DOI:10.19789/j.1004-9398.2018.02.006

基于光栅耦合悬空薄膜波导的折射率传感器

韩 晶 冯胜飞
(首都师范大学物理系,北京 100048)

摘 要

提出了一种纳米光栅耦合悬空薄膜波导液体折射率传感器件设计方案. 纳米光栅位于悬空薄膜波导上表面,被分析液体位于波导下表面. 这种薄膜波导将光栅和被分析液体分离开的传感方案,避免了液体与纳米光栅的接触导致其衍射效率下降的问题,同时增加了被分析液体与波导的接触面积,从而增强器件的传感性能. 本文首先采用数值模拟方法分析器件各个参数对其传感性能的影响. 分析表明,当波导模式越靠近瑞利反常波长时,器件灵敏度越高. 然后实验采用3D双光子光刻技术在悬空氮化硅薄膜波导上制备光刻胶纳米光栅. 最后通过自搭建光纤光谱测试系统对器件传感性能进行表征,验证了设计方案的可行性.

关键词: 波导模式,瑞利反常,纳米光栅,3D双光子光刻技术,悬空薄膜波导,折射率传感.
中图分类号: O433

0 引 言

平板波导[1-5]、光纤[6-7]、纳米线[8-10]等光学波导之所以能够将光波限制在其中传播,是利用了光波从光密介质入射到光疏介质中的全反射特性. 光波在波导中传播时光场分布存在一定的模式,即所谓的波导模式[11]. 即使是在全反射的情况下,波导模式的光场能量也并不都是限制在波导中的光密介质中,而是有一部分光场以倏逝波的形式穿过光密介质与光疏介质的界面进入到光疏介质中. 因此在临近界面处的光疏介质中折射率的变化会导致波导中波导模式的变化,通过测量波导模式的变化即可获知波导外折射率的变化. 这就是波导模式用于折射率传感的基本物理机理.

由于光波导具有结构尺寸小、可集成、灵活性好等优点,光波导折射率传感器件成为近年来的研究热点. 基于波导模式的传感器越来越趋向于小型化、功能多样化. 目前基于波导模式倏逝波的折射率传感器的研究主要集中在器件结构的优化设计上. 优化设计需要统筹考虑波导模式的激发方式、波导模式与外界被检测物的接触方式和波导模式的探测三个方面. 一般来说波导模式的激发方式有三种:端面耦合、光栅耦合和棱镜耦合. 波导模式与外界被检测物的接触方式一般来说都是直接接触,即将被检测物(一般是液体)直接滴在波导外表面上. 波导模式的检测通常有两种方法:第一种是干涉法,同时将光波耦合进入两个波导,被检测物只与其中一个波导的表面相接触,光波从两个波导出射后相遇发生干涉. 通过测量干涉条纹的变化获知被检测溶液折射率信息. 第二种方法是利用光栅与波导耦合时波导模式表现为结构透射(反射)光谱中的谷(峰)的性质[12-15]实现对波导模式共振波长变化的检测. 通过测量波导模式共振波长即可获得外界被检测物的折射率信息. 光栅耦合的方法具有稳定性好、测试光路简单等优点. 本文所设计的纳米光栅耦合悬空薄膜波导折射率传感器即采用光栅耦合方法.

然而,光栅耦合波导结构用于折射率传感时有两个很明显的缺点:(1)通常情况下光栅和被分析液体在波导同侧,由于被分析液体与光栅相互接触,降低了光栅的衍射效率;(2)光栅栅条的存在,减小了被检测液体与波导的接触面积,进而减弱波导的倏逝场与被检测液体相互作用的强度. 为了克服以上两个缺点,科研工作者已经做出了很多的努力,一般的解决方案是提高光栅材料的折射率,例如,贵金属光栅或高折射率光栅[16-17]. 光栅材料的折射率越高,其衍射效率受外界环境变化的影响越小. 然而,

收稿日期:2017-01-05

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

贵金属纳米光栅的制备工艺复杂、难度较大、成本较高. 如何采用工艺简单、易制备、低成本的介质光栅与波导相结合克服上述两个缺点实现高性能折射率传感有待进一步研究.

