



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 106680223 B

(45)授权公告日 2019.07.16

(21)申请号 201611215142.5

(22)申请日 2016.12.26

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 106680223 A

(43)申请公布日 2017.05.17

(73)专利权人 哈尔滨工程大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南
通大街145号哈尔滨工程大学科技处
知识产权办公室

(72)发明人 苑立波 杨世泰

(51)Int.Cl.

G01N 21/31(2006.01)

(56)对比文件

CN 101769857 A,2010.07.07,

US 2001012429 A1,2001.08.09,

CN 101950049 A,2011.01.19,

US 5841545 A,1998.11.24,

CN 104698539 A,2015.06.10,

CN 101236275 A,2008.08.06,

CN 101464408 A,2009.06.24,

JP 2010048638 A,2010.03.04,

CN 104535512 A,2015.04.22,

WO 8404384 A1,1984.11.08,

CN 103630515 A,2014.03.12,

US 5569923 A,1996.10.29,

CN 1415952 A,2003.05.07,

CN 101339274 A,2009.01.07,

审查员 胡正耀

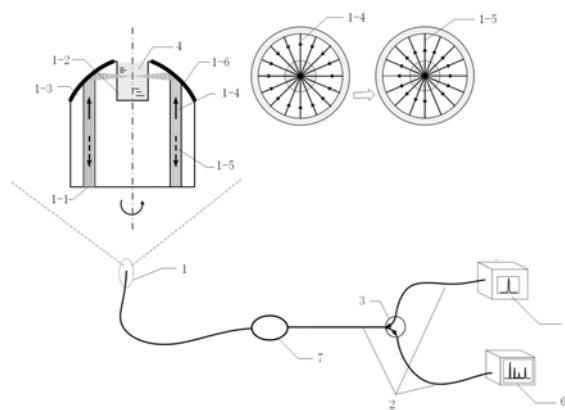
权利要求书1页 说明书5页 附图6页

(54)发明名称

纤维集成透射吸收式光谱探针及制作方法

(57)摘要

本发明提供的是一种纤维集成透射吸收式光谱探针及制作方法。包括环形芯光纤环形芯光纤端面通过精细研磨形成一个旋转对称反射光学结构,在结构上镀有一层反射膜,在环形芯光纤的端面刻蚀有一个盛放微纳尺寸物质的凹槽;所述结构能够对环形芯光纤的环形芯传输的宽谱光进行反射并强聚焦于盛放在凹槽内的微纳尺寸物质上,透过微纳尺寸物质的光再经由旋转对称反射光学结构反射回到环形芯中反向传输,环形芯反向传输的透射的光信号通过拉锥耦合区耦合进多模光纤中,经由环形器传输至光谱仪中进行吸收光谱分析。本发明可用于测量微量物质的透射吸收光谱,例如:单细胞吸收、痕量物质吸收、微量液体吸收等。



1. 一种纤维集成透射吸收式光谱探针,包括环形芯光纤,其特征是:所述环形芯光纤端面通过精细研磨形成一个旋转对称反射光学结构,在旋转对称反射光学结构上镀有一层反射膜,在环形芯光纤的端面刻蚀有一个盛放微纳尺寸物质的凹槽;所述旋转对称反射光学结构能够对环形芯光纤的环形芯传输的宽谱光进行反射并强聚焦于盛放在凹槽内的微纳尺寸物质上,透过微纳尺寸物质的光再经由旋转对称反射光学结构反射回到环形芯中反向传输,环形芯反向传输的透射的光信号通过拉锥耦合区耦合进多模光纤中,经由环形器传输至光谱仪中进行吸收光谱分析。

2. 根据权利要求1所述的纤维集成透射吸收式光谱探针,其特征是:所述的旋转对称反射光学结构为旋转对称平面反射汇聚结构,由精细研磨在环形芯光纤端面而形成底角为 45° 的圆锥台。

3. 根据权利要求1所述的纤维集成透射吸收式光谱探针,其特征是:所述的旋转对称反射光学结构为旋转对称弧面反射聚焦结构,由精细研磨在环形芯光纤端面而形成底角为 45° 的圆锥台再进行弧面优化,形成曲率半径为R的旋转对称弧面圆锥台。

4. 根据权利要求1、2或3所述的纤维集成透射吸收式光谱探针,其特征是:通过三端口环形器的一端与纤维集成透射吸收式光谱探针拉锥耦合,三端环形器另外两端分别通过连多模光纤接至宽谱光源与光谱仪构成纤维集成透射吸收光谱仪,多模光纤将宽谱光从宽谱光源引出,经由环形器后传输至拉锥耦合区,将宽谱光耦合进纤维集成透射吸收式光谱探针,环形芯光纤反向传输的透射光经过拉锥耦合区耦合进入多模光纤,再经由环形器传输至光谱仪。

5. 一种纤维集成透射吸收式光谱探针的制作方法,其特征是包括如下步骤:

