电 子 科 技 大 学

学术学位研究生学位论文开题报告表

攻读学位级别： □博士 ☑硕士

学科专业： 信息与通信工程

学 院： 信息与通信工程学院

学 号： 202021010238

姓 名： 郑翔

论文题目： 高稳定度铌酸锂基

光子晶体腔光机械振荡器

指导教师： 黄勇军

填表日期： 2021 年 9 月 2 日

电子科技大学研究生院

1. 学位论文研究内容

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 课题类型 | | ☑基础研究 □应用基础研究 □应用研究 |
| 课题来源 | | ☑纵向 □横向 □自拟 |
| 学  位  论  文  研  究  内  容 | **研究目标:**  光子晶体是指具有光子带隙特性的人造周期性电介质结构。光子晶体具有多种多样的特性应用，例如，可用于设计光子晶体光；纤、腔光力学、光子晶体光纤晶体天线等。光子晶体的大部分原材料是Si、SiN、GaAs等。铌酸锂是一种新型的光子晶体材料，具有丰富的光电效应，稳定的物理化学性质和较宽的透光范围。随着铌酸锂单晶薄膜加工技术的不断发展，使其具有广阔的应用前景，现在可以提供厚度为300–900 nm的单晶薄膜铌酸锂，使铌酸锂用于光子晶体制造成为可能。  在定位导航授时体系（PNT）中，使用腔光力实现芯片级原子钟有重要意义，目前拟通过铌酸锂二维光子晶体腔光机械振荡器与铷原子的互锁研究设计超高稳定度射频信号源。由于铷原子的特殊性质，设计一个覆盖~795nm的铌酸锂基二维光子晶体腔光机械振荡器将是项目遇到的首要难题。  因此，本文针对现有腔光机械系统中光机械振荡射频信号源无法实现长时间高稳定度这一技术瓶颈，结合了单晶铌酸锂薄膜材料所具有的的宽光谱低损耗特性，研究设计一种高稳定度的铌酸锂基光机械振荡器。  **研究内容:**   1. **铌酸锂基二维光子晶体腔光机械振荡器设计仿真研究**   本文初步建立铌酸锂基二维光子晶体结构（三角形晶格）如图1-1：  图1-1 光子晶体结构   1. **光子晶体设计：**   首先设计光子晶体阵列如图1-1(a)，其中蓝色部分为铌酸锂薄膜，白色圆孔为在铌酸锂薄膜上刻蚀的空气孔阵列，形成了周期电介质结构。采用经典的光子晶体能带结构分析理论，基于时域有限差分法（FDTD）和ANSYS商用仿真软件的FDTD模块对该模型进行仿真研究，初步计算出如图1-2所示的铌酸锂基二维光子晶体能带图。  untitled图1-2 光子晶体能带结构图  通过优化调节晶格常数、空气孔半径和空气孔厚度（即铌酸锂层的厚度）各参数，设计找到可覆盖~1550nm波长的宽带隙二维光子晶体阵列结构（TE极化）。图1-3  可看出，空气填充率对光子晶体能带结构具有较大影响。整体来看，能隙会随着空气填充率的增加而变宽，但当空气填充率扩大到一定值时，能隙会产生突变。  图1-3 铌酸锂基二维光子晶体能带结构   1. **空气槽加载的线缺陷型光子晶体波导设计：**   在已获得的铌酸锂基二维光子晶体周期结构上，去掉一排空气孔构成线缺陷型二维光子晶体波导，并在波导中线部分刻蚀一个空气槽进行空气槽加载如图1-1(b)。