

# 高精度激光干涉测量仪

卢雨萌

3022202283

# 目录 Content

## 目录 CONTENT



调研内容



微型化意义



技术路线与方案



总结与展望

# 01 调研内容

# 01 调研内容：高精度激光干涉测量仪

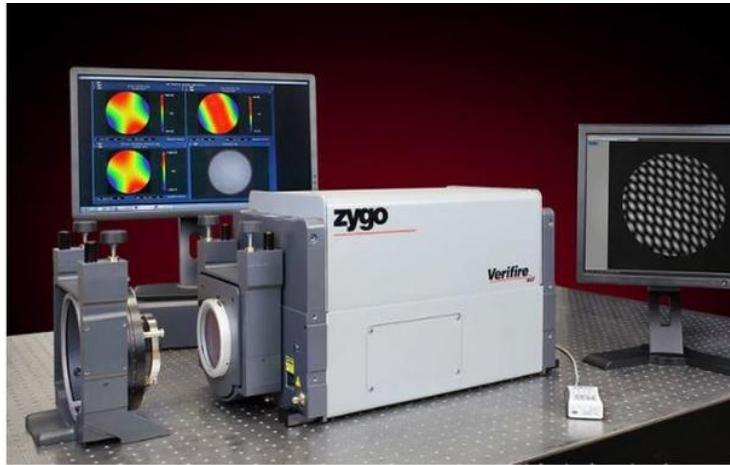


图1 激光干涉测量仪

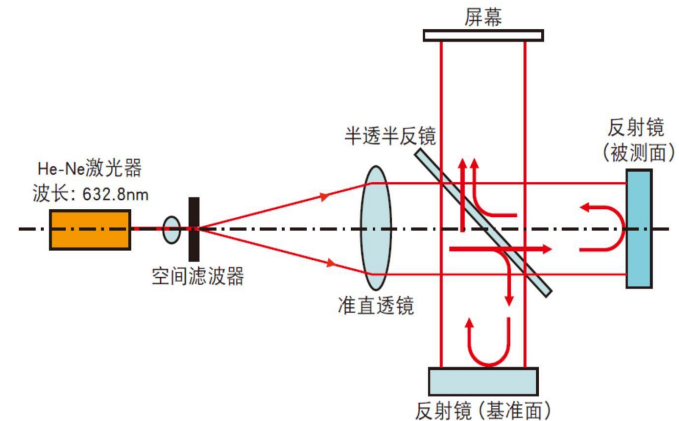


图2 干涉仪原理图

仪器简介：

芯片激光干涉仪是一种利用光的干涉原理进行高精度位移以及形变测量的仪器。其核心部件包括激光器、分光器、干涉光路系统以及探测器。

光学芯片技术（硅光子学）

MEMS技术

CMOS探测器芯片

# 01 应用场景1——精密机械加工中的位移测量

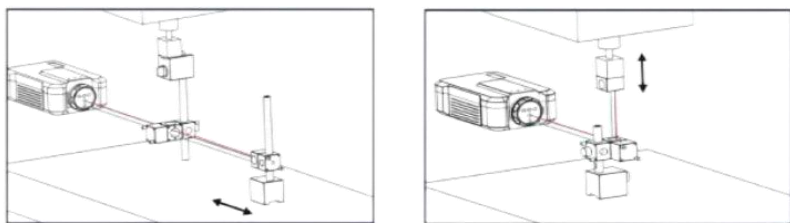


图3 水平轴、垂直轴的线性测量

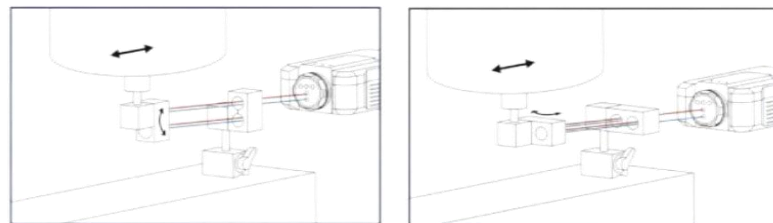


图4 运动轴的角度测量

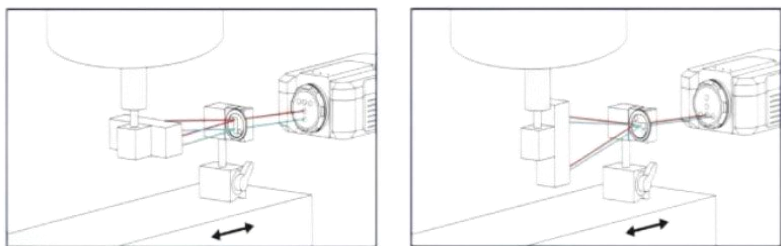


图5 运动轴的直线度测量

