



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103884298 B

(45)授权公告日 2016.08.17

(21)申请号 201410106284.2

SU 892207 A1,1981.12.23,

(22)申请日 2014.03.20

CN 1645040 A,2005.07.27,

(73)专利权人 河海大学常州校区

CN 101241017 A,2008.08.13,

地址 213022 江苏省常州市晋陵北路200号

CN 1396445 A,2003.02.12,

(72)发明人 殷澄 汤一彬 单鸣雷 陈秉岩

杜嘉斌等.光波导显微技术测量微小厚度变化.《光电工程》.2007,第34卷(第2期),第32-36页.

韩庆邦 朱昌平

(74)专利代理机构 南京纵横知识产权代理有限公司 32224

审查员 陈良泽

代理人 董建林

(51)Int.Cl.

G01B 11/30(2006.01)

(56)对比文件

CN 1645039 A,2005.07.27,

CN 1645039 A,2005.07.27,

CN 2064041 U,1990.10.17,

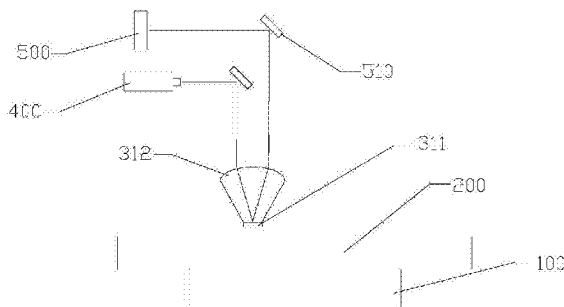
权利要求书1页 说明书5页 附图4页

(54)发明名称

基于导模的金属表面粗糙度测量系统及方法

(57)摘要

本发明公开了一种基于导模的金属表面粗糙度测量系统及方法,该测量系统包括检测探头、激光器和探测器,所述检测探头包括光传导装置和镀在光传导装置上的一层金膜,所述金膜与待测金属表面构成双面金属包覆波导结构,所述金膜与待测金属表面之间的空气隙为导波层,所述激光器发出的激光进入光传导装置,经由所述金膜耦合进双面金属包覆波导结构,反射激光经由所述金膜,进入光传导装置,再通过光路系统进入所述探测器。本发明的基于导模的金属表面粗糙度测量系统,能够利用波导结构中的导模来探测加工的金属表面的粗糙度,利用导模的超高灵敏度,理论精度高达1nm,对于各种精密仪器的加工工艺有重要的意义。



1. 一种基于导模的金属表面粗糙度测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

1)提供由透镜、玻璃构件和镀在玻璃构件上的金膜组成的检测探头;

2)固定激光器和探测器,并调整激光器和探测器各自的光路系统;

3)将待测金属放置在三维移动平台上,调节三维移动平台的高度,使待测金属表面与检测探头的金膜之间的间距为1mm,金膜与待测金属表面构成双面金属包覆波导结构,金膜与待测金属表面之间的空气隙为导波层;

4)打开激光器,通过探测器接受反射光强,继续进行高度的微调,使探测器接受的光强为极小值;

5)水平移动三维移动平台,利用检测探头对待测金属表面进行逐点扫描,待测金属表面平整时,水平移动待测金属不会引起耦合条件的改变,从而探测器不会探测到光强强弱的变化,如果样品表面存在缺陷,水平移动待测金属时,探测器可以探测到缺陷信号的强弱。

2. 一种基于导模的金属表面粗糙度测量方法,其特征在于,包括以下步骤:

1)提供由Y型光纤和镀在Y型光纤的一个分支端面的金膜组成的检测探头;

2)将Y型光纤的另外两个分支分别与激光器、探测器连接;

3)将待测金属放置在三维移动平台上,调节三维移动平台的高度,使待测金属表面与检测探头的金膜之间的间距为1mm,金膜与待测金属表面构成双面金属包覆波导结构,金膜与待测金属表面之间的空气隙为导波层;

4)打开激光器,通过探测器接受反射光强,继续进行高度的微调,使探测器接受的光强为极小值;

