



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104334312 A

(43) 申请公布日 2015. 02. 04

(21) 申请号 201380022339. 5

代理人 刘祖芬

(22) 申请日 2013. 03. 18

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

B23K 26/362 (2014. 01)

13/422, 190 2012. 03. 16 US

B23K 26/04 (2014. 01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 10. 27

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2013/032781 2013. 03. 18

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/138802 EN 2013. 09. 19

(71) 申请人 IPG 微系统有限公司

地址 美国新罕布什尔州

(72) 发明人 J·P·赛席尔 M·曼德思 M·汉诺

M·冯达都思仁

(74) 专利代理机构 北京汇智英财专利代理事务

所(普通合伙) 11301

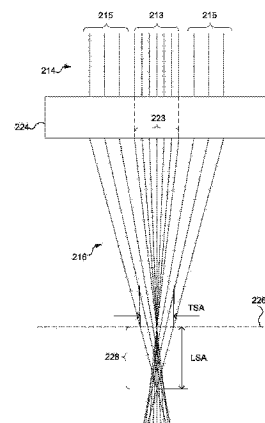
权利要求书3页 说明书13页 附图11页

(54) 发明名称

使一工件中具有延伸深度虚饰的激光切割

(57) 摘要

用于激光切割的系统及方法借助以下方式于一基板或工件中提供延伸深度虚饰:聚焦一激光光束,而使该光束利用一波导自聚焦效应进入该工件中,以沿一延伸至该工件内的通道造成内部晶体损伤。可利用不同的光学效应来促进波导自聚焦效应,例如工件材料中的多光子吸收、工件材料的透明度、以及聚焦激光的像差。激光光束可具有一波长、脉波持续时间、及脉波能量,例如以透射过该材料并在该材料中提供多光子吸收。亦可使用一具有像差的聚焦激光光束来提供足以将有效景深(DOF)延伸进入该工件内的一纵向球面像差范围。



1. 一种用于激光切割一工件的方法,该方法包含:

产生具有数个超短脉波的一激光光束,该等超短脉波具有小于1纳秒(ns)的一脉波持续时间;以及

聚焦该激光光束,而使一能量密度足以于一烧蚀区处烧蚀该基板的一表面且足以改变该工件中的一折射率,其中该光束利用一波导自聚焦效应(waveguide self-focusing effect)穿透该烧蚀区而到达该工件内的一内部位置,以于该内部位置处对该工件的材料造成晶体损伤(crystal damage)。

2. 如权利要求1所述的方法,其中聚焦该激光光束是使用一透镜执行,该透镜具有一小于0.8的数值孔径。

3. 如权利要求2所述的方法,其中该透镜为一三元透镜(lens triplet)。

4. 如权利要求2所述的方法,其中该透镜具有一至少25毫米(mm)的焦距。

5. 如权利要求2所述的方法,其中该透镜以约400微米( $\mu\text{m}$ )的焦深(focal depth)及约3微米的切口宽度(kerf width)提供一有效聚焦性能(focusability)。

6. 如权利要求1所述的方法,其中该激光光束具有一波长,以于该工件的该材料内提供非线性多光子吸收(nonlinear multiphoton absorption)。

7. 如权利要求6所述的方法,其中该材料为蓝宝石,且该波长是处于紫外光(UV)范围内。

8. 如权利要求7所述的方法,其中产生该激光光束包含产生至少一个脉波,该至少一个脉波具有一约60微焦耳( $\mu\text{J}$ )的脉波能量及一小于约10皮秒(ps)的脉波持续时间。

9. 如权利要求8所述的方法,其中产生该激光光束包含以约33.3千赫(kHz)的重复率产生数个脉波,且更包含以处于约70毫米/秒(mm/s)至90毫米/秒范围的一扫描速度于该工件上扫描该激光光束。

10. 如权利要求6所述的方法,其中该波长是处于红外光(IR)范围内。

11. 如权利要求6所述的方法,其中该材料为蓝宝石,该波长为约355纳米(nm),且聚焦该激光光束是使用一25毫米的三元透镜执行,该25毫米的三元透镜具有处于约0.15至0.2范围的一工作数值孔径。

12. 如权利要求6所述的方法,其中该材料为蓝宝石,该波长为约355纳米,且聚焦该激光光束是使用一60毫米的三元透镜执行,该60毫米的三元透镜具有处于约0.05至0.1范围的一工作数值孔径。

13. 如权利要求1所述的方法,更包含以一扫描速度于该工件上扫描该激光光束,而使该激光光束的一系列脉波沿一切割线形成一系列烧蚀区及晶体受损内部位置。

14. 如权利要求1所述的方法,其中聚焦该激光光束是使用一透镜执行,该透镜具有一小于约0.5的数值孔径。

15. 如权利要求1所述的方法,其中聚焦该激光光束能提供一延伸景深(depth of field),以于进入该工件内至少约100微米的一深度造成晶体损伤。

16. 如权利要求1所述的方法,其中该激光光束是以进入该工件内的一延伸景深而聚焦于该工件的该表面上。

17. 如权利要求1所述的方法,其中该激光光束是以进一步进入该工件内的一延伸景深而聚焦于该工件的该表面下方的一焦点偏移(focus offset)处。

18. 如权利要求 1 所述的方法,其中聚焦该激光光束会引入球面像差 (spherical aberration),该等球面像差具有一纵向球面像差范围,该纵向球面像差范围足以将该景深延伸进入该工件中。

19. 如权利要求 18 所述的方法,其中该激光光束是聚焦于该工件的该表面下方的一焦点偏移处。

20. 如权利要求 18 所述的方法,其中聚焦该激光光束包含:过度充填具有一衍射受限区域的一透镜的一孔径,而使该等球面像差被引入该衍射受限区域之外。

21. 如权利要求 20 所述的方法,其中该透镜被足够地过度充填,以提供将该景深延伸进入该工件中的该纵向球面像差范围、同时限制一横向球面像差范围。

22. 如权利要求 18 所述的方法,其中该激光光束于该工件的该表面上的一光点大小具有一小于约 20 微米的宽度。

23. 如权利要求 1 所述的方法,其中该激光光束于该工件的该表面处以处于一约 10 微米至 20 微米范围的一尺寸提供一激光区,且该工件的该表面处的该烧蚀区小于约 10 微米。

24. 如权利要求 1 所述的方法,更包含:

使该激光光束成形,以于该基板的该表面上形成一可变的细长聚焦光束光点。

25. 一种用于激光切割一工件的方法,该方法包含:

产生一激光光束,该激光光束具有足以于该工件的材料内提供非线性多光子吸收的一波长、一脉波持续时间、及一脉波能量;

使用一透镜聚焦该激光光束,该透镜引入具有一纵向球面像差范围的球面像差,该纵向球面像差范围足以于该工件内提供一延伸景深 (depth of field ;DOF),而使该激光光束的单个脉波于该工件内产生一延伸深度虚饰 (extended depth affectation);以及

借助该激光光束扫描该工件,而使一系列脉波沿该工件于一系列位置处产生一系列延伸深度虚饰。

26. 如权利要求 25 所述的方法,其中该激光光束包含数个超短脉波,该等超短脉波具有一小于 1 纳秒的脉波持续时间。

27. 如权利要求 25 所述的方法,其中该透镜包含一衍射受限区域,且聚焦该激光光束包含过度充填该透镜的一孔径,而使该等球面像差被引入该衍射受限区域之外。

28. 如权利要求 27 所述的方法,其中该透镜被足够地过度充填,以提供将该景深延伸进入该工件中的该纵向球面像差范围、同时限制一横向球面像差范围。

29. 如权利要求 27 所述的方法,其中该激光光束于该工件的该表面上的一光点大小具有一小于约 20 微米的宽度。

30. 如权利要求 29 所述的方法,其中该延伸虚饰延伸至该工件中至少 100 微米。

31. 如权利要求 25 所述的方法,其中该透镜具有一小于约 0.5 的数值孔径。

32. 如权利要求 25 所述的方法,其中该激光光束是以一近轴焦点 (paraxial focal point) 而被聚焦于该工件的该表面上。

33. 如权利要求 25 所述的方法,其中该激光光束是以一近轴焦点而被聚焦于该工件的该表面下方的一焦点偏移处。

34. 如权利要求 25 所述的方法,其中该激光光束被聚焦成使一能量密度足以于一烧蚀区处烧蚀该工件的一表面。

35. 如权利要求 34 所述的方法,其中该激光光束以处于一约 10 微米至 20 微米范围的一尺寸于该工件的该表面处提供一激光区,且该工件的该表面处的该烧蚀区小于约 10 微米。

36. 如权利要求 25 所述的方法,其中该材料为蓝宝石,且该波长是处于紫外光 (UV) 范围内。

37. 如权利要求 25 所述的方法,其中该材料为硅,且该波长是处于红外光 (IR) 范围内。

38. 如权利要求 25 所述的方法,其中该材料为玻璃,且该波长是处于可见范围内。

39. 如权利要求 25 所述的方法,其中借助该激光光束扫描该工件,而使一系列单个脉波于各自位置处产生该系列延伸深度虚饰。

40. 一种激光加工系统,包含:

一激光器,用于产生一激光光束,该激光光束具有足以于该工件的材料内提供非线性多光子吸收的一波长、一脉波持续时间、及一脉波能量;

一光束递送系统,用于聚焦该激光光束并朝一工件引导该激光光束,该光束递送系统包含一扩束器 (beam expander) 及一透镜,该扩束器用于扩张该激光光束,该透镜用于引入具有一纵向球面像差范围的球面像差,该纵向球面像差范围足以于该工件内提供一延伸景深 (DOF),而使该激光光束的单个脉波于该工件内产生一延伸虚饰;以及

一工件定位台,用于移动该工件以于该工件上扫描该激光光束,而使一系列脉波于该工件内形成一系列延伸虚饰。

41. 如权利要求 40 所述的激光加工系统,其中该激光器用以产生具有数个超短脉波的一激光光束,该等超短脉波具有一小于 1 纳秒的脉波持续时间。

42. 如权利要求 40 所述的激光加工系统,其中该透镜具有一小于约 0.5 的数值孔径。

43. 如权利要求 40 所述的激光加工系统,其中该透镜包含一三元透镜,该三元透镜具有一至少约 25 毫米的焦距以及一小于约 0.5 的数值孔径。

## 使一工件中具有延伸深度虚饰的激光切割

### [0001] 【相关申请案的交叉申请】

[0002] 本申请案是于 2010 年 12 月 7 日提出申请的美国专利申请案第 12/962,050 号的一部分接续申请案,该美国专利申请案主张于 2009 年 12 月 7 日提出申请的美国临时专利申请案第 61/267,190 号的权利,该美国专利申请案及该美国临时专利申请案以引用方式并入本文中。

### 技术领域

[0003] 本发明是关于激光加工,更具体而言,是关于使一工件中具有延伸深度虚饰的激光切割。

### 背景技术

[0004] 激光通常用于切割或划刻一工件(例如一基板或半导体晶圆)。例如在半导体制造中,一激光常常用于切割一半导体晶圆的工艺,而使由该半导体晶圆制成的各个器件(或晶粒)彼此分离。晶圆上的各晶粒是借助隔道(street)而被隔开,且可使用激光沿隔道切割该晶圆。可使用一激光完全切断晶圆,或不完全切断晶圆并借助在穿孔点处断开晶圆而将晶圆的剩余部分分开。例如当制造发光二极管(light emitting diode;LED)时,晶圆上的各个晶粒对应于 LED。

[0005] 随着半导体器件的尺寸日益减小,可在单个晶圆上制成的此等器件的数目增多。每个晶圆的器件密度增大会增大产量并相似地降低制造每一器件的成本。为增大此密度,期望尽可能紧密地制造此等器件。半导体晶圆上的器件定位越紧密,各器件间的隔道便越窄。因此,激光光束被精确地定位于更窄的隔道内且应在对器件造成最小损伤或不造成损伤的条件下切割晶圆。

[0006] 根据一种技术,一激光可被聚焦至基板或晶圆的一表面上以烧蚀材料并达成一局部切割。激光切割可对一半导体晶圆执行,例如,对晶圆的上面形成有器件的正面执行(被称为正面切割(front-side scribing;FSS)),或对晶圆的背面执行(被称为背面切割(back-side scribing;BSS))。尽管该等技术有效,然而其亦具有缺点。该二工艺常常会导致大量碎屑产生且常常需要进行涂覆及冲洗工艺以除去或减少碎屑。背面切割常常使用一更宽的切口及更宽的热影响区(heat affected zone;HAZ),此会导致发热,进而可造成外延损伤及光损失。

[0007] 根据另一种常常被称为隐形切割(stealth scribing)的技术,可借助一高数值孔径(numerical aperture;NA)透镜(例如,NA>0.8)将一激光聚焦于一晶圆内部,以于材料内引起多光子吸收。高 NA 透镜提供一非常短的工作距离及非常小的景深(depth of field;DOF)。此种工艺亦具有若干缺点。具体而言,隐形切割可能会限制晶圆的厚度,可能难以在翘曲的晶圆上执行,且在较厚晶圆上执行时可能要慢得多,乃因可能需要若干遍才能达成分离。隐形切割亦在晶圆的表面上提供一相对较大的光点大小(spot size),此可妨碍在各晶粒间的狭窄隔道中执行正面切割或要求每一晶圆上具有更少的晶粒。因无法在晶圆内部