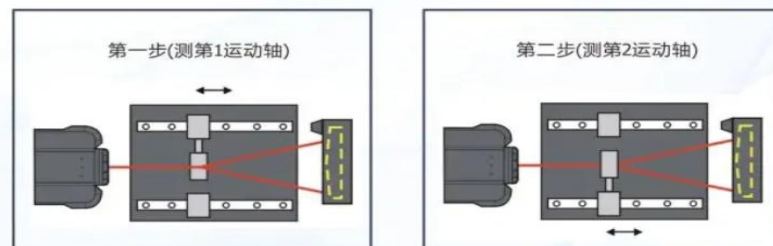


图6 平行度的测量

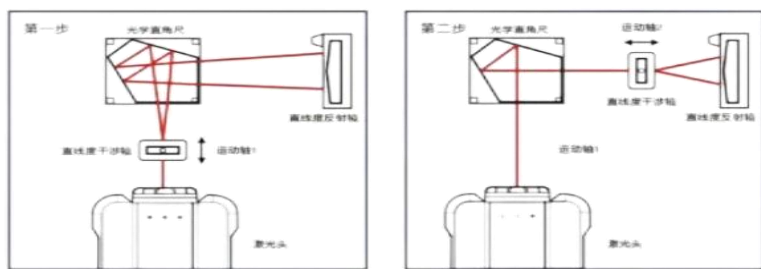


图7 垂直度的测量

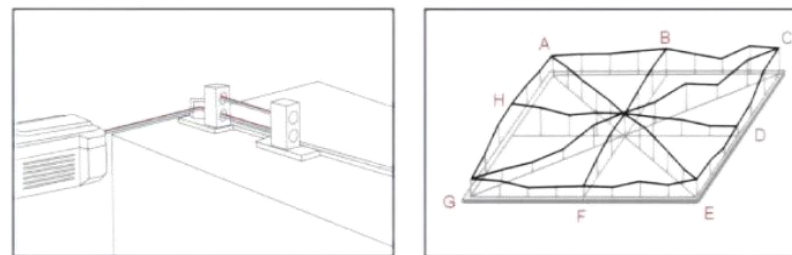


图8 平面度的测量

# 01 应用场景2——薄膜厚度测量



图9 干涉测厚传感器<sup>[8]</sup>

优势

1. 超快采样速度
2. 超高精度测量
3. 广泛应用场景
4. 一体式结构
5. 强抗干扰能力

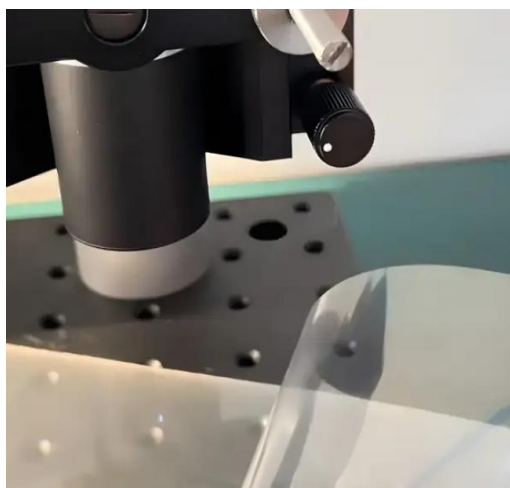


图10 实物图<sup>[8]</sup>





图11 强抗干扰能力的体现  
Chip & Integrated Microsystems



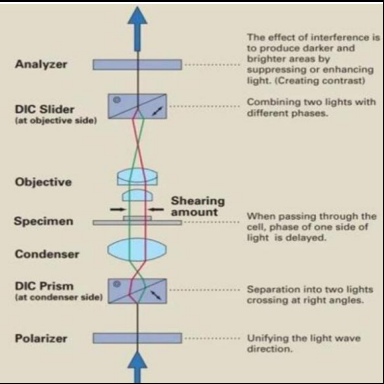

图12 另一种膜厚仪实物图

# 01 核心部件与工作原理

实物图	部件名称	功能	工作原理/种类
	氦氖激光器	发出相干光源， 确保干涉精度	常用的有He-Ne激光器、半导体激光器等
	分光器	将激光束分为参考光束和测量光束两部分，后续进行干涉	通过分光器将激光分成两束，反射和干涉产生干涉条纹



