



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102892547 B

(45) 授权公告日 2016.03.02

(21) 申请号 201180023715.3

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2011.05.10

B23K 26/046(2014.01)

(30) 优先权数据

B23K 26/082(2014.01)

102010016862.9 2010.05.10 DE

B23K 26/03(2006.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

G01B 11/14(2006.01)

2012.11.12

G01B 9/02(2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

(56) 对比文件

PCT/IB2011/052048 2011.05.10

WO 0101064 A3, 2001.07.05,

(87) PCT国际申请的公布数据

US 6532068 B2, 2003.03.11,

W02011/141867 DE 2011.11.17

WO 2004003468 A1, 2004.01.08,

(73) 专利权人 普雷茨特激光技术有限公司

US 2005111005 A1, 2005.05.26,

地址 德国新伊森堡

EP 1977850 A1, 2008.10.08,

(72) 发明人 马丁·斯科恩勒伯

US 2009273782 A1, 2009.11.05,

马库斯·科格尔·霍拉切尔

DE 102008049821 A1, 2010.04.08,

(74) 专利代理机构 北京铭硕知识产权代理有限

审查员 王妍

公司 11286

代理人 韩明星

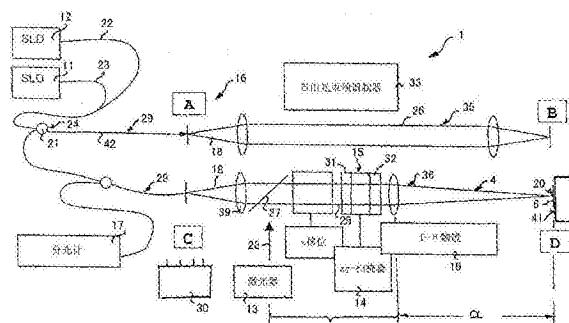
权利要求书2页 说明书11页 附图9页

(54) 发明名称

利用加工距离的原位测量的材料加工装置

(57) 摘要

本发明涉及一种利用光束发生器(5)的加工光束(4)并且利用光束发生器(5)和工件(6)之间的加工距离(a)的原位测量的材料加工装置(1)。为此,材料加工装置(1)具有利用加工光束(4)的加工激光器(13)。包括具有扫描器镜(31,32)的二维偏转装置的激光扫描器(14)布置在加工激光器(13)的下游。设置用于改变加工距离(a(t))的自动重聚焦装置。包括分光计(17)和至少两个传感器光源的传感器装置(16)产生测量光束(18),测量光束(18)利用激光扫描器(14)和透镜系统(19)共同地感测工件(6)的加工区域(20),同时记录工件距离(a)。传感器光源(11,12)的测量光束(18)被线性偏振,并且利用光耦合元件(21)在准直状态以交叉偏振方向耦合到材料加工装置(1)的激光扫描器(14)的加工光束(25)的光路中。



B

CN 102892547 B

1. 一种材料加工装置,利用光束发生器(5)的加工光束(4)并且利用光束发生器(5)和工件(6)之间的加工距离(a)的原位测量,所述材料加工装置(1)包括:

加工激光器(13);

用于加工激光器(13)的激光扫描器(14),激光扫描器(14)包括具有扫描器镜(31,32)的二维偏转装置(15)和用于改变的加工距离(a(t))的可变重聚焦装置;

物镜(19);以及

传感器装置(16),包括分光计(17)和产生测量光束(18)的至少两个传感器光源并且包括光耦合元件,其中,为了记录工件距离(a),测量光束(18)沿交叉偏振方向线性偏振并且利用光耦合元件进行准直,然后通过激光扫描器(14)和物镜(19)指向工件(6)的加工区域(20),而从工件(6)反射的杂光然后返回指向分光计(17)中的光学传感器。

2. 根据权利要求1所述的材料加工装置,其中,光源(11,12)包括具有线性偏振光束的超辐射发光二极管,并且所述线性偏振光束通过保偏光纤指向光耦合元件,其中,光耦合元件包括使线性偏振光束以交叉偏振方向组合的偏振分束器(24)。

3. 根据权利要求1所述的材料加工装置,其中,测量光束(18)限定具有窄带分色光束分离器的传感器光路(26)以在准直状态下将测量光束(18)耦合到加工光路(25)中。

4. 根据权利要求1所述的材料加工装置,其中,测量光束(18)限定具有窄带陷波滤波器的传感器光路(26)以在准直状态下将测量光束(18)耦合到加工光路(25)中。

5. 根据权利要求1所述的材料加工装置,所述材料加工装置还包括旋转滤光轮,旋转滤光轮将激光和传感器光交替地耦合到激光扫描器(14)中并且与加工激光器(13)的脉冲频率同步地旋转,使得激光扫描器(14)在脉冲暂停时能用于测量光束(18),旋转滤光轮使组合的测量光束(18)耦合到加工光路中。

6. 根据权利要求1所述的材料加工装置,其中,偏转镜可枢转到光路中,通过使偏转镜枢转,使组合的测量光束(18)在准直状态下耦合到加工光路(25)中。

7. 根据权利要求1至6中一项所述的材料加工装置,其中,每个传感器光源(11,12)具有传感器波长,传感器波长能够被设定在波长范围在650nm的相机窗口波长范围内,在650nm处,扫描器镜(31,32)的反射率高并且一致。

8. 根据权利要求1至6中一项所述的材料加工装置,其中,扫描器镜(31,32)具有对传感器光的波长和激光的波长的反射率相同的涂层。

9. 根据权利要求1至6中一项所述的材料加工装置,其中,扫描器镜(31,32)具有对测量光束的波长和来自加工激光器(13)的激光的波长的反射率不同的涂层,并且材料加工装置(1)具有设置有深通滤波器的计算机控制装置(30),所述深通滤波器滤除来自工件(6)反射的反射信号的比激光的波长长的波长的传感器光并估计以进行从光束发生器(5)到工件(6)的距离测量。

10. 根据权利要求1至6中一项所述的材料加工装置,其中,扫描器镜(31,32)具有对测量光束(18)的波长和来自加工激光器的激光的波长的反射率不同的涂层,并且材料加工装置(1)具有启动校准运算的计算机控制装置(30),校准运算测量每种定位组合,并以表格形式将所述每种定位组合存储在计算机控制装置中,并且在估计反射的测量信号时将存储的表格考虑在内,其中,所述每种定位组合是指电镀的扫描器镜(31,32)与具有已知光谱反射率的平面相比的每种定位组合。

11. 根据权利要求 1 所述的材料加工装置,其中,传感器装置具有自由光束预调制器(33),自由光束预调制器(33)通过光纤(22,23)连接到传感器光源(11,12)和由测量光束(18)限定的传感器光路(26)。

12. 根据权利要求 11 所述的材料加工装置,其中,自由光束预调制器(33)被构造成为具有两个臂(35,36)的干涉仪(34)。

13. 根据权利要求 12 所述的材料加工装置,其中,自由光束预调制器(33)包括被构造成为朝向传感器光路(26)部分反射的光纤端部。

14. 根据权利要求 11 至 13 中一项所述的材料加工装置,所述材料加工装置还包括干涉仪(34),其中,在干涉仪(34)中来自传感器光源的光被分开,以形成子波,其中,使第一子波与第二子波干涉,所述第一子波在自由光束预调制器(33)的较长参考臂(35)内和光纤端部处被反射,第二子波在较短物件臂(36)内和工件(6)处被反射,其他光谱调制位于估计单元的测量范围之外。

15. 根据权利要求 14 所述的材料加工装置,其中,具有与传感器光路(26)中的总色散相同的色散的玻璃光学组件布置在自由光束预调制器(33)中,传感器光路(26)由测量光束(18)限定。

16. 根据权利要求 1 至 6 中一项所述的材料加工装置,其中,所述材料加工装置包括准直的测量光束(18)耦合到加工激光束(4)中的点,和在准直的测量光束(18)中布置在准直的测量光束(18)耦合到加工激光束(4)的点的上游的干涉仪(34),干涉仪(34)具有参考臂(37)、物件臂和干涉仪分束器(40),干涉仪(34)的参考臂(37)具有色散补偿作用,并且参考臂(37)具有与干涉仪分束器(40)和工件(6)之间的物件臂(38)相同的光程长。

17. 根据权利要求 1 至 6 中一项所述的材料加工装置,其中,第二传感器头布置在加工区域(20)的外部,第二传感器头记录到工件(6)的参考距离并且确定激光烧蚀过程中的加工深度的绝对变化或者材料沉积过程中的加工高度的绝对变化。

利用加工距离的原位测量的材料加工装置

技术领域

[0001] 本发明涉及一种利用光束发生器的加工光束并利用光束发生器和工件之间的加工距离的原位测量的材料加工装置。为此，该材料加工装置具有利用近红外加工光束的加工激光器。包括具有扫描器镜的二维偏转装置的激光扫描器布置在加工激光器的下游。设置了用于改变加工距离的自动重聚焦装置。

背景技术

[0002] 这种类型的材料加工装置从 EP 1 977 850 A1 可知。图 8 示出了根据现有技术的这种类型的材料加工装置 3 的部分透视原理图。在透视图中示出了该材料加工装置 3 利用光束发生器 5 的加工光束 4 并利用加工头 7 和工件 6 之间的加工距离的原位测量来加工略微弯曲的工件 6。为此，材料加工装置 3 具有作为光束发生器 5 的利用近红外加工光束 4 的加工激光器。加工头 7 由工业机器人 8 操纵。随时间改变加工距离 $a(t)$ 的自动重聚焦装置设置在材料加工装置 3 中，以在沿箭头 A 的方向引导工件 6 时追踪例如工件 6 的曲线 9。为此，在加工头 7 中设置用于记录断层的光学相干断层扫描装置 10。

