

---

# 综述：片上激光器的前景与应用

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/22250.html>

*本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！*

**综述：片上激光器的前景与应用。**新年伊始，eLight为各位读者准备了3篇开年综述。

今天，我们先来了解第一篇，美国加州大学圣巴巴拉分校John Bowers教授团队与阿卜杜拉国王科技大学万雅婷助理教授团队的片上激光器综述。

另外两篇开年综述，分别是西北工业大学黄维院士团队的金属卤化物钙钛矿综述、美国斯坦福大学Shanhui Fan教授团队的基于外尔半金属的光场控制综述，原文已于今日上线，中文解读将于本周上线。

ISSN 2662-8643(online)

CN 22-1427 / 04

ISSN 2097-1710(print)

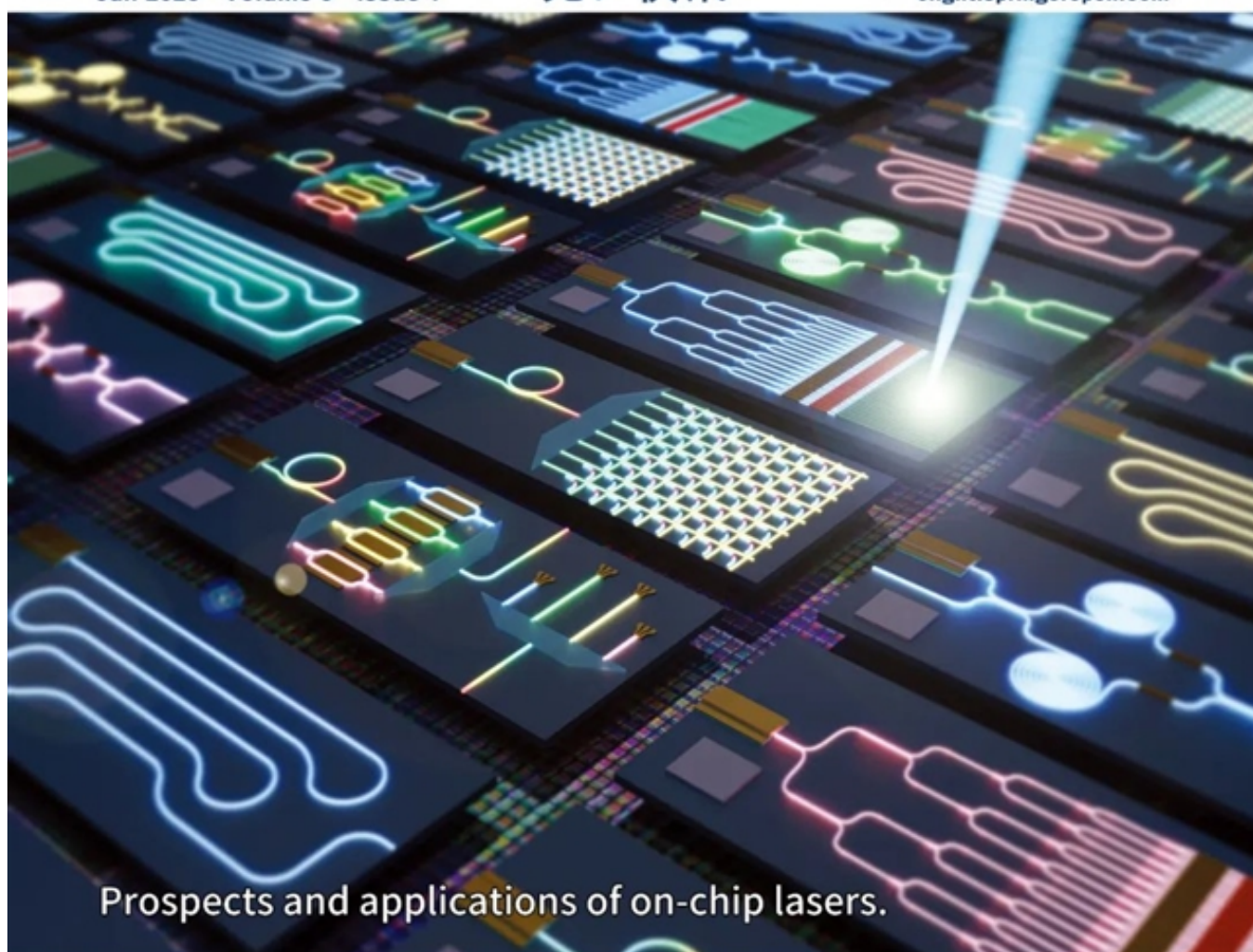
# eLight



Jan 2023 · Volume 3 · Issue 1

光：快讯

[elight.springeropen.com](http://elight.springeropen.com)



Prospects and applications of on-chip lasers.