5)水平移动三维移动平台,利用检测探头对待测金属表面进行逐点扫描,待测金属表面平整时,水平移动待测金属不会引起耦合条件的改变,从而探测器不会探测到光强强弱的变化,如果样品表面存在缺陷,水平移动待测金属时,探测器可以探测到缺陷信号的强弱。

## 基于导模的金属表面粗糙度测量系统及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于精密测量技术领域,具体涉及一种基于导模的金属表面粗糙度测量系统及方法。

### 背景技术

[0002] 表面粗糙度,是指加工表面具有的较小间距和微小峰谷不平度。其两波峰或两波谷之间的距离(波距)很小,通常在1mm以下,用肉眼是难以区别的,因此它属于微观几何形状误差。表面粗糙度越小,则表面越光滑。表面粗糙度的大小,对机械零件的使用性能有很大的影响。表面粗糙度是机械加工中描述表面微观形貌非常重要的一个参数,而表面粗糙度测量技术是现代精密测试计量技术的一个重要组成部分,分为接触式和非接触式两类测量方法,其中,非接触式测量方法的探测部分不与被测表面直接接触,保护了测量装置,同时避免了与测量装置直接接触引入的误差。非接触法主要有光切法,实时全息法,散斑法等等,其中散斑法的灵敏度可达10微米。

[0003] 各种精密仪器的加工工艺对于金属表面粗糙度的要求较高,尤其是以光刻技术为代表的各种微加工工艺的法阵对集成芯片制造、光子晶体、微流体片上实验室的制备等各种高科技领域具有极其重要的意义,对加工精度的要求已经达到亚微米甚至纳米的量级。而上述表面粗糙度测量的方法难以满足更精确测量的要求。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是针对上述现有技术的不足,提供一种基于导模的金属表面粗糙度测量系统。

[0005] 为实现上述目的,本发明所采取的技术方案如下。

[0006] 一种基于导模的金属表面粗糙度测量系统,其特征在于,包括检测探头、激光器和探测器,所述检测探头包括光传导装置和镀在光传导装置端面上的一层金膜,所述金膜与待测金属表面构成双面金属包覆波导结构,所述金膜与待测金属表面之间的空气隙为导波层,所述激光器发出的激光进入光传导装置,经由所述金膜耦合进双面金属包覆波导结构,反射激光经由所述金膜进入光传导装置,再通过光路系统进入所述探测器。

[0007] 进一步地,所述金膜的厚度为30-40nm。

[0008] 进一步地,还包括三维移动平台,待测金属放置在所述三维移动平台上。

[0009] 进一步地,所述光传导装置包括透镜和玻璃构件,所述金膜镀在玻璃构件上。

[0010] 进一步地,所述光传导装置为Y型光纤,所述Y型光纤的三个分支分别与激光器、探测器和金膜相连接,所述金膜镀在所述Y型光纤的一个分支的端面。

[0011] 进一步地,所述Y型光纤的一个分支通过锥形拉伸部与金膜相连接,所述金膜镀在所述锥形拉伸部的端面。

[0012] 本发明还进一步提供了一种基于导模的金属表面粗糙度测量方法,包括以下步骤:

