



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111770901 A

(43) 申请公布日 2020.10.13

(21) 申请号 201980015615.2

(22) 申请日 2019.02.25

(30) 优先权数据

62/635,197 2018.02.26 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2020.08.26

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2019/019376 2019.02.25

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/165354 EN 2019.08.29

(71) 申请人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 A·A·贝克

(74) 专利代理机构 上海专利商标事务所有限公司 31100

代理人 张璐 乐洪咏

(51) Int.Cl.

G03B 33/02 (2006.01)

G03B 33/033 (2006.01)

G03B 33/04 (2006.01)

G03B 33/09 (2006.01)

G03C 17/00 (2006.01)

B23K 26/0622 (2006.01)

B23K 26/53 (2006.01)

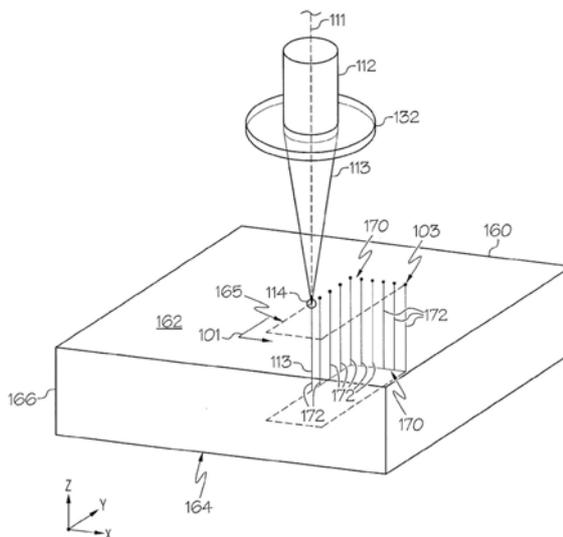
权利要求书6页 说明书27页 附图16页

(54) 发明名称

由透明母片激光形成透明制品以及原位加工透明制品的方法

(57) 摘要

一种用于加工透明母片的方法,包括在透明母片中形成一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓限定了透明制品的周界。形成所述一个或多个闭合轮廓中的每个闭合轮廓包括:将脉冲激光束引导到透明母片中以在透明母片中产生缺陷,以及使透明母片和脉冲激光束相对于彼此平移,从而沿着所述一个或多个闭合轮廓形成缺陷。所述方法还包括沿着闭合轮廓分离一部分的透明母片,从而形成一个或多个透明制品,其中,所述透明制品与所述透明母片的框架部分摩擦性接合,向透明制品的表面施加材料,以及释放透明制品而使其不与框架部分摩擦性接合。



1. 一种用于加工透明母片的方法,所述方法包括:

在透明母片中形成一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓包括在透明母片中的多个缺陷,以使每个闭合轮廓限定透明制品的周界,其中,形成所述一个或多个闭合轮廓中的每个闭合轮廓包括:

将沿着光束路径取向并且由光束源输出的脉冲激光束引导到透明母片中,以使得被引导到透明母片中的一部分脉冲激光束在透明母片中产生诱导吸收,所述诱导吸收在透明母片中产生缺陷;以及

使透明母片和脉冲激光束相对于彼此沿着一个或多个闭合轮廓线平移,从而沿着所述一个或多个闭合轮廓线在透明母片中激光形成缺陷;

沿着闭合轮廓分离一部分的透明母片,从而形成一个或多个透明制品,其中,所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品与透明母片的框架部分摩擦性接合;

在分离了该部分的透明母片以形成所述一个或多个透明制品后,向所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面施加一个或多个材料层;以及

在向所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面施加所述一个或多个材料层之后,释放所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。

2. 如权利要求1所述的方法,其中,沿着闭合轮廓分离透明母片从而形成所述一个或多个透明制品包括:向所述一个或多个闭合轮廓施加应力。

3. 如权利要求2所述的方法,其中,向所述一个或多个闭合轮廓施加应力包括:向所述一个或多个闭合轮廓施加机械应力。

4. 如权利要求2所述的方法,其中,向所述一个或多个闭合轮廓施加应力包括:沿着所述一个或多个闭合轮廓或者在所述一个或多个闭合轮廓附近,将红外激光束引到透明母片上。

5. 如权利要求1-4中任一项所述的方法,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括金属化层。

6. 如权利要求1-5中任一项所述的方法,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括抗反射涂层。

7. 如权利要求1-6中任一项所述的方法,其中,施加所述一个或多个材料层包括:气相沉积所述一个或多个材料层。

8. 如权利要求1-7中任一项所述的方法,其中,施加所述一个或多个材料层包括:旋涂所述一个或多个材料层。

9. 如权利要求1-8中任一项所述的方法,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包含玻璃、玻璃陶瓷、聚合物或其组合。

10. 如权利要求1-9中任一项所述的方法,其中,施加所述一个或多个材料层包括:将所述一个或多个材料层与所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品结合。

11. 如权利要求1-10中任一项所述的方法,其中,所述透明母片包括第一透明母片,并且所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括第二透明母片。

12. 如权利要求11所述的方法,其中,第二透明母片包括一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓包括多个缺陷。

13. 如权利要求12所述的方法,其中第二透明母片的所述一个或多个闭合轮廓不与第一透明母片的所述一个或多个闭合轮廓对齐。

14. 如权利要求11所述的方法,其中,第二透明母片包括一个或多个透明制品和框架部分,所述框架部分围绕所述一个或多个透明制品并且与所述一个或多个透明制品摩擦性接合。

15. 如权利要求14所述的方法,其中,第二透明母片的所述一个或多个透明制品和所述框架部分不与第一透明母片的所述一个或多个透明制品和框架部分对齐。

16. 如权利要求11-15中任一项所述的方法,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括设置在第一透明母片与第二透明母片之间的金属化层。

17. 如权利要求11-16中任一项所述的方法,其中,第一透明母片与第二透明母片结合。

18. 如权利要求1-17中任一项所述的方法,释放所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品而不与框架部分摩擦性接合移除了所述一个或多个透明制品中的每个透明制品与框架部分之间的接触。

19. 如权利要求1-18中任一项所述的方法,其还包括:在透明母片的框架部分中形成一个或多个释放线。

20. 如权利要求19所述的方法,其中,所述一个或多个释放线包括在透明母片的框架部分中的释放周界,以及从释放周界向框架部分的外表面延伸的一个或多个释放支线。

21. 如权利要求19所述的方法,其中,形成所述一个或多个释放线释放了所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。

22. 如权利要求19所述的方法,其中,释放所述一个或多个透明制品中的每个透明制品包括:向在所述一个或多个释放线中的至少一个释放线与透明母片的框架部分的外表面之间延伸的凹槽部分施加应力。

23. 如权利要求1-22中任一项所述的方法,其中:

所述一个或多个透明制品包括第一透明制品和第二透明制品;

第一透明制品与透明母片的框架部分摩擦性接合;并且

第二透明制品与第一透明制品摩擦性接合。

24. 如权利要求1-23中任一项所述的方法,其中:

所述一个或多个透明制品包括透明制品的内阵列和透明制品的外阵列;

透明制品的外阵列与透明母片的框架部分摩擦性接合;并且

透明制品的内阵列通过透明制品的外阵列而与框架部分分离,并且透明制品的内阵列中的至少一个透明制品与透明制品的外阵列摩擦性接合。

25. 如权利要求1-24中任一项所述的方法,其中,脉冲激光束先穿过非球面光学元件再照射透明母片。

26. 如权利要求25所述的方法,其中,非球面光学元件包括折射轴棱锥、反射轴棱锥、负轴棱锥、空间光调制器、衍射光学器件或立方体形状的光学元件。

27. 如权利要求1-26中任一项所述的方法,其中,被引导到透明母片中的脉冲激光束的部分包括:

波长 $\lambda$ ;

光斑尺寸 $w_0$ ;和

包括瑞利范围 $Z_R$ 的截面,所述瑞利范围 $Z_R$ 大于 $F_D \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ ,其中 $F_D$ 是无量纲的发散度因子,

其包括10或更大的数值。

28.如权利要求27所述的方法,其中,所述无量纲的发散度因子 $F_D$ 包含10至2000的数值。

29.如权利要求27所述的方法,其中,所述无量纲的发散度因子 $F_D$ 包含50至1500的数值。

30.如权利要求27所述的方法,其中,所述无量纲的发散度因子 $F_D$ 包含100至1000的数值。

31.如权利要求1-30中任一项所述的方法,其中,相邻缺陷之间的间距为50微米至50 $\mu\text{m}$ 或更小。

32.如权利要求1-31中任一项所述的方法,其中,相邻缺陷之间的间距为25 $\mu\text{m}$ 或更小。

33.如权利要求1-32中任一项所述的方法,其中,相邻缺陷之间的间距为15 $\mu\text{m}$ 或更小。

34.如权利要求1-33中任一项所述的方法,其中,透明母片包含碱金属铝硅酸盐玻璃材料。

35.如权利要求1-34中任一项所述的方法,其中,脉冲激光束的波长为 $\lambda$ ,并且其中,所述透明母片由于线性吸收和散射导致的在光束传输方向上的组合损耗小于20%/mm。

36.如权利要求1-35中任一项所述的方法,其中,光束源包括脉冲光束源,其产生脉冲串并且具有1个子脉冲/脉冲串至30个子脉冲/脉冲串,并且脉冲串能量为100 $\mu\text{J}$ /脉冲串至600 $\mu\text{J}$ /脉冲串。

37.如权利要求1-36中任一项所述的方法,其还包括:在透明母片上形成一个或多个基准点。

38.一种用于加工透明母片的方法,所述方法包括:

在透明母片中形成一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓包括在透明母片中的多个缺陷,以使每个闭合轮廓限定透明制品的透明制品周界,其中形成所述一个或多个闭合轮廓中的每个闭合轮廓包括:

将沿着光束路径取向并且由光束源输出的脉冲激光束引导到透明母片中,以使得被引导到透明母片中的一部分脉冲激光束在透明母片中产生诱导吸收,所述诱导吸收在透明母片中产生缺陷;以及

使透明母片和脉冲激光束相对于彼此沿着一个或多个闭合轮廓线平移,从而沿着所述一个或多个闭合轮廓线在透明母片中激光形成缺陷;

沿着闭合轮廓分离一部分的透明母片,从而形成一个或多个透明制品,所述一个或多个透明制品与透明母片的框架部分摩擦性接合;

在分离了该部分的透明母片以形成一个或多个透明制品后,对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行改性;以及

在向所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面施加所述一个或多个材料层之后,释放所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。

39.如权利要求38所述的方法,其中,沿着闭合轮廓分离透明母片从而形成所述一个或多个透明制品包括:通过沿着所述一个或多个闭合轮廓或在其附近将红外激光束引导到透明母片上,向所述一个或多个闭合轮廓施加应力。

40. 如权利要求38-39中任一项所述的方法,其中,对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行改性包括:对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行抛光。

41. 如权利要求38-40中任一项所述的方法,其中,对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行改性包括:对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行清洁。

42. 如权利要求38-41中任一项所述的方法,其中,对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行改性包括:对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行粗糙化。

43. 如权利要求38-41中任一项所述的方法,其还包括:在透明母片的框架部分中形成一个或多个释放线。

44. 如权利要求43所述的方法,其中,所述一个或多个释放线包括在透明母片的框架部分中的释放周界,以及从释放周界向框架部分的外表面延伸的一个或多个释放支线。

45. 如权利要求43所述的方法,其中,形成所述一个或多个释放线释放了所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。

46. 如权利要求43所述的方法,其中,释放所述一个或多个透明制品中的每个透明制品包括:向在所述一个或多个释放线中的至少一个释放线与透明母片的框架部分的外表面之间延伸的凹槽部分施加应力。

47. 如权利要求38-46中任一项所述的方法,其中:

所述一个或多个透明制品包括第一透明制品和第二透明制品;

第一透明制品与透明母片的框架部分摩擦性接合;并且

第二透明制品与第一透明制品摩擦性接合。

48. 如权利要求38-47中任一项所述的方法,其中:

所述一个或多个透明制品包括透明制品的内阵列和透明制品的外阵列;

透明制品的外阵列与透明母片的框架部分摩擦性接合;并且

透明制品的内阵列通过透明制品的外阵列而与框架部分分离,并且透明制品的内阵列中的至少一个透明制品与透明制品的外阵列摩擦性接合。

49. 如权利要求38-48中任一项所述的方法,其中,脉冲激光束先穿过非球面光学元件再照射透明母片。

50. 如权利要求38-49中任一项所述的方法,其中,被引导到透明母片中的脉冲激光束的部分包括:

波长 $\lambda$ ;

光斑尺寸 $w_0$ ;和

包括瑞利范围 $Z_R$ 的截面,所述瑞利范围 $Z_R$ 大于 $F_D \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ ,其中 $F_D$ 是无量纲的发散度因子,其包括10或更大的数值。

51. 如权利要求38-50中任一项所述的方法,其中,相邻缺陷之间的间距为 $30\mu\text{m}$ 或更小。

52. 一种透明工件组件,其包括:

一个或多个透明制品,其包括第一主表面、第二主表面和一个或多个侧面;

框架部分,其围绕所述一个或多个透明制品并且包括第一主表面、第二主表面、一个或多个内表面和外表面,其中,所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品与框架部分的所述一个或多个内表面中的至少一个内表面摩擦性接合,以使所述一个或多个透明制品中的每个透明制品保留与框架部分摩擦性接合;和

一个或多个材料层,其被设置在所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的第一主表面上,并且在与所述一个或多个透明制品的所述至少一个透明制品相关的至少一个经分离的轮廓上连续设置。

53. 如权利要求52所述的透明工件组件,其中:

所述一个或多个透明制品包括第一透明制品和第二透明制品;

第一透明制品与框架部分摩擦性接合;并且

第二透明制品与第一透明制品摩擦性接合。

54. 如权利要求53所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层被设置在第一透明制品的第一主表面、第二透明制品的第一主表面上,并且在第一透明制品与第二透明制品之间形成界面的经分离的轮廓上连续地设置。

55. 如权利要求53所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层被设置在第一透明制品的第一主表面、框架部分的第一主表面上,并且在第一透明制品与框架部分之间形成界面的经分离的轮廓上连续地设置。

56. 如权利要求52-55中任一项所述的透明工件组件,其中:

所述一个或多个透明制品包括透明制品的内阵列和透明制品的外阵列;

透明制品的外阵列与框架部分摩擦性接合;并且

透明制品的内阵列通过透明制品的外阵列而与框架部分分离,并且透明制品的内阵列中的至少一个透明制品与透明制品的外阵列摩擦性接合。

57. 如权利要求52-56中任一项所述的透明工件组件,其中,框架部分还包括一个或多个释放线。

58. 如权利要求57所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个释放线包括在框架部分中的释放周界,以及从释放周界向框架部分的外表面延伸的一个或多个释放支线。

59. 如权利要求57所述的透明工件组件,其还包括在所述一个或多个释放线中的至少一个释放线与框架部分的外表面之间延伸的凹槽部分。

60. 如权利要求52-59中任一项所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括金属化层。

61. 如权利要求52-60中任一项所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括抗反射涂层。

62. 如权利要求52所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包含玻璃、玻璃陶瓷、聚合物或其组合。