步骤一:锥体粗磨

将环形芯光纤放置于光纤端研磨台的光纤夹具上,调整环形芯光纤与研磨台夹角至 45° ,进行环形芯光纤端平面旋转对称锥台结构的研磨,将锥台的底角粗磨至 45° ;

步骤二:锥体抛光

将研磨好的锥体进行抛光,放在超声清洗槽中清洗、烘干;

步骤三:镀膜

将磨好的环形芯光纤放入镀膜机中,使研磨好的锥台侧面镀上一层反射金属膜;

步骤四:刻蚀凹槽

使用飞秒激光器在环形芯光纤尖端的中间芯处刻蚀凹槽。

6. 根据权利要求5所述的纤维集成透射吸收式光谱探针的制作方法,其特征是:在步骤一与步骤二之间增加锥体优化精磨步骤,具体包括:在步骤一粗磨的基础上,在研磨的同时调节光纤的俯仰角,对步骤一中粗磨的旋转对称锥台结构进行弧面优化,使其研磨至具有弧度的旋转对称弧面反射聚焦结构。

纤维集成透射吸收式光谱探针及制作方法

技术领域

[0001] 本发明涉及的是一种光谱探针,本发明也涉及一种光谱探针的制作方法。

背景技术

[0002] 当用一束具有连续波长的宽谱光照射一物质时,该物质的分子就要吸收一部分对应频率的光能,并将其转变成另一种能量,即分子的振动能量和转动能量。因此如果将其透过的光利用单色器进行色散,就能得到一些暗的谱带。如果以波长或波数作为横坐标,以百分吸收率或透过率作为纵坐标,把谱带记录下来,就得到了该物质的吸收光谱图。利用这些信号可以实现被测物质的组成和结构的定性、定量分析。因此物质的吸收光谱在分析化学,生物医学,环境安全等领域有广泛的应用。

[0003] 当前广泛采用的透射吸收光谱信号采集装置为比色皿,其存在体积大,干扰多,灵敏度低等缺点,且不适合用于尺度在微米量级的物质的透射吸收光谱的测量。也有使用光纤探头来作为吸收光谱测量工具,但其设计一般只有一个激发方向和透射光收集方向,而且激发效率不高。

[0004] 为了精确地实现细胞、微量液体和痕量物质等尺寸只有微米量级的物质的透射吸收光谱的测量,在技术上需要解决的问题是:由于被测物质的大小在微米尺度,与物质相互作用的光斑只有处于微纳尺度,才能实现空间的高精度分辨。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种用于高效激发并获得其透射吸收光谱的纤维集成透射吸收式光谱探针。本发明的目的还在于提供一种纤维集成透射吸收式光谱探针的制作方法。

[0006] 本发明的纤维集成透射吸收式光谱探针包括环形芯光纤,所述环形芯光纤端面通过精细研磨形成一个旋转对称反射光学结构,在旋转对称反射光学结构上镀有一层反射膜,在环形芯光纤的端面刻蚀有一个盛放微纳尺寸物质的凹槽;所述旋转对称反射光学结构能够对环形芯光纤的环形芯传输的宽谱光进行反射并强聚焦于盛放在凹槽内的微纳尺寸物质上,透过微纳尺寸物质的光再经由旋转对称反射光学结构反射回到环形芯中反向传输,环形芯反向传输的透射的光信号通过拉锥耦合区耦合进多模光纤中,经由环形器传输至光谱仪中进行吸收光谱分析。

[0007] 本发明的纤维集成透射吸收式光谱探针还可以包括:

[0008] 1、所述的旋转对称反射光学结构为旋转对称平面反射汇聚结构,由精细研磨在环形芯光纤端面而形成底角为 45° 的圆锥台。

[0009] 2、所述的旋转对称反射光学结构为旋转对称弧面反射聚焦结构,由精细研磨在环形芯光纤端面而形成底角为 45° 的圆锥台再进行弧面优化,形成曲率半径为R的旋转对称弧面圆锥台。

[0010] 3、通过三端口环形器的一端与纤维集成透射吸收式光谱探针拉锥耦合,三端环形

器另外两端分别通过连多模光纤接至宽谱光源与光谱仪构成纤维集成透射吸收光谱仪,多模光纤将宽谱光从宽普光源引出,经由环形器后传输至拉锥耦合区,将宽谱光耦合进纤维集成透射吸收式光谱探针,环形芯光纤反向传输的透射光经过拉锥耦合区耦合进入多模光纤,再经由环形器传输至光谱仪。

[0011] 本发明的纤维集成透射吸收式光谱探针的制作方法为:

[0012] 步骤一:锥体粗磨

[0013] 将环形芯光纤放置于光纤端研磨台的光纤夹具上,调整环形芯光纤与研磨台夹角至 45° ,进行环形芯光纤端平面旋转对称锥台结构的研磨,将锥台的底角粗磨至 45° ;

[0014] 步骤二:锥体抛光

[0015] 将研磨好的锥体进行抛光,放在超声清洗槽中清洗、烘干;

[0016] 步骤三:镀膜

[0017] 将磨好的环形芯光纤放入镀膜机中,使研磨好的锥台侧面镀上一层反射金属膜;