本文提出的纳米光栅耦合悬空薄膜波导的折射率传感器能够有效地克服以上两个缺点. 与通常制备在基底上的波导不同之处在于,自由悬空薄膜波导的下表面对外界环境来说也是开放的,可以用于液体折射率传感. 因此用于激发波导模式的光栅结构可以制备在波导的上表面,这样波导模式的激发与传感分别位于波导的两侧互不影响. 波导下表面没有结构、平整光滑可以实现与被检测液体的充分接触. 论文首先在理论上采用数值模拟计算了不同参数下结构的透射光谱,分析了各个参数对波导模式共振波长以及传感灵敏度的影响. 然后,在实验上采用 3D 双光子纳米光刻技术在悬空氮化硅薄膜波导上制备了光刻胶纳米光栅结构. 最后用光纤收集结构的透射光对器件的传感特性进行了表征.

1　器件设计与传感性能数值模拟分析

1.1　器件设计及工作原理

光栅耦合悬空氮化硅(Si_3N_4)薄膜波导折射率传感器的结构设计及测试方法如图 1 所示. 在自由悬空的氮化硅薄膜波导上表面周期性排列的光刻胶(PR)纳米线构成纳米光栅,用于激发氮化硅波导中的光波导模式. 在自由悬空的氮化硅薄膜波导正下方放置一根端面切平的光纤,光纤端面和氮化硅波导下表面形成一个开放的腔,用于滴入待测液体. 考虑到被分析液体的表面张力和浸润性,以及大小为微米量级的光纤端面,使得被分析液体在光纤和氮化硅波导之间的微腔中形成一个倒锥体. 因此在测量过程中,可以非常方便地更换待测液体,在一定程度上降低实验测量的难度,又能避免由液体压力引起的氮化硅薄膜波导的破裂.

当白光正入射到光栅表面,一部分光直接透射,另一部分光被光栅衍射,衍射光中波长满足一定条件的光进入氮化硅波导,在传播过程中光波被波导上表面反射时将在结构的透射和反射方向产生次级衍射. 整个结构的透射光是直接透射光和波导中传播的光在透射方向衍射光的叠加. 当氮化硅波导和光纤端面之间的液体折射率变化时,相应的透射光光谱会发生变化,耦合进入光纤的光就会发生变化. 因此,通过测量耦合进入光纤中透射光的共振波长的变化就可以推测外界溶液折射率的变化. 定义入射光电场方向垂直于光栅栅条方向时为 TM 模式,电场方向平行于光栅栅条方向时为 TE 模式. 根据文献调研,TM 模式比 TE 模式灵敏度高[14],因此本文将主要研究 TM 模式下光栅耦合波导的传感效果.

