



集成量子信息技术研究中心 (IQIT)



上海图灵智算量子科技有限公司



光量子信息技术推动产业变革

金贤敬



目录

1

后摩尔时代的新赛道

2

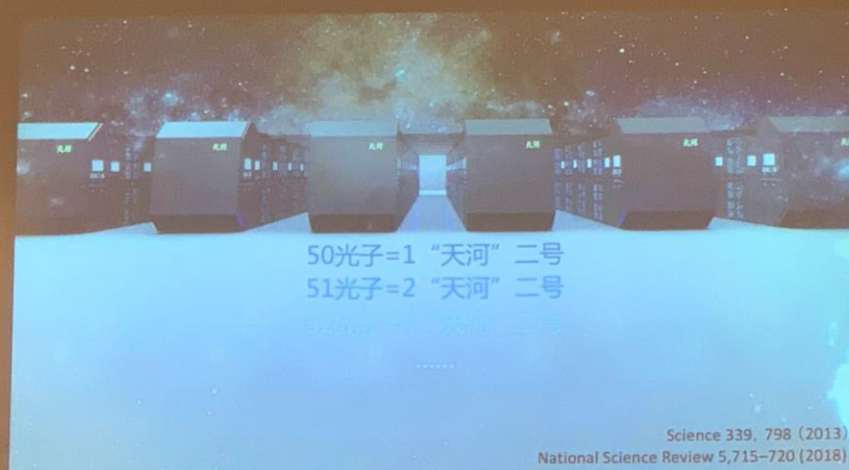
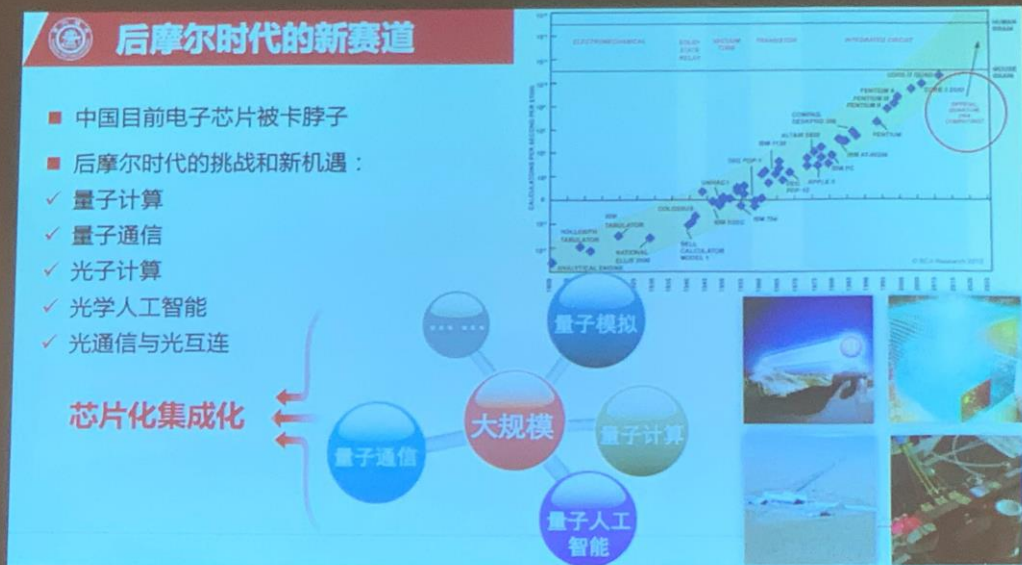
三维和超高速光子芯片底层技术

3

应用成果

4

新兴产业驱动



后摩尔时代的新赛道



◆ 英国支持4个研究组，5年共4亿英镑

◆ Ian Walmsley
牛津大学副校长
(金贤敏导师)

■ 致力于光子量子集成研究的单位：











■ 支持光子量子集成研究的大科学项目（仅列了欧洲的）






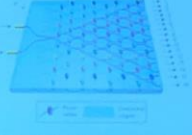






后摩尔时代的新赛道




■ Quantum Gate [Science 320, 5876 (2008)]



■ Quantum Walk [Nat. Photon. 7 322 (2013)]



■ Boson Sampling [Science 339, 798 (2013)]