[0003] 该材料加工装置 3 的缺点之一是通过光纤传送用于断层记录的测量信号。在操作过程中的振动的情况下，光纤中的振荡可能改变光谱透射，因此可能改变各偏振模式之间的混合比和偏振状态，从而损害测量结果和断层记录。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服现有技术的不足并在加工（烧蚀、沉积焊接等）前、加工过程中和加工后在不接触表面的情况下记录表面的断层。目的在于利用距离测量来改善加工工艺的控制和材料除去 / 沉积的终点确定的可靠性。另一目的在于准确地测量从工件到加工系统的距离，例如，用于重调激光器的焦距。

[0005] 利用独立权利要求的主题来实现这样的目的。从属权利要求中描述了本发明的具有优越性的扩展。

[0006] 本发明公开了利用光束发生器的加工光束并且利用光束发生器和工件之间的加工距离的原位测量的材料加工装置。为此，该材料加工装置具有利用加工光束的加工激光器。包括具有扫描器镜的二维偏转装置的激光扫描器布置在加工激光器的下游。设置用于改变加工距离的自动重聚焦装置。包括分光计和至少两个传感器光源的传感器装置产生测量光束，测量光束利用激光扫描器和物镜共同地感测工件的加工区域，同时采集工件距离。至少两个传感器光源的测量光束被线性偏振，并且通过光耦合元件在准直状态以交叉偏振方向耦合到材料加工装置的激光扫描器的光路中。

[0007] 该材料加工装置的优点是，将加工激光器的预定激光扫描器光学组件用作传感器镜头，使得加工光束和传感器测量光束通过 F-0 物镜系统一起指向工件。设置的加工激光器典型地是波长范围为 1030nm 至 1070nm 的固态激光器。另一优点是，至少两个传感器光源产生测量光束（被线性偏振并通过激光扫描器在准直状态以交叉偏振方向耦合到材料

加工装置的激光扫描器的光路中),以给予传感器装置更有力的保护免受材料加工装置振动的影响,具体地是由于,因交叉偏振方向而使使用的光纤的摇动和振动不再损害光照射和检测性能。

[0008] 为此,将光谱干涉距离传感器(也称作 OCT 或光学相干断层扫描装置)集成到用于材料加工的材料加工装置中的激光扫描器中。因此,为了达到该目的,本发明提出允许在整个激光扫描器容量(laser scanner volume)中高质量的距离测量的特征的组合。这主要利用光谱稳定化措施来实现。

[0009] 非偏振光源的使用,优选地具有线偏振光束的两个光源的使用,防止了光纤的任意摇动改变偏振状态并因此改变偏振模式之间的混合比,其中,所述线偏振光束通过保偏光纤传输到PBC(偏振光束组合器)并且在PBC中通过偏振分束器以交叉偏振方向组合。因此,即使光学组件因偏振方向而具有不同的光谱透射时,光谱透射也不再被损害。

[0010] 然而,如果因应力引起的双折射或涂层而在两个偏振模式中存在不同的路径差异,则例如,在最糟糕的情况下,距离峰分裂成两个子峰。在这种情况下,在本发明的第二实施例中,将具有与偏振相关组件的主方向对应的主方向的双折射元件(例如,分束器和/或电流镜)插入到光路中。这将两个峰分离到能够清楚地估计的程度。

[0011] 将具有线性偏振光束的超辐射发光二极管用作光源,这些光源通过保偏光纤连接到利用偏振分束器将交叉偏振方向组合的偏振光束耦合器。为了将传感器光束在准直状态下耦合到加工光路中,传感器光路具有诸如窄带陷波滤波器的窄带分色光束分离器。

[0012] 也可以设置旋转滤光轮来代替窄带分色光束分离器,以在准直状态下将传感器光束耦合到加工光路中,使得激光扫描器在加工激光器的脉冲暂停时有利地用于测量光束而不影响加工循环,其中,滤光轮将激光或者传感器光交替地耦合到激光扫描器中并与加工激光器的脉冲频率同步地旋转。在本发明的另一实施例中,可以利用能够枢转到光路中的偏转镜在准直状态下将传感器光束耦合到加工光路中。

[0013] 优选地,使用激光器的聚焦跟踪功能来使传感器光重聚焦。在该过程中,在几乎准直状态下将传感器光耦合到激光光路中。然而,将传感器准直器的透镜重聚焦以补偿F-θ物镜系统的彩色聚焦光斑移位。

[0014] 虽然介电涂覆的扫描器镜的倾斜不同,但可以通过将接近前述的1030nm至1070nm的激光波长的传感器波长设置在1260nm至1360nm(纳米)来使光谱反射率稳定。因此,还将一致高的依赖于倾斜和偏振的扫描器镜反射率用于传感器光。

[0015] 另外,可以将传感器波长设置在扫描器镜“相机窗口”波长范围内(在大约650nm),在大约650nm,扫描器镜或电流镜的反射率也高并且一致。用于耦合传感器光束的商业分束器可用于这种类型的波长范围。这种布置在现有的材料加工装置的基础上以有利的方式将新的传感器装置的改进简化,从而创造了如本发明公开的材料加工装置。

[0016] 在本发明另一实施例中,材料加工装置具有计算机控制装置,当扫描器镜具有对传感器波长和激光波长的反射率不同的涂层时,计算机控制装置设置有深通特征,所述深通特征滤除来自反射信号的比激光波长长传感器波长并估计以进行距离测量。

[0017] 作为深通滤除的替换,也可以在用于电流镜定位的每个组合的校准运算中测量光谱包络 $I_{0 \text{ mean}}(k)$ 。这里,测量具有已知光谱反射率的平面。为此,材料加工装置具有计算机控制装置,当扫描器镜具有对传感器波长和激光波长的反射率不同的涂层时,计算机控制

装置启动校准运算。这些校准运算能够测量电镀的扫描器镜与具有已知光谱反射率的平面相比的任意的定位组合并以表列形式存储在计算机中,然后在估计反射的测量信号时将存储的表格考虑在内。

[0018] 当证明反射的测量信号的波度不太大时,可以仅使用这种方案。这主要是由于不能分离 $\exp[i \times \Phi(\lambda)]$ 项。只能确定和消除 $[E_1]$ 和 $[E_2]$ 。因此,需要假设 $\Phi(\lambda)$ 沿整个波长范围位于 $\pm \pi/2$ 间隔内。也可以想到,混合项具有节,在该节处, $[E_R] \times [E_R] = 0$ 并且载波频率 (carrier frequency) 的相位反转,即跃过 π 。当在该节除以 $[E_R] \times [E_R]$ 时,这可以通过使用 $[E_R] \times [E_R]$ 的符号变化获得。

[0019] 给出以下推算:

[0020] 一般

[0021] $E_0 = E_1(\lambda) \times \exp[i \times \Phi(\lambda)]$

[0022] E_1 是实数,因此

[0023] $I = |E_R|^2 + |E_1|^2 + 2|E_R| \times |E_1| \{ \cos \Phi(\lambda) \times \cos[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda] - \sin \Phi(\lambda) \times \sin[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda] \}$

[0024] $= |E_R|^2 + |E_1|^2 + 2|E_R| \times |E_1| \times \cos[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda + \Phi(\lambda)]$

[0025] 优先地可测量以下光谱:

[0026] $I_{\text{reference}} = E_R^2$ (隐藏的物件臂)

[0027] $I_{\text{object}} = E_1^2$ (隐藏的参考臂)

[0028] 如果这些已知,则能够从另外测得的 I 中分离余弦项。

[0029] 现在问题是,不能简单地从距离相位 $\Phi_0(\lambda) = 4\pi(z_0 - z_R)/\lambda$ 中分离出相位失真,因为它们在 $I(\lambda)$ 中仅作为总和出现。因此,现在计算 $|E_R|$ 和 $|E_1|$ 。然后,混合项 $2|E_R| \times |E_1| \times \cos[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda + \Phi(\lambda)]$ 除以 $|E_R| \times |E_R|$ 。

[0030] 通过比较已滤除的傅里叶变换的傅里叶光谱来消除反射振幅以确定光谱调制。然后,滤除了载波频率的光谱除以光谱调制以形成加权运算。

[0031] 利用 $I(z_0 - \Delta z)$ 、 $I(z_0)$ 和 $I(z_0 + \Delta z)$ 以完全相同的方式进行具有三个相邻定位的工件 / 平面镜或参考镜距离的测量系列。

[0032] 减法运算得出:

[0033] $I(z_0) - I(z_0 + \Delta z) = 2E_R \times E_1 \times \{ [1 - \cos(4\pi \Delta z/\lambda)] \times \cos[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda + \Phi(\lambda)] + \sin(4\pi \Delta z/\lambda) \times \sin[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda + \Phi(\lambda)] \}$

[0034] $I(z_0) - I(z_0 - \Delta z) = 2E_R \times E_1 \times \{ [1 - \cos(4\pi \Delta z/\lambda)] \times \cos[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda + \Phi(\lambda)] + \sin(4\pi \Delta z/\lambda) \times \sin[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda + \Phi(\lambda)] \}$