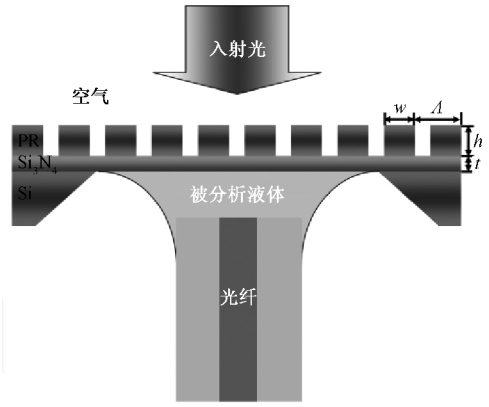


图 1　光栅耦合悬空氮化硅薄膜波导传感器及其测试方法示意图

1.2　器件参数优化

为了获得最佳的传感灵敏度,需要对器件中各个参数进行优化. 实验中光刻胶折射率($n_p = 1.5$),周围环境折射率($n_a = 1.0$)以及氮化硅薄膜波导的折射率(n_m)是固定值,无法调节,因此器件性能的优化主要通过调节以下参数来实现:光栅周期(Λ)、高度(h)、光栅栅条宽度(w)和氮化硅波导厚度(t). 首先是光栅周期,文献研究表明光栅周期越大相应的灵敏度越高[12],考虑到本实验室现有光谱仪测量范围是 194 ~ 1 052 nm,因此我们把光栅周期设定为 600 nm,以保证获得最高的灵敏度,并且器件的波导共振波长不超出光谱测量范围. 其次,我们利用基于严格耦合波分析算法[18-19]的 Gsolver[20] 软件对器件的透射光谱进行分析,寻找最优化的光栅栅条宽度 w、光栅高度 h 和氮化硅薄膜厚度 t,最终获得优化的器件参数. 氮化硅波导折射率参数取自 Gsolver 中的内置参数(table model). 被检测物折射率(n_1)变化范围为 1.30 ~ 1.40.

图 2 是光栅高度 h 为 200 nm,氮化硅薄膜厚度 t 为 100 nm,外界溶液折射率为 1.333,光栅占空比($f = w/\Lambda$)从 0.1 到 0.9 的结构透射光谱. 从图中可以看到:(1) 当 $f < 0.2$ 时,波导模式(透射光谱中的谷)很弱,几乎难以辨认. 当 $f = 0.3$ 时,波导模式开始变得明显,当 $f > 0.3$ 时随着 f 的增大波导模式往长波长处移动;(2) 波导模式的宽度和强度先逐渐

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

增加,在 $f=0.7$ 时达到最大,然后逐渐减小;(3) 瑞利反常波长在 799.8 nm 处,为待测溶液透射光中一级衍射波长 $\lambda_{\text{Rayleigh}}=n_1\times\Lambda$ [21] 处. 上述现象的物理机制可以解释如下,由于光刻胶的折射率大于空气的折射率,光刻胶光栅和氮化硅薄膜可以看成一个复合波导,当光栅占空比增加时,复合波导有效厚度增加,波导模式红移. 波导模式宽度对应复合波导中光波传播过程中的能量损失 [22-23],当光栅占空比很小或者很大时,光栅表面都可以认为是均匀且平坦的,此时能量损耗小,波导模式宽度窄. 当光栅占空比 f 为 0.6 或 0.7 时,光栅表面褶皱度最大,损耗最大. 上述计算结果表明,可以通过调节光栅占空比进一步调节波导模式的强度及共振波长.

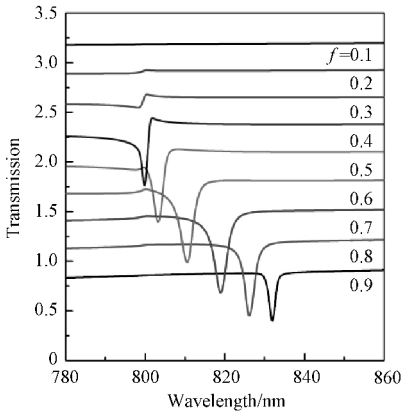


图 2 光栅占空比($f=w/\Lambda$)取不同值情况下光栅耦合氮化硅薄膜波导的透射光谱. 其他参数:$\Lambda=600$ nm,$h=200$ nm,$t=100$ nm,$n_a=1.0$,$n_p=1.5$,$n_l=1.333$

图 3 是光栅周期 Λ 为 600 nm,高度 h 为 200 nm,占空比 f 为 0.6,外界溶液折射率为 1.333,氮化硅波导厚度 t 从 20 nm 到 120 nm 时的透射光谱计算结果. 可以看到,当 $t<80$ nm 时,波导模式很弱,几乎难以辨认;当 $t\geqslant 80$ nm 时波导模式出现;随着 t 的进一步增加,波导模式红移. 上述计算结果表明,波导厚度越大,其波导模式共振波长越长.