[0018] 步骤四:刻蚀凹槽

[0019] 使用飞秒激光器在环形芯光纤尖端的中间芯处刻蚀凹槽。

[0020] 本发明的纤维集成透射吸收式光谱探针的制作方法还可以包括:

[0021] 在步骤一与步骤二之间增加锥体优化精磨步骤,具体包括:在步骤一粗磨的基础上,在研磨的同时调节光纤的俯仰角,对步骤一中粗磨的旋转对称锥台结构进行弧面优化,使其研磨至具有弧度的旋转对称弧面反射聚焦结构。

[0022] 本发明针对于微生物、细胞、微量液体、痕量物质等微纳尺寸的物质,提出了一种用于高效激发并获得其透射吸收光谱的光纤光谱探针及其制造方法。

[0023] 由于本发明采用的是环形芯光纤,其纤端经磨锥、刻蚀等微加工工艺制成,因此具有体积小,集成度高,操作灵活度高等特点。纤端中间刻蚀的凹槽可以方便地盛放细胞、微量液体等物质,精细研磨而成的旋转对称锥台结构能将环形芯传输的激发光聚焦于凹槽中的物质上,能量密度很高的聚焦光斑只有微米尺度,且其宽谱光能从 360° 任意角度方向上与物质充分相互作用,作用效率很高,得到较为完整的物质相关吸收谱信息。与物质相互作用后的透射光又能从锥台结构反射回环形芯,经环形芯传输至拉锥耦合区,信号光耦合进多模光纤后传输至光谱仪中分析,得到该物质的透射吸收光谱。本发明可用于测量微量物质的透射吸收光谱,例如:单细胞吸收、痕量物质吸收、微量液体吸收等。

附图说明

[0024] 图1是纤维集成透射吸收式光谱仪系统示意图。

[0025] 图2a是环形芯光纤截面示意图;图2b是环形芯光纤折射率分布示意图。

[0026] 图3a-图3b是纤维集成透射吸收式光谱探针结构示意图,图3a为旋转对称平面锥台结构;图3b为优化后的旋转对称弧面锥台结构。

[0027] 图4是弧面优化的方法示意图。

[0028] 图5是旋转对称平面锥台结构的汇聚光场平均能量密度分布图(光纤探针沿轴向切片)。

[0029] 图6是聚焦效果随优化弧面曲率半径R变化的关系曲线图。

[0030] 图7优化弧面曲率半径为 $R=100\mu\text{m}$ 的旋转对称弧面结构的聚焦光场平均能量密度

分布图(光纤探针沿轴向切片)。

[0031] 图8是多模光纤与环形芯光纤拉锥耦合方式示意图。

[0032] 图9是纤维集成透射吸收光谱仪探针研磨过程示意图。

具体实施方式

[0033] 下面结合附图举例对本发明做更详细的描述:

[0034] 结合图1,本发明的纤维集成透射吸收式光谱探针1是通过在环形芯光纤端面进行精细研磨,形成一个旋转对称,底角为 45° 的锥台1-3,然后对锥台进行弧面优化,形成旋转对称弧面锥台结构,接着在研磨好的结构上镀上一层反射膜1-6;在光纤的端面刻蚀一个盛放微纳尺寸物质的凹槽1-2。所述环形芯光纤探针1端面旋转对称结构1-3能够对环形芯1-1传输的宽谱光1-4进行反射并强聚焦于盛放在凹槽1-2内的物质4上,并与之充分相互作用,透过物质4的光再经由旋转对称结构1-3反射,回到环形芯1-1中反向传输。这时候环形芯1-1反向传输的则是与物质充分相互作用后的透射的光信号1-5,该信号通过拉锥耦合区7,耦合进多模光纤2中,经由环形器3传输至光谱仪6中进行分析。

[0035] 这种纤维集成透射吸收式光谱探针使用的环形芯光纤探针1的纤端中间有刻蚀而成的凹槽1-2,用于盛放待测物质4。

[0036] 这种纤维集成透射吸收式光谱仪的光纤探针1端面的旋转对称反射光学结构1-3的形式有如下两种,1)旋转对称平面反射汇聚结构;2)旋转对称弧面反射聚焦结构。

[0037] 1)旋转对称平面反射汇聚结构:其结构由精细研磨光纤端面而形成的底角为 45° 的圆锥台1-3,并镀上反射金属膜1-6。该反射金属膜能够对环形芯1-1输出的宽谱光1-4进行反射而汇聚,汇聚的宽谱光1-4能与盛放于凹槽1-2中的物质4充分相互作用,相互作用后的透射光1-5将会再次经由锥台形端面1-3反射进环形芯1-1内反向传输。

[0038] 2)旋转对称弧面反射聚焦结构:其结构与1)的不同之处在于其反射面是曲率半径为R的旋转对称弧面圆锥台。这样的旋转对称弧面结构能使宽谱光在凹槽内的聚焦光斑更小,聚焦点处平均能量密度更高,从而使得光与物质的相互作用更加充分。

