprint（2.5GHz）、Verion（28GHz）、AT&T（39GHz）	2019年底5G基站数量约1万个，2020年计划新建5万个
日本	预计2020	3.7GHz, 4.5GHz, 28GHz	预计到2024年底的5年间将投资1万亿日元，在日本全国修建大约7万个基站
欧洲	2019.4	3.4-3.8GHz、26GHz	瑞士、英国、意大利和西班牙已规模商用，其余预计2020年加大建设力度

资料来源：国信证券经济研究所整理

# 5G基站建设带来海量光模块需求

5G网络端口接口速率全面提升，接入层、汇聚层、核心层光模块相应升级：

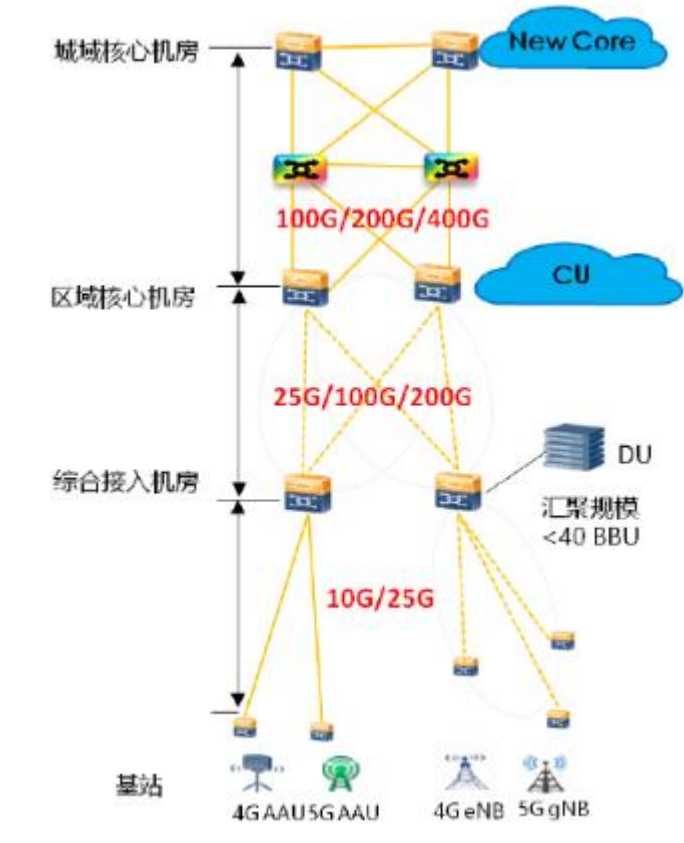
- 接入层接口速率：从6G/10G提升至25G
- 汇聚层接口速率：从25G/50G提升至50G/100G
- 核心层接口速率：从100G/200G提升至200G/400G

表7：中国电信5G承载网需求

网层	子项	4G LTE	5G初期	5G成熟期
核心层	节点数	4	4	4
	带宽	4T	4T	11T
	接口	20*200G	20*200G	30*400G
区域核心	节点数	20	20	20
	带宽	1.6T	1.6T	4.4T
	接口	16*100G	16*100G	23*200G
汇聚层	节点数	400	400	400
	带宽	157.8G	157.8G	442.6G
	接口	4*50G	4*50G	5*100G
接入层	节点数	10000	10000	10000
	带宽	5.28G	5.28G	19.8G
	接口	10G	10G	25G

资料来源：5G时代光传送网技术白皮书，国信证券经济研究所整理

图18：城域OTN网络架构图



资料来源：5G时代光传送网技术白皮书，国信证券经济研究所整理

# 5G基站建设带来海量光模块需求

根据前述基站数，我们测算国内5G基站光模块数需求量，结果如下所示：

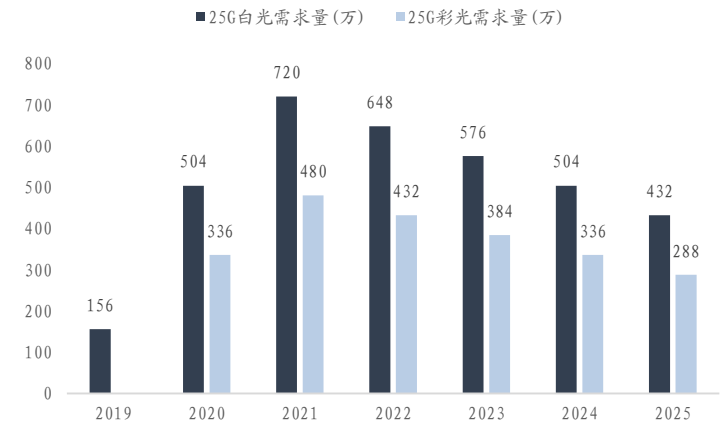
- 25G前传：若按照光纤直连、无源WDM、有源OTN=6:3:1的比例计算，25G前传光模块总量约5800万只【华为或将在业内大幅推动50G前传方案】
- 50G&100G&200G中回传：按照环装组网架构，城域网和骨干网50G&100G/200G中回传光模块需求为1100万只
- 华为已经在2019年底的25G前传光模块招标中引入硅光模块，后续替代效应或逐步显现。华为在前传模块引入硅光技术，更多是为后续的技术升级、产业链培育做准备。

表8：5G基站光模块需求测算

网络环节	传输方案	光模块类型	数量(万只)
接入网（前传）	光纤直连	25G白光	3478
	无源WDM	25G彩光	1739
	有源OTN		580
接入网（中传）	WDM/OTN	50G	966
城域网（回传）	WDM/OTN	20KM 100G	121
骨干网（回传）	WDM/OTN	40KM 200G	20
合计			6903

