Modeling and Simulation 建模与仿真, 2025, 14(5), 634-643
Published Online May 2025 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/mos
https://doi.org/10.12677/mos.2025.145421

Hans汉斯

双层氮化硅悬臂梁光MEMS加速度计

陈　欣[1,2]

[1]上海理工大学光电信息与计算机工程学院，上海
[2]中国科学院上海微系统与信息技术研究所传感器技术国家重点实验室，上海

收稿日期：2025年4月21日；录用日期：2025年5月14日；发布日期：2025年5月22日

摘　要

本研究旨在开发一款高精度光MEMS加速度计，在地震监测中能够检测微弱的地震波动和震动，有助于更早地识别地震活动并做出预警。首先，采用SolidWorks软件对加速度计进行三维建模。随后，通过COMSOL有限元仿真对器件进行灵敏度仿真，仿真结果显示器件灵敏度为359.6 nm/g。采用MEMS工艺完成加速度计悬臂梁质量块结构制造，并通过环氧树脂胶合形成法布里珀罗腔结构。再利用波长追踪法对器件进行灵敏度测试。将传感器沿重力场方向偏转角度，利用不同重力场分量对器件灵敏度进行标定。测试表明，器件灵敏度达到358.5 nm/g，与仿真值接近，并且在测试范围内加速度计非线性度误差为0.58%。此外，理论的机械热噪声为397 ng/√Hz。因此，文章建立了MEMS光加速度计的设计、仿真、制造及测试方法全流程，为高精度地震监测提供了有力技术保障，并为后续相关领域的深入研究与应用奠定了坚实基础。

关键词

光MEMS加速度计，三维建模，有限元仿真，法布里珀罗干涉法，地震监测

Dual-Layer Silicon Nitride Cantilever Beam Optical MEMS Accelerometer

Xin Chen[1,2]

[1]School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai
[2]State Key Laboratory of Sensor Technology, Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Shanghai

Received: Apr. 21st, 2025; accepted: May 14th, 2025; published: May 22nd, 2025

Abstract

The aim of this study is to develop a high-precision optical MEMS accelerometer, which is capable

文章引用: 陈欣. 双层氮化硅悬臂梁光 MEMS 加速度计[J]. 建模与仿真, 2025, 14(5): 634-643.
DOI: 10.12677/mos.2025.145421

of detecting weak seismic fluctuations and vibrations in seismic monitoring and helps to identify seismic activities earlier and make early warnings. Firstly, the accelerometer was modeled in 3D using SolidWorks software. Subsequently, the sensitivity of the device was simulated using COMSOL finite element simulation. The simulation results show that the sensitivity of the device is 359.6 nm/g. The fabrication of the accelerometer cantilever beam mass block structure is completed by using the MEMS process, and the Fabry Perot cavity structure is formed by epoxy resin gluing. The sensitivity of the device was tested using the wavelength tracking method. The sensor was deflected at an angle along the direction of the gravity field, and the device sensitivity was calibrated using different gravity field components. The tests show that the device sensitivity reaches 358.5 nm/g, which is close to the simulated value, and the accelerometer nonlinearity error is 0.58% over the tested range. In addition, the theoretical mechanical thermal noise is 397 ng/√Hz. Therefore, this paper establishes the whole process of MEMS optical accelerometer design, simulation, fabrication, and testing method, which provides a strong technical guarantee for high-precision seismic monitoring and lays a solid foundation for subsequent in-depth research and application in related fields.

Keywords

Optical MEMS Accelerometer, 3D Modelling, Finite Element Simulation, Fabry-Perot Interferometry, Seismic Monitoring

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

地震是一种自然灾害，具有突发性和破坏性，给人类社会带来了巨大的损失。随着地震监测技术的发展，科学家们逐步认识到，通过及时、准确地监测地震波动，能够有效提高地震预警的准确性，减少灾难的影响。加速度计作为地震监测中关键的传感器之一，能够高精度地捕捉到地面微小的震动变化，尤其是在监测低频微弱震动的领域中，起到了至关重要的作用[1]。传统的地震监测技术大多依赖于大型地震台站的布设，但这些设备通常体积庞大、安装复杂，且对环境要求较高，难以满足高精度监测的需求[2]。因此，开发一种能够实现高精度且体积小巧的地震监测加速度计，成为当前研究的热点和难点。

近年来，MEMS (微机电系统)技术的迅速发展，为加速度计的小型化、精度和性能提升提供了有力支持。光 MEMS 加速度计作为一种新型的加速度传感器，凭借其高精度、低噪声和高灵敏度的优点，已经逐渐在高精度地震监测中展现出广阔的应用前景。与传统的电容式、压电式加速度计相比，光 MEMS 加速度计具有更高的灵敏度和更小的体积，这使其在地震监测和预警系统中具备了独特的优势[3]。

加速度计的灵敏度是其最为关键的性能指标之一，直接关系到其对微弱震动的检测能力。传统加速度计的灵敏度一般较为有限，难以捕捉到低幅度、低频的地震前兆波动，而这种微弱的震动变化往往在地震发生前若干小时或若干天内就会出现[4]。因此，提高加速度计的灵敏度，尤其是对低频微小震动的响应能力，是当前研究的一个重要方向。研究表明，为了有效监测地震前的微小震动变化，加速度计的噪声水平达到 ng/√Hz 量级，以便捕捉到低于 0.1 Hz 频率范围内的地壳应力变化[5]。基于有限元仿真技术，可以有效预测光 MEMS 加速度计的灵敏度，提高加速度计性能优化迭代速度。