- [0013] 1)提供由透镜、玻璃构件和镀在玻璃构件上的金膜组成的检测探头；
- [0014] 2)固定激光器和探测器,并调整激光器和探测器各自的光路系统；
- [0015] 3)将待测金属放置在三维移动平台上,调节三维移动平台的高度,使待测金属表面与检测探头的金膜之间的间距为1mm,金膜与待测金属表面构成双面金属包覆波导结构,金膜与待测金属表面之间的空气隙为导波层；
- [0016] 4)打开激光器,通过探测器接受反射光强,继续进行高度的微调,使探测器接受的光强为极小值；
- [0017] 5)水平移动三维移动平台,利用检测探头对待测金属表面进行逐点扫描,待测金属表面平整时,水平移动待测金属不会引起耦合条件的改变,从而探测器不会探测到光强强弱的变化,如果样品表面存在缺陷,水平移动待测金属时,探测器可以探测到缺陷信号的强弱。
- [0018] 本发明基于导模的金属表面粗糙度测量方法的进一步的方案,包括以下步骤：
- [0019] 1)提供由Y型光纤和镀在Y型光纤的一个分支端面的金膜组成的检测探头；
- [0020] 2)将Y型光纤的另外两个分支分别与激光器、探测器连接；
- [0021] 3)将待测金属放置在三维移动平台上,调节三维移动平台的高度,使待测金属表面与检测探头的金膜之间的间距为1mm,金膜与待测金属表面构成双面金属包覆波导结构,金膜与待测金属表面之间的空气隙为导波层；
- [0022] 4)打开激光器,通过探测器接受反射光强,继续进行高度的微调,使探测器接受的光强为极小值；
- [0023] 5)水平移动三维移动平台,利用检测探头对待测金属表面进行逐点扫描,待测金属表面平整时,水平移动待测金属不会引起耦合条件的改变,从而探测器不会探测到光强强弱的变化,如果样品表面存在缺陷,水平移动待测金属时,探测器可以探测到缺陷信号的强弱。
- [0024] 本发明的有益效果是:本发明的基于导模的金属表面粗糙度测量系统,能够利用波导结构中的导模来探测加工的金属表面的粗糙度,利用导模的超高灵敏度,理论精度高达1nm,对于各种精密仪器的加工工艺有重要的意义。

#### 附图说明

- [0025] 图1为本发明基于导模的金属表面粗糙度测量系统的第一种实施方式的功能图。
- [0026] 图2为本发明基于导模的金属表面粗糙度测量系统的第一种实施方式的波导结构光场分布图。
- [0027] 图3为本发明基于导模的金属表面粗糙度测量系统的第一种实施方式的探头结构示意图。
- [0028] 图4为本发明基于导模的金属表面粗糙度测量系统的第二种实施方式的探头结构示意图。
- [0029] 图5为本发明的检测探头与待测金属构成的双面金属包覆波导结构示意图。
- [0030] 图6为理论模拟本发明的双面金属包覆波导的反射率谱线图。
- [0031] 图7为本发明的探测信号与待测金属表面缺陷的关系图。
- [0032] 图8为假设的待测金属的缺陷图。

[0033] 图9为对图8所示的缺陷进行扫描得到的光强分布图。

[0034] 图中,1-空气层,2-金膜,3-待测金属,4-金膜所附衬底,100-三维移动平台,200-待测金属,210-缺陷,311-金膜,312-透镜,313-玻璃构件,320-Y型光纤,321-第一分支,322-第二分支,323-第三分支,324-锥形拉伸部,325-金膜,400-激光器,500-探测器,510-光路系统。

### 具体实施方式

[0035] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,下面结合附图及实施例对本发明作进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0036] 本发明的发明构思为:随着三维移动平台的移动,利用探头(镀在透镜或者光纤端面的纳米金膜)对金属样品表面的粗糙度进行逐点扫描。因为探头与样品的表面构成一个双面金属包覆波导结构,通过调整探头与样品表面的距离,可以激发出超高阶导模。当样品表面平整时,该样品移动时,不会引起耦合条件的改变,从而探测器不会探测到光强强弱的变化。如果样品表面存在缺陷,探测器可以探测到缺陷信号的强弱,而且可以利用CCD进行成像。

#### [0037] 实施例1

[0038] 本发明基于导模的金属表面粗糙度测量系统的第一种实施方式如图1所示,包括检测探头、激光器400和探测器500,检测探头如图3所示,包括透镜312、玻璃构件313和镀在玻璃构件313上的金膜311,透镜312是为了使入射光和反射光能够以一定角度区分开,以便于光路系统将两束光分别传输到激光器和探测器,而玻璃构件313能够给纳米金膜311提供支撑,并且使得光路在进入透镜以后始终在玻璃的环境里传输。

