



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101821081 A

(43) 申请公布日 2010. 09. 01

(21) 申请号 200880110678. 8

代理人 杜娟

(22) 申请日 2008. 08. 22

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

B29C 67/00 (2006. 01)

60/957, 576 2007. 08. 23 US

G03F 7/00 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 04. 08

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2008/074021 2008. 08. 22

(87) PCT申请的公布数据

W02009/026520 EN 2009. 02. 26

(71) 申请人 3D 系统公司

地址 美国南卡罗莱纳

(72) 发明人 G·库珀 C·克纳克

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专

利商标事务所 11038

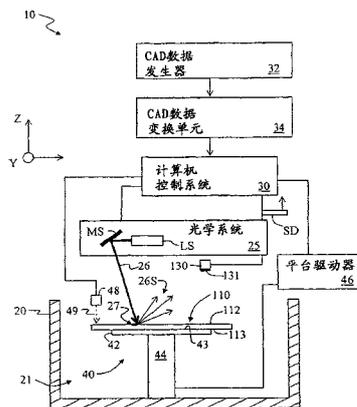
权利要求书 4 页 说明书 10 页 附图 9 页

(54) 发明名称

利用激光扫描反射计的自动几何校准

(57) 摘要

公开了校准固态成像系统 (10) 的系统和方法。在固态成像系统中布置具有非散射表面 (140) 的校准板 (110), 所述非散射表面 (140) 带有呈周期阵列的多个 (150) 散射光的基准标记 (156)。在基准标记上方扫描光化性激光束 (26), 存在于校准板上方的检测器 (130) 检测散射光 (26S)。计算机控制系统 (30) 被配置成控制激光束的转向, 并处理检测器信号 (SD), 以便测量基准标记的实际中心位置 (x<sub>A</sub>, y<sub>A</sub>), 并进行确定镜的角位置和在构造平面 (23) 的 (x, y) 位置之间的校准关系的插值。随后在形成三维物体 (50) 时, 使用所述校准关系来操纵激光束。



1. 一种校准固态成像系统的校准板,所述固态成像系统使用具有光化性波长的光束,所述校准板包括:

刚性的第一基板,所述第一基板具有配置成基本不散射所述光束的第一表面;和与所述第一表面相关的多个基准标记,其中所述基准标记被配置成散射所述光束。

2. 按照权利要求 1 所述的校准板,其中所述第一表面包含光吸收材料,并且其中所述基准标记形成于所述光吸收材料之中或之上。

3. 按照权利要求 1 所述的校准板,其中所述第一表面被阳极化。

4. 按照权利要求 3 所述的校准板,其中所述第一表面被光阳极化,并且其中所述基准标记包含卤化银。

5. 按照权利要求 4 所述的校准板,其中所述第一基板由铝形成,厚度一般约 0.5 英寸~2 英寸,并且其中所述第一表面在任意 20 英寸跨度内测得的平坦度  $FL \leq 0.005$  英寸。

6. 按照权利要求 1 所述的校准板,其中所述基准标记包含圆形点、方形点和六边形点之一,所述点具有约 0.030 英寸的直径,和约 0.25 英寸的中心距。

7. 按照权利要求 1 所述的校准板,其中所述第一基板的厚度约 0.5 英寸~约 2 英寸,并且其中所述第一表面在任意 20 英寸跨度内测得的平坦度  $FL \leq 0.005$  英寸,所述校准板还包括:

第二基板,所述第二基板具有第二表面,并且被置于所述第一表面之顶上,并且所述第二基板具有这样的厚度,以致所述第二基板与第一表面平坦度基本上一致,其中所述第二表面基本上是非散射的,并且其中所述基准标记形成于该基本上非散射的第二表面上。

8. 按照权利要求 7 所述的校准板,其中所述第二基板的厚度约为 0.0015 英寸~约 0.004 英寸。

9. 按照权利要求 7 所述的校准板,其中所述第二表面基本上是非吸收光的。

10. 按照权利要求 9 所述的校准板,其中所述第二表面被阳极化。

11. 按照权利要求 10 所述的校准板,其中所述第二表面被光阳极化,并且其中所述基准标记包含卤化银。

12. 一种校准固态成像系统的校准设备,所述固态成像系统具有基于镜的光学系统,并且具有构造平面,所述基于镜的光学系统具有用于使具有光化性波长的光束转向的角位置可调的镜,所述构造平面被所述光束有选择地曝光,从而产生物体,所述校准设备包括:

包含非散射表面和能够置于所述构造平面附近的多个基准标记的校准板,其中所述非散射表面基本上不散射所述光束,并且所述基准标记被配置成散射所述光束;

布置在所述校准板上方,以便检测来自所述基准标记的散射光,并响应于此而产生检测器信号的光电检测器;和

控制系统,所述控制系统被配置成控制所述光束的转向,并处理所述检测器信号,以便测量所述基准标记的中心位置,并进行确定所述镜的角位置和所述构造平面处的 (x, y) 位置之间的关系插值处理。

13. 按照权利要求 12 所述的校准设备,其中所述校准板包含:

第一基板,所述第一基板的厚度约 0.5 英寸~约 2 英寸,具有在任意 20 英寸跨度内测得的平坦度  $FL \leq 0.005$  英寸的第一表面;和

第二基板,所述第二基板具有第二表面,并且被置于所述第一表面之顶上,所述第二基

板具有这样的厚度,以致所述第二基板与第一表面平坦度基本上一致,其中所述第二表面基本上是非散射的,并且其中所述基准标记形成于所述基本上非散射的第二表面上。

14. 一种形成三维物体的固态成像系统,所述固态成像系统包含置于其中的校准设备,包括:

产生光化性波长的光束的光束发生器;

布置成接收所述光束,并且角度可调,以使所述光束转向的镜;

可活动地支承具有相关构造平面的构造平台的升降机系统;

通常有选择地布置在所述构造平面上的校准板,所述校准板具有通常不散射光的表面,所述表面具有形成于其上的多个基准标记,所述多个基准标记被配置成散射所述光束;

相对于基于镜的光学系统被布置在所述校准板上,以便当所述光束越过所述基准标记时,检测来自所述基准标记的散射光束,并响应于所述散射光束的检测而产生检测器信号的光电检测器;以及

控制系统,所述控制系统被配置成处理所述检测器信号,以便测量所述基准标记的中心位置,并进行确定所述镜的角位置和所述构造平面处的(x, y)位置之间的校准关系的插值处理,并利用该校准关系使所述光束转向。

15. 按照权利要求 14 所述的固态成像系统,其中所述校准板包括光吸收表面。

16. 按照权利要求 14 所述的固态成像系统,其中所述校准板包括其上形成有卤化银基准标记的光阳极化表面。

17. 按照权利要求 14 所述的固态成像系统,其中所述校准板包括:

第一铝基板,所述第一铝基板的厚度约 0.5 英寸~约 2 英寸,具有在每个 20 英寸跨度内平坦度  $FL \leq 0.005$  英寸的第一基板表面;和

第二基板,所述第二基板置于所述第一基板表面之顶上,具有这样的厚度,以致所述第二基板与第一表面平坦度基本上一致,其中所述第二基板限定基本上不散射光的表面,并且其中所述基准标记形成于所述第二基板表面之中或之上。

18. 按照权利要求 17 所述的固态成像系统,其中所述第二基板的厚度约为 0.0015 英寸~约 0.004 英寸。

19. 按照权利要求 14 所述的固态成像系统,其中以圆形点、方形点或六边形点的形式形成所述基准标记,所述点的直径约为 0.030 英寸,中心距约为 0.25 英寸。

20. 按照权利要求 14 所述的固态成像系统,其中所述校准板的宽度  $W_p$  为 1 英尺  $\leq W_p \leq 3$  英尺,长度  $L_p$  为 1 英尺  $\leq L_p \leq 4$  英尺。

21. 一种使用固态成像系统利用扫描光束形成三维物体的方法,包括:

a) 把校准板布置在形成物体的系统中,所述校准板具有形成于基本上非散射背景上的多个基准标记,其中所述基准标记被配置成散射光化性光;

b) 对所述基准标记扫描所述光束,并检测来自所述基准标记的散射光,以便测量被扫描的基准标记的对应中心位置;和

c) 通过根据所测量到的中心位置导引所述光束,形成物体。

22. 按照权利要求 21 所述的方法,还包括在对所述基准标记扫描所述光束之前,对正交的第一行和第二行基准标记进行初始光束扫描,并检测来自被扫描的基准标记的散射

光,以便建立第一坐标系。

23. 按照权利要求 22 所述的方法,还包括在形成物体之前,对所测量到的中心位置和镜的角位置进行插值,以确定镜角位置和形成物体的  $(x, y)$  位置之间的校准关系,随后利用校准的关系形成物体。

24. 按照权利要求 22 所述的方法,其中所述光束是具有可调光斑尺寸的激光束。

25. 按照权利要求 24 所述的方法,还包括:

调整激光束光斑尺寸,以致与对所述基准标记扫描光束以测量被扫描的基准标记的对应中心位置期间相比,在所述初始光束扫描期间,激光束光斑尺寸具有较大的宽度。

26. 按照权利要求 21 所述的方法,还包括:

光栅扫描所述基准标记之一,以确定扫描对比度水平。

27. 按照权利要求 21 所述的方法,还包括在把校准板布置在系统中之前,利用光阳极化处理形成所述校准板。

28. 按照权利要求 21 所述的方法,其中对被扫描的基准标记的对应中心位置的测量包括对检测到的来自被扫描的基准标记的散射光应用一阶抛物线近似和质心近似中的至少一个。

