
III-V族激光器与硅光子器件单片集成

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/24282.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！

III-V族激光器与硅光子器件单片集成。近日，来自法国蒙彼利埃大学的Eric Tournié教授团队在Light: Science Applications上发表了题为Unlocking the monolithic integration scenario: optical coupling between GaSb diode lasers epitaxially grown on patterned Si substrates and passive SiN waveguides的高水平文章。蒙彼利埃大学的Andres Remis博士为本文的第一作者，Eric Tournié教授为本文的通讯作者。此外，意大利巴里理工大学电气与信息工程系、爱尔兰明斯特理工大学高级光子学和过程分析中心以及丁达尔国家研究所也对本文做出了贡献。Eric Tournié教授提出了一种在图案化硅光子学平台上生长的III-V族激光器的方案，该激光器可以实现与无源SiN波导间的光耦合。该工作目前已经得到了欧盟H2020计划、法国ANR和法国未来投资计划的支持与资助。

研究背景

硅光子学由于其成熟的硅工艺技术、大硅片尺寸和有优良的硅光学性能，从而被广泛的应用于数据通信、光学互连、量子技术或片上光学传感器等领域。其中，基于SiN的波导具有卓越的高功率处理能力、更宽的透明度、更大的横截面以及相比硅更低的损耗等特点，从而成为硅光子学芯片中的一种优质平台。此外，通过原子层沉积或非线性晶体的转移印刷，在该技术中可以使用多样化的方式来制造高效的电光调制器。现有的研究表明，尽管硅基光子芯片取得了令人印象深刻的进展，但Si和Ge的间接带隙以及GeSn器件的性能仍然太低，使III-V族半导体激光器与无源硅光子集成电路（PIC）的集成成为实现完全集成硅光子芯片的重要课题。目前最成熟的集成策略是异构集成，III-V异质结构首先在其天然衬底上生长，然后结合到硅基PIC上并加工成器件，这种技术已经可以制备商业产品甚至已经进入市场。但是，有证据表明，从集成密度和经济角度来看，在Si-PIC上直接外延III-V族半导体激光异质结构可能在中长期基础上优于传统的异质集成的方式。此外，异质方法需要蚀刻掉原始III-V衬底，从长远来看，这是一种不可持续的做法。

鉴于这些观点，在过去的十年里，研究者们对硅衬底上III-V族激光器的直接生长进行了广泛的研究，并在从可见光到中红外再到近红外的各种波段的激光器的外延集成方面取得了很大进展。尽管如此，迄今为止报道的所有硅上外延激光器都是在平面硅晶片上而不是在PIC上生长的分立器件。这表明硅基集成光子芯片的下一个挑战是将外延激光器和硅光子学PICs相结合，并将来自有源III-V结构的光耦合到无源硅基器件。

III-V族半导体在硅上的生长不可避免地会导致不同类型的结构缺陷，对器件性能不利。尽管已经开发了各种策略来避免或减弱它们的影响，但已有的策略需要在激光结构下生长相对较厚（1–5 μm）的缓冲层。虽然这种方式对于分立的III-V硅光电子器件来说不是问题，但这些缓冲层会阻止器件将倏逝光耦合到无源波导中。

另一种选择是使用直接耦合的方式，将激光器与无源波导耦合，或将外延III-V光电探测器与硅波导耦合。然而，外延直接耦合方法也带来了挑战，因为III-V族和硅基材料的制造和加工条件仅在一定程度上兼容，并且损耗最低的SiN波导需要在高温下进行沉积和处理（例如通过液相化学气相沉积）。除了首先制造硅基光子芯片PIC、图案化PIC晶片以限定外延区域，然后外延生长和处理III-V族激光结构的方法之外，别无选择。因此，需要研究在图案化晶片上生长III-V族材料的方法，并在不损害PIC质量的情况下，用在凹陷区域中生长的材料制造器件。

创新研究

几十年来，在同一硅衬底上直接外延III-V族激光器和硅光子器件的单片集成一直被认为是实现致密光子芯片的主要障碍。已有的研究也仅仅报道了在平面硅晶片上生长的离散III-V族激光器。针对这一难题，Eric Tournié教授团队提出并探索了克服这些挑战的方案，并展示了在图案化硅光子学平台上生长的III-V族激光器，该激光器可以实现与无源SiN波导间的光耦合。