ISSN 2097-1710



**SPRINGER NATURE**

人类每天制造约2.5千亿字节的数据，并且这个数字将随着5G、大数据的普及而快速上升。福布

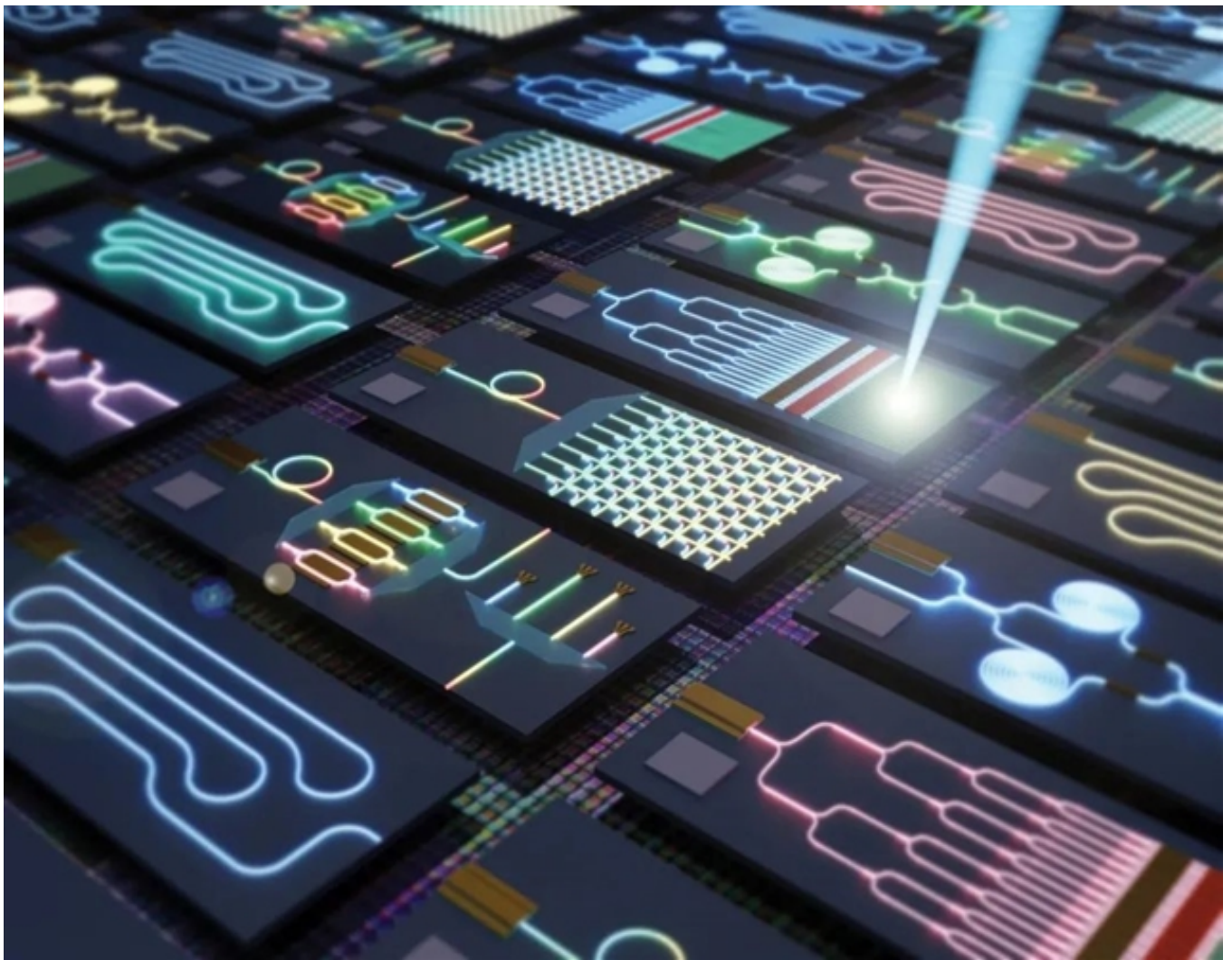
---

斯2018年一项调查显示，世界上的90%的数据都在过去两年间产生。伴随着数据流量的爆炸性增长，传统电子信息互连架构已无法满足日益增长的带宽以及能耗需求。

因此，硅基光电子芯片(Silicon photonics)应运而生。硅基光电子芯片既可利用微电子技术在低成本、大规模 CMOS 集成方面的优势，又兼具光信号在传输过程中衰减小，传输带宽高，传输速率快、抗干扰性能强、功耗低等优点。硅光技术作为后摩尔定律时代实现片上光互连最具有潜力的方案之一，在激光雷达、生化传感、量子信息处理和高性能计算等领域极具潜能。

然而，硅是间接带隙半导体，无法实现高效率发光。随着硅基调制器、探测器、耦合器等光子集成器件逐渐成熟，高效的硅基片上光源已然成为制约硅光技术发展的瓶颈。为了突破该瓶颈，片上激光器作为硅光芯片的心脏，成为了光子学研究近十年最活跃的领域之一。

近日，美国加州大学圣巴巴拉分校(UCSB)John Bowers教授团队与阿卜杜拉国王科技大学(KAUST)万雅婷助理教授团队，受邀撰写了题为Prospects and applications of on-chip lasers的综述文章，在卓越计划高起点新刊eLight上发表。该文章系统介绍了硅基片上光源的不同方案及最新研究进展，并展望了该技术在通信、激光雷达、传感、量子信息处理和光计算等领域的应用前景。