29. 一种校准形成三维物体的固态成像系统的方法,所述固态成像系统具有基于镜的光学系统,并且具有升降机系统,所述基于镜的光学系统具有用于使具有光化性波长的光束转向的角位置可调的镜,所述升降机系统可运动地支承具有对应的构造平面的构造平台,所述方法包括:

(a) 把校准板置于所述构造平台之上,所述校准板具有形成于基本上非散射背景上的多个基准标记,其中所述基准标记被配置成散射光化性光;

(b) 对正交的第一行和第二行基准标记进行第一次光束扫描,并检测来自这些基准标记的散射光,以便建立第一坐标系;

(c) 利用所述第一坐标系,对基准标记的阵列的至少一部分进行第二次光束扫描,并检测来自其的散射光,从而测量被扫描的基准标记的对应中心位置;和

(d) 对所测量到的中心位置和镜的角位置进行插值,以确定镜角位置和  $(x, y)$  构造平面位置之间的校准关系。

30. 按照权利要求 29 所述的方法,还包括:

(e) 当形成物体时,利用所测量到的中心位置和镜的角位置之间的插值关系和所述构造平面处的  $(x, y)$  位置来使所述激光束转向。

31. 按照权利要求 29 所述的方法,其中通过光栅扫描正交方向上的基准标记,确定所测量到的基准标记中心位置。

32. 按照权利要求 29 所述的方法,其中测量被扫描的基准标记的对应中心位置包括对检测到的来自被扫描的基准标记的散射光应用一阶抛物线近似和质心近似中的至少一个。

33. 按照权利要求 29 所述的方法,其中确定所述第一坐标系包括测量旋转、缩放和偏移中的至少一个的值。

34. 按照权利要求 29 所述的方法,还包括在形成物体之前:

除去所述校准板;

把光敏材料置于所述构造平台上;

利用所测量到的中心位置和镜的角位置之间的插值关系以及所述构造平面处的  $(x, y)$  位置,使激光束转向 ;和

测量在所述光敏材料中形成的图案,以评定校准的质量。

35. 按照权利要求 34 所述的方法,其中所述光敏材料包含 MYLAR。

36. 按照权利要求 29 所述的方法,其中建立所述第一坐标系包括 :

计算第一次光束扫描的被扫描的基准标记的理论中心位置 ;和

利用插值,计算在第一次光束扫描中未被扫描的基准标记的理论中心。

37. 按照权利要求 29 所述的方法,包括以圆形点、方形点或六边形点的形式形成所述基准标记,其中所述点的直径约为 0.030 英寸,中心距约为 0.25 英寸。

38. 按照权利要求 29 所述的方法,其中所述光束具有相关的光斑尺寸,并且其中以比用于第一次光束扫描的光斑尺寸小的光斑尺寸进行第二次光束扫描。

39. 按照权利要求 29 所述的方法,还包括 :

旋转所述校准板,并重复对正交的第一行和第二行基准标记的第一次光束扫描,并检测来自其的散射光,以便建立第三坐标系 ;和

比较第一和第三坐标系,并确定它们之间是否存在指示一个或多个校准板误差的差异。

40. 按照权利要求 29 所述的方法,还包括在进行第一次激光束扫描之前 :

光栅扫描所述基准标记中的一个,以确定扫描对比度水平。

## 利用激光扫描反射计的自动几何校准

### 技术领域

[0001] 本发明涉及校准固态成像装置的方法和设备。

### 背景技术

[0002] 固态成像装置已被用于产品开发用模型快速成型,最近被用于制造作业。固态成像装置一般通过响应计算机控制,暴露于辐照之下,用可熔粉末或可光致固化的液体产生三维物体。表示三维物体的剖面层的数据一般逐层地向计算机提供用于自动构建所述物体的程序的控制参数。激光器或者适合于固态成像的其它光化性辐照源顺序照射各个薄层的构造材料,响应于此,材料逐层地变成固态,从而产生固态成像产品。在美国专利 NO. 4575330 和 5495328 中描述了例证的立体光刻设备,所述专利在此引为参考。

[0003] 固态成像有时被称为“快速成型和制造”,包括诸如立体光刻法,激光烧结、喷墨印刷之类的各种技术。用于固态成像的粉末、液体、可喷射的相变材料和其它材料有时被称为“构造材料”。固态成像技术产生的三维物体有时被称为“构型”,“零件”,“物体”和“固态成像产品”,可以各种各样的形状和尺寸形成所述三维物体。

[0004] 通常在称为“构造台”或“构造平台”的表面上制备构型,所述表面可被升高或降低,以使构型的表面与光化性辐照和构造材料被曝光的“工作面”或“构造平面”或“像面”接触。

[0005] 尽管为固态成像开发了各种设备和方法,不过为了使工艺更高效和降低成本,尚待解决许多缺点。例如,这包括改进使辐照源与像面对准,以致恰当地形成物体的复杂且繁杂的对准步骤。

### 发明内容

[0006] 本发明目的在于校准形成三维物体的固态成像装置,尤其是校准这种装置中的激光在平坦表面上的扫描的方法和设备。按照考虑局部和全局几何误差的方式进行校准,以致当形成三维物体时,激光束被精准地导引。

[0007] 所述方法的一个方面涉及获得足够数目的位置测量结果,以提供控制激光器扫描运动特性的预定非线性模型的未知参数的迭代解。通过激光扫描平坦和水平的校准板,产生位置测量结果,所述校准板具有基本上不散射的表面和基准标记的周期阵列,所述基准标记的周期阵列形成于非散射表面之中或之上,并且散射光化性光。当激光扫描校准板时,布置在校准板上方的检测器接收来自基准标记的散射光。

[0008] 本发明的另一方面是一种校准固态成像系统的方法,所述固态成像系统形成三维物体,具有基于镜的光学系统,该光学系统产生和操纵具有光化性波长的光束。固态成像系统具有可活动地支撑构建物体的构造平台的升降机系统。所述方法包括把校准板布置在构造平台之上。校准板具有形成于基本不散射的背景上的基准标记的周期阵列,其中基准标记被配置成散射光化性光。所述方法还包括对正交的第一行和第二行基准标记进行激光光束的第一次扫描,检测来自所述第一行和第二行基准标记的散射光,以便建立用于确定基

准标记阵列中的其它基准标记的第一或“理论”中心位置的第一坐标系。正交的第一行和第二行最好是中心的 X 行和 Y 行。所述方法还包括使用第一坐标系对至少一部分的基准标记阵列进行激光光束的第二次扫描,并检测来自其的散射光,以便测量第二次扫描的基准标记的对应中心位置。所述方法还包括利用测量的中心位置和镜的角位置的插值来确定镜角位置与  $(x, y)$  构造平面位置之间的校准关系。

[0009] 该校准方法基本上不受热环境变量影响,一般能够在一小时内完成校准过程。

[0010] 上述方法满足快速,不存在固态成像系统的任何移动(除扫描镜之外),和成本较低的校准标准。固态成像系统的计算机控制器最好用来做校准设备,并被提供保存在计算机可读介质上的指令(例如,软件),所述指令借助匹配与散射自基准标记的光相关的检测器信号与标记的已知尺寸,并进行智能模式匹配搜索的算法,来识别何时激光束已找到每个基准标记的中心。扫描期间激光功率的任何变化都影响极小,尤其是在采用随后被一起平均化的基准标记的多次扫描的例证方法中更是如此。

[0011] 为了尽可能接近地模拟系统,以致校准高度精准,必须迭代地得到和再导入所有的系统未知数,以致能够识别每组较小的误差。置于校准板上方的单一检测器提供从校准板接收数据的中心位置,并允许在数分钟而不是数小时内完整地扫描校准板。这种时间节省允许校准设备获得足量的位置测量信息,以致能够进行必要次数的迭代计算,从而提供逼近校准设备的能力极限的校准。

[0012] 下面的详细说明中陈述了本发明的其它特征和优点,对本领域的技术人员来说,根据下面的详细说明,本发明的一部分其它特征和优点是显而易见的,或者通过实践这里(包括下面的详细说明,权利要求,以及附图)所述的发明,易于认识到本发明的一部分其它特征和优点。当然上面的一般说明和下面的详细说明给出本发明的例证实施例,意图提供理解要求保护的发明的性质和特性的概观或框架。为了进一步理解本发明,提供了附图,附图包含在说明书中并构成说明书的一部分。附图图解说明本发明的各个实施例,并与详细说明一起用于解释本发明的原理和操作。

## 附图说明

[0013] 图 1 是呈以立剖面表示的立体光刻系统形式的固态成像系统的例证实施例的示意图;

[0014] 图 2 是图 1 的系统的部分光学系统的特写透视图,除了角坐标  $(\theta_x, \theta_y)$ ,以及它们和与构造平面相关的笛卡尔坐标  $(x, y, z)$  的关系之外还表示了例证的镜系统;

[0015] 图 3 是图 1 的立体光刻系统的示意图,还包括按照本发明的允许执行本发明的校准方法的校准设备的例证实施例;

[0016] 图 4 是按照本发明的校准板的例证实施例的平面图,还表示了包括圆形基准标记的周期阵列的例证校准板表面的特写图(插图);

[0017] 图 5 是沿线 5-5 获得的图 4 的校准板的例证实施例的剖面图,以及校准板表面的特写图(插图);

[0018] 图 6 是 1 英尺  $\times$  1 英尺校准板的例证实施例,该校准板具有每隔 0.25 英寸的基准标记,包括  $48 \times 48 = 2304$  个基准标记,为了便于图解说明,用反色表示了校准板表面和标记;