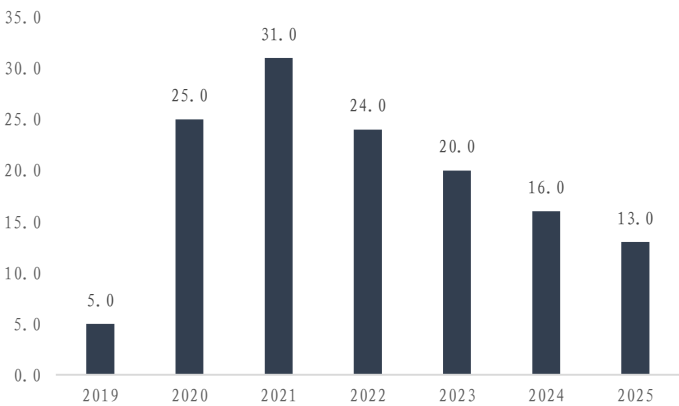
资料来源：中国移动，中国电信，中国联通，国信证券经济研究所整理

图19：25G前传光模块需求预测



资料来源：中国移动，中国电信，中国联通，国信证券经济研究所整理

图20：25G前传光模块市场规模预测（亿元）



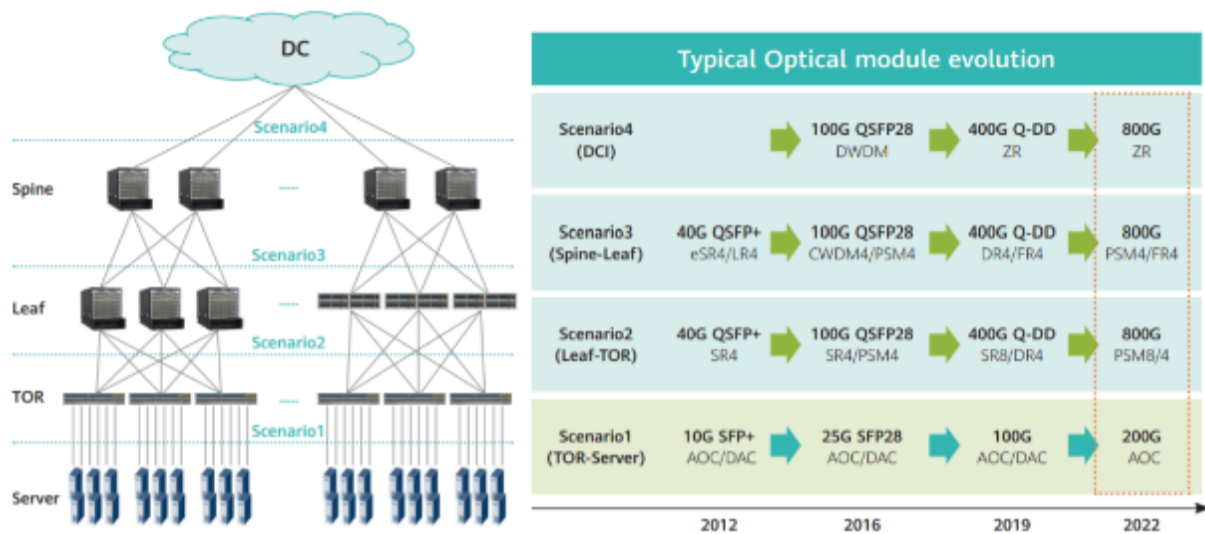
资料来源：中国移动，中国电信，中国联通，国信证券经济研究所整理



# 数据中心光模块不断升级，硅光有望大放异彩

- 全球互联网流量和带宽需求继续爆炸式增长（根据Equinix预测，2017年-2021年全球互联网带宽容量以48%的年复合增长率增长），要求数据中心用光模块速率不断升级，2020年正式进入400G时代，并有望于2022年进入800G时代，硅光技术的应用同样有利于速率的升级。
- 目前一个典型的超大型数据中心，拥有超过10万台服务器和5万多个交换机，它们之间的连接需要超100万个光模块，花费在1.5亿美元至2.5亿美元之间，占据数据中心网络成本的60%，超过交换机、NIC和电缆等设备的总和。高昂的成本迫使产业界通过技术升级降低光模块的单价。硅光模块的引入有望解决这一问题。

图21：数据中心光模块升级示意图



资料来源：Lightcounting，国信证券经济研究所整理

图22：典型数据中心关键数据



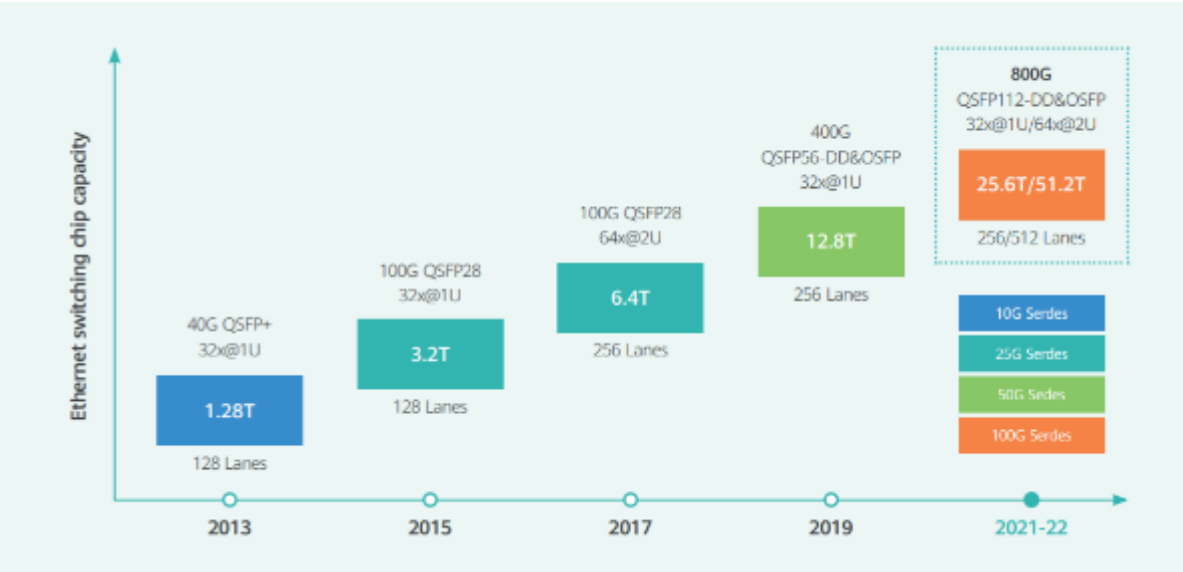
资料来源：半导体行业观察，国信证券经济研究所整理



# 数通400G市场已开启，进入高景气周期

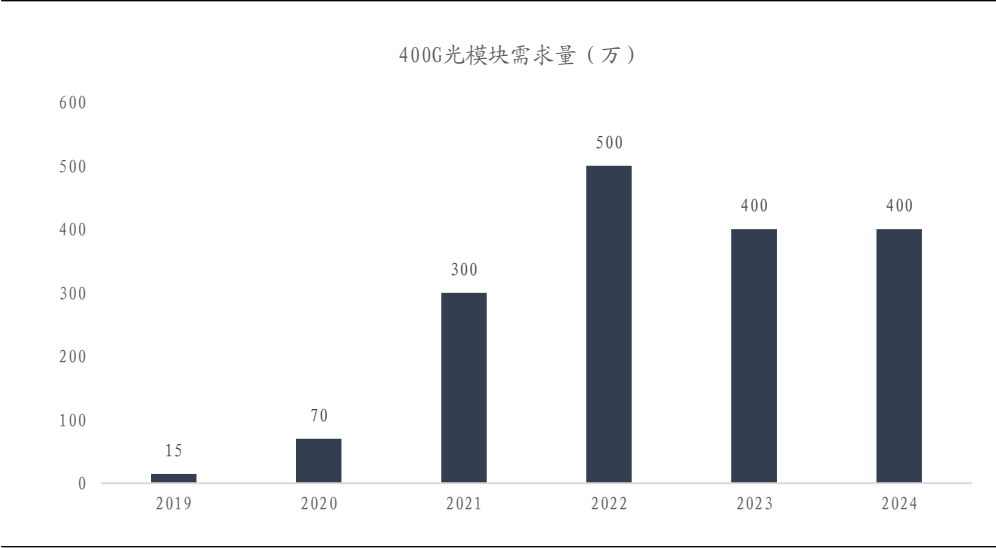
- 服务器算力依旧循着摩尔定律每两年翻一倍。2019年12月，博通宣布推出全球首款具备25.6Tbps交换能力的交换机芯片Tomahawk4，可支持64\*400G/128\*200G/256\*100G部署。Tomahawk4的推出，标志云计算厂商400G网络部署条件已成熟，相应地，400G光模块有望于2020年规模发货。
- 根据100G光模块的历史需求量，我们认为2020年400G光模块将进入规模放量期，达到大几十万只，2021年有望迅速增加至300万只，行业进入全面升级周期。