2018 年，合肥工业大学 Li 等人研究了一款空间光学加速度计[6]，该加速度计在 0.4~12 Hz 的频率范围内加速度测量范围为 0.31 mg~0.74 g，在 0.5~50 Hz 的频率范围内电噪声小于 16.3 μg/√Hz。2019 年，

得克萨斯大学的 R. P. Williams 等人研制了一种基于光栅干涉仪的光学读取惯性传感器[7]，其由光栅的相对运动对相位进行调制，得到在 0.1~100 Hz 频率范围内加速度噪声本底为 3 ng/√Hz。2021 年，西北大学提出一种可长期在井下使用的高可靠性 FBG 加速度计[8]，其利用检验质量产生的惯性力使对称倾斜的悬臂梁轻微弯曲，从而进一步拉伸轴向光纤光栅，以检测振动信号。该加速度计的工作频率范围为 0.1~30 Hz，室温下灵敏度为 290 pm/g，最大横向干扰为 3.6%。

本研究致力于开发一款高精度光 MEMS 加速度计，专门应用于地震监测领域。通过采用 SolidWorks 软件对加速度计进行三维建模，并通过 COMSOL 有限元仿真软件对其灵敏度进行预测。仿真结果表明，该加速度计的灵敏度为 359.6 nm/g。利用标准 MEMS 加工技术，制备晶圆级加速度计。通过法布里珀罗干涉峰波长追踪法对加速度计进行表征，其灵敏度为 358.5 nm/g，与仿真结果接近，并且在测试范围内非线性度误差为 0.58%。此外，实验测得传感器机械品质因子 Q 为 6，计算得机械热噪声为 397 ng/√Hz，这表明，本加速度计在实际应用中具有提供高精度地震监测数据的潜力。实验结果验证了仿真模型的准确性，表明本文建立的仿真模型可以有效预测光 MEMS 加速度计的灵敏度，提高性能优化迭代速度。

2. 加速度计的设计与仿真

2.1. 加速度计传感原理

加速度计是用于测量加速度的传感器，归类为振动型传感器[9]。其主要结构包括外框架和单自由度振动系统。单自由度振动系统由弹簧结构、质量块和阻尼器构成，并被安装在与待测结构连接的外框架内，如图 1 所示。

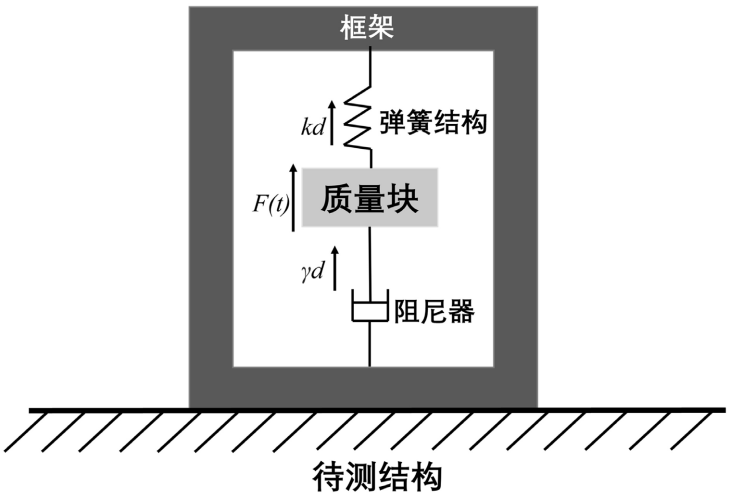

Figure 1. Simplified model of a single-degree-of-freedom vibration system
图 1. 单自由度振动系统简化模型

当待测结构振动时，单自由度振动系统中的质量块受外框架运动方向相反的惯性力作用，进而产生加速运动。根据牛顿第二定律，质量块的运动方程可描述为：

$$m\ddot{d} + \gamma\dot{d} + kd = ma(t) \tag{1}$$

其中，m 为质量块的质量，γ 为阻尼系数，k 为弹性系数，d 为质量块位移，a 为加速度计受到的加速度。单自由度振动系统的本征频率为 $\omega_0 = \sqrt{k/m}$，阻尼系数为 $\gamma = m\omega_0/Q$，其中 Q 为系统工作模态的品质因子。式(1)可化简得到：

$$\ddot{d}+\frac{\omega_0}{Q}\dot{d}+\omega_0^2 d=a(t) \tag{2}$$

经拉普拉斯变化后，系统随频率变化的力学响应可表示为：

$$-\omega^2 d(\omega)+\frac{i\omega\omega_0}{Q}d(\omega)+\omega_0^2 d(\omega)=a(\omega) \tag{3}$$