[0039] 如图1所示,金膜311与待测金属200表面构成双面金属包覆波导结构,金膜311与待测金属200表面之间的空气隙为导波层,激光器400发出的激光进入透镜312,经过玻璃构件313后由金膜311耦合进双面金属包覆波导结构,反射激光经由金膜311,进入透镜312,再通过光路系统510进入探测器500,待测金属200放置在三维移动平台100上。

[0040] 金膜311的厚度为30-40nm,是通过溅射或者蒸镀的方式镀在玻璃构件313的底面,该纳米金膜的作用是为了形成双面金属包覆波导的上层金膜,从而激发超高阶导模。图2为本发明测量系统的第一种实施方式的波导结构的光场分布图,曲线线条为激发超高阶导模的时波导结构中的电磁场分布,可见在纳米金膜中,电磁场分布为两个指数衰减的迅衰场的叠加,而在空气隙中为一个振荡场,在被检测的金属样品中,电磁场为指数衰减场,随着深度的增大而迅速衰减。空气隙为导波层,这种模式由于模式序数很高,被称为超高阶导模,对导波层的厚度变化极其灵敏。

[0041] 三维移动平台100可以进行高度的调节,还可以在水平面上进行两个维度的调节。高度的调节可以使待测金属200表面与探头的纳米金膜311之间的间距为1mm左右,并且在探测器500部分接收到的反射光强为极小值。具体操作为:调节待测金属样品的高度,使得样品表面和探头之间的距离为1mm的范围内,此时打开激光器,通过探测器接受反射光强,继续进行高度的微调,使探测器接受的光强为极小值,即升高或者降低平台,都会增大探测器的光强。三维移动平台100的水平方向上两个维度的移动的作用是为了对待测金属样品

的表面进行逐点的扫描。

[0042] 待测金属200在三维移动平台100上可以进行三个维度的调整,因此光路系统是固定的,避免了操作时光路系统的振动。激光器400的波长位于可见光波段或者红外光波段均可以,出于成本的考虑,可以选择单色性好的廉价激光器。探测器500所接收的波长与激光器400发出的波长匹配即可。

[0043] 实施例2

[0044] 本发明基于导模的金属表面粗糙度测量系统的第二种实施方式与第一种实施方式的不同之处仅在于光传导装置,如图4所示,测量系统第二种实施方式的光传导装置为Y型光纤320,Y型光纤的第一分支321通过锥形拉伸部324与金膜325相连接,金膜325镀在锥形拉伸部324的端面;Y型光纤的第二分支322和第三分支323分别连接激光器和探测器。

[0045] 其中锥形拉伸部324能够使探头的尺寸更小,从而探测细微的结构。激光器发出的激光,经过Y型光纤的第二分支322进入锥形拉伸部324,再由纳米金膜325耦合进波导结构,反射激光也从波导结构中,经纳米金膜325,进入锥形拉伸部324,再通过Y型光纤的第三分支323进入探测器。

[0046] 实施例1和实施例2的双面金属包覆波导结构如图5所示,该波导结构包括空气层1,金膜2,待测金属3,金膜所附衬底4;纳米金膜所附的衬底在透镜结构中为玻璃构件,在Y型光纤结构中为锥形拉伸部;纳米金膜2与待测金属样品表面之间的空气隙为空气层1。其中,2层称为波导结构的耦合层,1层称为波导结构的波导层,3层称为波导结构的衬底。

[0047] 故,可用 $\varepsilon_4$ 表示玻璃的介电系数, $\varepsilon_2$ 表示金膜的介电系数, $\varepsilon_1$ 表示空气的介电系数, $\varepsilon_3$ 表示金属样品的介电系数,d表示空气层的厚度。根据波导的基本理论,可得对称金属包覆介质波导的模式本征方程。

[0048] TE模:

$$[0049] \quad \kappa_1 d = m\pi + \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_2}{\kappa_1}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{\alpha_3}{\kappa_1}\right) \quad (1)$$

[0050] TM模:

$$[0051] \quad \kappa_1 d = m\pi + \tan^{-1}\left(\frac{\varepsilon_1 \alpha_2}{\varepsilon_2 \kappa_1}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{\varepsilon_1 \alpha_3}{\varepsilon_3 \kappa_1}\right) \quad (2)$$