图23：交换机芯片周期



资料来源：Lightcounting，国信证券经济研究所整理

图23：全球数通400G光模块需求量预计

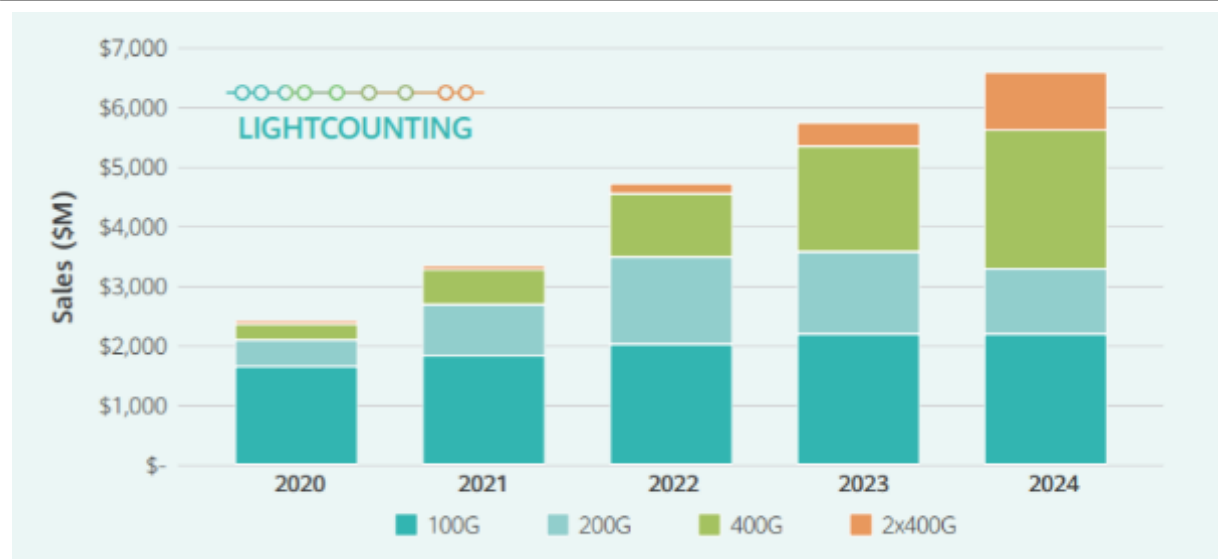


资料来源：国信证券经济研究所整理

# 2024年硅光模块有望占高速光模块市场的60%

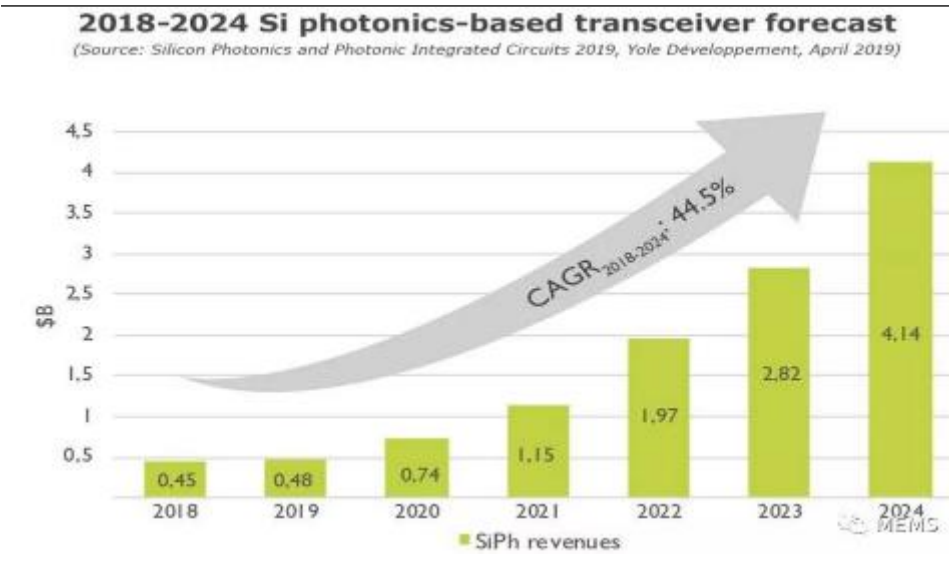
- 结合电信和数通市场，2021年有望成为硅光加速出货的第一年，市场正式启动。
- 在过去的100G光模块中，已经有厂商利用硅光技术生产，如Luxtera、Intel，但量级与传统光模块相比很少，其在400G时代的占比有望快速提升。
- Yole预测，硅光模块市场将从2018年的约4.55亿美元（相当于130万个）增长到2024年的约40亿美元（相当于2350万个），复合年增长率达44.5%。而Lightcounting预测到2024年数通高速光模块市场整体达65亿美金，即硅光占比达到了60%（20年占比为3.3%）。

图25：高速光模块市场规模预测



资料来源：Lightcounting，国信证券经济研究所整理

图26：硅光模块市场规模预测

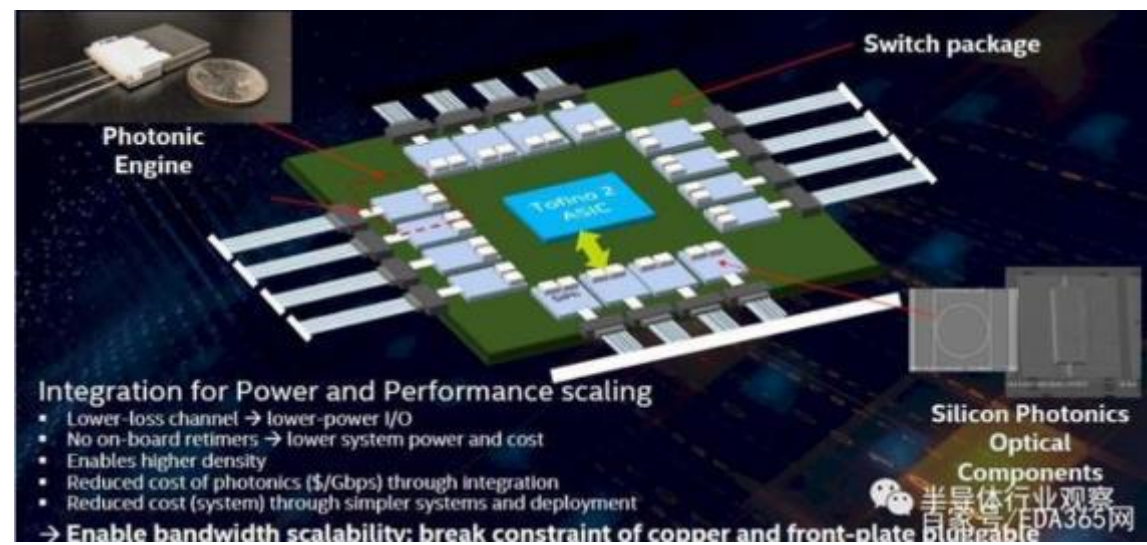


资料来源：Yole，国信证券经济研究所整理

# 更远的未来：片上光互连

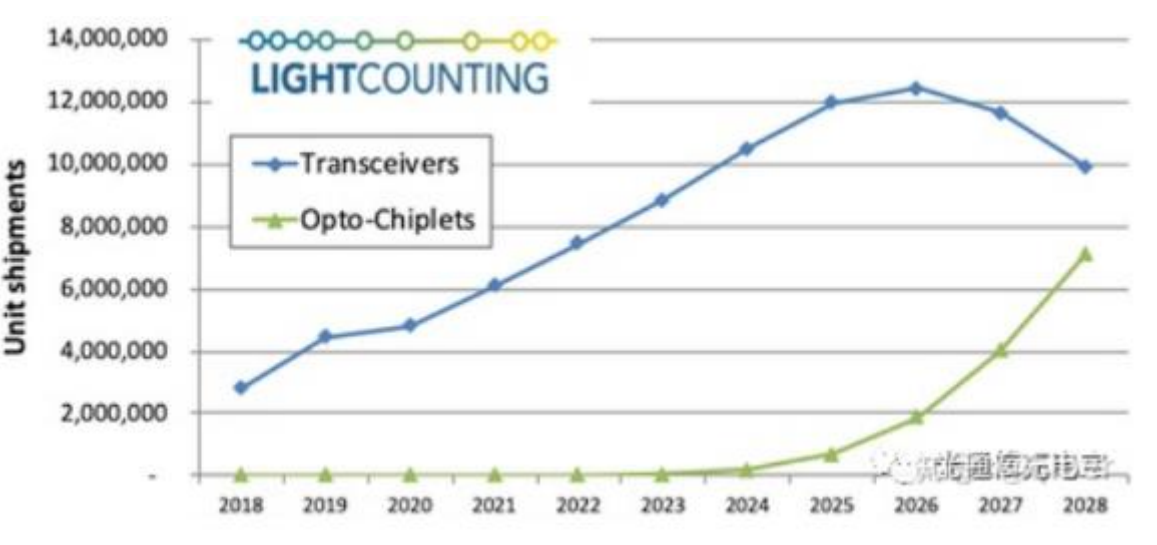
- 在未来某个时间点，数据中心网络方面的性能提升必然会到达一个天花板，届时摩尔定律将失效。硅光子技术有望帮助提高网络设备的密度和能效，如交换机ASIC封装上安装硅光子端口，在交换机端整合收发器。
- 英特尔已经在其“Tofino 2”交换机ASIC上测试了这个想法，如下所示，chiplet设计的芯片总带宽为12.8 T/s，被共同封装的100 G/s的光学tiles所包围，其相应的交换机端口为400G/s。该方案可使得散热和成为持续下降。
- 因此2024年之后，光芯片组有望替代当前的可插拔模块市场完成供应链的重塑