63. 如权利要求52所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品以及围绕所述一个或多个透明制品的框架部分共同构成第一透明母片,并且所述一个或多个材料层中的至少一个材料层构成第二透明母片,其包括一个或多个透明制品以及围绕该一个或多个透明制品的框架部分。

64. 如权利要求63所述的透明工件组件,其中,第二透明母片中的一个或多个透明制品

中的至少一个透明制品与第二透明母片的框架部分摩擦性接合,以使第二透明母片中的所述一个或多个透明制品中的每一者与第二透明母片的框架部分摩擦性接合。

65. 如权利要求63所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括设置在第一透明母片与第二透明母片之间的金属化层。

66. 如权利要求63所述的透明工件组件,其中,第一透明母片与第二透明母片结合。

## 由透明母片激光形成透明制品以及原位加工透明制品的方法

[0001] 本申请要求2018年2月26日提交的系列号为62/635,197的美国临时申请的优先权权益,本文以该申请的内容为基础并通过引用将其全部结合入本文。

[0002] 背景

### 技术领域

[0003] 本说明书一般涉及用于激光加工透明工件的设备和方法,所述透明工件例如透明制品和透明母片,更具体地,涉及由透明母片激光形成透明制品以及原位加工透明制品。

### 背景技术

[0004] 材料的激光加工领域涵盖各种应用,这些应用涉及不同类型的材料的切割、钻孔、研磨、焊接、熔化等。在这些工艺中,特别受到关注的是在可以用于生产薄膜晶体管(TFT)的材料(例如玻璃、蓝宝石或熔凝二氧化硅)或电子装置的显示器材料的工艺中切割或分离不同类型的透明基材。

[0005] 从工艺开发和成本方面看,有许多机会来改进玻璃基材的切割、分离和加工。与目前在市场上实施的方法相比,具有更快、更干净、更便宜、可重复性更高且更可靠的分离和加工玻璃基材的方法受到极大关注。因此,需要用于分离和加工玻璃基材的替代性的改进方法。

### 发明内容

[0006] 根据第1个实施方式,一种加工透明母片的方法包括:在透明母片中形成一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓包括在透明母片中的多个缺陷,以使每个闭合轮廓限定透明制品的周界。形成所述一个或多个闭合轮廓中的每个闭合轮廓包括:将沿着光束路径取向并且由光源输出的脉冲激光束引导到透明母片中,以使得被引导到透明母片中的一部分脉冲激光束在透明母片中产生诱导吸收,所述诱导吸收在透明母片中产生缺陷;以及使透明母片和脉冲激光束相对于彼此沿着一个或多个闭合轮廓线平移,从而沿着所述一个或多个闭合轮廓线在透明母片中激光形成缺陷。所述方法还包括:沿着闭合轮廓分离一部分的透明母片,从而形成一个或多个透明制品,其中,所述一个或多个透明制品中的至少一个与透明母片的框架部分摩擦性接合;在分离了该部分的透明母片以形成一个或多个透明制品后,向所述至少一个或多个透明制品中的至少一个的表面施加一个或多个材料层;以及在向所述一个或多个透明制品中的至少一个的表面施加所述一个或多个材料层之后,释放所述一个或多个透明制品中的至少一个而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。

[0007] 第2个实施方式包括如第1个实施方式所述的方法,其中,沿着闭合轮廓分离透明母片从而形成所述一个或多个透明制品包括:向所述一个或多个闭合轮廓施加应力。

[0008] 第3个实施方式包括如第2个实施方式所述的方法,其中,向所述一个或多个闭合轮廓施加应力包括:向所述一个或多个闭合轮廓施加机械应力。

[0009] 第4个实施方式包括如第2个实施方式所述的方法,其中,向所述一个或多个闭合

轮廓施加应力包括:沿着所述一个或多个闭合轮廓或者在所述一个或多个闭合轮廓附近,将红外激光束引到透明母片上。

[0010] 第5个实施方式包括如第1至4个实施方式中任一个所述的方法,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括金属化层。

[0011] 第6个实施方式包括如第1至5个实施方式中任一个所述的方法,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括抗反射涂层。

[0012] 第7个实施方式包括如第1至6个实施方式中任一个所述的方法,其中,施加所述一个或多个材料层包括:气相沉积所述一个或多个材料层。

[0013] 第8个实施方式是如第1至7个实施方式中任一个所述的方法,施加所述一个或多个材料层包括:旋涂所述一个或多个材料层。

[0014] 第9个实施方式包括如第1至8个实施方式中任一个所述的方法,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包含玻璃、玻璃陶瓷、聚合物或其组合。

[0015] 第10个实施方式包括如第1至9个实施方式中任一个所述的方法,其中,施加所述一个或多个材料层包括:将所述一个或多个材料层与所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品结合。

[0016] 第11个实施方式包括如第1至10个实施方式中任一个所述的方法,其中,所述透明母片包括第一透明母片,并且所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括第二透明母片。

[0017] 第12个实施方式包括如第11个实施方式所述的方法,其中,第二透明母片包括一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓包括多个缺陷。

[0018] 第13个实施方式包括如第12个实施方式所述的方法,其中第二透明母片的所述一个或多个闭合轮廓不与第一透明母片的一个或多个闭合轮廓对齐。

[0019] 第14个实施方式包括如第11个实施方式所述的方法,其中,第二透明母片包括一个或多个透明制品和框架部分,所述框架部分围绕所述一个或多个透明制品并且与所述一个或多个透明制品摩擦性接合。

[0020] 第15个实施方式包括如第14个实施方式所述的方法,其中,第二透明母片的所述一个或多个透明制品和所述框架部分不与第一透明母片的所述一个或多个透明制品和框架部分对齐。

[0021] 第16个实施方式包括如第11至15个实施方式中任一个所述的方法,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括设置在第一透明母片与第二透明母片之间的金属化层。

[0022] 第17个实施方式包括如第11至16个实施方式中任一个实施方式所述的方法,其中,第一透明母片与第二透明母片结合。

[0023] 第18个实施方式包括如第1至17个实施方式中任一个实施方式所述的方法,释放所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品而不与框架部分摩擦性接合移除了所述一个或多个透明制品中的每个透明制品与框架部分之间的接触。

[0024] 第19个实施方式包括如第1至18个实施方式中任一个所述的方法,其还包括:在透明母片的框架部分中形成一个或多个释放线。

[0025] 第20个实施方式包括如第19个实施方式所述的方法,其中,所述一个或多个释放

线包括在透明母片的框架部分中的释放周界,以及从释放周界向框架部分的外表面延伸的一个或多个释放支线。

[0026] 第21个实施方式包括如第19个实施方式所述的方法,其中,形成所述一个或多个释放线释放了所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。

[0027] 第22个实施方式包括如第19个实施方式所述的方法,其中,释放所述一个或多个透明制品中的每个透明制品包括:向在所述一个或多个释放线中的至少一个释放线与透明母片的框架部分的外表面之间延伸的凹槽部分施加应力。

[0028] 第23个实施方式包括如第1至22个实施方式中任一个所述的方法,其中,所述一个或多个透明制品包括第一透明制品和第二透明制品,第一透明制品与透明母片的框架部分摩擦性接合,并且第二透明制品与第一透明制品摩擦性接合。

[0029] 第24个实施方式包括如第1至23个实施方式中任一个所述的方法,其中,所述一个或多个透明制品包括透明制品的内阵列和透明制品的外阵列,透明制品的外阵列与透明母片的框架部分摩擦性接合;并且透明制品的内阵列通过透明制品的外阵列而与框架部分分离,并且透明制品的内阵列中的至少一个透明制品与透明制品的外阵列摩擦性接合。

[0030] 第25个实施方式包括如第1至24个实施方式中任一个所述的方法,其中,脉冲激光束先穿过非球面光学元件再照射透明母片。

[0031] 第26个实施方式包括如第25个实施方式所述的方法,其中,非球面光学元件包括折射轴棱锥、反射轴棱锥、负轴棱锥、空间光调制器、衍射光学器件或立方体形状的光学元件。

[0032] 第27个实施方式包括如第1至26个实施方式中任一个所述的方法,其中,被引导到透明母片中的脉冲激光束的部分包括波长 $\lambda$ 、光斑尺寸 $w_0$ 、以及包括瑞利范围 $Z_R$ 的截面,所述瑞利范围 $Z_R$ 大于 $F_D \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ ,其中 $F_D$ 是无量纲的发散度因子,其包括10或更大的数值。

[0033] 第28个实施方式是如第27个实施方式所述的方法,所述无量纲的发散度因子 $F_D$ 包括10至2000的数值。

[0034] 第29个实施方式包括如第27个实施方式所述的方法,其中,所述无量纲的发散度因子 $F_D$ 包括50至1500的数值。

[0035] 第30个实施方式包括如第27个实施方式所述的方法,其中,所述无量纲的发散度因子 $F_D$ 包括100至1000的数值。

[0036] 第31个实施方式包括如第1至30个实施方式中任一个所述的方法,其中,相邻缺陷之间的间距为50 $\mu\text{m}$ 或更小。

[0037] 第32个实施方式包括如第1至31个实施方式中任一个所述的方法,其中,相邻缺陷之间的间距为25 $\mu\text{m}$ 或更小。

[0038] 第33个实施方式包括如第1至32个实施方式中任一个所述的方法,其中,相邻缺陷之间的间距为15 $\mu\text{m}$ 或更小。

[0039] 第34个实施方式包括如第1至33个实施方式中任一个所述的方法,其中,透明母片包含碱金属铝硅酸盐玻璃材料。

[0040] 第35个实施方式包括如第1至34个实施方式中任一个所述的方法,其中,脉冲激光

束的波长为 $\lambda$ ,并且其中,所述透明母片由于线性吸收和散射导致的在光束传输方向上的组合损耗小于20%/mm。

[0041] 第36个实施方式包括如第1至35个实施方式中任一个所述的方法,其中,光束源包括脉冲光束源,其产生脉冲串并且具有1个子脉冲/脉冲串至30个子脉冲/脉冲串,并且脉冲串能量为100 $\mu$ J/脉冲串至600 $\mu$ J/脉冲串。

[0042] 第37个实施方式包括如第1至36个实施方式中任一个所述的方法,其还包括:在透明母片上形成一个或多个基准点。

[0043] 根据第38个实施方式,一种加工透明母片的方法包括:在透明母片中形成一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓包括在透明母片中的多个缺陷,以使每个闭合轮廓限定透明制品的透明制品周界。形成所述一个或多个闭合轮廓中的每个闭合轮廓包括:将沿着光束路径取向并且由光束源输出的脉冲激光束引导到透明母片中,以使得被引导到透明母片的一部分脉冲激光束在透明母片中产生诱导吸收,所述诱导吸收在透明母片中产生缺陷;以及使透明母片和脉冲激光束相对于彼此沿着一个或多个闭合轮廓线平移,从而沿着所述一个或多个闭合轮廓线在透明母片中激光形成缺陷。所述方法还包括:沿着闭合轮廓分离一部分的透明母片,从而形成一个或多个透明制品,所述一个或多个透明制品与透明母片的框架部分摩擦性接合;在分离了该部分的透明母片以形成一个或多个透明制品后,对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行改性;以及在向所述一个或多个透明制品中的至少一个的表面施加所述一个或多个材料层之后,释放所述一个或多个透明制品中的至少一个而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。

[0044] 第39个实施方式包括如第38个实施方式所述的方法,其中,沿着闭合轮廓分离透明母片从而形成所述一个或多个透明制品包括:通过沿着所述一个或多个闭合轮廓或在其附近将红外激光束引导到透明母片上,向所述一个或多个闭合轮廓施加应力。

[0045] 第40个实施方式包括如第38或39个实施方式所述的方法,其中,对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行改性包括:对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行抛光。

[0046] 第41个实施方式包括如第38至40个实施方式中任一个所述的方法,其中,对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行改性包括:清洁所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面。

[0047] 第42个实施方式包括如第38至41个实施方式中任一个所述的方法,其中,对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行改性包括:对所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的表面进行粗糙化。

[0048] 第43个实施方式包括如第38至41个实施方式中任一个所述的方法,其还包括:在透明母片的框架部分中形成一个或多个释放线。

[0049] 第44个实施方式包括如第43个实施方式所述的方法,其中,所述一个或多个释放线包括在透明母片的框架部分中的释放周界,以及从释放周界向框架部分的外表面延伸的一个或多个释放支线。

[0050] 第45个实施方式包括如第43个实施方式所述的方法,其中,形成所述一个或多个释放线释放了所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。

[0051] 第46个实施方式包括如第43个实施方式所述的方法,其中,释放所述一个或多个透明制品中的每个透明制品包括:向在所述一个或多个释放线中的至少一个释放线与透明母片的框架部分的外表面之间延伸的凹槽部分施加应力。

[0052] 第47个实施方式包括如第38至46个实施方式中任一所述的方法,其中,所述一个或多个透明制品包括第一透明制品和第二透明制品,第一透明制品与透明母片的框架部分摩擦性接合,并且第二透明制品与第一透明制品摩擦性接合。

[0053] 第48个实施方式包括如第38至47个实施方式中任一所述的方法,其中,所述一个或多个透明制品包括透明制品的内阵列和透明制品的外阵列,透明制品的外阵列与透明母片的框架部分摩擦性接合,并且透明制品的内阵列通过透明制品的外阵列而与框架部分分离,并且透明制品的内阵列中的至少一个透明制品与透明制品的外阵列摩擦性接合。

[0054] 第49个实施方式包括如第38至48个实施方式中任一所述的方法,其中,脉冲激光束先穿过非球面光学元件再照射透明母片。

[0055] 第50个实施方式包括如第38至49个实施方式中任一所述的方法,其中,被引导到透明母片中的脉冲激光束的部分包括波长 $\lambda$ 、光斑尺寸 $W_0$ 、以及包括瑞利范围 $Z_R$ 的截面,

所述瑞利范围 $Z_R$ 大于 $F_D \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ ,其中 $F_D$ 是无量纲的发散度因子,其包括10或更大的数值。

[0056] 第51个实施方式包括如第38至50个实施方式中任一所述的方法,其中,相邻缺陷之间的间距为 $30\mu\text{m}$ 或更小。

[0057] 根据第52个实施方式,一种透明工件组件包括一个或多个透明制品、框架部分、以及一个或多个材料层,所述透明制品包括第一主表面、第二主表面和一个或多个侧表面,所述框架部分围绕所述一个或多个透明制品并且包括第一主表面、第二主表面、一个或多个内表面和外表面,其中,所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品与框架部分的所述一个或多个内表面中的至少一个内表面摩擦性接合,以使所述一个或多个透明制品中的每个透明制品保留与框架部分摩擦性接合,所述一个或多个材料层被设置在所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品的第一主表面上,并且在与所述一个或多个透明制品的所述至少一个透明制品相关的至少一个经分离的轮廓上连续设置。

[0058] 第53个实施方式包括如第52个实施方式所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个透明制品包括第一透明制品和第二透明制品,第一透明制品与框架部分摩擦性接合,并且第二透明制品与第一透明制品摩擦性接合。

