

矽光技術與量子技術概覽

Sean Zhao

2018.12.15

MIM / Keysight Technologies



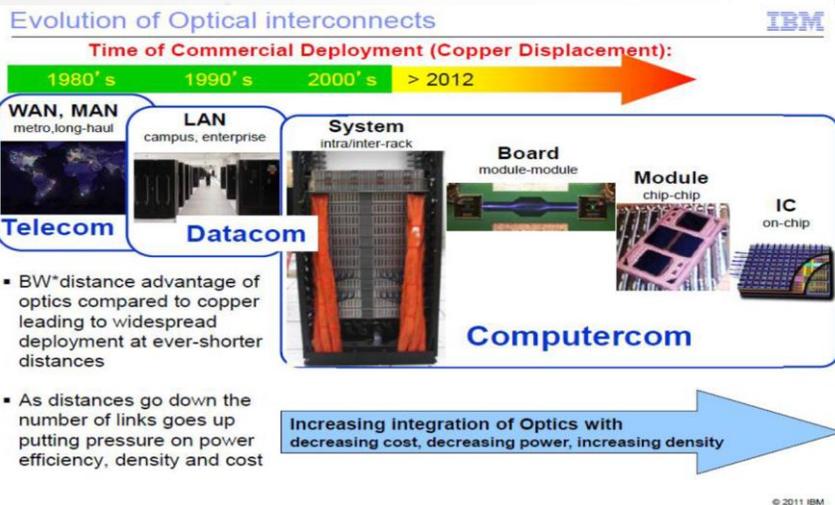


矽光子技術

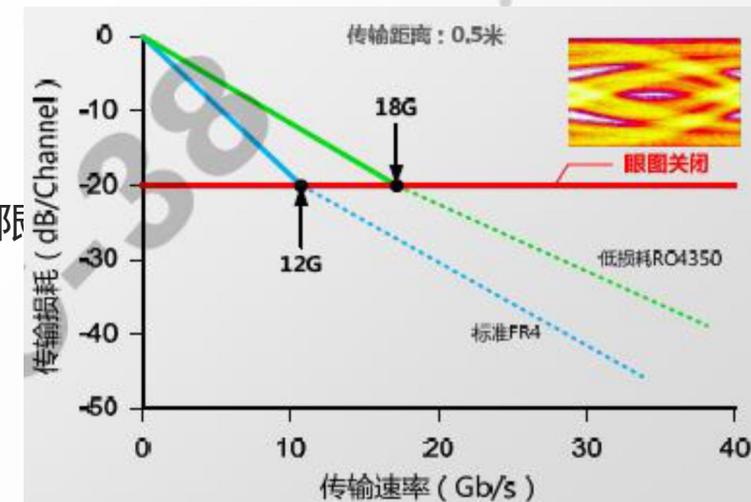
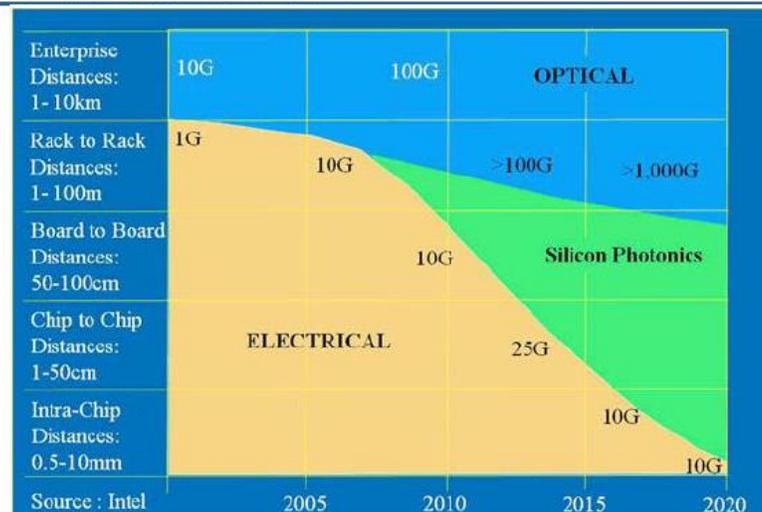
矽光子技術的前世今生

為什麼是矽光技術？

- 集成電路摩爾定律在高速傳輸時不再適用
- 傳統光通信模塊主要是由 III-V族半導體晶片、高速電路矽晶片、被動光學組件及光纖封裝而成，成本主要來自III-V族
- 隨著晶體管加工尺寸不斷減少，銅電路已接近物理瓶頸，50Gb/s已接近傳輸極限。晶片層面光進銅退成為必然。