图27：英特尔片上光互连示意图



资料来源：半导体行业观察，国信证券经济研究所整理

图28：英特尔片上光互连示意图



资料来源：Lightcounting，国信证券经济研究所整理

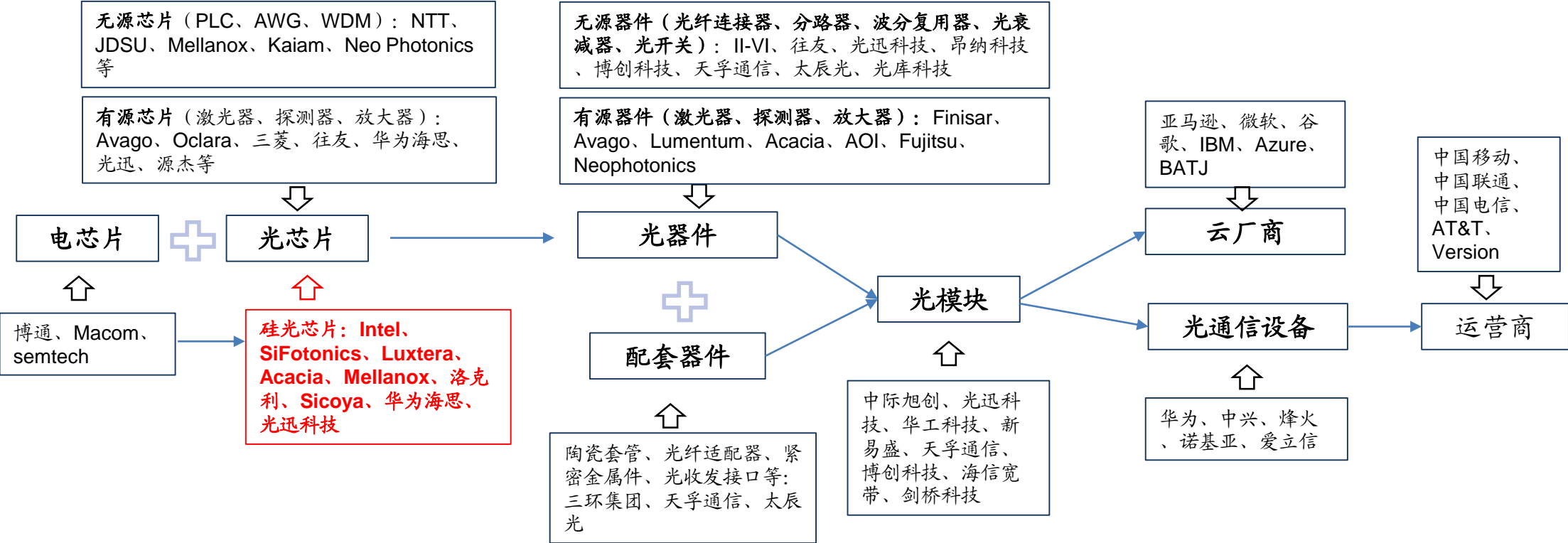
### 三、硅光模块产业链梳理

---

# 硅光模块产业链

- 传统光模块产业链如下图黑色部分所示，主要由光电芯片-光器件-光模块-数据交换设备厂商四个环节。
- 硅光光模块与传统光模块产业链的主要区别在于光芯片部分，其是高度集成的单芯片，而不是传统的分离多器件的组合。其余产业链环节是相同的，不过硅光模块的高度集成会减少部分配套器件的使用，这一趋势在后续“On-Board”封装方案中体现将更明显。

图29：光模块产业链

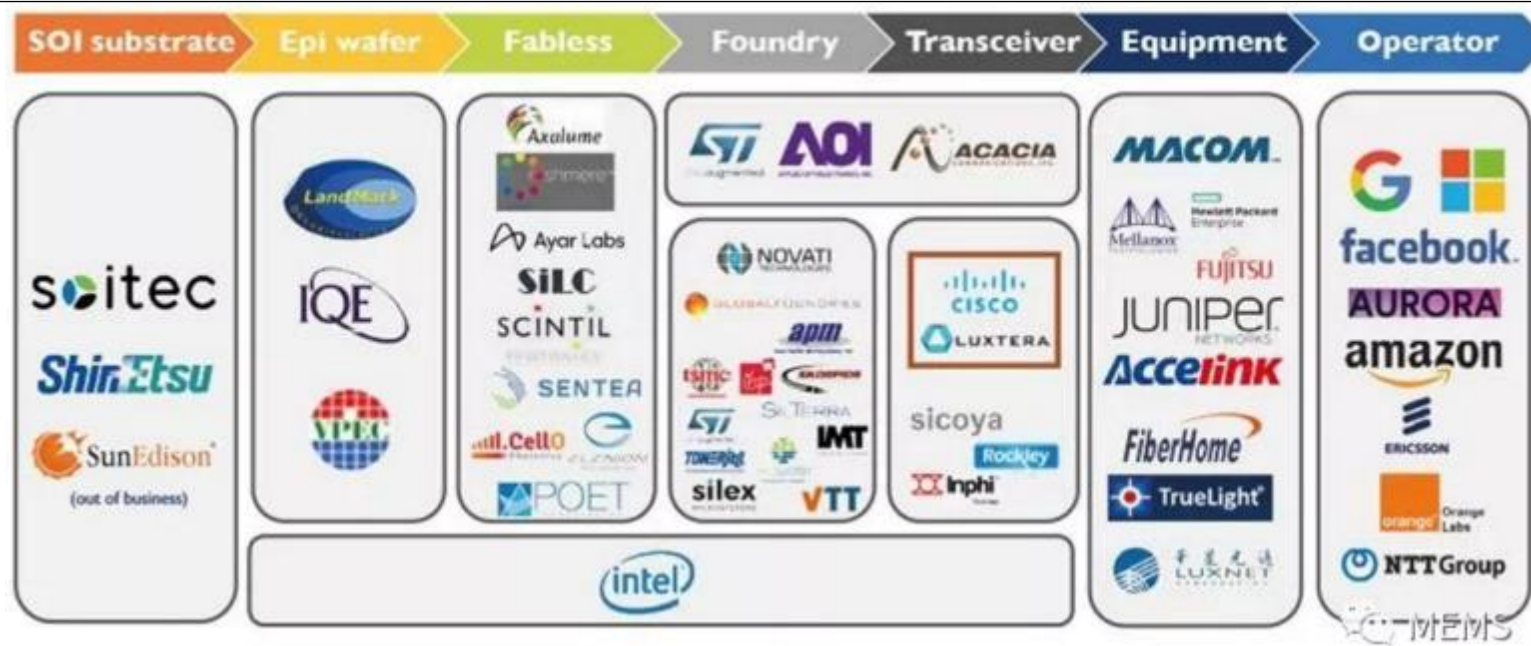




# 硅光模块产业链

- 而就芯片环节看，分为晶圆制造、设计、代工、封装测试等环节，基本可复用电子集成电路产业链，具体公司如下所示。其中，Intel走的是一体化IDM模式；代工厂如TSMC（台积电）、Silex、APM和VTT，都在积极研发硅光子规模制造工艺；Luxtera、Sicoya、Rockley、Inphi、Acacia在硅基光电集成收发芯片的设计方面走的较为靠前。
- 封装环节，依旧是传统光模块的封装厂商占主导，需要其对平面波导的耦合有深厚经验积累

图30：硅光模块产业链



资料来源：MEMS，国信证券经济研究所整理



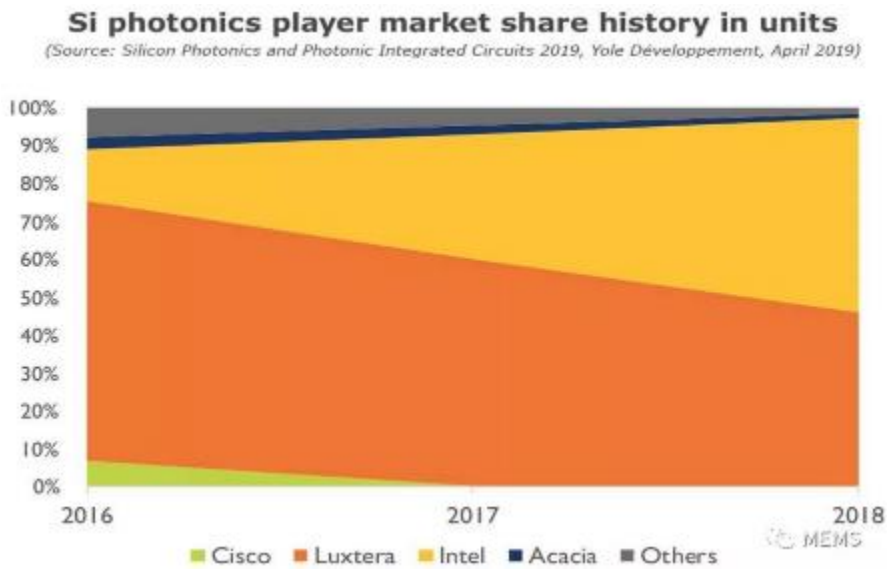
# 国内外巨头纷纷入场硅光领域，鹿死谁手未可知

- ◆ 硅光领域前景广阔，传统通信设备巨头及相关行业有竞争力的企业纷纷入场布局，国外的企业如Intel、Acacia及SiFotonics等由于起步较早，均已推出多款基于硅光技术的器件产品，在行业内占据头部地位。
- ◆ 国内企业进入该领域较晚，主要通过并购或者与外企合作的模式来切入，在技术研究及产品开发与国外巨头相比仍有不小的差距，目前仍处于追随者的地位
- ◆ 但总体来看，硅光市场刚刚开始，未来市场格局变数巨大，新进入者均有机会