[0035] 最终

[0036] $I(z_0) - I(z_0 + \Delta z) - [I(z_0) - I(z_0 - \Delta z)] = I(z_0 - \Delta z) - I(z_0 + \Delta z) = 4E_R \times E_1 \times \sin(4\pi \Delta z/\lambda) \times \sin[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda + \Phi(\lambda)]$

[0037] 以及

[0038] $I(z_0 - \Delta z) + I(z_0 + \Delta z) = 4E_R \times E_1 \times [1 - \cos(4\pi \Delta z/\lambda)] \times \cos[4\pi(z_0 - z_R)/\lambda + \Phi(\lambda)]$ 。

[0039] 从而,已知正弦项和余弦项,因此可以分离期望的 $\Phi(\lambda)$ 。

[0040] 也可以使用傅里叶方法确定 $\Phi(\lambda)$ 。为此,对于负且小的层厚度,将平衡光谱

(equalised spectrum) 的复杂傅里叶变换 (complex Fourier transform) 或 FFT 设置成 0 并进行反傅里叶变换。假设距离测量的傅里叶峰位于零区以外。得到以下结果：

[0041] $I_1 = E_R \times E_1(\lambda) \times \exp[i \times \Phi(\lambda)] \times \exp[i 4 \pi (z_0 + z_R) / \lambda]$ 。

[0042] 因此, 绝对值产生得出：

[0043] $I_2 = |I_1| = E_R \times E_1(\lambda)$ 。

[0044] 在接下来的反 FFT 中, 仅留下具有小量的层厚度。这得出：

[0045] $I_3 = E_R^2 + E_1(\lambda)^2$

[0046] 从而

[0047] $0 = E_R^4 - I_3 E_R^2 + I_2^2$ 。

[0048] 结果表明, 可以从一个单光谱 (距离测量光谱) 中得到 E_R 、 $E_1(\lambda)$ 和 $\Phi(\lambda)$ 的值。

[0049] 最终, 在最后一步中 : I_1 乘以 $1/(E_R \times E_1(\lambda))$ 并进行傅里叶变换。

[0050] 这里假设 $\Phi(\lambda)$ 是相当平滑的函数。

[0051] 在本发明的另一实施例中, 传感器装置具有通过光纤连接到传感器光源和传感器光路的自由光束预调制器。为此, 自由光束预调制器被构造为具有两个臂的干涉仪, 并且自由光束预调制器的光纤端部被构成是朝向传感器光路部分反射的。自由光束预调制器使第一子波与第二子波干涉。第一子波在自由光束预调制器的较长参考臂内和光纤端部处被反射, 而第二子波在自由光束预调制器的较短物件臂内和工件处被反射。这里, 其他光谱调制有利地位于估计单元的测量范围之外。为了补偿传感器光路中的总色散, 在自由光束预调制器中设置具有与传感器光路中的总色散相同的色散的玻璃光学组件。

[0052] 本发明的另一实施例设置干涉仪代替自由光束预调制器。干涉仪在准直的传感器光束中布置在加工激光束耦合点的上游。干涉仪的参考臂补偿色散。为此, 参考臂具有与干涉仪分束器和工件之间的物件臂相同的光程长。

[0053] 另外, 在本发明的另一实施例中, 另一传感器头设置在加工区域的外部, 该另一传感器头测量到工件的参考距离并且确定在激光烧蚀情况下的加工深度的绝对变化或者在沉积情况下的加工高度的绝对变化。

附图说明

[0054] 以下参照附图更加详细地解释本发明。

[0055] 图 1 示出了在本发明第一实施例中所公开的材料加工装置的示意图。

[0056] 图 2 示出了根据本发明第二实施例的材料加工装置的示意图。

[0057] 图 3 示出了原始光谱 (图 3a) 和在本发明中所公开的加工后的拉平光谱 (图 3b)。

[0058] 图 4 示出了激光扫描器的平面镜的两个测量的反射光谱。

[0059] 图 5 示出了扫描器镜的依赖于偏振和角度的传输。

[0060] 图 6 示出了石英玻璃在大约 1050nm 的激光波长附近的折射率。

[0061] 图 7 示出了高斯光束参数相对于光束腰直径和瑞利长度的图。

[0062] 图 8 示出了在现有技术中公开的材料加工装置的部分透视原理图。

具体实施方式

[0063] 图 1 示出了根据本发明第一实施例的材料加工装置 1 的示意图。材料加工装置 1

利用光束发生器 5 的加工光束 4 并利用光束发生器 5 和工件 6 之间的加工距离 (a) 的原位测量进行加工。为此,材料加工装置 1 具有利用近红外加工光束 4 的加工激光器 13。包括具有扫描器镜 31 和 32 的二维偏转装置 15 的激光扫描器 14 布置在加工激光器 13 的下游。设置了用于改变加工距离 $a(t)$ 的自动重聚焦装置。

[0064] 包括分光计 (spectrometer) 17 以及传感器光源 11 和 12 的传感器装置 16 产生测量光束 18, 测量光束 18 利用激光扫描器 14 和物镜 19 共同地感测工件 6 的加工区域 20, 同时记录工件距离 a 。传感器光源 11、12 的测量光束 18 被线性偏振, 并且利用光耦合元件 21 在准直状态以交叉偏振方向耦合到材料加工装置 1 的激光扫描器 14 的加工光路 25 中。光源 11 和 12 由具有线性偏振光束的两个超辐射发光二极管 (SLD) 形成。这些光源 11 和 12 通过保偏光纤 22 和 23 连接到偏振光束耦合器或耦合元件 21, 偏振光束耦合器或耦合元件 21 利用偏振光分束器 24 将交叉偏振方向组合以在光纤 42 中形成传感器光 29 并形成传感器光路 26 的测量光束 18。

[0065] 材料加工装置 1 具有计算机控制装置 30, 当扫描器镜 (31,32) 具有对传感器波长和激光波长具有不同反射率的涂层时, 计算机控制装置 30 设置有深通特征 (deep-pass characteristic), 所述深通特征滤除来自反射信号的比激光波长长的传感器光波长并估计以进行距离测量。当扫描器镜 (31,32) 具有对传感器波长和激光波长具有不同反射率的涂层时, 计算机控制装置 30 启动校准运算, 使用校准运算测量电镀的 (galvanically coated) 扫描器镜 (31,32) 与具有已知光谱反射率的平面相比的每种定位组合并且以表列形式存储在计算机中, 在估计反射的测量信号时将存储的表格考虑在内。

[0066] 对于图 1 中所公开的材料加工装置 1 和图 2 中所公开的材料加工装置 2, 激光扫描器光学组件优选地由以下组件组成:

[0067] 1. 光束扩展器 39, 具有对于轴焦点位置的光束会聚控制;

[0068] 2. 分束器, 用于观察加工区域 20 的相机模块 (图 1 和图 2 中未示出), 其通常设计为 650nm;

[0069] 3. 一对电流镜 31 和 32, 沿 x 方向和 y 方向偏转准直光束, x 方向和 y 方向相对于光学 z 轴垂直定位;

[0070] 4. F-0 物镜系统, 是与电镀的成对的电流镜 31 和 32 一起使用的特殊物镜 19, 并且优选地是在加工平面 41 内用于使准直加工光束 4 聚焦的远心镜, 即, 聚焦的加工光束 4 在测量 / 加工区中各处垂直地照射至表面。

[0071] 聚焦的光束 4 的数值孔径 (NA) 典型地在 0.1 以下 (具有 $+/-5^\circ$ 以下的光束锥)。一旦表面倾斜超过该锥角度, 则没有光被反射回“同轴的”传感器装置 16 中, 在该传感器装置 16 中, 光照 (lighting) 的方向与检测的方向相同。因此, 在分光计 17 中使用还能够估计来自倾斜表面的杂光的光学传感器。由于表面受激光处理通常变得粗糙, 所以预期会存在杂光, 因此从工件 6 沿检测方向反射能够被估计的分量。

[0072] 已证明共焦彩色传感器 (confocal chromatic sensor) 在这个布置中不适合, 这是由于扫描器光学组件的低数值孔径导致高水平的测量误差。这样的共焦彩色传感器的另一缺点是校准曲线依赖于温度, 这意味着因加工激光而对 F-0 透镜的加热可以改变共焦彩色传感器的特征曲线。

[0073] 图 1 和图 2 使用了非偏振但具有线性偏振光束的光源 11 和 12, 即, 两个超辐射发

光二极管 (SLD), 线性偏振光束通过保偏光纤 22 和 23 传送到 PBC (偏振合束器) 并且在 PBC 中通过偏振光分束器 24 以交叉偏振方向组合。

[0074] 光学组件 (例如, 光谱透射基于偏振的方向而不同的电流镜和分束器) 防止偏振状态因光纤 22、23 或 42 处的振动而改变, 以及因此偏振模式之间的混合比和光谱透射的改变。然而, 如果在两个偏振方向上存在不同的路径差异 (例如, 由于应力引起的双折射或涂覆), 则距离峰分成两个子峰。为了将这两个子峰分开成能够清楚估计的程度, 本发明提供插入到双折射元件的光路中的插入件, 其中, 双折射元件的光路具有与偏振相关组件 (例如, 分束器和电流镜) 的主方向对应的主方向。