图 4 是光栅厚度 h 分别为 100 nm、200 nm、300 nm 时,溶液折射率 n_l 从 1.30 以 0.02 为间隔变化到 1.40 时结构透射光谱计算结果. 计算中其他参数分别为 $\Lambda=600$ nm,$f=0.6$,$t=100$ nm,$n_a=1.0$,$n_p=1.5$. 当折射率从 1.30 变化到 1.40 时,光栅厚度不同时,其波导模式的共振波长改变量也是不同的,分别从 786.27 nm 移动到 839.50 nm (图 4(a));从 797.97 nm 移动到 841.55 nm(图 4(b));从 807.30 nm 移动到 843.98 nm(图 4(c)). 相应波长改变量分别为 49.23 nm、43.58 nm 和 36.68 nm;

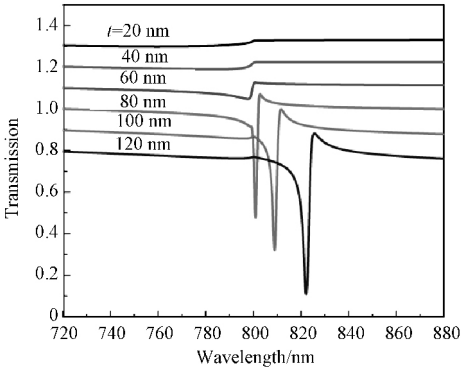


图 3 氮化硅波导厚度(t)取不同值情况下光栅耦合氮化硅波导的透射光谱. 其他参数:$\Lambda=600$ nm,$h=200$ nm,$f=0.6$,$n_a=1.0$,$n_p=1.5$,$n_l=1.333$

其对应的灵敏度为 492.3 nm/RIU、435.8 nm/RIU 和 366.8 nm/RIU. 然而,这三种情况下,瑞利反常(以星号标识)波长都是从 780 nm 移动到 840 nm,对应灵敏度为 600 nm/RIU. 瑞利反常波长位置随溶液折射率是线性变化,波导模式共振波长随溶液折射率变化是非线性变化. 以图 4(a)为例,溶液折射率变化初始阶段,瑞利反常模式比波导模式移动速度快,随着折射率 n_l 逐渐增加,波导模式共振波长和瑞利反常波长位置逐渐靠近,随后,波导模式变化速度较快. 外界折射率 n_l 为 1.38 和 1.40 时,波导模式和瑞利反常模式重合,在这个狭窄溶液折射率变化范围内,光栅耦合波导结构的灵敏度能够达到最大值 600 nm/RIU. 波导共振的波长位置可以通过调节光栅高度,光栅占空比,进而可以调节瑞利反常波长和波导共振波长的重合位置,如图 4(b)所示,瑞利反常和波导模式重合区域在 1.40 以后.

综上所述,要想获得较高的折射传感灵敏度,需要综合调节光栅厚度、宽度、占空比以及氮化硅薄膜波导的厚度,使得波导模式尽可能靠近瑞利反常模式. 另外,考虑到波导模式的共振波长与被检测物折射率之间不是线性关系,当器件结构参数固定后其对外界折射率变化存在一个高灵敏度响应的折射率范围,因此在实际器件设计中要针对外界折射率区间合理选择结构参数.

2 器件制备与传感性能表征

实验中自由悬空的薄膜波导为商业化的氮化硅薄膜窗口,氮化硅薄膜大小为 1 mm×1 mm,厚度为 100 nm,是一种重要的薄膜光学材料,不仅具有透光率高、透光谱宽等特点,还具有耐磨损、耐腐蚀、应力小等优良的力学和化学性质,能够承受光刻胶和