# 01 核心部件与工作原理

实物图	部件名称	功能	组成/种类
	干涉光路	反射、折射光路的光程差将会导致干涉条纹的产生	由反射镜、分束镜、光学透镜等组成
	探测器	将光信号转化为电信号，方便后续发送给计算机进行计算	CMOS、光电二极管、CCD



# 02 微型化意义

## 02 微型化意义

01

### 提升便携性

小型化一起更易于现场操作，而且方便携带

02

### 降低成本

通过芯片集成化的设计，减少外部冗余的光学元件，可以大大降低生产和维护的成本

03

### 拓宽应用场景

微型化后可以应用于医疗、智能设备、微型机器人等领域

04

### 提高精度和效率

小型化的设计减少了光路误差，可以大幅提升仪器精度

03

# 技术路线与方案

# 03 拟定技术路线与方案

01

## 硅光子学集成

将分光器与干涉光路集成到单一光学芯片中，通过**光刻和蚀刻技术**制造纳米级光学结构，减小体积。

02

## 微型激光器

使用MEMS技术制造微型激光器，减小体积和功耗，采用**量子阱技术**，提高激光器的效率与稳定性。

03

## 集成探测器

开发集成光电探测器，减少噪声与信号损失，使用**CMOS技术**集成信号处理单元，直接输出数字信号。

04

## 封装与3D打印

利用3D打印技术制造微型化光学腔体，优化光路对准，确保系统的热稳定性与光学稳定性。

# 03 技术方案1: 硅光子学集成硅基光波导的光学芯片设计

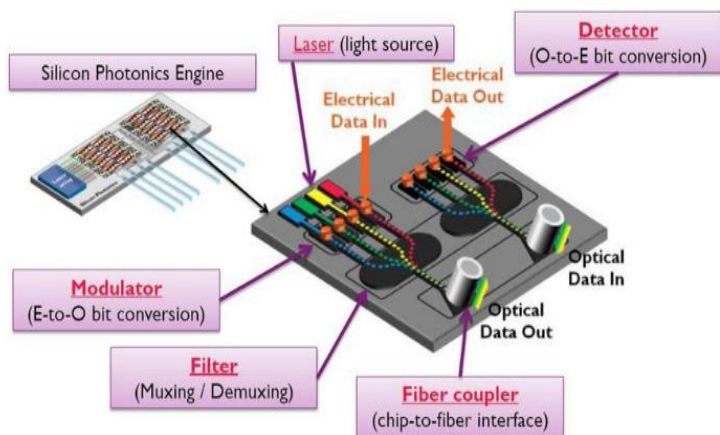


图13 硅光子学集成示意图<sup>[1]</sup>

## 硅光子芯片及Silicon Photonics的优势

硅光子芯片的信息载体为光子，并充当光在芯片内部传播的介质<sup>[1]</sup>。Silicon Photonics能够利用现有的CMOS生态系统，实现PIC的前端和后端工艺，在紧凑的芯片上以低成本实现复杂的光学功能（如滤波、调制）。