[0075] 在图 1 和图 2 中示出的本发明的实施例中使用光谱光学 FD (OCT) (傅里叶域光学相干断层扫描成像仪) 传感器。然而, 它们具有下面的缺点, 可以利用本发明的主题克服这些缺点。

[0076] 在本发明中, 通过使用至少两个光源来补偿因光纤处的温度漂移或震动导致的物件臂 (object arm) 和参考臂 (reference arm) 之间的不受控制的路径改变。

[0077] 在本发明中, 通过最小测量光斑直径来补偿来自物件臂和参考臂的明显不同的强度以及例如由倾斜表面和 / 或由散焦导致的低光谱调制深度。

[0078] 因为与仅将一束子光束返回到光纤的镜面相比, 粗糙表面的每一光照射的部分将杂光带向光纤, 所以在粗糙表面上的散焦降低了测量质量。因此, 光纤视为“距离的混合物”。这也成为傅里叶峰的外边缘。粗糙表面上的光斑越小, 来自杂光的“散斑”越大。为此, 在本发明中, 在表面上以焦点有利地产生最小的测量光斑直径。

[0079] 在本发明中, 通过确保传感器波长没有显著地偏离激光波长, 来避免通过扫描器光学组件的光路的传感器光的传输变差。为了达到该目的, 根据激光波长来调整扫描器光学组件的光学元件的涂层。这具体地应用到所有的抗反射层、镜层或分束器层。

[0080] 光谱透射 (能够基于电流镜的倾斜角进行改变) 归功于用于波长区域的介电镜层, 具体地讲, 由于裸金属镜不适合于激光, 所以光谱透射的改变通过本发明公开的措施几乎抵消。

[0081] 通过设置耐环境的参考波可以消除光学路径差异对温度和振动的依赖性。在图 1 中, 为了该目的使用了预调制器 33, 预调制器 33 通过光纤 42 连接到光源 11 和 12 以及传感器光路 26 并且被构造为具有两个臂点 A 和 B 的干涉仪。光纤端点 C 被构造成向传感器光路 26 部分地反射。使得在预调制器 33 的较长参考臂 35 (B 点) 内和在光纤端点 C 处反射的子波与在较短物件臂 36 (A 点) 和在工件 6 (D 点) 处反射的子波干涉。子波之间的其他干涉具有很大的路径差异, 使得它们的光谱调制无法通过 FD OCT 传感器分辨或者它们的光谱调制位于 TD OCT 传感器的测量范围之外。

[0082] 由于玻璃组件具有色散, 所以在传感器光路 26 中远至工件表面的光路长度依赖于波长。具有与物件臂的全色散相同的全色散的玻璃组件位于自由光束预调制器 33 的参考臂中。为此, 对于自由光束预调制器 33, 设置具有与从点 C 至点 D 的传感器光路中的光色散相同的光色散的玻璃光学组件。

[0083] 图 2 示出了根据本发明第二实施例的材料加工装置 2 的示意图。利用相同的标号表示具有与图 1 中的功能相同的功能的组件, 并且这里不进一步详细讨论具有与图 1 中的功能相同的功能的组件。在图 2 中, 代替自由光束预调制器的是, 干涉仪 34 被用在光束被

耦合到加工光路 25 中的点的校准传感器光束上游,参考臂 37 具有色散补偿作用并且其长度与从干涉仪分束器 40 到工件 6 的物件臂 38 的长度几乎相同。

[0084] 利用可控制的光阑和 / 滤光片,可以调节参考臂 37 中光波的亮度。为此,优选地使用具有恒定光谱透射、恒定光路且无色散效果或波前像差的光阑或滤光片。

[0085] 一个优选实施例是能够沿镜面推进的、反射率在空间上可变的参考镜 43,使得照射参考镜 43 的传感器光聚焦的光斑在强度方面变化。也可能使用以可预测的方式改变光谱透射或路径长度的装置,从而可以通过估计软件将它们考虑在内。

[0086] 可以使用标有光栅并且可以调节高度的平面反射校准主体来校准三维传感器光斑的位置。F-θ 物镜系统 19 具有像场弯曲和失真。另外,在视场内沿 x 方向和 y 方向标绘的传感器光束的直至工件平面 41 的光路长度是马鞍形的。为此,在本发明中,校准运算一方面确定扫描器镜角度和焦点调节器的设定之间的关系以及光斑的三维位置,另一方面确定通过传感器测量的其光路和其散焦。

[0087] 可以以多个定义的步长沿 z 方向移动大约半个传感器中心波长的参考镜用于相移测量。位置被控制的压电致动器或横向振动步进的镜子可以用于该目的。对于相移测量,测量至少三个光谱(例如等距步进 $j = 1, 2, 3$)的系列。给出:

$$[0088] I(j) = I(z_0 + j \times f \Delta z)$$

$$[0089] = E_R^2 + E_1^2 + 2E_R \times E_1 \times \{ \cos(4\pi j \times \Delta z / \lambda) \times \cos[4n(z_0 - z_R) / \lambda + \Phi(\lambda)] - \sin(4\pi j \times \Delta z / \lambda) \times \sin[4\pi(z_0 - z_R) / \lambda + \Phi(\lambda)] \}$$

[0090] 当估计该测量时,对每个 k 像素计算相位值,已知术语 $\cos(4\pi j \times \Delta z / \lambda)$ 和 $\sin(4\pi j \times \Delta z / \lambda)$ 被用来确定相位 $[4\pi(z_0 - z_R) / \lambda + \Phi(\lambda)]$ 。

[0091] 相移测量的目的是为了获得更稳定的测量值,作为在估计中使用的更多测量的结果。

[0092] 图 3 示出了原始光谱(图 3a)和在本发明中所公开的加工后的拉平光谱(图 3b)。原始光谱具有图 3a 中所示的图形的形状。在没有来自物体的光(仅有参考光)的情况下测量虚线。在等于 $k = 1 / \lambda$ 的光谱中,减去参考光,得到 $I_0(k)$ 。计算光谱包络 $I_{0mean}(k)$ 并使用深通滤波器划分以得到图 3b 中的具有恒定振幅的光谱调制。最终,执行 FFT。

[0093] 图 4 示出了在 1260nm 至 1360nm 的光谱范围内激光扫描器的平面镜的两个测量的反射光谱和电流镜对的两个成角度的位置。每个图示出了按照等距步进的重聚焦过程中的多个光谱。它们示出了,在重聚焦过程中,强度的焦点从光谱的较短波侧移动到光谱的较长波侧。另外,光谱包络具有在两个镜子位置方面不同的波形。该波状由电流镜的介电镜层造成。

[0094] 图 5 示出了使用的扫描器镜 31 和 32 的依赖于偏振和角度的传输。图 5 示出了对于三个入射角的单个电流镜的依赖于偏振的反射光谱,即在图 5a 中 57.5° 的入射角、在图 5b 中 45° 的入射角以及在图 5c 中 27.5° 的入射角。带点曲线表示 s 偏振,短划曲线表示 p 偏振,连续曲线表示“任意偏振”。

[0095] 在 1050nm 激光波长范围的是具有高的、依赖于偏振的反射率的宽平台,并且反射率随着入射角的增大向短波长增加。在长波长处,反射率低并被光谱式调制,在许多情况下下降到 $R < 1\%$ 。调制在两个偏振方向上几乎是相反相位。因为在该结构中一对镜子总是工作,所以总反射率甚至更复杂。在给出扫描器几何形状的情况下,照射 p 偏振的第一镜的波

必定照射 s 偏振的第二镜, 反之亦然。

[0096] 在总结构的反射光谱中, 镜子反射率的光谱波和节拍现象 (beat phenomena) 示出了电流镜具有也通过光谱干涉仪测量的多个非常薄的“自然层厚度”。因此, 距离测量不是测量一个单傅里叶峰而是测量多个子峰的重叠。子峰的距离和加权依赖于镜子角度以及偏振状态。

[0097] 见数学推导, 物件波和参考波具有以下形状:

$$E_{\text{object}} = E_0 \times \exp[i \times 4 \pi z_0 / \lambda]$$

$$E_{\text{reference}} = E_R \times \exp[i \times 4 \pi z_R / \lambda]$$

[0100] 这里 z_0 和 z_R 是两个干涉仪臂的迁移距离。在未失真的情况下, E_0 和 E_R 是常数。测量的强度

$$[0101] I = \{E_{\text{object}} + E_{\text{reference}}\} \{E_{\text{object}}^* + E_{\text{reference}}^*\}$$

$$[0102] = I_{\text{object}} + I_{\text{reference}} + I_{\text{mod}}$$

[0103] 包含干涉项:

$$[0104] I_{\text{mod}} = (E_0 \times E_R^* + E_0^* \times E_R) \times \cos[4 \pi (z_0 - z_R) / \lambda]$$

[0105] 从 I_{mod} 确定臂的路径差异。在未失真的情况下, 指前因子变成 $2E_0 \times E_R$ 。由于电流镜的反射率, 物件波呈现复合调制。通过示例的方式应用两个自然层厚度 d_1 和 d_2 :

$$[0106] E_0 = E_1 \times \exp[i \times 4 \pi d_1 / \lambda] + E_2 \times \exp[i \times 4 \pi d_2 / \lambda]$$