表9：国内外企业硅光技术布局

	企业	竞争优势	在研或主打的硅光产品
国外	Acacia	在低功耗高速度传输的光模块器件领域具有优势，研发实力强，已被思科收购	硅光集成电路产品（AC100-C, AC100-CFP-M, AC100-CFP2-ACO、AC400-UC等）
	Intel	起步早，研发能力强，数据中心业务占比大	100G硅光收发器、PSM4硅光子产品
	SiFotonics	在CMOS工艺的硅基光电产品研发上有优势，产品涉及光收发器、芯片等	TP1001芯片、CR4Q01
	Mellonax	收购硅光子专家Kotura与并行光互连芯片厂商Iptronics，已被思科收购	LinkXTM
	思科	收购CoreOptics、Lightwire，可研发针对400Gbps以太网接口的硅光子技术线卡	CPAK光模块1Tb线卡，ASIC产品
国内	华为	收购英国光子集成公司CIP和比利时硅光子公司Caliopa	小型高容量硅光芯片
	光迅科技	国产光芯片核心企业，国家重点扶持	在研100G/200G全集成硅基相干光收发集成芯片和器件
	亨通光电	2017年12月与英国洛克利硅光子（Rockley）出资共同成立江苏亨通洛克利	已通过100G硅光芯片测试
	博创科技	全资子公司上海圭博通信技术有限公司研发“硅基高速光收发模块开发和产业化项目”，与Sicoya和陕西源杰成立斯科雅（嘉兴）技术有限公司	25G前装、100G/400G数通光模块

图31：硅光模块市场份额



资料来源：MEMS，国信证券经济研究所整理

# Intel：硅光全力推进者，旨在片上光互连

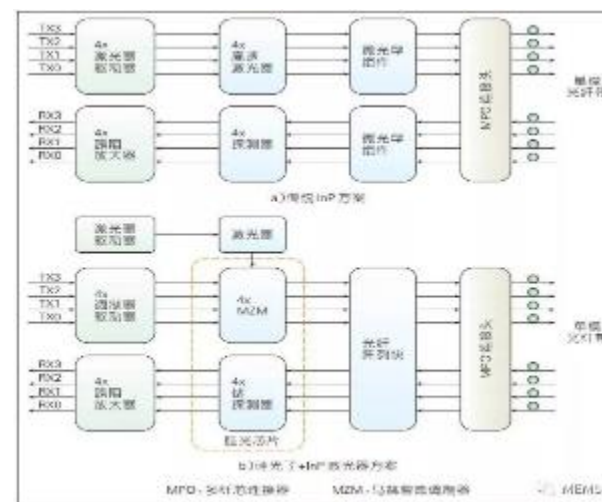
- ◆ Intel在二十多年前就开始从事硅光子收发器的研究，2016年第一批光模块投入使用，2018年底出货100多万，2019年底出货300多万，预计未来每年出货200万以上。公司目前出货的模块主要是100G PSM4 QSFP和100G CWDM4 QSFP，并且在研发200G FR4、400 DR4模块，终极目标是在ASIC上安装硅光子端口，即在交换机端整合光模块，而替代现有热插拔的方式。
- ◆ 以100G PSM4 QSFP为例，英特尔目前的激光器，还是通过键合技术将多个InP激光器和CMOS芯片集成在主硅片上，另外硅基光子集成回路（PIC）芯片包含4个马赫-曾德尔（Mach-Zehnder）调制器和锗硅光探测器（PD）。
- ◆ Intel最新演示的光子引擎运行速度为1.6 Tb /秒（使用PAM4编码的16个通道以100 Gb /秒的速度运行），不仅速度大大增加，且这种集成将使整体网络成本降低约30%，功耗降低30%，片上光互连才是英特尔硅光技术的终极应用。

图32：英特尔光模块路线图



资料来源：英特尔官网，国信证券经济研究所整理

图33：英特尔1.6 Tb /秒光子引擎示意图

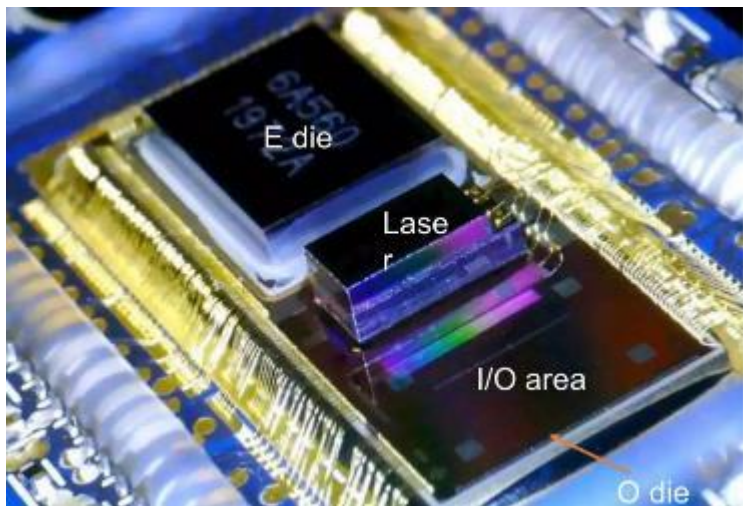


资料来源：MEMS，国信证券经济研究所整理

# Luxtera: 硅光模块量产第一人

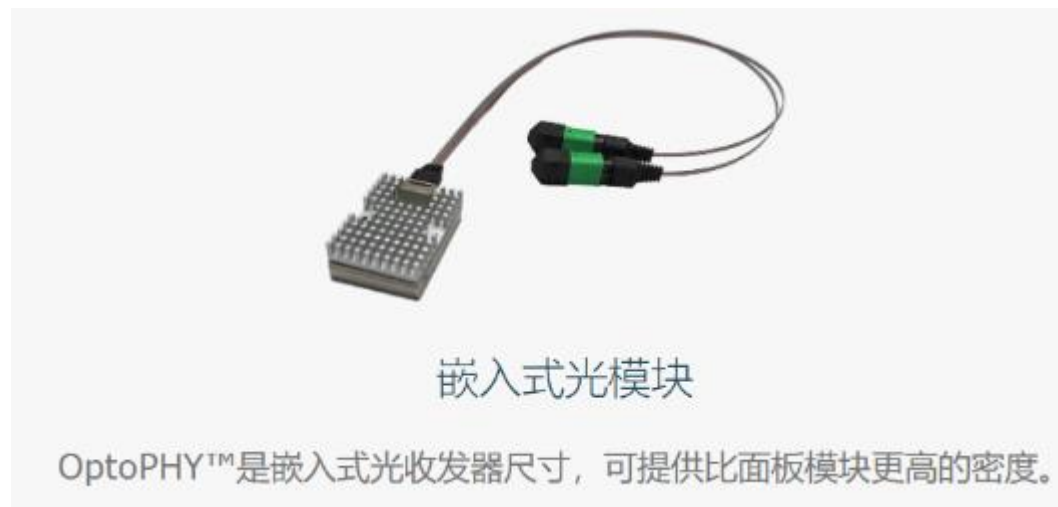
- ◆ Luxtera总部位于加利福尼亚州卡，成立于2001年，由一群行业知名的研究人员以及来自通信和半导体行业的资深管理人员领导。Luxtera公司已在硅光子学研发方面投资超过2.5亿美元，是硅光子学的全球领导者。公司是最早开发硅光子芯片，并且硅光模块出货量达到百万片的公司，2019年被思科以6.6亿美金收购。
- ◆ 2009年，Luxtera公司最早推出了基于硅光技术的4x10G AOC模块，2014、2015年推出200G PSM8和100G PSM4光模块，并在100G PSM4领域占据了大部分的市场份额。公司的下一步将会是400G DR4以及ASIC与硅光芯片集成。
- ◆ 公司的100G PSM4光模块方案如下，电芯片通过Flip-chip的方式贴装在光芯片上，激光器也通过类似的方式贴装在光芯片上。其电芯片包括了MZI驱动、TIA和均衡器、CDR、LDD、MCU、I2C等，集成度非常高。光芯片包括MZI调制器（Segmented）、Ge探测器、Ge探测器制作的MPD、光栅耦合器等。整个模块只有一个激光器，波长1310nm，耦合到片上后通过分束器，分成4路光，分别进入4路MZI调制器。