[0059] 第54个实施方式包括如第53个实施方式所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层被设置在第一透明制品的第一主表面、第二透明制品的第一主表面上,并且在第一透明制品与第二透明制品之间形成界面的经分离的轮廓上连续地设置。

[0060] 第55个实施方式包括如第53个实施方式所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层被设置在第一透明制品的第一主表面、框架部分的第一主表面上,并且在第一透明制品与框架部分之间形成界面的经分离的轮廓上连续地设置。

[0061] 第56个实施方式包括如第52至55个实施方式中任一所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个透明制品包括透明制品的内阵列和透明制品的外阵列,透明制品的外阵列与框架部分摩擦性接合;并且透明制品的内阵列通过透明制品的外阵列而与框架部分分离,并且透明制品的内阵列中的至少一个透明制品与透明制品的外阵列摩擦性接合。

[0062] 第57个实施方式包括如第52至56个实施方式中任一所述的透明工件组件,其中:所述框架部分还包括一个或多个释放线。

[0063] 第58个实施方式包括如第57个实施方式所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个释放线包括在框架部分中的释放周界,以及从释放周界向框架部分的外表面延伸的一个或多个释放支线。

[0064] 第59个实施方式包括如第57个实施方式所述的透明工件组件,其还包括在所述一个或多个释放线中的至少一个释放线与框架部分的外表面之间延伸的凹槽部分。

[0065] 第60个实施方式包括如第52至59个实施方式中任一所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括金属化层。

[0066] 第61个实施方式包括如第52至60个实施方式中任一所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括抗反射涂层。

[0067] 第62个实施方式包括如第52至61个实施方式中任一所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包含玻璃、玻璃陶瓷、聚合物或其组合。

[0068] 第63个实施方式包括如第52至62个实施方式中任一所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个透明制品中的至少一个透明制品以及围绕所述一个或多个透明制品的框架部分共同构成第一透明母片,并且所述一个或多个材料层中的至少一个材料层构成第二透明母片,其包括一个或多个透明制品以及围绕该一个或多个透明制品的框架部分。

[0069] 第64个实施方式包括如第63个实施方式所述的透明工件组件,其中,第二透明母片中的一个或多个透明制品中的至少一个透明制品与第二透明母片的框架部分摩擦性接合,以使第二透明母片中的所述一个或多个透明制品中的每一者与第二透明母片的框架部分摩擦性接合。

[0070] 第65个实施方式包括如第63个实施方式所述的透明工件组件,其中,所述一个或多个材料层中的至少一个材料层包括设置在第一透明母片与第二透明母片之间的金属化层。

[0071] 第66个实施方式包括如第63个实施方式所述的透明工件组件,其中,第一透明母片与第二透明母片结合。

[0072] 在以下的具体实施方式中提出了本文所述的方法和系统的其他特征和优点,其中的部分特征和优点对本领域的技术人员而言,根据所作描述就容易看出,或者通过实施包括以下具体实施方式、权利要求书以及附图在内的本文描述的实施方式而被认识。

[0073] 应理解,前述的一般性描述和下文的具体实施方式都描述了各个实施方式且都旨在提供用于理解所要求保护的题目的性质和特性的总体评述或框架。包括的附图提供了对各个实施方式的进一步理解,附图并入本说明书中并构成说明书的一部分。附图例示了本文所描述的各个实施方式,并且与说明书一起用于解释所要求保护的题目的原理和操作。

[0074] 附图简要说明

[0075] 附图列出的实施方式本质上是说明性和示例性的,并不旨在限制通过权利要求所限定的主题。结合以下附图阅读可以理解如下示意性实施方式的详细描述,其中相同的结构用相同的附图标记表示,其中:

[0076] 图1A根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性地描绘了闭合缺陷轮廓的形成;

[0077] 图1B根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性地描绘了在透明母片的加工期间的一种示例性脉冲激光束焦线;

[0078] 图2根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性描绘了穿过闭合轮廓线以在透明母片中形成闭合缺陷轮廓的脉冲激光束的束斑,以及穿过缺陷轮廓以由透明母片形成透明制品的红外激光束的束斑;

[0079] 图3根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性地描绘了用于脉冲激光加工的光学组件;

[0080] 图4A根据本文所述的一个或多个实施方式,以图表的形式描绘了示例性脉冲串中的激光脉冲的相对强度与时间的关系;

[0081] 图4B根据本文所述的一个或多个实施方式,以图表的形式描绘了在另一个示例性脉冲串中的激光脉冲的相对强度与时间的关系;

[0082] 图5A根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性描绘了一种透明工件组件,其包括与其他透明制品直接摩擦性接合的透明制品以及围绕所述透明制品的框架部分;

[0083] 图5B是根据本文所述的一个或多个实施方式所述的图5A的透明工件组件的截面图;

[0084] 图6A根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性描绘了一种透明工件组件,其包括透明制品以及与每个透明制品直接摩擦性接合的框架;

[0085] 图6B是根据本文所述的一个或多个实施方式所述的图6A的透明工件组件的截面图;

[0086] 图7A根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性描绘了一种透明工件组件,其包括透明制品,围绕透明制品的框架部分以及在框架部分中形成的释放周界;

[0087] 图7B是根据本文所述的一个或多个实施方式所述的图7A的透明工件组件的截面图;

[0088] 图8A根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性地描绘了一种透明母片;

[0089] 图8B根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性描绘了其上有基准点的图8A的透明母片;

[0090] 图8C根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性描绘了其中形成有缺陷轮廓的图8B的透明母片;

[0091] 图8D根据本文所述的一个或多个实施方式,示意性描绘了一种透明工件组件,其包括由图8C的透明母片形成的透明制品以及框架部分;

[0092] 图8E是根据本文所述的一个或多个实施方式所述的图8D的透明工件组件的截面图。

### 具体实施方式

[0093] 现将详细参考用于激光加工诸如透明工件之类的透明工件(例如,透明母片和由透明母片形成的玻璃制品)的方法的实施方式,这些实施方式的实例在附图中例示出。只要可能,在附图中使用相同的附图标记表示相同或相似的部分。根据本文所述的一个或多个实施方式,可以对透明母片进行激光加工以在透明母片中形成一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓包括一系列缺陷,所述一系列缺陷限定了可以与透明母片分离的一个或多个透明

制品的周界。根据一个实施方式,激光源输出脉冲激光束,其被引导到透明母片中以在透明母片中产生一系列缺陷,从而激光形成所述一个或多个闭合轮廓,每个闭合轮廓限定了由透明母片形成的透明制品的周界。在本文的各个实施方式中,这些缺陷可以被称为工件中的线缺陷、穿孔或纳米穿孔。接着,通过向所述一个或多个闭合轮廓施加应力,例如,化学应力(例如,经由化学蚀刻)、热应力(例如,经由热激光照射)、机械应力等,可以使具有由所述一个或多个轮廓限定的周界的透明制品与透明母片分离。

[0094] 在透明制品与透明母片分离后,透明制品保持与透明母片摩擦性接合而无需额外的加工步骤,这是因为在分离了透明制品之后,在透明制品的周界与透明母片的框架部分之间存在的最小分离间隙(即,最小切口)仍然存在。该摩擦性接合允许在透明制品保持与透明母片的框架部分摩擦性接合的同时,原位对透明制品的表面(以及任选地,透明母片的剩余框架部分)进行额外的加工。例如,可以向一个或多个透明制品的表面(以及任选地,透明母片的剩余框架部分的表面)施加一个或多个材料层。又例如,可以改变(例如,抛光、粗糙化、清洁等)一个或多个透明制品的表面(以及任选地,透明母片的剩余框架部分的表面)。在这些额外的加工步骤之后,可以释放所述一个或多个透明制品而不与透明母片的框架部分摩擦性接合。因此,本文所述的实施方式涉及使用激光加工技术由透明母片形成透明制品,以及随后在这些透明制品保持与透明母片的剩余部分摩擦性接合的同时,加工透明制品的表面的方法,从而促进透明制品的共同表面加工,否则由于尺寸限制、制造限制等,可能难以进行单独加工。另外,保留透明制品与透明母片的剩余部分摩擦性接合允许在随后的加工和分离之前更容易地运送这些透明制品。本文将具体参考附图描述由透明母片形成和加工透明制品的各个实施方式。

[0095] 如本文所用,短语“透明工件”意为由透明的玻璃或玻璃陶瓷形成的工件,其中本文使用的术语“透明”意为对于每毫米的材料深度,材料具有小于约20%的光学吸收,例如对于规定的脉冲激光波长,每毫米的材料深度具有小于约10%的光学吸收,或者例如对于规定的脉冲激光波长,每毫米的材料深度具有小于约1%的光学吸收。根据一个或多个实施方式,透明工件的厚度可以为约50微米( $\mu\text{m}$ )至约10mm(例如,约100 $\mu\text{m}$ 至约5mm、约0.5mm至约3mm、或约100 $\mu\text{m}$ 至约2mm,例如,100 $\mu\text{m}$ 、250 $\mu\text{m}$ 、300 $\mu\text{m}$ 、500 $\mu\text{m}$ 、700 $\mu\text{m}$ 、1mm、1.2mm、1.5mm、2mm、5mm、7mm等)。本文所述的透明工件包括“透明母片”、“透明制品”和“框架部分”。如本文所用的“透明母片”是指可以从其分离出额外的(更小的)透明工件(例如透明制品)的透明工件。如本文所用的“透明制品”是指从透明母片分离的透明工件。进一步地,如本文所用的“框架部分”是指与一个或多个透明制品分离的透明母片的一些或所有剩余部分(例如,围绕一个或多个透明制品的毗连剩余部分)。

[0096] 进一步地,本公开描述了用于加工透明工件的方法。如本文所用的“激光加工”可以包括在工件中形成轮廓(例如,闭合轮廓),分离透明工件,或者它们的组合。透明工件可以包括由玻璃组合物形成的玻璃工件,所述玻璃组合物例如硼硅酸盐玻璃、钠钙玻璃、铝硅酸盐玻璃、碱金属铝硅酸盐、碱土金属铝硅酸盐玻璃、碱土金属硼铝硅酸盐玻璃、熔凝二氧化硅或结晶材料,例如蓝宝石、硅、砷化镓或其组合。在一些实施方式中,所述玻璃可以是可离子交换的,因此在激光加工透明工件之前或之后,以及在化学蚀刻透明工件之前或之后,所述玻璃组合物可经离子交换以机械强化。例如,透明工件可以包含经过离子交换的玻璃或者可离子交换的玻璃,例如购自纽约州康宁市的康宁股份有限公司(Corning

Incorporated)的康宁Gorilla®玻璃(例如编号2318、编号2319和编号2320的玻璃)。另外,这些经过离子交换的玻璃可以具有约6ppm/°C至约10ppm/°C的热膨胀系数(CTE)。在一些实施方式中,透明工件的玻璃组合物可以包含大于约1.0摩尔%的硼和/或含硼化合物(包括但不限于B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)。在另一个实施方式中,形成透明工件的玻璃组合物包含小于或等于约1.0摩尔%的硼的氧化物和/或含硼化合物。另外,透明工件可以包含对激光波长透明的其他组分,例如晶体,如蓝宝石或硒化锌。

[0097] 一些透明工件可以用作显示器和/或TFT(薄膜晶体管)基材。适于显示器或TFT用途的这些玻璃或玻璃组合物的一些实例是购自纽约州康宁市的康宁股份有限公司的EAGLE XG®和CORNING LOTUS™。可以将碱土金属硼铝硅酸盐玻璃组合物配制成适于用作电子应用的基材,包括但不限于TFT的基材。与TFT结合使用的玻璃组合物通常具有类似于硅的CTE(例如小于 $5 \times 10^{-6}/K$ 、或者甚至是小于 $4 \times 10^{-6}/K$ ,例如约 $3 \times 10^{-6}/K$ 、或约 $2.5 \times 10^{-6}/K$ 至约 $3.5 \times 10^{-6}/K$ ),并且在玻璃中具有低的碱金属水平。在TFT应用中可以使用低的碱金属水平(例如约0重量%至2重量%的痕量水平,例如小于1重量%,例如小于0.5重量%),这是因为在一些条件下,碱金属掺杂剂会从玻璃中浸出并污染TFT或使TFT“中毒”,这可能使TFT无法工作。

[0098] 本文所用的短语“轮廓线”表示透明工件表面上的所需分离线(例如线、曲线等),当暴露于适当的加工条件时,透明工件将沿着该线分离成多个部分。进一步地,本文所用的短语“轮廓线”表示沿着透明工件的表面(例如,沿着透明母片的表面)上的闭合路径延伸的特定轮廓线(例如线、曲线等)。闭合的轮廓线限定了透明制品的期望的周界,其可以与透明母片分离。进一步地,如本文所用的词语“轮廓”是指使用各种技术,沿着轮廓线引入到透明工件中的多个缺陷,并且如本文所用的词语“闭合轮廓”是指沿着闭合轮廓线形成的轮廓。另外,如本文所用,“缺陷”可以包括透明工件中的材料有所改变(相对于本体材料)的区域、空隙空间、划痕、瑕疵、孔或其他变形,它们能够通过另外的加工(例如通过红外激光加工、机械应力或其他分离工艺),实现沿着轮廓线和闭合轮廓线分离透明母片的材料(例如,经分离的轮廓和闭合轮廓)以由透明母片形成透明制品。所述缺陷可以穿透玻璃的整个深度。应理解,虽然缺陷有时描述成“孔”或“孔样”,但是本文公开的缺陷一般可以不是空隙空间,而是通过本文所述的激光加工而改变的透明母片的部分。

[0099] 在操作时,通过首先在透明母片中形成一个或多个闭合轮廓,随后在闭合轮廓上对透明工件的表面施加应力(例如加热,例如使用红外激光器,例如CO<sub>2</sub>激光器、CO激光器)以在透明工件中产生应力(例如热应力)可以从透明母片中分离出一个或多个透明制品。这些应力最终使得工件沿着闭合轮廓自发分离。进一步地,在一些实施方式中,例如,在透明母片经过强化(例如,经离子交换)的实施方式中,根据透明工件的类型、厚度和结构,随后的分离步骤可以通过透明母片中存在的应力所致的自发断裂而发生。例如,在对透明母片进行强化后,在透明工件中可以存在应力,其可以造成透明母片沿着闭合轮廓自发分离而无需进一步的加热或机械分离步骤。

[0100] 现在通过示例的方式参考图1A和1B,其示意性地描绘了根据本文所述方法进行加工的透明母片160,例如玻璃母片或玻璃陶瓷母片。透明母片160包括第一主表面162和第二主表面164以及一个或多个周界表面166,所述第二主表面164可以与第一主表面162相对。注意,具有圆化形状(例如,圆形或卵形)的透明母片160的实施方式可以具有单一、连续的