当外界加速度频率 ω 远远小于 ω_0 时，加速度计质量块位移和外界加速度呈线性相关，并且满足：

$$a=\omega_0^2 d \tag{4}$$

这表明，单自由度振动系统探测的加速度信号可通过质量块的位移进行测量。

分辨率是高精度加速度计的关键参数，由整个系统的噪声水平决定。加速度计的噪声 δa，由布朗热运动引起的机械热噪声 δa_{m-n} 和系统检测部分的等效加速度噪声 δa_{d-n} 组成，表示为[10]：

$$\delta a=\sqrt{\delta a_{m-n}^2+\delta a_{d-n}^2} \tag{5}$$

机械热噪声表示为：

$$\delta a_{m-n}=\sqrt{\frac{4k_B T\omega_0}{mQ}} \tag{6}$$

其中 k_B 为玻尔兹曼常数，T 为温度(单位 K)。为了减小机械热噪声，可增大质量块质量、降低系统本征频率以及提高系统机械品质因子。然而过重的质量块质量以及较低的本征频率会提高系统的交叉轴灵敏度，使得测量准确度下降[11]。双层悬臂梁结构的本征频率和高阶频率间隔较大，使得面内刚度远大于面外刚度[11]。因此，本文设计双层悬臂梁结构作为弹簧结构支撑质量块，在降低交叉轴灵敏度的同时，减少机械热噪声。

图 2 展示了双层悬臂梁结构的光 MEMS 加速度计。该加速度计由弹簧层、垫片和基底层组成。弹簧层上集成了由 MEMS 工艺制作的硅质量块。质量块由氮化硅(Si_3N_4)悬臂梁支撑。并且在质量块背面沉积金属，以提高反射率。基底层正反两面分别沉积高反射率和高透射率的介质薄膜。利用环氧树脂，将弹簧层和基底层胶合组装，并利用不锈钢垫片控制两层之间的间距。弹簧层的金面和基底层的高反膜形成法珀腔干涉结构，用于检测质量块在外界加速度下的位移。

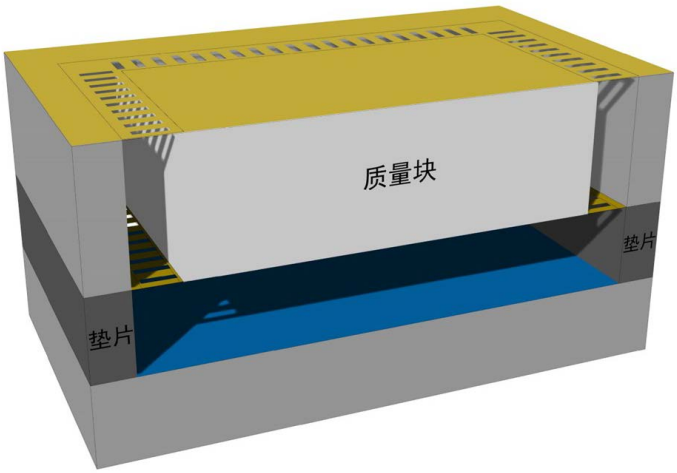

Figure 2. Cross-sectional diagram of accelerometer
图 2. 加速度计横截面示意图

由外界施加的加速度引起质量块的位移从而引起 FP 腔体长度的变化。基于牛顿第二定律与胡克定律，腔长变化量 Δh 可以表示为：

$$\Delta h = \frac{m\Delta a}{k} \tag{7}$$

FP 腔体长度 h 表示为[12]：

$$h = \frac{\lambda_0^2}{2nFSR} = \frac{\lambda_m \lambda_{m+1}}{2n\left(\lambda_m - \lambda_{m+1}\right)} \tag{8}$$

其中，n 为 FP 腔体中空气的折射率，FSR 为自由光谱范围，λ_0 为通过反射光光谱中的共振峰波长，λ_m 和 λ_{m+1} 分别为两个相邻的共振峰波长。由于 FP 腔体中共振光的光程是其波长的整数倍，FP 腔体的长度还可以表示为[13]：

$$h = i\lambda_0 \tag{9}$$

其中，i 为腔体与波长的转换比率。结合上述两个公式，FP 腔体的位移 Δh 可表示为：

$$\Delta h = \frac{m}{ik}\Delta a \tag{10}$$

因此，反射光光谱中共振峰波长的变化与施加加速度之间存在线性关系。

2.2. 基于 SolidWorks 与 COMSOL 的加速度计设计与仿真

在微机电系统(MEMS)传感器的设计中，悬臂梁－质量块结构作为传感器的核心元件，直接影响着加速度计的灵敏度和探测频率。在加速度计设计中，悬臂梁的数量和尺寸直接影响传感器的性能。在本设计中，每侧采用 100 根悬臂梁，长度为 200 μm，宽度为 40 μm，厚度为 1.5 μm，如图 3 所示。