摩尔定律趋于极限，硅光子学芯片可以实现光电元器件的微型化，显著缓解传统芯片在体积、功耗以及速率等方面所面临的问题，突破IC的瓶颈<sup>[2]</sup>。

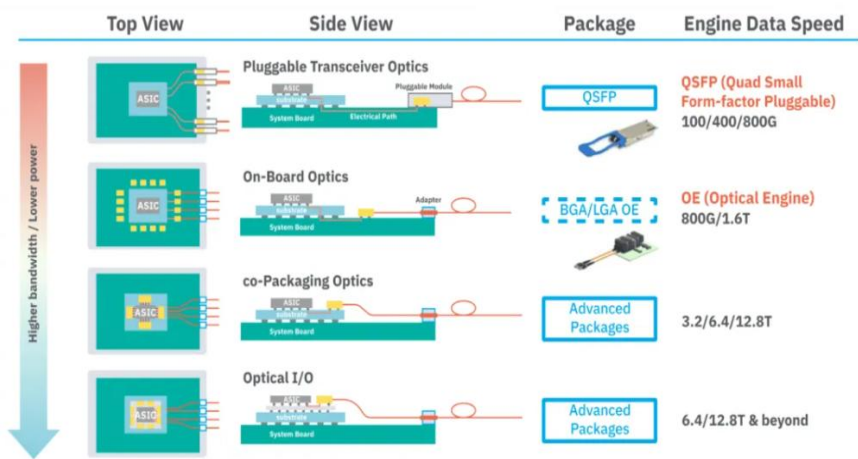


图14 Silicon Photonics技术构建模块<sup>[9]</sup>

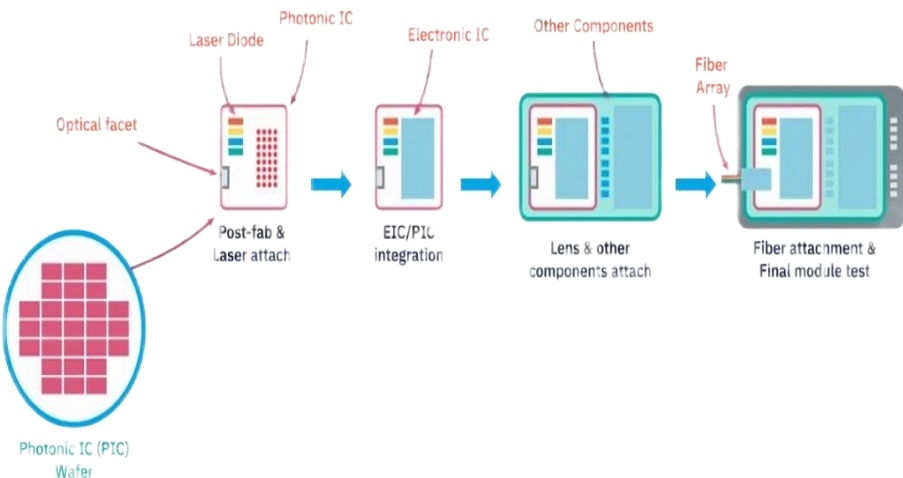


图15 Silicon Photonics应用<sup>[9]</sup>

# 03 技术方案1: 硅光子学集成硅基光波导的光学芯片设计

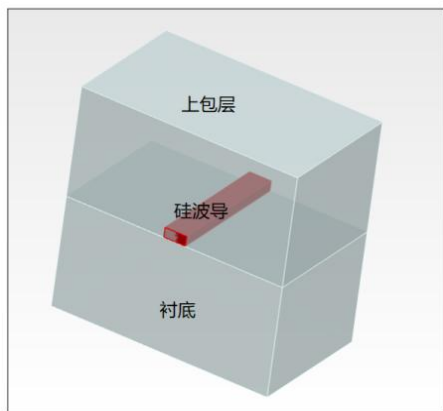


图16 硅基波导的基本结构<sup>[2]</sup>

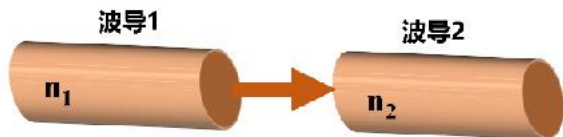


图17 纵向耦合原理示意图<sup>[1]</sup>

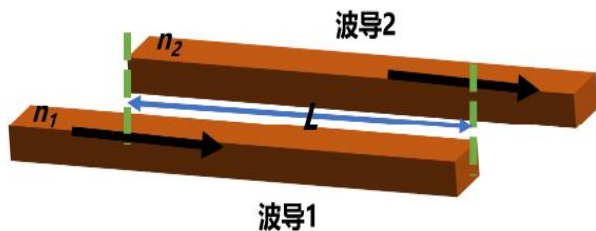


图18 横向耦合原理示意图<sup>[1]</sup>

## 硅基光波导

硅基光波导是硅光子学集成中最基本的元器件。通常上包层和衬底材料可选择折射率较小的 $\text{SiO}_2$ ，而波导层则选折射率较大的硅材料<sup>[2]</sup>。