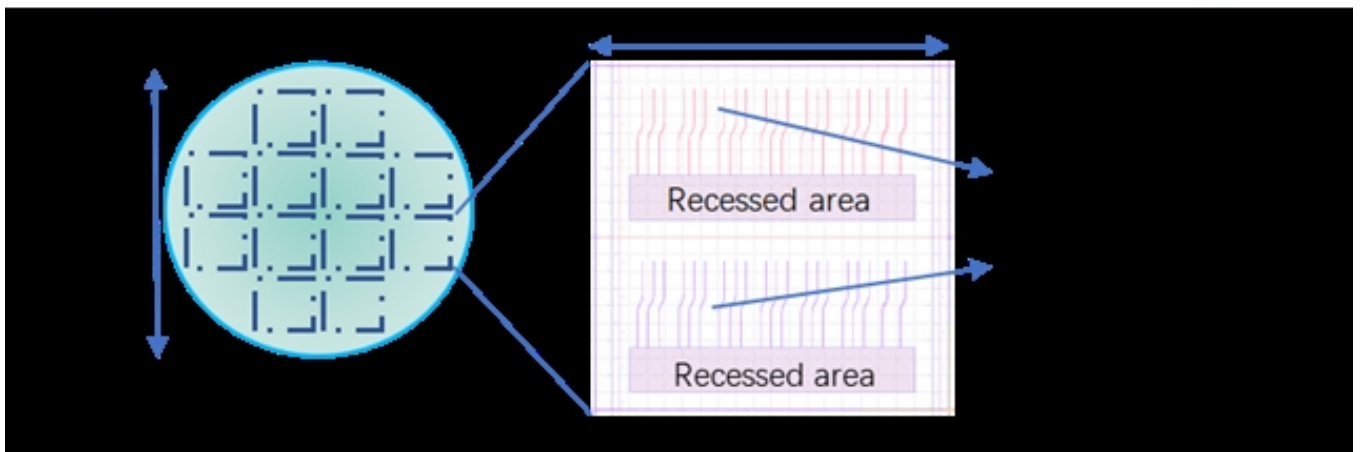
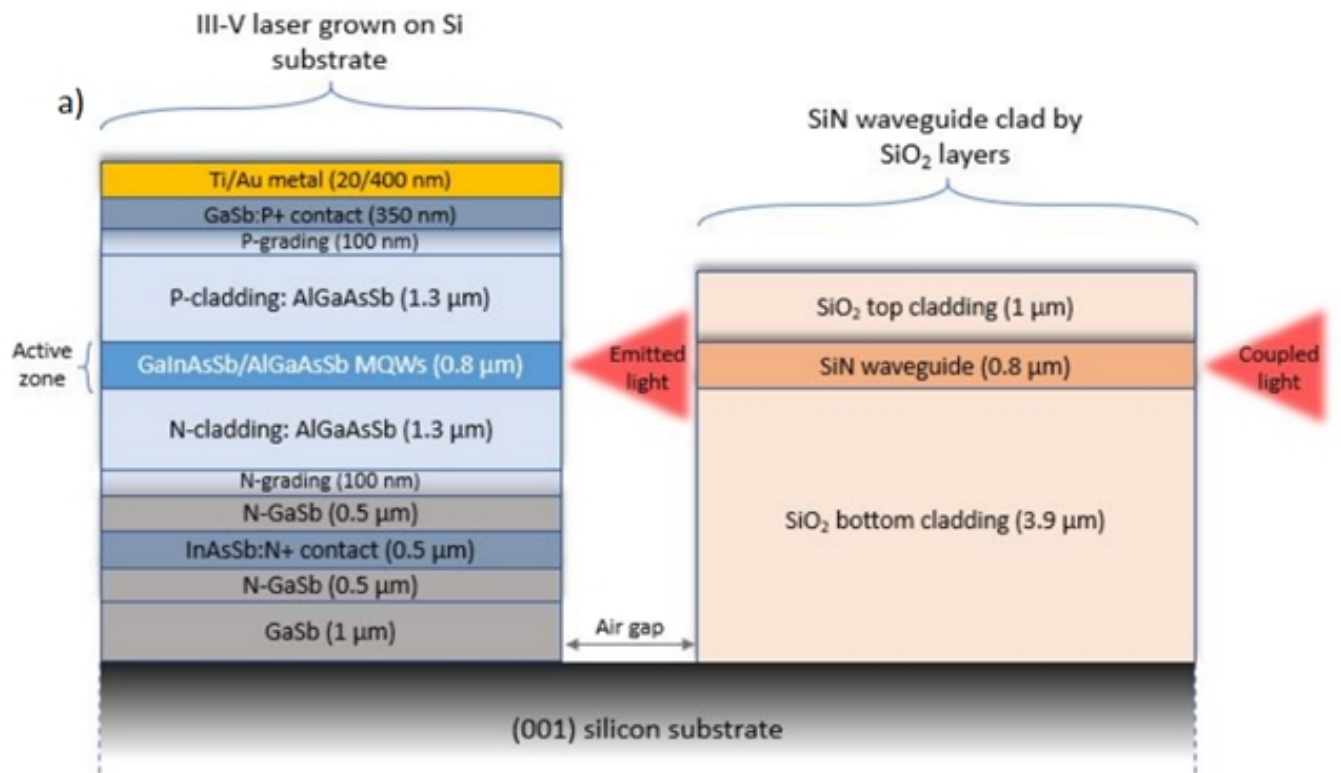


