|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **学生学号** | 0122204950903 | **实验课成绩** |  |

**.**

**学 生 实 验 报 告 书**

|  |  |
| --- | --- |
| **实验课程名称** | 光纤传感技术及应用 |
| **开 课 学 院** | 机电工程学院 |
| **指导教师姓名** | 刘繄 |
| **学 生 姓 名** | 林兆先 |
| **学生专业班级** | 测控2203 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 2024 | -- | 2025 | 学年 | 第 | 二 | 学期 |

实验课程名称： 光纤传感技术及应用

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **实验项目名称** | **光纤光栅拉伸应变标定实验** | | | **实验成绩** |  |
| **实 验 者** | **林兆先** | **专业班级** | **测控2203** | **组 别** | **第五组** |
| **同 组 者** |  | | | **实验日期** | **2025年6月6日** |
| 第一部分：实验预习报告（包括实验目的、意义，实验基本原理与方法，主要仪器设备及耗材，实验方案等）   1. 实验目的   本次实验旨在通过光纤光栅传感器实现对拉伸应变的测量，具体目标包括：   * 理解光纤光栅的工作原理及其在应变测量中的应用。 * 掌握光纤光栅的反射波长与轴向应变之间的关系，学习如何计算其灵敏度系数。 * 通过实验验证光纤光栅的应变传感特性，验证反射光波长变化与轴向应变之间的数学关系。 * 学习如何对光纤光栅传感器进行标定，掌握实验中光纤光栅的固定与保护方法。  1. 实验基本原理与方法 2. 光纤光栅原理   光纤光栅是光纤中一种特殊的区域，其中光纤纤芯的折射率沿轴向周期性地变化。当特定波长的光传入光纤光栅时，会发生部分反射。根据布拉格条件，光纤光栅的反射波长与光纤光栅的周期（Λ）和折射率（n）相关。通过外部应变的作用，光纤光栅的周期和折射率会发生变化，从而引起反射波长的偏移。   1. 应变测量原理   施加在光纤光栅上的轴向力（如拉伸）会改变光纤的物理长度和光纤光栅的周期，同时折射率也会发生变化。这些变化会导致反射波长的变化。通过测量波长的变化，可以得到施加的应变值。实验中，通过施加不同的轴向拉力，记录光纤光栅的反射波长变化，根据反射波长与应变的数学关系计算出传感器的灵敏度。  实验方法：  1） 连接实验设备，启动光纤光栅解调仪与电脑上的解调软件，确保设备正常工作。  2） 固定光纤光栅于拉伸装置中，记录光纤光栅在不受力时的初始反射波长。  3） 施加微小的轴向拉力，并通过调整微位移平台测量不同微应变下的光纤光栅反射波长变化。  4） 计算不同应变下的波长变化，绘制应变与波长变化的关系曲线，分析光纤光栅传感器的灵敏度。   1. 实验设备   （1）光纤光栅传感器  （2）光纤光栅解调仪（型号：SA-10003784）  （3）千分头  （4）轴向微位移平台  （5）光纤与连接线   * 1. 计算机与实验软件  1. 实验意义   光纤光栅传感器在应变、压力、温度等物理量的测量中有着广泛的应用，其具有高灵敏度、抗电磁干扰、可远程传输等优点。了解光纤光栅的工作原理及应变传感特性，不仅可以为结构健康监测、航空航天等领域提供可靠的技术支持，还能为相关领域的科学研究和工程应用提供实验数据与理论基础。本次实验为进一步研究光纤光栅的性能及其在应变测量中的应用提供了一个基础平台。 | | | | | |