---

图1：硅基集成光子芯片示意图

## 片上激光器的实现方案

理想的集成片上激光器应满足以下几个要求：

第一，发光效率高；

第二，可实现电泵浦激励；

第三，与现有的CMOS工艺兼容；

第四，出射光波长和现有的光通信波长相匹配(1310 nm/1550 nm)。

此外，作为光子集成回路(Photonic integrated circuit, PIC)的核心部分，集成片上激光器还必须确保能在温度范围较大的环境下稳定工作(30至150 ° C)并拥有足够长的工作寿命。

当前，集成片上激光器从材料上主要分为锗硅IV族光源和硅基III-V族光源。锗硅IV族光源可通过n型掺杂、应力拉伸和锗锡(GeSn)合金等方法将锗由间接带隙材料改造成直接带隙材料，大幅提高原有的发光效率。锗和硅同为四族元素，硅上生长锗的工艺亦相对成熟。然而，目前实现的锗硅IV族激光器的阈值电流和发光效率等性能指标远远落后于III-V族激光器，无法达到实际使用的要求。

III-V族材料是直接带隙半导体，其发光特性具有先天优势。目前，将III-V族材料集成到硅衬底的集成方案主要有三种：混合集成(Hybrid integration)、基于晶圆键合的异质集成(Heterogeneous integration)和基于直接外延生长的单片集成(Monolithic integration)。