周界表面166,而具有多边形形状(例如矩形)的透明母片160的实施方式可以包括多个周界表面166。

[0101] 图1A和1B描绘了透明母片160中的闭合轮廓线170的形成,其可以通过在平移方向101上,使脉冲激光束112和透明母片160相对于彼此平移,以使脉冲激光束112相对于透明母片160平移来形成。图1A和1B描绘了沿着光束路径111的脉冲激光束112,并且可以对其进行取向,以可以例如使用非球面光学元件120(图3),例如轴棱锥和一个或多个透镜(例如下文所述及如图3所示的第一透镜130和第二透镜132),将脉冲激光束112聚焦成透明母片160中的脉冲激光束焦线113。例如,可以沿着Z轴以及围绕Z轴控制脉冲激光束焦线113的位置。另外,脉冲激光束焦线113的长度可以在约0.1mm至约100mm的范围内,或者在约0.1mm至约10mm的范围内。可以将各个实施方式构造成长度 $l$ 为约0.1mm、约0.2mm、约0.3mm、约0.4mm、约0.5mm、约0.7mm、约1mm、约2mm、约3mm、约4mm、或约5mm,例如,约0.5mm至约5mm的脉冲激光束焦线113。另外,如下文更详细限定的,脉冲激光束焦线113可以是准无衍射光束的一部分。

[0102] 图1A描绘了脉冲激光束112形成了投射到透明母片160的第一主表面162上的束斑114。虽然脉冲激光束112被描绘成初始在图1A中的第一主表面162处照射透明母片160,但应理解,在其他实施方式中,脉冲激光束112可以替代性地初始在第二主表面164处照射透明母片160。进一步地,还如本文所用的“束斑”是指激光束(例如脉冲激光束112)接触透明工件(例如透明母片160)的点处的截面。

[0103] 现在参考图2,其示意性描绘了从透明母片160分离透明制品210。图2描绘了在激光加工之前的轮廓线165(图2的右侧),沿着闭合轮廓线165形成包括缺陷172的闭合轮廓170(图2的中心),以及通过沿着闭合轮廓170分离透明母片160而沿着闭合轮廓170形成的透明制品210(图2的左侧)。闭合轮廓线165描绘了意欲分离的线的轮廓,沿着其可以在透明母片160中形成闭合轮廓170,并且随后可以由透明母片160形成一个或多个透明制品210。换言之,闭合的轮廓线165和闭合轮廓170都限定了可以与透明母片160分离的透明制品210的周界215。进一步地,每个闭合轮廓170包括多个缺陷172,其延伸到透明母片160中并且确立了使被闭合轮廓170封闭的透明母片160的材料(其变成透明制品210)与透明母片160的剩余部分(例如,透明母片160的框架部分220,示于图5A)分离的路径。

[0104] 在操作时,闭合轮廓170可以通过用脉冲激光束112(在图2中显示为束斑114)照射闭合的轮廓线165,以及使脉冲激光束112和透明母片116沿着闭合轮廓线165在平移方向101上相对于彼此平移以形成闭合轮廓170的缺陷172来形成。随后,通过用红外激光束(在图2中显示为红外激光束斑116)照射闭合轮廓170,并且使红外激光束和透明工件在平移方向101上沿着闭合轮廓170或在闭合轮廓170附近相对于彼此平移,可以从透明母片160中分离出透明制品210。

[0105] 虽然在图1A和图2中将闭合轮廓170描绘成矩形,但应理解,设想了其他闭合构造并且它们是可行的,包括但不限于圆形、椭圆形、正方形、六边形、卵形、规则几何形状、不规则形状、多边形形状、任意形状等。进一步地,如图2所示,本文所述的实施方式可以用于在单个透明母片160中形成多个闭合轮廓170,并由此由透明母片160形成多个透明制品210。

[0106] 仍然参考图1A和图2,在本文所述的实施方式中,可以将脉冲激光束112(具有投射到透明母片160上的束斑114)引导到透明母片160上(例如,聚光成穿透透明母片160的至少

一部分厚度的高纵横比的线焦点)。这形成了脉冲激光束焦线113。进一步地,束斑114是脉冲激光束焦线113的一个示例性截面,并且当脉冲激光束焦线113照射透明母片160(并形成束斑114)时,脉冲激光束焦线113穿透至少一部分的透明母片160。

[0107] 另外,可以相对于透明母片160平移脉冲激光束112(例如在平移方向101上),以形成闭合轮廓170的多个缺陷172。将脉冲激光束112引导或定位到透明母片160在透明母片160中产生了诱导吸收,并且在沿着闭合轮廓线165的间隔位置处沉积了足以断裂透明母片160中的化学键的能量,从而形成缺陷172。根据一个或多个实施方式,可以通过移动透明母片160(例如,移动与透明母片160连接的平移台190,如图3所示),移动脉冲激光束(例如,移动脉冲激光束焦线113)或同时移动透明母片160和脉冲激光束焦线113,来使脉冲激光束112平移过透明母片160。通过相对于透明母片160平移脉冲激光束焦线113,可以在透明母片160中形成多个缺陷172。

[0108] 在一些实施方式中,缺陷172一般可以沿着闭合轮廓170而彼此间隔一定的距离,所述距离为约 $0.1\mu\text{m}$ 至约 $500\mu\text{m}$ ,例如,允 $1\mu\text{m}$ 至约 $200\mu\text{m}$ 、约 $2\mu\text{m}$ 至约 $100\mu\text{m}$ 、约 $5\mu\text{m}$ 至约 $20\mu\text{m}$ 等。例如,对于TFT/显示器玻璃组合物,合适的缺陷172之间的间距可以为约 $0.1\mu\text{m}$ 至约 $50\mu\text{m}$ ,例如,约 $5\mu\text{m}$ 至约 $15\mu\text{m}$ 、约 $5\mu\text{m}$ 至约 $12\mu\text{m}$ 、约 $7\mu\text{m}$ 至约 $15\mu\text{m}$ 、或约 $7\mu\text{m}$ 至约 $12\mu\text{m}$ 。在一些实施方式中,相邻缺陷172之间的间距可以是约 $50\mu\text{m}$ 或更小、 $45\mu\text{m}$ 或更小、 $40\mu\text{m}$ 或更小、 $35\mu\text{m}$ 或更小、 $30\mu\text{m}$ 或更小、 $25\mu\text{m}$ 或更小、 $20\mu\text{m}$ 或更小、 $15\mu\text{m}$ 或更小、 $10\mu\text{m}$ 或更小等。进一步地,通过用一个或多个平移台190(图3)来移动透明母片160和/或光束源110,可以进行透明母片160相对于脉冲激光束112的平移。

[0109] 再次参考图1A和图2,用于形成缺陷172的脉冲激光束112还具有强度分布 $I(X, Y, Z)$ ,其中 $Z$ 是脉冲激光束112的传输方向, $X$ 和 $Y$ 是与传输方向正交的方向,如附图所示。 $X$ 方向和 $Y$ 方向也可以被称为截面方向,并且 $X$ - $Y$ 平面可以被称为截面平面。截面平面中的脉冲激光束112的强度分布可以被称为截面强度分布。

[0110] 如下文关于图3所示的光学组件100更详细描述,通过使脉冲激光束112(例如,使用光束源110输出的脉冲激光束112,例如高斯光束)传输通过非球面光学元件120,束斑114或其他截面处的脉冲激光束112可以包含准无衍射光束,例如,如下文数学定义的具有低光束发散度的光束。光束发散度是指光束截面在光束传输方向(即 $Z$ 方向)上的放大率。如本文所用,短语“光束截面”是指脉冲激光束112沿着垂直于脉冲激光束112的光束传输方向的平面,例如沿着 $X$ - $Y$ 平面的截面。本文论述的一种示例性光束截面是投射到透明母片160上的脉冲激光束112的束斑。示例性的准无衍射光束包括高斯-贝塞尔(Gauss-Bessel)光束和贝塞尔光束。

[0111] 衍射是导致脉冲激光束112发散的一个因素。其他因素包括形成脉冲激光束112的光学系统所造成的聚焦或失焦,或者界面处的折射和散射。用于形成闭合轮廓170的缺陷172的脉冲激光束112可以具有发散度低且衍射弱的束斑114。脉冲激光束112的发散度通过瑞利范围 $Z_R$ 表征,其与强度分布的方差 $\sigma^2$ 以及脉冲激光束112的光束传输因子 $M^2$ 有关。在随后的论述中,将提出一些式子并且使用笛卡尔坐标系。可使用本领域技术人员已知的其他数学方法获得针对其他坐标系的对应表达。关于光束发散度的另外信息可在如下文章中找到:A.E.Siegman的题为“New Developments in Laser Resonators”(激光谐振腔的新进展),SPIE研讨会丛书第1224卷第2页(1990)以及R.Borghini和M.Santarsiero的题为“ $M^2$

factor of Bessel-Gauss beams” (《贝塞尔-高斯光束的 $M^2$ 因子》), Optics Letters (《光学快报》), 第22(5)卷, 262(1997), 所述文章的公开内容通过引用全文纳入本文。另外的信息还可在下述文献中找到: 国际标准ISO 11146-1:2005(E)的题为“Lasers and laser-related equipment—Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios—Part 1: Stigmatic and simple astigmatic beams” (激光和激光相关设备——用于激光束宽度、发散角和光束传输比的试验方法——第1部分: 无像散和简单像散光束); ISO 11146-2:2005(E)的题为“Lasers and laser-related equipment—Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios—Part 2: General astigmatic beams” (激光和激光相关设备——激光束宽度、发散角和光束传输比的试验方法——第2部分: 广义象散光束); 以及ISO 11146-3:2004(E)的题为“Lasers and laser-related equipment—Test methods for laser beam widths, divergence angles and beam propagation ratios—Part 3: Intrinsic and geometrical laser beam classification, propagation and details of test methods” (激光和激光相关设备——激光束宽度、发散角和光束传输比的试验方法——第3部分: 内在和几何激光束分类、传输和试验方法细节), 它们的公开内容通过引用全文纳入本文。

[0112] 具有按时间平均的强度分布 $I(x, y, z)$ 的脉冲激光束112的强度分布的形心的空间坐标通过以下表达式给出:

$$[0113] \quad \bar{x}(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x I(x, y, z) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y, z) dx dy} \quad (1)$$

$$[0114] \quad \bar{y}(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} y I(x, y, z) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y, z) dx dy} \quad (2)$$

[0115] 这些表达式也被称为维格纳(Wigner)分布的第一矩, 并且描述于ISO 11146-2:2005(E)的第3.5章节。它们的测量描述于ISO 11146-2:2005(E)的第7章节。

[0116] 方差是在截面(X-Y)平面中的脉冲激光束112的强度分布的宽度作为光束传输方向上的z位置的函数的量度。对于任意的激光束, X方向上的方差可以与Y方向上的方差不同。使 $\sigma_x^2(z)$ 和 $\sigma_y^2(z)$ 分别代表X方向和Y方向上的方差。尤其关注的是近场极限和远场极限中的方差。在近场极限中, 使 $\sigma_{0x}^2(z)$ 和 $\sigma_{0y}^2(z)$ 分别代表X方向和Y方向上的方差, 并且在远场极限中, 使 $\sigma_{\infty x}^2(z)$ 和 $\sigma_{\infty y}^2(z)$ 分别代表X方向和Y方向上的方差。对于具有用傅立叶变换 $\tilde{I}(v_x, v_y)$ 的按时间平均的强度分布 $I(x, y, z)$ 的激光束(其中,  $v_x$ 和 $v_y$ 分别是X方向和Y方向上的空间频率), X方向和Y方向上的近场和远场方差通过以下表达式给出:

$$[0117] \quad \sigma_{0x}^2(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^2 I(x, y, z) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y, z) dx dy} \quad (3)$$

$$[0118] \quad \sigma_{0y}^2(z) = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} y^2 I(x, y, z) dx dy}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} I(x, y, z) dx dy} \quad (4)$$

$$[0119] \quad \sigma_{\infty x}^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} v_x^2 \tilde{I}(v_x, v_y) dv_x dv_y}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{I}(v_x, v_y) dv_x dv_y} \quad (5)$$

$$[0120] \quad \sigma_{\infty y}^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} v_y^2 \tilde{I}(v_x, v_y) dv_x dv_y}{\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{I}(v_x, v_y) dv_x dv_y} \quad (6)$$

[0121] 方差量  $\sigma_{0x}^2(z)$ ,  $\sigma_{0y}^2(z)$ ,  $\sigma_{\infty x}^2$  和  $\sigma_{\infty y}^2$  被称为维格纳分布的对角无素 (参见 ISO 11146-2:2005 (E))。可以使用 ISO 11146-2:2005 (E) 的第7章节中所述的测量技术对实验激光束的这些方差定量。简单来说,所述测量使用线性不饱和像素化检测器来测量有限空间区域上的  $I(x, y)$ , 所述有限空间区域近似于限定方差和形心坐标的积分方程的无限积分区域。测量区域、背景减除和检测器像素分辨率的适当范围由 ISO 11146-2:2005 (E) 第7章节中描述的迭代测量过程的收敛性决定。根据像素化检测器测得的强度值阵列, 数值计算方程1-6所给出的表达式的数值。

[0122] 通过任意光束的横向振幅分布  $\tilde{u}(x, y, z)$  (其中,  $I(x, y, z) \equiv |\tilde{u}(x, y, z)|^2$ ) 与任意光束的空间频率分布  $\tilde{P}(v_x, v_y, z)$  (其中  $\tilde{I}(v_x, v_y) \equiv |\tilde{P}(v_x, v_y, z)|^2$ ) 之间的傅立叶变化关系, 可示出为:

$$[0123] \quad \sigma_x^2(z) = \sigma_{0x}^2(z_{0x}) + \lambda^2 \sigma_{\infty x}^2 (z - z_{0x})^2 \quad (7)$$

$$[0124] \quad \sigma_y^2(z) = \sigma_{0y}^2(z_{0y}) + \lambda^2 \sigma_{\infty y}^2 (z - z_{0y})^2 \quad (8)$$

[0125] 在方程 (7) 和 (8) 中,  $\sigma_{0x}^2(z_{0x})$  和  $\sigma_{0y}^2(z_{0y})$  分别是  $\sigma_{0x}^2(z)$  和  $\sigma_{0y}^2(z)$  的最小值, 其出现在  $x$  方向和  $y$  方向上的腰部位置  $z_{0x}$  和  $z_{0y}$ , 并且  $\lambda$  是脉冲激光束112的波长。方程 (7) 和 (8) 表明,  $\sigma_{0x}^2(z_{0x})$  和  $\sigma_{0y}^2(z_{0y})$  在任何方向上随着  $z$  而从与脉冲激光束112的腰部位置相关的最小值 (例如, 脉冲激光束焦线113的腰部) 按平方增加。进一步地, 在本文所述的包括的束斑114是轴对称的并因此包括轴对称强度分布  $I(x, y)$  的实施方式中,  $\sigma_x^2(z) = \sigma_y^2(z)$ , 并且在本文所述的包括的束斑114是非轴对称的并因此包括非轴对称强度分布  $I(x, y)$  的实施方式中,  $\sigma_x^2(z) \neq \sigma_y^2(z)$ , 即,  $\sigma_x^2(z) < \sigma_y^2(z)$  或  $\sigma_x^2(z) > \sigma_y^2(z)$ 。