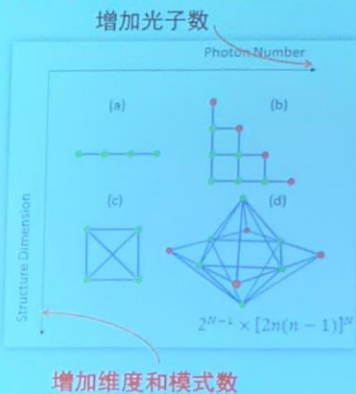


■ Quantum Teleportation [Nat. Photon. 8:770-774 (2014)]



三维光子芯片

团队发展路线：大规模三维光量子集成



$$H = \sum_i^N \beta_i a_i^\dagger a_i + \sum_{i \neq j}^N C_{i,j} a_i^\dagger a_j$$

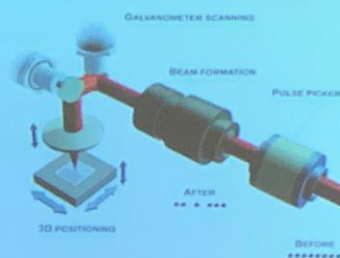
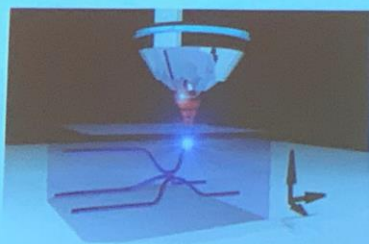


- 通过三维光子芯片构建专用光子计算机、量子计算机和光学神经网络
- 通过增加芯片的维度和模式数，实现算力超越




三维光子芯片

■ 上海交大飞秒激光直写光子芯片平台



特有优势:

- 可在多个透明材质基片上直写: silica, nonlinear crystal, polymer.....
- 无需掩膜
- 周期短从而便于优化参数
- 3D光子线路的直写能力