[0052] (1)和(2)两式是实超越方程,从这两个方程可得到以下几个结论:

[0053] 1)导模有效折射率的存在范围是

$$[0054] \quad 0 < \beta/k_0 < \sqrt{\varepsilon_1} \quad (3)$$

[0055] 导模的有效折射率的范围显然比任何全介质波导和非对称金属包覆介质波导导模有效折射率存在范围都大。

[0056] 2)当满足导模的激发条件,即改变入射光的波长或者是入射角度,使得模式本征方程中的m为整数。超高阶导模就会被激发,此时,入射光的能量会被耦合进导波层中沿着导波层传播,从而使得原本应该被反射的能量无法反射,因此反射的光强会出现极小值。调节三维移动平台时,需保证探测光强为极小值,就是为了保证超高阶导模被激发。

[0057] 图6为理论模拟本发明的双面金属波导的反射率谱线图,如图6所示的理论模拟结构,仿真的参数为 $\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = -17.3 + 0.68i$ ,  $d = 1\text{mm}$ ,  $\varepsilon_1 = \varepsilon_4 = 1$ ,入射激光波长 $\lambda = 860\text{nm}$ 。图中

示出了当入射角连续改变时的反射率的谱线,图中,4.4度到5.6度之间存在3个吸收峰,因此可以很容易找到共振吸收峰。大图为在4.98度附近的某一个共振吸收峰。图中的曲线I为原始的吸收峰的图样;曲线II为其它参数都不变化,仅仅改变 $\varepsilon_1=1.00001$ ;曲线III对应的模拟,仅仅改变 $d=1\text{mm}+5\text{nm}$ ;曲线IV仅仅改变参数 $\lambda=860.02\text{nm}$ 。上述仿真证明了超高阶导模的理论灵敏度极高。本专利所用的是超高阶导模对于导波层(即探针和金属样品表面之间的空气层)的厚度变化极为灵敏的这一特性。由图中可见,在本仿真中,如果把探测器接收的角度固定在4.98度,当 $d=1\text{mm}$ 时,接收到的反射率仅为0.3,在 $d$ 改变5mm以后,接收到的反射率已经高达0.6。假设探测器可以测量的反射率的变化为5%,那么本专利提出的方案对表面粗糙度的测量精度小于1nm。

[0058] 图7为本发明的探测信号与待测金属表面缺陷的关系图,如图7所示,A是假设的金属表面的缺陷的形状,由于该仪器经过调解,在金属表面平整的部分可以激发超高阶导模,即满足模式本征方程(假设入射激光为TE模,即满足(1)式)。此时反射激光强度为极小值。如果由于金属表面的不平整,使得空气隙改变 $\Delta d$ ,且 $\kappa_1 \Delta d$ 正好是 $\pi$ 的整数倍,则将满足其它阶数的超高阶导模的激发条件,同样可以激发超高阶导模。B示出了可以激发超高阶导模的高度,并且将这些高度和金属的缺陷进行了对应。C为将金属的缺陷进行离散化,每一个平台的中央为激发超高阶导模的位置。D示出了理论上当探测器从左向右进行扫描时,所探测到的反射光强的变化情况。对应C,每一个平台的中央是激发超高阶导模的高度,由于反射光的能量被耦合进波导无法反射,因此探测到的反射光强为极小值,在其它位置,反射光大部分被反射,光强迅速增强。

[0059] 图8为假设的待测金属的缺陷图,如图8所示,假设待测金属200样品表面存在一个半球状的缺陷210,缺陷的高度如果正好对应超高阶导模激发的高度,那么探测到的反射光强为极小值。此时对这个缺陷进行逐点的二维扫描,就会得到如图9所示的光强分布图,亮纹的区域对应于缺陷存在的位置,亮纹中的黑色暗纹对应于激发超高阶导模的高度,因此这些黑色条纹类似于等高线。