- [0019] 图 7A 是两个相邻的圆形基准标记的示意平面图；
- [0020] 图 7B 是两个相邻的六边形基准标记的示意平面图；
- [0021] 图 7C 是两个相邻的正方形基准标记的示意平面图；
- [0022] 图 8 是与图 5 的校准板类似的校准板的例证实施例的示意侧视图,不过该校准板包括较厚的支承板,所述支承板支承包括基准标记的较薄“目标板”；
- [0023] 图 9 是按照本发明的一般校准方法的例证实施例的流程图；
- [0024] 图 10A-10D 是例证的圆形基准标记的特写平面图,图解说明如何二维地在基准标记上方光栅扫描光束,以确定基准标记中心位置；
- [0025] 图 11A-11C 是例证的基准标记和周围的非散射层的特写剖面图,表示在扫描校准板的时候,在越过基准标记之前,在越过基准标记期间,和在越过基准标记之后的光束；
- [0026] 图 12 是利用两个校准板进行双系统校准的双立体光刻系统的示意图。

### 具体实施方式

[0027] 下面将参考附图,更充分地说明本发明,附图中表示了本发明的一些实施例,但不是全部实施例。实际上,可以用许多不同的形式具体体现本发明,本发明不应被解释成局限于这里陈述的实施例;相反,提供这些实施例,以致本公开将满足可应用的法律要求。本发明目的在于校准固态成像装置的方法和设备。下面作为例子考虑呈立体光刻系统形式的例证固态成像装置,然后是校准标准的说明。这之后是本发明的用于校准立体光刻系统的方法和系统的说明。

[0028] 例证的立体光刻系统

[0029] 图 1 是呈以立剖面表示的立体光刻系统 10 形式的固态成像系统的示意图。为了便于参考,提供了右手的笛卡尔坐标系。系统 10 包括具有内部区域 21(称为“构造室”)的容器 20,内部区域 21 充满可 UV 固化液体 22 等等,从而提供由液面限定的指定工作面或构造平面。这里使用的术语“构造平面”还指的是如果存在液体 22,那么容器 20 中构造平面 23 应该或会在的位置。

[0030] 基于镜的光学系统 25 包括镜系统 MS,和被配置成提供在工作面 23 的平面中产生光斑(“激光光斑”)27 的光化性(例如,紫外线)光束 26 的激光源 LS 或其它光束发生器(包括(但不限于)激光二极管,发光二极管等等)。这里使用的“光化性”光包括任意电磁辐射,所述任意电磁辐射在吸收电磁辐射的材料中产生光化性反应。这样的光化性光包括(但不限于)导致吸收辐射的任何可射频辐射交联材料的交联(cross-linking)的辐射。光学系统 25 被配置成跨越构造平面 23 移动光束,比如激光光斑 27,以便构建物体 50。通过调整镜系统 MS,以及光学系统 26 中的其它光学和/或机械元件(未示出),实现激光光斑 27 在构造平面 23 之上的移动或“转向”。在例证实施例中,光学系统 25 被配置成调整激光光斑 27 的尺寸(即,直径或宽度  $w_{LS}$ ;参见图 11A),以调整激光扫描的分辨率和构建工艺的分辨率。

[0031] 在一个例证实施例中,激光光斑 27 在表面 23 之上的转向由计算机控制系统 30 控制。在一个例证实施例中,计算机控制系统 30 根据由 CAD 设计系统等中的 CAD 数据发生器 32 产生的计算机辅助设计(CAD)数据,控制这种转向。CAD 发生器 32 操作上又与计算机化的 CAD 数据变换系统 34 连接,CAD 数据变换系统 34 操作上与计算机控制系统 30 连接(或

者包括在计算机控制系统 30 内)。CAD 数据变换系统 34 被配置成把来自 CAD 数据发生器 32 的 CAD 数据变换成适当的立体光刻层数据格式,以致控制器能够按照形成物体 50 的方式操纵激光光斑 27。

[0032] 系统 10 包括操作上与计算机控制系统 30 连接的升降机系统 40(也称为平台表面)。升降机系统 40 包括具有上表面 43 的活动构造平台 42。构造平台 42 操作上与由平台驱动器 46 控制的升降机驱动器 44,比如驱动螺杆,活塞座等连接。经由受计算机控制系统 30 控制的平台驱动器 46,升降机驱动器 44 有选择地上下(即,沿 Z 方向)移动构造平台 42。

[0033] 系统 10 还包括操作上与计算机控制系统 30 连接的激光水平测量系统 48。激光水平测量系统 48 被配置成产生从置于之下的无论什么表面反射,以便测量该表面相对于水平基准面的水平高度的激光束 49。

[0034] 可 UV 固化液体 22 的构造平面 23 被保持在容器 20 中的恒定水平高度,按照程控方式在构造平面内移动强度足以固化可 UV 固化液体 22,并将其转换成固态材料的激光光斑 27,或者其它适当形式的反应性激励。当可 UV 固化材料 22 固化,并形成固态材料时,借助升降机驱动器 44 的工作,按照程控方式从构造平面向下移动升降机平台 42(它最初刚好在构造平面 23 之下)。这样,把最初形成的固态材料带到构造平面 23 之下,在存在或不存在重涂装置等的帮助下,新的液体 22 被引进到构造平面。该新液体的一部分又被来自激光光斑 27 的光化性光 26 转换成固态材料,新材料黏附地与在其之下的材料连接。随着设备的工作,它通过逐步累积各个积累层(薄层)52,产生三维物体 50。

[0035] 继续该过程,直到在平台表面 43 上构建了整个三维物体 50 为止。随后从容器 20 中取出物体 50,设备准备好生产另一个物体。可以生产另一个相同物体,或者通过改变提供给计算机控制系统 30 的 CAD 数据,可以制造某一新物体。

[0036] 光学系统

[0037] 图 2 是基于镜的光学系统 25 的一部分的特写透视图,表示了例证的镜系统(MS),以及镜系统的角坐标( $\theta_x$ ,  $\theta_y$ )和与平台表面 43 相关的笛卡尔坐标(x, y, z)的关系。镜系统 MS 包括分别借助相应的镜驱动器(例如,镜电动机或电流计(galvanometer))MDX 和 MDY,围绕相应的轴 X 和 Y 机械旋转的第一和第二镜 MX 和 MY。镜电动机 MDX 和 MDY 操作上与计算机控制器 30 连接,并由计算机控制器 30 控制。镜 MX 控制平台表面 43 的 X 坐标,镜 MY 控制平台表面的 Y 坐标。利用分别受镜电动机 MDX 和 MDY 控制的镜 MX 和 MY 的作用,激光器 LS 产生的激光束 26 被导引到点  $P = P(x, y, z)$ ,其中在校准板表面 132 的原点被认为在 Y 维镜 MY 的中心(在其旋转轴上)。校准板表面 132 到 Y 维镜 MY 的中心的距离为 Z。角度  $\theta_y$  对应于在 Y 维方向上激光束 26 偏离垂直线(vertical)的角度,角度  $\theta_x$  对应于在 X 维方向上激光束 26 偏离垂直线的角度。

[0038] 假定 S 为 Y 维镜 MY 的中心(在其旋转轴上)和 X 维镜 MX 的中心之间的距离(间距),按照在与该系统相应的平坦表面的激光扫描领域中的公知关系,可如下确定为了辐照点 P,激光束 26 偏离垂直线的角度的校正值:

$$[0039] \quad \theta_y = \text{TAN}^{-1}(y/Z)$$

$$[0040] \quad \theta_x = \text{TAN}^{-1}(x/((Z^2+Y^2)^{1/2}+S))$$

[0041] 还按照常规方式为该系统得到焦半径 FR(未示出),如下所述:

$$[0042] \quad FR = [(Z^2+Y^2)^{1/2}+S]^2+X^2]^{1/2}$$

[0043] 已知这些关系,那么考虑到平台表面 43 和 Y 维镜 MY 之间的指定距离 Z,可以校正由镜 MX 和 MY 的平坦表面,以及它们的间距 S 造成的几何误差。

#### [0044] 校准标准

[0045] 固态成像装置的校准设备应满足的标准有很多。例如,为了降低所形成零件的固化层的“压挤”效应,激光束必须以接近 90° 的角度对着构造平面。这是通过获得从扫描镜到构造平面的较大距离来实现的。这种大的工作距离妨碍到校准程序,因为扫描系统的几何学方面的任何缺陷被放大,比如镜安装缺陷,室窗口 (chamber window) 不均匀性和非平坦性,镜轴扭曲,和电动机 (galvomotor) (即,镜电动机) 非平行安装。

[0046] 此外,与一对扫描镜相关的角坐标到构造平面的理论映射具有为激光扫描领域的技术人员已知的固有难度。该难度在于由于激光束不是起源于空间中的中心点,而是起源于未知的入口和出口矢量的两点,坐标系的映射是非线性的。这种配置在构造平面画出的是弧线,而不是直线,产生呈枕形扭曲的映射误差。

[0047] 另一标准在于,除扫描镜以外,在数据收集期间,可不存在固态成像装置沿任何方向的移动,或者绕任意轴的旋转。在计算中可以考虑到任何移动,但是在多好地检测移动的精度方面会受到限制。任何旋转都会使误差图极大地失真,难以以要求的精度测量这样的旋转。

[0048] 激光束到每个镜的准确入射角和入射位置,镜之间的距离,和从第二镜到构造平面的距离都未知。与未知参数的数目结合的成像非线性和各种可能的几何缺陷的组合要求为了达到希望的精度,需要大量的数据。

[0049] 另一标准在于校准必须相对快速,即,最好在一小时内完成,以致在校准测量过程中由温度和湿度引起的系统的任何膨胀或收缩可忽略不计。关联的标准在于必须无明显延迟地处理相当大量的计算信息,并且应是“在原处的”,以致可以进行校准测量的二次重复,而不必重新安装任何校准仪器。