[0126] 方程 (7) 和 (8) 可根据光束传输因子  $M^2$  改写, 其中,  $x$  方向和  $y$  方向的分别的光束传输因子  $M_x^2$  和  $M_y^2$  定义为:

$$[0127] \quad M_x^2 \equiv 4\pi \sigma_{0x} \sigma_{\infty x} \quad (9)$$

$$[0128] \quad M_y^2 \equiv 4\pi \sigma_{0y} \sigma_{\infty y} \quad (10)$$

[0129] 重排方程 (9) 和 (10) 并且代入方程 (7) 和 (8) 得到:

$$[0130] \quad \sigma_x^2(z) = \sigma_{0x}^2(z_{0x}) + \frac{\lambda^2 M_x^4}{(4\pi\sigma_{0x})^2} (z - z_{0x})^2 \quad (11)$$

$$[0131] \quad \sigma_y^2(z) = \sigma_{0y}^2(z_{0y}) + \frac{\lambda^2 M_y^4}{(4\pi\sigma_{0y})^2} (z - z_{0y})^2 \quad (12)$$

[0132] 其可改写成:

$$[0133] \quad \sigma_x^2(z) = \sigma_{0x}^2(z_{0x}) \left[ 1 + \frac{(z - z_{0x})^2}{Z_{Rx}^2} \right] \quad (13)$$

$$[0134] \quad \sigma_y^2(z) = \sigma_{0y}^2(z_{0y}) \left[ 1 + \frac{(z - z_{0y})^2}{Z_{Ry}^2} \right] \quad (14)$$

[0135] 其中, x方向和y方向上的瑞利范围 $Z_{Rx}$ 和 $Z_{Ry}$ 分别通过下式给出:

$$[0136] \quad Z_{Rx} = \frac{4\pi\sigma_{0x}^2}{M_x^2\lambda} \quad (15)$$

$$[0137] \quad Z_{Ry} = \frac{4\pi\sigma_{0y}^2}{M_y^2\lambda} \quad (16)$$

[0138] 瑞利范围对应于其中激光束的方差加倍(相对于光束腰部的位置处的方差而言)的距离(相对于光束腰部的位置而言,如ISO 11146-1:2005(E)的章节3.12所定义),并且其是激光束的截面面积的发散度的量度。进一步地,在本文所述的包括的束斑114是轴对称的并因此包括轴对称强度分布 $I(x, y)$ 的实施方式中, $Z_{Rx} = Z_{Ry}$ ,并且在本文所述的包括的束斑114是非轴对称的并因此包括非轴对称强度分布 $I(x, y)$ 的实施方式中, $Z_{Rx} \neq Z_{Ry}$ ,即, $Z_{Rx} < Z_{Ry}$ 或 $Z_{Rx} > Z_{Ry}$ 。瑞利范围还可作为沿着光束轴的距离来观察,在该距离处,瑞利强度衰减到在束腰位置处(最大强度的位置)观察到的其值的一半。瑞利范围大的光辉束具有低的发散度因子,并且相比于具有小瑞利范围的激光束,在光束传输方向上随着距离扩展得更慢。

[0139] 通过使用描述激光束的强度分布 $I(x, y, z)$ ,上式可应用于任何激光束(不只是高斯光束)。在高斯光束的TEM<sub>00</sub>模式的情况下,强度分布通过下式给出:

$$[0140] \quad I(x, y) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} w_0 e^{-\frac{2(x^2+y^2)}{w_0^2}} \quad (17)$$

[0141] 其中, $w_0$ 是半径(定义为光束强度降低到光束在束腰位置 $z_0$ 处的光束的峰值强度的 $1/e^2$ 的半径)。根据方程(17)和以上各式,获得TEM<sub>00</sub>高斯光束的以下结果:

$$[0142] \quad \sigma_{0x}^2 = \sigma_{0y}^2 = \frac{w_0^2}{4} \quad (18)$$

$$[0143] \quad \sigma_{\infty x}^2 = \sigma_{\infty y}^2 = \frac{1}{4\pi^2 w_0^2} \quad (19)$$

$$[0144] \quad M_x^2 = 4\pi\sigma_{0x}\sigma_{\infty x} = 1 \quad (20)$$

$$[0145] \quad M_y^2 = 4\pi\sigma_{0y}\sigma_{\infty y} = 1 \quad (21)$$

$$[0146] \quad Z_{Rx} = \frac{4\pi\sigma_{0x}^2}{M_x^2\lambda} = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (22)$$

$$[0147] \quad Z_{Ry} = \frac{4\pi\sigma_{0y}^2}{M_y^2\lambda} = \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (23)$$

$$[0148] \quad w^2(z) = w_0^2 + \frac{\lambda^2}{(\pi w_0)^2} (z - z_0)^2 = w_0^2 \left[ 1 + \frac{(z - z_0)^2}{Z_R^2} \right] \quad (24)$$

[0149] 其中,  $Z_R = Z_{Rx} = Z_{Ry}$ 。对于高斯光束, 还应注意,  $M^2 = M_x^2 = M_y^2 = 1$ 。

[0150] 光束截面以形状和尺寸为特征。光束截面的尺寸以光束的光束尺寸为特征。对于高斯光束, 光斑尺寸常定义为光束强度下降到其最大值的  $1/e^2$  处的径向伸长, 在方程 (17) 中表示为  $w_0$ 。高斯光束的最大强度出现在强度分布的中心 ( $x=0$  且  $y=0$  (笛卡尔) 或  $r=0$  (圆柱)) 处, 并且相对于中心来测量用于确定光束尺寸的径向伸长。

[0151] 具有轴对称 (即, 围绕光束传输轴  $Z$  旋转对称) 截面的光束可以通过在光束腰部位置处测得的单一维度或光斑尺寸来表征, 如 ISO 11146-1:2005 (E) 的第 3.12 章节所规定的。对于高斯光束, 方程 (17) 显示光束尺寸等于  $w_0$ , 根据方程 (18), 这对应于  $2\sigma_{0x}$  或  $2\sigma_{0y}$ 。对于具有轴对称截面 (例如圆形截面) 的轴对称性光束,  $\sigma_{0x} = \sigma_{0y}$ 。因此, 对于轴对称性光束, 截面尺寸可以用单个光束尺寸参数表征, 其中,  $w_0 = 2\sigma_0$ 。对于非轴对称性光束截面, 光斑尺寸可以类似地定义, 其中, 不同于轴对称性光束,  $\sigma_{0x} \neq \sigma_{0y}$ 。因此, 当光束的光斑尺寸是非轴对称时, 需要用两个光斑尺寸参数表征非轴对称性光束的截面尺寸, 所述两个光束尺寸参数分别是  $x$  方向和  $y$  方向上的  $w_{0x}$  和  $w_{0y}$ , 其中:

$$[0152] \quad w_{0x} = 2\sigma_{0x} \quad (25)$$

$$[0153] \quad w_{0y} = 2\sigma_{0y} \quad (26)$$

[0154] 另外, 对于非轴对称性光束, 缺少轴向 (即, 任意旋转角) 对称性意味着  $\sigma_{0x}$  或  $\sigma_{0y}$  的计算将取决于  $X$  轴和  $Y$  轴的取向的选择。ISO 11146-1:2005 (E) 将这些参比轴称为功率密度分布的主轴 (第 3.3-3.5 章节), 在下文的论述中, 将假设  $X$  轴和  $Y$  轴与这些主轴对齐。进一步地,  $X$  轴和  $Y$  轴可以在截面中旋转的角度  $\phi$  (例如,  $X$  轴和  $Y$  轴分别相对于  $X$  轴和  $Y$  轴的参比位置的角度) 可以用于定义非轴对称性光束的光斑尺寸参数的最小值 ( $w_{0, \text{最小}}$ ) 和最大值 ( $w_{0, \text{最大}}$ ):

$$[0155] \quad w_{0, \text{最小}} = 2\sigma_{0, \text{最小}} \quad (27)$$

$$[0156] \quad w_{0, \text{最大}} = 2\sigma_{0, \text{最大}} \quad (28)$$

[0157] 其中,  $2\sigma_{0, \text{最小}} = 2\sigma_{0x}, (\phi_{\text{最小}, x}) = 2\sigma_{0y}, (\phi_{\text{最小}, y})$ , 并且  $2\sigma_{0, \text{最大}} = 2\sigma_{0x}, (\phi_{\text{最大}, x}) = 2\sigma_{0y}, (\phi_{\text{最大}, y})$ 。

[0158] 光束截面的轴向不对称性的大小可通过纵横比来定义, 其中, 纵横比定义为  $w_{0, \text{最大}}$

与 $w_{0,最小}$ 的比值。轴向对称性光束截面的纵横比为1.0,而椭圆和非轴向对称的截面的纵横比大于1.0,例如,大于1.1、大于1.2、大于1.3、大于1.4、大于1.5、大于1.6、大于1.7、大于1.8、大于1.9、大于2.0、大于3.0、大于5.0、大于10.0等。

[0159] 为了促进在光束传输方向(例如,透明母片160的深度尺寸)上的缺陷172的均匀性,可以使用具有低发散度的脉冲激光束112。在一个或多个实施方式中,具有低发散度的脉冲激光束112可以用于形成缺陷172。如上所述,发散度可以通过瑞利范围来表征。对于非轴对称性光束,主轴X和Y的瑞利范围分别通过针对X方向和Y方向的方程(15)和(16)来定义,其中,可以显示出对于任何真实光束, $M_x^2 > 1$ 并且 $M_y^2 > 1$ ,并且其中, $\sigma_{0x}^2$ 和 $\sigma_{0y}^2$ 由激光束的强度分布决定。对于对称性光束,X方向和Y方向上的瑞利范围相同,并且由方程(22)或方程(23)表示。低发散度与激光束的大瑞利范围值和弱的衍射相关。

[0160] 对于通过激光加工形成缺陷172来说,具有高斯强度分布的光束可能不是那么优选,这是因为,当它们聚焦成足够小的光斑尺寸(例如在几微米范围内的光斑尺寸,例如约1-5 $\mu\text{m}$ 或约1-10 $\mu\text{m}$ 的光斑尺寸)以使得到的激光脉冲能够改变材料(例如玻璃)时,它们在短的传输距离内高度衍射并显著发散。为了实现低发散,期望控制或优化脉冲激光束的强度分布以减少衍射。脉冲激光束可以是无衍射或弱衍射的。弱衍射的激光束包括准无衍射激光束。代表性的弱衍射的激光束包括贝塞尔光束、高斯-贝塞尔光束、艾里(Airy)光束、韦伯(Weber)光束和马丢(Mathieu)光束。

[0161] 对于非轴对称性光束,瑞利范围 $Z_{Rx}$ 和 $Z_{Ry}$ 不相等。方程(15)和(16)表明, $Z_{Rx}$ 和 $Z_{Ry}$ 分别取决于 $\sigma_{0x}$ 和 $\sigma_{0y}$ ,并且上文注意到 $\sigma_{0x}$ 和 $\sigma_{0y}$ 取决于X轴和Y轴的取向。因此, $Z_{Rx}$ 和 $Z_{Ry}$ 的值将变化,并且每者将具有与主轴对应的最小值和最大值,其中, $Z_{Rx}$ 的最小值表示为 $Z_{Rx,最小}$ 并且 $Z_{Ry}$ 的最小值表示为 $Z_{Ry,最小}$ ,对于任意光束分布,其可通过下示给出:

$$[0162] \quad Z_{Rx,最小} = \frac{4\pi\sigma_{0,最小}^2}{M_x^2\lambda} \quad (29)$$

$$[0163] \quad Z_{Ry,最小} = \frac{4\pi\sigma_{0,最小}^2}{M_y^2\lambda} \quad (30)$$

[0164] 由于激光束的发散在具有最小瑞利范围的方向上在较短的距离内发生,因此可以控制用于形成缺陷172的脉冲激光束112的强度分布以使 $Z_{Rx}$ 和 $Z_{Ry}$ 的最小值(或者对于轴对称性光束, $Z_R$ 的值)尽可能地大。由于非轴对称性光束的 $Z_{Rx}$ 的最小值 $Z_{Rx,最小}$ 与 $Z_{Ry}$ 的最小值 $Z_{Ry,最小}$ 不同,因此,可以使用脉冲激光束112并且当形成损伤区域时,所述脉冲激光束112的强度分布使 $Z_{Rx,最小}$ 与 $Z_{Ry,最小}$ 中的较小者尽可能地大。

[0165] 在不同的实施方式中, $Z_{Rx,最小}$ 与 $Z_{Ry,最小}$ 中的较小者(或者对于轴对称性光束, $Z_R$ 的值)大于或等于50 $\mu\text{m}$ 、大于或等于100 $\mu\text{m}$ 、大于或等于200 $\mu\text{m}$ 、大于或等于300 $\mu\text{m}$ 、大于或等于500 $\mu\text{m}$ 、大于或等于1mm、大于或等于2mm、大于或等于3mm、大于或等于5mm、在50 $\mu\text{m}$ 至10mm的范围内、在100 $\mu\text{m}$ 至5mm的范围内、在200 $\mu\text{m}$ 至4mm的范围内、在300 $\mu\text{m}$ 至2mm的范围内等。

[0166] 通过调整方程(27)中定义的光斑尺寸参数 $w_{0,最小}$ ,对于工件对其是透明的不同波长来说,可实现本文中规定的 $Z_{Rx,最小}$ 与 $Z_{Ry,最小}$ 中的较小者(或者对于轴对称性光束, $Z_R$ 的值)的

数值和范围。在不同的实施方式中,光斑尺寸参数 $w_{0,最小}$ 大于或等于 $0.25\mu\text{m}$ ,大于或等于 $0.50\mu\text{m}$ ,大于或等于 $0.75\mu\text{m}$ ,大于或等于 $1.0\mu\text{m}$ ,大于或等于 $2.0\mu\text{m}$ ,大于或等于 $3.0\mu\text{m}$ ,大于或等于 $5.0\mu\text{m}$ ,在 $0.25\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 的范围内,在 $0.25\mu\text{m}$ 至 $5.0\mu\text{m}$ 的范围内,在 $0.25\mu\text{m}$ 至 $2.5\mu\text{m}$ 的范围内,在 $0.50\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 的范围内,在 $0.50\mu\text{m}$ 至 $5.0\mu\text{m}$ 的范围内,在 $0.50\mu\text{m}$ 至 $2.5\mu\text{m}$ 的范围内,在 $0.75\mu\text{m}$ 至 $10\mu\text{m}$ 的范围内,在 $0.75\mu\text{m}$ 至 $5.0\mu\text{m}$ 的范围内,在 $0.75\mu\text{m}$ 至 $2.5\mu\text{m}$ 的范围内等。