三维光子芯片

上海交大飞秒激光直写光子芯片平台

Pulse energy


Speed


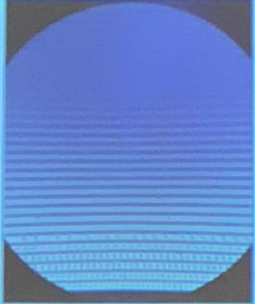
Spot size


Pulse duration

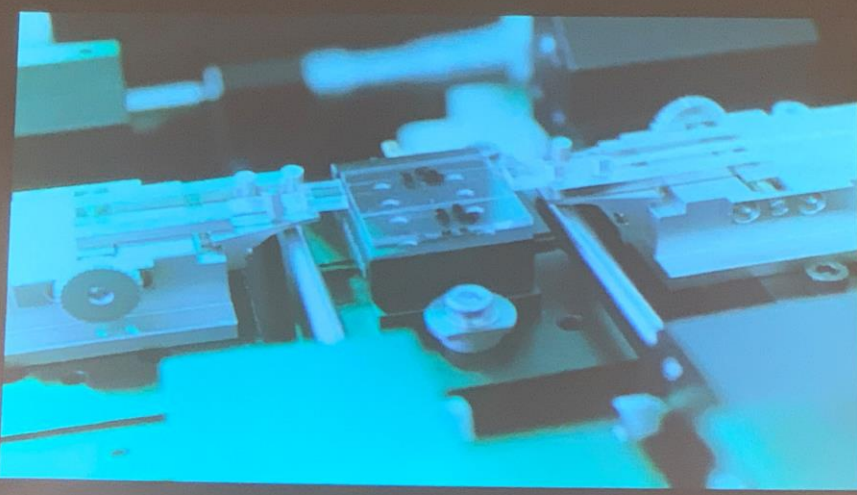
Wavelength

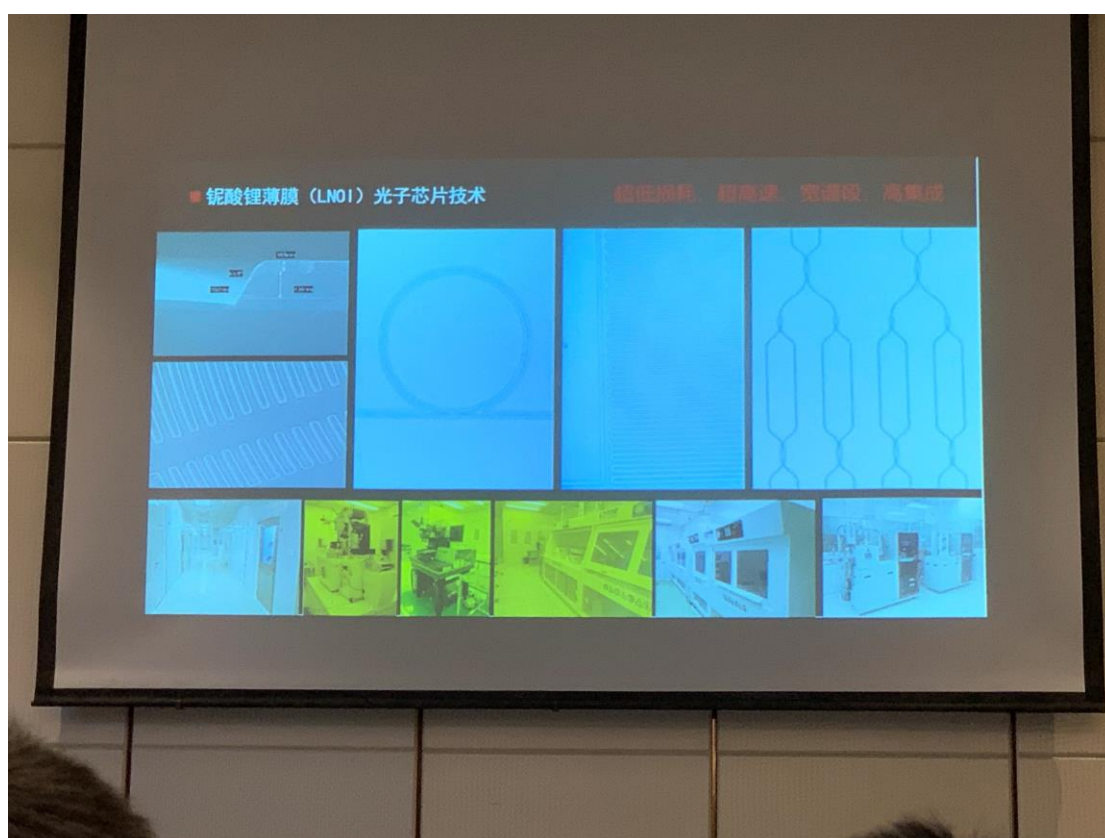
Repetition rate









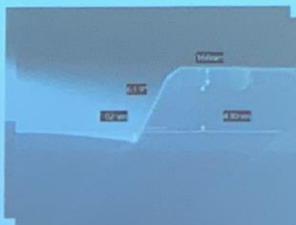




超快LNOI光子芯片



■ 铌酸锂薄膜(LNOI)光子芯片自主设计和制备



宽度800nm
刻蚀深度430nm



宽度800nm
刻蚀深度300nm

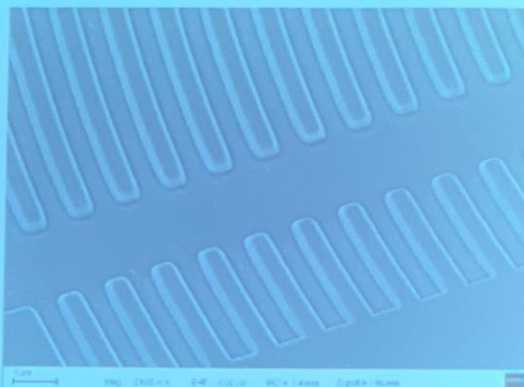


超快LNOI光子芯片



■ 铌酸锂薄膜(LNOI)光子芯片自主设计和制备

光栅



1000nm 1000nm 1000nm 1000nm 1000nm 1000nm

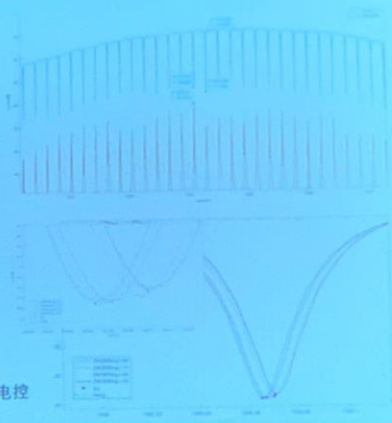
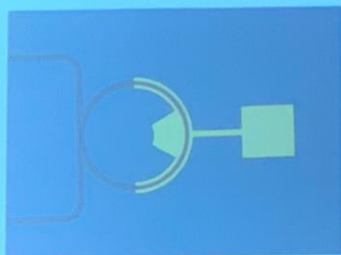