获得所期望的焦点,隐形切割技术亦在加工具有 DBR 或金属反射膜的晶圆时存在问题。隐形切割亦需要昂贵的透镜及严格的焦点公差,且隐形切割设备通常具有更高的装备成本及年度维护成本。

### 附图说明

[0008] 在结合附图阅读以下详细说明之后,将更佳地理解本发明的该等及其他特征及优点,在附图中:

[0009] 图 1 为根据本发明实施例使一工件中具有延伸深度虚饰的一激光切割系统的一示意图;

[0010] 图 2 为根据本发明实施例的一聚焦透镜的一示意图,该聚焦透镜用于聚焦一激光光束且使球面像差位于一衍射受限区域之外;

[0011] 图 3A 为一透镜提供无球面像差的一近轴聚焦激光光束的一示意图;

[0012] 图 3B 为一透镜被过度充填而超出一衍射受限区域以提供一具有像差的聚焦激光光束的一示意图,该激光光束具有足以将景深延伸进入一工件中的一纵向球面像差范围以及一受限的横向球面像差范围;

[0013] 图 3C 为一透镜被过度充填而进一步超出一衍射受限区域以提供一具有像差的聚焦激光光束的一示意图,该激光光束具有一更大纵向及横向球面像差范围;

[0014] 图 4A 至图 4C 为一具有像差的聚焦激光光束相对于一工件的一表面位于不同焦点偏移位置的示意图;

[0015] 图 5A 至图 5D 为一聚焦激光光束以不同焦点偏移量及不同球面像差量自一具有 60 毫米 (mm) 焦距的三元透镜进入 250 微米厚的蓝宝石的示意图;

[0016] 图 6A 至图 6D 为一聚焦激光光束以不同焦点偏移量及不同球面像差量自一具有 54 毫米焦距的三元透镜进入 250 微米厚的蓝宝石的示意图;

[0017] 图 7A 至图 7D 为一聚焦激光光束以不同焦点偏移量及不同球面像差量自一具有 25 毫米焦距的三元透镜进入 120 微米厚的蓝宝石的示意图;

[0018] 图 8 为显示一蓝宝石基板的一表面的一照片,该表面具有一系列烧蚀孔,该等烧蚀孔是借助根据本发明一实施例的一种方法而形成;

[0019] 图 9 为显示一蓝宝石基板的一侧的一照片,该侧具有自烧蚀孔延伸的一系列延伸虚饰,该等延伸虚饰是借助根据本发明一实施例的一种方法形成;

[0020] 图 10A 及图 10B 为根据本发明一实施例具有一工件定位台的一激光加工系统的示意图,该工件定位台分别位于一对齐位置及激光加工位置;

[0021] 图 11 为根据本发明一实施例的背面切割的一侧视示意图,其中一激光光束与一半导体晶圆上的隔道进行相对侧对齐;

[0022] 图 12A 及图 12B 为根据本发明一实施例的双面切割的侧视示意图,其中一激光光束与一较浅的背面划痕进行相对侧对齐;以及

[0023] 图 13 为根据本发明另一实施例的一用于以延伸深度虚饰及一细长光束光点进行切割的激光切割系统的一示意图。

### 具体实施方式

[0024] 根据本发明的实施例,用于激光切割的系统及方法借助以下方式在一基板或工件中提供延伸深度虚饰:聚焦一激光光束,而使该光束利用一波导自聚焦效应而进入该工件中,以沿一延伸至该工件中的通道造成内部晶体损伤。可利用不同的光学效应(例如,工件材料中的多光子吸收、工件材料的透明度、以及聚焦激光光束的光学像差)来促进波导自聚焦效应。该激光光束可具有一波长、脉波持续时间、及脉波能量,例如以至少部分地透射过材料并在材料中提供多光子吸收。亦可使用一具有像差的聚焦激光光束来提供足以将有效景深(depth of field;DOF)延伸进入工件中的一纵向球面像差范围。

[0025] 产生延伸深度虚饰的激光切割可用于切割工件(例如基板或半导体晶圆),例如以使晶粒分离。根据一种应用,本文所述的激光加工系统及方法可用于加工半导体晶圆,以分离用于形成发光二极管(light emitting diode;LED)的晶粒。产生延伸深度虚饰的激光切割可用于对不同厚度的半导体晶圆进行背面切割及/或正面切割。可借助选择能使得至少部分地透射过材料并在材料中产生多光子吸收的激光参数及光学参数而以延伸深度虚饰切割不同材料。具体而言,本文所述的方法可用于切割蓝宝石、硅、玻璃、及其他能够使一激光光束至少部分地穿透材料并同时被充分吸收以造成晶体损伤的基板或材料。产生延伸深度虚饰的激光切割亦可较佳地用于例如具有不透明涂层的工件上,乃因一初始烧蚀可切透该不透明涂层。

[0026] 本文所用术语“加工”是指任何使用激光能量改变一工件的动作,且“切割”是指借助在工件上扫描激光而加工一工件的动作。加工可包含但不限于工件表面的材料烧蚀及/或工件内部的材料晶体损伤。切割可包含一系列烧蚀或晶体受损区域而无需连续的一行烧蚀或晶体损伤。本文所用术语“延伸深度虚饰”是指由于激光能量以及工件内光子与材料的交互作用而沿一在工件内部延伸的通道发生的晶体损伤。

[0027] 产生延伸深度虚饰的激光切割可烧蚀材料的一外部并随后将光束聚焦于内部以引起内部破裂或晶体损伤(即,延伸深度虚饰),进而导致或促进切割或切块(dicing),例如以使晶圆晶粒分离。初始烧蚀可引起折射率改变,此会促进使激光进入切口的波导或自聚焦效应,以在材料晶体结构内产生一汇聚,进而有效地将高电场能聚焦至一点而使此点处发生晶体损伤。可将激光参数最佳化以提供一清洁的烧蚀(即,具有最少碎屑),进而促进自聚焦效应,以下将更详细地阐述。在其他实施例中,产生延伸深度虚饰的激光切割亦可在不烧蚀工件表面的情况下执行。

[0028] 可借助调整激光参数(例如,波长、脉波持续时间、及脉波能量)以使得至少部分地透射过材料并提供足以打乱材料晶体结构的多光子吸收而达成延伸深度虚饰。具体而言,激光光束可具有一能够透射过工件材料的波长(例如,红外光波长、绿色波长、或紫外光波长),并可包含一具有超短脉波(例如,小于1纳秒)或短脉波(例如,小于200纳秒)的一脉波激光光束,进而提供能够引起多光子吸收的一峰值功率。因此,借助使用一实质上透明的靶材及一高能量超快激光,辐照度(irradiance)与延伸景深(DOF)的平衡便容许与靶材进行深体积范围的交互作用。

[0029] 激光波长可处于红外光(IR)范围内并可为一次至五次谐波,更具体而言,可处于例如约1.04微米至1.06微米(IR)、514纳米至532纳米(绿光)、342纳米至355纳米(UV)、或261纳米至266纳米(UV)范围内。在蓝宝石中,例如可借助处于UV范围内(例如,266纳米、343纳米、或355纳米)的一激光波长而达成借助延伸深度虚饰进行的切割。在硅中,

可借助处于 IR 范围内例如长于 1.2 微米（此时硅开始透射）、更尤其是约 1.5 微米的一激光波长而达成借助延伸深度虚饰进行的切割。可使用处于可见范围内的激光波长以延伸深度虚饰来切割玻璃。如本文所揭露，借助延伸深度虚饰进行的切割亦可借助使用能够透射过以下材料的激光波长而用于具有带隙 (band gap) 的半导体及介电材料，该等材料包含但不限于 GaAs 及其他 III-V 族材料、SiC、Si、GaN、AlN、及金刚石。

[0030] 将一较长波长（例如，相较于现有的切割技术）与一较短脉波一同使用会使激光能量尤其在高度透明材料（例如蓝宝石）中具有更佳的耦合效率及吸收。脉波持续时间可短于热扩散时间，进而引起材料的快速蒸发（即，以一直接固-气相变 (solid to vapor transition) 达成蒸发性烧蚀）。为使某些材料的熔融最小化，例如脉波持续时间可为亚皮秒。当加工蓝宝石时，例如可使用小于约 10 皮秒 (ps) 的超短脉波持续时间。在其他实施例中，亦可使用大于 1 纳秒或甚至大于 100 纳秒的较长脉波持续时间（例如，在硅中可使用 150 纳秒至 200 纳秒的脉波）。

[0031] 例如可使用超快激光器来产生皮秒或毫微微秒 (femtosecond) 的超短脉波。在某些实施例中，超快激光器可能产生具有不同波长（例如，约 0.35 微米、0.5 微米、1 微米、1.3 微米、1.5 微米、2 微米或其间的任何增量）及不同超短脉波持续时间（例如，小于约 10 皮秒）的原始激光光束。一超快激光器的一实例包含可购自 TRUMPF 的 TruMicro 系列 5000 皮秒激光器其中之一。激光亦可以处于约 10 千赫 (kHz) 至 1000 千赫的一范围内的重复率提供处于约 1 微焦耳 ( $\mu\text{J}$ ) 至 1000 微焦耳的一范围内的一脉波能量。

[0032] 产生延伸深度虚饰的激光切割通常使用工作距离较长的光学器件（例如，相较于用于隐形切割的高 NA 透镜而使用一较低 NA 透镜）。具有较长工作距离及较低 NA 的光学器件可包含例如 NA 小于 0.8、更尤其是小于 0.5 或小于 0.4 的聚焦透镜。产生延伸深度虚饰的激光切割亦可引入球面像差，该球面像差具有足以将有效 DOF 延伸进入一工件中的一纵向球面像差范围。相较于具有较高 NA 的透镜，具有较长工作距离及较低 NA 的透镜通常具有一更长的 DOF。使用一引入球面像差的透镜可进一步延伸有效 DOF，而使波导自聚焦效应在工件中增加一延伸区上的能量。

[0033] 如以下将更详细地阐述，可借助调整激光参数（例如，波长、脉波持续时间、及脉波能量）、加工参数（例如，脉波间距）、及光学参数（例如，工作 NA 及焦深）来控制延伸深度虚饰的深度。

[0034] 参见图 1，用于借助延伸深度虚饰进行激光切割的一激光加工系统 100 的一实施例可用于切割一工件 102（例如一半导体晶圆的一蓝宝石基板）。激光加工系统 100 的此实施例包含一激光器 110 及一光束递送系统 120，激光器 110 用于产生一原始激光光束，光束递送系统 120 用于聚焦该激光光束并将该聚焦激光光束引导至工件 102 的一表面 104。光束递送系统 120 包含一扩束器 (beam expander) 122 及一聚焦透镜 124，扩束器 122 用于扩张来自激光器 110 的一原始激光光束 112 以形成一扩张光束 114，聚焦透镜 124 用于聚焦扩张光束 114 以提供一聚焦激光光束 116。光束递送系统 120 亦可包含一自动聚焦系统（图未示出），然而可并非必须如此。

[0035] 在所示实施例中，激光加工系统 100 对扩张激光光束 114 进行聚焦，而使聚焦激光光束 116 的一能量密度足以在一烧蚀区 106 中烧蚀工件 102 的表面 104，并使该光束利用波导自聚焦效应而穿透烧蚀区 106 并进入工件 102 中。因此，波导自聚焦效应将聚焦激光光



束 116 自烧蚀区 106 引导至在工件 102 内延伸的一内部位置 108, 在内部位置 108 处, 由于震动、电场及 / 或压力而造成晶体损伤。聚焦激光光束 116 的每一脉波分别在工件 102 上形成一光束光点并利用波导自聚焦效应而延伸至工件 102 内, 以在一延伸深度上提供高能量并在内部位置 108 处沿通道造成晶体损伤。尽管在每一位置处仅使用单个脉波的聚焦激光光束 116 便可足够, 然而亦可使用一多脉波工艺, 其中后续脉波提供更深或更强的材料破裂。

[0036] 可在工件 102 上扫描聚焦激光光束 116, 而借助一系列激光脉波而沿一切割线形成一系列烧蚀区 106 及晶体受损内部位置 108 (即, 延伸虚饰)。例如可单遍或多遍地扫描激光光束 116, 以达成各种深度及间距。例如, 工件 102 可相对于聚焦激光光束 116 移动, 以形成该系列烧蚀区 106 及晶体受损内部位置 108。烧蚀区 106 及晶体受损内部位置 108 可在此后有利于工件 102 沿切割线的分离。尽管所示实施例显示在一具有 LED 晶粒的半导体晶圆上进行正面切割, 然而激光加工系统 100 亦可用于背面切割或双面切割, 以下将更详细地阐述。