#### [0050] 校准设备

[0051] 如上所述,在操作系统 10 构建物体 50 之前,系统需要被校准,以致高精度地把激光光斑 27 引导到希望的物体坐标,从而如实地再现预期的物体。

[0052] 图 3 是图 1 的立体光刻系统 10 的示意图,还包括按照本发明的允许执行本发明的校准方法的校准设备的例证实施例。校准设备包括具有上表面 112 和下表面 114 的校准板 110,校准板 110 被布置成其下表面搁在平台表面 43 上。下面更详细地说明例证的校准板 110 的细节。

[0053] 校准设备还包括布置在校准板上表面 112 上方 (即,相对于校准板上表面 112 的 +Z 方向),以便在激光束 26 的光路之外的光电检测器 130。在例证实施例中,光电检测器 130 包含具有例如 5.8mm 的直径,和 190nm-1100nm 的宽广波长检测范围的 Si-PIN 光电二极管。也可以使用能够检测 UV 波长 (或者根据需要,其它波长) 的光的其它种类的光电检测器,比如基于 GaP 的检测器和基于 GaAsP 的检测器。如下更详细所述,响应检测到光,光电检测器 130 产生检测器电信号 SD。在例证实施例中,使用具有以光化性波长  $\lambda_0$  为中心的  $\Delta \lambda$  通带的滤光器 131 把检测处理基本限制于光化性波长  $\lambda_0$ 。

#### [0054] 第一例证校准板

[0055] 图 4 是校准板 110 的第一例证实施例的平面图,图 5 是沿线 5-5 获得的图 4 的校准板的剖面图。校准板 110 包括具有平坦的上表面 132 和下表面 134 的刚性平坦基板 130。基板 130 宽度为  $W_p$ ,长度为  $L_p$ ,厚度为  $T_p$ 。基板 130 的例证材料是铝。在例证实施例中,基板 130 是具有约 0.5 英寸~2 英寸的范围内的,最好约 0.75 英寸的均匀厚度  $T_p$  的铝板。另外,在例证实施例中,形成铝基板上表面 132,以便在任意 20 英寸跨度内平坦度  $FL \leq 0.005$  英寸。在例证实施例中,使用 Blanchard 磨削工艺(也称为“旋转表面磨削”)达到要求的表面平坦度  $FL$ 。在例证实施例中,基板 130 具有  $1 \text{ 英尺} \leq W_p \leq 3 \text{ 英尺}$  的范围内的宽度, $1 \text{ 英尺} \leq L_p \leq 4 \text{ 英尺}$  的范围内的长度。也可以使用其它基板尺寸(包括厚度),尺寸只受特定系统 10 的需要(包括使基板的垂度保持最小的需要)限制。在例证实施例中,基板 130 的尺寸限定校准板 110 的尺寸。

[0056] 在例证实施例中,校准板 110 包括校平翼片 111,校平翼片 111 向外伸出,具有相对于校准板表面 112 放置的表面 113。校平翼片 111 被布置成以致其表面 113 存在于激光对准系统 48 之下,为系统 10 中的校准板 110 的精确校平提供基准面。

[0057] 校准板上表面 132 被这样构成,以致它基本上不散射光(即,基本上是不散射的),最好被配置成充分吸收光化性光 26。为此,在例证实施例中,校准板上表面 132 包括形成于其上的光吸收层 140。在例证实施例中,借助阳极化形成光吸收层 140,最好利用光阳极化形成光吸收层 140。可以利用其它技术和/或其它材料,比如染料,涂料,塑料,陶瓷等形成光吸收层。

[0058] 形成光吸收层 140,以致它能够吸收相当大量的光化性光 26,以便减少当在如下所述的基准标记之间,在校准板 110 上方扫描光斑 27 时的不希望的散射。在这个意义上,校准板上表面 132 充当“暗”或“非散射”背景。

[0059] 校准板 110 还包括在校准板上表面 132 上,例如,在光吸收层 140 中或之上形成的基准标记 156 的周期阵列 150。形成多个基准标记 156,以便能够散射光化性光 26。在例证实施例中,基准标记包含在上面提及的光阳极化处理期间,在光吸收层 140 中形成的卤化银。图 4 包括表示带有圆形基准标记 156 的例证光吸收层 140 的特写图的插图。在例证实施例中,基准标记 156 的尺寸与激光光斑 27 的尺寸大约相同。

[0060] 在例证实施例中,通过利用计算机数控(CNC)铣削产生基准标记,在光敏阳极化铝基板表面 132 中形成基准标记 156。其它实施例提供在基板表面上形成多个基准标记的备选技术和/或材料。通过被放置在基板的表面之上,之中,之内,或者以其它方式与基板的表面连接或者紧接,基准标记与基板的表面相关联。

[0061] 在例证实施例中,标准标记 156 间隔中心距  $D_f$ ,宽度为  $W_f$ 。基准标记 156 优选具有不大于 1 英寸,更好的是不大于 0.5 英寸,最好约为 0.25 英寸的中心距  $D_f$ 。基准标记 156 优选具有不大于 0.005 英寸,更好的是不大于 0.004 英寸,最好在由  $0.002 \text{ 英寸} \leq W_f \leq 0.004 \text{ 英寸}$  限定的范围中的宽度  $W_f$ 。基准标记 156 的布置精度最好等于或大于 0.001 英寸。

[0062] 例如,例证的校准板 110 包括 1000~20000 个基准标记 156。图 6 是 1 英尺×1 英尺校准板的例证实施例,该校准板具有间隔距离  $D_f = 0.25$  英寸的基准标记,从而包括  $48 \times 48 = 2304$  个基准标记 156。注意,为了便于图解说明,用反色表示了图 6 的校准板,即,背景表面 140 被表示成白色,基准标记被表示成黑色。

[0063] 2 英尺×3 英尺形式的图 6 的校准板 110 包括约 13824 个基准标记 156。不过,取

决于校准板尺寸,以及基准标记之间的间距  $D_F$ ,可以使用在上述范围之外的其它数目的基准标记 156。

[0064] 各种形状可用于基准标记 156,比如圆形(图 7A),六边形(图 7B)和正方形(图 7C)。也可以使用其它形状,比如十字形,双重框,和其它种类的多边形或弯曲形状。通常,基准标记 156 可以是能够用激光光斑 70 扫描,以便利用检测到的散射光和适当的算法来提供标记的中心位置  $(x, y)$  的任意形状。

[0065] 第二例证校准板

[0066] 上面说明的校准板 110 使用单一的厚基板 130,更换成本较高。例如,一旦其表面 132 被抛光到较高的平坦度,那么厚度 0.75 英寸的 2 英尺  $\times$  3 英尺铝基板 130 价值约为 \$2000。如果表面 132 被擦伤或破坏,那么必须更换整个校准板。

[0067] 图 8 是与图 5 类似的示意侧视图,不过图解说明校准板 110 的第二例证实施例,该校准板包括作为不易弯曲的第一支承基板或者说“支承板”的基板 130,和在上表面 132 上的由基板 130 支承的基本上柔性的第二薄基板 136 或者说“目标板”。基板 136 具有上表面 138,在上表面 138 上,形成光吸收层 140 和多个基准标记 156。在本实施例中,基板表面 132 不需要被阳极化。基板 136 最好是铝板,并且较薄,例如厚度约 0.0015 英寸~约 0.004 英寸,最好约 0.002 英寸。最好选择基板 136 的厚度,以致它能够与下面的基板 130 的表面 132 的平坦度 FL 一致。在例证实施例中,利用酒精和所得到的表面张力,把基板 136 粘附在基板 130 的表面 132 上。

[0068] 校准板 110 的双基板实施例的优点在于如果承载基准标记 156 的阵列 150 的表面 138 受损,那么只需要以约 \$200 的成本更换较薄的基板 136。

[0069] 校准方法

[0070] 下面参考图 9 的流程图 200,说明本发明的优选实施例的方法。可在出货之前和/或在生产场地装配之后,使用例证的校准方法。如果发生任何机械移位、激光器移动或者明显的激光漂移,那么应重复校准程序。

[0071] 在步骤 201,把校准板 110 插入系统 10 的构造室 21 中,以致校准板表面 112 与构造平面 23 基本共面。如上所述,在例证实施例中,校准板 110 包括用于精确地使校准板在系统 10 内水平的校平翼片 111。校准板 110 的校平翼片 111 或其它特征可被用于相对于固态成像系统对准或以其它方式使校准板定向。

[0072] 在步骤 202,光束 26 被导引到基准标记 156,进行基准标记的测试剖析(test profile)。例如,这涉及沿 X 和 Y 方向对特写基准标记 156 的二维(2D)光栅扫描。

[0073] 图 10A-10D 是例证的基准标记 156 的特写平面图,图解说明在剖析过程期间,如何沿 X 方向和 Y 方向在基准标记上方光栅扫描激光束 126,以确定基准标记的“最佳位置”或“中心位置”156C。虚线箭头 170 表示光斑 27 的扫描方向。

[0074] 源自所选基准标记 156 的 2D 光栅扫描的数据随后被用于推断该基准标记的中心位置 156C,和扫描整个校准板 110 的恰当对比度及黑度(black-level)。在例证实施例中,通过利用两种不同的算法,比如质心算法和高斯近似算法,确定中心位置 156C。关于中心位置 156C 的确定,两种算法必须在很小的误差容限(例如, $< 0.001$  英寸)内达成一致,否则要重复基准标记的光栅扫描。也可单独地或者组合地使用确定中心位置 156C 的其它算法或方法。计算机控制系统 30 对闭环中的每个光栅扫描或“剖析”自动调整激光功率,以使对