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

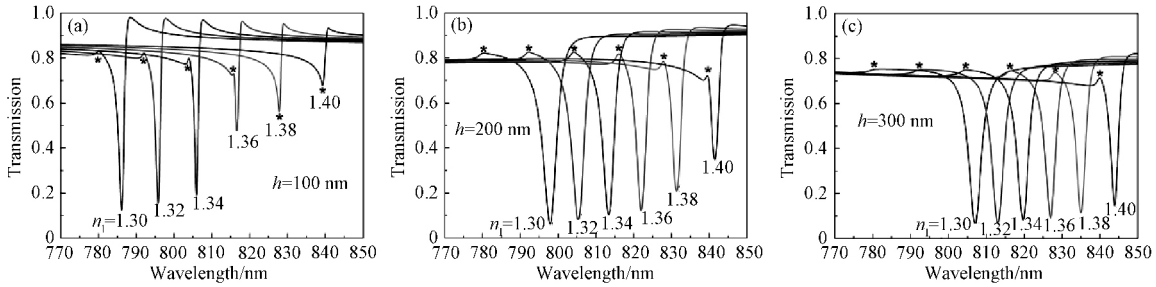


图 4　被检测液体折射率不同取值情况下三种光栅厚度光栅耦合氮化硅波导的透射光谱　(a) h = 100 nm; (b) h = 200 nm; (c) h = 300 nm. 其余参数:Λ = 600 nm, f = 0.6, n_a = 1.0, n_p = 1.5

镜头油的双重重力作用,满足实验结构制备的要求. 氮化硅薄膜波导上的光刻胶纳米光栅采用 3D 双光子纳米光刻系统[24] 制备. 过程如下:第一步,将光刻胶滴在氮化硅窗口的上表面;第二步,将滴有光刻胶的氮化硅窗口放入 3D 双光子光刻系统,采用油浸物镜将激光焦点聚焦在光刻胶与氮化硅薄膜的接触面上;第三步,通过 Nanowrite 程序控制 3D 双光子光刻系统中三维压电陶瓷平移台按照设定的光栅生成程序移动,从而将氮化硅薄膜上表面的光刻胶按照设定的光栅图案曝光;第四步,将氮化硅薄膜取出,经过显影、定影后获得光刻胶纳米光栅耦合自由悬空波导结构.

为表征结构的传感性能,搭建如图 5 所示的测试系统. 实验采用 EQ-99XFC 宽带白光光源,白光光源发出的光经过准直镜准直后,正入射到悬空氮化硅薄膜波导光栅一侧,透过结构后被一固定在调节精度为 1 μm 的三维平移台上纤芯直径为 6 μm 的光纤收集. 光纤另一端连接到光谱仪上(海洋光学 USB4000). 图 5(b)是氮化硅薄膜上三维立体光栅的扫描电子显微镜图片,周期 600 nm,占空比 0.72.

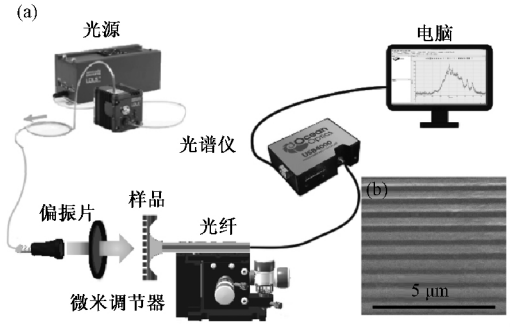


图 5　(a)光栅耦合氮化硅薄膜的实验装置图; (b)氮化硅薄膜上光栅结构的扫描电子显微镜图

利用上述搭建的测试光路测量了当氮化硅薄膜与光纤之间分别为蒸馏水、酒精、异丙醇和显影液(丙二醇甲醚醋酸酯)四种液体(折射率分别为 1.333, 1.361, 1.375 和 1.401)时的透射光谱. 在实验过程中,为了避免液体滴入氮化硅薄膜与光纤端面之间的缝隙中后由于表面张力的作用导致氮化硅薄膜紧密贴在光纤端面上,我们通过调节微米平移台使得两者间距为 20 ~ 50 μm,从而避免氮化硅薄膜与光纤端面接触对测试结果造成影响. 实验过程中在滴加不同被检测液体过程中未发现氮化硅薄膜的破裂,表明氮化硅薄膜具有良好的力学性能,同时也表明我们这种折射率传感器系统的耐用性. 虽然不同液体表面张力不同可能会导致氮化硅薄膜与光纤端面之间的间距微小改变,但是不同液体的表面张力之间的差异不足以造成几十微米的间距变化,因而也不会对测试结果产生影响.