[0039] 本发明纤维集成透射吸收式光谱探针具有体积小,集成度高,操作灵活度高等特点。光纤端中间刻蚀的凹槽可以方便地盛放细胞、微量液体等物质,精细研磨而成的旋转对称锥台结构能将环形芯传输的激发光聚焦于凹槽中的物质上,能量密度很高的聚焦光斑只有微米尺度,且其宽谱光能从 360° 任意角度方向上与物质充分相互作用,作用效率很高,得到较为完整的物质相关吸收谱信息。与物质相互作用后的透射光又能从锥台结构反射回环形芯,经环形芯传输至拉锥耦合区7,经过环形器3传输至光谱仪6,得到透射吸收光谱。

[0040] 这种纤维集成透射式光谱探针的制作方法是:

[0041] 步骤一:锥体粗磨。将环形芯光纤放置于光纤端研磨台9的光纤夹具8上,调整环形芯光纤与研磨台8的夹角,开启研磨机,进行光纤端平面旋转对称结构圆台的研磨,将锥台的底角粗磨至 45° 附近。

[0042] 步骤二:锥体优化精磨。在步骤一粗磨的基础上,在研磨的同时调节光纤的俯仰角,对步骤一中粗磨的旋转对称平面结构进行弧面优化,使其研磨至具有最佳弧度的旋转对称弧面反射聚焦结构1-3。

[0043] 步骤三:锥体抛光。将研磨好的锥体进行抛光,放在超声清洗槽中清洗、烘干。

[0044] 步骤四:镀膜。将磨好的光纤放入镀膜机中,使研磨好的锥台侧面镀上一层反射金属膜1-6。

[0045] 步骤五:刻蚀凹槽,使用飞秒激光器在探针尖端的中间芯处刻蚀凹槽1-2。

[0046] 该探针采用如图2a-图2b所示的环形芯光纤,其中图2a是环形芯光纤截面示意图,图2b是光纤的折射率 n 随光纤半径分布示意图。本发明在此种光纤纤端进行微结构加工,得到如图3所示的探针结构。本发明对环形芯的纤端进行精细研磨,形成一个底角为 45° 的旋转对称圆锥台结构1-3,然后在其锥台结构1-3的侧面镀上一层反射膜1-6;在环形芯光纤的纤端中间刻蚀一个凹槽1-2,用于盛放待测的微量液体或细胞等物质4。

[0047] 结合图1,本发明的工作原理为:使用一个三端口环形器3,其三个端口通过普通多模光纤2分别与宽谱光源5,光谱仪6和环形芯光纤探针1相连接,其中与环形芯光纤探针1连接点处采用拉锥耦合7的方式,实现普通单芯多模光纤2与环形芯光纤探针1的光路耦合。宽谱光1-4经普通多模光纤2从宽谱光源5引出,经过三端口环形器3传输并耦合进环形芯光纤探针1中传输,宽谱光1-4传输至旋转对称锥台结构1-3的镀膜反射面1-6上,发生反射,反射光将从各个方向汇聚于凹槽1-2内的物质4上,汇聚的光斑尺寸在微米量级,具有较高的能量密度,能够与待测物质充分相互作用,得到较为完整的透射吸收光谱信息。相互作用后的透射光1-5将会经由旋转对称锥台结构1-3反射回环形芯1-1,经由环形芯1-1反向传输。透射光经过耦合区7和环形器3,传输至光谱仪6中进行分析。

[0048] 图3a是纤维集成透射吸收式光谱探针的旋转对称平面反射汇聚结构示意图。这里利用comsol软件对该反射结构建立了平均功率分布模型(即环形芯内的能量满足轴对称径向高斯分布)。计算结果如图5所示,可以看出其聚焦光斑的尺寸只有微米量级,且聚焦点平均能量密度很高,达到了 $3120\text{J}/\text{m}^3$,这样能够实现光与物质的充分相互作用。图3b是弧面优化后的纤维集成透射吸收式光谱仪探针的旋转对称弧面锥台反射汇聚结构示意图,其优化方法如图4所示:先将环形芯光纤的纤端研磨至底角为 45° 的旋转对称平面圆锥台结构,再以此为基准,做一个圆心为0,曲率半径为 R 的切圆,沿着切圆进行弧面优化研磨。同样,本发明利用comsol对优化后的结构进行了计算分析,其中优化曲率半径取 $75\mu\text{m}$ - $350\mu\text{m}$,得到聚焦光斑最大平均能量密度随弧面优化的曲率半径的变化关系图(图6),由图6可以看出,优化后的结构具有更好的聚焦效果,其中曲率半径为 $R=100\mu\text{m}$ 时优化效果最好,聚焦光斑相比较旋转对称平面结构来说尺寸更小,能量密度更强,达到了 $5830\text{J}/\text{m}^3$ (如图7所示),更适合微纳尺寸的物质吸收光谱的测量。

[0049] 图8表示的是环形芯光纤和多模光纤拉锥耦合示意图,两种光纤先用焊接机焊接,往多模光纤内注光,然后再在焊接区熔融拉锥,当环形芯光纤端的出射功率达到最大时停止拉锥,这样便能实现环形芯和多模光纤中的光的耦合。