电、III-V族、硅光子材料性能对比

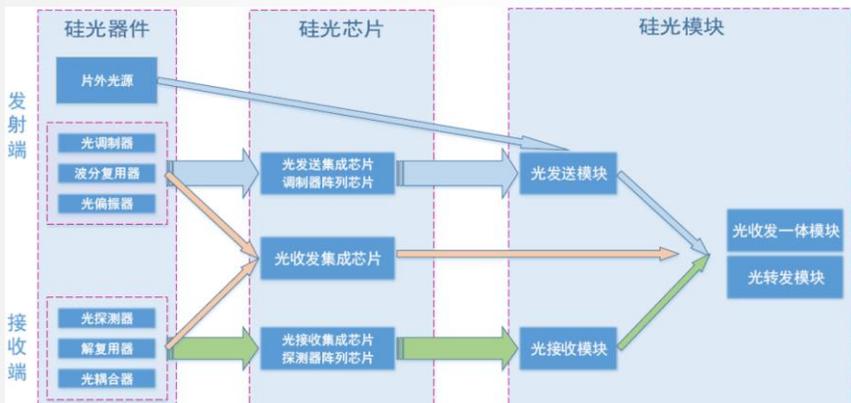


Source: Intel

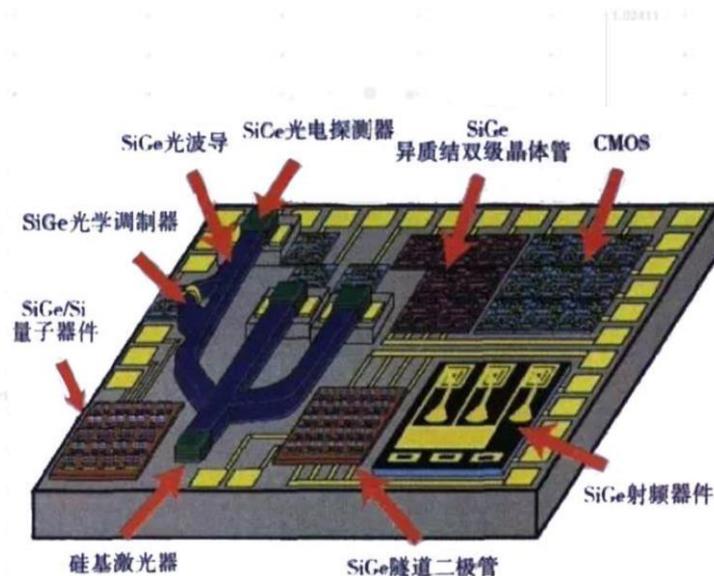
矽光子的前世今生

我是誰？

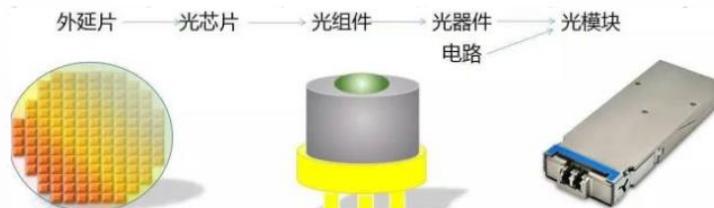
- 矽光子架構主要由矽基雷射器、矽基光電集成晶片、主動光學組件和光纖封裝完成，在矽光子晶片中，電流從計算核心流出，到轉換模塊通過光電效應轉換為光信號發射到電路板上鋪設的超細光纖，到另壹晶片後再轉換為電信號。



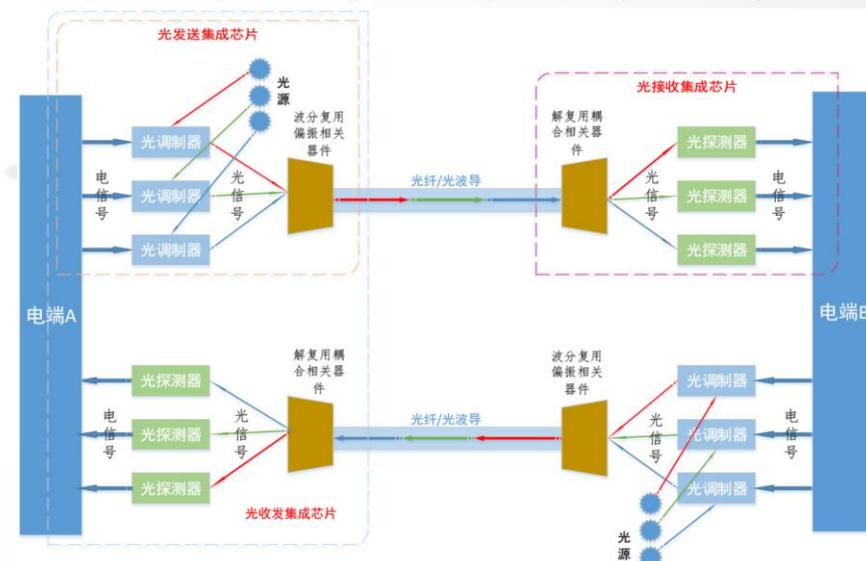
矽光子器件和產品分類



矽光模組示意圖



傳統光收發模組



矽光子系統的實現展示

矽光技術規模商用化的挑戰

零到壹的鴻溝已經跨越，壹到壹佰的反覆運算是時間問題

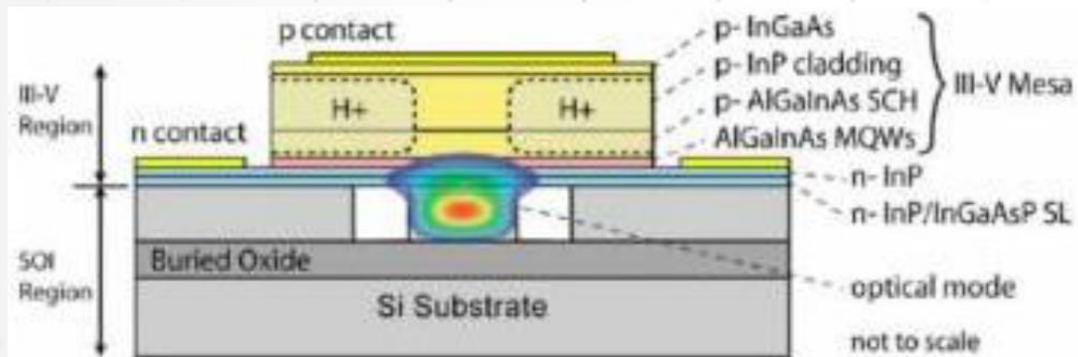
- 如何光電互連：即光源Laser和Photodetector。Si材料本身是間接帶隙，因此現在所有光源都必須添加其他材料進行製作，比如III-V或Ge，這意味著無法在與標準CMOS SOI工藝上製作全部的光學器件。這也同時引入了壹系列的成本問題。
- 如何控制光：是指控制波長的偏差。由於光學器件是與尺寸，厚度，doping等工藝參數息息相關。比如片上的Photonic Modulator，很多還尚且需要Heater來進行調節。這也給系統的復雜度和成本帶來挑戰。
- 如何集成：隨著CMOS晶體管尺寸逐漸減小，而光學器件由於波長和衍射的限制卻無法繼續縮小，限制了矽光晶片的發展，但通過能級工程、量子調控、表面技術等，這壹傳統觀念已被突破。
- 其它挑戰：在光晶片和電晶片之間的package也是壹個值得研究的方向；光子波導和單模光纖之間的模式轉換；組裝矽光子的精度，對單模光子來說，只有1~2um的冗餘。

矽光技術規模商用化的挑戰

矽基雷射器研發有進展：三種研究方法

資料來源: UCSB

III-V 族混合激光器

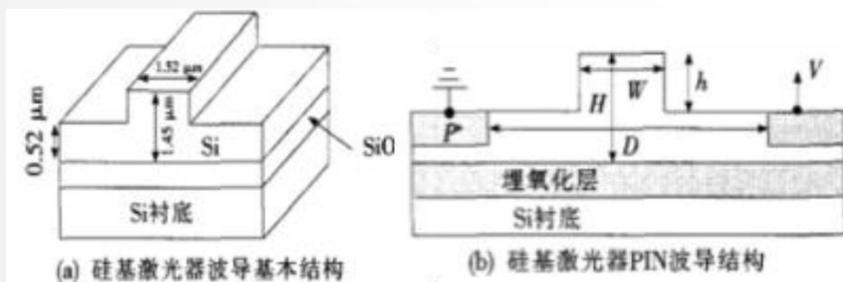


III-V族和矽基材料性能對比

	III-V族光電子器件	矽基光電子器件
材料	InP、GaAs	Si, SOI
技術	採用III-V族工藝實現有源/無源器件	採用CMOS工藝實現無源光子器件和積體電路單片集成
優點	高校光源和探測；有源和無源集成；技術相對成熟	高密度，大規模集成；
缺點	成本高；CMOS工藝不相容；InP矽片尺寸小（1"~3"）	發光效率低；無線性電光效應；熱穩定性能差