比度达到最大。在例证实施例中,考虑到测量冗余,多于一次地“剖析”一些基准标记 156。

[0075] 图 11A-11C 是例证的基准标记 156 和光吸收层 140 的特写剖面图,表示在扫描校准板 110 的时候,在越过基准标记之前,在越过基准标记期间,和在越过基准标记之后的光束 26。在图 11B 中,光斑 27 与基准标记 156 基本上重叠,从而形成由检测器 130(图 3)检测的散射光 26S。在基准标记 156 之间,当光斑 27 在基准标记 156 之间通过时,光束 26 通常被光吸收层 140 吸收,以致基本上没有光被散射到检测器 130。

[0076] 重新参见图 9 和流程图 200,在步骤 203,通过进行在校准板 110 的中间的一行和一系列基准标记 156(即, X 方向的中间行  $(x, 0)$ ,随后 Y 方向的中间列  $(0, y)$ ) 的第一次(或者说初始)光束扫描,来识别 X 轴和 Y 轴。注意通常来说,第一次光束扫描可以沿着基准标记 156 的任意两个正交行/列(“正交行”)。不过,在本发明的例证实施例中,优选的是选择中间行和中间列,以在校准板 110 的中间建立笛卡尔坐标系的原点。

[0077] 该程序最好涉及利用相对较大的激光光斑尺寸首先或初始扫描相对较大的区域。在例证实施例中,激光光斑 27 宽度  $W_{LS}$  约为待找到的基准标记 156 的宽度  $W_F$  的四倍,以致对于基准标记宽度  $W_F = 0.03$  英寸来说,激光光斑宽度  $W_{LS}$  约为 0.12 英寸。对一行和一系列,最好对中间行和中间列的每个基准标记 156 进行这种相对较宽的第一次扫描。较宽激光光斑 27 的使用保证在第一次扫描内找到基准标记 156。在定位中间行和中间列中的所有基准标记 156 之后,通过计算确定校准板 110 的其余基准标记 156 的理论位置。

[0078] 这种初始扫描提供求出大多数理论模型参数,包括旋转,偏移,镜距离,第二镜到平面的距离,进入角度,和在原点的退出角度的重要信息。通过采用利用上述方程的已知回归分析技术,并根据关于中间行和中间列收集的数据,对所有基准标记获得这些理论模型参数。继续回归分析迭代,直到 RMS 误差小于 0.005 英寸为止。该理论模型允许在第二次扫描中快速扫描其余的基准标记 156,如下所述。例如,与其如上关于初始扫描所述对中间行和中间列进行的那样,用相对较大的激光光斑 27(例如,  $W_{LS} \sim 0.12$  英寸)扫描每个基准标记,倒不如在第二次扫描中利用较窄的激光光斑 27(例如,  $W_{LS} = 0.040$  英寸)扫描其余的基准标记。

[0079] 通过以微小的角增量  $d\theta_x$  和  $d\theta_y$  移动镜 MX 和 MY,从而以对应的微小笛卡尔增量  $dY$  和  $dX$  操纵激光光束 26,确定镜的角运动与行进距离的关系,并且能够确定初始坐标系的理论原点。

[0080] 如果步骤 203 成功,那么计算旋转,缩放比例和偏移值,并将其用于产生把镜角坐标  $(\theta_x, \theta_y)$  映射成校准板 X-Y 坐标的第一坐标系或者说“理论模型”。上述理论模型被用于预测其它(即,未扫描的)基准标记 156 的“理论”位置  $(x_T, y_T)$ 。由于在校准之前作为整体来看的系统 10 中的缺陷的缘故,在理论(中心)位置  $(x_T, y_T)$  和测量的基准标记 156 的实际(中心)位置  $(x_A, y_A)$  之间通常存在差异。

[0081] 在步骤 204,在第二次(或者说“测量”)光束扫描中测量校准板 110 的至少大部分,最好全部的基准标记 156,以确定扫描的基准标记 156 的实际中心位置  $(x_A, y_A)$ 。所述第二次扫描使用理论位置  $(x_T, y_T)$  来寻找基准标记 156。在例证实施例中,对约 10000 个基准标记来说,这种全扫描过程持续约 20 分钟。这允许比较实际中心位置和理论中心位置,并计算两次测量之间的误差

[0082]  $(\delta x, \delta y) = (x_A - x_T, y_A - y_T)$

[0083] 这又允许识别由系统 10 中的缺陷引起的理论模型中的局部误差和全局误差。

[0084] 从而,在步骤 204 中,用几何表提供在第二次扫描中测量的实际中心位置  $(x_A, y_A)$ 。在本发明的一些实施例中,几何表包括沿 X 轴的笛卡尔坐标  $x$  的每个 0.25 英寸增量的扫描镜角坐标  $\theta_x$ ,和沿 Y 轴的笛卡尔坐标  $y$  的每个 0.25 英寸增量的扫描镜角坐标  $\theta_y$ 。

[0085] 在步骤 205,在步骤 204 中确定的几何表被用于把所有扫描镜角坐标  $(\theta_x, \theta_y)$  插值到(例如,使用五次多项式方程)所有校准板  $(x, y)$  坐标。这种插值由控制整个扫描区的方程式产生,从而对“拼接”误差(比如由于仅仅使用最靠近的基准标记,和利用简单的求平均值算法而产生的局部异常)不敏感。这些“插值坐标”构成当形成物体 50 时,可被计算机控制系统 30 用于操纵激光束 26 的校准坐标  $(x_c, y_c)$ 。本发明的一个例证实施例用四次二度(second-degree)多项式方程进行插值,以平滑收集的数据。根据该平滑后的数据,对几何表中的四个最靠近的周围数据点进行传统的双线性插值,从而产生正确的(即,“校准的”)  $\theta_x$  和  $\theta_y$ 。

[0086] 考虑校准板误差

[0087] 校准板表面 112 会在校准过程中引入误差。任何平坦度或旋转误差(例如,全局和局部平坦度变化或旋转)会在扫描数据中引起位置误差。已知悬浮表面的理论平坦度遵循抛物线特性,能够被建模。不过,除非进行测量,否则任何差异都是未知的,并且会因温度和湿度而发生变化。

[0088] 因此,在例证实施例中,校准方法包括可选步骤 206,在步骤 206 中,旋转校准板 110(例如,旋转  $45^\circ$  或  $90^\circ$ ),并重复中间 X 行和中间 Y 行的第一次光束扫描。如果校准板表面 112 未完美地处于水平状态,或者如果存在任何平坦度缺陷,或者如果基准标记 156 的周期阵列 150 存在任何旋转误差,那么这些差异现在也会被旋转。如果扫描一个 X 行和一个 Y 行的基准标记 156,以确定任何平坦度和/或旋转误差或偏移,那么在(“理论”)坐标系中可考虑到这些误差。类似的技术涉及降低或升高校准板表面 112,以测量和补偿任何平坦度误差。

[0089] 焦点图(focus map)

[0090] 由于固态成像系统 10 通常包括较大的构造平面 23,因此当激光光束 26 在构造平面上来回移动时,基于镜的光学系统 25 必须动态聚焦激光束 26。尽管预先已知焦距机械特性(focal distance mechanics),但是任何运动零件都会引入它自己的偏移和旋转误差,从而把聚焦的光斑转移到不同于预定位置的位置。因此,在步骤 207,利用来自步骤 205 的插值坐标信息,产生焦点图,该焦点图关于指定的  $(x, y)$  坐标,为激光光束 26 提供正确的焦点。

[0091] 校准验证

[0092] 在可选步骤 208 中,进行可视的验证过程。扫描镜使用几何表创建辐照选择的基准标记 156 的矢量,由于上面提及的散射光 26S 的缘故,当被辐照时,所述选择的基准标记 156 看来似乎“发光”。可按选择的模式辐照选择的基准标记 156,所述选择的模式允许系统用户可视地验证校准。

[0093] 在要求或者保证多于可视校准验证的另一个可选步骤 209 中,提供诸如黑色 MYLAR 膜(未示出)或者其它聚酯膜或其它材料的薄膜之类的光敏材料,并利用使用校准后的坐标操纵的激光光束 26,采用选择的校准图案(即,基准标记辐照图案)蚀刻所述光敏材

料。随后利用传统的测量方法检查在光敏材料上形成的校准图案,以确认系统 10 的校准。

[0094] 双扫描系统

[0095] 在适应所有的上述误差之后,能够增加与之相邻的另一个扫描系统,以增大构造平面尺寸。图 12 是双立体光刻系统 300 的示意图,双立体光刻系统 300 包括并排布置的两个构造室,其中使用两个校准板 110 按照上述方式进行校准。这种双立体光刻系统 330 可包括计算机控制系统 30,计算机控制系统 30 控制分立的基于镜的光学系统 25 移动由单一的光束发生器(未示出)或者由分立的光束发生器产生的光束。在一些实施例中,可以使用多组数据点来校准相应的构造室;不过,在其它实施例中,可以使用多组数据点把校准数据组织在一起,从而形成单一(组合)构造室的单一校准数据集。

[0096] 在受益于在上面的说明和相关附图中给出的教导的情况下,本发明所属领域的技术人员将想起这里陈述的发明的许多修改和其它实施例。于是,本发明当然不局限于所公开的具体实施例,这些修改和其它实施例包括在附加权利要求的范围之内。本发明覆盖本发明的各种修改和变化,只要它们在附加权利要求和其等同物的范围之内。尽管这里采用了具体术语,不过只是在一般和描述的意义使用这些术语的,而不是对本发明的限制。