混合集成利用耦合器将外部光源引入到硅波导中，能在封装前对每一个器件进行测试和表征，选择性能表现良好的芯片进行封装，因此具有很高的灵活性。但是，受限于复杂的封装技术和III-V族衬底的使用，混合集成制作成本高昂，尺寸大，较难实现片上激光器的大规模集成。异质集成通过低温等离子键合等技术将III-V族衬底与硅晶圆键合，再进行后续的器件制作。回避了第一代flip-chip方案中耦合效率不够高、对准调节时间长等问题，目前已直接催生出三家相关的初创企业。该领域的行业领军英特尔(Intel)公司在此基础上经过了十多年的发展，所研制的基于该硅光子技术的光电收发器已经达到每年约200万只的出货量，产品也从100G快速迭代到200/400G甚至更高速率。但是，异质键合的方案受制于III-V族衬底的使用，限制了成本的进一步降低。

在硅衬底上直接外延III-V族材料的方式适合大尺寸生长和大批量生产，是解决硅基光电集成缺少核心光源的理想方案。但是，受限于III-V族和硅材料的极性不同、晶格失配和热膨胀系数差异，在硅上直接生长III-V族材料会出现反相畴、穿透位错和微裂缝等材料缺陷问题，进而会对器件寿命和工作性能产生严重影响。针对这一问题，研究人员采用非对称缓变过滤层、捕获层等结构设计降低了材料的位错密度的同时，还采用对位错缺陷不敏感的量子点结构，进一步降低位错缺陷对激光器性能的影响。该结构的激光器寿命测试结果显示，在4000小时的80 ° C高温测试环境中，器件仅显示出6.8%的阈值电流变化。这表明该激光器的工作寿命高达一百万小时，完全可以满足数据中心、超算中心等实际需求。进一步，研究人员在外延生长量子点的基础上引入晶圆键合，通过锥型波导，将电泵浦产生的量子点激光模场转移到硅波导中。这种将量子点激光器集成到