[0037] 根据材料类型而定, 激光器 110 可能够射出波长能够至少部分地穿透工件 102 的材料的短脉波 (例如, 小于约 200 纳秒) 或超短脉波 (例如, 小于约 1 纳秒)。根据借助延伸深度虚饰切割蓝宝石的一实例, 激光器 110 为一超快激光器, 其射出一原始激光光束, 该原始激光光束的波长处于 UV 范围内 (例如, 约 266 纳米、343 纳米、或 355 纳米) 且具有小于约 10 皮秒的一脉波持续时间及约 60 微焦耳的一脉波能量。此种激光提供一能够穿透蓝宝石的波长及一足够高的峰值功率以损伤蓝宝石内的内部位置处的晶体。可以一重复率操作激光器 110, 进而以一特定扫描速度达成一期望的切割。根据一加工蓝宝石的实例, 可以一约 33.3 千赫的重复率及处于一约 70 毫米 / 秒 (mm/s) 至 90 毫米 / 秒 (mm/s) 范围的一扫描速度操作具有约 60 微焦耳的一脉波能量的 UV 激光。在另一实例中, 重复率可为约 100 千赫, 且一扫描速度约为 100 毫米 / 秒至 300 毫米 / 秒。在其他实施例中, 可以一减小的脉波能量 (例如约 40 微焦耳) 及一较高重复率 (例如, 约 200 千赫) 使用一较低功率激光 (例如, 约 8 瓦 (W))。

[0038] 扩束器 122 可为一  $2\times$  扩束望远镜 (expanding telescope), 且聚焦透镜 124 可为一 60 毫米的三元透镜以用于以一约 400 微米 ( $\mu\text{m}$ ) 的焦深 (focal depth) 及一约 3 毫米的所期望切口宽度 (kerf width) 达成一有效聚焦性能 (focusability)。扩束器 122 可为例如一扩束望远镜, 该扩束望远镜包含一未经涂覆的负透镜 (例如,  $f = -100$  毫米) 与一正透镜 (例如,  $f = 200$  毫米) 的组合。聚焦透镜 124 可具有一小于 0.8、更尤其是小于 0.5 或小于 0.4 的 NA, 此会提供一较长的工作距离及一较长的 DOF。聚焦透镜 124 亦可引入球面像差以提供一具有像差的聚焦激光光束 116, 具有像差的聚焦激光光束 116 具有一纵向球面像差范围, 该纵向球面像差范围足以将有效 DOF 进一步延伸进入工件 102 中, 以下将更详细地阐述。

[0039] 聚焦激光光束与超短脉波或短脉波的组合会使增强的聚焦性能 (具有较低的 NA 光学器件) 在工件 102 的内部位置 108 处造成晶体损伤、同时使工件表面 104 上的被移除材料 (例如, 碎屑) 的量最小化。激光器 110 及光束递送系统 120 可配置有激光加工参数 (例如, 波长、脉波持续时间、脉波能量、峰值功率、重复率、扫描速度、及光束长度及宽度), 该等激光加工参数能够达成针对欲切割材料的表面烧蚀及自聚焦效应以及达成期望的切

口宽度。

[0040] 如图 2 更详细地显示,可借助利用一聚焦透镜 224 的透镜像差延伸一具有像差的聚焦激光光束 216 的有效 DOF,来促进延伸深度虚饰。透镜像差为光线穿过一透镜后相对于一理想路径的偏差,该理想路径是借助近轴光学器件来预测。具体而言,球面像差是由光线穿过一透镜后相对于透镜光轴更远的偏差产生。

[0041] 在此实施例中,聚焦透镜 224 的一部分通常包含一衍射受限区域 223,衍射受限区域 223 会提供实质上无像差(即,衍射对效能的影响超过像差对效能的影响)的衍射受限效能。在衍射受限区域 223 内照射透镜 224 的一激光光束 214 的光线 213 聚焦于近轴焦平面 226 处,进而在聚焦激光光束 216 的此区域内产生一具有高解析度的聚焦光束光点。在衍射受限区域 223 外,聚焦透镜 224 将球面像差引入至具有像差的聚焦激光光束 216 中。在衍射受限区域 223 外照射透镜 224 的光线 215 偏离近轴焦点并被聚焦(即,越过透镜 224 的光轴)于近轴焦平面 226 后方的延伸焦点处。因此,球面像差会有效地使具有像差的聚焦激光光束 216 的焦点自近轴焦点连续地延伸。

[0042] 具有像差的光线 215 的焦点沿透镜 224 的光轴延伸超过近轴焦平面 226 的距离为纵向球面像差(longitudinal spherical aberration;LSA)范围,且具有像差的光线 215 沿近轴焦平面 226 延伸的距离为横向球面像差(transverse spherical aberration;TSA)范围。LSA 范围使聚焦激光光束 216 的有效 DOF 228 延伸超过近轴焦平面 226 并有利于在一工件中产生延伸深度虚饰,以下将更详细地阐述。

[0043] 因此,本发明的各实施例以与现有知识相反的方式利用一聚焦透镜的瑕疵。在用于激光切割的透镜系统中,常常期望避免或校正透镜像差来提供一聚焦良好的光束光点。然而,根据本发明的实施例,则有意地利用透镜像差形成能够延伸 DOF 的一光学效应,以借助延伸深度虚饰而切割一工件。此外,如本文所述,用于借助延伸深度虚饰进行激光切割的透镜可较隐形切割所需的高 NA 透镜更廉价。

[0044] 聚焦透镜 224 可包含多元透镜(例如二元透镜或三元透镜),该多元透镜在衍射受限区域 223 内而非在透镜 224 的整个孔径上校正像差。聚焦透镜 224 亦可提供一相对长的工作距离以及小于约 0.8、更尤其是小于约 0.5 或小于约 0.4 的低 NA。不同的基板材料及厚度可具有用于借助延伸深度虚饰进行切割的一不同最佳参数组合,包含波长、脉波持续时间、工作 NA、纵向球面像差范围、及散焦。因此,透镜的准确光学参数将取决于欲被切割的材料类型。

[0045] 如图 3A 至图 3C 所示,聚焦透镜 224 可被设计及/或照射以引入一足以延伸有效 DOF 的纵向球面像差范围、同时限制横向球面像差范围。举例而言,透镜 224 的工作或运作 NA(或 F#)可经选择以获得将在一工件 202 内提供期望的延伸虚饰的纵向球面像差范围、同时限制横向球面像差范围,而使工件 202 的一表面 204 上的聚焦光束光点大小不会过大。工件表面 204 上的期望光束光点大小取决于具体应用,且对于切割半导体晶圆及晶粒分离而言可小于约 20 微米。

[0046] 在此实施例中,可借助以下方式调整透镜 224 的工作或运作 NA:使用一扩束器 222 扩张一原始激光光束 212,以产生一扩张激光光束 214,扩张激光光束 214 照射透镜 224 的通光孔径(clear aperture)的一可变部分。当扩张激光光束 214 仅在衍射受限区域 223 内照射透镜 224 的孔径时,如图 3A 所示,聚焦光束 216 仅包含聚焦至近轴焦平面的近轴光

线,该近轴焦平面显示于工件 202 的表面 204 上。此不会提供使有效 DOF 延伸进入工件 202 内的一纵向球面像差范围来提供延伸深度虚饰。

[0047] 当扩张激光光束 214 刚刚超出衍射受限区域 223 而照射透镜 224 的孔径时,如图 3B 所示,聚焦光束 216 亦包含具有像差的光线,该等光线以能够将 DOF 228 延伸进入工件 202 中的一纵向球面像差范围聚焦于近轴焦平面之外。因当透镜于近处工作而衍射不十分受限时纵向球面像差占优势,故聚焦光束 216 的具有像差的光线的横向球面像差范围可受限制。因此,纵向球面像差范围会延伸 DOF 并同时仍保持横向光点大小处于控制之中。

[0048] 当扩张激光光束 214 照射透镜 224 的整个孔径时,如图 3C 所示,聚焦光束 216 包含具有像差的光线,该等具有像差的光线进一步延伸横向球面像差范围并进一步增大工件 202 的表面 204 上的光束光点大小。在此实例中,增大的横向球面像差范围可使纵向球面像差所提供的延伸 DOF 效应失效。

[0049] 因此,可以一工作 NA 照射透镜 224,而使纵向球面像差范围足以将 DOF 延伸进入工件内,以产生期望的延伸深度虚饰、并同时限制横向球面像差范围。可于透镜 224 处逐渐增大光束大小(例如,增大工作 NA),直至找到在工件 202 的材料内部产生延伸深度虚饰的最佳大小为止。限制横向球面相差范围能够使工件表面上的光束光点大小变小、激光区变小、且烧蚀区变小,同时仍能够达成一足以延伸有效 DOF 的纵向球面像差范围。在一实施例中,可充分地限制横向球面像差范围,以产生小于约 20 微米、更尤其是 10 微米至 20 微米的一激光区以及小于约 10 微米、更尤其是约 5 微米的一烧蚀区。

[0050] 对于一给定材料、波长、及脉波持续时间,最佳的 NA 及脉波能量将取决于材料厚度。对于薄的材料(例如,90 微米至 110 微米的蓝宝石),可借助一约 0.15 至 0.2 的工作 NA 以及处于一约 10 微焦耳至约 50 微焦耳范围的脉波能量达成一期望的延伸深度虚饰深度。在使用一具有 25 毫米焦距及一 18 毫米通光孔径的三元透镜时,例如可借助照射该 25 毫米三元透镜的 18 毫米孔径的约 8 毫米来达成具有一纵向球面像差范围的一适宜光点大小,该纵向球面像差范围足以在一 90 微米至 110 微米的材料厚度中达成延伸深度虚饰。为借助一皮秒 355 纳米激光来加工薄的蓝宝石,例如可以约 0.16NA 操作一具有 25 毫米焦距的三元透镜,以达成一期望深度的延伸深度虚饰。在此实例中,根据一 Zemax 分析,纵向像差系数约为 0.0133,且横向像差系数约为 0.0024。

[0051] 对于较厚的材料(例如,250 微米至 500 微米的蓝宝石),可借助一约 0.05 至 0.1 的较低工作 NA 以及处于一约 30 微焦耳至 70 微焦耳范围的一较高脉波能量来达成与该较厚材料相匹配的一期望延伸深度虚饰。为借助一皮秒 355 纳米激光来加工厚的蓝宝石,可以约 0.07NA 操作一具有 60 毫米焦距的三元透镜,以达成一期望深度的延伸深度虚饰。脉波能量可根据脉波间距而更高或更低,以达成一期望的深度。举例而言,一较低的脉波能量可与一较短的脉波间距一起使用,而一较长的脉波间距可需要一较高的脉波能量。

[0052] 亦可使用其他技术来减小或消除过大的横向球面像差。举例而言,可将一光圈放置于透镜 224 前方,以限制进入透镜 224 中的最大光束直径 214,借此限制最大 NA。

[0053] 如上所述,可利用不同的激光参数及光学器件借助各种深度的延伸深度虚饰来切割不同的材料。在蓝宝石中,例如一具有 25 毫米焦距的三元透镜与一超快 UV 激光一起可达成超过 100 微米深的延伸深度虚饰。在硅中,借助一更长的透镜以及具有更高功率的 IR 激光,可达成一更深的延伸深度虚饰(例如,300 微米)。

[0054] 如图 4A 至图 4C 所示,亦可选择或调整一具有像差的聚焦激光光束 216 相对于一工件 202 的一表面 204 的一焦点偏移量,例如以改变进入工件 202 内的一延伸 DOF 228 及/或工件 202 的表面 204 上的光束光点大小及能量密度。可将焦点偏移量选择成例如使进入工件 202 中的延伸深度虚饰的一深度最佳化并使表面损伤或碎屑最小化。因此可借助调整焦点偏移量以及其他激光及光学参数(例如激光脉波能量)而对延伸深度虚饰进行可调整的深度控制。例如可借助调整聚焦透镜 224 相对于工件 202 的一位置来调整焦点偏移量。

[0055] 图 4A 显示具有像差的聚焦激光光束 216 以近轴光线聚焦于工件 202 的一表面 204 上而未发生焦点偏移,即,近轴焦平面 226 与表面 204 实质上重合。图 4B 显示具有像差的聚焦激光光束 216 以近轴射线聚焦于工件 202 的表面 204 下方且表面 204 与近轴聚焦表面 226 之间具有一焦点偏移量  $\delta_f$ ,借此将有效 DOF 228 更向工件 202 中延伸。图 4C 显示具有像差的聚焦激光光束 216 以近轴光线聚焦于工件 202 的表面 204 下方且表面 204 与近轴焦平面 226 之间具有一更大的焦点偏移量  $\delta_f$ ,借此将有效 DOF 更进一步向工件 202 中延伸。

[0056] 最佳焦点偏移量可根据基板材料(例如,切割波长处的折射率)及材料厚度而异,并根据透镜运作 NA 及透镜运作条件下的所得像差系数而异。焦点偏移量亦可根据工艺类型(例如,正面型或背面型)而定。对于以 10 皮秒 355 纳米激光在 0.16NA 下使用一 25 毫米三元透镜切割一 90 微米至 110 微米的蓝宝石基板的情形,例如对于背面切割而言的最佳焦点偏移量可处于 20 微米至 40 微米范围内。