图1. 集成设备概述。a) 最终器件的横截面示意图：外延集成III-V族激光器的有源区发射的光耦合到SiN波导中。b) 实验中使用的硅光子学PICs示意图：首先处理100毫米的硅晶片，形成由SiO₂层覆盖的SiN波导。图案按20x20 mm²的正方形排列。然后将电介质堆叠向下蚀刻到Si衬底，以打开III-V激光器将外延生长的凹陷区域。然后对晶片进行切割，得到用于外延的20x20 mm²的切片。

具体而言，研究人员在配备有SiO₂包覆的SiN波导的预图案化硅基光子晶片上直接生长了中红外GaSb基二极管激光器，该激光器可以发射2.3 μm附近的光，这是痕量气体传感或激光雷达应用所感兴趣的波长，并且可以在室温下展示了超过10 mW的发射光输出，如图一所示。这克服了模板架构带来的生长和器件制造挑战。

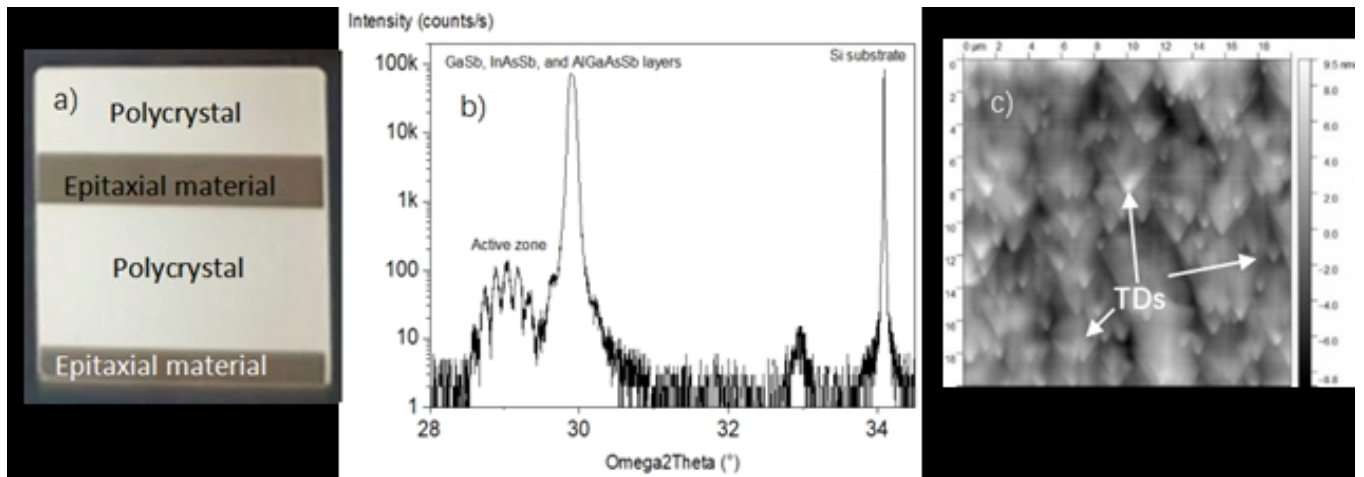


图2. 硅上外延III-V族PIC结构的结构性性质。a) III-V族外延后 $20 \times 20 \text{ mm}^2$ 晶粒的图片。灰色区域对应于多晶体III-V材料已经沉积在介电材料顶部的波导区域。镜面状区域是生长单晶III-V族材料的凹陷Si区域。b) 激光结构的高分辨率衍射扫描。c) 外延激光表面的 $20 \times 20 \mu\text{m}^2$ 的AFM图像。