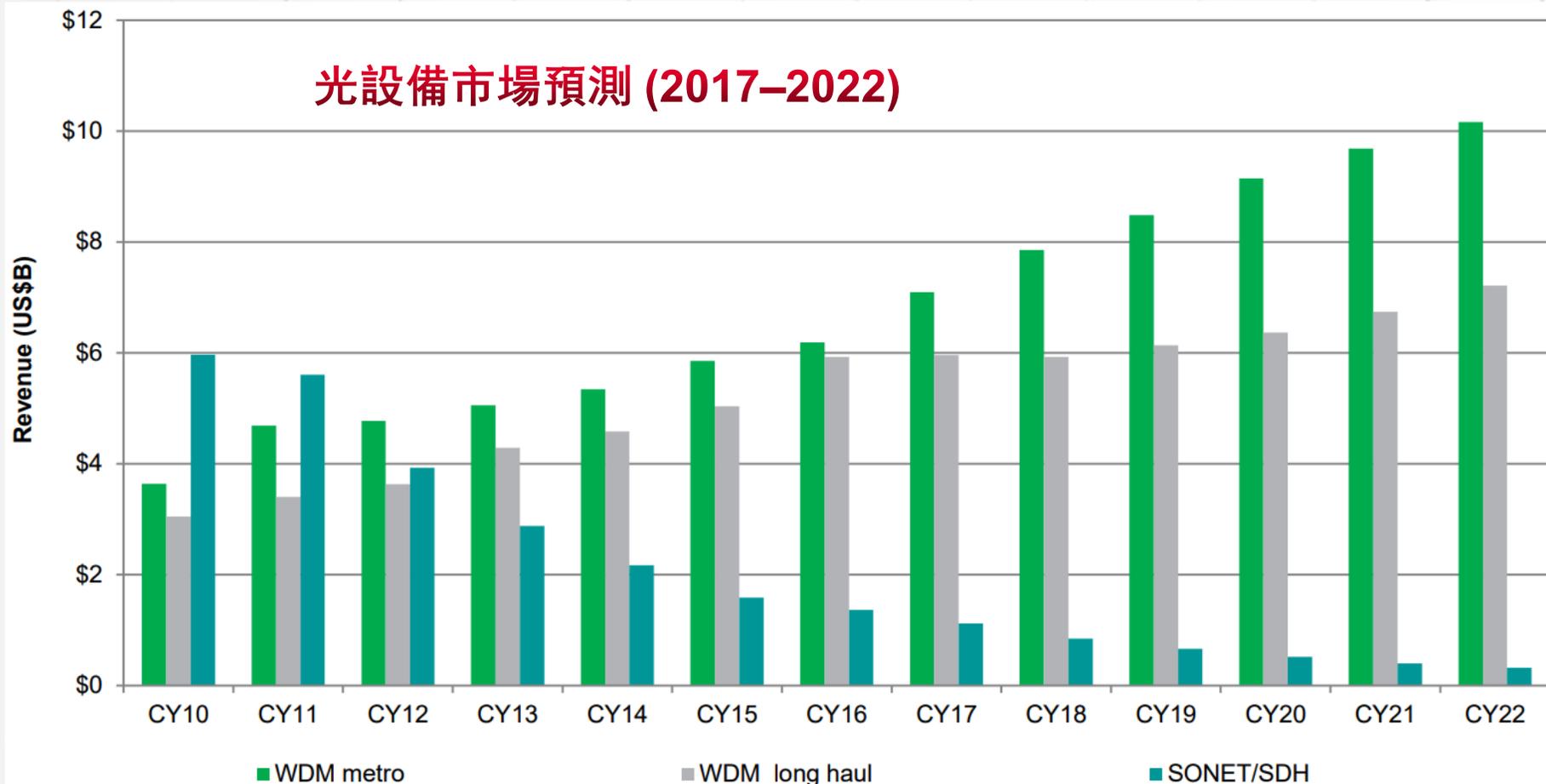
- 利用耦合器將外部光源引入到矽波導中（Luxtera等）：最簡單快速。
- 採用III-V族發光材料與矽光電路混合集成（Intel、IBM、華為、IMEC等）：目前最實用且有發展潛力。
- 純矽雷射器（研發階段， Intel等研究的全矽拉曼雷射器、MIT等研究的矽基雷射器、英國展示的直接生長在矽襯底上的第一束實用雷射器）：最本質，仍在研究階段，無法商用。

矽基拉曼激光器



矽光技術規模商用化的挑戰

資料中心對矽光需求是否夠大：取決於FACEBOOK、GOOGLE等



- 長距缺乏增長動力
- 資料中心仍是成長引擎
 - 需要一個規模契機



矽光技術規模商用化的挑戰

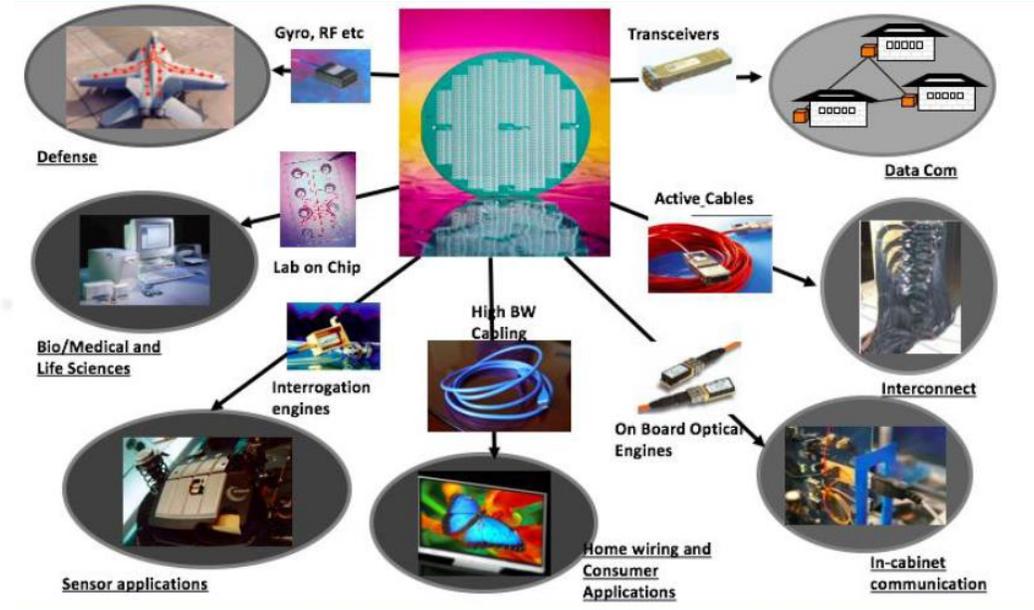
100G是主流，已入紅海，WEB2.0巨頭需要一個引入矽光的理由

矽光模块市场预测

单位：亿美元



硅光子的其它应用



- 潛在的最終用戶：Alibaba , BaiDu , Tenscent , Google , Amazon , Facebook , Apple, Microsoft, Linked-In
- 系統商：Cisco , Ciena , Huawei , Juniper , FujiTsu , Dell , NTT , HP
- 矽光晶片商：Cypress , Broadcom , Intel , ST , SiFotonics
- 器件商：Luxtera , Mellanox, Inphi , Axalume, Acacia , Rockley , Elenion , Molex , Infinera
- 矽光製造：GlobalFoundries , ST , TowerJazz, Silex Microsystems , TSMC
- 研究機構：IMEC , Leti , FhG IZM , MIT , UCSB ,