[0060] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并非用来限定本发明的实施范围;如果不脱离本发明的精神和范围,对本发明进行修改或者等同替换,均应涵盖在本发明权利要求的保护范围当中。

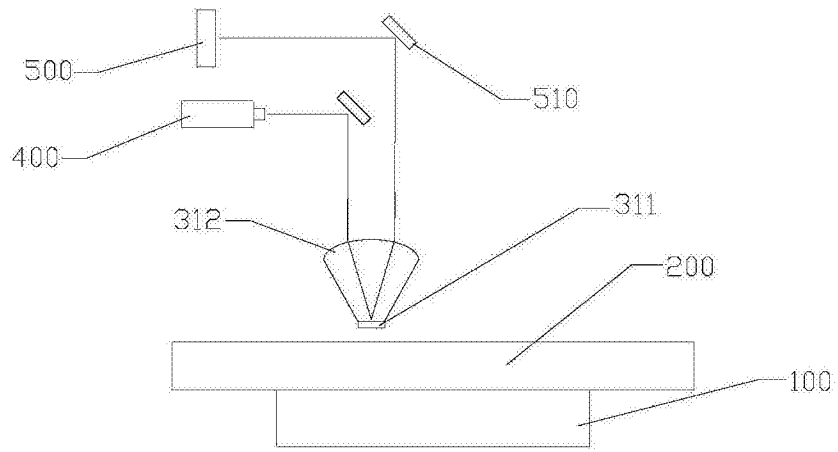


图1