图34: Luxtera 100G QSFP28模块



资料来源: Luxtera, 国信证券经济研究所整理

图35: Luxtera 2x100G-PSM4嵌入式光模块



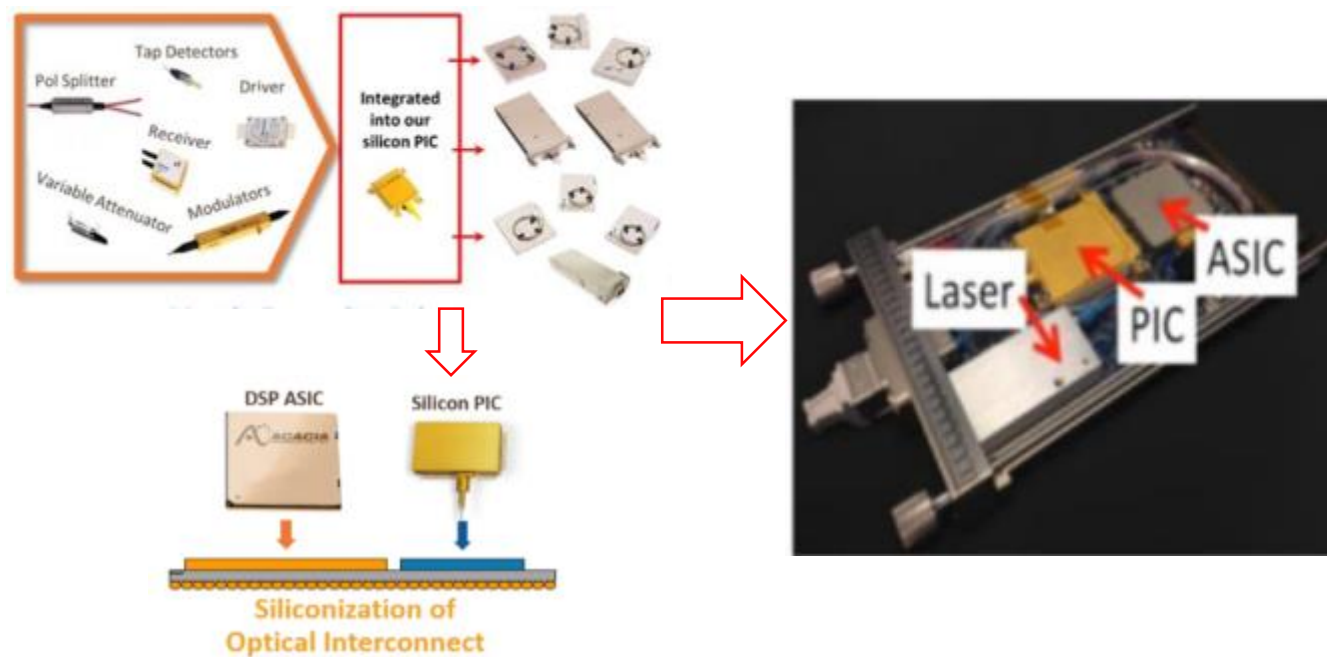
资料来源: Luxtera, 国信证券经济研究所整理



# Acacia: 相干硅光模块领导者

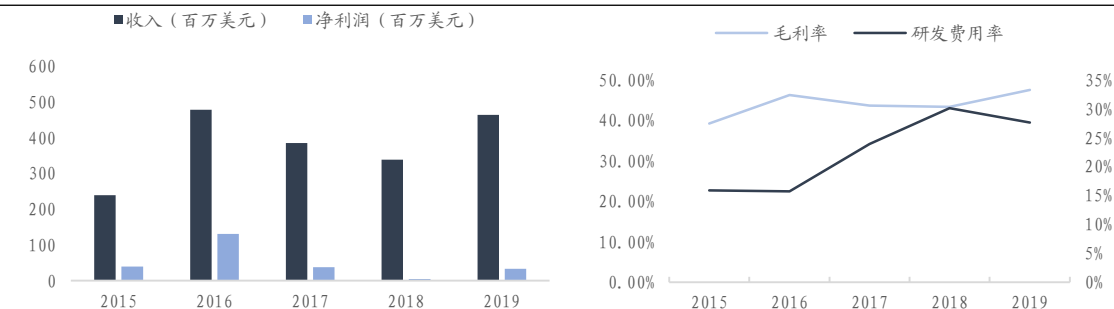
- ◆ **Acacia**成立于2009年，最早将硅光技术用于电信网络的互连中，是远距离相干硅光光模块的领导者。2011年其100G相干MSA开始批量生产和发货，2014年首次交付可插拔的相干100G CFP模块AC-100的样品和硅光电集成电路（PIC）封装的100G相干模块，2016年3月推出基于硅光子PIC的CFP2-ACO，2016年5月登陆纳斯达克。2019年，思科宣布以26亿美金对价收购Acacia。
- ◆ **Acacia**的硅光模块方案，是先将分离光器件集成为**PIC**芯片，再与自研**DSP**电芯片集成在**SOI**上，最终外接激光器，封装成光模块。
- ◆ 硅光子技术在相干光模块领域已实现了规模应用，从100G向200G/400G顺利升级，主要得益于相干领域对价格不敏感，可根据客户需求进行定制化，因此可用集成硅光子技术替代传统的InP光模块
- ◆ 公司毛利率在40%以上的水平，研发费用率接近30%，体现了硅光高投入，高技术含量的特点

图37: Acacia硅光相干模块示意图



资料来源: Acacia, 国信证券经济研究所整理

图36: Acacia财务数据

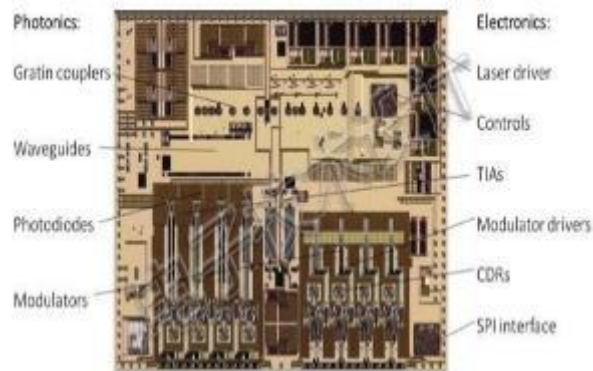


资料来源: Wind, 国信证券经济研究所整理

# Sicoya: 全硅芯片的探路人

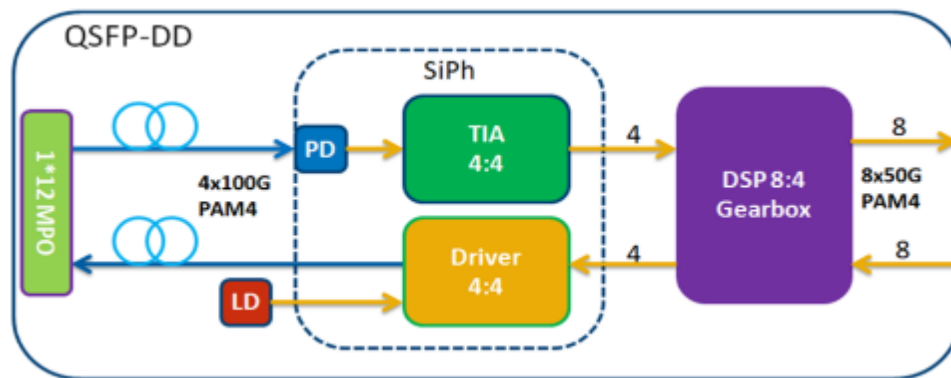
- ◆ Sicoya为德国一家硅光集成芯片创业新锐，其成立于2015年1月，是从TU柏林分公司衍生出来的。该公司自2007年以来一直在Silicon Photonics进行持续研发，致力于将光子学和电子学都集成在一个芯片上。
- ◆ 公司的方式基于硅锗（SiGe）BiCMOS工艺，实现模拟电子器件和光学器件在单片上的集成设计，集成度业界最高。该硅光引擎一改传统分立器件布局，采用3D封装，单片集成了MZM调制器、硅波导、探测器、Driver、TIA等多个有源和无源芯片。集成后的芯片体积大幅减小，可以利用成熟的COB技术封装到模块内部，大幅简化光模块的设计和制造，有利于规模化生产。
- ◆ 公司的100G硅光子收发器于2017年进入市场，2019年3月在OFC2019展会上首次推出三款400G收发器系列，还有一款面向5G基础设施设计的产品——28G单通道单模收发器（5G前传光模块）。
- ◆ 博创科技基于Sicoya的硅光芯片，已成功推出电信25G前传光模块。