[0107] 结果:

$$[0108] I_{\text{object}} = |E_1|^2 + |E_2|^2 + 2|E_1| \times |E_2| \times \cos[4 \pi (d_1 - d_2) / \lambda]$$

$$[0109] I_{\text{mod}} = (E_1 \times E_R + E_1^* \times E_R) \times \cos[4 \pi (z_0 + d_1 - z_R) / \lambda] + (E_2 \times E_R^* + E_2^* \times E_R) \times \cos[4 \pi (z_0 + d_2 - z_R) / \lambda]$$

$$[0110] = (E_1 \times E_R^* + E_1^* \times E_R) \{\cos[4 \pi d_1 / \lambda] \times \cos[4 \pi (z_0 - z_R) / \lambda] - \sin[4 \pi d_1 / \lambda] \times \sin[4 \pi (z_0 - z_R) / \lambda]\} + (E_2 \times E_R^* + E_2^* \times E_R) \times \{\cos[4 \pi d_2 / \lambda] \times \cos[4 \pi (z_0 - z_R) / \lambda] - \sin[4 \pi d_2 / \lambda] \times \sin[4 \pi (z_0 - z_R) / \lambda]\}$$

$$[0111] = \{(E_1 \times E_R^* + E_1^* \times E_R) \cos[4 \pi d_1 / \lambda] + (E_2 \times E_R^* + E_2^* \times E_R) \cos[4 \pi d_2 / \lambda]\} \times \cos[4 \pi (z_0 - z_R) / \lambda] - \{(E_1 \times E_R^* + E_1^* \times E_R) \sin[4 \pi d_1 / \lambda] + (E_2 \times E_R^* + E_2^* \times E_R) \sin[4 \pi d_2 / \lambda]\} \times \sin[4 \pi (z_0 - z_R) / \lambda]$$

[0112] 如所应用的, 因此, 光谱包含两个紧密设置的层厚度并且形成节拍现象。

[0113] 图 6 示出了石英玻璃在大约 1050nm 的激光波长附近的折射率。石英玻璃的依赖于波长的折射率通过使用彩色焦点移位能够用于延伸的场深度。由于 $f-\theta$ 物镜系统被设计成用于单个的激光波长, 所以 $f-\theta$ 物镜系统一般不是消色的。但是, 因为耐受脉冲激光的高的峰强度的玻璃类型 (例如, 石英玻璃) 是优选的, 所以难以获得消色。

[0114] 因此, 当使用石英玻璃时, 焦距 f 依赖于波长。根据用于具有曲率半径 R 的薄平凸透镜的公式, 通常, 项 $1/f = [n(\lambda) - 1]/R$ 。因此:

$$[0115] f = f_0 / [1 + (n(\lambda) - n_0) / (n_0 - 1)]$$

[0116] f_0 和 n_0 是激光波长处的焦距和折射率。

[0117] 使用泰勒展开得出:

$$[0118] f \approx f_0 - f_0 \Delta n / (n_0 - 1)$$

[0119] 对于 $f = 100\text{mm}$ 的石英透镜, 光谱折射率移位是 $1.2 \times 10^{-5}/\text{nm}$, 因此焦点移位为

2.7pm/nm。在100nm的传感器带宽处,光谱中的焦点移位已经是270pm。这由通过瑞利长度设置的场范围的深度对比得到,其中,基于光束焦点的高斯光束的光束截面积加倍(或者强度减半)。

$$[0120] z_R = \pi w_0^2 / \lambda.$$

[0121] 这里 w_0 是焦点内的光束半径,在焦点处,强度降到 e^{-2} =中间强度的0.135倍。对于数值孔径(NA):

$$[0122] w_0 = \lambda / [\pi \tan(\arcsin NA)].$$

[0123] 利用傍轴近似 $NA = \lambda / nw_0$, 得出:

$$[0124] z_R = \lambda / (\pi NA^2).$$

[0125] 对于 $NA = 0.05$ 并且波长为 1050nm, 因此: $w_0 = 13 \mu m$ 且 $z_R = 133pm$ 。

[0126] 图7示出了高斯光束参数相关于光束腰直径和瑞利长度的图。以上计算的对于100mm焦距和100nm带宽的焦点移位是270pm,并且焦点移位是两倍大小。因此,在 $NA = 0.05$ 时,传感器光谱的边缘波长通过散焦被弱化0.5的因子。

[0127] 在大约 $NA = 0.10$ 时,执行图4中的测量。这里,由于 $z_R = 33 \mu m$, 所以散焦波长的弱化甚至更极端。在 $w_0 = 6.6 \mu m$ 时,光斑直径仅是一半大小。这有利于焦点的距离测量的质量。然而,散焦过程中更强的弱化是不利的。

[0128] 在本发明中使用了 $f-\theta$ 透镜的彩色焦点移位,以在用于聚焦测量的大采集范围和高NA下同时得到小光斑。在示例中,对于100nm传感器带宽,这是270pm。如果工件位于采集范围内,则波长在传感器带内达到最大锐度。仅有在焦点移位最大 $<+/-z_R$ 的焦点附近的波长对信号有显著的贡献。为此,在本发明中进行以下测量:

[0129] 1、当使光谱相等并标准化时,选择的窗口功能明显比传感器带宽窄,并且其最大值位于原始光谱的最大强度内。

[0130] 2、在“被动”(passive)变量中完全没有窗口,由于这已经通过依赖于波长的散焦物理地达到。

[0131] 3、为了使工件大致定位,使用具有大采集范围的传感器(即,带极其宽的传感器)。这里,测量工艺可以是光谱干涉测量或彩色共焦的。一系列窄带光谱干涉传感器用于精细测量。它们的波长范围重叠并且一起覆盖粗略的传感器的光谱。一次激活这些传感器中的一个。

[0132] 4、这种类型的多传感构思采用单分光计的形式。为此,使用具有中阶梯光栅的分光计,所述中阶梯光栅检测依赖于衍射级的各种光谱范围。这里使用多个SLD光源,每个SLD分配有特定的衍射级。设置光纤耦合器、光纤循环器和/或WDM耦合器、类似于分色光束分离器的光纤或可选择的自由光束耦合器,以将SLD连接到测量头和分光计。通过光纤交换器(fibre switch)将朝向干涉仪的光纤通道耦合到光纤的端部(使得测量总在同一位置)。将朝向分光计的光纤组合以形成与光谱变化方向垂直的阵列。线检测器(line detector)中的沿阵列方向的像素足够长(0.5mm或1mm),从而采集来自阵列中的任何光纤的光。

[0133] 图8示出了根据现有技术的材料加工装置的局部透视原理图,背景技术部分已经讨论了该材料加工装置,因此此时无需进一步描述。

[0134] 材料加工装置1具有计算机控制装置30(其中,扫描器镜31和32具有对传感器

波长和激光波长的反射率不同的涂层),计算机控制装置 30 设置有深通特征,所述深通特征滤除来自反射信号的比激光波长长传感器光波长并估计以进行距离测量。在扫描器镜 31 和 32 具有对传感器波长和激光波长的反射率不同的涂层的情况下,计算机控制装置 30 启动校准运算,使用校准运算测量电镀的扫描器镜 31 和 32 与具有已知光谱反射率的平面相比的每种定位组合并且以表列形式存储在计算机中,在估计反射的测量信号时将存储的表格考虑在内。

- [0135] 标号列表
- [0136] 1 材料加工装置(第一实施例)
- [0137] 2 材料加工装置(第二实施例)
- [0138] 3 材料加工装置(现有技术)
- [0139] 4 加工光束
- [0140] 5 光束发生器
- [0141] 6 工件
- [0142] 7 加工头
- [0143] 8 工业机器人
- [0144] 9 曲线
- [0145] 10 断层扫描装置
- [0146] 11 第一光源
- [0147] 12 第二光源
- [0148] 13 加工激光器
- [0149] 14 激光扫描器
- [0150] 15 偏转装置
- [0151] 16 传感器装置
- [0152] 17 分光计
- [0153] 18 测量光束
- [0154] 19 物镜
- [0155] 20 加工区域
- [0156] 21 光耦合元件
- [0157] 22 光纤
- [0158] 23 光纤
- [0159] 24 分束器
- [0160] 25 加工光路
- [0161] 26 传感器光路
- [0162] 29 传感器光
- [0163] 30 控制装置
- [0164] 31 扫描器镜
- [0165] 32 扫描器镜
- [0166] 33 自由光束预调制器
- [0167] 34 干涉仪

- [0168] 35 自由光束预调制器的参考臂
- [0169] 36 自由光束预调制器的物件臂
- [0170] 37 干涉仪的参考臂
- [0171] 38 干涉仪的物件臂
- [0172] 39 光束扩展器
- [0173] 40 干涉仪分束器
- [0174] 41 加工平面
- [0175] 42 光纤
- [0176] 43 参考镜
- [0177] A 箭头方向
- [0178] a 距离