矽光技術規模商用化的挑戰

矽光技術的支援平臺：美國的矽光子集成大平臺

美国硅光子平台 - AIM



美国国防部监管

美国投入6.1亿美元



Statement of Work

Project Information:



Name:

AIM Photonics Integration

Type:

Measurement algorithm library additions
Utility algorithm library additions
Framework modifications
Optical Hardware integration in to 4080/4070
Software to communicate with Photonics Test Suite
Installation of Instrument Rack
Custom Integration work associated with above

Goal:

Provide a 4080 Parametric tester and integrate Keysight Photonics Instruments to SPECS so that automated testing can occur on wafers with both standard electrical pads and optical gratings.

矽光技術規模商用化的挑戰

矽光技術的支援平臺：歐洲7國有聯盟，提供集成晶片製造

硅光电子芯片制造联盟-ePIXfab



2016 21st IEEE European Test Symposium (ETS)

Test-station for flexible semi-automatic wafer-level silicon photonics testing

Jeroen De Coster, Peter De Heyn, Marianna Pantouvaki, Brad Snyder, Hongtao Chen, Erik Jan Marinissen, Philippe Absil, Joris Van Campenhout
3D and optical I/O technologies
imec
Heverlee, Belgium
jeroen.decoaster@imec.be

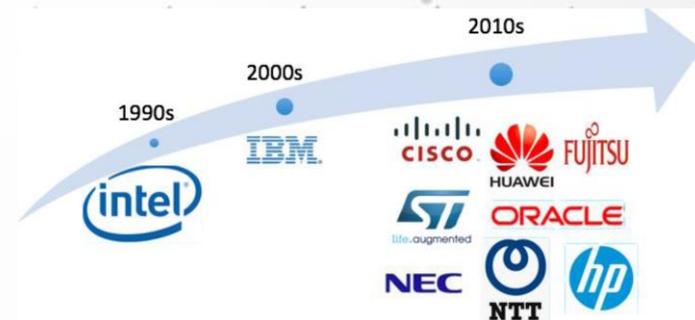
Bryan Bolt
Director of Engineering, Systems
Cascade Microtech, Inc.
Beaverton, OR, USA