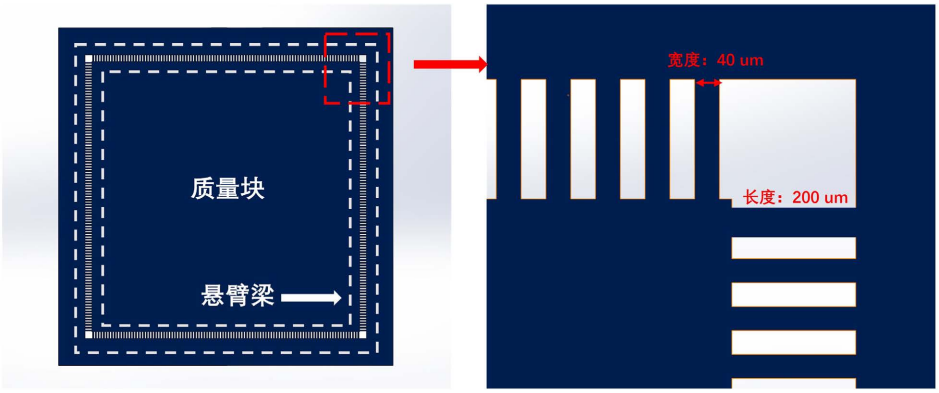

Figure 3. SolidWorks modeling diagram
图 3. SolidWorks 建模平面图

利用 COMSOL Multiphysics 软件，将光机械加速度计三维模型导入固体力学物理场中进行有限元仿真分析。首先，模拟了加速度计在 1 g 的外部加速度负载下的应力分布，如图 4(a)所示。应力最大处出现在氮化硅薄膜和框架的连接处，这是由于悬臂梁和框架发生界面突变导致的应力集中，如图 4(b)所示。最大应力为 0.1 GPa，远低于氮化硅材料的断裂强度，因此结构在 1 g 负载下不会发生断裂[14]。如图 4(c)所示，传感器在 1 g 的加速度负载下，质量块沿 Z 轴发生 593.737 nm 位移，进而得到器件的灵敏度为 359.6 nm/g。此外，仿真得到加速度计的本征频率为 1014.4 Hz，二阶本征频率为 8717.2 Hz，有效降低交叉轴灵敏度。

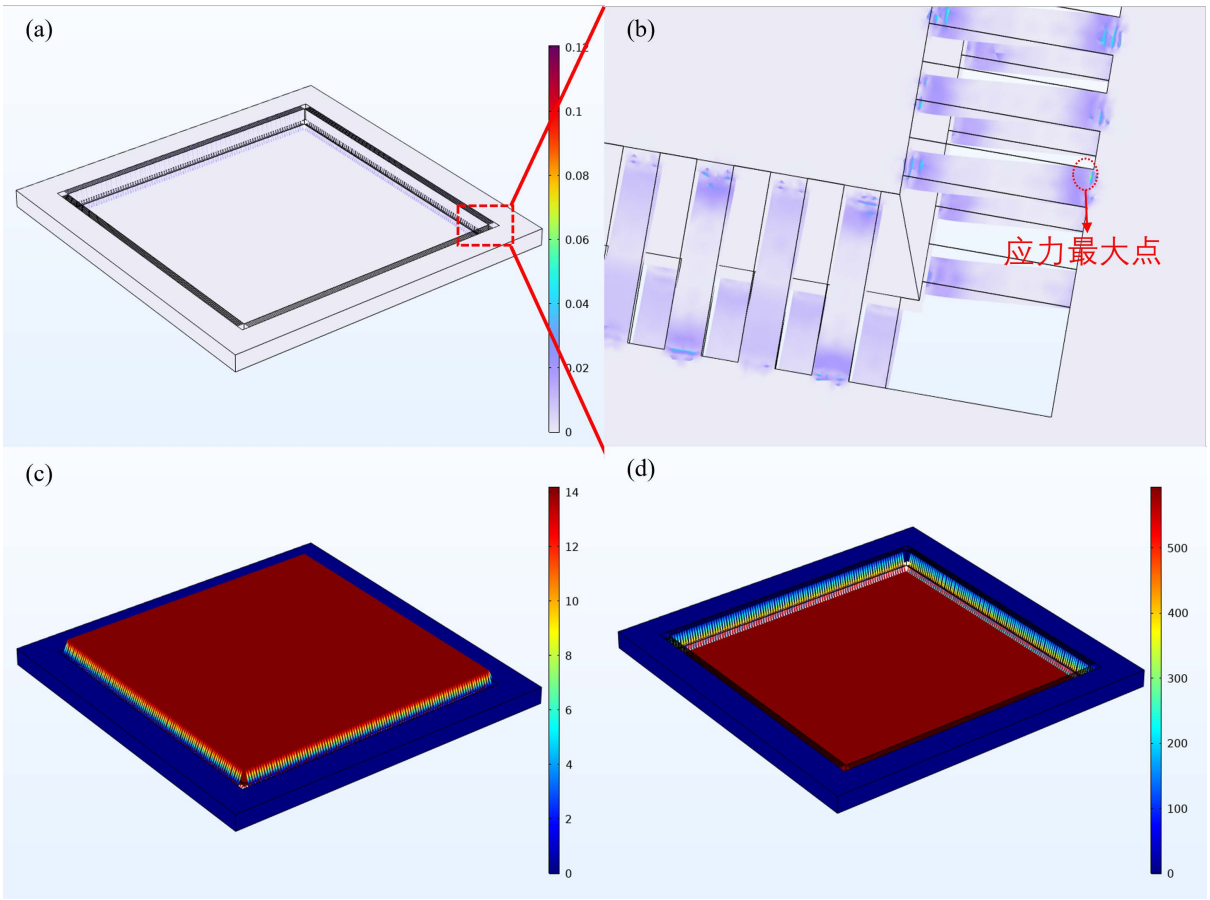

Figure 4. (a) Finite element analysis (FEA) of stress simulation distribution based on COMSOL; (b) The local diagram of the maximum stress point; (c) FEA of first resonant frequency; (d) Displacement simulation under 1 g gravity
图 4. (a) 基于 COMSOL 的应力仿真分布图；(b) 最大应力点局部示意图；(c) 1 阶共振频率仿真分析图；(d) 1 g 位移仿真示意图