基于ANSYS商用仿真软件的MODE波导模式模块，通过优化调节空气槽的宽度以及波导宽度，设计出覆盖~1550nm的空气槽加载的线缺陷型铌酸锂基二维光子晶体波导。   1. **光子晶体微腔设计：**   在已获得的空气槽加载的线缺陷型铌酸锂基二维光子晶体结构的中心处，通过调节部分圆孔的位置等方式构成对光子晶体波导结构的微扰，从而形成光学模式的不连续型，实现典型的二维光子晶体光学谐振微腔如图1-1(c)。基于腔体谐振理论和ANSYS商用仿真软件，通过优化调节波导中心部分圆孔的位移量等方式，设计出覆盖~1550nm的高谐振Q值光学微腔结构。   1. **悬臂结构设计：**   在已获得的铌酸锂基二维光子晶体光学微腔结构的基础上，将铌酸锂薄膜下衬底的四个角处固定，从而构成典型的双悬臂性机械振子结构，其初步设计结构如图1-4所示。基于结构力学理论和COMSOL有限元结构力学仿真模块，通过优化调节悬臂的长度和宽度、空气槽的长度、固定点的位置等参数，设计出机械本征模式振荡频率位于~170MHz、340MHz、68MHz范围的机械悬臂结构。  图1-4 双悬臂式机械振子结构   1. **铌酸锂基二维光子晶体腔光机械振荡器实现机理分析** 2. **光机械耦合机理及特性分析：**   采用腔光机械系统的多物理场耦合理论，构建本文的铌酸锂基腔光机械机构的光学-机械场耦合模型：  (2-1)  (2-2)  式(2-1)中为微腔内的光场，为光学失谐率，为光机械耦合率，为光学谐振模式衰减率，为外部衰减率，为激励激光强度；  式(2-2)中为机械位移量，为机械谐振衰减率，为机械谐振频率，为机械振子的有效质量，和分别为光学力和热噪声力。采用微扰理论、准静态近似法等研究获得铌酸锂基二维光子晶体腔光机械结构的光机械耦合特性：  (2-3)  式(2-3)中为分界面外法向单位向量，为铌酸锂介质与空气介质介电常数之差，为平行于界面的电场分量，为垂直于界面的电位移场分量，为机械振子的零点波动振幅。  利用COMSOL等多物理场联合仿真模块，仿真计算出铌酸锂基二维光子晶体腔光机械结构的光机械耦合率，研究不同光学模式、不同机械模式情况下的光机械耦合率变化特性（预期结果如图1-5(a)所示）。继续仿真研究光机械耦合率随铌酸锂基二维光子晶体腔光机械结构中光学腔体结构改变的性能变化规律。   1. **光学弹性效应分析：**   根据已获得的铌酸锂基二维光子晶体腔光机械结构的各参数，结合式(2-1)和(2-2)推导得到腔光机械结构中的光场特性：  (2-4)  和简化的光学弹性效应理论关系式：  (2-5)  便可理论计算出机械振荡频率（）与腔光机械结构的光机械耦合率（）、激光-腔体失谐率、光学谐振值、腔体内能量之间的关系曲线（预期结果如图1-5(b)和(c)），进而逆向指导、优化设计整个铌酸锂基二维光子晶体腔光机械结构，实现机械振荡频率的有效控制。    图1-5 光机械耦合特性及光学弹性特性理论与仿真结果   1. **铌酸锂基二维光子晶体腔光机械振荡器制备与测试研究** 2. **腔体制备**   铌酸锂基二维光子晶体微腔的制备拟采用如图1-6所示成熟制备流程。