| 第二部分：实验过程记录（可加页）（包括实验原始数据记录，实验现象记录，实验过程发现的问题等）   1. 实验准备：   1）检查实验装置：   * 检查光纤光栅传感器、光纤光栅解调仪（型号：SA-10003784）、轴向微位移平台等实验设备是否完好，确保各设备无损坏并处于工作状态。 * 确认光纤端口的防尘盖是否紧闭，避免灰尘或其他污染物进入光纤端口。   2）检查光纤端面：   * 使用酒精棉球清洁光纤端面，确保端面没有灰尘、油污或其他杂质，以保证数据的准确性。   3）设备连接：   * 将光纤的两端与实验台上的端口进行连接，确保连接紧固。 * 启动电脑上的光纤光栅解调软件，并确保与解调仪之间的通讯正常。通过软件确认解调仪已连接并能成功读取数据。 * 在解调软件中选择正确的端口，观察并确认光纤光栅的反射峰数据是否显示在软件界面中，确保数据采集系统准备就绪。  1. 标定实验：   1）光纤光栅固定：   * 将光纤光栅的两端固定到拉伸底座的光纤固定块中，确保光纤光栅在实验过程中不会出现松动。 * 使用合页结构和金属压片将光纤光栅压紧，避免因松动导致的测量误差。   2）初始波长记录：   * 在光纤光栅未受到轴向拉力作用时，记录此时光栅的初始反射波长。确保这一初始数据的准确性，作为后续波长变化的基准。   3）微位移零点调整：   * 松开限位螺杆，使得滑块可以沿光轴方向自由移动。 * 移动滑块，直到光纤光栅刚刚处于紧绷状态，此时波长出现轻微变化。此时记录此时的波长数据，作为微位移零点。   4）施加轴向拉力：   * 转动微位移调节旋钮，施加轴向拉力。每转动一格（0.01mm位移），记录对应的波长数据。 * 持续施加轴向拉力，直到旋钮转动到25格（即施加1000微应变，转换为0.25mm位移）。此时停止转动并结束记录数据。  1. 实验数据记录如下表所示，我们记录了约30组数据，在微应变为120 u后发现了相关的线性规律：   试验记录表   |  |  | | --- | --- | | 微应变/u | 中心波长/pm | | 120 | 1556880 | | 160 | 1556896 | | 200 | 1556887 | | 240 | 1556890 | | 280 | 1556927 | | 320 | 1556942 | | 360 | 1556914 | | 400 | 1557000 | | 440 | 1557033 | | 480 | 1557060 | | 520 | 1557100 | | 560 | 1557150 | | 600 | 1557182 | | 640 | 1557220 | | 680 | 1557280 | | 720 | 1557315 | | 760 | 1557350 | | 800 | 1557386 | | 840 | 1557430 |  1. 实验数据处理：   根据实验要求，根据公式计算光纤光栅应变传感器灵敏度，结合此次实验数据，我们需要计算出每组数据的灵敏度数值，最后取平均值计算出结果，即：  对于第一组数据，，  则可以计算出相对波长变化：，  则可以计算出灵敏度系数：，  类似地，对所有数据点计算灵敏度系数，然后计算这些值的平均值。最终结果是：  根据实验报告的需求，还需要进行线性度的计算：  线性度通常通过计算线性回归的R2值来衡量。  首先需要建立线性回归模型，要计算微应变ϵ和相对波长变化之间的线性关系。使用线性回归模型，。  然后，根据R2的计算公式：  其中，是实际观察值（实验数据中的相对波长变化）。  是模型预测值（由拟合直线得出的预测波长变化）。  是数据的平均值。  最后，经过对计算得到，R2的值为0.9590，这表示微应变与相对波长变化之间有很高的线性关系，拟合度非常好。  同时根据实验数据，对其绘制为直线图，可以发现有很高的线性关系，如下图所示： | | | | | |
| 第三部分 结果与讨论（可加页）  **一、实验结果分析（包括数据处理、实验现象分析、影响因素讨论、综合分析和结论等）**  （1） 数据处理  本次实验通过光纤光栅传感器记录了不同微应变下光纤光栅反射波长的变化。根据公式，我们对实验数据进行了处理，计算出光纤光栅应变传感器的灵敏度系数，最终得到平均灵敏度系数。  （2）实验现象分析  在实验过程中，随着施加的微应变逐渐增大，光纤光栅的反射波长发生了显著的变化。这表明光纤光栅对微小应变具有较高的灵敏度，能够有效地将应变变化转化为波长变化。在数据的线性拟合过程中，观察到波长变化与微应变之间呈现明显的线性关系，表明光纤光栅在一定应变范围内表现出良好的线性响应。  通过线性回归分析，得到拟合的R2值为 0.9590，表明微应变与相对波长变化之间的线性关系非常强，拟合效果非常好。  （3） 影响因素讨论  在实验过程中，存在一些可能影响实验结果的因素，主要包括以下几个方面：  温度变化：温度变化可能会影响光纤光栅的折射率，进而导致波长的偏移。因此，在实际应用中，温度变化是影响光纤光栅传感器准确性的一个重要因素。为减少温度对实验结果的影响，可以采用温度补偿技术。  光纤光栅的固定性：实验过程中，光纤光栅的固定性对波长变化的准确性有重要影响。如果光纤光栅的固定不够牢固，可能会出现松动或变形，导致波长变化的测量误差。因此，光纤光栅的固定必须确保稳固、无松动。  光纤光栅的周期和质量：光纤光栅的周期和材料质量直接影响其灵敏度。如果光纤光栅周期不均匀或者光纤材料的弹性模量不稳定，会导致测量结果的不稳定。  （4） 综合分析  通过对实验数据的处理和分析，我们可以得出以下几点结论：  光纤光栅传感器具有很高的灵敏度，可以准确地反映微小的应变变化。实验结果表明，光纤光栅的波长变化与微应变之间呈现出良好的线性关系。  线性回归分析表明，微应变和相对波长变化之间的关系非常接近直线，拟合的R2值为 0.9590，表明光纤光栅传感器在该应变范围内具有优良的线性度。  实验中，通过计算灵敏度系数K，得到的平均灵敏度系数为 0.000226。这一结果表明，光纤光栅传感器对微应变的响应是可以量化的，且在给定的应变范围内具有稳定的灵敏度。  **二、小结、建议及体会**  （1） 小结  本次实验验证了光纤光栅传感器在应变测量中的高灵敏度和良好的线性响应。实验结果显示，微应变与反射波长变化之间具有明显的线性关系，灵敏度系数为 0.000226，拟合的R2值为 0.9590，证明了光纤光栅在精确应变测量中的可靠性。  （2）建议  在实际应用中，需考虑温度对光纤光栅的影响，采用温度补偿技术来提高测量精度；加强光纤光栅的固定性，避免因松动而导致的误差；提高光纤光栅材料的均匀性和稳定性，以增强其长期稳定性。  （3）体会  通过本次实验，我深入了解了光纤光栅的工作原理和在应变测量中的应用。实验数据处理和线性回归分析让我掌握了应变测量与光纤光栅反射波长变化的关系，提升了我的实验和数据分析能力。  **三、思考题**  **问题1 光纤波长变化与拉伸长度有线性对应关系，实验结果是否符合该对应关系？请你分析一下。**  答：在本次实验中，光纤光栅的反射波长变化与拉伸长度之间的关系是通过微应变来体现的，理论上，这两者应当呈线性对应关系。根据以下公式：  实验结果分析：  （1）实验数据的线性拟合：  在实验中，我们通过测量不同微应变下的反射波长，计算出相对波长变化  和微应变之间的关系。通过线性回归分析，得到了R2值为0.9590，表明微应变与波长变化之间有非常强的线性关系。这个拟合度接近 1，证明实验数据与理论上预期的线性关系非常一致。 （2）灵敏度系数计算：  根据实验数据，计算得到的灵敏度系数K的平均值为0.000226，这表明每单位微应变对应的波长变化是固定的，从而支持了光纤波长变化与拉伸长度之间的线性关系。  （3）误差来源：  尽管实验数据与理论线性关系高度符合，但也存在一定的实验误差，主要可能来源于：  1）光纤光栅的固定方式不够完美，导致光纤的微小滑动或松动；  2）温度变化可能对实验结果产生一定影响，尤其是光纤的折射率会随温度变化而变化；  3）测量设备的精度限制，可能导致波长的微小偏差。  **问题2 若想提高应变传递效率，应该改变哪些参数？**  1. 光纤光栅的长度：  延长光纤光栅长度：光纤光栅的长度直接影响其对应变的响应能力。较长的光纤光栅会在同样的应变作用下产生更大的波长变化，从而提高传感器的灵敏度。  2. 光纤光栅的周期（Λ）  调整光纤光栅的周期：光纤光栅的周期决定了反射波长的灵敏度。合理调整光纤光栅的周期，使其适应特定的应变范围，可以增强对应变变化的响应。  3. 选择高弹光系数的材料  提高光纤光栅的制作精度：光纤光栅的周期需要保持均匀性，任何周期的不均匀性都会导致反射光谱的失真，影响应变的精确测量。因此，确保光纤光栅的制作质量和周期均匀性对提高传感器的传递效率至关重要。  4. 传感器的温度补偿  温度补偿：温度变化会对光纤光栅的折射率产生影响，进而影响波长的变化。为了提高应变传递效率并保证实验结果的准确性，需要采取温度补偿措施。 | | | | | |