[0057] 图 5A-图 5D 显示在 250 微米厚的蓝宝石中使用一 60 毫米焦距的三元透镜聚焦的一激光光束的光线几何分布,其具有不同球面像差量以及以 20 微米为增量的不同焦点偏移量。图 6A-图 6D 显示在 250 微米厚的蓝宝石中使用一 54 毫米焦距的二元透镜聚焦的一激光光束的光线几何分布,其具有不同球面像差量以及以 15 微米为增量的不同焦点偏移量。图 7A-图 7D 显示在 120 微米厚的蓝宝石中使用一 25 毫米焦距的三元透镜聚焦的一激光光束的光线几何分布,其具有不同球面像差量以及以 10 微米为增量的不同焦点偏移量。

[0058] 一理想透镜将提供图 5A、图 6A、及图 7A 所示的近轴光线几何分布。根据本文所述各实施例,具有一衍射受限区域的一实际透镜会引入如图 5B-图 5D、图 6B-图 6D、及图 7B-图 7D 所示的球面像差。图 5B、图 6B、及图 7B 例示由一均匀激光光束在整个孔径处照射一实际透镜而提供的具有像差的光线的光线几何分布。图 5C、图 6C、及图 7C 例示由一高斯(Gaussian)激光光束在整个孔径处照射一实际透镜而提供的具有像差的光线的光线几何分布。图 5D、图 6D、及图 7D 例示由一高斯激光光束在部分孔径处照射一实际透镜而提供的具有像差的光线的光线几何分布。

[0059] 在所实例中,当孔径过大(图 5B、图 5C、图 6B、图 6C、图 7B、及图 7C)时,横向球面像差范围过大,且具有像差的聚焦光束会被放大。在部分孔径(图 5D、图 6D、及图 7D)下,具有像差的聚焦光束与近轴或理想透镜(图 5A、图 6A、及图 7A)相比具有一相对紧凑的焦点且具有一延伸的有效 DOF。因此,根据一个实例,对于特定基板材料及厚度而言,所期望的透镜与 NA 组合会产生几乎衍射受限的横向光点大小,但同时产生足以延伸有效 DOF 以与材料厚度相匹配的一纵向球面像差范围。

[0060] 尽管借助具有 25 毫米、54 毫米、及 60 毫米的焦距的透镜来描述特定实例,然而亦可使用具有其他焦距的透镜来提供所期望的 NA 及球面像差。举例而言,焦距可小于 25 毫米或大于 60 毫米。

[0061] 图 8 及图 9 显示借助一系列激光脉波切割一蓝宝石基板 802 且使蓝宝石基板 802 中具有延伸深度虚饰的照片。每一激光脉波形成一供激光进入蓝宝石基板 802 的烧蚀区或孔 806, 其中烧蚀孔 806 周围环绕有一激光区 805, 且一延伸深度虚饰通道 808 自烧蚀孔 806 延伸至基板 802 的材料中。因此, 基板 802 可沿由该一系列烧蚀孔 806 及延伸深度虚饰通道 808 形成的切割线而被分开。

[0062] 在所实施例中, 烧蚀孔 806 约为 5 微米宽并具有一 20 微米的激光区 805 且间距为约 15 微米, 且延伸深度虚饰通道 808 延伸至 150 微米厚的蓝宝石基板 802 中约 100 微米。因此, 根据本文所述的实施例, 借助延伸深度虚饰进行的切割容许切割部位小于 20 微米。因此, 在切割具有 LED 的半导体晶圆时, 切割部位越小 (例如与隐形切割相比), 则所容许的隔道越窄 (例如, 小于 25 微米) 且晶粒间距越小, 而不会造成显著损坏及碎屑。即使当切割部位间的间距较大时, 延伸深度虚饰通道 808 的深度亦能够改良沿切割线的断开。延伸深度虚饰通道 808 的深度亦使得能够切割较厚的基板而无需例如如隐形切割所需般使激光在基板内不同焦点处进行多遍扫描。例如, 与使用交叠脉波相比, 切割部位的间距容许借助对每一切割部位使用单个脉波而更快地切割。

[0063] 可借助不同的激光参数 (例如, 借助控制脉波间距及深度) 来达成其他切割部位尺寸、深度、及间距。尽管可对每一部位使用单个脉波, 然而亦可例如借助多遍地扫描激光来对每一切割部位使用多个脉波以控制深度。尽管所示实施例显示约 15 微米的一间距及约 100 微米的一深度, 然而可将间距控制成自相互交叠至 20 微米或以上, 并可深度控制成小于 100 微米至大于 200 微米。

[0064] 在其他变型中, 可针对一脉波序列中的不同脉波使用不同深度。一脉波序列例如可包含一系列频率较高的较浅脉波 (例如, 由 5 微米至 10 微米间隔开的 10 微米至 20 微米深度) 以及一间隔频率较低 (例如, 每 15 微米至 50 微米) 的较深脉波 (例如, 50 微米至 100 微米)。换言之, 一系列较深脉波可以较长距离间隔开, 并使较浅脉波位于较深脉波之间以增强断开特性。因此, 借助改良断开特性及断开良率, 产生延伸深度虚饰及可控深度及间距的切割在生产 LED 时可尤其有利, 乃因来自 LED 的光传播效应更能够到达蓝宝石侧壁的底部或中间。于其中较少关注光损失的情形中 (例如在硅晶圆中) 可使用更紧密且更深的间距。

[0065] 参照图 10A 及图 10B, 根据另一实施例, 一激光加工系统 1000 包含一气浮 (air bearing) X-Y 定位台 1030, 以用于支撑及定位一工件 1002, 进而借助延伸深度虚饰进行切割。激光加工系统 1000 包括安装于一侧 (例如, 顶侧或前侧) 上的一激光光束递送系统 1020 以及安装于一相对侧 (例如, 底侧或后侧) 上的一相对侧照相机 1040。定位台 1030 的至少一工件支撑部 1034 被配置成在使相对侧照相机 1040 面向工件 1002 的一对齐位置 (图 10A) 与使激光光束递送系统 1020 面向工件 1002 的一加工位置 (图 10B) 之间滑动。激光光束递送系统 1020 高于支撑部 1034 上的一工件支撑表面的一平面 1001, 且相对侧照相机 1040 低于支撑部 1034 上的工件支撑表面的平面 1001。美国专利申请第 12/962, 050 号中更详细地描述了气浮 X-Y 定位台的一实例, 该美国专利申请以引用方式全文并入本文中。

[0066] 在对齐位置上, 相对侧照相机 1040 对工件 1002 的面向照相机 1040 的一侧 1005 上的一特征进行成像并产生代表该特征的影像资料。由相对侧照相机 1040 所产生的影像资

料可用于定位工件 1002,而使例如使用熟习此项技术者所现有的机器视觉系统及对齐技术而使激光光束递送系统 1020 相对于在工件 1002 的相对侧 1005 上所成像的特征对齐。在加工位置上,激光光束递送系统 1020 朝工件 1002 的面向光束递送系统 1020 的一侧 1003 引导一聚焦激光光束 1016(例如,具有一延伸 DOF 且具有像差的聚焦激光光束)并使用如上所述借助延伸深度虚饰进行的切割来加工工件 1002。

[0067] 激光加工系统 1000 亦包含一运动控制系统 1050,以用于在工件 1002 的对齐及/或加工期间控制定位台 1030 的运动。运动控制系统 1050 可根据由相对侧照相机 1040 所产生的影像资料而产生对齐资料,并因应该对齐资料而控制定位台 1030 的运动。

[0068] 激光光束递送系统 1020 可包含透镜及其他光学元件,以用于例如如上所述修改并聚焦由一激光器所产生的一原始激光光束。激光器(图未示出)例如可被定位于激光加工系统 1000 的一平台上,且由激光器所产生的原始激光光束可被引导至激光光束递送系统 1020 中。

[0069] 激光加工系统 1000 亦可包含一正面照相机 1044,以用于在正面上对工件 1002 进行成像。正面照相机 1044 可被安装至光束递送系统 1020 或其他适宜位置。正面照相机 1044 可类似地耦合至运动控制系统 1050,而使运动控制系统 1050 可使用自正面照相机 1044 产生的影像资料来提供对齐。因此,激光加工系统 1000 可容许自与激光光束相对的背面或自正面或与激光光束相同的一侧对齐。相对侧照相机 1040 及正面照相机 1044 可为熟习此项技术者现有的用于在激光加工应用中对齐半导体晶圆的高解析度照相机。

[0070] 因此,激光加工系统 1000 可用于将光束递送系统 1020 及聚焦激光光束 1016 与一半导体晶圆上各晶粒间的隔道对齐。当适当对齐时,X-Y 定位台 1030 可移动工件 1002 以在工件 1002 上扫描激光光束,而使一系列脉波例如沿一晶圆上各晶粒间的一隔道或沿晶圆的与隔道相对的一侧切割工件 1002。X-Y 定位台 1030 可随后移动工件以转位至另一隔道进行切割。可视需要重复对齐过程,以在其他隔道内或沿其他隔道进行切割。

[0071] 参照图 11,可使用相对侧对齐来利于一半导体晶圆 1101 的背面切割,进而分开复数个半导体晶粒(例如,LED)。半导体晶圆 1101 可包含一基板 1102(例如,蓝宝石)及形成于由隔道 1107 所隔开的区段 1109 中的一或多层半导体材料(例如,GaN)。半导体晶圆 1101 的具有区段 1109 的一侧被称为正面 1103,且相对侧被称为背面 1105。基板 1102 亦可在与区段 1109 相对的背面 1105 上具有一或多个层 1104(例如,金属)。

[0072] 一激光加工系统(例如,上述激光加工系统)可用于沿晶粒区段 1109 间的隔道 1107 切割半导体晶圆 1101,以将半导体晶圆 1101 分成各个晶粒。因此,半导体晶圆 1101 被对齐成使一激光光束 1116 在半导体晶圆 1101 上射于隔道 1107 之间,进而对准晶粒区段 1109 与激光光束 1116。如上所述,可借助形成具有延伸深度虚饰 1108 的一系列烧蚀区 1106 来切割半导体晶圆 1101。形成延伸深度虚饰及烧蚀的切割在层 1104 为不透明时尤其有利,乃因烧蚀能够移除层 1104 并使激光光束 1116 能够进入基板 1102。在另一变型中,可使用一激光的一第一遍扫描来烧蚀及移除层 1104,且一激光的一第二遍扫描会提供延伸深度虚饰。

[0073] 当对半导体晶圆 1101 的背面 1105 进行激光加工时,半导体晶圆 1101 可被定位成使晶圆 1101 的正面 1103 上的晶粒区段 1109 面向相对侧照相机 1140。因此,相对侧照相机 1140 可用于观察各区段 1109 间的隔道 1107,并使隔道 1107 相对于激光光束 1116 的一

位置对齐。利用相对侧照相机 1140 的对齐在背面层 1104 为不透明（例如，金属）且妨碍自加工侧进行对齐时尤其有利。为提供此种对齐，晶圆 1101 沿 Y 轴相对于激光光束递送系统（图未示出）被定位成使由激光光束 1116 在晶圆 1101 的背面 1105 上形成的切割线位于正面 1103 的隔道 1107 的宽度内。

[0074] 参见图 12A 及图 12B, 可使用相对侧对齐来利于双面切割。一般而言, 双面切割涉及在一工件的两个面上形成相对浅的切割线, 且其中一条切割线相对于其中另一条切割线实质上对齐。形成浅的切割线能够最小化或避免由较深的切割线可能造成的损伤, 同时在两个面上具有切割线可提高断开良率, 乃因裂纹更可能在切割线之间传播。

[0075] 根据一种实例性方法, 一半导体晶圆 1201 可首先被定位成（例如, 定位于工件支撑件上）使一背面 1205 面向一激光光束递送系统（图未示出）且一正面 1203 面向一相对侧照相机 1240（图 4A）。当晶圆 1201 位于此位置时, 可使用相对侧照相机 1240 对各区段 1209 间的隔道 1207 其中之一进行成像, 而使晶圆 1201 可被定位成使背面 1205 上的激光光束 1216 与正面 1203 上的隔道 1207 对齐。当半导体晶圆 1201 已对齐时, 可使用激光光束 1216 切割背面 1205, 进而形成一相对浅的背面切割线 1206a（例如, 为 20 微米或以下）。

[0076] 随后可将半导体晶圆 1201 翻转, 而使正面 1203 面向激光光束递送系统且背面 1205 面向相对侧照相机 1240（图 4B）。当晶圆 1201 处于此位置时, 可使用相对侧照相机 1240 对背面切割线 1206a 进行成像, 而使晶圆 1201 可被定位成使激光光束 1216 与背面切割线 1206a 对齐。当半导体晶圆 1201 已对齐时, 可使用激光光束 1216 在各区段 1209 间的隔道 1207 中切割正面 1203, 以形成与背面切割线 1206a 实质上对齐的一正面切割线 1206b。例如, 如上所述, 正面切割线 1206b 可包含具有延伸深度虚饰 1208 的一系列烧蚀区。作为由相对侧照相机 1240 提供对齐的附加或替代, 一加工侧照相机 1244 可对隔道 1207 进行成像以使激光光束 1216 与隔道 1207 对齐。