超快LNOI光子芯片



■ 铌酸锂薄膜(LNOI)光子芯片自主设计和制备

电控微环调制器



已经实现Q值接近 10^6 的微环以及线性度良好的微环电控

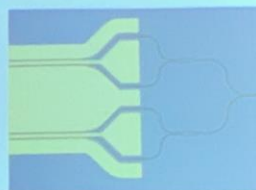
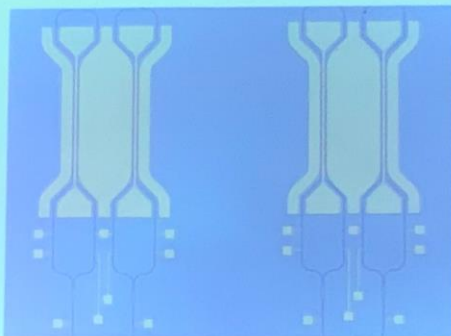


超快LNOI光子芯片



■ 铌酸锂薄膜(LNOI)光子芯片自主设计和制备

复杂电控器件的制备



预计可实现>40GHz电光调控

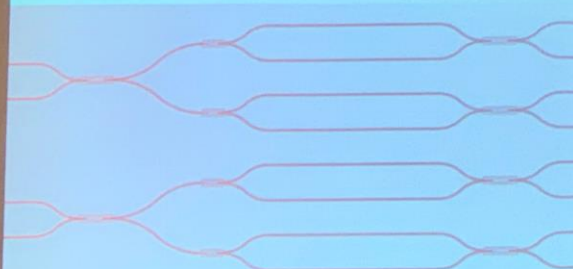


超快LNOI光子芯片



■ 铌酸锂薄膜(LNOI)光子芯片自主设计和制备

	国际一流水平	自主制备能力
刻蚀深度	<600nm可控	<500nm可控
侧壁角度	65°~80°	60°~75°
最小线宽	~100nm	~200nm



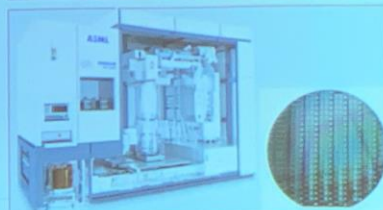
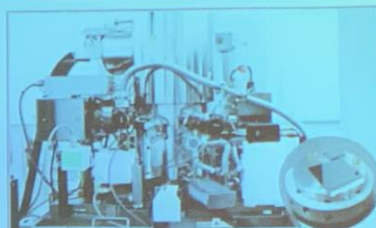
光量子计算和互连网络



超快LNOI光子芯片



工艺类型	电子束曝光(EBL)	深紫外光刻(DUV)
最小线宽 (分辨率)	10nm	250nm
一次性最大图形化尺寸	1mm×1mm	22mm×22mm
掩膜版	不需要, 直接图形化	需要定制
图形化速度 (以写满4寸片为例)	大于8天	小于一分钟
适用领域	需要特定设计的科研任务	版图较为固定的生产线



混合光子集成

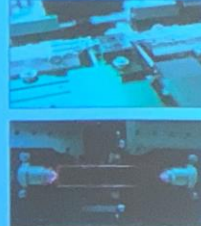
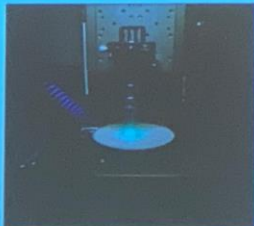
-
- 二氧化硅
- 铌酸锂薄膜
- 硅基

Source: U.S. Department of Commerce, Bureau of Economic Analysis, *U.S. National Income and Product Accounts*, 1997.

[illegible]