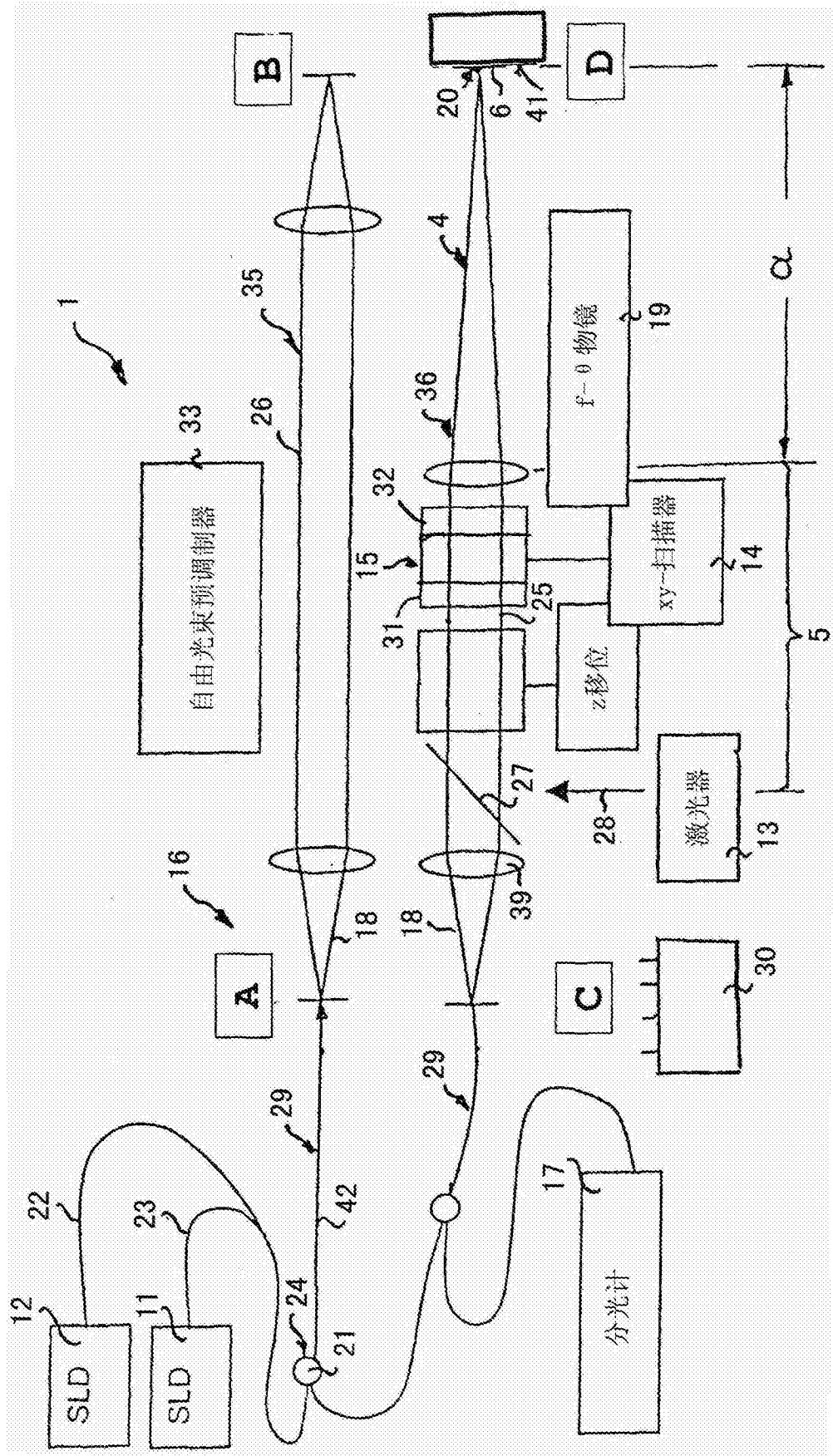


图 1

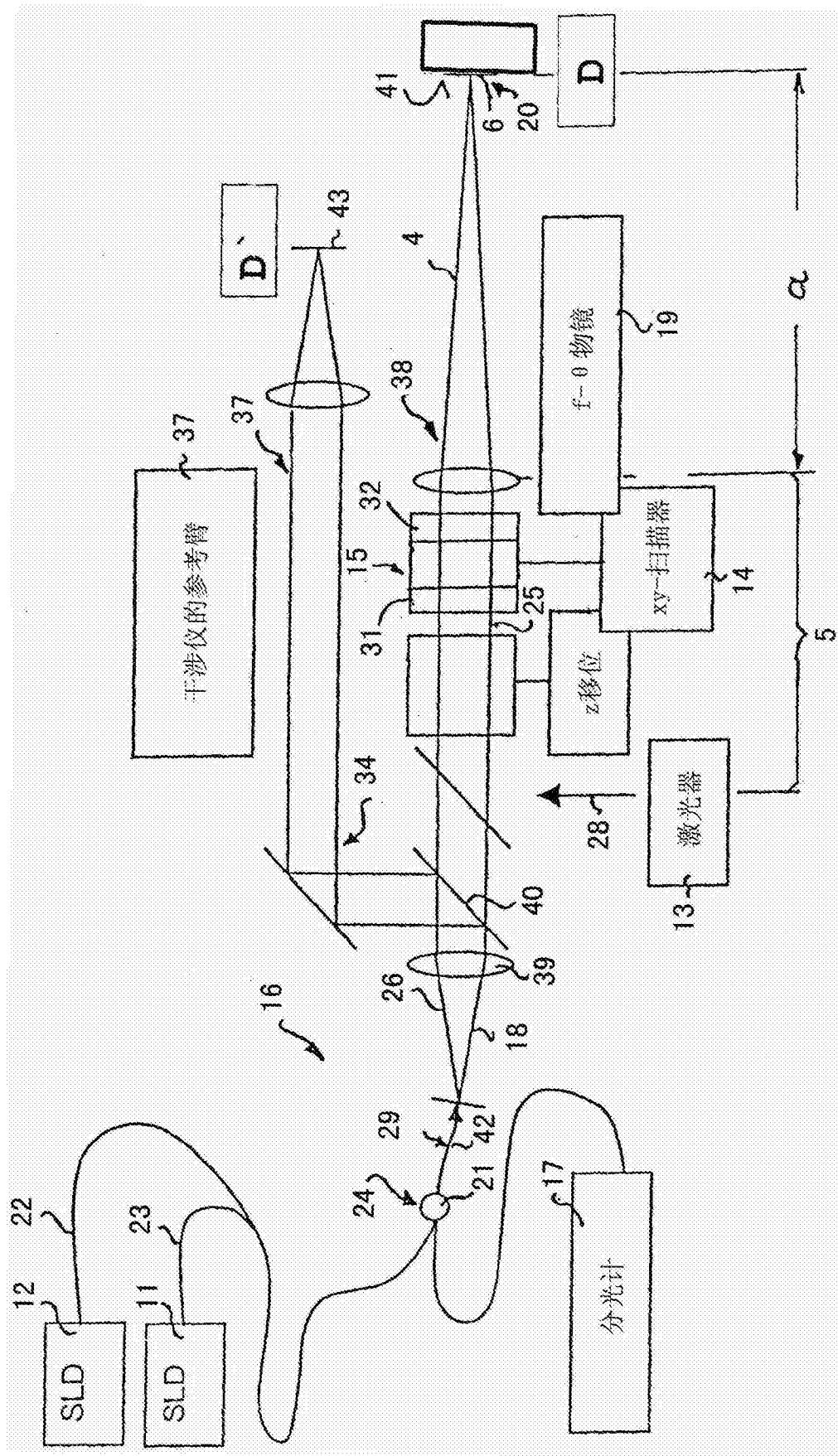


图 2

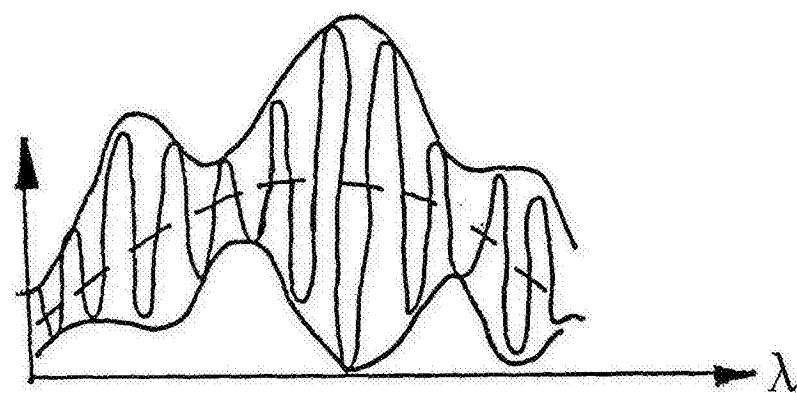


图 3a