[0167] 无衍射或准无衍射光束一般具有复杂的强度分布,例如相比于半径非单调下降的强度分布。通过与高斯光束类比,可将非轴对称性光束的有效光束尺寸 $w_{0,有效}$ 定义为在任何方向上,强度从最大强度的径向位置( $r=0$ )降低到最大强度的 $1/e^2$ 处的最短径向距离。进一步地,对于轴对称性光束, $w_{0,有效}$ 是强度从最大强度的径向位置( $r=0$ )降低到最大强度的 $1/e^2$ 的距离。基于非轴对称性光束的有效光斑尺寸 $w_{0,有效}$ 或者轴对称性光束的光斑尺寸 $w_0$ 的瑞利范围的标准可规定为利用以下非轴对称性光束的方程(31)或轴对称性光束的方程(32)形成损伤区域的无衍射或准无衍射光束:

$$[0168] \quad Z_{R_{x,最小}}, Z_{R_{y,最小}} \text{中的较小者} > F_D \frac{\pi w_{0,有效}^2}{\lambda} \quad (31)$$

$$[0169] \quad Z_R > F_D \frac{\pi w_0^2}{\lambda} \quad (32)$$

[0170] 其中 $F_D$ 是无量纲的发散度因子,其值为至少10、至少50、至少100、至少250、至少500、至少1000、在10至2000的范围内、在50至1500的范围内、在100至1000的范围内。通过将方程(31)与方程(22)或(23)进行比较,可看到,对于无衍射或准无衍射的光束,在方程(31)中的 $Z_{R_{x,最小}}, Z_{R_{y,最小}}$ 中的较小者的距离内,有效光束尺寸加倍,并且该距离是若使用经典的高斯光束分布所预计的距离的 $F_D$ 倍。无量纲的发散度因子 $F_D$ 为确定激光束是否准无衍射提供了标准。如本文所用,如果激光束的特征满足方程(31)或方程(32)并且 $F_D$ 的值 $\geq 10$ ,则认为脉冲激光束112是准无衍射的。随着 $F_D$ 的值增加,脉冲激光束112接近于更近完美的无衍射状态。另外,应理解,方程(32)仅是方程(31)的简化,因此,方程(31)在数学上描述了轴对称和非轴对称性脉冲激光束112二者的无量纲的发散度因子 $F_D$ 。

[0171] 现在参考图3,其示意性地描绘了用于产生准无衍射的脉冲激光束112的光学组件100,并且利用非球面光学元件120(例如,轴棱锥122),所述脉冲激光束112在透明母片160处形成了脉冲激光束焦线113。光学组件100包括光束源110以及第一透镜130和第二透镜132,所述光束源110输出脉冲激光束112。

[0172] 另外,可以对透明母片160进行定位,以使由光束源110输出的脉冲激光束112照射透明母片160,例如在穿过非球面光学元件120并随后穿过第一透镜130和第二透镜132之后照射。光学轴102沿着Z轴在光束源110与透明母片160之间延伸,使得当光束源110输出脉冲激光束112时,脉冲激光束112的光束路径111沿着光轴102延伸。如本文所用,“上游”和“下游”是指沿着光束路径111的两个位置或部件相对于光束源110的相对位置。例如,如果脉冲激光束112先穿过第一部件再穿过第二部件,则第一部件位于第二部件的上游。此外,如果脉冲激光束112先穿过第二部件再穿过第一部件,则第一部件位于第二部件的下游。

[0173] 仍然参考图3,光束源110可以包含被构造用于输出脉冲激光束112的任何已知或仍待开发的光束源110。在操作时,闭合轮廓170的缺陷172(图1A和2)通过透明母片160与光

束源110所输出的脉冲激光束112相互作用来产生。在一些实施方式中,光束源110可以输出例如包含以下波长的脉冲激光束112,所述波长为1064nm、1030nm、532nm、530nm、355nm、343nm、或266nm、或215nm。另外,用于在透明母片160中形成缺陷172的脉冲激光束112可以很好地适用于对选定的脉冲激光波长是透明的材料。

[0174] 适用于形成缺陷172的激光波长是透明母片160的线性吸收和散射的组合损耗足够低时的波长。在实施方式中,在所述波长下,由于透明母片160的线性吸收和散射导致的组合损耗小于20%/mm、或小于15%/mm、或小于10%/mm、或小于5%/mm、或小于1%/mm,其中,量纲“/mm”意为在透明母片160中,在脉冲激光束112的光束传输方向(例如Z方向)上的每毫米距离。对于许多玻璃工件,代表性的波长包括Nd<sup>3+</sup>的基波波长和谐波波长(例如Nd<sup>3+</sup>:YAG或Nd<sup>3+</sup>:YVO<sub>4</sub>的基波波长在1064nm附近,高阶谐波波长在532nm、355nm和266nm附近)。也可以使用满足给定基材材料的线性吸收和散射组合损耗要求的光谱中的紫外、可见和红外部分中的其他波长。

[0175] 在操作时,由光束源110输出的脉冲激光束112可以在透明工件160中产生多光子吸收(MPA)。MPA是频率相同或不同的两个或更多个光子的同时吸收,其将分子从一种状态(通常是基态)激发到更高能量的电子态(即电离)。所涉及的分子的低能态与高能态之间的能量差等于所涉及的光子的能量总和。MPA也被称为诱导吸收,其可以是例如比线性吸收弱几个数量级的二阶或三阶过程(或更高阶过程)。其与线性吸收的不同之处在于,二阶诱导吸收的强度可以例如与光强度的平方成比例,因此其是非线性光学过程。

[0176] 形成所述一个或多个闭合轮廓170(图1A和图2)的穿孔步骤可以使用光束源110(例如超短脉冲激光)并结合非球面光学元件120、第一透镜130和第二透镜132,以将束斑114投射在透明母片160上并产生脉冲激光束焦线113。脉冲激光束焦线113包含准无衍射光束,例如上文定义的高斯-贝塞尔光束或贝塞尔光束,并且可以完全穿透透明母片160而在透明母片160中形成缺陷172,其可以形成闭合轮廓170。在一些实施方式中,各个脉冲的脉冲持续时间在约1飞秒至约200皮秒的范围内,例如约1皮秒至约100皮秒,5皮秒至约20皮秒,并且各个脉冲的重复率可以在约1kHz至4MHz的范围内,例如在约10kHz至约3MHz的范围内、或约10kHz至约650kHz的范围内。

[0177] 还参考图4A和4B,除了以上文提及的各脉冲重复率进行单一脉冲操作,也可以具有两个脉冲500A(例如子脉冲)或更多个脉冲的脉冲串500来产生脉冲(例如,每个脉冲串具有3个子脉冲、4个子脉冲、5个子脉冲、10个子脉冲、15个子脉冲、20个子脉冲、或更多个子脉冲,例如,每个脉冲串500具有1至30个子脉冲,或者每个脉冲串500具有5至20个子脉冲)。虽然不旨在受理论限制,但是脉冲串是短且快的子脉冲组,其在使用单脉冲操作时不轻易可及的时间尺度内产生与材料的光学能量相互作用(即,在透明母片160的材料中的MPA)。虽然不旨在受理论限制,但是脉冲串(即,脉冲的组)内的能量得以保存。作为示例性实例,对于具有100μJ/脉冲串的能量以及2个子脉冲的脉冲串,该100μJ/脉冲串能量在该2个脉冲之间分裂给每个子脉冲50μJ的平均能量,并且对于具有100μJ/脉冲串的能量以及10个子脉冲的脉冲串,该100μJ/脉冲串能量在该10个脉冲之间分裂给每个子脉冲10μJ的平均能量。另外,脉冲串的子脉冲之间的能量分布无需是均匀的。事实上,在一些情况中,脉冲串的子脉冲之间的能量分布为指数衰减形式,其中,脉冲串的第一子脉冲含有最多能量,脉冲串的第二子脉冲含有略微较少的能量,脉冲串的第三子脉冲含有甚至更少的能量,以此类推。然

而,在各脉冲串中的其他能量分布也是可行的,其中,可以定制每个子脉冲的精确能量以起到对透明母片160改性不同量的作用。

[0178] 虽然仍不旨在受理论限制,但是当用具有至少两个子脉冲的脉冲串形成所述一个或多个闭合轮廓170的缺陷172时,相比于使用单脉冲激光在同样的透明母片160中形成的在相邻缺陷172之间具有相同间距并且具有相同形状的闭合轮廓170的最大抗断裂性),沿着闭合轮廓170分离透明母片160所需的力(即,最大抗断裂性)有所减小。例如,使用单一脉冲形成的闭合轮廓170的最大抗断裂性比使用具有2个或更多个子脉冲的脉冲串形成的闭合轮廓170的最大抗断裂性大至少2倍。另外,使用单一脉冲形成的闭合轮廓170与使用具有2个子脉冲的脉冲串形成的闭合轮廓170之间的最大抗断裂性的差大于使用具有2个子脉冲串的脉冲串所形成的闭合轮廓170与使用具有3个子脉冲的脉冲串所形成的闭合轮廓170之间的最大抗断裂性的差。因此,脉冲串可以用于形成闭合轮廓170,其比使用单一脉冲激光形成的闭合轮廓170更易分离。

[0179] 仍然参考图4A和4B,脉冲串500中的子脉冲500A可以间隔某个持续时间,该持续时间在约1纳秒至约50纳秒的范围内,例如约10纳秒至约30纳秒,例如约20纳秒。在其他实施方式中,脉冲串500中的子脉冲500A可以间隔的持续时间为最高至100皮秒(例如0.1皮秒、5皮秒、10皮秒、15皮秒、18皮秒、20皮秒、22皮秒、25皮秒、30皮秒、50皮秒、75皮秒或它们之间的任何范围)。对于给定的激光,脉冲串500中的相邻子脉冲500A之间的时间间隔 $T_p$ (图4B)可以相对较均匀(例如彼此相差在约10%内)。例如,在一些实施方式中,脉冲串500中的每个子脉冲500A与后续的子脉冲在时间上间隔约20纳秒(50MHz)。另外,每个脉冲串500之间的时间可以为约0.25微秒至约1000微秒,例如约1微秒至约10微秒、或约3微秒至约8微秒。

[0180] 在本文所述的光束源110的一些示例性实施方式中,对于所输出的脉冲激光束112包含约200kHz的脉冲串重复率的光束源110来说,时间间隔 $T_b$ (图4B)为约5微秒。激光脉冲串重复率与一个脉冲串中的第一脉冲到后续脉冲串中的第一脉冲之间的时间 $T_b$ 有关(激光脉冲串重复率 $=1/T_b$ )。在一些实施方式中,激光脉冲串重复率可以在约1kHz至约4MHz的范围内。在实施方式中,激光脉冲串重复率可以在例如约10kHz至650kHz的范围内。每个脉冲串中的第一脉冲至后续脉冲串中的第一脉冲之间的时间 $T_b$ 可以为约0.25微秒(4MHz脉冲串重复率)至约1000微秒(1kHz脉冲串重复率),例如约0.5微秒(2MHz脉冲串重复率)至约40微秒(25kHz脉冲串重复率)、或约2微秒(500kHz脉冲串重复率)至约20微秒(50kHz脉冲串重复率)。精确的计时、脉冲持续时间和脉冲串重复率可以根据激光设计而变化,但是具有高强度的短脉冲( $T_d < 20$ 皮秒,在一些实施方式中 $T_d \leq 15$ 皮秒)显示出特别有效。

[0181] 脉冲串重复率可以在约1kHz至约2MHz的范围内,例如约1kHz至约200kHz。爆发或产生脉冲串500是一种激光操作类型,其中子脉冲500A不以均匀且稳定的流的形式发射而是以脉冲串500的密集簇的形式发射。脉冲串激光束的波长可以基于在其针对操作的透明母片160的材料来选择,使得透明母片160的材料在该波长下是基本透明的。在材料处测得的每个脉冲串的平均激光功率可以是每毫米材料厚度为至少约40 $\mu$ J。例如,在实施方式中,每个脉冲串的平均激光功率可以为约40 $\mu$ J/mm至约2500 $\mu$ J/mm、或约500 $\mu$ J/mm至约2250 $\mu$ J/mm。在特定的实例中,对于0.5mm至0.7mm厚的康宁EAGLE XG<sup>®</sup>透明工件,约300 $\mu$ J至约600 $\mu$ J的脉冲串可以切割和/或分离工件,这对应于约428 $\mu$ J/mm至约1200 $\mu$ J/mm的示例性范围(即,

0.7mm EAGLEXG<sup>®</sup>玻璃为300μJ/0.7mm,以及0.5mm EAGLEXG<sup>®</sup>玻璃为600μJ/0.5mm)。

[0182] 改变透明母片160所需的能量是脉冲能,其可以根据脉冲串能量(即,脉冲串500中所含的能量,其中每个脉冲串500含有一系列子脉冲500A)来描述,或者根据单个激光脉冲(多个激光脉冲可以构成脉冲串)中所含的能量来描述。脉冲能量(例如,脉冲串能量)可以为约25μJ至约750μJ,例如约50μJ至约500μJ、或约50μJ至约250μJ。对于一些玻璃组合物,脉冲能量(例如,脉冲串能量)可以为约100μJ至约250μJ。然而,对于显示器或TFT玻璃组合物,脉冲能量(例如,脉冲串能量)可以更高(例如取决于透明母片160的具体玻璃组成,为约300μJ至约500μJ、或约400μJ至约600μJ)。

[0183] 虽然不旨在受理论限制,但是使用能够产生这种脉冲串的脉冲激光束112对于切割或改变透明材料(例如玻璃,例如透明母片160)是有利的。与使用时间上间隔单脉冲激光的重复率的各单脉冲相比,使用脉冲串序列并且所述脉冲串序列使激光能在脉冲串中的快速脉冲序列内扩散,可以获得比单脉冲激光可实现的更大的与材料高强度相互作用的时间尺度。脉冲串的使用(不同于单脉冲操作)增大了缺陷172的尺寸(例如,截面尺寸),当沿着所述一个或多个闭合轮廓170分离透明母片160以形成透明制品210(图5)时,这促进了相邻缺陷172的连接,从而最大程度地减少了透明制品210中的裂纹形成(图5)。另外,使用脉冲串来形成缺陷172增加了裂纹从每个缺陷172向外延伸到透明母片160的本体材料中的取向的随机性,使得从缺陷172向外延伸的各个裂纹不影响或偏置闭合轮廓170分离形成对应的透明制品210(图5A),因此缺陷172的分离跟随着闭合轮廓170,从而最大程度地减少了延伸到透明制品210和剩余的透明母片160(即,透明母片160的框架部分220)中的裂纹的形成。

[0184] 再次参考图3,非球面光学元件120定位在光束源110与透明母片160之间的光束路径111中。在操作时,使脉冲激光束112(例如入射的高斯光束)传输通过非球面光学元件120可以改变脉冲激光束112,使得传输超过非球面光学元件120的脉冲激光束112的部分是如上所述的准无衍射的。非球面光学元件120可以包括含有非球面形状的任何光学元件。在一些实施方式中,非球面光学元件120可以包含产生锥形波阵面的光学元件,例如轴棱锥透镜,例如负折射轴棱锥透镜(例如,负轴棱锥)、正折射轴棱锥透镜、反射轴棱锥透镜、衍射轴棱锥透镜、可编程的空间光调制器轴棱锥透镜(例如相位轴棱锥)等。