此外，大约10%的光被耦合到SiN波导中，与直接耦合配置的理论计算非常一致。这项工作解决了III-V族激光器和硅光子器件的单片集成的问题，为未来低成本、大规模、完全集成的光子芯片铺平了道路。

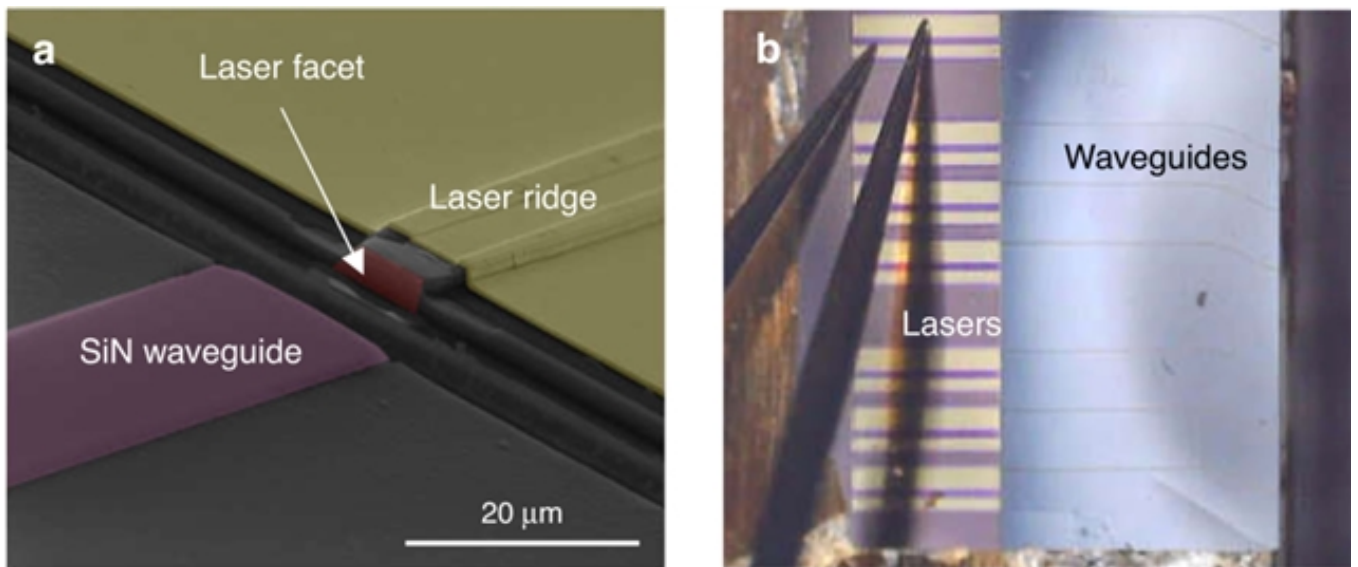


图3. a) SEM图像显示激光脊及其蚀刻面和无源波导。b) 配备SiN波导的激光棒图片，准备在探测站上进行测试。DL长1.5毫米。

图4. 硅基PIC上DL的L-I-V特性。a) 8个DL在室温下CW状态下的L-I-V曲线。b) 对于典型DL，在20 ° C和80 ° C之间的不同温度下拍摄的L-I-V曲线。

该文章发表在国际顶尖学术期刊《Light: Science Applications》，题为Unlocking the monolithic integration scenario: optical coupling between GaSb diode lasers epitaxially grown on patterned Si substrates and passive SiN waveguides。（来源：LightScienceApplications微信公众号）

相关论文信息：<https://www.nature.com/articles/s41377-023-01185-4>

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事宜，请与我们联系。

作者：Eric Tournie 来源：《光：科学与应用》

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