矽光子技術對光通信產業進行重塑之長路漫漫

產業鏈格局尚不完整，下游廠商切入研發製造環節



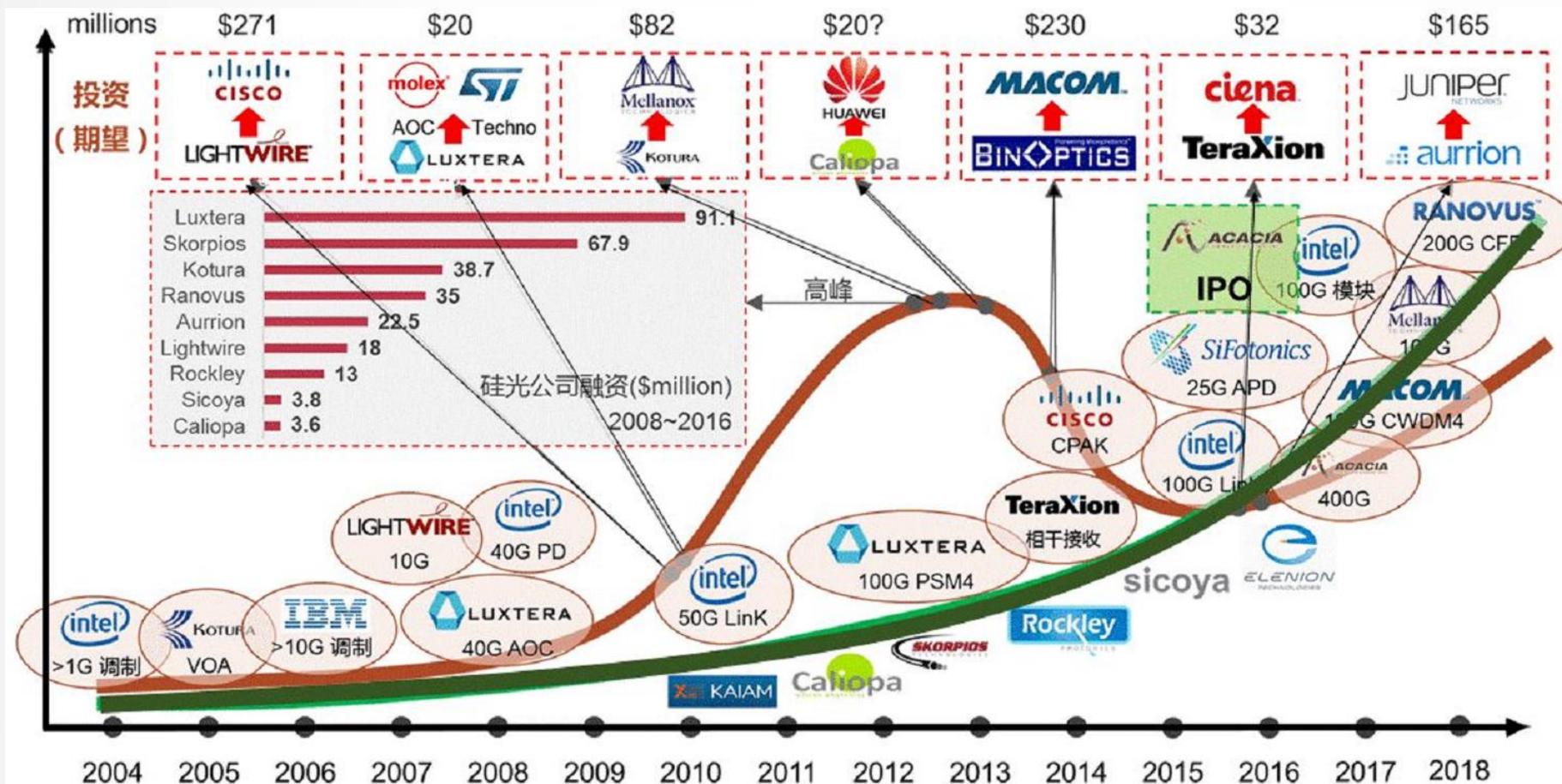
矽光子產業鏈



矽光子行業電子公司越來越多

矽光子技術對光通信產業進行重塑之長路漫漫

產業鏈格局尚不完整，資本仍在整合，產業黎明破曉，2019是關鍵

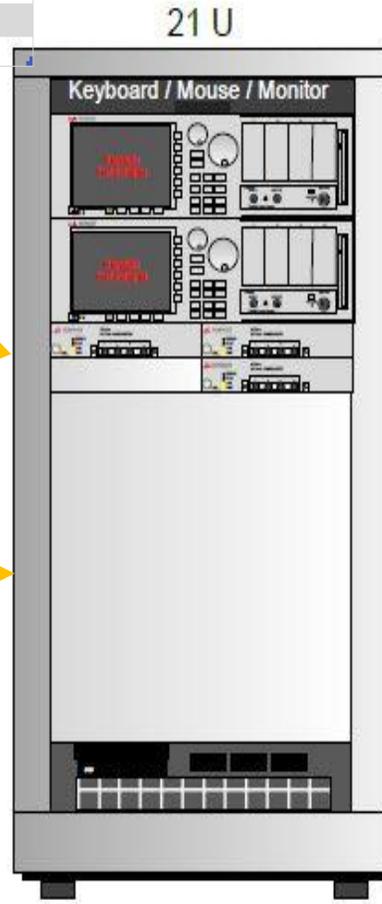
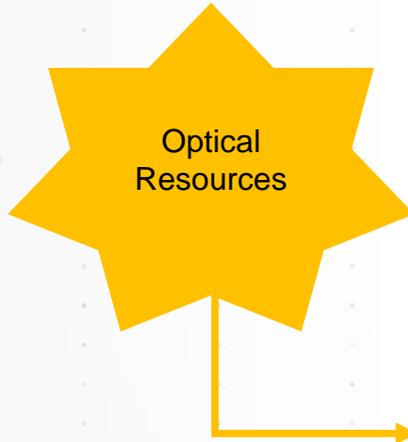


- 資本運作始於2012，高峰出現在2014和2016
- 投資人期望
 - 2017/12 推出100G PSM4 and CWDM4矽光IC
 - 2018~2019 矽基波分和相干模組,19年相干產品上市
 - 2019年開發200G/400G矽光子+PAM4產品
- 回報路線
 - 公司總投資2.6億
 - 2018銷售80M,2019 150M, 2020 250M,2021 350M, 2022 500M, Profit Margin 35%

是德科技矽光晶圓測試方案

Hardware + Software + People = Insight

Part Number	Description	Qty
8164B	Lightwave Measurement System, Mainframe	2
81000NI	Connector interface connector type FC	2
N7744A	Optical Multiport Power Meter (4 channel)	3
N7740FI	FC Connector Adapter for Optical Multiport Power Mete	3
N7700A	Photonic Application Suite, fixed perpetual	1
N7700A-102	Fast Spectral Loss Measurement	1
81608A	Tunable Laser Source, High Power and Low SSE, Valu	1
81608A-113	Wavelengths 1240nm - 1380nm	1
81608A	Tunable Laser Source, High Power and Low SSE, Top	1
81608A-116	Wavelengths 1490nm - 1640nm	1



- SPECS/SPECS-FA
- Standard 4070/4080 TPLs
- C based Algs
- 48 Pins
- 8 SMU's
- HSCMU/E4980
- PGU – pulsing
- 53131 – Freq measures