[0077] 随后, 晶圆 1201 可借助以下方式而被分成各个晶粒: 沿切割线 1206a、1206b 的位置断开, 而使裂纹在延伸深度虚饰 1208 的促进下在切割线 1206a 与 1206b 之间传播。当各区段 1209 对应于各 LED 时, 例如, 正面切割线 1206b 会更佳地界定 LED 的边缘, 而使 LED 更均匀并提高断开良率（例如, 相较于仅在一侧上具有浅切割线的情形）。此外, 对 LED 光及电性特性造成不利影响的可能性更小, 乃因切割线 1206a、1206b 的深度不足以造成显著的热损伤。

[0078] 根据另一替代方法, 具有延伸深度虚饰 1208 的正面切割线 1206b 可首先形成于正面 1203 上（例如, 使用加工侧照相机 1244 提供相对于隔道 1207 的对齐）。随后可将晶圆 1201 翻转并可在背面 1205 上形成背面切割线 1206a（例如, 使用相对侧照相机 1240 提供相对于正面切割线 1206b 及 / 或隔道 1207 的对齐）。其中一条切割线可浅于另一条切割线。举例而言, 可首先形成较浅的切割线（例如, 为 20 微米或以下）, 并使第二条较深切割线与该较浅切割线对齐。根据一双面切割方法的另一变型, 背面切割线 1206a 可形成有延伸深度虚饰 1208。

[0079] 参照图 13, 以下将更详细地描述用于借助延伸深度虚饰来切割一工件 1302（例如, 一半导体晶圆的一蓝宝石基板）的一激光加工系统 1300 的另一实施例。激光加工系统 1300 可包含一超快激光器 1310 及一光束递送系统 1320, 超快激光器 1310 能够以一能够至少部分穿透材料的波长射出超短脉波（例如, 小于 1 纳秒）, 光束递送系统 1320 能够提供良

好聚焦的直线光束 1316。光束递送系统 1320 的一个实施例包含：一扩束器 1322，用于扩张来自超快激光器 1310 的原始激光光束 1321，以形成一扩张光束 1323；一光束成形器 1326，用于使扩张光束 1323 成形，以形成一椭圆形光束 1325；以及一聚焦透镜 1324，用于聚焦椭圆形光束 1325，以提供良好聚焦的直线光束 1316，直线光束 1316 在工件 1302 上形成一直线光束光点且在工件 1302 中具有一延伸 DOF。光束递送系统 1320 亦可包含一或多个反射器 1328，以视需要反射及重定向激光光束。

[0080] 如先前所述，延伸深度虚饰切割涉及在工件 1302 的表面 1304 上在烧蚀区 1306 中烧蚀材料以及使用一波导自聚焦效应将激光光束 1316 自烧蚀区 1306 射至在工件 1302 内延伸的一内部位置 1308，在内部位置 1308 处由于震动、电场、及 / 或压力而造成晶体损伤。聚焦透镜 1324 可如上所述引入球面像差，其中一纵向球面像差范围足以将有效 DOF 延伸至工件 1302 中。

[0081] 光束递送系统 1320 例如可包含能够形成一可变细长散光聚焦光束光点 (variable elongated astigmatic focal beam spot) 的光束成形光学器件，如美国专利第 7,388,172 号中所更详细描述，该美国专利以引用方式全文并入本文中。该细长散光聚焦光束光点沿散光轴的一长度大于沿聚焦轴的一宽度。此种光束递送系统能够随光点长度的改变而控制可变散光聚焦光束光点的能量密度。光束成形器 1326 例如可包含一变形透镜 (anamorphic lens) 系统，该变形透镜系统包含一圆柱形平凹透镜 (plano-concave lens) 1326a 及一圆柱形平凸透镜 (plano-convex lens) 1326b，而改变该等透镜间的一距离便能够改变工件上的光束光点长度及能量密度。

[0082] 激光加工系统 1300 可根据具体应用而进一步修改光束，以改良切割线的品质。为在某些应用（例如，背面切割）中避免外延层层离 (delamination) 问题，例如，激光加工系统 1300 可在光束的边缘处提供空间滤波，以清理 (clean up) 光束的窄方向上的点分布函数 (point spread function)。

[0083] 因此，光束成形器 1326 可用于改变工件 1302 上的光束光点的能量密度，以最佳化对于特定材料或切割操作的积分通量 (fluence) 及耦合效率。当对一经 GaN 涂覆的蓝宝石基板执行双面切割时，例如，可将光束光点的能量密度调整得较高以最佳化对裸蓝宝石的切割（即，背面切割），并可将光束光点的能量密度调整得较低以最佳化对经 GaN 涂覆的蓝宝石的切割（即，正面切割）。换言之，可使用针对工件的一侧最佳化的激光光束光点切割该侧，可将工件翻转，并可使用针对另一侧最佳化的激光光束光点切割该另一侧。因此，光束成形器 1326 无需调整激光功率来改变能量密度并最佳化积分通量。

[0084] 在其他实施例中，可使用一非线性光学晶体（例如 BBO 晶体或  $\beta$ -BaB<sub>2</sub>O<sub>4</sub>）作为一光束成形器。BBO 晶体已知与一激光一起用作一倍频晶体 (frequency-doubling crystal)。因 BBO 晶体相较于其他晶体（例如 CLBO）提供更大的走离 (walk-off) 效应，故进入晶体的实质圆形光束可在离开晶体时变成一椭圆形光束。尽管可能在许多应用中不期望产生走离效应，然而 BBO 晶体的此种特性在其中期望具有一椭圆形光束的应用中提供独特的优点。

[0085] 因此，用于借助延伸深度虚饰而进行切割的激光加工系统及方法提供优于现有烧蚀切割及隐形切割技术的若干优点。具体而言，借助延伸深度虚饰进行的切割能够以最小或显著减少的热及碎屑切割一工件（例如，一半导体晶圆的一蓝宝石基板）。借助减少或最小化所产生的热及碎屑，可以低电性损伤及光损失来制造 LED 且无需额外的涂覆及清洁工



艺。借助延伸深度虚饰进行的切割亦有利于切割较厚工件及具有不透明涂层或膜的工件。借助延伸深度虚饰进行的切割亦无需使用现有隐形切割系统中的复杂且昂贵的高 NA 透镜及聚焦系统。如本文所述,借助延伸深度虚饰进行的切割可借助调整处理参数(例如,波长、脉波持续时间、脉波能量)及光学器件而在各种类型的材料中达成。

[0086] 根据一个实施例,一种用于激光切割一工件的方法包含:产生具有复数个超短脉波的一激光光束,该等超短脉波具有小于 1 纳秒的一脉波持续时间;以及聚焦该激光光束,而使一能量密度足以于一烧蚀区处烧蚀该基板的一表面且足以改变该工件中的一折射率,其中该光束利用一波导自聚焦效应穿透该烧蚀区而到达该工件内的一内部位置,以于该内部位置处对该工件的材料造成晶体损伤。

[0087] 根据另一实施例,一种用于激光切割一工件的方法包含:产生一激光光束,该激光光束具有足以于该工件的材料内提供非线性多光子吸收的一波长、一脉波持续时间、及一脉波能量;使用一透镜聚焦该激光光束,该透镜引入具有一纵向球面像差范围的球面像差,该纵向球面像差范围足以于该工件内提供一延伸景深(DOF),而使该激光光束的单个脉波于该工件内产生一延伸深度虚饰;以及借助该激光光束扫描该工件,而使一系列脉波沿该工件于一系列位置处产生一系列延伸深度虚饰。

[0088] 根据再一实施例,一种激光加工系统包含:一激光器,用于产生一激光光束,该激光光束具有足以于该工件的材料内提供非线性多光子吸收的一波长、一脉波持续时间、及一脉波能量;以及一光束递送系统,用于聚焦该激光光束并朝一工件引导该激光光束。该光束递送系统包含一扩束器及一透镜,该扩束器用于扩张该激光光束,该透镜用于引入具有一纵向球面像差范围的球面像差,该纵向球面像差范围足以于该工件内提供一延伸景深(DOF),而使该激光光束的单个脉波于该工件内产生一延伸虚饰。该激光加工系统更包含一工件定位台,以用于移动该工件以于该工件上扫描该激光光束,而使一系列脉波于该工件内形成一系列延伸虚饰。

[0089] 尽管本文已描述了本发明的原理,然而熟习此项技术者应理解,本说明仅以举例方式给出而非作为对本发明范围的一限制。除本文所示及所述实例性实施例之外,其他实施例亦涵盖于本发明范围内。此项技术中的通常知识者所作的润饰及替换均被视为属于本发明的范围内,本发明的范围仅受随附申请专利范围限制。