图 6 给出了以氮化硅薄膜与光纤之间为空气时的透射光谱为参考光谱时四种液体的相对光透射光谱曲线. 相对透射光谱曲线定义为 $T_{relative} = (I_{liquid}(\lambda) - I_b(\lambda))/(I_{air}(\lambda) - I_b(\lambda))$,其中 $I_{liquid}(\lambda)$ 表示滴入被分析溶液后光纤收集到的光谱强度,$I_{air}(\lambda)$ 是氮化硅薄膜与光纤之间为空气时光纤收集到的光谱强度,$I_b(\lambda)$ 是背景噪声. 图 6(a)中可以看出,每一条曲线在波长 772 nm 处都存在一个峰,这对应光栅耦合氮化硅波导与光纤之间为空气时的波导共振模式. 波长分别为 831.2 nm、845.17 nm、849.75 nm 和 856.03 nm 处的谷对应四种不同的溶液折射率. 相对应的瑞利反常波长理论值为($\lambda_{Rayleigh} = n_1 \times \Lambda$) 799.8 nm、816.6 nm、825 nm 和 840.6 nm. 实验中波导模式和瑞利反常波长差分别为 31.4 nm、28.57 nm、24.75 nm 和 15.43 nm. 从实验数据可得,随着溶液折射率逐渐增加,波导模式和瑞利反常模式逐渐靠近. 图 6(b)是相应的模拟结果,模拟中参数选择为光栅周期 600 nm,光栅宽度为 450 nm,占空比 0.75,光栅高度 200 nm,氮化硅

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

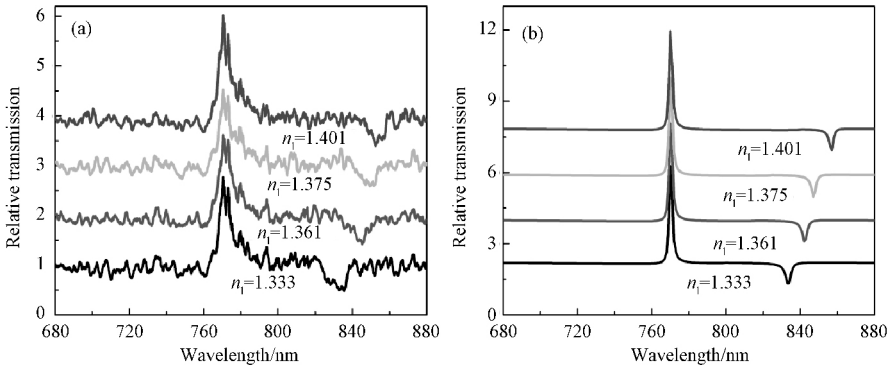


图 6 光栅耦合氮化硅波导对不同溶液传感的(a)实验与(b)模拟结果

薄膜厚度 100 nm. 此时波导模式共振波长位置和形状与实验结果基本一致.

图 7 为溶液折射率与波导共振波长之间的关系曲线. 方块和圆点分别对应图 6(a)中的实验结果和 6(b)中的模拟结果. 由图 7 可知,实验结果和模拟结果基本一致. 由 6(b)可知溶液折射率从 1.333 改变到 1.361 时,器件灵敏度的平均值为 314.28 nm/RIU;折射率从 1.375 改变到 1.401 时,器件平均灵敏度为 371.53 nm/RIU. 图 6(a)实验结果中,相对应灵敏度为 501.78 nm/RIU 和 241.54 nm/RIU.