[0185] 在一些实施方式中,非球面光学元件120包含至少一个非球面表面,其形状在数学上可以描述为:

$$[0186] \quad z' = (cr^2/1) + (1 - (1+k)(c^2r^2))^{1/2} + (a_1r + a_2r^2 + a_3r^3 + a_4r^4 + a_5r^5 + a_6r^6 + a_7r^7 + a_8r^8 + a_9r^9 + a_{10}r^{10} + a_{11}r^{11} + a_{12}r^{12})$$

[0187] 其中 $z'$ 是非球面表面的表面下垂, $r$ 是径向方向上(例如,在X方向或Y方向上)的非球面表面与光轴102之间的距离, $c$ 是非球面表面的表面曲率(即, $c_i = 1/R_i$ ,其中 $R$ 是非球面表面的表面半径), $k$ 是锥形常数,并且系数 $a_i$ 是描述非球面表面的一阶到十二阶非球面系数或更高阶非球面系数(多项式非球面)。在一个示例性实施方式中,非球面光学元件120的至少一个非球面表面分别包括以下系数 $a_1$ - $a_7$ ,其分别为:-0.085274788;0.065748845;0.077574995;-0.054148636;0.022077021;-0.0054987472;0.0006682955;并且非球面系数 $a_8$ - $a_{12}$ 为0。在该实施方式中,所述至少一个非球面表面具有锥形常数 $k=0$ 。然而,由于 $a_1$ 系数是非零值,这等效于具有非零值的锥形常数 $k$ 。因此,等效表面可以通过规定锥形常数 $k$ 是非零的,系数 $a_1$ 是非零的或者非零 $k$ 和非零系数 $a_1$ 的组合来描述。另外,在一些实施方式

中,所述至少一个非球面表面通过至少一个具有非零值的更高阶非球面系数 $a_2$ - $a_{12}$ (即, $\dots a_2, a_3, \dots, a_{12}$ 中的至少一者 $\neq 0$ )来描述或定义。在一个示例性实施方式中,非球面光学元件120包括三阶非球面光学元件,例如,立方光学元件,其包括不为零的系数 $a_3$ 。

[0188] 在一些实施方式中,当非球面光学元件120包含轴棱锥122(如图3所示)时,轴棱锥122可以具有激光输出表面126(例如锥形表面),其具有约 $1.2^\circ$ 的角度,例如约 $0.5^\circ$ 至约 $5^\circ$ ,或约 $1^\circ$ 至约 $1.5^\circ$ ,或者甚至约 $0.5^\circ$ 至约 $20^\circ$ ,所述角度相对于脉冲激光束112进入轴棱锥122时的激光输入表面124(例如平坦表面)测得。另外,激光输出表面126终止于锥形尖端。此外,非球面光学元件120包含中心线轴125,其从激光输入表面124延伸到激光输出表面126并终止于锥形尖端。在其他实施方式中,非球面光学元件120可以包含逆向反射锥面镜对(waxicon)、空间相位调制器如空间光调制器、或衍射光栅。在操作时,非球面光学元件120将入射的脉冲激光束112(例如入射的高斯光束)整形为准无衍射光束,其进而被引导通过第一透镜130和第二透镜132。

[0189] 仍然参考图3,第一透镜130位于第二透镜132上游,并且可以使脉冲激光束112在第一透镜130与第二透镜132之间的准直空间134中准直。另外,第二透镜132可以将脉冲激光束112聚焦到透明母片160中,所述透明母片160可以定位在成像平面104处。在一些实施方式中,第一透镜130和第二透镜132各自包含平凸透镜。当第一透镜130和第二透镜132各自包含平凸透镜时,第一透镜130和第二透镜132的曲率可以各自向着准直空间134取向。在其他实施方式中,第一透镜130可以包含其他准直透镜,而第二透镜132可以包含弯月形透镜、非球面镜或另一种高阶校准聚焦透镜。

[0190] 现在参考图5A-8E,将更详细地描述由透明母片形成透明制品。具体地,图5A-7B描绘了透明工件组件,其包括透明制品以及由透明母片形成的框架部分。另外,图8A-8E描绘了激光加工透明母片以由透明母片形成一个或多个透明制品的步骤。

[0191] 现在参考图5A,在从透明母片(例如,图1A-3所示的透明母片160)或图8A-8C所示的透明母片360)分离一个或多个透明制品210后,之前为单一的透明母片现在构成了透明工件组件200,其包括所述一个或多个透明制品210以及围绕所述一个或多个透明制品210的框架部分220。在本文所述的各个实施方式中,框架部分220也可以被称为透明母片的剩余部分或透明母片的框架部分。

[0192] 图5B是图5A的透明工件组件200的截面图,如图5B所示,所述一个或多个透明制品210各自包括第一主表面212和第二主表面214,其可以与第一主表面212相对。另外,所述一个或多个透明制品210各自包括一个或多个侧表面216,其在第一主表面212与第二主表面214之间延伸。另外,框架部分220包括第一主表面222和第二主表面224,其可以与第一主表面222相对。框架部分220还包括一个或多个内表面226和外表面228。特别地,框架220的外表面228是与从其中分离出透明制品210的透明母片的周界表面相同的表面。另外,所述一个或多个透明制品210中的至少一个透明制品与框架部分220的所述一个或多个内表面226中的至少一个内表面摩擦性接合,以使所述一个或多个透明制品210中的每个透明制品210与框架部分220接合。例如,所述一个或多个透明制品210中的至少一个透明制品210的一个或多个侧表面216中的至少一个侧表面可以与框架部分220的内表面226直接摩擦性接合。相邻透明制品之间和/或透明制品与框架部分之间的这些摩擦性接合界面在本文中被称为“经分离的轮廓”。另外,如本文中所述的,如果经分离的轮廓在具体的透明制品与另一个透

明制品之间、与框架部分之间或者与另一个透明制品和框架部分之间形成摩擦性接合界面,则经分离的轮廓与具体的透明制品相关。

[0193] 如图5A和5B所示,透明工件组件200可以包括多个透明制品210,例如,第一透明制品210a、第二透明制品210b、第三透明制品210c、第四透明制品210d和第五透明制品210e。在一些实施方式中,所述一个或多个透明制品210可以包括透明制品210的内阵列211和透明制品210的外阵列213。外阵列213中的每个透明制品210与框架部分220摩擦性接合,并且内阵列211中的每个透明制品210通过外阵列213中的至少一个透明制品210而与框架部分220分离。另外,内阵列211的其中至少一个透明制品210与外阵列213的透明制品210摩擦性接合。在图5A和5B所示的实施方式中,第一透明制品210a和第五透明制品210e是外阵列213的部分,并且与框架部分220摩擦性接合,而第二、第三和第四透明制品220b-220d是内阵列221的部分。第二透明制品210b位于第一透明制品210a与第三透明制品210c之间并且与它们摩擦性接合,而第四透明制品210d位于第三透明制品210c与第五透明制品210e之间并且与它们摩擦性接合。另外,在一些实施方式中,内阵列211可以包括仅与内阵列211的其他透明制品210摩擦性接合的至少一个透明制品210。

[0194] 现在参考图6A和6B,其描绘了透明工件组件200'。如图6A所示,透明工件组件200'包括多个透明制品210,其各自通过一部分的框架部分220彼此分离。图6B是图6A的透明工件组件200'的截面图,如图6B所示,所述一个或多个透明制品210各自包括第一主表面212和第二主表面214,其可以与第一主表面214相对。另外,所述一个或多个透明制品210各自包括一个或多个侧面216,其与框架部分220的内表面226摩擦性接合。虽然图5A-6B的实施方式中未示出,但是透明制品210可以彼此接触,并且与不是框架部分220的部分并在透明制品210之间的透明工件组件200的离散部分接触,例如,在透明制品210包括圆化直角的实施方式中是如此。虽然图5A-6B中也未示出,但是设想了其中的一些透明制品210与其他透明制品摩擦性接合(类似于图5A和5B)以及其中的一些透明制品210仅与框架部分220摩擦性接合(类似于图6A和6B)的实施方式。

[0195] 现在参考图5A-6B,透明工件组件200,200'还可以包括设置在框架部分220中的一个或多个释放线230。释放线230可以由第一激光形成,所述第一激光在框架部分220中形成多个缺陷(类似于图1A和2的缺陷172),并且随后沿着释放线230分离框架部分220。在一些实施方式中,释放线230可以在透明制品210与框架部分220的外表面228之间延伸,例如,如图5A和5B所示。进一步地,如图6A所示,释放线230也可以在透明制品210之间延伸。在操作时,沿着所述一个或多个释放线230分离框架部分220(例如,通过沿着释放线230或在释放线230附近引导红外激光束,向释放线230施加机械力等)可以释放透明制品210而不与框架部分220摩擦性接合,从而使透明制品210不与框架部分220接触。

[0196] 在一些实施方式中,至少一个释放线230可以延伸向外表面228但不到达外表面228,以使至少一个释放线230通过凹槽部分235而与外表面228分离。凹槽部分235包括位于释放线230与外表面228之间的框架部分220的实体部分。在一些实施方式中,凹槽部分235从外表面228延伸到至少一个释放线230,在一些实施方式中,一个释放线230可以从外表面228延伸到凹槽部分235,而另一个释放线可以从该凹槽部分235延伸到框架部分220的内表面226。

[0197] 在操作时,通过形成一个或多个释放线230,同时在释放线230与外表面228之间留

下凹槽部分235,可以沿着释放线230分离框架部分220(例如,通过沿着释放线230或在释放线230附近引导红外激光束,向释放线230施加机械力等)而不会从与框架部分220的摩擦性接合中释放透明制品210。这允许在分离闭合轮廓170的相同的操作步骤期间分离释放线230(例如,使用相同或相似的制造设备),但不会从与框架部分220的摩擦性接合中释放透明制品210。

[0198] 现在参考图7A和7B,其示意性地描绘了透明工件组件200”,所述透明工件组件200”包括透明制品210、框架部分220以及释放线230,所述释放线230包括释放周界232和一个或多个释放支线234。释放周界232被设置在框架部分220中并且包围所述一个或多个透明制品210。释放周界232接触框架部分220的所述一个或多个内表面226并且限制透明制品210。释放支线234从释放周界232延伸向外表面228。在一些实施方式中,所述一个或多个释放支线234从释放周界232延伸到外表面228。在其他实施方式中,所述一个或多个释放支线234可以从释放周界232延伸并且凹槽部分235可以位于释放周界232与外表面228之间,因此凹槽部分235使释放支线234与外表面228分离。例如,在一些实施方式中,凹槽部分235可以在外表面228与释放支线234之间延伸,而在一些实施方式中,一个释放支线234可以从外表面延伸到凹槽部分235,而另一个释放线230可以从该凹槽部分235延伸到框架部分220的释放周界232。在其他实施方式中,释放线230可以包括释放周界232并且不包括释放支线234。另外,虽然未示出,但是图6A和6B中的透明工件组件200’的一些实施方式可以包括释放周界232,其接触至少一个透明制品210并且围绕所述一个或多个透明制品210。

[0199] 在操作时,分离释放周界232和释放支线234(例如,通过沿着释放周界232和释放支线234或在其附近引导红外激光束,向释放线周界232和释放支线234施加机械力等)允许通过后轮的向框架部分220(例如,向一个或多个凹槽部分235)施加力而使所述一个或多个透明制品210不与框架部分220摩擦性接合。替代性地,在不具有凹槽部分235的透明工件组件200”的实施方式中,对释放周界232和释放支线234进行分离可以使透明制品210不与框架部分220摩擦性接合。另外,在不具有释放支线234的实施方式中,通过向框架部分220施加力以使框架部分220的外表面228与释放周界232之间的裂纹扩展,可以使所述一个或多个透明制品210不与框架部分220摩擦性接合。

[0200] 再次参考图5A-7B,透明工件组件200、200’、200”还可以包括一层或多层材料240,其被设置在至少一个透明制品210的第一主表面212和第二主表面214中的一者或两者上。例如,如图5B、5B和7B所示,材料240被设置在透明工件组件200的每个透明制品210的第一主表面212上。在一些实施方式中,材料230可以另外地被设置在框架部分220上,例如,框架部分220的第一主表面222和第二主表面224中的一者或两者上。虽然不旨在受理论限制,但是使透明制品210保留与框架部分220摩擦性接合,可以在单一工艺步骤中向多个透明制品210施加所述一层或多层材料240。在该实施方式中,所述至少一层或多层材料240设置在至少一个透明制品210的第一主表面212以及连续设置在与所述至少一个透明制品210相关的至少一个经分离的轮廓上。作为一个实例,所述一层或多层材料240可以被设置在第一透明制品210a的第一主表面212a、第二透明制品210b的第一主表面212上,并且在第一透明制品210a与第二透明制品210b之间形成界面的经分离的轮廓上连续地设置。又例如,所述一层或多层材料240可以设置在第一透明制品210a的第一主表面212a、框架部分220的第一主表面222上,并且在第一透明制品210a与框架部分220之间形成界面的经分离的轮廓上连续地

设置。另外,相比于向较小的单独的透明制品210施加材料240,可能更易于向较大的透明工件组件200、200'、200''施加材料240。

[0201] 在一些实施方式中,所述一层或多层材料240可以包括金属化层、抗反射涂层等。另外,所述一层或多层材料240可以包含玻璃、玻璃陶瓷、陶瓷、聚合物、其组合等。例如,所述一层或多层材料240可以包括与透明工件组件200结合,例如,与所述一个或多个透明制品210中的至少一个透明制品结合的一片或多片玻璃。在操作时,释放线230允许先将所述一层或多层材料240施加于透明制品210,然后再释放透明制品210而不与框架部分220摩擦性接合。另外,凹槽部分235允许在释放了释放线230之后再施加所述一层或多层材料240,这是因为,凹槽部分235仅需要小的局部力(例如机械力)来断裂,从而释放透明制品而不与框架部分220摩擦性接合。此外,由于可以在释放线230被释放以后再施加材料240,因此,可以向透明工件组件200,200'的整个表面施加材料240,这比将材料选择性地施加于透明制品210更加容易。向透明工件组件200,200'的整个表面施加材料240的一种示例性方法包括旋涂。

[0202] 在一些实施方式中,透明母片160包括第一透明母片,并且所述一层或多层材料层240中的至少一层材料可以构成第二透明母片。虽然本文所述的激光工艺可以用于对透明母片的堆叠体(例如玻璃片的堆叠体)进行穿孔(即,在其中形成缺陷),并且可以用于利用单次的激光通过使高至几毫米的玻璃堆叠体完全穿孔,但是可能存在不利于对多个透明母片同时穿孔的情况。例如,在至少一个透明母片上具有金属部件(例如电连接器)的实施方式,可以有利的是在同一操作中(即,当堆叠时)不在透明母片中(例如,第一透明母片和第二透明母片)激光形成缺陷,这是因为激光束焦线将被金属部件散射、阻挡或以其他方式中断。又例如,不同透明母片(例如,第一和第二透明母片)的具有缺陷的轮廓和随后形成的透明制品及框架部分不对齐的实施方式,可以有利的是在每个透明母片中(例如,在第一和第二透明母片中)分别激光形成缺陷,以使得可以形成具有不同形状和尺寸的轮廓和随后的透明制品及框架部分。