陈子健、陈德源、王少雄、林建、何宜和、廖子明

- 



-



底层技术 + 应用研究

同时具有光芯片制备 + 量子计算 + 光子计算 + 人工智能 技术的团队

光源 + 存储 + 探测 + 软件

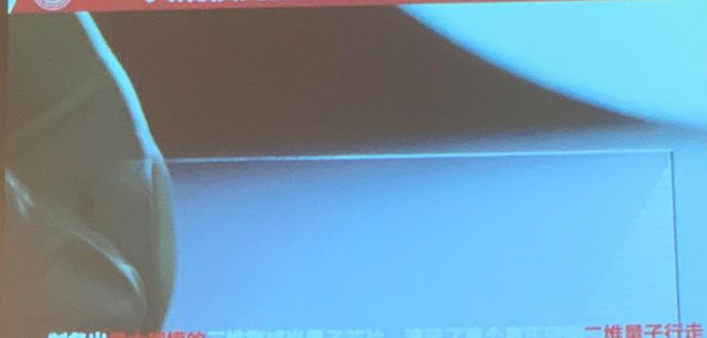
- 美国牛津-帝国理工-南安普顿的 Wailesley-Martin-Smith 联合小组
- UV and Femto laser Writing
- 美国布里斯托的 Oberin 小组
- Femtosecond Laser Writing
- 上海交大金贤敏小组
- Femtosecond Laser Writing 2.0
- 意大利米兰-罗马的 Osellame-Mataloni-Solamino 联合小组
- Femtosecond Laser Writing
- 美国MIT的 England 小组
- Silicon Photonics





央视新闻 CCTV Morning News
报道出大规模光子量子芯片

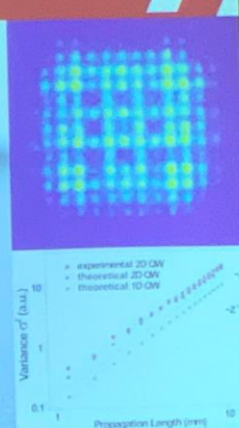
一：大规模光量子计算集成芯片制备



制备出最大规模的三维集成光量子芯片，演示了首个真正二维量子行走

美国《科学》子刊 Science Advances

被评为2018年度中国光学十大产业技术



Science Advances 4, eaat3174 (2018)

二: 可扩展光量子计算演示

nature > nature photonics > letters > article

Experimental quantum fast hitting on hexagonal graphs

Wen Tang, Carlo Di Franco, Zi Yu Shi, Tian Shuo Han, Zhou Peng, Jun Guo, Ke Sun, Zhan-Ming Lu, Zhi-Qiang Jin, Tian-Yu Wang, M. S. Kim & Xian-He Jia

Nature Photonics (2018) | Download Citation &

2018 中国光学十大进展

量子快速到达算法首次实现

上海交通大学

首席: Carlo Di Franco, 左任远, 何天强, 冯麟, 洪敏, 孙科, 李占明, 孙本强, 王天宇, M. S. Kim, 贾晓敏

Dynal-Sense

三: 演示可扩展光子计算机

科技部王志刚部长批示, 提交成果材料汇报。

每日科技要闻

科技部王志刚部长批示, 提交成果材料汇报。

迈向光子优越性


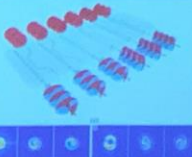

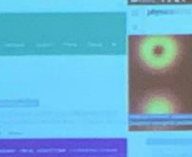
(1) 单光子级别超弱信号可测

(2) 非冯诺伊曼架构

(2) 大规模光子集成芯片

Science Advances 6, eaay5853 (2020)

四：首个轨道角动量 (OAM) 波导光子芯片

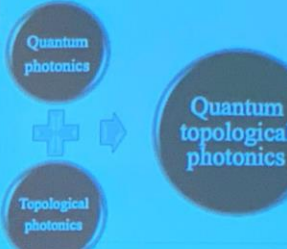
■ "the first OAM carrying waveguide chip" (首个可携带轨道角动量的波导芯片)


■ "first promising steps towards integrated structures for OAM-carrying light and also might be considered an important step for the twisted light and optics community" (首个迈向轨道角动量集成结构的有前景的一步, 同时对于整个光学领域和扭曲光来说是重要的一步)。

Physics 11, 125 (2018)
Phys. Rev. Lett. 121, 233602 (2018)
Phys. Rev. Lett. 124, 153601 (2020)

五：光子芯片上量子态拓扑保护

- Direct Observation of Topology from Single-photon Dynamics [Phys. Rev. Lett. 122, 193903 (2019)]
- Observation of Parity Induced Thermalization Gap [Phys. Rev. Lett. 122, 013903 (2018)]
- Quantum topological boundary states in quasi-crystal [Advanced Materials 31, 1905624 (2019)]
- Topological Protection of Two-photon Quantum Correlation [Optica, 6, 955 (2019), Highlight in Science]
- Symmetry-Induced Error Filtering in a Photonic Lieb Lattice [Phys. Rev. Lett. 126, 110501 (2021)]
- Topologically Protected Quantum Entanglement [arXiv:1903.03015 (2019)]
- Protecting Quantum Superposition and Entanglement [arXiv:2006.07963 (2020)]