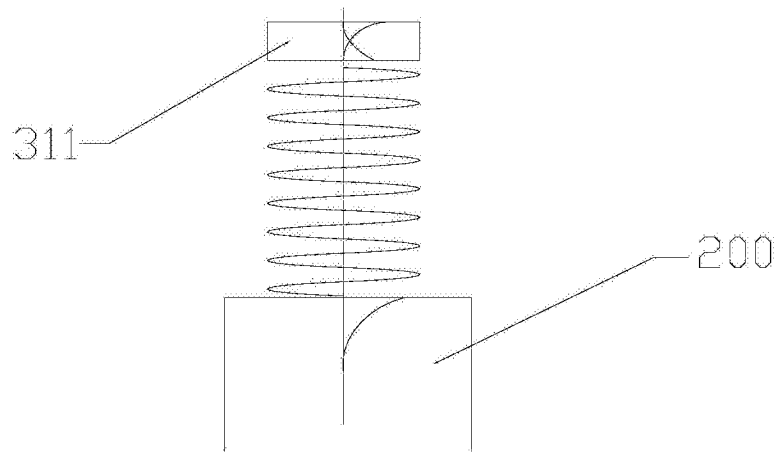


图2

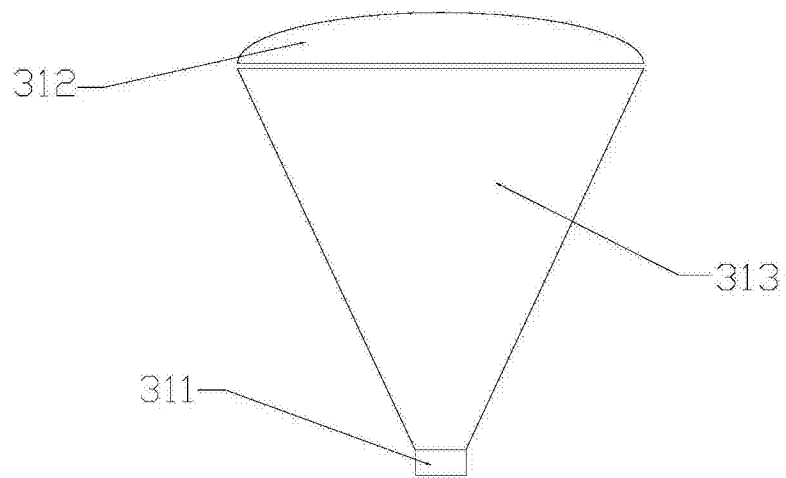


图3



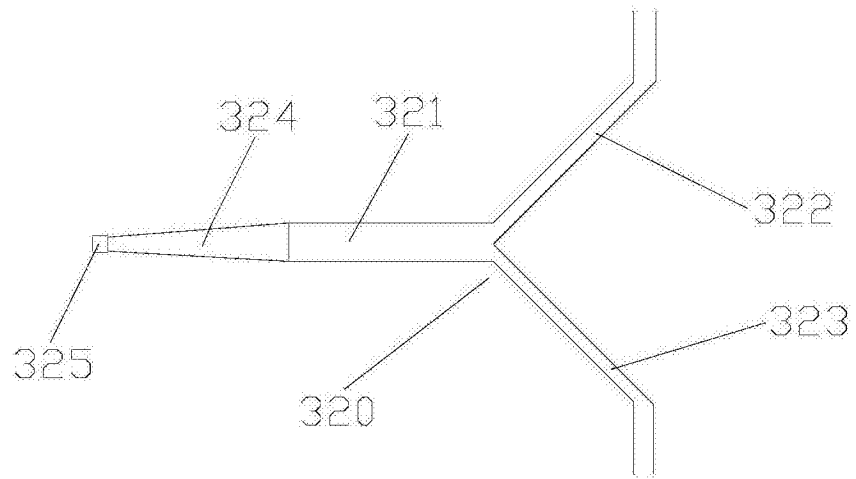


图4

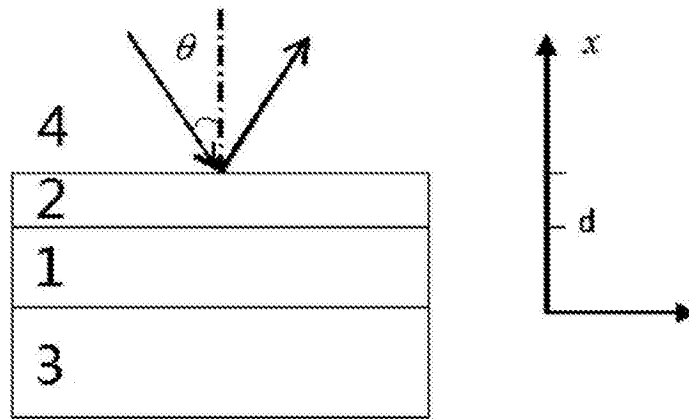


图5