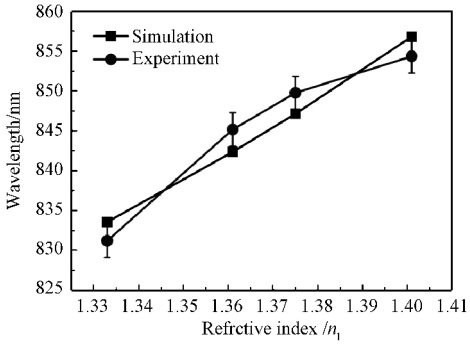


图 7 波导模式中波长位置与折射率的实验和模拟结果

实验结果和理论结果具有一定的偏差,这是由于在光纤收集透射光的光谱测试系统中,光波进入光纤后,不同模式之间相互干涉造成整个系统噪声振荡的半高全宽大约为 2 nm,导致图 6(a)中的波导模式共振波长存在大约为 2 nm 的位置误差,加之实验中测量的被分析液体折射率差别本身很小,因此造成实验结果与模拟结果之间存在一定的误差.

3 结 论

本文提出了一种基于光栅耦合悬空氮化硅薄膜波导的液体折射率传感器设计方案. 通过将待测液体和光栅分别置于氮化硅波导两侧避免了因待测液体与光栅相互接触引起的光栅衍射效率降低的问题,同时增加被分析液体与氮化硅波导的接触面积,提高器件的灵敏度. 采用数值模拟分析优化了器件的参数设计,计算表明当波导模式靠近瑞利反常模式时,器件灵敏度最高. 通过改变光栅的周期、高度、厚度以及波导的厚度都可以实现对波导模式共振波长的调节,从而可以针对被检测液体折射率的大小合理选择结构参数实现最优化的传感灵敏度. 实验上采用 3D 双光子光刻系统在氮化硅薄膜上制备了光刻胶纳米光栅,并利用自搭建的光谱测试系统表征了器件的传感性能,证明了设计方案的可行性.

参 考 文 献

[1] Mashev L, Popov E. Zero order anomaly of dielectric coated gratings [J]. Opt Comm, 1985, 55(6): 377 – 380.

[2] Kozma P, Kehl F, Ehrentreich-Förster E, et al. Integrated planar optical waveguide interferometer biosensors: a comparative review [J]. Biosensors & Bioelectronics, 2014, 58: 287 – 307.

[3] Schmitt K, Schirmer B, Hoffmann C, et al. Interferometric biosensor based on planar optical waveguide sensor chips for label-free detection of surface bound bioreactions [J]. Biosensors & Bioelectronics, 2007, 22: 2591 – 2597.

[4] Sharma G, Kumar S, Singh V. Sensitivity of grating coupled graded thin film planar waveguide sensors [J]. Opt Quant Electron, 2015, 47(2): 169 – 177.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[5] Patko D,Cottier K,Hamori A,et al. Single beam grating coupled interferometry: high resolution miniaturized label-free sensor for plate based parallel screening [J]. Optics Express,2012,20(21):23162 – 23173.

[6] Wang Q,Li C Y,Zhao C W,et al. Guided-mode-leaky-mode-guided-mode fiber interferometer and its high sensitivity refractive index sensing technology [J]. Sensors,2016,16(6):801.

[7] Ramakrishna B,Sai V V R. Evanescent wave absorbance based U-bent fiber probe for immunobiosensor with gold nanoparticle labels [J]. Sensors & Actuators B Chemical,2016,226:184 – 190.

[8] Gu F X,Zhang L,Yin X F,et al. Polymer single-nanowire optical sensors [J]. Nano Lett,2008,8(9):2757 – 2761.

[9] Pevec S,Donlagic D. Nanowire-based refractive index sensor on the tip of an optical fiber [J]. Appl Phys Lett,2013,102(21):213114.