Quantum Physics

Protecting the quantum

Jan B. Osborne

PHYSICS

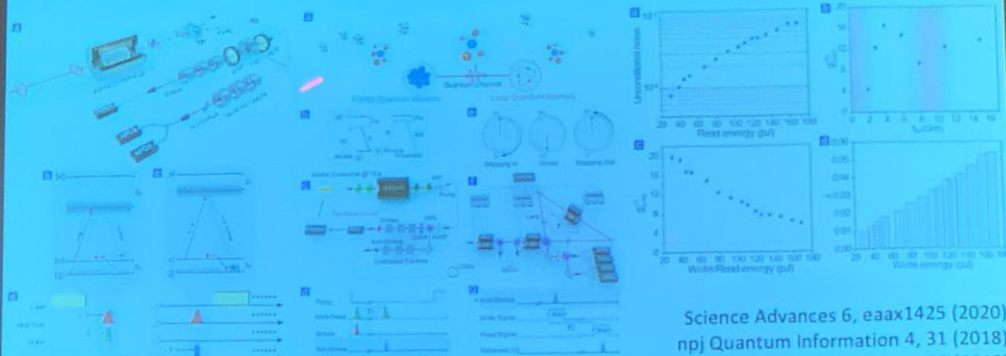
Article

Physics has long been the domain of classical mechanics, but quantum mechanics has revolutionized our understanding of the world. In the last few decades, quantum mechanics has become the foundation of modern physics, and its applications are expanding rapidly. One of the most exciting areas of research is quantum information, which is the study of how quantum mechanics can be used to process and transmit information. This field has the potential to revolutionize computing, communication, and cryptography. In this article, we will explore the challenges of protecting quantum information and the progress that has been made in this field.



六: 室温宽带量子存储与量子网络

■ 室温、宽带量子存储和量子网络



Science Advances 6, eaax1425 (2020)
npj Quantum Information 4, 31 (2018)
Communications Physics 1, 55 (2018)

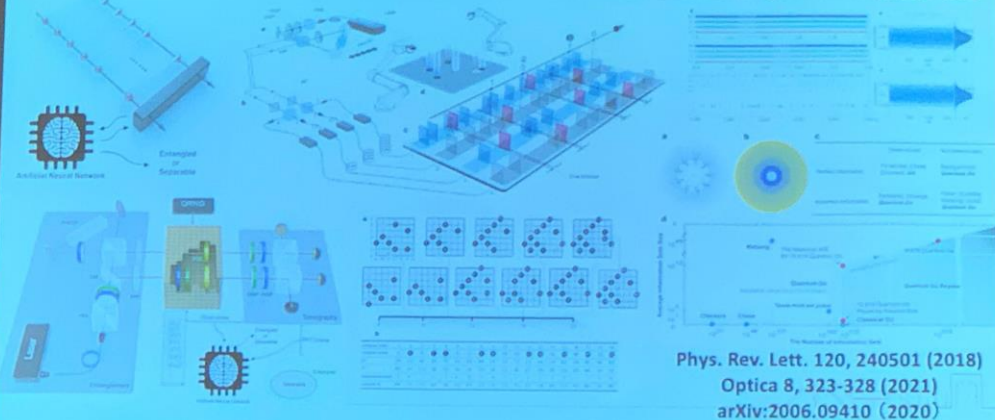


七: 人工智能技术应用与量子信息

■ 人工智能用于量子态分类、图像提取、信道分析等难题

■ 量子围棋：人工智能测试平台

New Scientist, Physics World (头版) 报道



Phys. Rev. Lett. 120, 240501 (2018)
Optica 8, 323-328 (2021)
arXiv:2006.09410 (2020)