[0097] 本申请要求 2007 年 8 月 23 日提交的美国临时申请 No. 60957576 的优先权,通过引用将该申请并入于此。

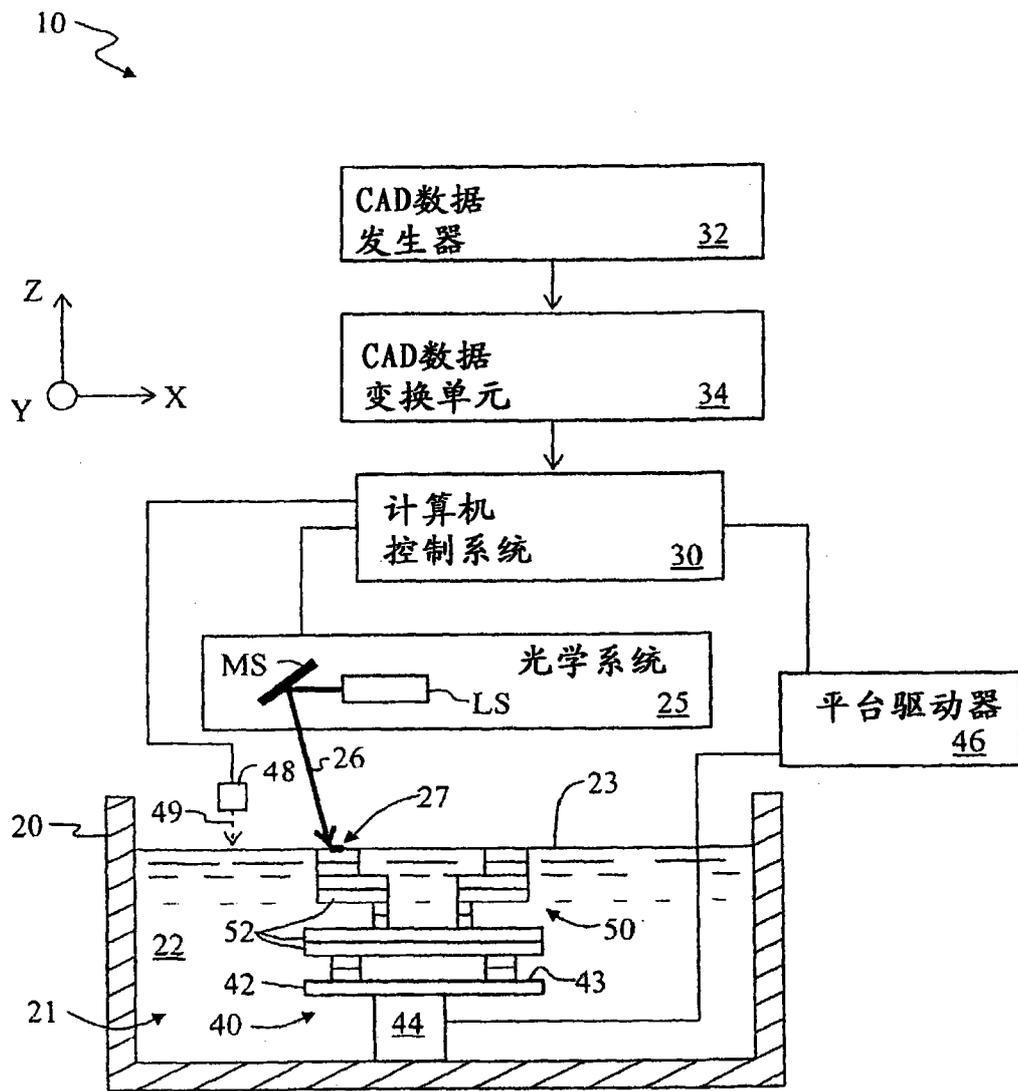


图 1

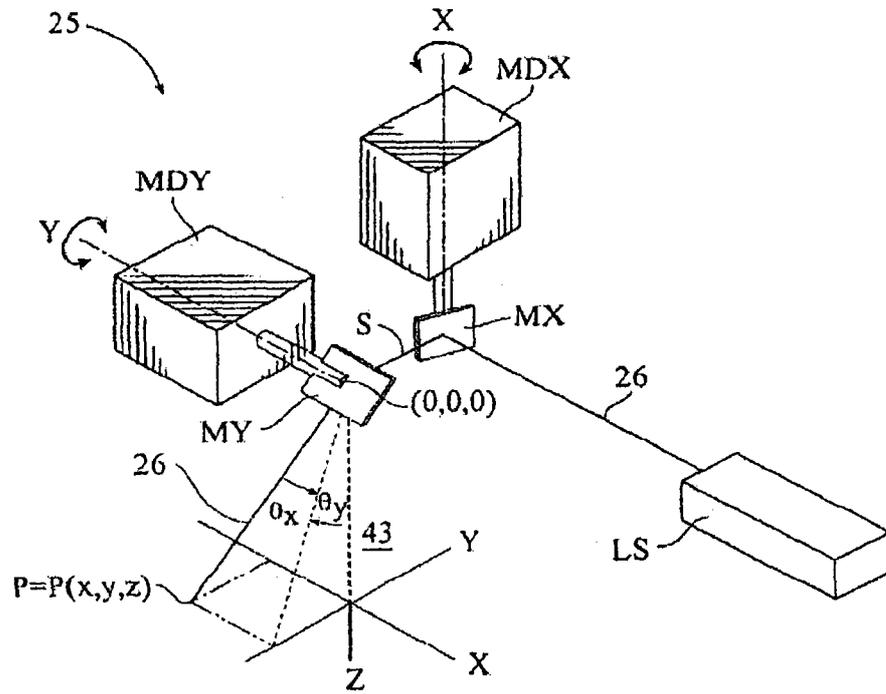


图 2

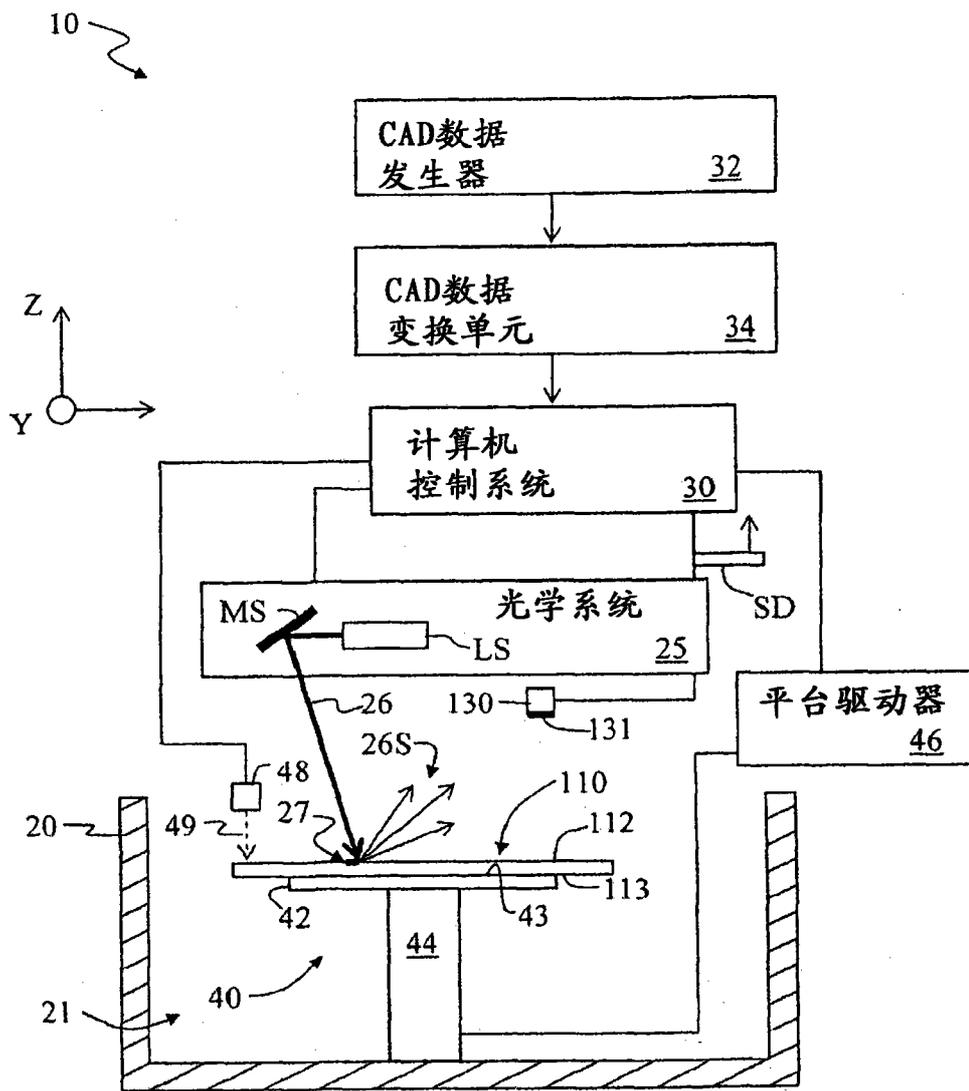


图 3

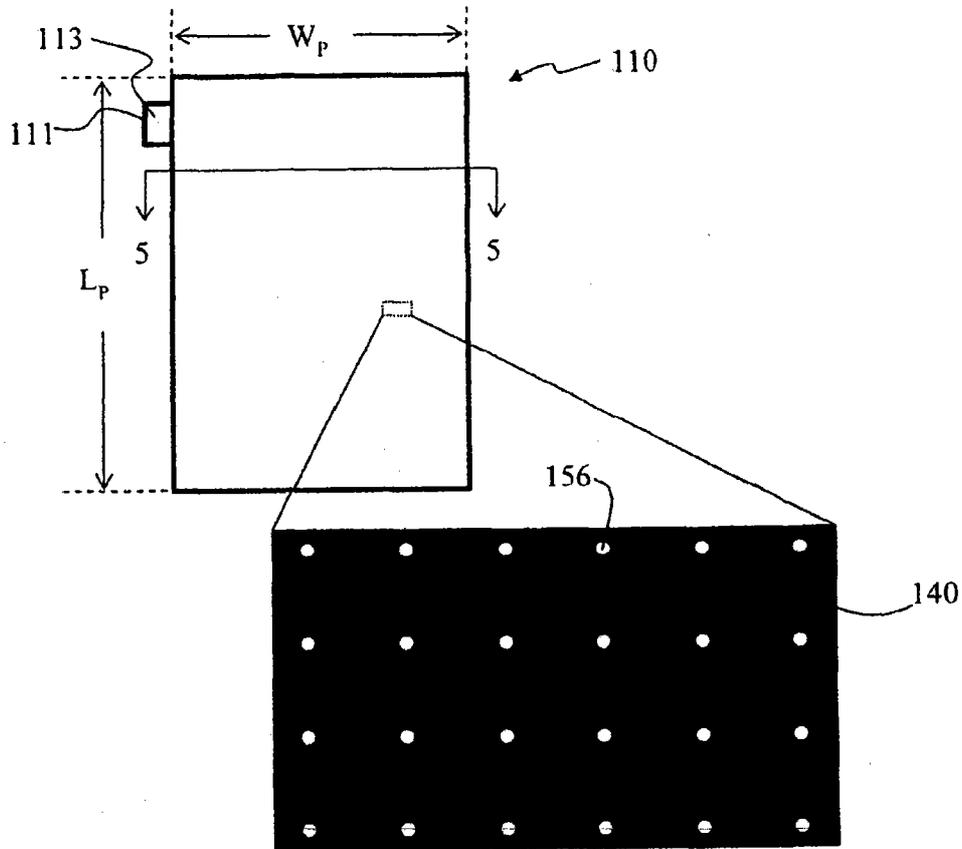


图 4

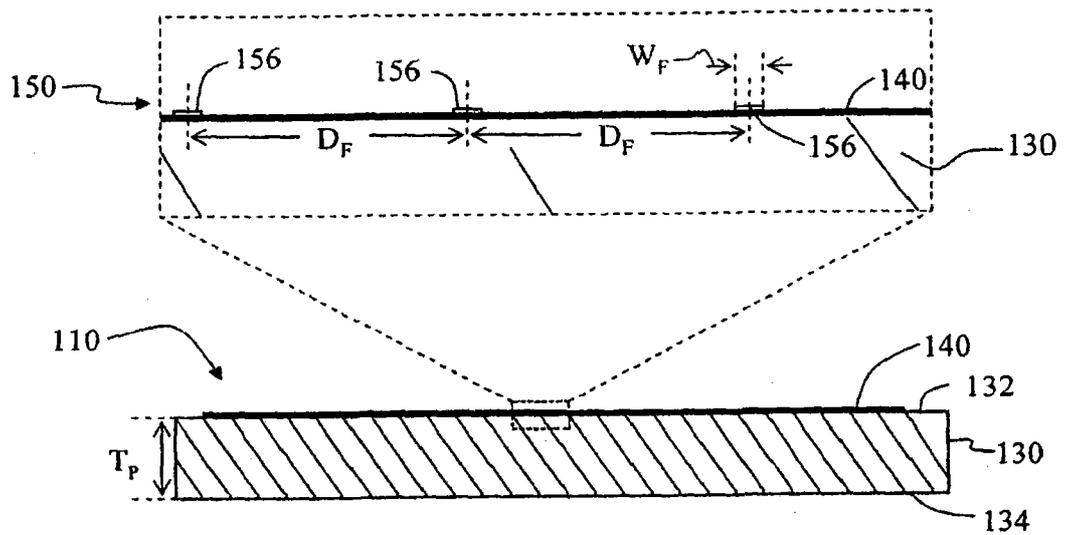


图 5

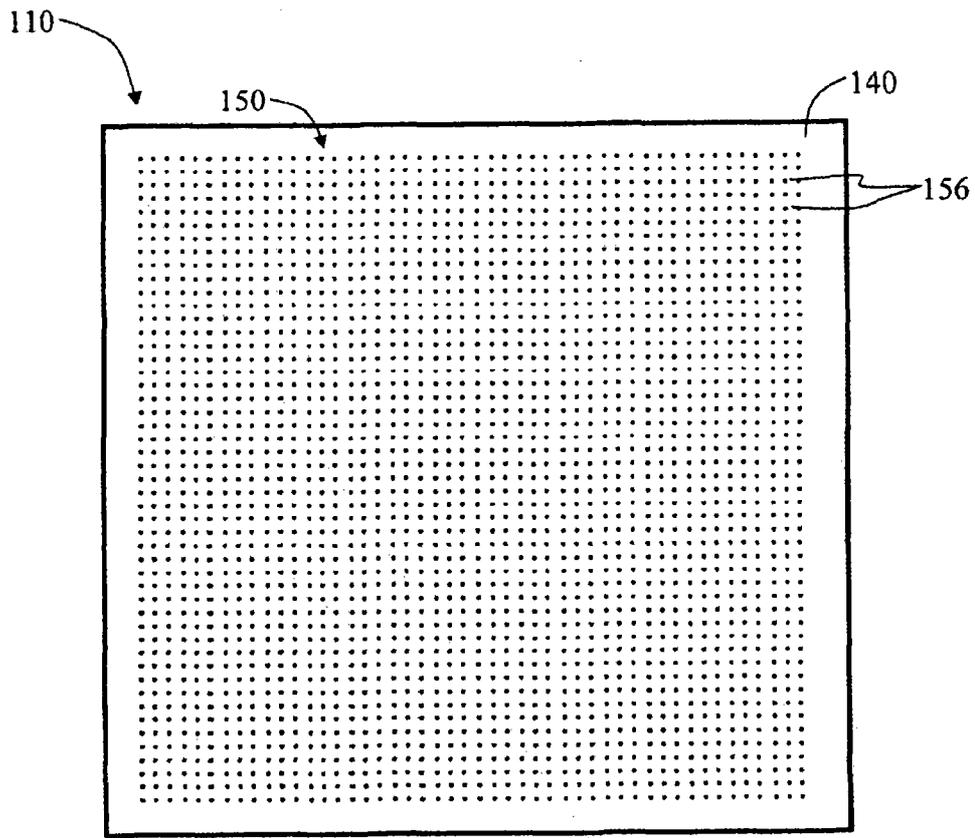