当光从外部低折射率介质进入波导时，受芯层光密介质（硅）高折射率限制，光会被“封闭”在波导中并以“Z”字型路线沿波导轴向进行传播。

## 激光耦合

光耦合的类型根据耦合方向不同可分为：纵向耦合与横向耦合。

纵向耦合经常被用在不同波导之间的对接，如光纤与波导、激光器与波导之间的耦合；

横向耦合则是指光场模式在两个并列波导之间的能量交换，经常用在弱耦合条件下<sup>[1]</sup>。

# 03 技术方案1：硅光子学集成硅基光波导的光学芯片设计

## 具体实现方式

**光学波导：**使用光刻技术在硅片上制作硅基光波导，这些波导负责将激光束引导到指定位置，实现光束的分离、合并等功能。

**集成化设计：**通过纳米光刻技术将分束器、干涉光路、光学透镜等光学元件集成到单一的芯片上。

**光学芯片设计** { **光学波导设计：**波导的材料选择见上述，尺寸、传输效率等需要进行精确的计算，确保信号损失最小。  
**光纤耦合：**设计与光源、探测器的光纤接口，使光信号可以高效地耦合到芯片内

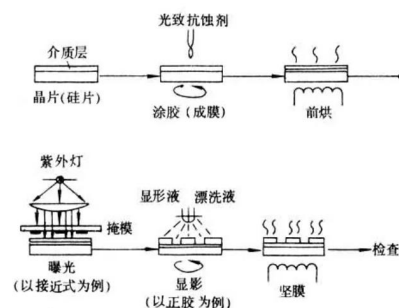
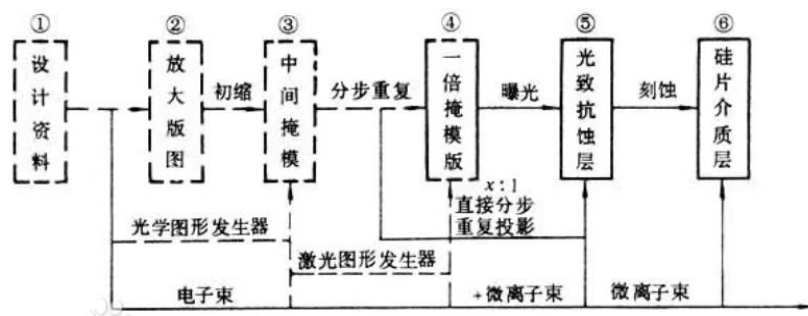


图19 硅光子学芯片制造工艺：光刻  
Chip & Integrated Microsystems



## 03 技术方案2: MEMS微型激光器与量子阱技术的应用

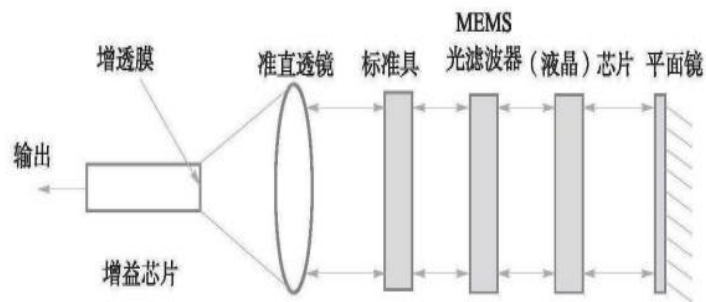


图20 基于MEMS的激光器结构<sup>[3]</sup>

### MEMS微型激光器

利用MEMS技术可以通过可调光滤波器作为波长选择元件来设计激光器<sup>[3]</sup>。通过微型化的设计，MEMS激光器可以提供比传统激光器更小的体积和更低的功耗。