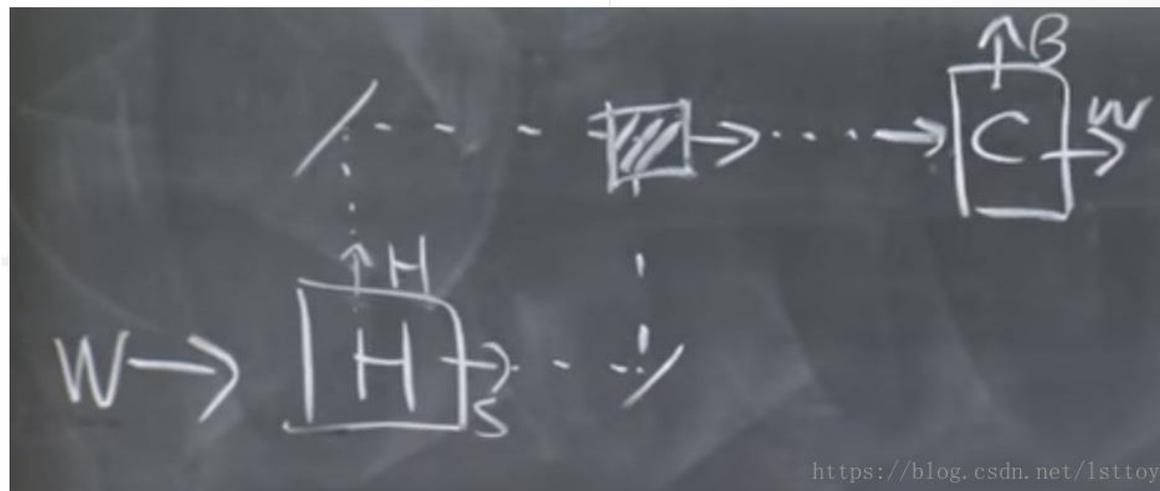


量子技術

量子計算的前世今生

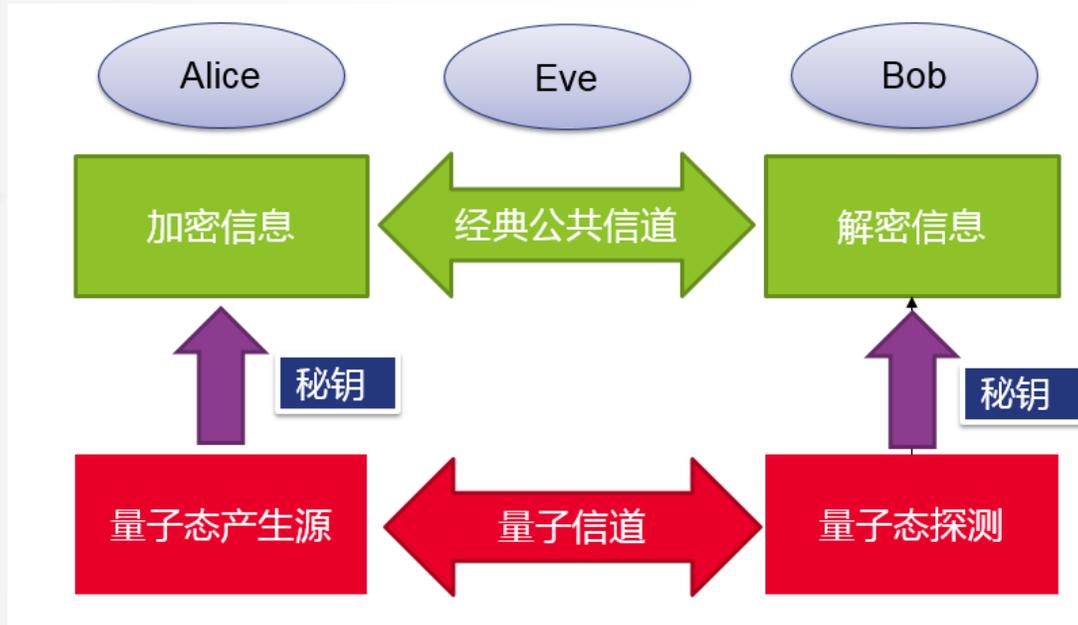
從“薛定諤的貓”，引出“疊加態”理論，再到量子計算。

- 什麼是疊加態？根據我們日常的宏觀經驗，一個物體在某一時刻總會處於某個固定的狀態。
- 然而微觀粒子可以處於一種所謂疊加態的狀態，這種疊加狀態是不確定的。
- 電子的自旋狀態是“上”和“下”按一定幾率的疊加。物理學家們把電子的這種混合狀態，叫做疊加態。



量子通信

絕對安全的保密通信



用途：

- 量子通信本质上是一种保密通信，可以实现绝对安全的密钥分发

实现方式：

- 分为经典链路和量子链路两条，信息在经典链路上进行传输，在量子链路上进行密钥分发
- 量子通信传输的是单光子，基于单光子的量子效应，可以实现一次一钥
- 经典协议有BB84，BB92，EPR91
- 目前商用产品没有采用纠缠态来传递信息，而是使用单光子极化态或者相位调制来实现。

关键设备：

- 量子通信的重要设备是量子密钥分发器，简称QKD。
- 随机数发生器，单光子源和单光子探测器是其中主要的器件

量子通信的現狀和發展方向

廣域量子通信網路



光量子的產生和探測

高品質糾纏光源

高品質單光子源

高速單光子探測器

光量子的傳輸

城域大規模組網

量子中繼

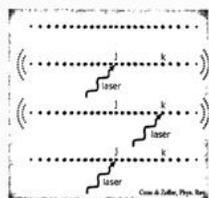
自由空間通道

1. 光相關測試，包括光源、衰減器、光功率計等
2. 高速數位（設計單光子探測、單光子產生、真亂數發生）
3. 多通道信號產生（QKD系統搭建、單光子源、量子中繼）
4. 射頻微波（QKD系統、單光子源、單光子探測）

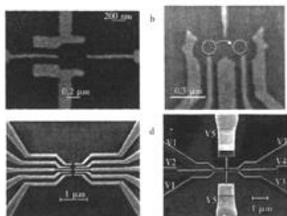
量子計算

針對特定演算法可以實現超乎尋常的運算速度

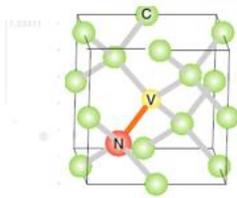
离子阱体系



量子点体系



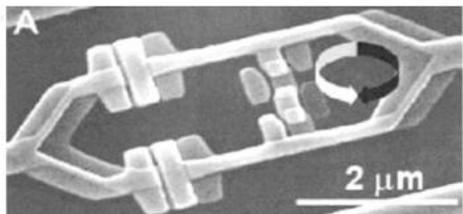
核自旋/电子自旋



腔量子电动力学 (光子)



超导体系



(引自：郭光灿，周正威，郭国平，涂涛 量子计算机的发展与现状 学科发展 2015 (5))

量子的并行性是的量子计算机可以同时 2^N 个数进行数学运算，其效果相当于经典计算机重复实施 2^N 次操作

Shor 算法 (1994年)

- ✓ 破译RSA密码
- ✓ 计算步数从 \sqrt{N} 变成 $\log N$
- ✓ 利用经典THz计算机分解300位的大数，需要 10^{24} 步，大约需要150000年
- ✓ 利用Shor算法THz量子计算机，只需要 10^{10} 步，1S。
- ✓ **RSA加密不再安全**



P.W.Shor

量子計算系統的需求

量子電腦的需求

更長相干時間

更高保真度

更多量子比特

量子計算系統需求

- 高信號操控信號品質（相位雜訊、鏡像抑制、雜散抑制、本振洩露、多通道相參性等）
- 高同步性能以及時序性能（多通道信號、操控和讀取之間）
- 回饋能力：快速回饋，用於QEC
- 可擴展性（充分的可擴展性，應對從單比特到多比特擴展的需求）
- 可靠性（標準的產型，足夠穩定）
- 開放性（能夠提供客戶自訂演算法、靈活控制的介面）