图 6

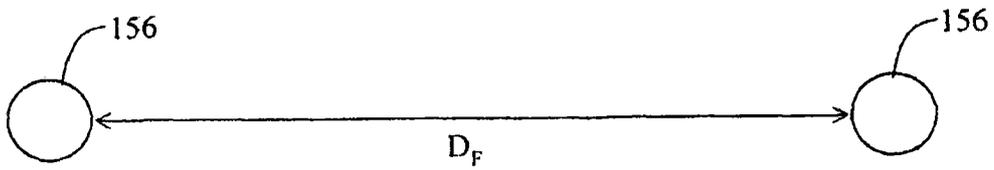


图 7A

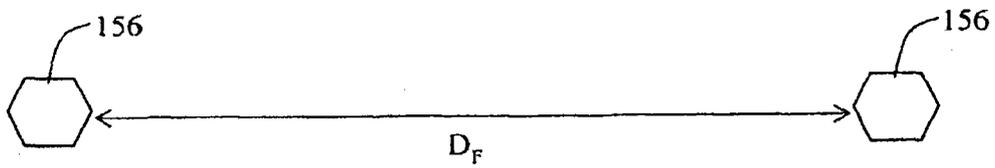


图 7B

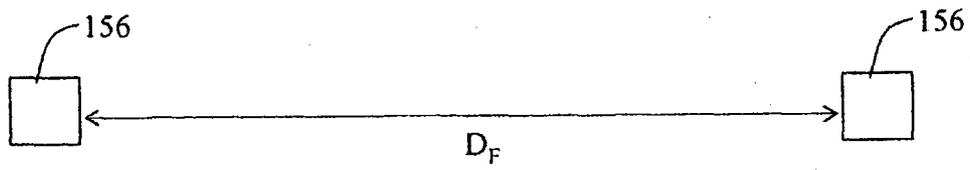


图 7C

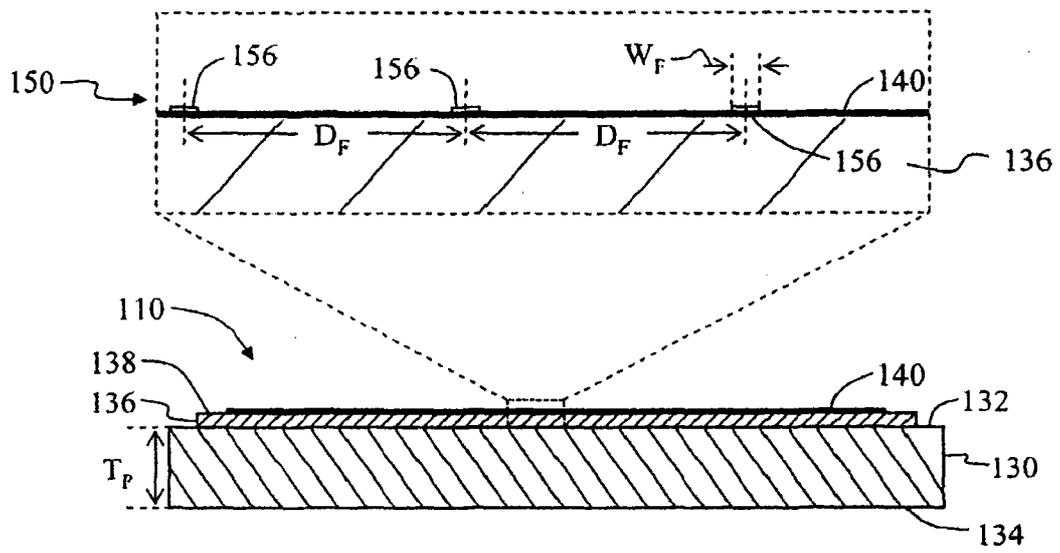


图 8

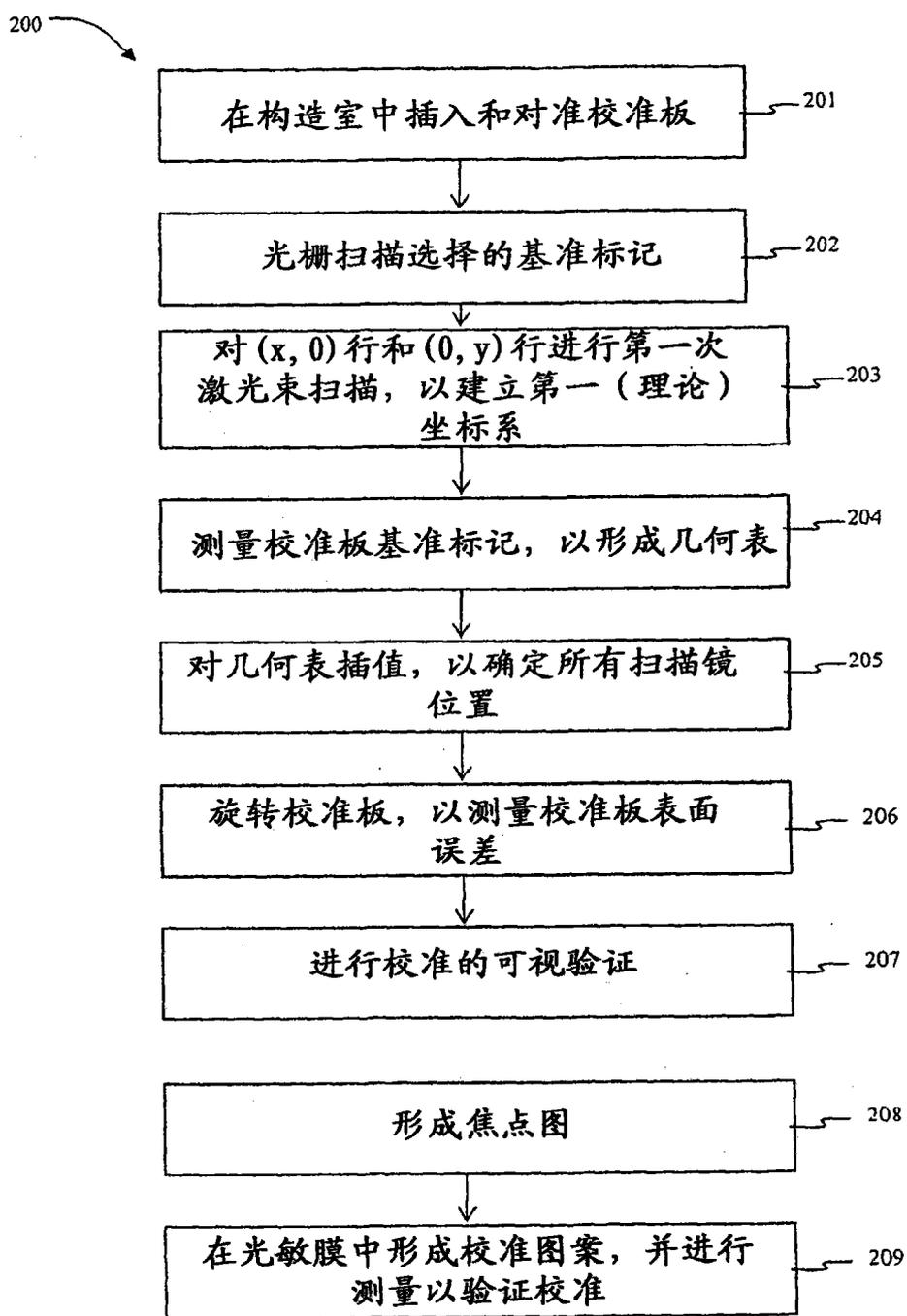


图 9

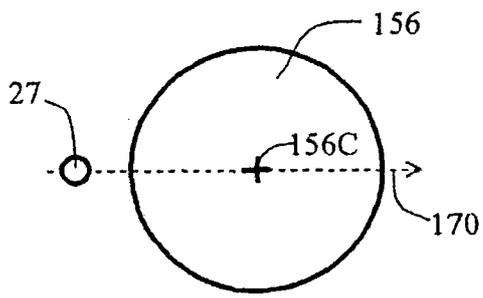


图 10A