3. 加速度计的制造与测试

3.1. 制造工艺概述

在前文中，我们通过 SolidWorks 软件完成了双层悬臂梁－质量块结构的三维建模，并在此基础上利用 COMSOL 仿真软件进行了性能分析。为了验证仿真结果的准确性，本文进一步采用微纳加工工艺对该结构进行晶圆级制备。传感器芯片的制造过程如图 5 所示。

首先，选择 500 μm 厚的双面抛光硅片作为基底材料，确保图案在硅片两侧对称排列。随后，采用低压化学气相沉积(LPCVD)技术在硅片表面沉积 1.5 μm 厚的氮化硅(Si_3N_4)膜层，该膜层将作为悬臂梁的支撑结构并为后续的刻蚀提供保护。在膜层沉积完成后，我们进行第一次光刻，通过光刻工艺转移设计图案。图案转移后，使用反应离子刻蚀(RIE)技术对氮化硅膜进行图案化刻蚀。为了定义双面氮化硅悬臂梁结构，我们在硅片的另一面涂覆光刻胶，并进行反面光刻，从而实现双面图案转移。接着，通过静电膜贴合工艺增强结构的稳定性，为深刻蚀过程提供保障。接下来，采用 RIE 工艺对氮化硅层进行刻蚀，并利用深反应离子刻蚀(DRIE)技术完成硅片的深刻蚀穿孔，最终形成悬臂梁结构。深刻蚀完成后，我们去除静电膜并清除残余的光刻胶，暴露出完整的悬臂梁结构。为了后续器件测试的需要，我们使用溅射技术在表面沉积金层，并将器件切割成 1 cm × 1 cm 的小片。最后，采用二氟化氙气体腐蚀悬臂梁下方残留

的硅材料，完成双层悬臂梁的释放工艺。悬臂梁释放完成之后，利用扫描电子显微镜(SEM)对腐蚀后的结构进行观察，如图 6 所示。可以看出，氮化硅悬臂梁下方的硅已经被完全去除，达到设计所需的仅剩氮化硅薄膜。