量子計算的現狀和發展方向

量子計算發展方向

對各種有望實現可擴展量子資訊處理的物理體系進行研究

高密度、高效率的量子態製備與相互作用
更多粒子的量子糾纏
更長的相干時間

對特定問題超越經典計算極限的量子電腦

量子霸權（50邏輯比特）

糾錯（超過500物理比特）

更多比特+更長相干時間

更多實驗平臺

更多通道

更多客戶

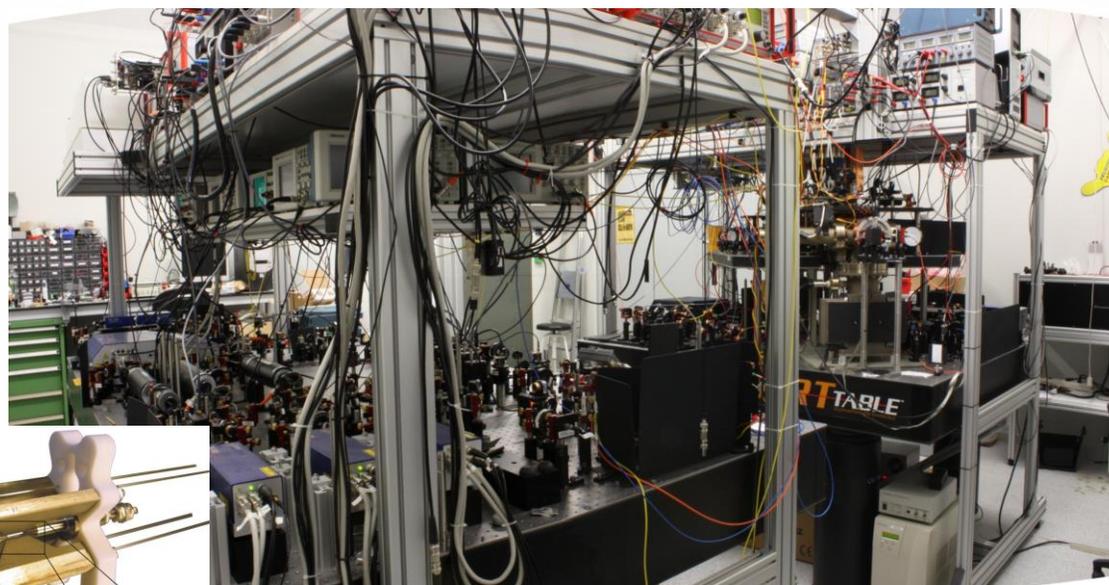
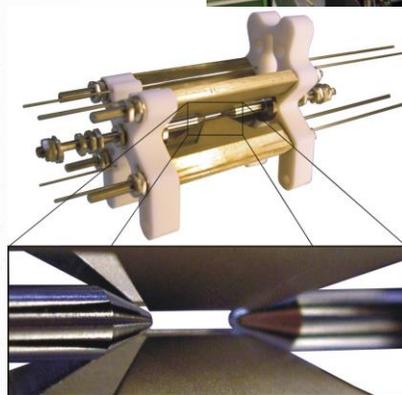
Keysight量子計算專用系統

豐富的量子相關經驗

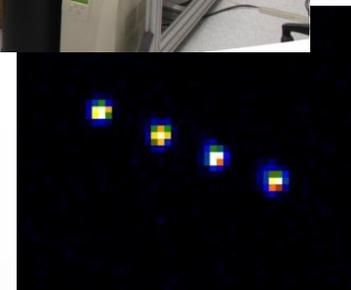
收購量子相關的SIGNADYNE公司

Signadyne 來自ICFO – The Institute of Photonic Sciences

專業從事量子通信和囚禁離子量子計算



ICFO^R
Institut
de Ciències
Fotòniques



KEYSIGHT針對量子計算的測試平臺

MATCHING ANY APPLICATION'S NEEDS

可擴展的方案(PXIe)

- 支持上百個AWG通道和資料獲取卡方案
- 專用的上下變頻器
- 專用多通道本振源



模組化高頻寬方案(AXIe)