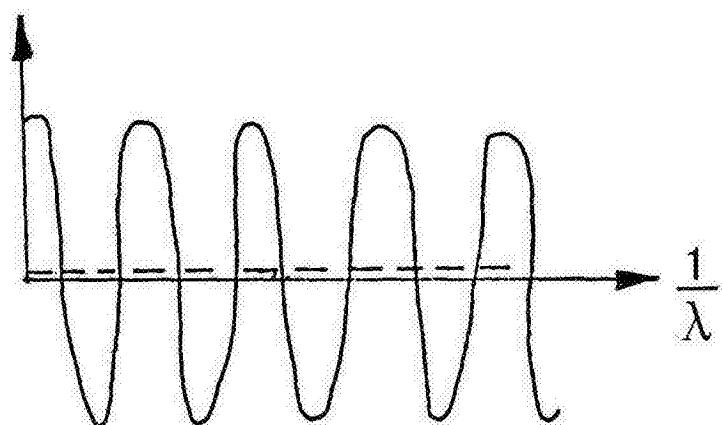


图 3b

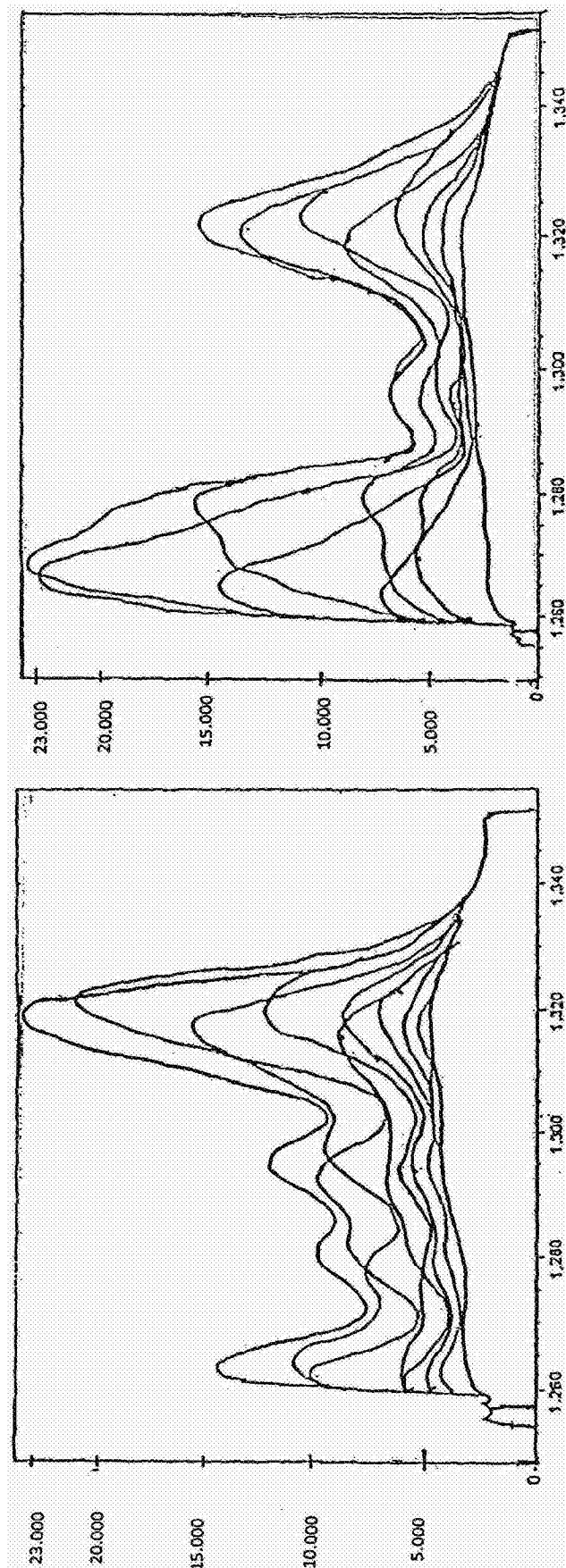


图 4

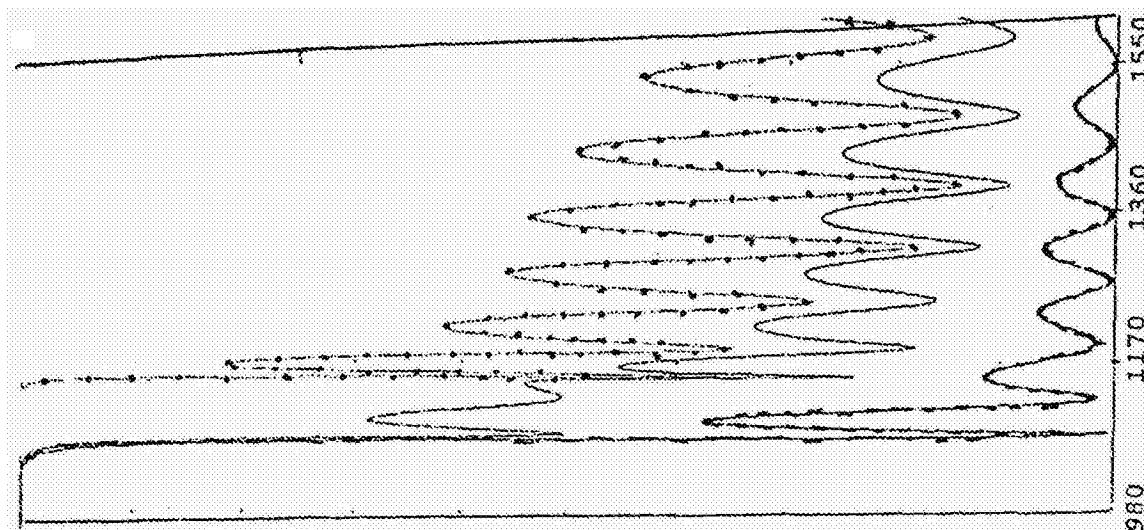


图 5a

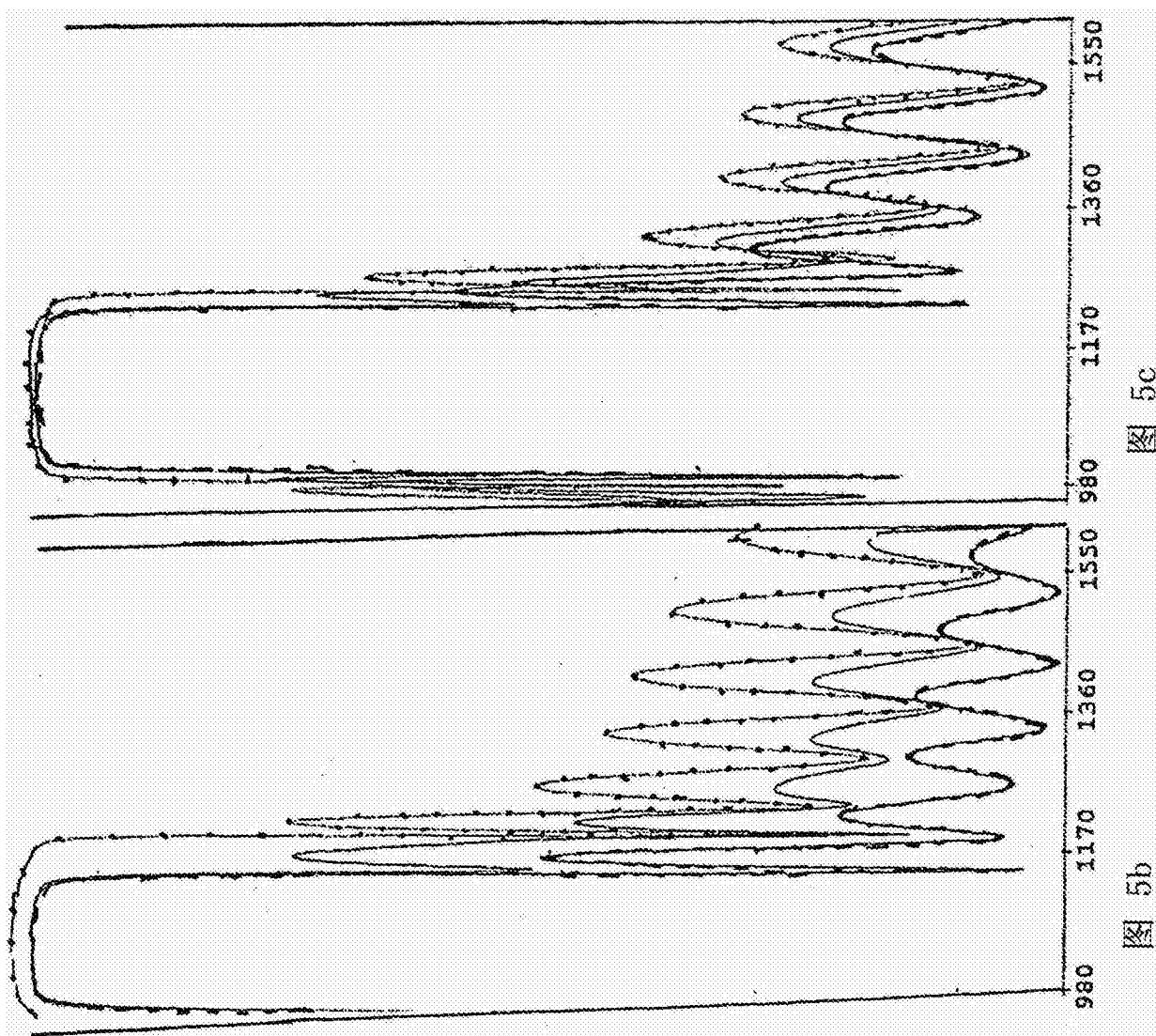