硅光芯片上的技术，不仅具有显著的低成本优势，更兼具两者协同效应所带来的性能优势，为硅光技术的进一步发展提供了具有大规模产业应用前景的解决方案。

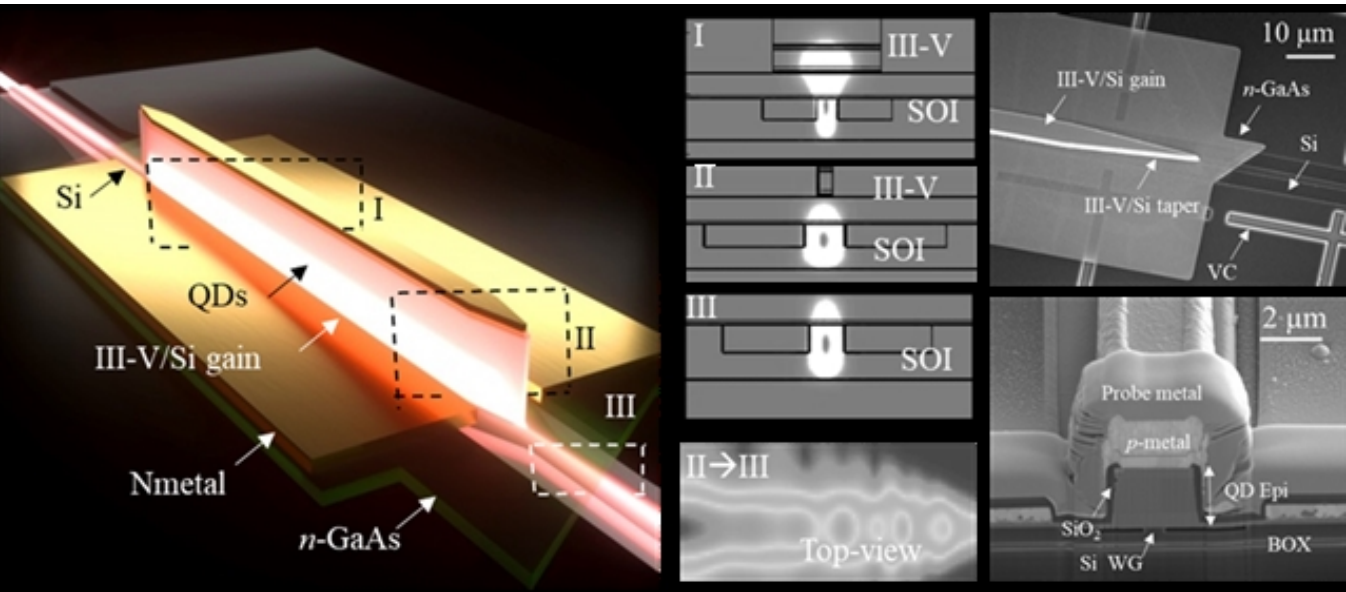


图2：片上量子点激光器示意图及器件图片(整个工艺流程在4寸硅基晶圆上完成)

### 片上激光器的应用

硅基III-V族片上激光器可结合III-V族材料的高发光效率和硅材料的成熟工艺、高集成度和低成本等特性，有望引领未来硅基光电子集成领域在不同应用场景的飞速发展：

**数据通信：**硅基光电子芯片发展的最大驱动力仍然是数据通信。英特尔(Intel)、博通(Broadcom)、思科(Cisco)和惠普(Hewlett Packard Enterprise)等公司在硅光芯片持续发力，不断提出具有创新性的解决方案，推动着硅光芯片的传输速率从Gbps迈进了Tbps数量级。

**激光雷达：**基于光学相控阵 (OPA) 的调频连续波 (FMCW) 激光雷达具有实现长探测距离、直接速度测量、强大的抗干扰性的激光雷达系统的潜力。硅基光电子平台作为最有希望实现芯片级激光雷达的平台之一，在近年来已实现了众多关键技术突破。

**生化传感：**Covid-19以来，具有生物健康监测功能的可穿戴设备出现了巨大的市场需求。集成硅光传感技术，主要有光谱吸收型和折射率变化型两种方案。硅光传感技术是实现高灵敏度、便携式传感器的最有前景的方案之一，已推动了多个产品的落地。

**量子信息处理：**光量子技术利用光子的量子特性进行信息的处理，在近年来报道的多个前沿工作中，都被证明了在保密通信、分子模拟等方面具有重要的应用前景。传统的量子光路都是由分立的光学镜片构成，光路复杂，并易受干扰。将量子光源和线性网络部分在硅光芯片上集成之后，光量子信息处理回路体积可大大缩小，并兼具抗干扰，编程操控性等性能，有望成为量子信息领域发展的核心技术之一。

**光计算：**相比于微电子芯片，硅光芯片兼具高通量、高能效比和超低延迟的特性，在计算领域内

具有显著优势。当前，硅光计算芯片的研究主要集中于全光逻辑、光电融合神经网络实现等方面，这些创新的计算架构，将为当下摩尔定律制约、冯诺依曼瓶颈等问题提供新的解决思路。