八: 专用光子量子计算软件

同时集成了量子行走、玻色采样、任意哈密顿量构建和开放系统等内核

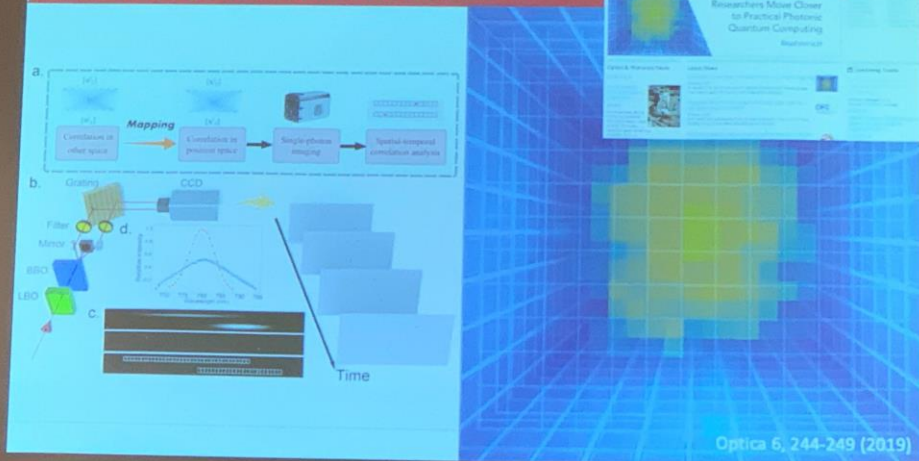
The screenshot displays the FeynmanPAQS software interface. It features a central visualization area showing a 2D quantum walk with a color-coded probability distribution. To the left, there are control panels for 'Control Panel' and 'Two Dimensional Quantum Walks'. To the right, there are panels for 'Hamiltonian Construction' and 'Open System Simulation'. Below the main interface, there are three circular icons representing different quantum computing concepts: 'Quantum Walk', 'Boson Sampling', and 'Hamiltonian Construction'. On the far right, there is a sidebar with a 'Watch This' section featuring a video thumbnail and a 'HUAWEI' logo at the bottom.

九: 量子通信芯片

■ 测量装置无关量子密钥分发(MDI-QKD) 服务器芯片 ■ 极化量子态分析芯片

The diagram illustrates the architecture of an MDI-QKD server chip. It shows a central 'Server' block containing an 'FPGA' and a 'Quantum Channel'. The server is connected to four clients: 'Client 1', 'Client 2', 'Client 3', and 'Client 4'. The clients are represented by small icons with labels. The diagram also includes a section for 'Polarization Quantum State Analysis Chip' showing a series of waveplates and detectors. Below the main diagram, there are several bar charts and plots showing the performance metrics of the chip, including 'Success Rate' and 'Fidelity' for different configurations.

十: 单光子级别大规模关联测量



十一: 空海量子通信

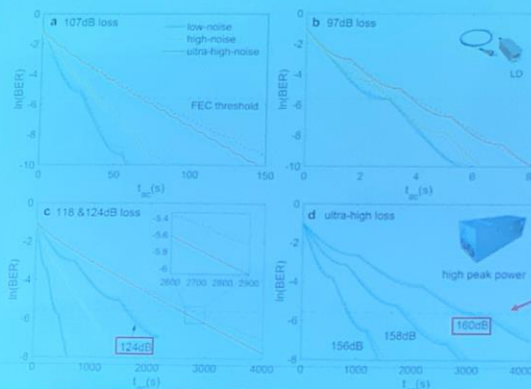
- 2017, 完成国际上首个海水量子通信实验, 实验上验证水下及空海一体量子通信的可行性。被New Scientist和Physics World等国内外媒体广泛报道。





十一: 空海量子通信

建立超大损耗光通信链路



160dB

小激光器克服 $\frac{1}{\text{万亿}}$ 的损耗

大激光器克服 $\frac{1}{\text{亿亿}}$ 的损耗

可承受损耗超越
经典方案10000倍

如何利用好这种优势?



目录

1

后摩尔时代的新赛道

2

三维和超高速光子芯片底层技术

3

应用成果

4

新兴产业驱动

推动产业化：图灵量子



图灵量子

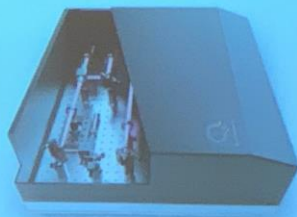
BRIGHTENING FUTURE WITH PHOTONS

展自主的三维和超高速光量子计算芯片，研发算力和功耗远优于电子计算机的光量计算机、光子计算机、和人工智能光子处理器，创办了国内首家光量子计算公司



推动产业化：图灵量子

■ 可级联滤波系统 ($10^7:1$)



■ 多通道符合计数模块 (40通道)



■ 高分辨率多色分束系统
(10MHz-10GHz)