图 5b

图 5c

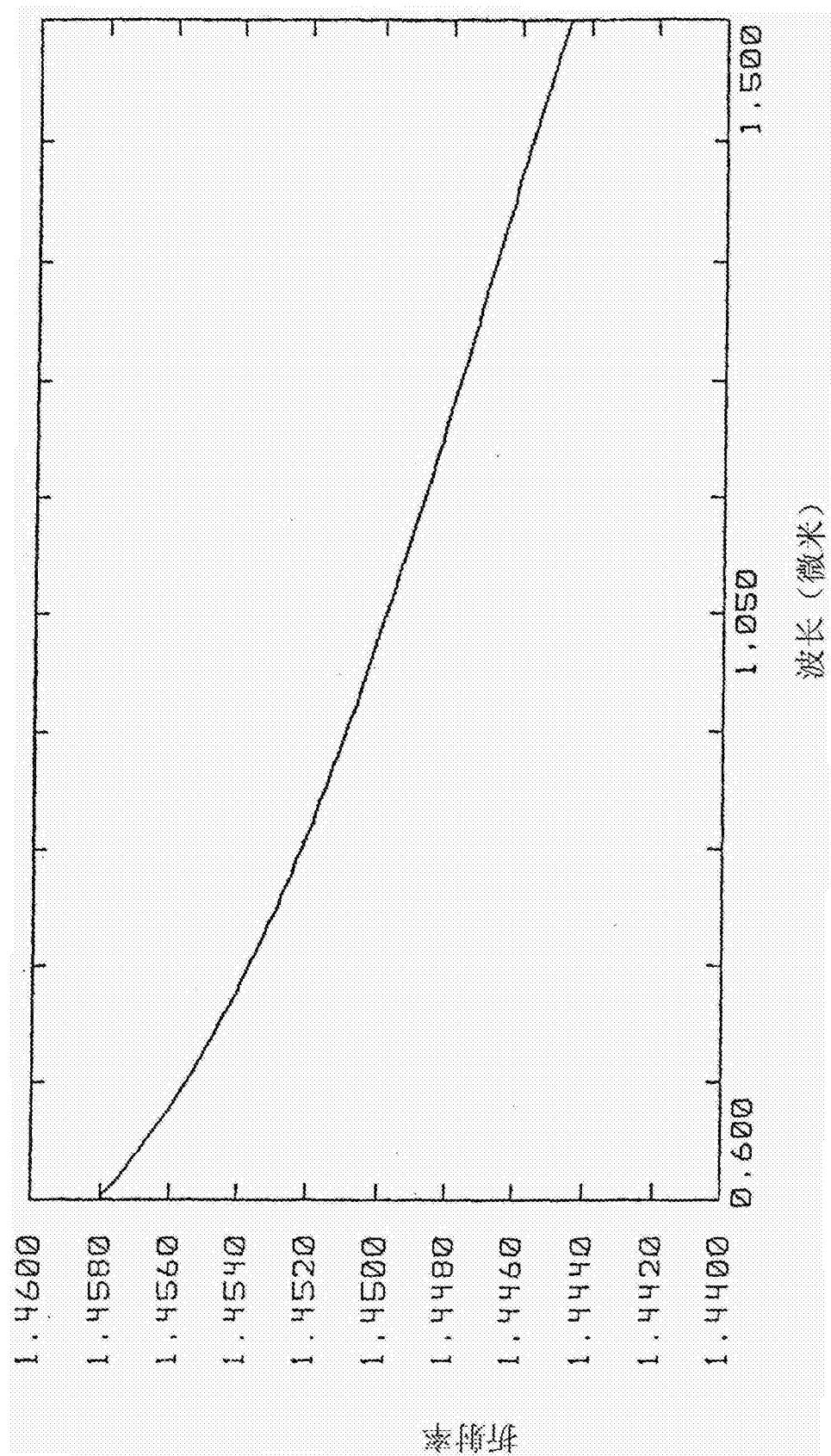


图 6

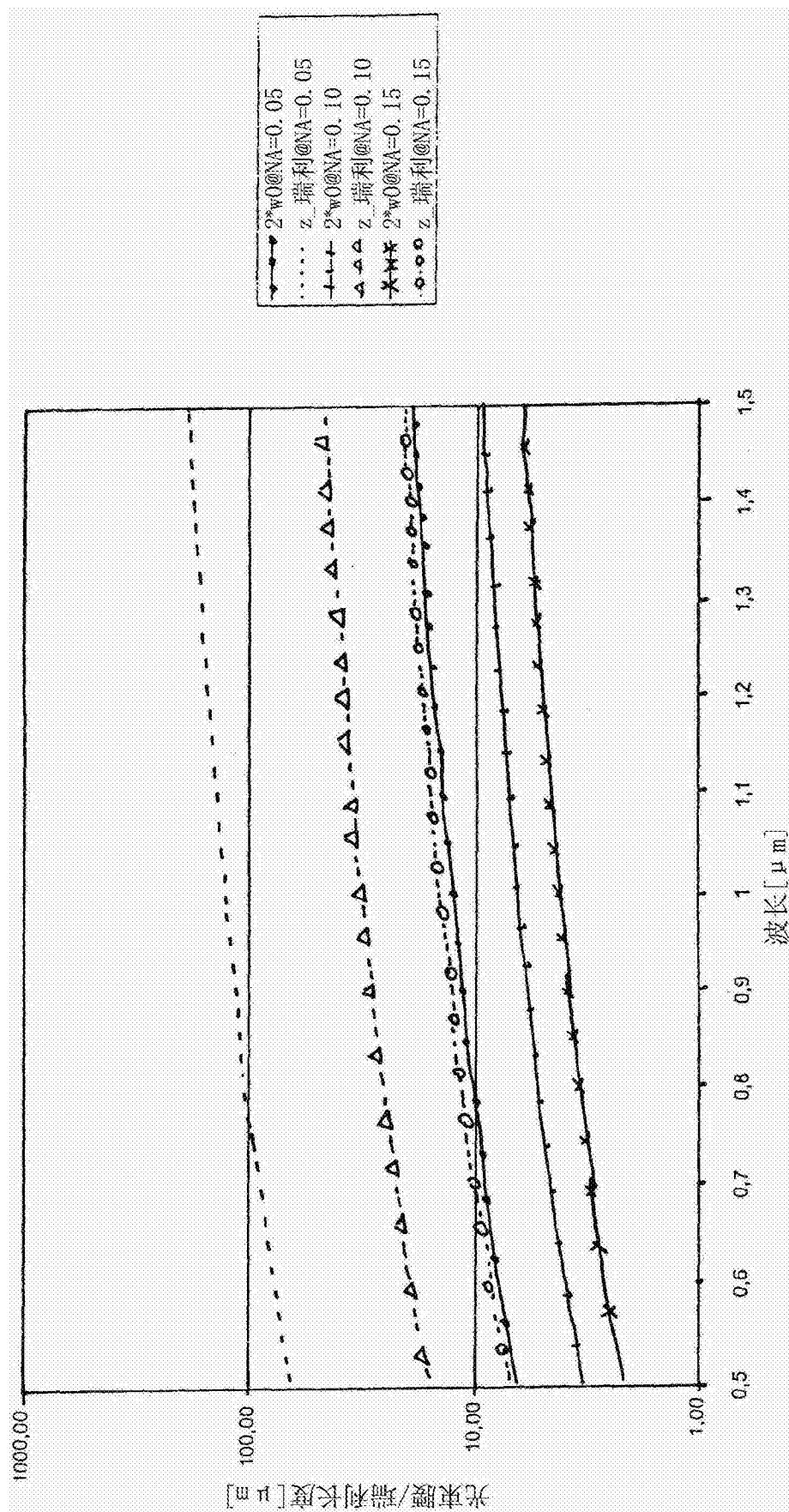


图 7

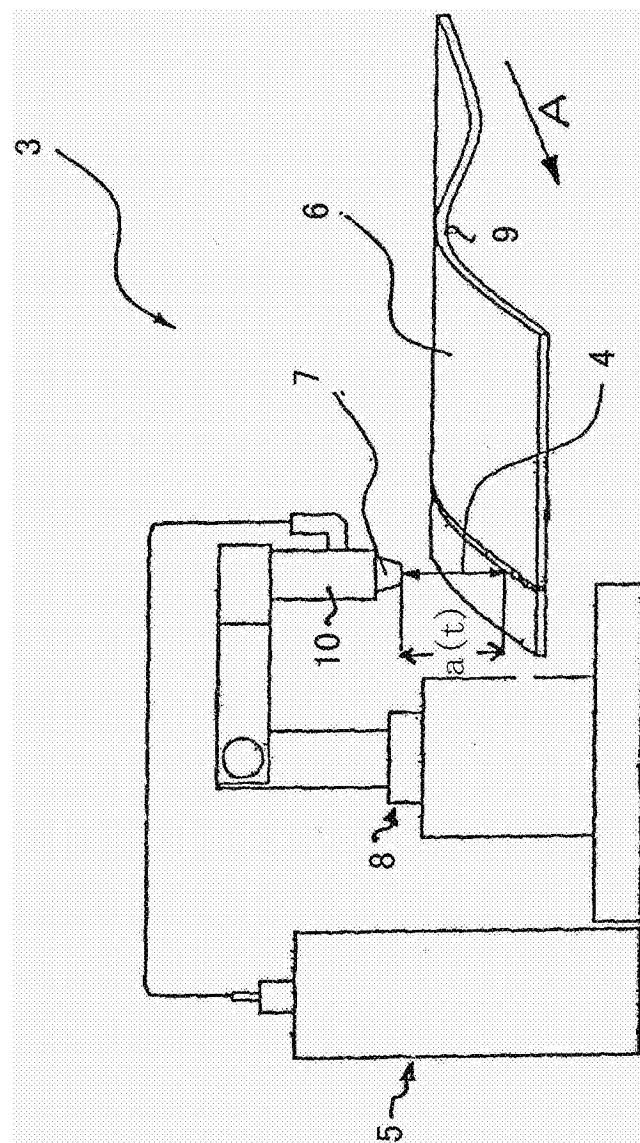


图 8