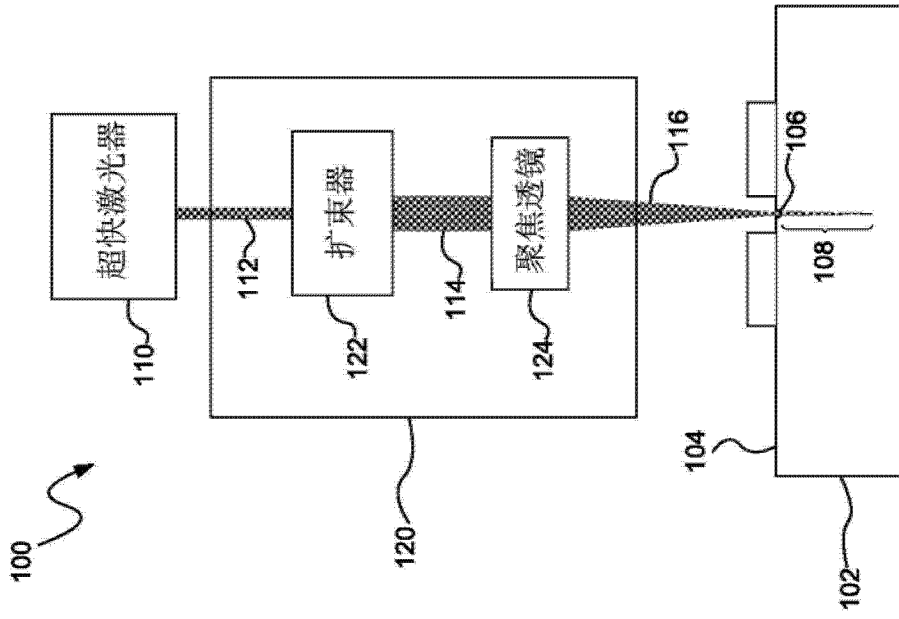


图 1

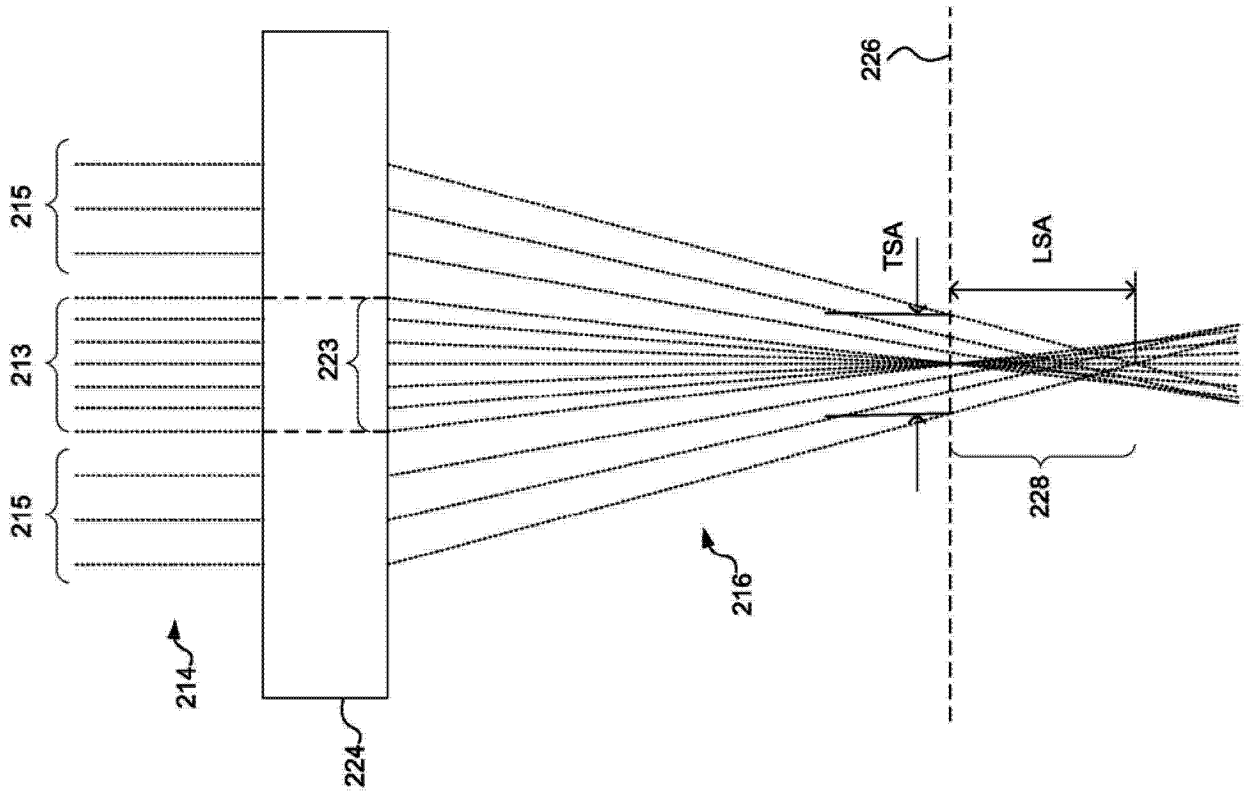


图 2

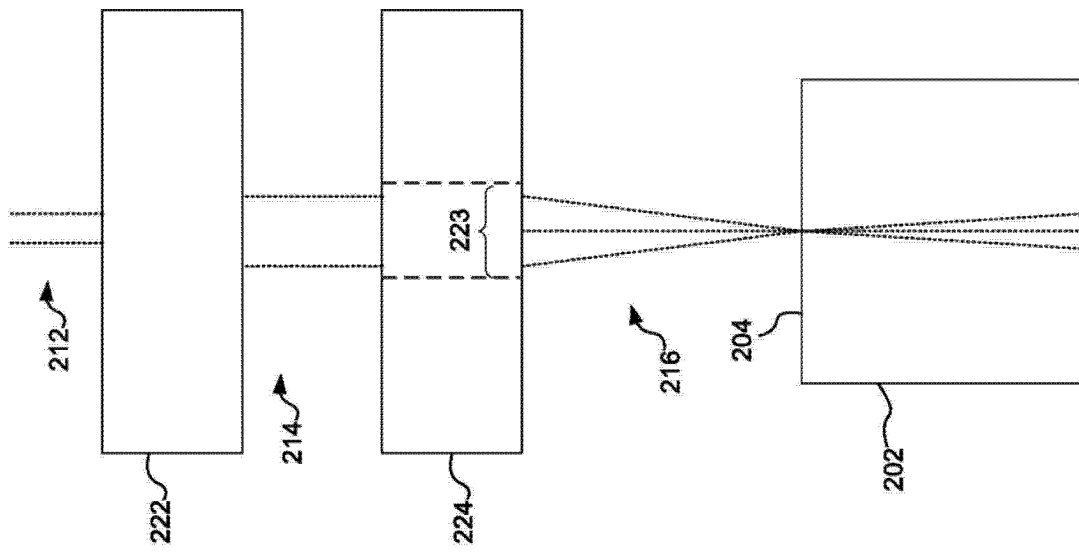


图 3A

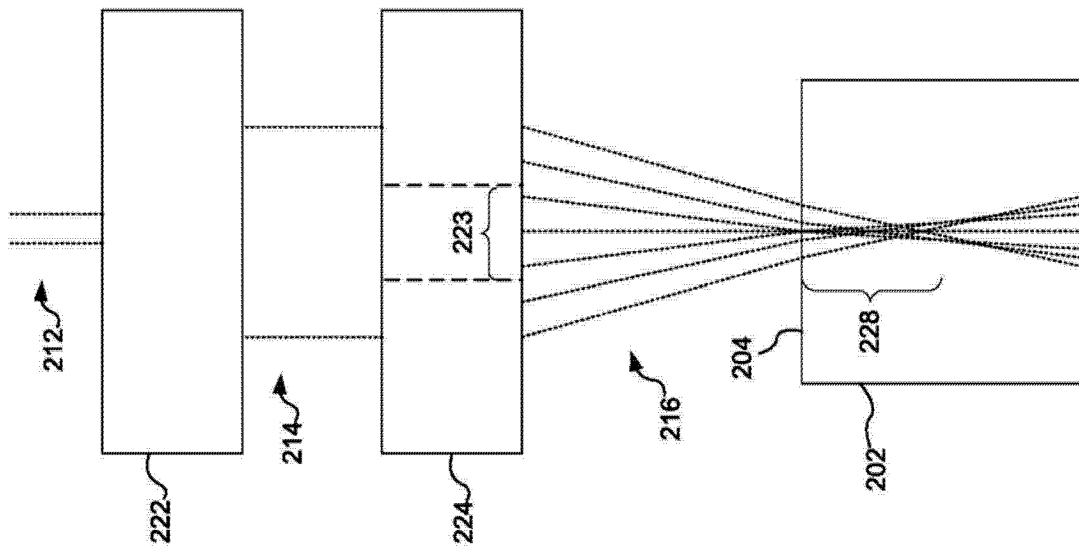


图 3B

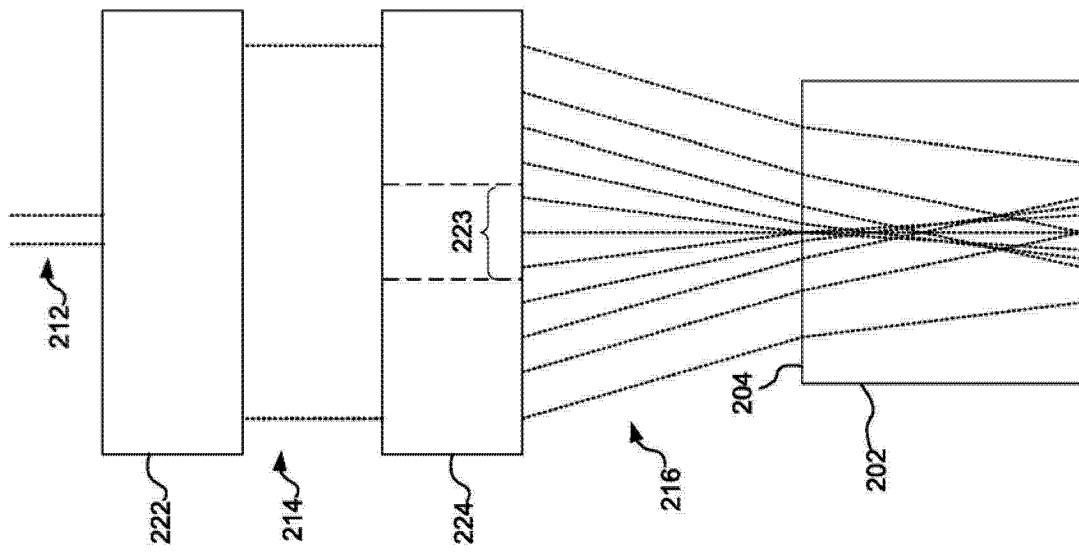


图 3C

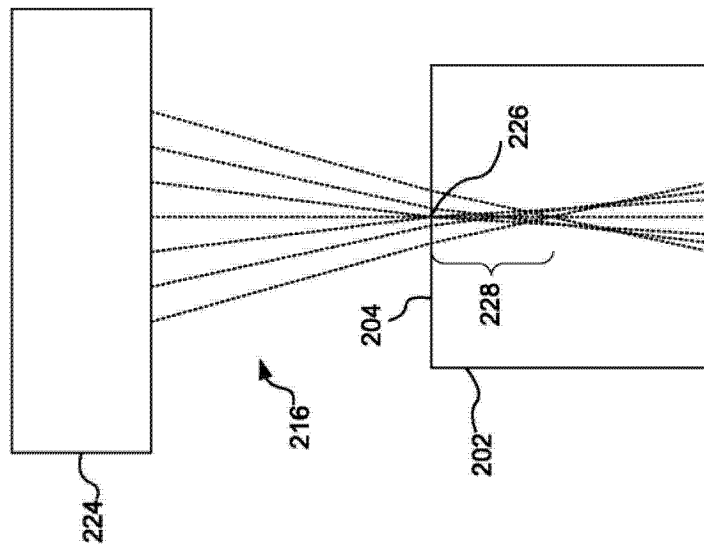


图 4A

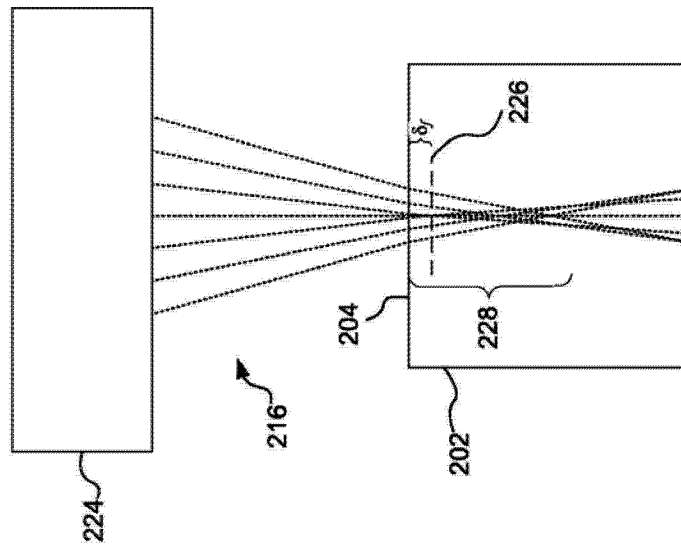