[0050] 下面举一例说明本发明的制作过程:

[0051] 图9展示的是本发明使用到的光纤端精细研磨装置和研磨过程示意图。其中研磨台9可沿其中心轴转动,光纤夹具8除了能沿其轴转动外,还可以调整其俯仰角度,用于锥台的弧面优化。本发明首先对环形芯光纤进行端面切割,接着将其放置在光纤夹具8上,调整至适当的位置,然后对其进行光纤端锥体粗磨。待锥体底角接近 45° 时,再使光纤夹具8同时调节光纤的俯仰角,以对光纤端进行锥体优化精磨。等完成优化精磨后,对其进行抛光、清洗并在其旋转对称锥台结构1-3侧面镀膜。最后,在光纤端中间进行激光刻蚀,形成用于盛

放物质的凹槽1-2。这样便制得了本发明所述的纤维集成透射吸收光谱探针。

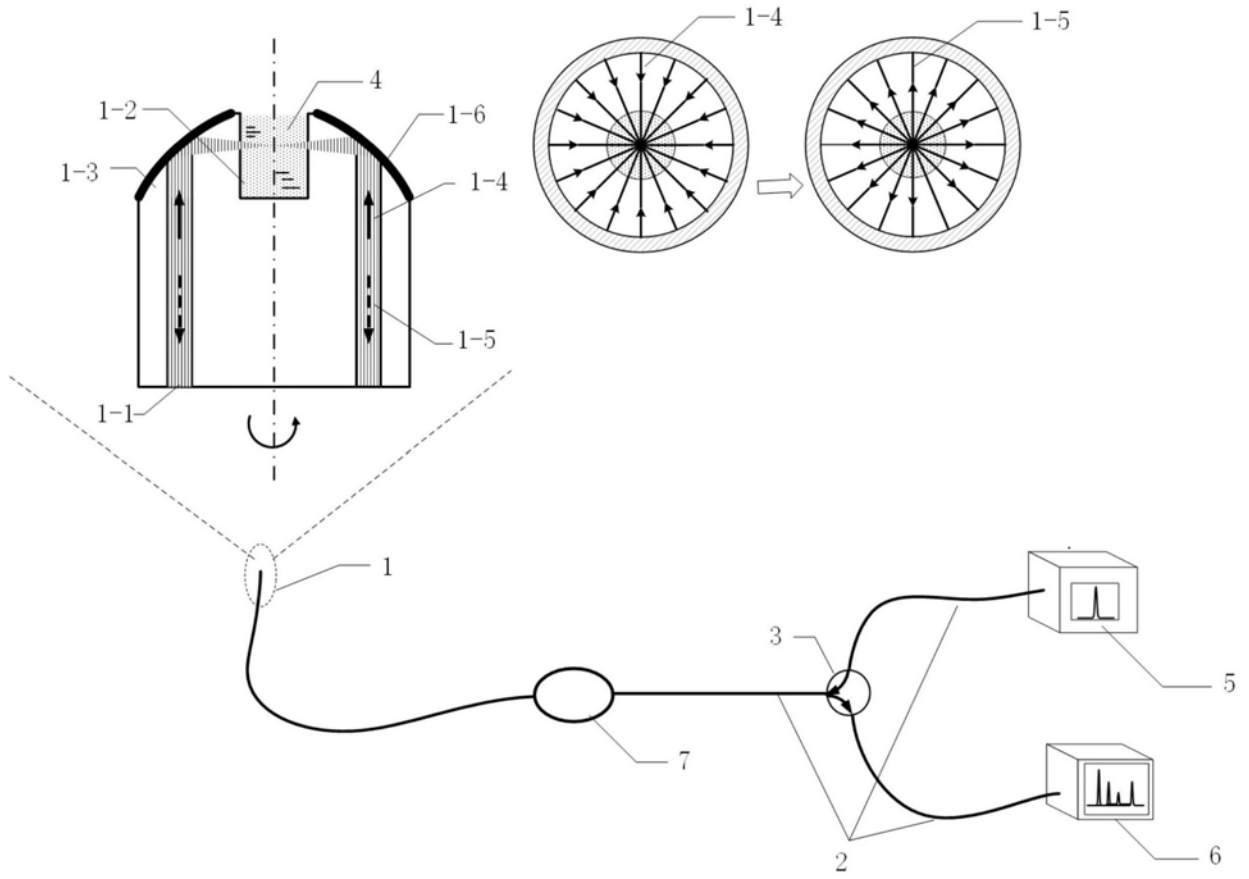


图1