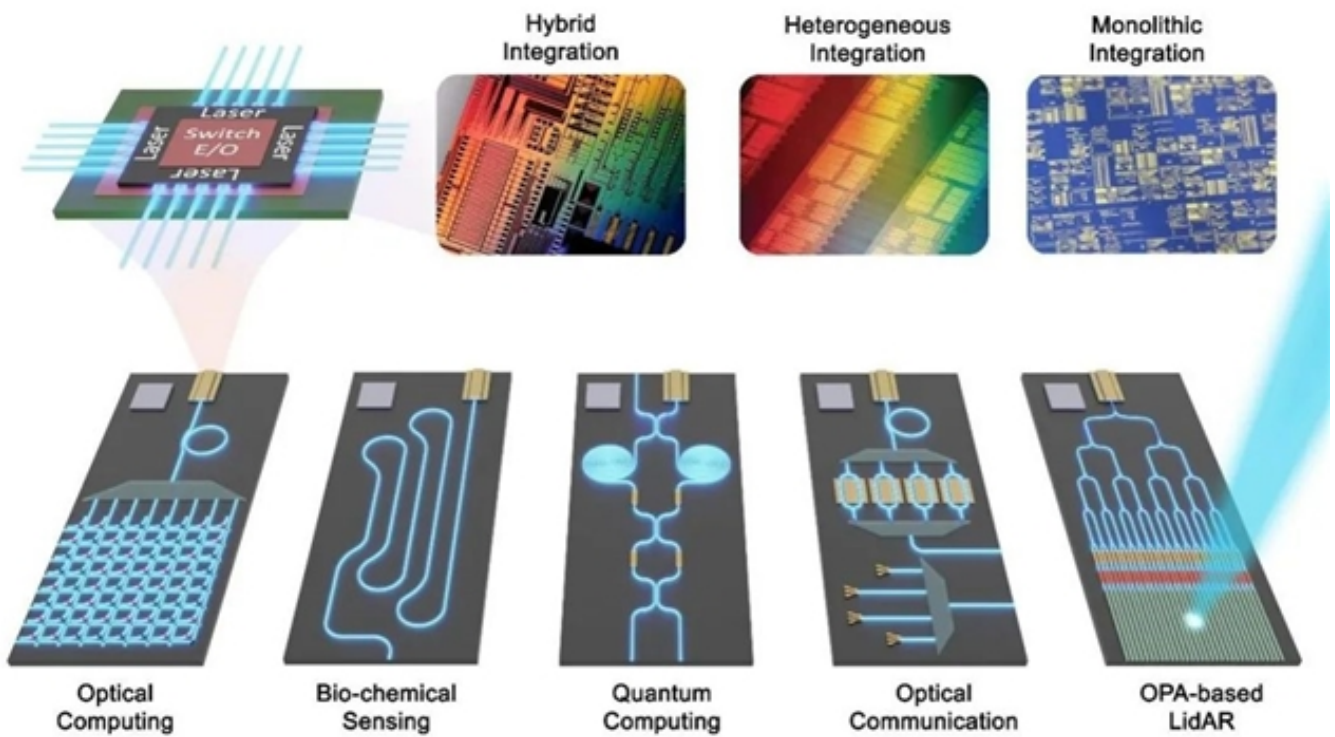


图3：集成片上激光器的硅基光子集成芯片的应用

片上激光器及其硅基集成光电子芯片面临的挑战和展望

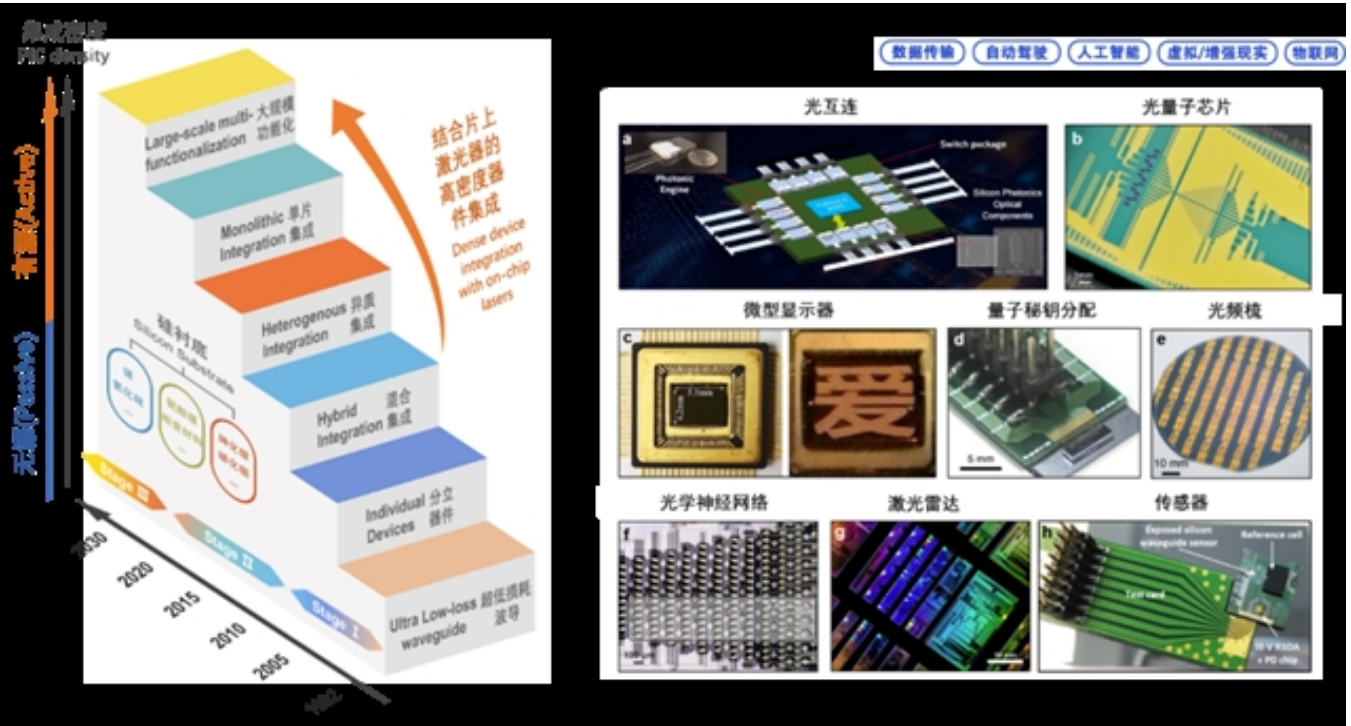


图4：1992年以来不同发展阶段的硅基光子集成的进展情况

硅基光电子学中两大核心问题是硅基光源和硅基集成技术。硅基片上光源的集成在近年取得令人瞩目发展的同时，仍面临以下严峻挑战：

一、硅基量子点激光器有望满足实际应用中对发光效率、出射功率和高温工作环境的要求，其对光反射不敏感及抗辐照等诸多优势是解决硅基光电集成缺少核心光源这一难题的理想方案。但目前，硅基量子点激光器的大部分研究仍局限于单一器件，硅衬底只起到了衬底的作用。如何实现多种材料和新机理在硅基平台上的融合以及协同优化，如何将量子点器件上的光导入硅波导形成具备完整的光产生、传输、调制、处理和探测功能的硅光芯片，仍然是尚未攻克的难题。

二、片上激光器的设计优化重点从单个器件转移到系统层级。如何从单一分立器件的设计优化转移到对面向片上光互连、光计算等大规模集成光路进行系统级设计优化，如何实现光器件和电器件的融合以及如何平衡光电子器件集成密度和工艺制备难度都是我们在设计光芯片时需要重点考虑的问题。