[10] Tong L M,Lou J Y,Mazur E. Single-mode guiding properties of subwavelength-diameter silica and silicon wire waveguides [J]. Optics Express,2004,12(6):1025 – 1035.

[11] Magnusson R,Wawro D,Zimmerman S,et al. Resonant photonic biosensors with polarization-based multiparametric discrimination in each channel [J]. Sensors,2011,11(2):1476 – 1488.

[12] Kehl F,Follonier S. Self-referenced waveguide grating sensor [J]. Optics Letters,2016,41(7):1447 – 1450.

[13] Feng S F,Zhang X P,Wang H,et al. Fiber coupled waveguide grating structures [J]. Appl Phys Lett,2010,96(13):133101.

[14] Feng S F,Liu H M,Song J Y,et al. Theoretical analysis on the tuning dynamics of the waveguide-grating structures [J]. Optics Express,2009,17(2):426 – 436.

[15] Nazirizadeh Y,Behrends V,Prósz A,et al. Intensity interrogation near cutoff resonance for label-free cellular profiling [J]. Scientific Reports,2016,6:24685.

[16] Liu H M,Dou F. Molecular concentration sensor based on the diffraction resonance mode of gold nanowire gratings [J]. Nanotechnology,2010,21(33):335501.

[17] Feng S F,Darmawi S,Henning T,et al. A miniaturized sensor consisting of concentric metallic nanorings on the end facet of an optical fiber [J]. Small,2012,8(12):1937 – 1944.

[18] Moharam M G,Gaylord T K. Rigorous coupled-wave analysis of grating diffraction – *E*-mode polarization and losses [J]. J Opt Soc Am,1983,73(4):451 – 455.

[19] Moharam M G,Gaylord T K. Rigorous coupled-wave analysis of metallic surface-relief gratings [J]. J Opt Soc Am A,1986,3(11):1780 – 1787.

[20] Feng S F,Zhang X P,Klar P J. Waveguide Fabry-Pérot microcavity arrays [J]. Appl Phys Lett,2011,99(5):053119.

[21] Vengurlekar A S. Optical properties of metallo-dielectric deep trench gratings: role of surface plasmons and Wood-Rayleigh anomaly [J]. Optics Letters,2008,33(15):1669 – 1671.

[22] Rosenblatt D,Sharon A,Friesem A A. Resonant grating waveguide structures [J]. IEEE Journal of Quantum Electronics,1997,33(11):2038 – 2059.

[23] Sharon A,Rosenblatt D,Friesem A A. Narrow spectral bandwidths with grating waveguide structures [J]. Appl Phys Lett,1996,69(27):4154 – 4156.

[24] http://www.nanoscribe.de/en/. [2016-10-12].

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Nano-Grating Coupled Freestanding Membrane Waveguide for Refractive Index Sensing

Han Jing Feng Shengfei

(Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100048)

Abstract

A new configuration of liquid refractive index sensor based on nano-grating coupled suspended film waveguide was proposed. The grating located on the top surface, while the analytic liquid located on the bottom of the membrane. This separation of the grating and the analyte avoided the impact of the analyte to the diffractive efficiency of the grating, and strengthened the contact between the analyte and the waveguide, thereby enhanced the performance of sensing device. In this paper, the influence of various parameters to the sensing performance of the device was analyzed with numerical simulation. The analysis showed that the closer the waveguide mode approached to the Rayleigh anomaly wavelength, the higher the sensitivity. The sensor was created by using 3D two-photon lithography technique to fabricate photoresist grating on a silicon nitride membrane. Finally, the sensing performance of the sensor was characterized by the self-built fiber spectrum measurement system, and the feasibility of the design scheme was verified.

Key words: guided-modes, Rayleigh anomaly, nano-grating, 3D two-photon lithography, freestanding membrane, refractive index sensing.

(C)1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net