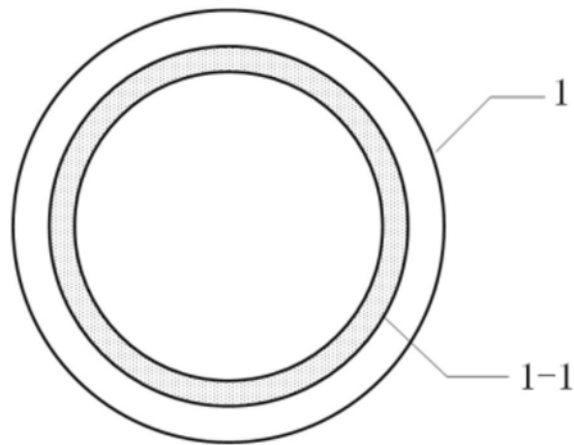


图2a

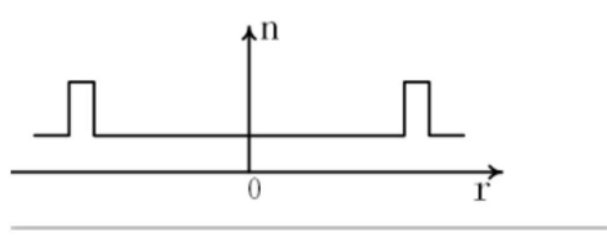


图2b

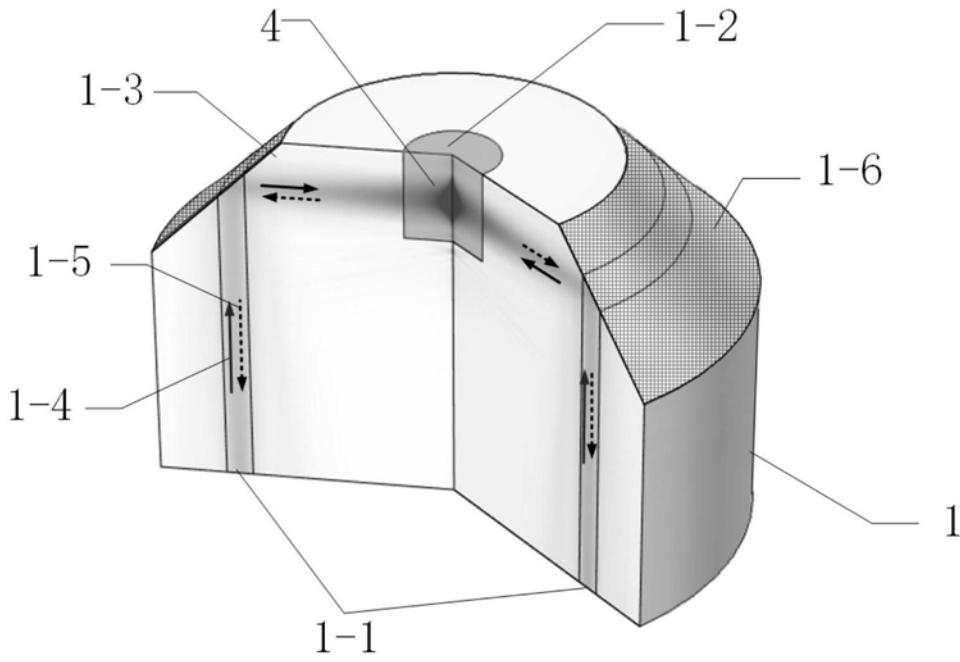


图3a

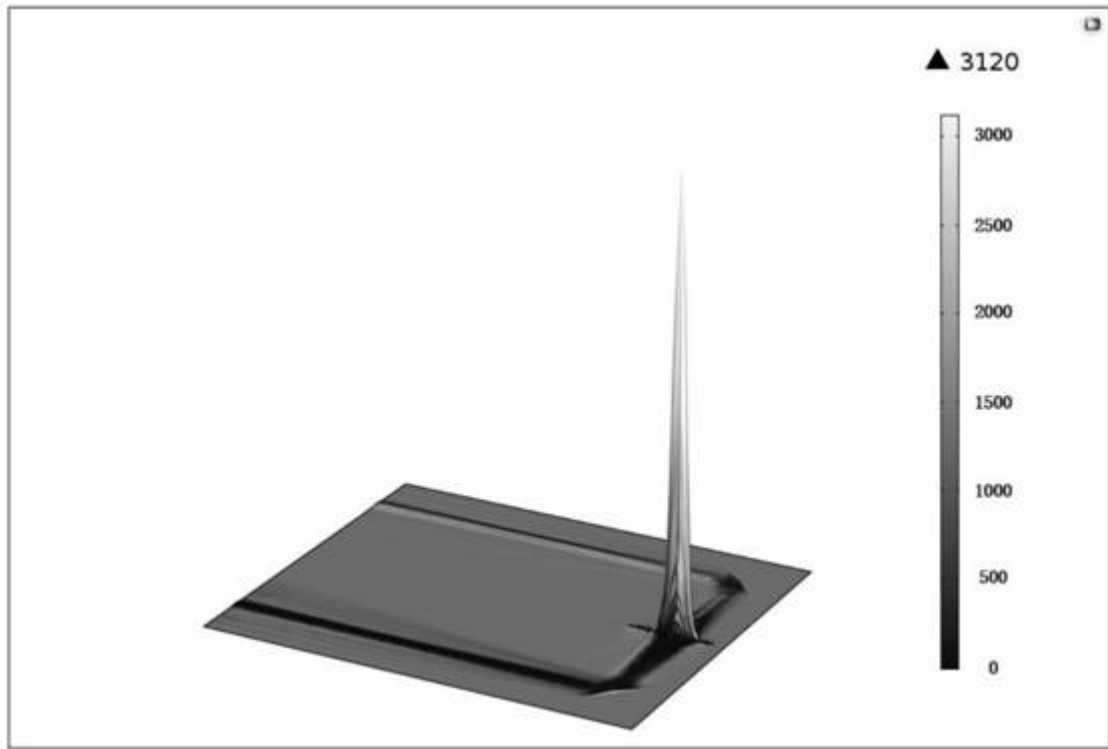


图5