三、硅基光电子技术仍处于起步阶段，许多先进的硅基光电子技术仍止步于实验室大门，还未进入产业界的研发阶段。并且，产业界中各大厂商的设计思路和工艺路线之间仍存在较大差异，性价比最优的集成片上激光器方案尚未确定，仍需要学术界和产业界的协同努力寻找最佳的解决方案。

从2006年第一次在硅基平台上实现片上激光器到现在，短短16年之间，片上激光器和硅基光电子芯片的研究取得了许多令人瞩目的成果，成为了未来数据通信的关键技术。这是一门顶天立地的科学，从基础科学到实际应用，从长距离光纤连接的互联网到片上光互连、激光雷达、传感，再到未来的全光计算，随着片上光源集成技术的不断完善，硅光正在成为推动新一代信息技术发展的核心驱动力。(来源：中国光学微信公众号)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1186/s43593-022-00027-x>

特别声明：本文转载仅仅是出于传播信息的需要，并不意味着代表本网站观点或证实其内容的真实性;如其他媒体、网站或个人从本网站转载使用，须保留本网站注明的“来源”，并自负版权等法律责任;作者如果不希望被转载或者联系转载稿费等事宜，请与我们联系。

作者：万雅婷等 来源：eLight

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](https://www.iikx.com)转发