图38: Sicoya的单片集成式100G光电IC



资料来源: EDN, 国信证券经济研究所整理

图39: 博创科技400G QSFP-DD DR4硅光模块系统框图

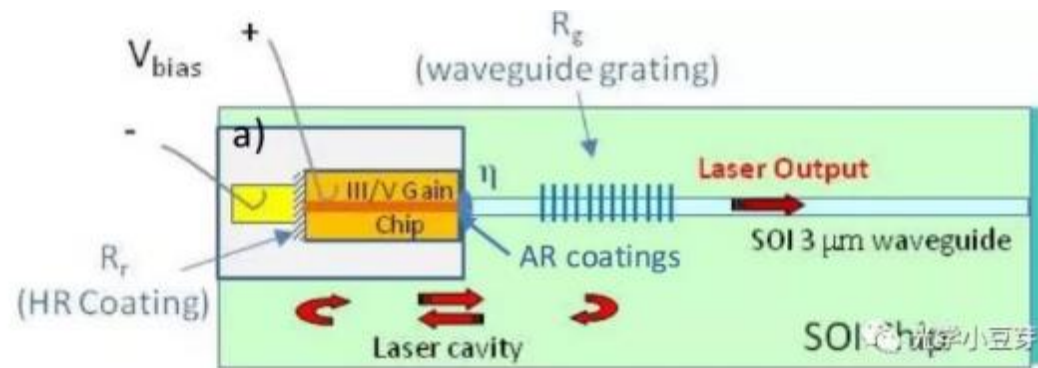


资料来源: 博创科技, 国信证券经济研究所整理

# Rockley: 硅光子工艺平台型公司

- ◆ Rockley Photonics由公认的硅光子学先驱Andrew Rickman博士创立。在此之前，Andrew于1988年成立了Bookham Inc，是第一家将硅光子学商业化的公司，并于2000年IPO，并于2009年成为Oclaro，现在已成为Lumentum的一部分；Andrew在2008年成为Kotura的董事长，最终Kotura出售给Mellanox Technologies。2013年成立的Rockley，致力于构建统一的硅光子工艺，设计适用于从通信到消费者广泛市场应用的产品。目前，Rockley的硅光芯片平应用其范围已超出网络和数据通信中的范围，还涉及光传感、机器视觉等领域，成为综合性的光学公司。
- ◆ 光子集成方面，Rockley的LightDriver™光学引擎可实现电子和光子组件的3D集成。与一般的硅光技术相比，Rockley采用的是3μm厚的厚硅技术，而不是传统的220nm厚的硅波导。3μm厚的硅光波导，无法通过设计硅的PN结结构，形成硅调制器。Rockley的方案是将III-V的电吸收调制器，通过flip-chip的方式，集成到硅光芯片上。III-V的电吸收调制器可以实现100Gb/s的PAM-4调制速率。
- ◆ 片上互连方面，Rockley的OpticsDirect™系统使新一代半导体芯片的光纤链路直接进入封装。这种方法替代了当今集成（IC）行业中常见的大功率和短距离电气互连。
- ◆ 成像和传感方面，Rockley为需要自由空间光学接口的成像，传感和其他应用提供了广泛的产品。

图40: Rockley的硅基激光器示意图



资料来源：光学小豆芽，国信证券经济研究所整理



# SiFotonics：硅光器件创业新星

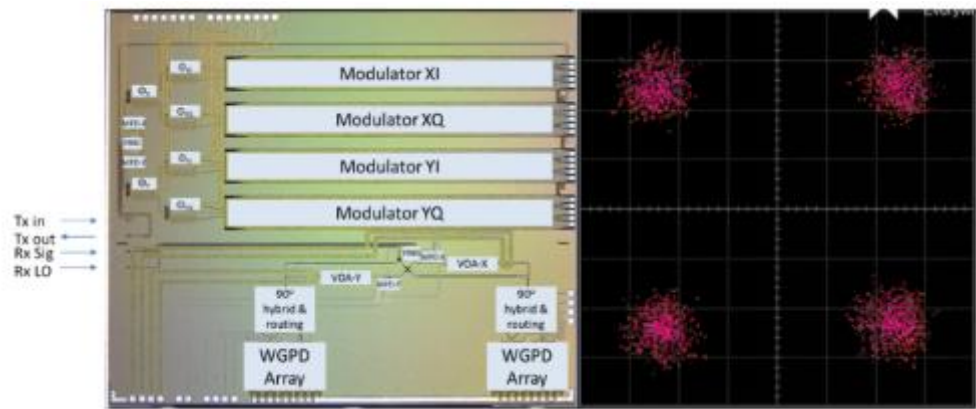
- ◆ 芯阳科技（SiFotonics）成立于2006年，总部在美国波士顿，在香港、上海、北京设有分公司，主要员工毕业于MIT、清华、北大等全球知名院校，现有员工约100人。公司专注于CMOS工艺的硅基光电产品及相关集成电路芯片的设计与开发。公司产品主要涉及CMOS工艺Ge-Si材料2.5G/10G/25G 高速光探测器（PIN）及雪崩探测器及阵列（APD），CMOS工艺10G/25G Modulator，CMOS工艺2.5G/10G TIA及10G MMF SFP+ SoC芯片，10G高速HDMI SerDes等集成电路芯片。**2019年其硅光芯片和器件出货超500万。**
- ◆ 公司推出的100G/200G全集成相干发射接收芯片——TR4Q11，单片集成了一系列由SiFotonics独创的光纤波导耦合器、偏振旋转分束/合束器、90° 混频器、8个40GHz Ge/Si波导型光探测器阵列、8个25GHz IQ调制器、可调光衰减器及MPD等，共计多达60多个有源和无源光波导元件被集成到面积仅为6.45 × 7.7 mm<sup>2</sup>的光芯片中，是目前报道的最高集成度的光集成芯片之一

表10：公司2019年出货产品清单

产品名称	应用领域
25G PIN	工业温度，高灵敏度，应用于5G前传光网络应用，主要部署在中国；
25G APD和ROSA	工业温度，高灵敏度，应用于更长距离的5G前传光网络，主要在韩国和中国部署
50G PIN和APD	主要应用于中国的5G中传光网络
4x25G PIN	用于大容量100G数据中心互连应用，主要在美国的超大规模数据中心部署
4x100G PIN	用于下一代400G数据中心光互连
4x25G APD ROSA	用于30~40km扩展距离的100G光纤网络连接
32Gbaud，64Gbaud集成相干接收器芯片	应用于100G，200G，400G等速率的相干光传输