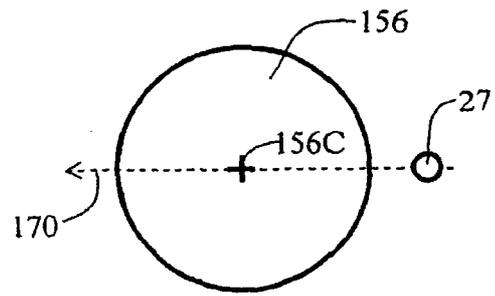


图 10B

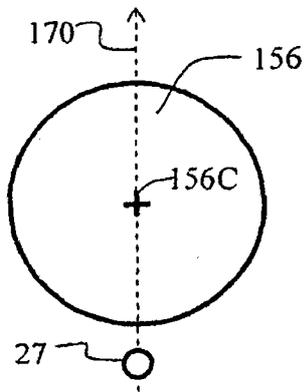


图 10C

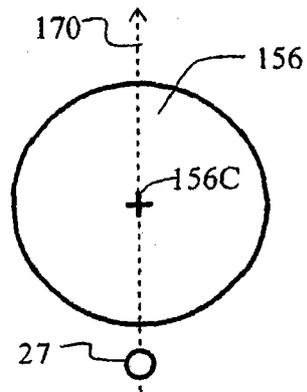


图 10D

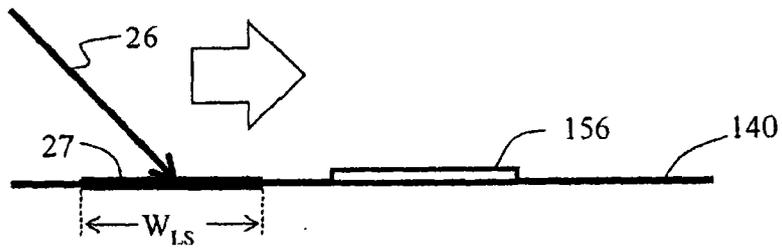


图 11A

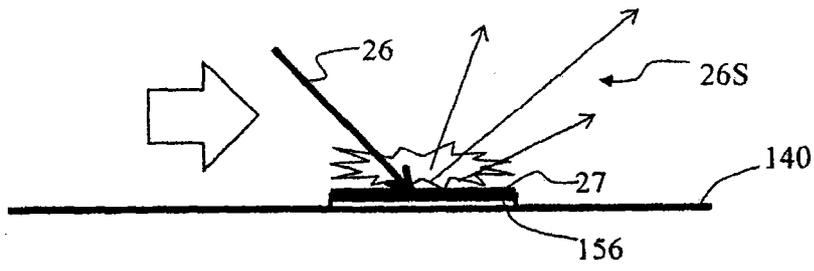


图 11B

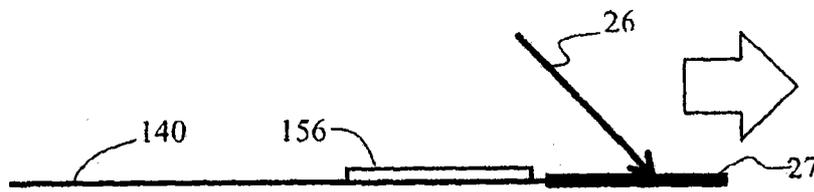


图 11C

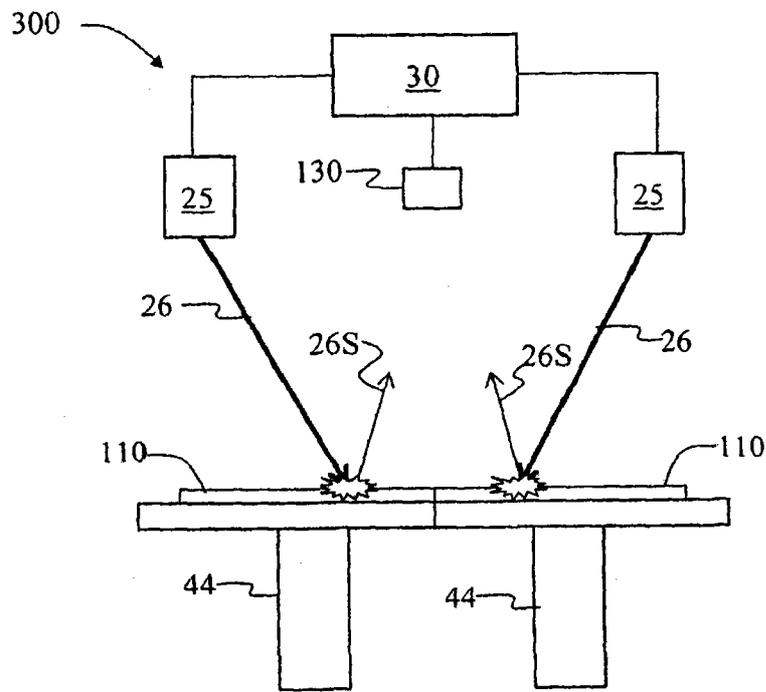


图 12A