具体流程包括：（1）采用标准 RCA 流程清洗从济南晶正电子科技有限公司购买到的高性能X-切向铌酸锂晶圆；（2）采用等离子增强化学气相沉积法（PECVD）在已清洗好的晶圆上沉积非晶硅层；（3）在非晶硅表面旋涂 PMMA 电子束刻蚀光刻胶，然后经电子束光刻机（EBL）曝光、显影得到设计好的光子晶体圆孔阵列和空气槽；（4）采用标准反应离子刻蚀（RIE）法刻蚀非晶硅层；（5）继续采用Ar+等离子刻蚀技术刻蚀铌酸锂层；（6）采用丙酮等去除顶层光刻胶、氢氧化钾（KOH）等溶液去除非晶硅层、RCA 清洗晶圆；（7）使用氢氟酸（HF）气体刻蚀机，释放氧化硅层，得到悬空的铌酸锂基二维光子晶体微腔结构。在上述多步刻蚀及腐蚀过程中，需要多次尝试，优化具体刻蚀工艺精度、刻蚀流程、刻蚀时间，以及优化氢氧化钾和氢氟酸溶液浓度、腐蚀时间，保证最终制备出的光子晶体结构具有良好的表面光滑度，空气孔和空气槽部分具有最为陡峭和光滑的切面。    图1-6 铌酸锂基二维光子晶体腔光机械结构加工流程   1. **耦合波导制备：**   基于上述芯片刻蚀流程和成熟铌酸锂光波导制备工艺，同时制备出已优化设计好的铌酸锂基光子晶体波导-光波导渐变过渡，以及芯片边缘的铌酸锂基光波导渐变结构，包括利用飞秒激光在铌酸锂薄膜上烧蚀出波导轮廓；然后采用 FIB研磨抛光铌酸锂波导侧壁，降低侧壁散射损耗；最后通过高温退火，减少铌酸锂光波导的晶格损伤，进一步降低铌酸锂光波导内部的散射损耗。   1. **芯片性能表征：**   采用光学显微镜和扫描电镜实验观察上一步中制备完成的铌酸锂基二维光子晶体腔光机械结构及波导结构，确定基于上述刻蚀流程加工制备的~795 nm 腔光机械结构的有效性和成品率；标定单个腔光机械结构中空气圆孔的大小、位置、孔壁陡峭度和光滑度，以及空气槽宽度、槽壁等关键结构参数的实际加工尺寸与设计尺寸之间的误差值，进而逆向指导优化设计结构，并反复多次，最终获得性能优良的腔光机械结构芯片样品。   1. **测试研究：**   测试系统如图1-7，测试得到的光写和机械谐振特性的数据通过数据采集卡、GPIB等经计算机Labview程序控制进行采集与存储。    图1-7 二维光子晶体腔光机械结构性能测试系统  **拟解决的关键问题:**  **关键问题1：仿真问题**  光学微腔结构的仿真设计需要巨大的数据运算，对cpu的运算性能和内存具有较大的设备需求。由于cpu运算速度不够，有时难以得到期望的仿真结果，这个问题在波导结构和光学腔体仿真的过程中尤其严重。因此，目前对设备的需求也是设计过程中的巨大挑战。  **关键问题2：技术问题**  特定光学谐振波长的铌酸锂基腔光机械振荡器设计与制备问题。铌酸锂薄膜作为一种高度各向异性的晶体材料，采用传统微纳刻蚀工艺势必导致严重的各向异性刻蚀问题，影响腔光机械结构性能，如二维光子晶体中圆孔及空气槽的加工精度，以及孔壁、空气槽壁的纵向垂直度、光滑度等，最终影响腔体光学谐振波长、谐振Q值。因此，采用铌酸锂薄膜材料制备~1550nm波长范围的高质量二维光子晶体微腔在微纳刻蚀工艺上存在巨大的挑战。 | |