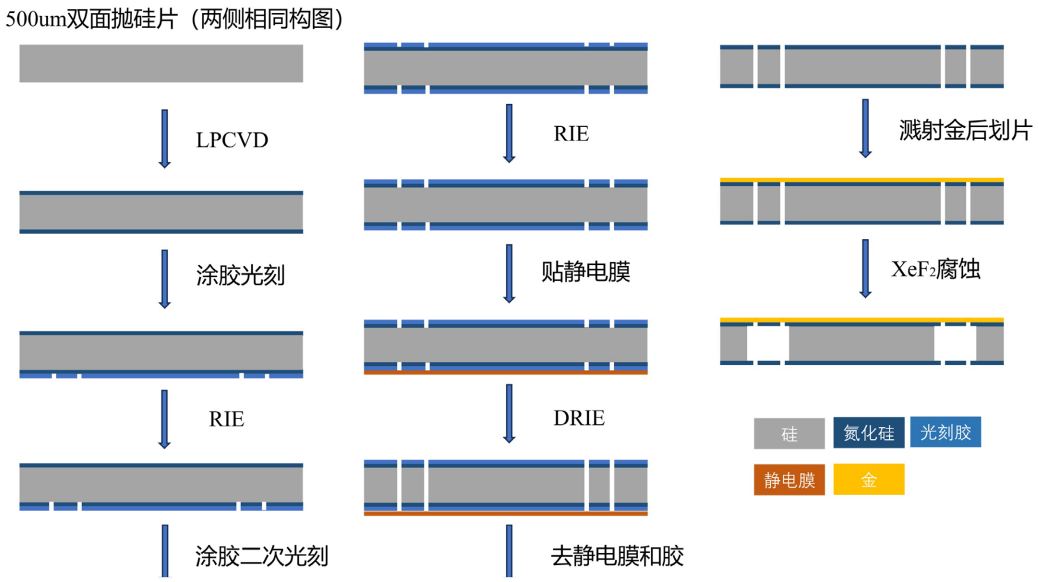

Figure 5. Manufacturing process flow diagram
图 5. 制造工艺流程图

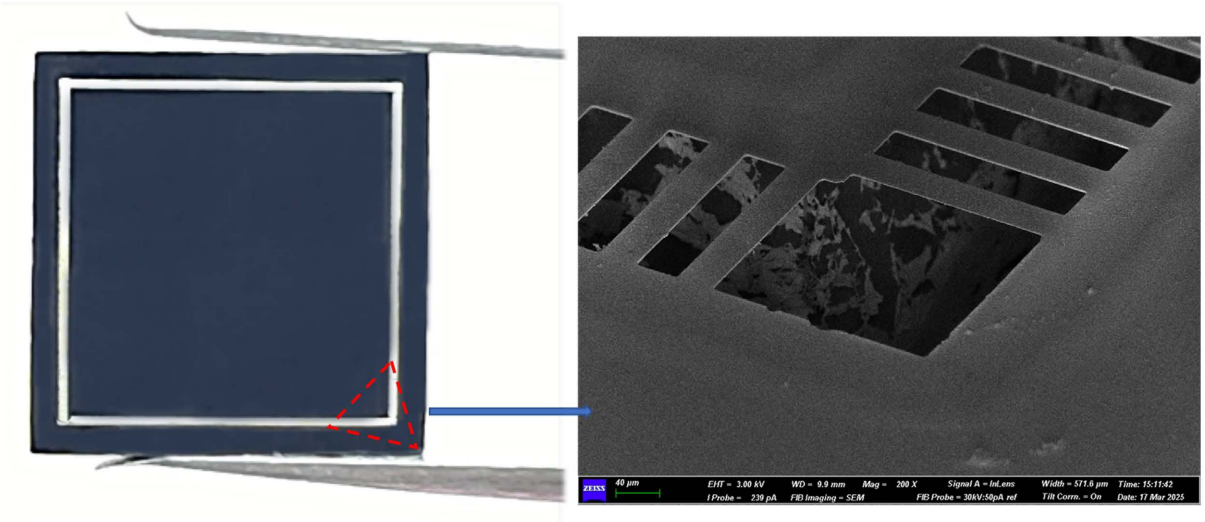

Figure 6. Double-layer cantilever beam-mass block photographs and local SEM images
图 6. 双层悬臂梁－质量块实物图及局部 SEM 图

3.2. 灵敏度测试方法与实验结果

光纤 MEMS 加速度计的灵敏度测试是评估其性能的关键环节，本实验基于法布里－珀罗(Fabry-Pérot, FP)干涉原理构建测量系统，如图 7 所示。

实验装置包括光纤光栅解调仪(Luna，si155，跟踪精度为 2 pm，采样率为 5 khz)、角位台(AGS15-195)、驱动台和 PC 数据采集系统。利用光纤光栅解调仪对本文组装的光 MEMS 加速度计反射光光谱进行表征，

如图 7 所示。根据公式(8)和(9)，法珀腔的自由光谱程 FSR、法珀腔腔长 h 和腔长－波长转化比率 i，分别为 21.53 nm、55.18 um 和 35.6 μm/nm。由于环氧树脂胶厚，导致最终法珀腔腔长大于垫片厚度。

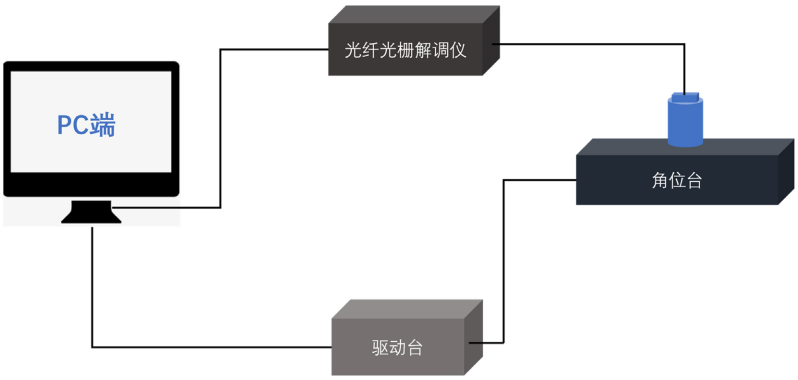

Figure 7. Sensitivity measurement system schematic
图 7. 灵敏度测量系统示意图

加速度计的灵敏轴垂直安装在平台表面上，利用角位台控制传感器沿重力方向偏转角度，如下图 8 所示。倾斜范围设置为 0 到 15 度，对应于重力变化 $g\cos\theta$。实验采用角位台对偏转传感器进行了逐步调节，调节范围为 0°至 15°，步长为 3°，对应的加速度依次为 0 g、0.00137 g、0.00547 g、0.0123 g、0.02185 g 和 0.034 g。通过光纤光栅解调仪记录干涉峰的波长变化，并结合腔长－波长转换比率 i，计算得到加速度与腔长变化之间的关系，如下图 9 所示。