资料来源：芯阳科技，国信证券经济研究所整理

图41：公司100G / 200G相干集成ICR芯片

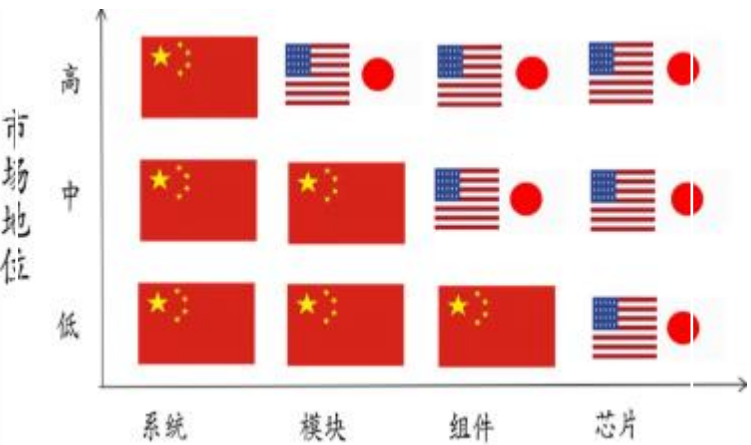


资料来源：芯阳科技，国信证券经济研究所整理

# 下一代光电技术，国家重点扶持方向

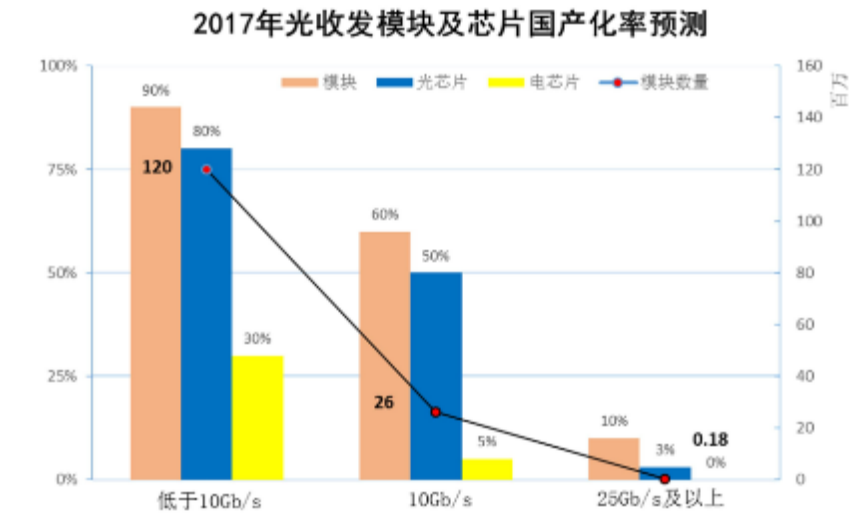
- ◆ 我国在光模块产业链中，上游核心芯片和器件一直比较弱，尤其是**25Gb/s**以上的高速高端芯片领域国产化率极低。在目前的硅光技术中，依然呈现出这种态势，国产厂商更多依靠封装能力与欧美芯片厂商合作，来切入产业链，后期通过技术积累提升自研芯片技术是重要发展方向。
- ◆ 在工信部**2017**年颁布的《中国光电子器件产业技术发展路线图**2018-2022**》中，就将“加强核心有源激光器、硅基光电子芯片及上游材料的设计、制造工艺平台建设与工艺人才培养”作为重要技术创新目标，并在硅基相干光收发芯片、硅基**100G PAM-4**调制芯片、硅基波导光开关、可变光衰减器阵列芯片等方向给出了具体的发展目标。
- ◆ **2017**年，上海市政府将硅光子列入首批市级重大专项，到了**2018**年**1**月，国内第一个硅光子工艺平台在上海成立，目前上海的硅光子技术基础研究能力与世界领先水平基本同步，但在加工制造线上稍落后

图42：中国在光模块不同产业链环节的地位



资料来源：《中国光电子器件产业技术发展路线图2018-2022》，国信证券经济研究所整理

图43：光模块模块及芯片国产化率



资料来源：《中国光电子器件产业技术发展路线图2018-2022》，国信证券经济研究所整理

图44：上海市政府将硅光子列入首批市级重大专项



资料来源：中科院上微所官网，国信证券经济研究所整理

## 四、上市公司及投资机会梳理

---

# 博创科技—携手Sicoya领跑国内硅光模块技术公司

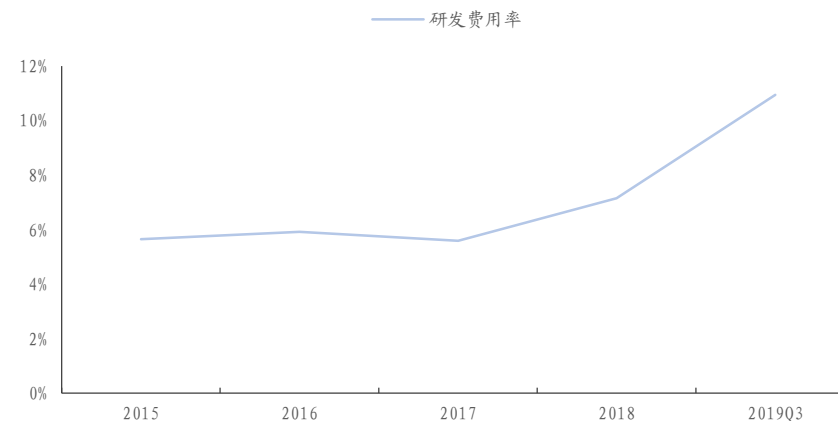
- ◆ 博创科技是国内领先的无源器件提供商，其基于平面光波导技术（PLC）的光分路器波分复用器（WDM）、光衰减器（VOA）等国内市场份额领先，对光纤耦合等工艺具有多年的经验积累
- ◆ 公司是Sicoya的战略合作伙伴，其基于Sicoya的硅光芯片推出前传25G硅光模块，成功中标华为2020年上半年光模块采购项。此外公司于2020年初领先推出数通400G DR4硅光模块，并通过了国内互联网大厂的测试认证。随后，公司与、陕西源杰共同成立中外合资有限公司，扩大硅光模块产能。我们预计公司产品未来也不排除将大举进军数通领域，毕竟在更高速的应用上，硅光的领先优势将表现的更加明显。
- ◆ 公司在技术成熟度、产能、客户认可等各个方面均处于国内硅光赛道领先公司，先发优势明显。
- ◆ 预计2020~2022年收入为8.4/16.6/24.9亿元，归母净利润为0.95/2.2/3.5亿元，考虑到收入的高增长和利润的释放空间，维持“买入”评级。

表11: 博创科技定增投入项目

序号	项目名称	项目投资金额 (万元)	使用募集资金金额 (万元)
1	年产245万只硅光收发模块技改项目	43091	43000
2	年产30万只无线承载网光收发模块项目	14025	14000
3	补充流动资金	23000	23000
	合计	80116	80000

资料来源：博创科技，国信证券经济研究所整理

图45: 博创科技历年研发费用率情况



资料来源：Wind，国信证券经济研究所整理

# 亨通光电—源于Rockley技术，开始布局硅光赛道

- ◆ 亨通光电是国内拥有“光纤预制棒-光纤-光缆-光器件-海洋通信及装备-通信服务”完整光通信产业链的企业，是国内知名的光纤光缆公司。
- ◆ 2018年，公司引入Rockley的硅光子芯片技术，成立合资公司亨通洛克利（持股比例分别为75.1%、24.9%），并于2020年定增实施100G/400G 硅光模块研发及量产项目。目前亨通洛克利已基本完成 100G 硅光模块量产的研发，并提前布局 400G 硅光收发模块的研发

表12：亨通光电定增投入项目 (万元)

序号	项目名称	项目投资金额（万元）	使用募集资金金额（万元）
1	PEACE跨洋海缆通信系统运营项目	283513	273000
2	100G/400G硅光模块研发及量产项目	110475	86500
3	补充流动资金	144500	144500
	合计	538488	504000

资料来源：亨通光电，国信证券经济研究所整理

图46：亨通洛克利400G QSFP-DD DR4硅光模块



资料来源：亨通光电，国信证券经济研究所整理



国信证券投资评级

类别	级别	定义
股票投资评级	买入	预计6个月内，股价表现优于市场指数20%以上
	增持	预计6个月内，股价表现优于市场指数10%-20%之间
	中性	预计6个月内，股价表现介于市场指数±10%之间
	卖出	预计6个月内，股价表现弱于市场指数10%以上
行业投资评级	超配	预计6个月内，行业指数表现优于市场指数10%以上
	中性	预计6个月内，行业指数表现介于市场指数±10%之间
	低配	预计6个月内，行业指数表现弱于市场指数10%以上

分析师承诺

作者保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于本人的职业理解，通过合理判断并得出结论，力求客观、公正，结论不受任何第三方的授意、影响，特此声明。

风险提示

本报告版权归国信证券股份有限公司（以下简称“我公司”）所有，仅供我公司客户使用。未经书面许可任何机构和个人不得以任何形式使用、复制或传播。任何有关本报告的摘要或节选都不代表本报告正式完整的观点，一切须以我公司向客户发布的本报告完整版本为准。本报告基于已公开的资料或信息撰写，但我公司不保证该资料及信息的完整性、准确性。本报告所载的信息、资料、建议及推测仅反映我公司于本报告公开发布当日的判断，在不同时期，我公司可能撰写并发布与本报告所载资料、建议及推测不一致的报告。我公司或关联机构可能会持有本报告中所提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行业务服务。我公司不保证本报告所含信息及资料处于最新状态；我公司将随时补充、更新和修订有关信息及资料，但不保证及时公开发布。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，我公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

证券投资咨询业务的说明

本公司具备中国证监会核准的证券投资咨询业务资格。证券投资咨询业务是指取得监管部门颁发的相关资格的机构及其咨询人员为证券投资者或客户提供证券投资的相关信息、分析、预测或建议，并直接或间接收取服务费用的活动。

证券研究报告是证券投资咨询业务的一种基本形式，指证券公司、证券投资咨询机构对证券及证券相关产品的价值、市场走势或者相关影响因素进行分析，形成证券估值、投资评级等投资分析意见，制作证券研究报告，并向客户发布的行为。




国信证券经济研究所

Guosen Securities Economic Research Institute

# 全球视野 本土智慧

GLOBAL VIEW LOCAL WISDOM

“慧博资讯”专业的投资研究大数据分享平台

点击进入  <http://www.hibor.com.cn>