1. 学位论文研究依据

|  |
| --- |
| 学位论文的选题依据和研究意义，国内外研究现状和发展态势，主要参考文献，以及已有的工作积累和研究成果。（应有2000字）  **选题依据及研究意义:**  腔光机械系统中光场能与机械能间的高效耦合可使微纳机械振子产生受激振荡，据此可发展出高性能射频信号源研究新方向。然已报道腔光机械振荡射频信号源存在稳定度差、功耗大、系统复杂等关键问题。项目拟综合应用光子晶体能带结构、多物理场耦合、原子能级跃迁等理论及分析方法，研究铌酸锂基二维光子晶体腔光机械振荡器设计方法、高效光机械耦合优化与机械振荡频率有效控制等关键问题，研制出铌酸锂基二维光子晶体腔光机械振荡器，实验研究腔体系统中光机械振荡本征频率、分频、高阶谐波等丰富“光机械频率梳”信  号的频率稳定性。本项目研究意义重大、工程应用价值显著。  **研究现状及发展趋势：**   1. **光子晶体研究现状：**   随着基于标准微电子工艺的半导体纳米结构制备技术和工艺的逐渐成熟，工作在通信波段的Si和III-V化合物半导体（如 InP、GaAs）基平板二维光子晶体成为光子晶体理论和器件研究的重点。这些材料具有高折射率，在光通信波长区域能很好的进行光学传输，其微米、纳米结构由于半导体技术的进步也得到很好的发展。2012年，江萍[1]在线性系统下，分别研究了左手材料和光子晶体的负折射机理，基于负折射实现了丰富的物理效应；2017年，石建平[2]总结了近年来光子晶体中发现的非线性效应，例如光子晶体慢光、带隙孤子、电磁感应透明等，这些非线性效应可以用于新型非线性材料开发等很多领域；2020年，施钦凯[3]使用光子晶体微腔设计了磁场传感器，可以在导航、定位等技术领域得到进一步广泛应用。；2021年，朱璇笛和袁建华[4]对二维光子晶体负折射率进行数值分析，研究了光子晶体负折射率产生的频率范围。光子晶体光纤的研究，近年来也备受关注；2021年，Liu Yundong[5]等提出了一种基于表面等离子共振（SPR）的双偏振光子晶体光纤（PCF）折射率传感器。   1. **铌酸锂基光子晶体研究现状：**   铌酸锂光子晶体利用非线性，可以提供电光调控材料，能形成高集成光学器件。由于铌酸锂晶体本身具有的电光、热电、铁电、非线性特点，利用这些特性可以制备出多种功能器件，如电光调制、电光开关、滤波、声光偏转、双稳态等器件，因此基于铌酸锂的集成光学器件引起人们的广泛关注。当结合光子禁带结构特性，对铌酸锂更广泛的应用开辟了道路。Iliew[6]对铌酸锂光子晶体禁带结构平板的二次谐波增益进行了理论分析。提供禁带的结构是平板波导上的六方晶格空气孔。对于带隙在近红外（λ=1.55 μm）晶格周期600~700 nm，空气孔直径为 200~400 nm，若要实现单模传输，则板厚要小于500 nm。利用质子交换铌酸锂纳微米级光子晶体结构波导的制作和光学特性[7,8]已经被报道，并且使用这种方法制作的电光可调铌酸锂光子晶体已经被报道[9-11]以及Er:LiNbO3 光子晶体上的 Purcell效应[12]，也被报道。  在制备方面，由于高度的化学稳定性和亚微米量级的特征尺寸，在铌酸锂上制备光子晶体禁带结构是一项具有挑战性的工作。很多方法可以用来在铌酸锂上制作亚微米结构，如离子铣（IBE），反应离子刻蚀（RIE），电感耦合等离子体（ICP），反应离子刻蚀[13,14]。  铌酸锂晶体历史悠久，物理效应最为齐全，被用于制备声学滤波器、谐振器、延迟线、电光调制器、电光调Q开关、相位调制器等器件，在电子技术、光通信技术、激光技术等领域得到了广泛应用，并且在第五代无线通信技术、微纳光子学、集成光子学及量子光学等近期快速发展的领域中展示了重要的应用前景。  在目前发展较为成熟的光电材料体系中，基于同一个基质材料发展如此多的基本光学元件、光子学器件和光电器件是罕见的，这也让人们对铌酸锂晶体未来在集成光子学芯片发展中发挥更重要作用充满了期待。铌酸锂晶体集多种光电性能于一体且能够达到实用化性能要求，在光电材料中非常罕见。随着铌酸锂晶体集成光子学芯片理论、制备及应用等核心技术的发展与完善，铌酸锂晶体成为光子时代的“光学硅”材料，为集成光子学的发展提供战略性基础支撑。   1. **高Q值腔光机械系统研究现状：**   2005 年，美国加州理工学院K. J. Vahala教授领导的研究组对石英微盘型腔光机械系统中的光机械振荡产生机理、时域/频域物理特性进行了研究，获得了产生光机械振荡的激光功率阈值（）与腔光机械系统的光学谐振值、机械谐振值之间的理论关系[15,16]:。鉴于此，国内外研究者通过优化设计腔体等方式以提高光学及机械谐振值。  此后，国外研究者通过采用金刚石、氮化硅、砷化镓、磷化铟镓、铌酸锂等新型薄膜材料，并结合结构优化技术设计研制出高Q值的微盘、微环、微柱、一维光子晶体纳米束腔光机械系统[17-20] 。其中，铌酸锂作为一种宽透明窗口（200 nm~4 μm）的单晶铁电薄膜材料也被应用在光学微腔领域，2019年美国罗切斯特大学Q. Lin教授团队、华东师范大学程亚教授团队先后研制出了基于铌酸锂（LiNbO3）薄膜的二维光子晶体及双微盘型高 Q 值光学微腔结构[21,22]。  **参考文献：**   1. 江萍.负折射率介质的特性研究[D]. 电子科技大学, 2012 2. 石建平, 纪艳平, 李子旻等.纯介质光子晶体非线性效应研究进展[J]. 光电工程, 2017,   44(03): 297-312+373   1. 施钦凯.基于腔光机械结构的磁场探测技术研究[D].电子科技大学, 2020 2. 朱璇笛, 袁健华.二维光子晶体负折射率的数值分析[J/OL]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1690.TN.20210422.1100.006.html,> June 15, 2021 3. Liu Yundong, Chen Hailiang. First and second-order SPP-mode co-induced dual-polarized refractive-index sensor based on photonic crystal fiber and gold film[J]. Journal of Physics D: Applied Physics, 2021, 54(32) 4. Rumen Iliew, Christoph Etrich, Thomas Pertsch,et al. Falk Lederer, Slow-light enhanced collinear second-haemonic generation in