**硕士学位论文答辩质疑问题回答及修改说明**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 学 号 | 202021010238 | | 姓 名 | 郑 翔 | 导 师 | 黄勇军 |
| 学位论文题目 | | 高稳定度铌酸锂基腔光机械振荡器 | | | | |
| 质疑问题：（可附页）  1、为什么要使用铌酸锂材料？  2、既然使用铌酸锂腔光机械系统与铷原子锁频，本文为什么设计~1550nm波段的光腔而不是795nm？  3、最终的制备成功了吗？为什么测试部分只有硅基腔光机械振荡器的相关内容？  4、使用铌酸锂作为研究平台除了考虑到其宽透明窗口的特性，还有什么其他原因，氧化硅在~795nm波段也可以具备很高的透射率？  5、从测量结果来看，此光机械结构的性能跟应用于芯片级原子钟还有较大差距，为什么不使用光钟，例如同样具有高光学品质因子的光频梳？  6、此光机械系统的最终目标在于实现高性能的芯片级原子钟，而目前的相位噪声特性在1kHz频偏的条件下仅达到了-45.3dBc/Hz，比常见的激光器高出40-50dB，造成此性能较差的原因是什么？  7、此类光机械振荡器相较于传统振荡器的区别和优势？  8、大气条件是使得该光机械振荡器性能劣化的一个重要因素，有更理想的测量条件吗，性能可以提高多少？  9、第五章题目“铌酸锂基腔光机械振荡器”，这些词的修饰关系是什么？  10、文中的一些组图未介绍每个子图的内容，需要补充有关的子图图题？ | | | | | | |
| 回答及修改说明：（可附页）  1、本文研究的最终目标是将腔光机械系统与铷原子钟互锁而成的高稳定度芯片级原子钟架构，鉴于铷原子钟D1超精细分裂能级跃迁所需的激励激光波长为~795nm，因此需要选择在此波段范围内透射率足够高的材料，而铌酸锂具有宽透明窗口且具有优异的非线性性能，满足研究需求。  2、由于铌酸锂材料的刻蚀目前是研究的一大难点，因此首先在常用波段~1550nm探究铌酸锂光子晶体的设计可能性，随后基于光子晶体的缩放规则，通过改变部分结构参数即可将器件的工作波段调节至~795nm。  3、最终已使用HSQ光刻负胶作为掩膜成功制备了300nm厚的薄膜铌酸锂，侧壁倾角可达71.6度。  在此工艺条件下，薄膜两个界面的光子晶体空气孔直径相差200nm，这将使得器件性能与预期相差甚远，难以使用泵浦激光源（1480~1630nm）观测到高品质因子光学模式，因此本文测试部分使用相同结构的硅基光机械振荡器作为参考。  后续可以使用更薄的铌酸锂平台（~120nm）进行器件层制备以尽可能弱化加工工艺限制对光机械振荡器的性能影响；也可以将相关结构参数优化，在考虑此倾角的条件下将光机械振荡器基模的谐振频率重新调节至~1550nm。  4、使用铌酸锂材料作为研究平台，除了其宽透明窗口的特性外，还有两方面原因：一方面铌酸锂材料具备了优异的非线性性能，其优良非线性系数可以显著提高本文光机械振荡器的性能，这是使用氧化硅材料所无法睥睨的；另一方面考虑到现今已有很多基于铌酸锂平台的成熟器件，片上集成已易于实现。  5、光机械钟相较于光钟，可以实现更低的功耗，且载频灵活，更重要的是腔光机械系统的设计与CMOS工艺兼容，这使其在片上集成领域具有先天性优势。  6、目前该器件相位噪声性能较差的原因主要有三个方面：一是该测试是在大气环境下进行，空气扰动会劣化光纤光锥与光腔的耦合稳定性；二是由于使用光纤光锥边馈耦合的方式激励光机械器件，耦合效率有限；三是由于本文目前是开环的测试系统，后续可以采用注入锁频的方式对参数光机械振荡信号进行性能优化。  7、本文设计的是基于光子晶体的腔光机械振荡器。相较于微机电振荡器如压控振荡器，微机械振荡器凭借高品质因子的频率选择元件，往往可以实现更高的频率稳定性，且在GHz级的高频场景下，光机耦合可以提供较高的位移灵敏度；相较于光电振荡器，光机械振荡器将光纤延迟线和调制器使用高品质因子的机械谐振腔取代，可以在减小的形状因子下提供类似的相位噪声性能。  8、由于光机械振荡器的阻尼主要来源于空气的粘滞阻尼，因此可以在真空条件下进行该器件的测试，真空条件下器件的机械品质因子可以提高甚至一个数量级。  9、腔光机械是修饰振荡器的，本文所设计的振荡器是基于腔光机械系统原理工作的；铌酸锂是修饰腔光机械振荡器的，是使用铌酸锂材料作为光机械振荡器的平台进行设计制备。  10、已对组图进行修改。  本人签字：  年 月 日 | | | | | | |
| 导师意见：  是否已按意见修改：☐是 ☐否 导师签字：  年 月 日 | | | | | | |
| 答辩委员会意见：  是否已按意见修改：☐是 ☐否  答辩主席签字：  年 月 日 | | | | | | |