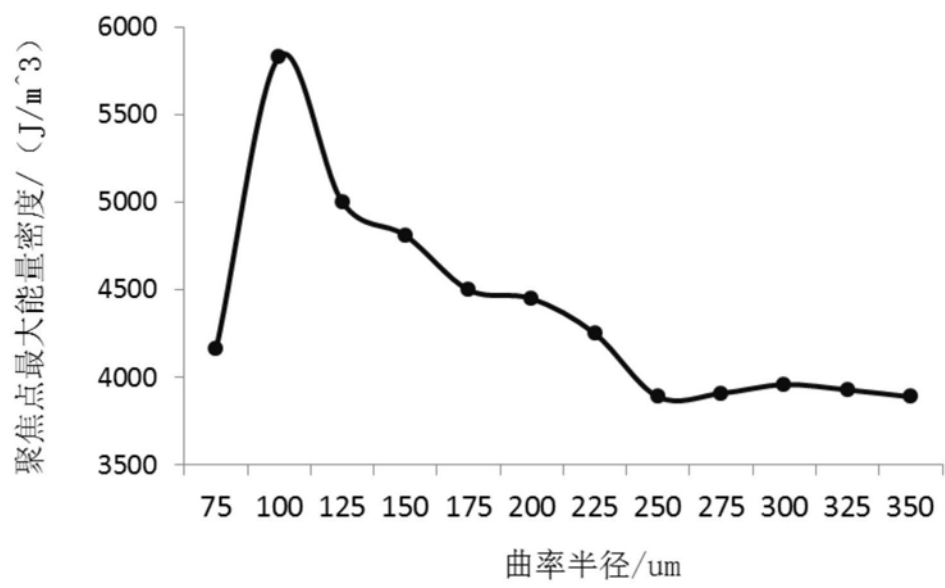


图6

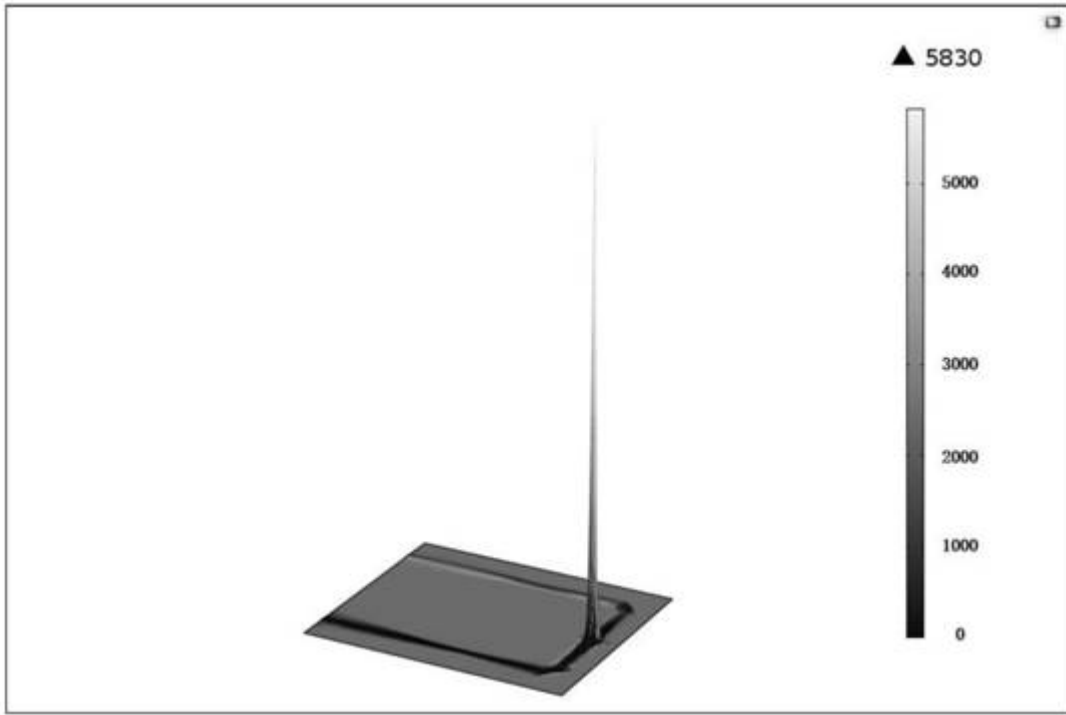


图7

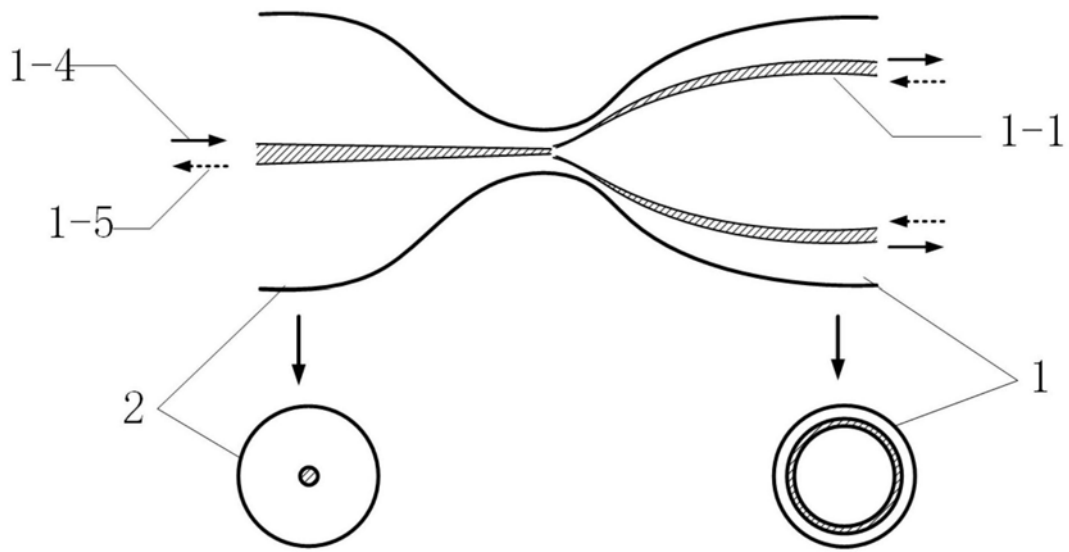


图8

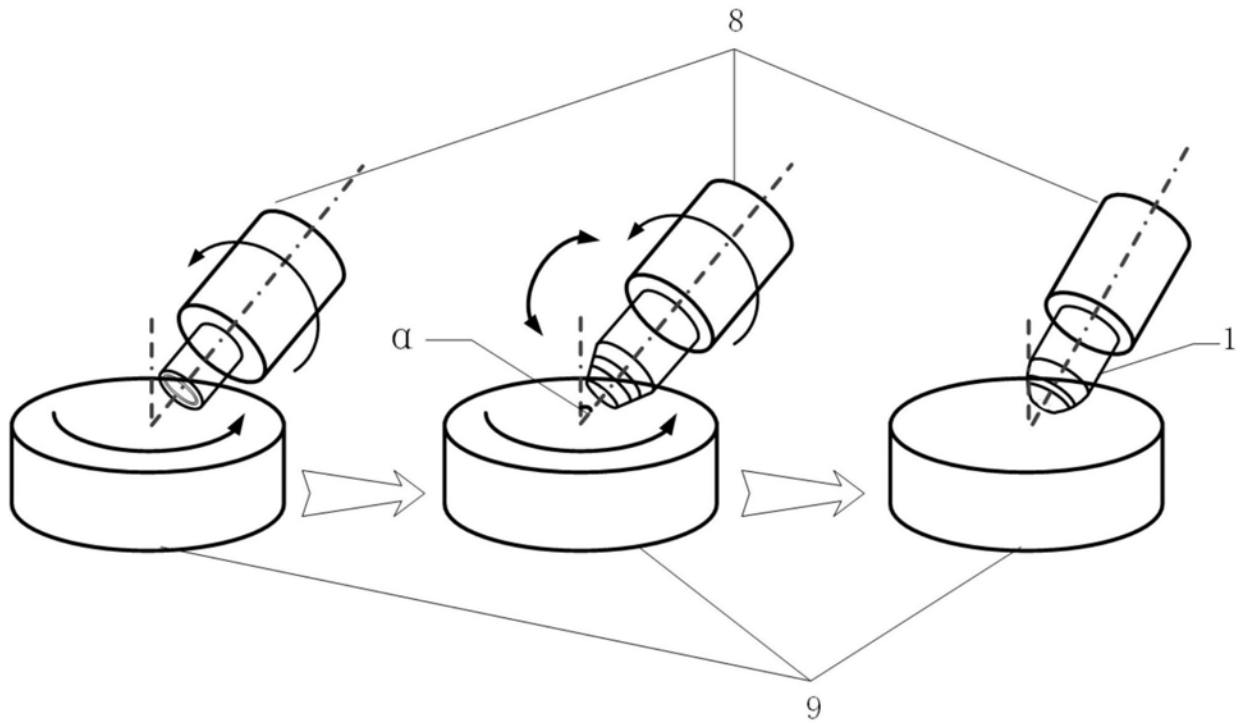


图9