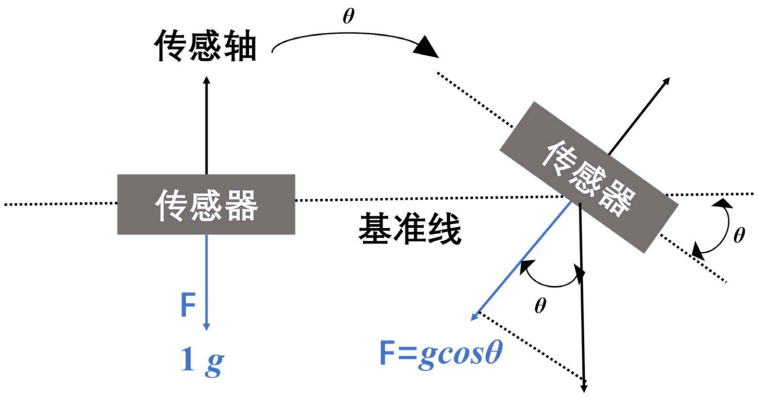

Figure 8. Gravitational field calibration testing method
图 8. 重力场标定测试法

实验结果表明，加速度与腔长变化呈现线性关系。灵敏度曲线的拟合方程为：

$$\Delta h = S \cdot \Delta a \tag{11}$$

其中，S 表示灵敏度，a 为加速度。实验测得的灵敏度约为 358.5 nm/g，与仿真数据 359.6 nm/g 接近，验证了理论模型的准确性。将测量值与线性拟合值的差值定义为不同加速度下的非线性偏差。不同加速度下的偏差如图 10 所示，其中最大偏差为 0.071 nm@0 g，表明传感器存在零漂现象[13]。因此，该传感器的非线性误差为 0.58%。在实验室环境下该传感器的机械品质因子 Q 为 6，由公式(6)可得机械热噪声 δa_{m-n} 为 397 ng/√Hz。

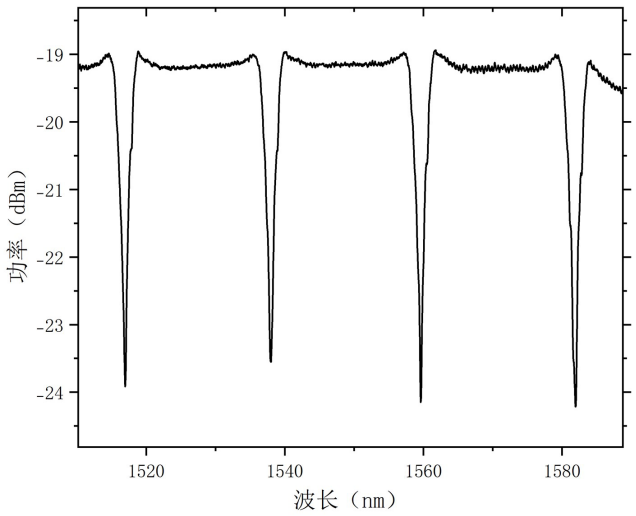

Figure 9. Initial spectrum diagram
图 9. 初始光谱图

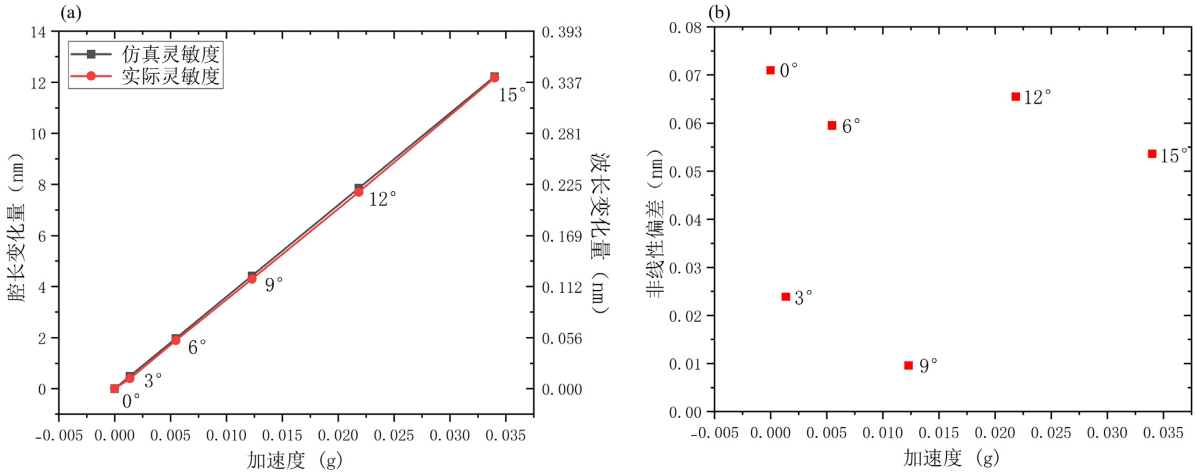

Figure 10. (a) Simulation and actual sensitivity comparison analysis; (b) Nonlinear deviation under different accelerations
图 10. (a) 仿真与实际灵敏度的对比分析；(b) 不同加速度下的非线性偏差

4. 结论

本研究设计、仿真、制造并测试了一款面向高精度地震监测应用的光 MEMS 加速度计，系统性地展示了从理论建模到实验验证的全过程。研究的核心目标是开发一种能够检测微弱地震波动的高灵敏度传感器，以期提升地震预警能力。为此，我们首先运用 SolidWorks 软件对加速度计的核心传感结构——悬臂梁－质量块系统——进行了三维建模，随后，使用 COMSOL Multiphysics 有限元分析平台，对设计的加速度计模型在固体力学物理场中进行了仿真。仿真结果显示，该加速度计的理论灵敏度为 359.6 nm/g。本征频率为 1014.4 Hz，二阶频率为 8717.2 Hz，验证了氮化硅双层梁结构能够抑制非敏感轴干扰。此外，利用氮化硅的机械稳定性来支撑质量块，实现了理想的活塞式位移。基于仿真结果，我们采用微纳加工工艺技术，成功制造出悬臂梁－质量块结构。最后，我们搭建了基于法布里－珀罗(Fabry-Pérot, FP)干涉原理的灵敏度测试系统。利用光纤光栅解调仪测量重力场分量引起的 FP 腔长变化。实验结果表明，加速度计的实际测量灵敏度达到了 358.5 nm/g，与 COMSOL 的仿真值接近。传感器在测试范围内非线性度误