two-dimensional photonic crystals[J]. Physical Review B, 2008: 77(11) 115-124 5. Frederik Sulser, Gorazd Poberaj, Manuel Koechlin,et al. Photonic crystal structures in ion-sliced lithium niobate thin films[J]. Optics express, 2009, 17(22): 944-949 6. Matthieu Roussey, Maria-Pilar Bernal, et al. Experiment and theoretical characterization of a lithium niobate photonic crystal[J], Applied physics letters, 2005, 87, 241101 7. J. Amet, F.I. Baida , G.W. Burr, et al. The superprism effert in lithium niobate photonic crystals for ultra-fast, ultra compact electro-optical switching[J]. Photonics and Nano structures-Fundamentals and Application, 2008: 47-56 8. S. Diziain, S. Harada, et al. Strong improvement in the photonic stop-band edge sharpness of lithium niobate photonic crystal slab[J]. Applied physics letters, 2009, 95: 101103 9. F. lacour, N. Courjal, et al. Nanostructure lithium niobate substrates by focused ion beam milling[J]. Optical Materials, 2005, 27: 1471-1425 10. J. Amin , J.A. Aust, and N.A. Sanford. Z-propagating waveguide lasers in rare-earth-daped Ti:LiNbO3[J]. Applied Physics Letters, 1996, 3785-3787 11. Z. Ren, P.J. Heard, J.M. Marshall, P.A. Thomas, S. Yu, Etching characteristics of LiNbO3 in reactive ion etching and inductively coupled plasma[J]. Journal of Applied Physics 2008, 103(3): 034109 12. D.S. Hines, K.E. Williams, Patterning of wave guides in LiNbO3 using ion beam etching and reactive ion beam etching[J]. Journal of Vacuum Science and Technology A Vacuum Surfaces and Films, 2002, 20: 1072 13. T. Carmon, H. Rokhsari, L. Yang, et al., Temporal behavior of radiation-pressure-induced vibrations of an optical microcavity phonon mode, Physical Review Letters, 2005, 94(22): 223902. 14. T. J. Kippenberg, H. Rokhsari, T. Carmon, et al., Analysis of radiation-pressure induced mechanical oscillation of an optical microcavity, Physical Review Letters, 2005, 95(3): 033901. 15. M. Mitchell, B. Khanaliloo, D. P. Lake, et al., Single-crystal diamond low-dissipation cavity optomechanics, Optica, 2016, 3(9): 963-970. 16. M. J. Weaver, B. Pepper, F. Luna, et al., Nested trampoline resonators for optomechanics, Applied Physics Letters, 2016, 108(3): 033501. 17. S. Anguiano, A. E. Bruchhausen, B. Jusserand, et al., Micropillar resonators for optomechanics in the extremely high 19–95GHz frequency range, Physical Review Letters, 2017, 118(26): 263901. 18. W. Jiang, R. N. Patel, F. M. Mayor, et al., Lithium niobate piezo-optomechanical crystals, Optica, 2019, 6(7): 845-853. 19. M. Li, H. Liang, R. Luo, et al., High-Q 2D lithium niobate photonic crystal slab nanoresonators, *Laser & Photonics Reviews*, 2019, 13(5): 1800228. 20. Y. Zheng, Z. Fang, S. Liu, et al., High-Q exterior whispering-gallery modes in a double-layer crystalline microdisk resonator, *Physical Review Letters*, 2019, 122(25): 253902. |