图 4B

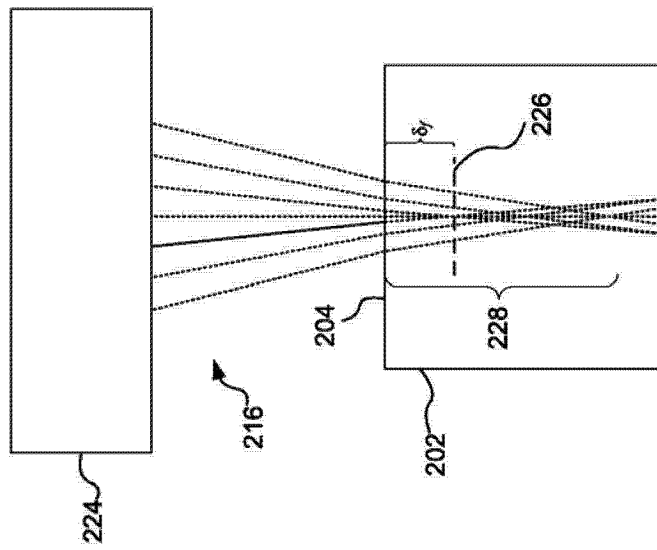


图 4C

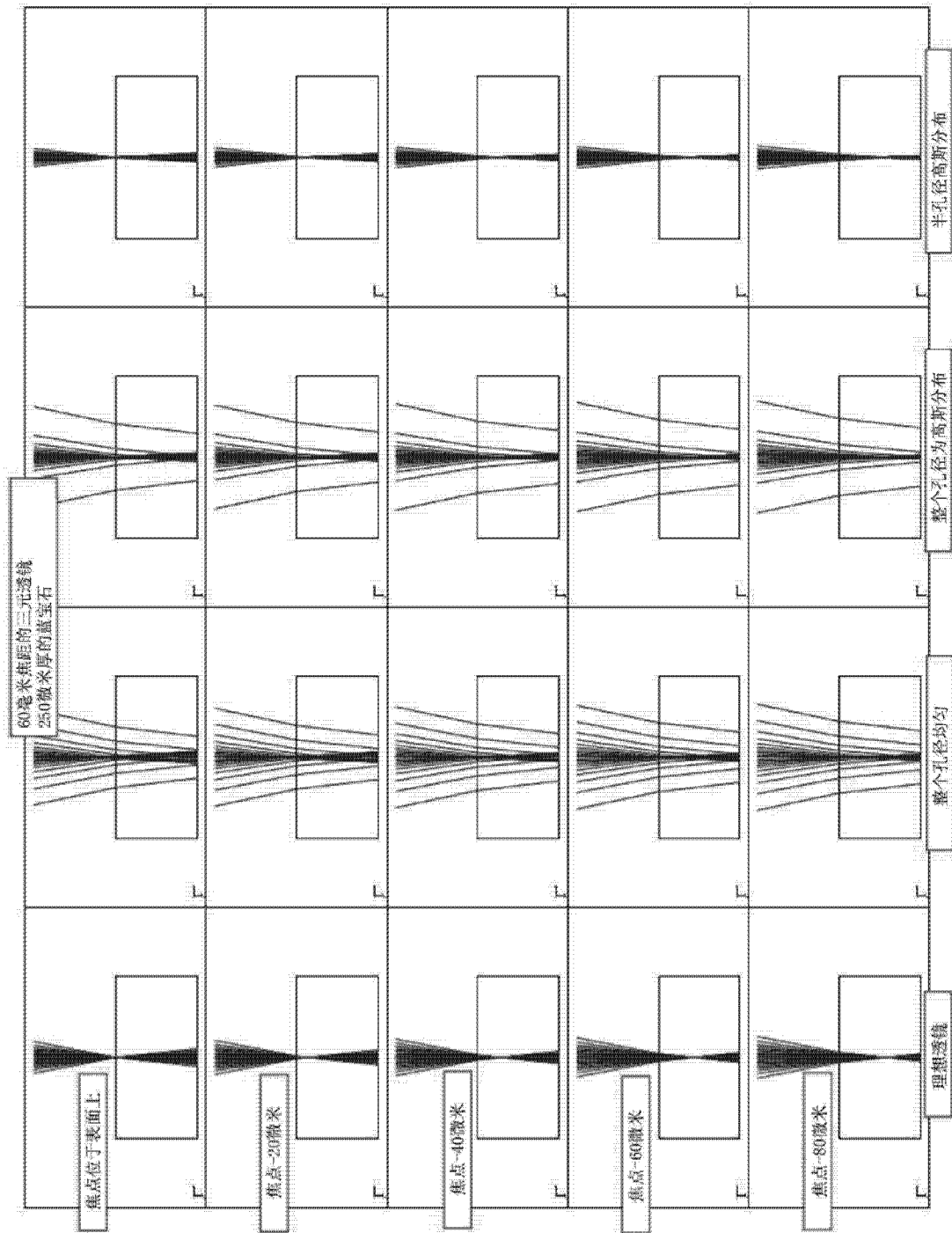


图5D

图5C

图5B

图5A

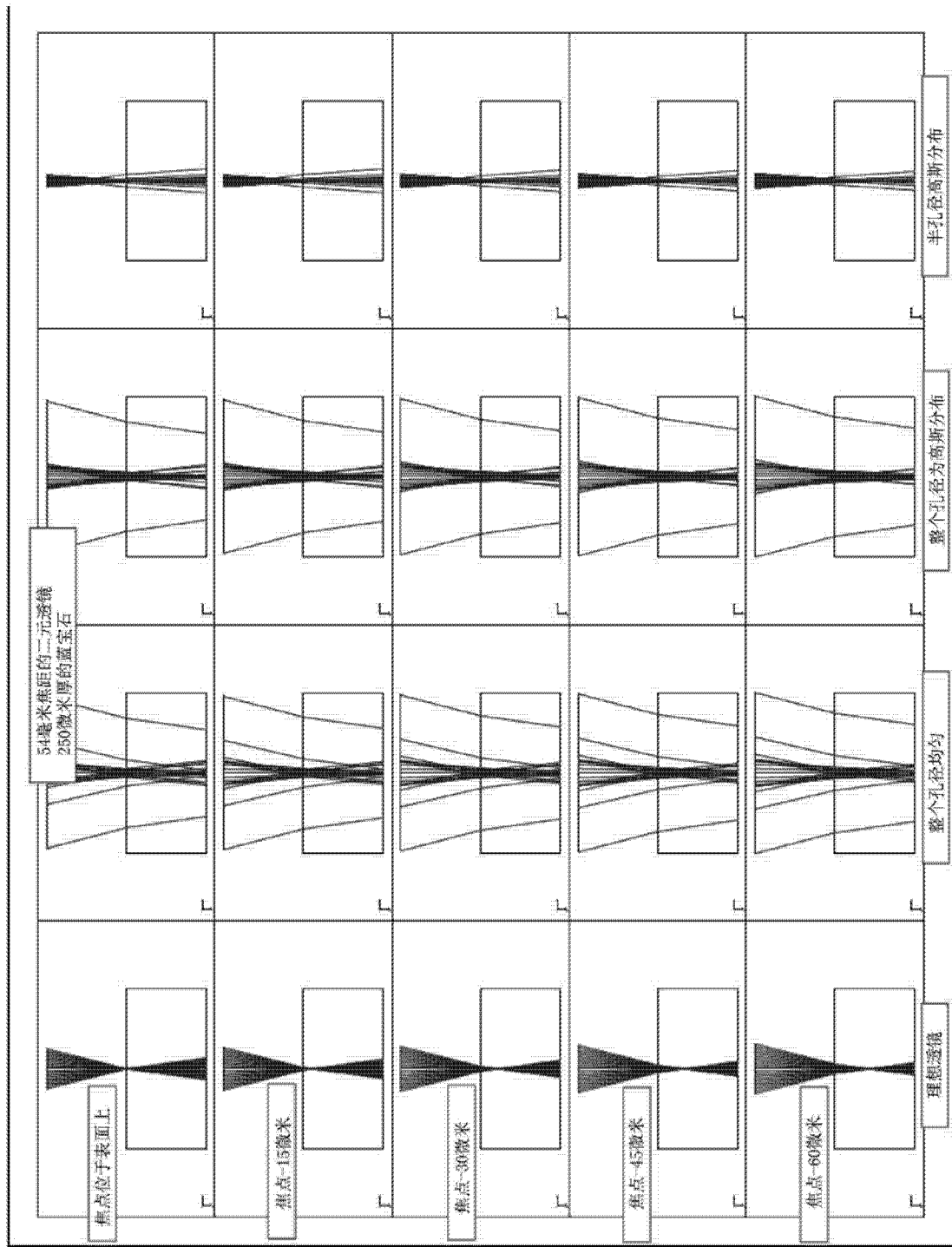


图6D

图6C

图6B

图6A

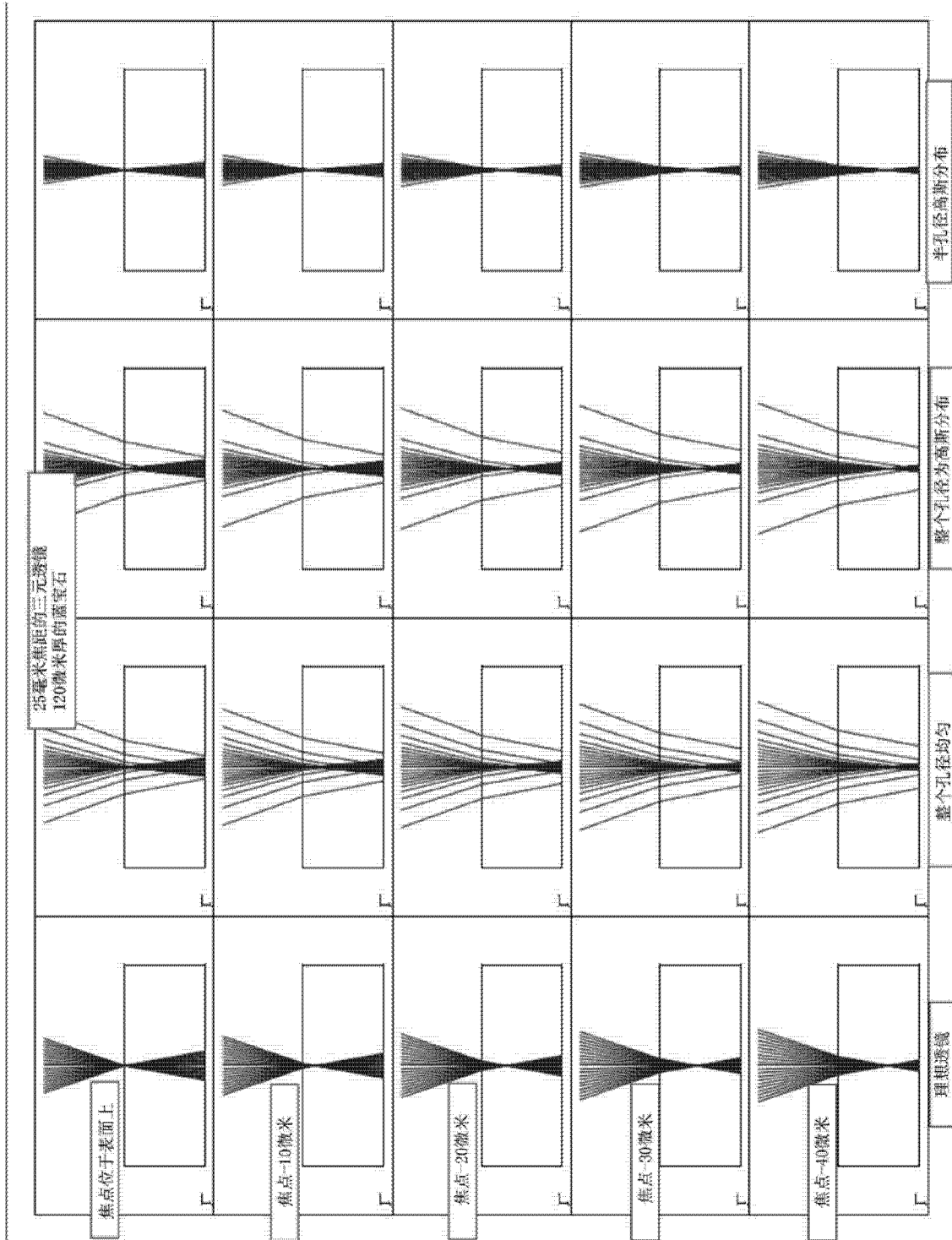


图7D

图7C

图7B

图7A



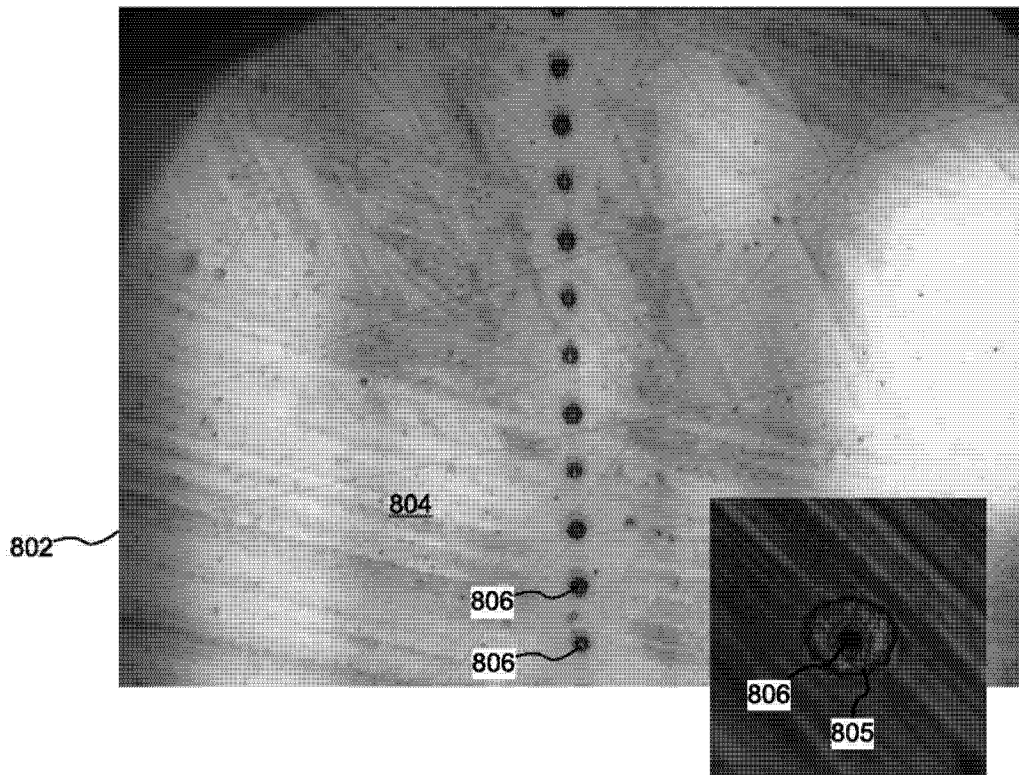


图 8