### 激光谐振腔

使用微机械结构设计谐振腔，通过MEMS技术使谐振腔的尺寸极小，同时保证高效的激光发射。

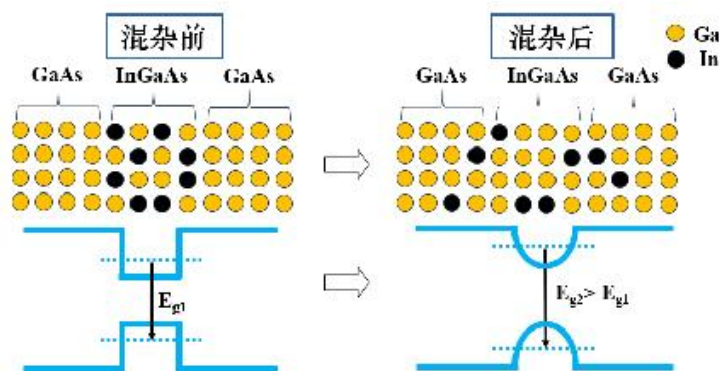


图21 量子阱混杂原理示意图<sup>[4]</sup>

### 量子阱混杂

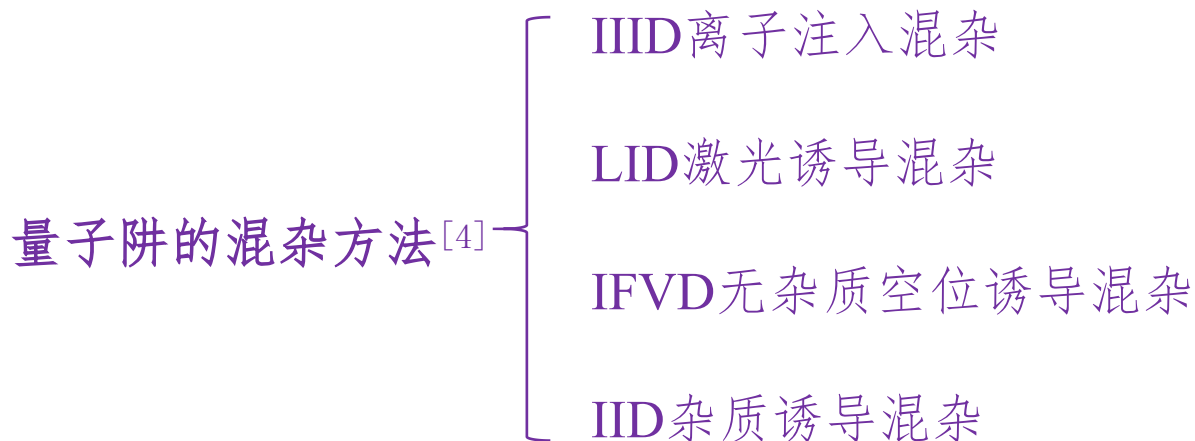
量子阱混杂作为一种调谐带隙宽度的方法在光子集成、光电集成电路、激光器的波长调谐等领域有广泛的应用<sup>[4]</sup>。通过量子阱技术在半导体材料中制造极薄的量子层，以改变电子能级，从而增强激光器的发光效率。