- 最高可達120 GS/s AWGs



臺式儀錶

- 示波器
- 頻譜儀
- 信號源
- 網路分析儀
- 示波器.
- 半導體分析儀
- 動態分析儀
-

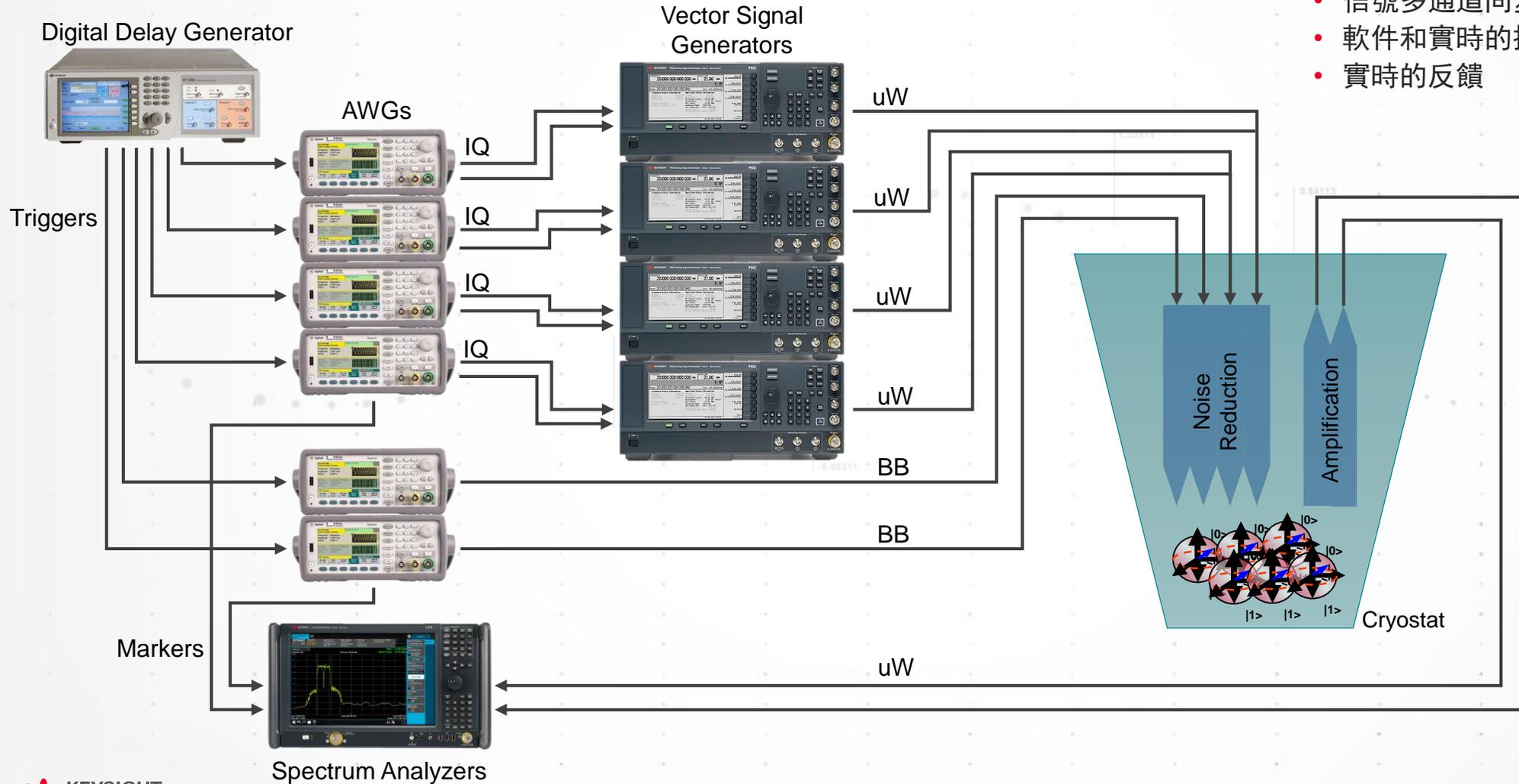


經典量子計算操控架構

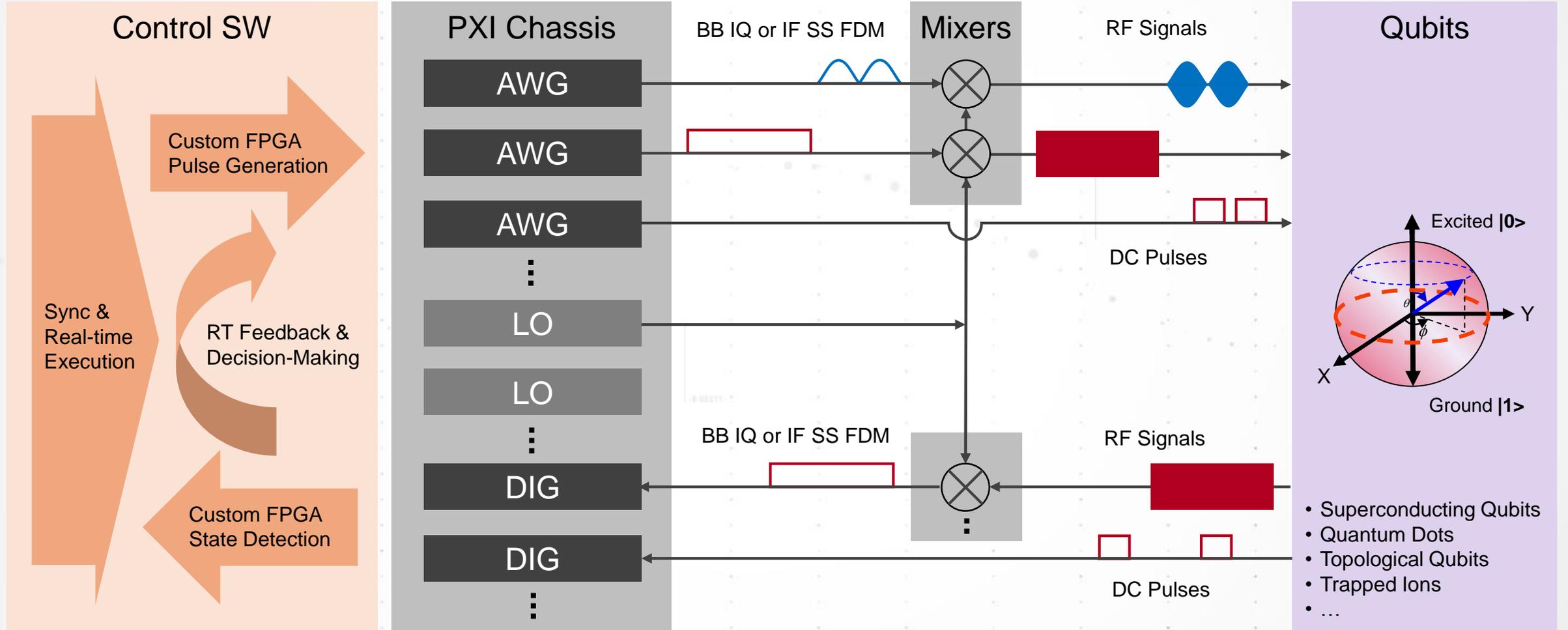
量子計算操控面臨的挑戰

挑戰:

- 成本
- 信號多通道同步和相干
- 軟件和實時的操控
- 實時的反饋



量子計算操控系統架構



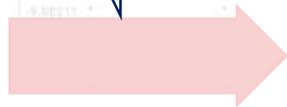
量子計算測試技術的發展趨勢

獨立不相關的測試儀器 → 系統化概念的測試儀器平臺

量子計算第一代測試技術和方案

- 單台儀器獨立測試
- 大多考慮通用臺式儀器，無FPGA程式設計能力
- 試圖自己開發FPGA電路讓AWG和Digitizer之間建立回饋
- 不太考慮可擴展性
 - 儀器體積大
 - 功耗大
 - 第一台和最後一台之間連接線纜很長
- 每通道（AWG和Digitizer）平均價格昂貴

關於測試，曾經走過的彎路中，我們學習到什麼？



量子計算新一代測試技術和方案

- 系統級（AWG、本振、上變頻）校準能力
- 多通道AWG或Digitizer信號的同步性能
- AWG 和 Digitizer 不再是孤立的，二者之間要具備回饋能力
- 可擴展性：AWG和Digitizer的通道數可以經濟地擴展到數十或上百
- 開放性：AWG和Digitizer支持FPGA程式設計，自訂演算法
- 功耗和體積：體積小，功耗小，連線短

全球量子計算合作夥伴

為眾多量子計算相關客戶提供解決方案

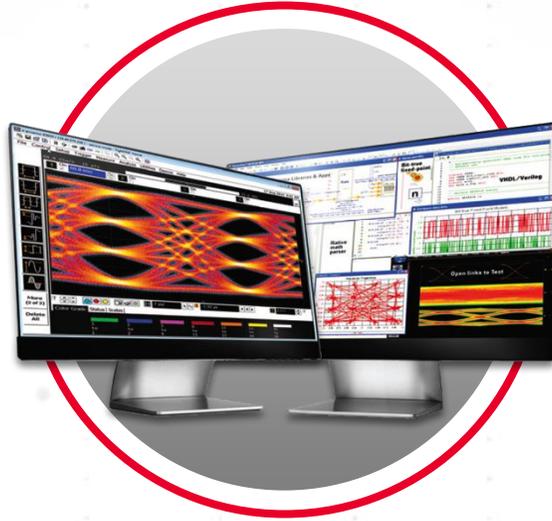


Be First and Best. With Keysight.



Product and Technology Leadership

Measure today's and tomorrow's most complex signals with leading-edge performance



A Strong **Software** Franchise

Accelerate development with end-to-end design simulation software and hundreds of measurement applications



A Comprehensive Set of **Services** and **Solutions**

Achieve remarkable results with industry and custom solutions, test process and operations optimization



WIN

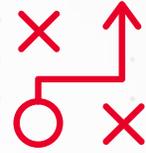
Partner With
the Global Leader
to Grow Your
Competitive Edge



Get export support
in 100+ countries



Tackle
tough questions

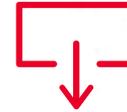


Solve industry
specific challenges



TRANSFORM

Reimagine
Workflows Using
Comprehensive
Insights



Access data
faster



Leverage
lifecycle knowledge

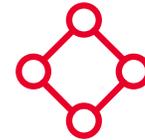


Maximize
your investment



INNOVATE

Push Technology
to New Heights
With Deep
Expertise



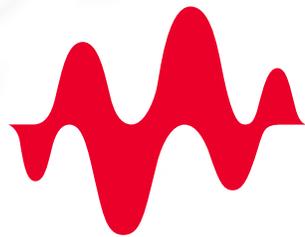
Design, test,
measure and monitor



Measure with
precision



Drive emerging
standards



KEYSIGHT
TECHNOLOGIES

4.50221