差为 0.58%。

综上所述，本研究建立了双层氮化硅悬臂梁光 MEMS 加速度计建模、仿真、制造、测试的全流程，并研制出一款灵敏度为 358.5 nm/g 以及机械热噪声为 397 ng/√Hz 的光 MEMS 加速度计。该传感器灵敏度和低噪声使其在地震监测等需要精确感知微弱加速度变化的领域具有应用潜力，为发展更有效的地震预警系统提供了技术支撑，并为相关微型传感器的设计与优化奠定了基础。

参考文献

[1] Liu, Q., He, Z. and Tokunaga, T. (2015) Sensing the Earth Crustal Deformation with Nano-Strain Resolution Fiber-Optic Sensors. *Optics Express*, **23**, A428. https://doi.org/10.1364/oe.23.00a428

[2] 黄稳柱, 张文涛, 李芳. 基于光纤传感的多参量地震综合观测技术研究[J]. 地球科学进展, 2019, 34(4): 424-432.

[3] Zhang, C., Shi, B., Gu, K., Liu, S., Wu, J., Zhang, S., *et al*. (2018) Vertically Distributed Sensing of Deformation Using Fiber Optic Sensing. *Geophysical Research Letters*, **45**, 11,732-11,741. https://doi.org/10.1029/2018gl080428

[4] 吴忠良, 蒋长胜. 地震前兆检验的地球动力学问题对地震预测问题争论的评述(之三) [J]. 中国地震, 2006, 22(3): 236-241.

[5] El Mansouri, B., Middelburg, L.M., Poelma, R.H., Zhang, G.Q., van Zeijl, H.W., Wei, J., *et al*. (2019) High-Resolution MEMS Inertial Sensor Combining Large-Displacement Buckling Behaviour with Integrated Capacitive Readout. *Microsystems & Nanoengineering*, **5**, Article No. 60. https://doi.org/10.1038/s41378-019-0105-y

[6] Li, R., Lei, Y., Chang, Z., Zhang, L. and Fan, K. (2018) Development of a High-Sensitivity Optical Accelerometer for Low-Frequency Vibration Measurement. *Sensors*, **18**, Article 2910. https://doi.org/10.3390/s18092910

[7] Williams, R.P., Hall, N.A. and Avenson, B.D. (2019) Grating-Based Acceleration Sensors with Optical Interferometric Readout and Closed-Loop Control. 2019 20*th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems & Eurosensors XXXIII* (*TRANSDUCERS & EUROSENSORS XXXIII*), Berlin, 23-27 June 2019, 507-510. https://doi.org/10.1109/transducers.2019.8808749

[8] Li, S., Feng, Z., Ma, Q., Wang, R., Zhou, R. and Qiao, X. (2021) Fiber Bragg Grating Accelerometer Based on Symmetrical Tilting Cantilever Beams and Solder Glass Packaging for Harsh Environment. *Optical Fiber Technology*, **65**, Article 102579. https://doi.org/10.1016/j.yofte.2021.102579

[9] Eager, D., Hossain, M.I., Lindqvist, A.L. and Zhou, S. (2024) City Bus Seat Vibration Analysis Using 6-Axis Accelerometer and Gyroscope Sensors. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 29865. https://doi.org/10.1038/s41598-024-80804-5

[10] Yan, S., Xie, Y., Zhang, M., Deng, Z. and Tu, L. (2017) A Subnano-G Electrostatic Force-Rebalanced Flexure Accelerometer for Gravity Gradient Instruments. *Sensors*, **17**, Article 2669. https://doi.org/10.3390/s17112669

[11] Zhou, F., Bao, Y., Madugani, R., Long, D.A., Gorman, J.J. and LeBrun, T.W. (2021) Broadband Thermomechanically Limited Sensing with an Optomechanical Accelerometer. *Optica*, **8**, 350-356. https://doi.org/10.1364/optica.413117

[12] Wang, S., Yang, Y., Wu, L., Mohanty, L., Jin, R., Zhang, L., *et al*. (2021) *In-situ* Adjustable Fiber-Optic Piezometer Based on Parallelly Structured External Fabry-Perot Interferometers with Vernier Effect and Its Harmonics. *Optics Express*, **29**, 42800-42812. https://doi.org/10.1364/oe.445192

[13] Hu, Y., Cao, L., Nie, S., Liu, Q., Xie, F., Peng, X., *et al*. (2024) MEMS Fabry-Perot Sensor for Accurate High Pressure Measurement up to 10 MPa. *Optics Express*, **32**, 37059-37072. https://doi.org/10.1364/oe.534552

[14] Reboh, S., Morin, P., Hÿtch, M.J., Houdellier, F. and Claverie, A. (2013) Mechanics of Silicon Nitride Thin-Film Stressors on a Transistor-Like Geometry. *APL Materials*, **1**, Article 042117. https://doi.org/10.1063/1.4826545