在MEMS激光器中应用量子阱技术，可以大幅提升激光器的性能和效率，确保输出光的功率稳定。

## 03 技术方案2: MEMS微型激光器与量子阱技术的应用

### 具体实现方式

**设计量子阱结构：**通过在半导体材料中制造极薄的量子层，以改变电子能级，从而增强激光器的发光效率。



**微型化封装：**将MEMS激光器集成到微型芯片中，采用适当的封装技术，确保激光器能够稳定工作。

# 03 技术方案3: CMOS探测器阵列与DSP技术

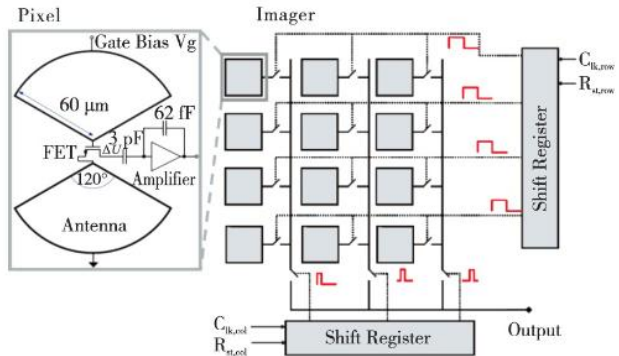


图22 3x4阵列的CMOS探测器<sup>[5]</sup>

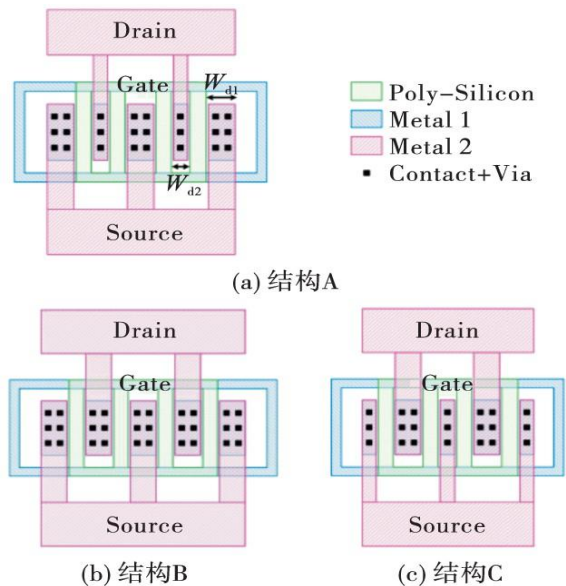


图23 探测器结构示意图<sup>[6]</sup>

## 具体实现方式

**CMOS探测器阵列：**CMOS技术是一种低功耗、高效率的光电探测技术。通过集成化的CMOS探测器阵列，可以将多个光电探测单元集成在同一芯片上，大大减少了外部连接和信号传输损耗。

**阵列设计：**每个CMOS探测器阵列单元负责接收来自干涉光路的光信号，并将其转化为电信号。通过并行处理，可以同时检测多个光束。

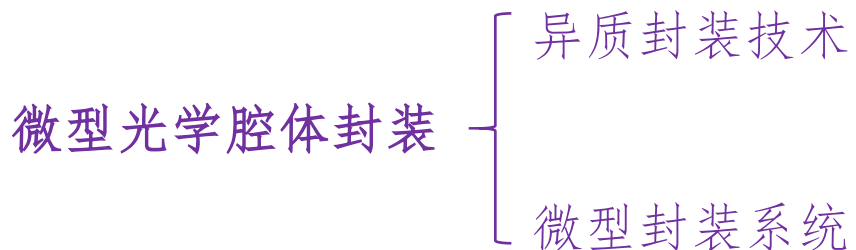
**DSP：**将探测器输出的模拟信号通过ADC转换为数字信号后，利用数字信号处理技术进行精确分析。处理包括噪声抑制、误差补偿等。

## 03 技术方案4——3D打印技术在微型封装中的设计

### 具体实现方式

**3D打印技术：**3D打印技术可以精确制造微型化的光学腔体和封装结构，通过层层打印材料，确保光学部件的精准对准和稳定性，为许多复杂结构的加工提供了经济而快速的选择<sup>[7]</sup>。

使用3D打印技术，制作复杂的光学腔体形状，避免传统封装方式中由于尺寸误差造成的光路偏差。



在微型化的设计中，光学腔体的尺寸非常小，传统的封装技术难以满足精确对准的要求。3D打印技术能根据设计要求定制光学腔体形状，确保光路精准对准。

# 04 总结与展望

# 04 总结与展望

01

## 创新性

通过集成化和微型化设计，可以提高传统激光干涉仪的便携性和精度

02

## 未来发展

微型化的激光干涉仪可以更加广泛应用于智能设备、医疗领域及新型制造业

03

## 技术挑战

提高集成度的同时，如何保证工作稳定性和光学性能是需要重视的问题

# 参考文献

- [1] 王延坤. 硅光集成芯片中激光模式耦合机制研究[D]. 山东师范大学, 2024. DOI:10.27280/d.cnki.gsdsu.2024.000291.
- [2] 张琦. 硅光集成器件系统仿真及应用研究[D]. 中南大学, 2023. DOI:10.27661/d.cnki.gzhnu.2023.004814.
- [3] 曹薇, 姚育成, 李劲, 等. 微机电系统技术在光纤通信中的应用[C]//湖北省机电工程学会. 2023机电创新与产教融合新思考论文集. 湖北工业大学理学院芯片产业学院; , 2023:4. DOI:10.26914/c.cnkihy.2023.073257.
- [4] 张悦. 量子阱混杂技术研究及其在高功率半导体激光器的应用[D]. 长春理工大学, 2023. DOI:10.26977/d.cnki.gccgc.2023.000452.
- [5] 张新, 徐辉, 傅海鹏, 等. CMOS太赫兹探测器研究进展[J]. 空间电子技术, 2024, 21(04):1-8+113.
- [6] KIM S, KHAN M I W, PARK D W, et al. Effects of parasitic source/drain junction area on terahertz responsivity of MOSFET detector[J]. IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology, 2018, 8(6):681-687.
- [7] 王远航. 基于微型激光诱导荧光检测模块的微芯片/毛细管电泳分析系统研制[D]. 兰州大学, 2022. DOI:10.27204/d.cnki.glzhu.2022.003628.

## 参考网络内容:

- [8] 深圳市中图仪器股份有限公司SJ6000激光干涉仪
- [9] 中国科学院半导体研究所. 《什么是硅光子学? Silicon Photonics的优势?》