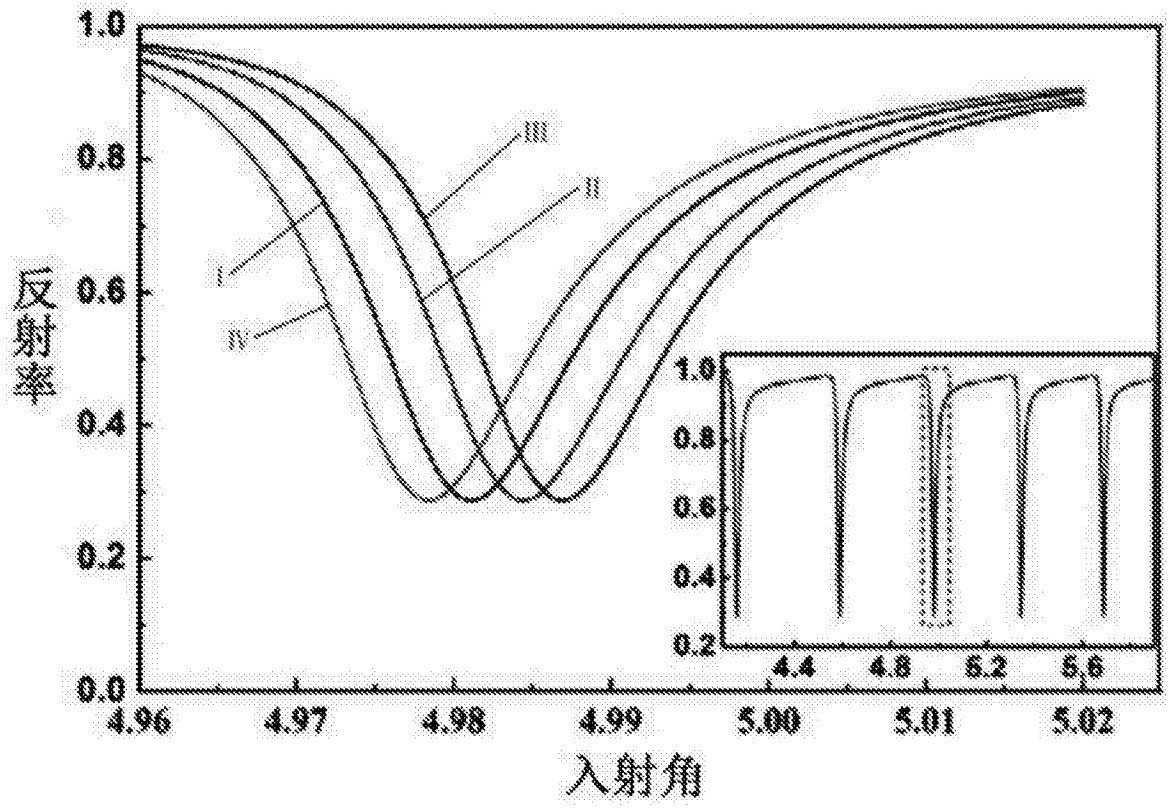


图6

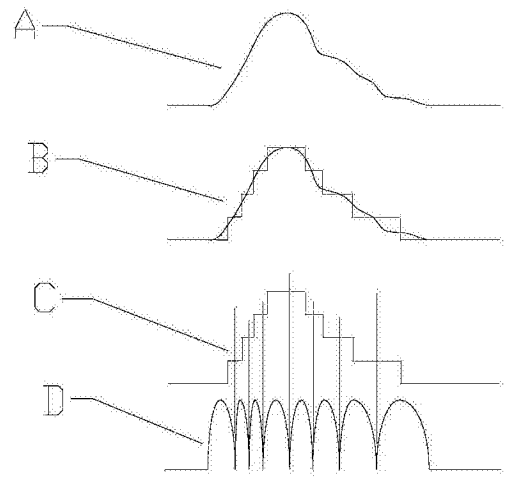


图7

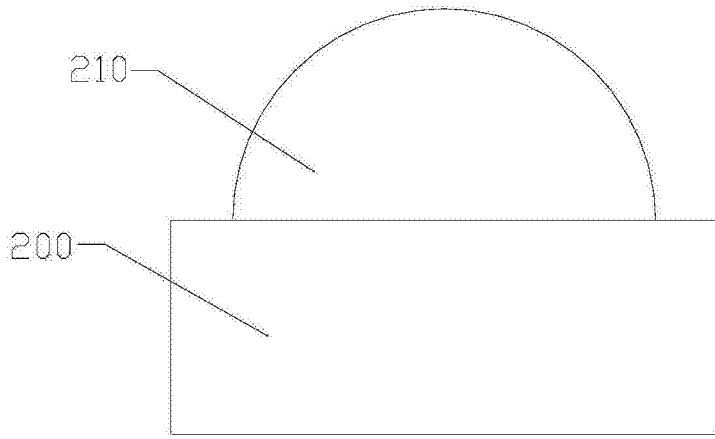


图8

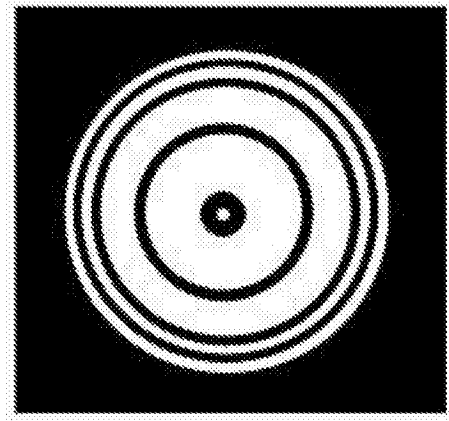


图9