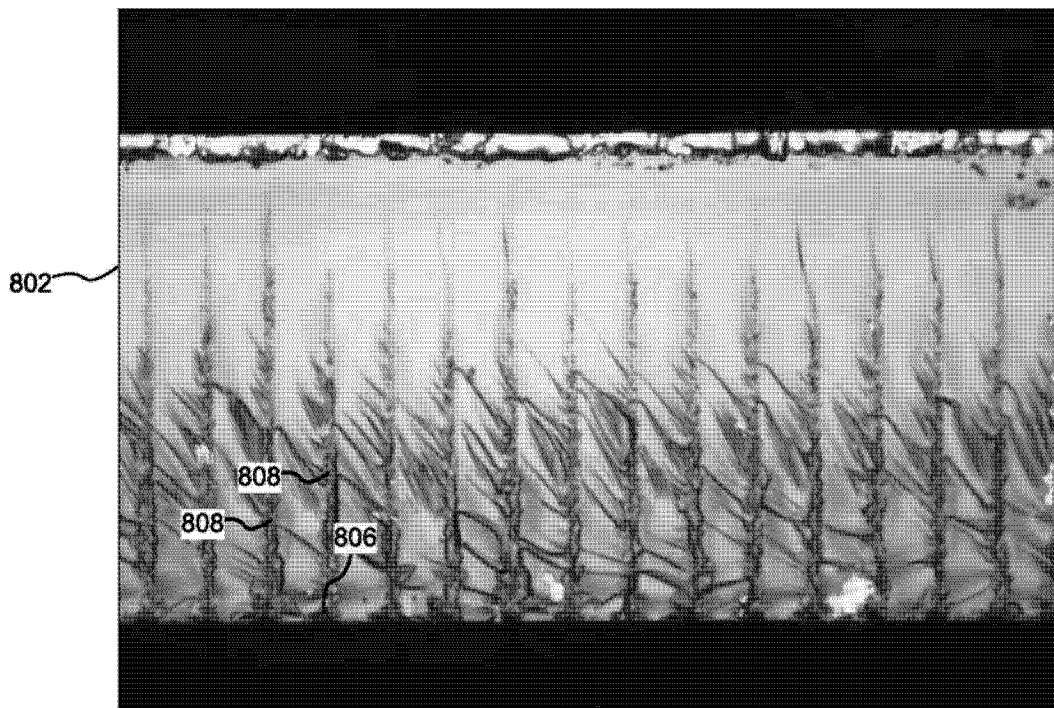


图 9

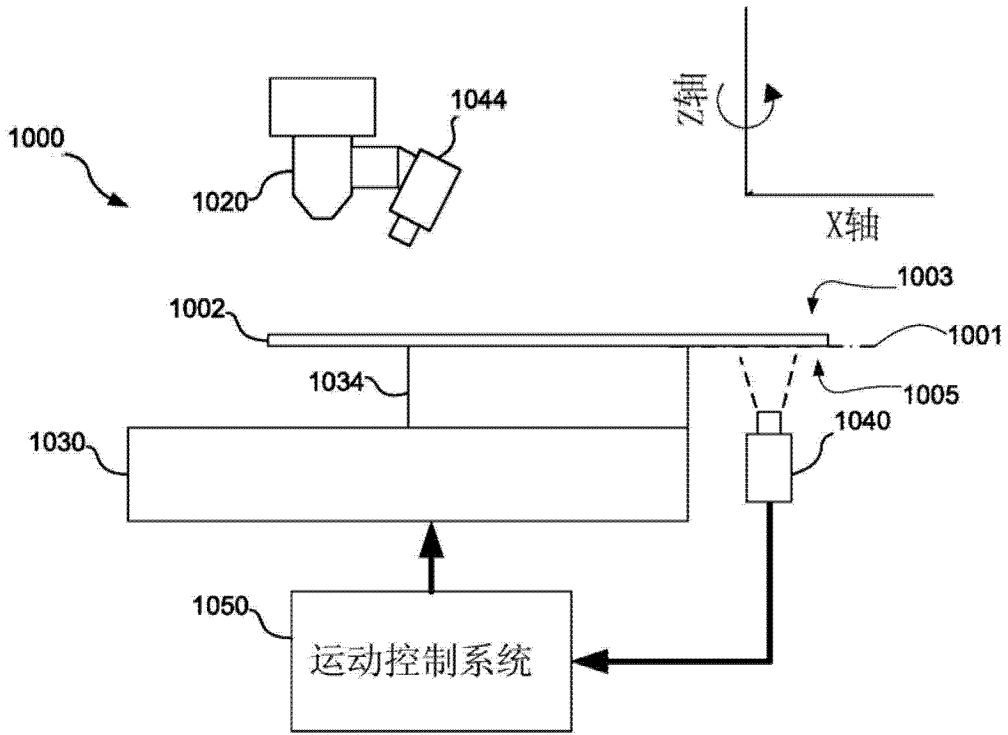


图 10A

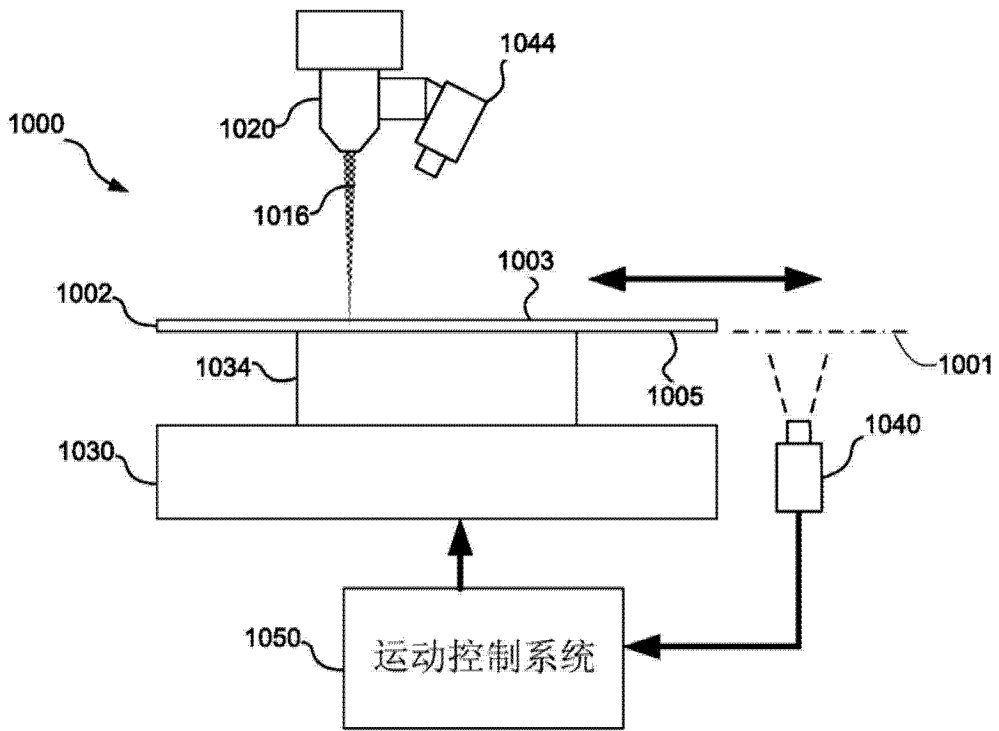


图 10B

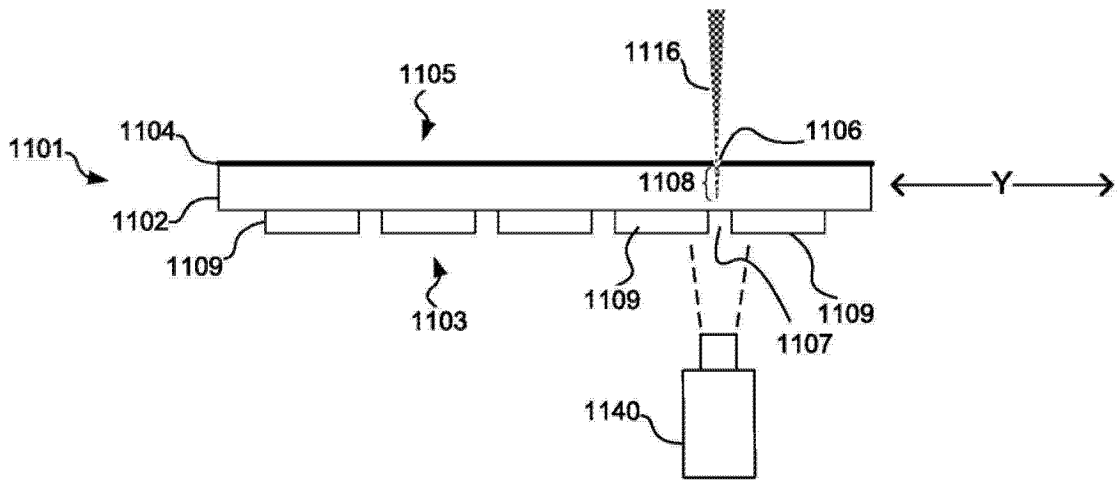


图 11

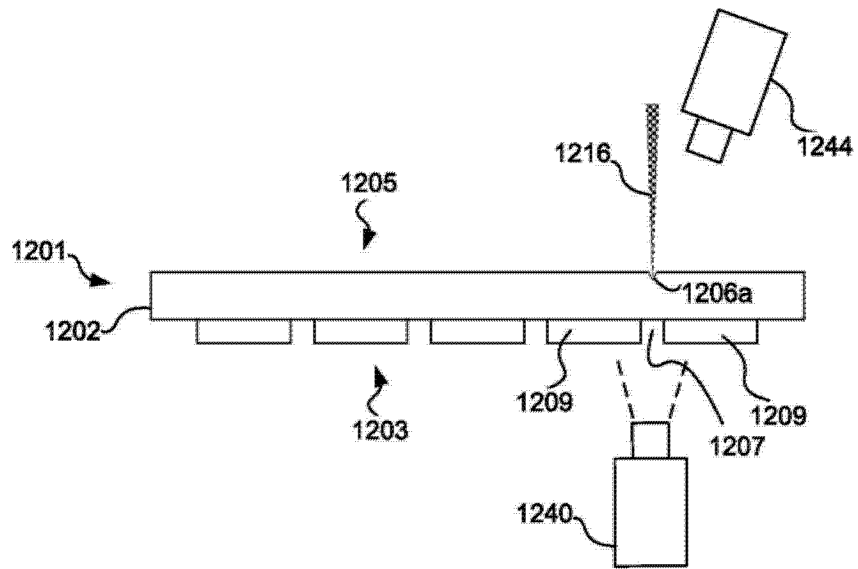


图 12A

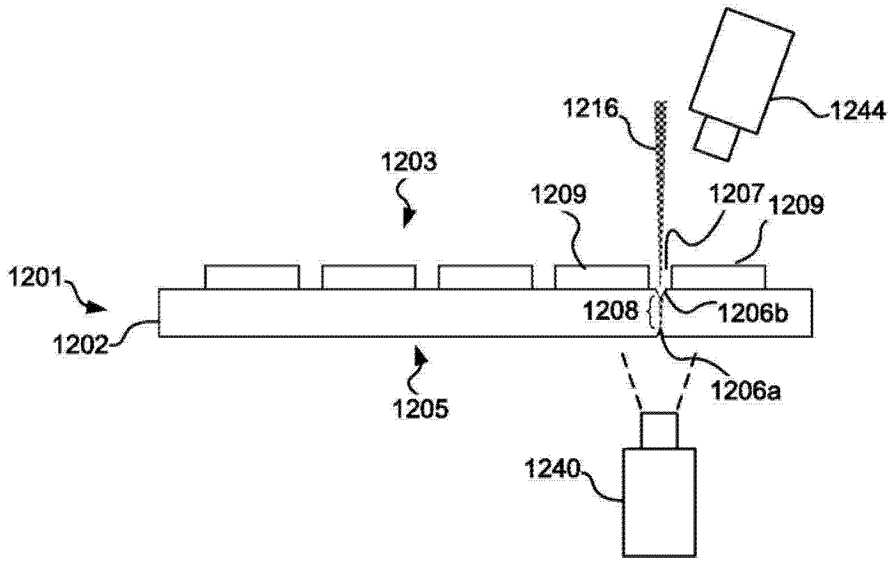


图 12B

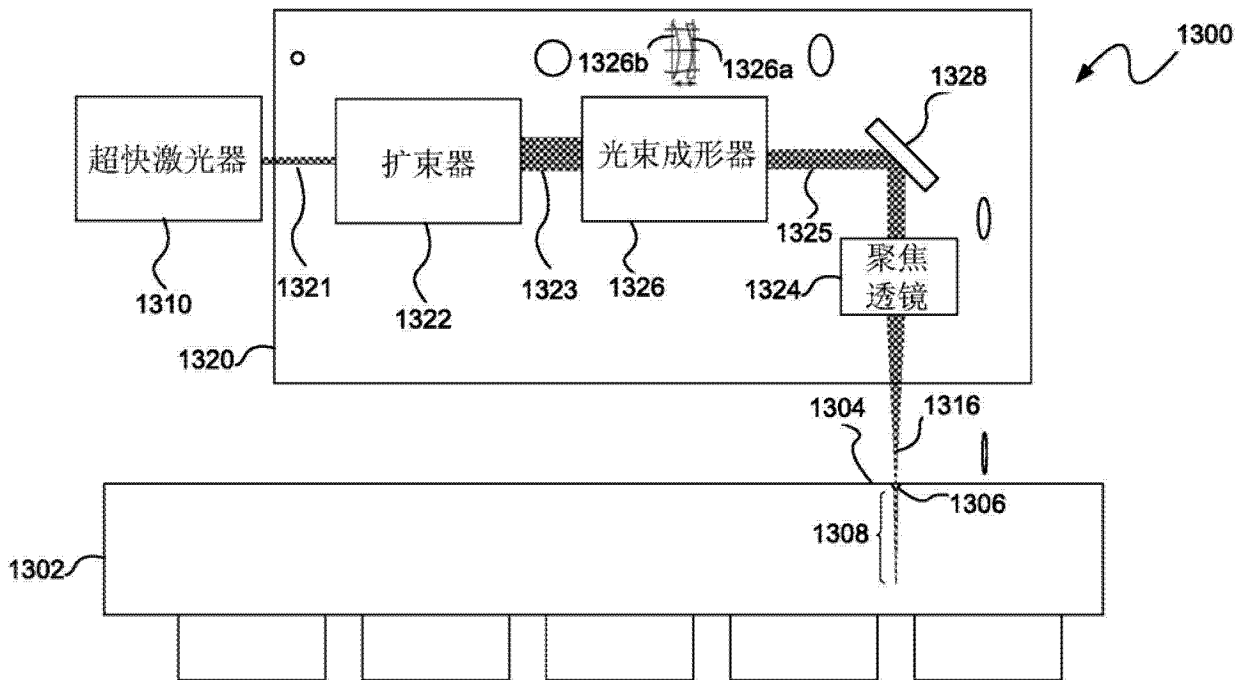


图 13