1. 学位论文研究计划及预期目标

|  |
| --- |
| 1.拟采取的主要理论、研究方法、技术路线和实施方案（可续页）   1. 针对关键问题1中的铌酸锂基光子晶体仿真困难，目前解决方案:   解决方案:购置cpu单核性能较强、具有120G内存的设备用于实现仿真测试。   1. 针对关键问题2中的铌酸锂基光子晶体制作困难，目前解决方案:   解决方案:今后拟根据二维光子晶体能带分析理论，并结合有限元法仿真技术，首先优化设计出~1550nm的光学微腔模型，然后综合利用电子束刻蚀(EBL)、反应离子刻蚀(RIE)、 等离子刻蚀，以及氢氧化钾(KOH)和氢氟酸(HF)腐蚀等技术，反复多次调试刻蚀工艺、刻蚀时间，最终制备出满足需求的铌酸锂基腔光机械高质量芯片。  **拟采取的理论研究与基础:**  1. 多物理场耦合: 有限元分析FEA  2. 原子能级跃迁：自发跃迁，受激跃迁   1. 3. 光子晶体能带：平面波展开法，时域差分法FDTD   4. 光学微腔：传输矩阵理论，薄膜腔光力系统，光机械耦合，光学弹性效应，微扰理论  5. 腔光力机械振子：共振透射条件，结构力学理论，光机械振荡  **研究方法:**  模型仿真与实验测试并行，在现有理论的基础上，通过ANSYS商用仿真软件测试设计模型，再结合实验测试的实际数据对理论进行佐证，逐步调整优化设计出一个高稳定度的铌酸锂基二维光子晶体振荡器。  **技术路线及实施方案：**  本文的具体技术路线如下图所示：    图3-1 仿真设计路线    图3-2 光子晶体微腔制备路线 |
| 2.研究计划可行性，研究条件落实情况，可能存在的问题及解决办法（可续页）  电子科技大学拥有一流的各种软硬件平台设施，有“电子薄膜与集成器件国家重点实验室”、“光纤传感与通信教育部重点实验室”，后续的加工、实验、测试都有足够的设备技术保障。  我所在的信息与通信工程学院，有众多优秀的老师同学，也有优秀的团队在从事该领域的研究，可以为我今后的研究提供巨大帮助。 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **3.研究计划及预期成果** | | |
| 研  究  计  划 | 起止年月 | 完成内容 |
| 2021年9月-2021年12月 | 使用ANSYS软件完成覆盖~1550nm铌酸锂基腔光机械振荡器的仿真设计 |
| 2022年1月-2022年4月 | 加工测试设计的腔光机械振荡器，分析性能指标 |
| 2022年5月-2022年8月 | 完成覆盖~795nm铌酸锂基腔光机械振荡器的仿真设计，加工测试 |
| 2022年9月-2022年12月 | 优化结构参数，完成设计出一款高稳定性的铌酸锂基腔光机械振荡器 |
| 2023年1月-2023年4月 | 完成毕业论文 |
| 预  期  创  新  点  及  成  果  形  式 | 1. 本文聚焦于维纳腔光机械系统这一国际前沿研究领域，对现有腔光机械系统中光机械振荡射频信号源无法实现长时间高稳定度这一技术瓶颈，结合了单晶铌酸锂薄膜材料所具有的的宽光谱低损耗特性，研究设计出一种高稳定度的铌酸锂基光机械振荡器。 2. 提出了一种能覆盖波长范围~795nm的高Q值铌酸锂基二维光子晶体机械振荡器，设计的振荡器可以与铷原子互锁，来应用于设计芯片级低功耗超高稳定度射频信号源。   成果形式:  1.完成1-2篇学术论文的撰写和发表。  2.完成1-2项专利技术的申请。  3.完成硕士学位论文。 | |

1. 开题报告审查意见

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1.导师对学位论文选题和论文计划可行性意见，是否同意开题： | | | |
| 导师（组）签字： 年 月 日 | | | |
| **2.开题报告考评组意见** | | | |
| 开题日期 |  | 开题地点 |  |
| 考评专家 |  | | |
| 考评成绩 | 合格 票 基本合格 票 不合格 票 | | |
| 结 论 | □通过 □原则通过 □不通过  **通过：**表决票均为合格  **原则通过：**表决票中有1票为基本合格或不合格，其余为合格和基本合格  **不通过：**表决票中有2票及以上为不合格 | | |
| 考评组对学位论文的选题、研究计划及方案实施的可行性的意见和建议： | | | |
| 考评组签名：  年 月 日 | | | |
| **3.学院意见：** | | | |
| 负责人签名： 年 月 日 | | | |