[0203] 在一些实施方式中,第二透明母片可以包括一个或多个轮廓,例如一个或多个闭合轮廓,每个轮廓包括多个缺陷,这可以包括本文所述的轮廓和缺陷的任何实施方式,并且第二透明母片可以包括本文所述的透明母片160的任何实施方式。在该实施方式中,第二透明母片的所述一个或多个闭合轮廓不与第一透明母片的所述一个或多个闭合轮廓对齐,因此,在第一透明工件和第二透明工件二者中同时激光形成缺陷的轮廓是不可行的。另外,在一些实施方式中,可以先将第二透明母片与透明制品210和框架部分220(由第一透明母片160形成)堆叠成组件,然后再释放第二透明母片的闭合轮廓。在其他实施方式中,可以先分离第二透明母片的一个或多个闭合轮廓,再将第二透明母片与透明制品210和框架部分220(由第一透明母片160形成)堆叠成组件。在该实施方式中,第二透明母片包括一个或多个透明制品和框架部分,所述框架部分围绕所述一个或多个透明制品并且与所述一个或多个透明制品摩擦性接合,它们与由第一透明母片160形成的一个或多个透明制品210和框架部分220对齐。在该实施方式中,第二透明母片的框架部分(即,由第二透明母片形成)可以具有凹槽部分,该凹槽部分可以使第二透明母片的透明制品和框架部分保留摩擦接合,并且可以与第一透明母片的凹槽部分相同的方式得到释放。

[0204] 在一些实施方式中,第一透明母片(即,透明制品210和框架部分220)可以与第二

透明母片结合,例如,直接结合。或者,在第一透明母片(即,透明制品210和框架部分220)与第二透明母片之间可以设置额外的材料240的层,例如,被设置在第一透明母片与第二透明母片之间的金属化层、聚合物层、陶瓷层、玻璃层(例如,不是第二透明母片的玻璃层)、玻璃陶瓷层等。因此,本文所述的激光工艺促进了对齐良好的透明制品和额外的材料层的堆叠组件的形成。此外,先形成堆叠的组件再从与框架部分220摩擦性接合中释放透明制品210可以促进更快和更可靠地形成包括至少一个透明制品210的堆叠组件。

[0205] 现在参考图8A-8E,其示意性地描绘了加工透明母片360的方法,例如,通过由透明母片360激光形成透明制品410,以及原位加工透明制品410。如图8A和8B所示,所述方法包括首先提供透明母片360(图8A),在一些实施方式中,在透明母片360中形成一个或多个基准点361(图8B)。基准点361包括在透明母片360之上或之中形成的记号,例如,在透明母片360的第一主表面362之中或之上形成的记号。基准点361提供了有助于透明母片360的后续加工步骤的参照点,使得促进了对齐。另外,如图8C-8E所示,基准点361可以形成在由透明母片360形成一个或多个透明制品410之后,成为框架部分420的透明母片360的部分。

[0206] 现在参考图1A-3和8A-8E,加工透明母片360的方法包括:在透明母片360中形成一个或多个轮廓370(例如,闭合轮廓,例如图1A和2的闭合轮廓170),所述轮廓包括缺陷372(例如,图1A和2的缺陷172)。例如,其中的一些轮廓370(例如,闭合轮廓)可以限定一个或多个透明制品410的周界415,并且其中的一些轮廓370可以形成为释放线430。在操作时,形成包含缺陷372的轮廓370包括:将沿着光束路径111取向并且由光束源110输出的脉冲激光束112引导(例如定位)到透明母片360中,以使被引导到透明母片360中的脉冲激光束112的部分在透明母片360中产生诱导吸收,并且使该诱导吸收在透明母片360中产生缺陷372。

[0207] 脉冲激光束112可以包含足以超过透明母片360的损伤阈值的脉冲能和脉冲持续时间。在一些实施方式中,将脉冲激光束112引导到透明母片360中包括:将由光束源110输出的脉冲激光束112聚焦成沿着光束传输方向(例如Z轴)取向的脉冲激光束焦线113。将透明母片360定位在光束路径111中,以与脉冲激光束112的脉冲激光束焦线113至少部分重叠。由此将脉冲激光束焦线113引导到透明工件360中。脉冲激光束112(例如脉冲激光束焦线113)在透明母片360中产生诱导吸收,以在透明母片360中产生缺陷372。在一些实施方式中,可以以几百千赫兹的频率形成各个缺陷372(即,每秒形成几十万个缺陷)。在一些实施方式中,非球面光学元件120可以将脉冲激光束112聚焦成脉冲激光束焦线113。在操作时,脉冲激光束焦线113的位置可以通过相对于透明母片360适当地定位和/或对齐脉冲激光束112,以及适当地选择光学组件100(图3)的参数来控制。

[0208] 仍然参考图1A-3和8A-8E,加工透明母片的方法还可以包括:相对于脉冲激光束112平移透明母片360(或者可以相对于透明母片160平移脉冲激光束112,例如,在图1A和2所示的平移方向上),以在透明母片160中形成轮廓370(例如,闭合轮廓),从而追迹出在随后的分离步骤之后可以在透明母片360中形成的一个或多个透明制品410的期望周界415。

[0209] 现在参考图8C-8E,所述方法包括沿着轮廓370(图8C)分离一部分的透明母片360,从而形成透明工件组件400(图8D和8E),其包括一个或多个透明制品410和框架部分420,所述框架部分420围绕所述一个或多个透明制品410并且与所述一个或多个透明制品410中的至少一个透明制品摩擦性接合。具体地,至少一个透明制品410的侧表面416与框架部分420的一个或多个内表面426直接摩擦性接合,并且至少一个透明制品410的侧表面416与另一

个透明制品410的侧表面416直接摩擦性接合。在操作时,分离透明母片360包括:向所述一个或多个轮廓370施加应力,例如,通过向所述一个或多个轮廓370施加机械应力,沿着所述一个或多个轮廓370或者在其附近将红外激光束引导到透明母片360上等。

[0210] 现在参考图8E,图8E是图8D的透明工件组件400的截面图,在一些实施方式中,所述方法接着可以包括:向所述一个或多个透明制品410中的至少一个透明制品的表面施加一层或多层材料440。在图8E所示的实施方式中,将材料440施加于每个透明制品410的第一主表面412和框架部分420的第一主表面422。在其他实施方式中,还可以或者替代性地将材料440施加于所述一个或多个透明制品410中的至少一个透明制品的第二主表面414和框架部分420的第二主表面424。另外,在一些实施方式中,可以将材料440施加于所述一个或多个透明制品410中的至少一个透明制品的表面(例如,第一主表面412)但不施加于框架部分420的表面。在一些实施方式中,可以作用任何已知或待开发的沉积方法,例如,气相沉积(例如化学气相沉积、物理气相沉积等),旋涂等,将材料层440施加于透明工件组件400。进一步地,将材料层440添加到透明工件组件400上可以形成复合多层结构。例如,至少一个层440可以包括第二透明母片,如上所述,其可以与透明制品410和框架部分420(以及在实施方式中,额外的材料层440)一起呈堆叠布置设置。

[0211] 在其他实施方式中,所述方法可以进一步或替代性地包括:对所述一个或多个透明制品410中的至少一个透明制品的表面进行改性,例如,对第一主表面412和/或第二主表面414进行改性。例如,对所述一个或多个透明制品410中的至少一个透明制品的表面进行改性包括:抛光表面,清洁表面,粗糙化表面,蚀刻表面,图案化表面(例如,通过在表面中形成凹痕、记号或局部损伤的其他图案)或其组合。

[0212] 接着,在将材料440施加于透明制品410的表面和/或对透明制品410的表面进行改性后,所述方法还可以包括:释放所述一个或多个透明制品410中的至少一个透明制品以不与框架部分420摩擦性接合,从而移除所述一个或多个透明制品410中的每个透明制品与框架部分420之间的接触。在操作时,通过断裂框架部分420,例如,利用机械断裂工艺,例如划线和断裂过程、激光分离过程等,可以释放透明制品410而不与框架部分420摩擦性接合。在至少一个材料层440构成透明母片的实施方式中,可以在从与框架部分420的摩擦性接合中释放透明制品410的相同步骤中或额外的步骤中,从与第二透明工件的框架部分摩擦性接合中释放该第二透明母片的透明制品(例如,通过断裂第二透明工件的框架部分来进行)。

[0213] 在一些实施方式中,释放透明制品410可以包括:在框架部分420中形成一个或多个释放线430(例如,释放周界432和释放支线434)。在一些实施方式中,形成所述一个或多个释放线430从与框架部分420的摩擦性接合中释放了所述一个或多个透明制品410中的至少一个透明制品,并且在其他实施方式中,释放所述一个或多个透明制品410包括:向框架部分420施加应力,例如向在所述一个或多个释放线430中的至少一个释放线与框架部分420的外表面428之间延伸的凹槽部分435施加应力。

[0214] 鉴于上述,应理解,由透明母片形成并加工透明制品可以通过沿着与每个透明制品的期望周界对应的闭合轮廓线形成并分离包含缺陷的闭合轮廓,以使透明制品维持与透明母片的剩余部分摩擦性接合。该摩擦性接合允许在透明制品与透明母片的剩余部分维持原位的同时,进行额外的加工步骤,例如,向透明制品的表面施加材料层和/或对透明制品的表面进行改性。在这些额外的加工步骤之后,可以释放所述一个或多个透明制品。因此,

本文所述的实施方式促进了透明制品的共同表面加工,由于尺寸限制、制造限制等,相比于独立地加工透明制品,这可以更快、更便宜且加更一致。

[0215] 如本文所用,术语“约”指量、尺寸、公式、参数和其他数量和特征不是精确的且无需精确的,但可按照要求是大致的和/或更大或者更小,如反射公差、转化因子、四舍五入、测量误差等,以及本领域技术人员所知的其他因子。当使用术语“约”来描述范围的值或端点时,包括所参考的具体值或者端点。无论说明书中的范围的数值或端点是否描述“约”,其均描述了两种实施方式:一种用“约”修饰,一种未用“约”修饰。应理解,每个范围的端点在与另一个端点有关及独立于另一个端点时都是重要的。

[0216] 本文所用的方向术语——例如上、下、右、左、前、后、顶、底——仅仅是参照绘制的附图而言,并不用来暗示绝对的取向。

[0217] 除非另有明确说明,否则本文所述的任何方法不应理解为其步骤需要按具体顺序进行,或者要求使任何设备具有特定取向。因此,如果方法权利要求没有实际叙述其步骤要遵循的顺序,或者任何设备权利要求没有实际叙述各组件的顺序或取向,或者权利要求书或说明书中没有另外具体陈述步骤限于具体顺序,或者没有叙述设备组件的具体顺序或取向,那么在任何方面都不应推断顺序或取向。这适用于解释上的任何可能的非表达性基础,包括:涉及步骤安排的逻辑问题、操作流程、组件的顺序或组件的取向问题;由语法组织或标点派生的明显含义问题和说明书中描述的实施方式的数量或类型问题。

[0218] 除非上下文另外清楚地说明,否则,本文所用的单数形式的“一个”、“一种”以及“该/所述”包括复数指代。因此,例如,提到的“一种”部件包括具有两种或更多种这类部件的方面,除非文本中有另外的明确表示。

[0219] 对本领域的技术人员显而易见的是,可以对本文所述的实施方式进行各种修改和变动而不偏离要求保护的的主题的精神和范围。因此,本说明书旨在涵盖本文所述的各个实施方式的修改和变化形式,条件是这些修改和变化形式落入所附权利要求及其等同内容的范围之内。

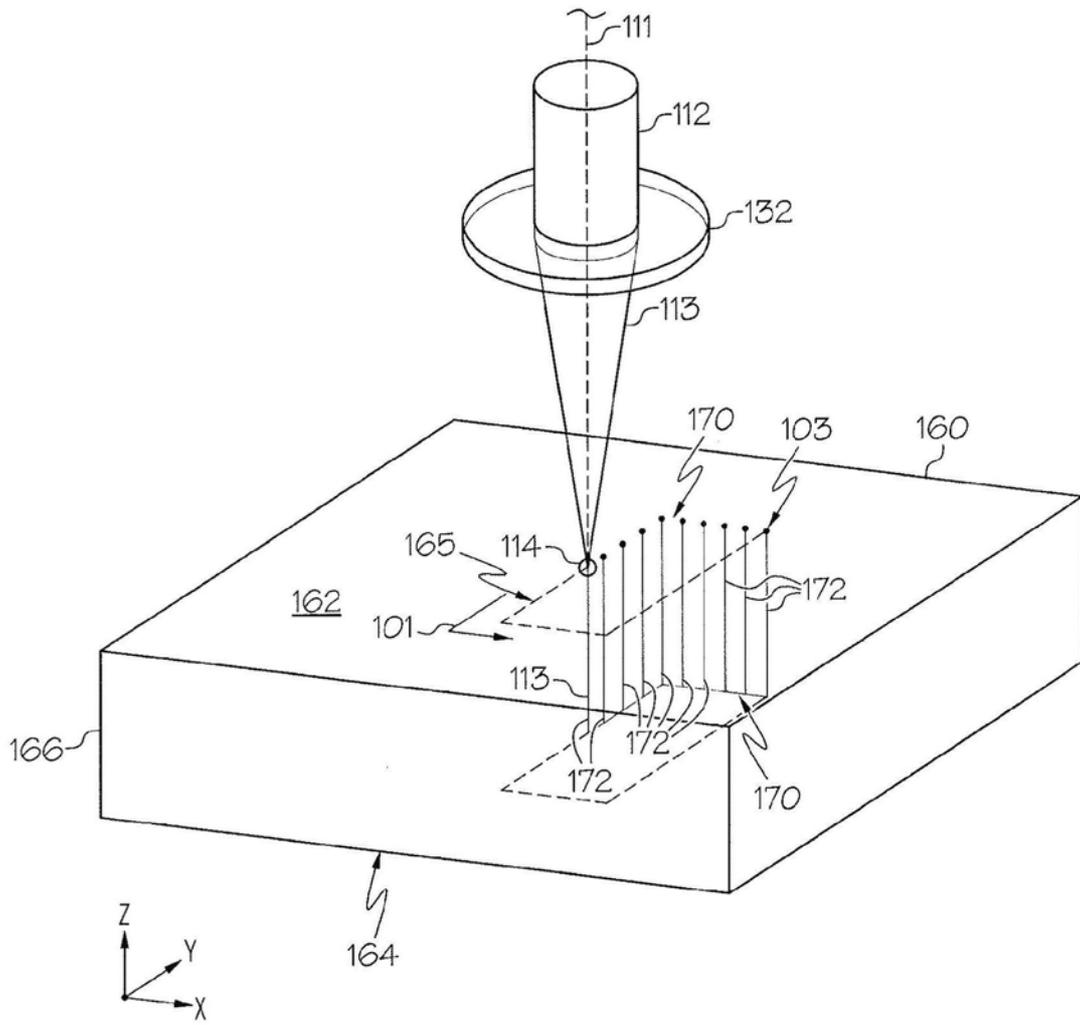


图1A

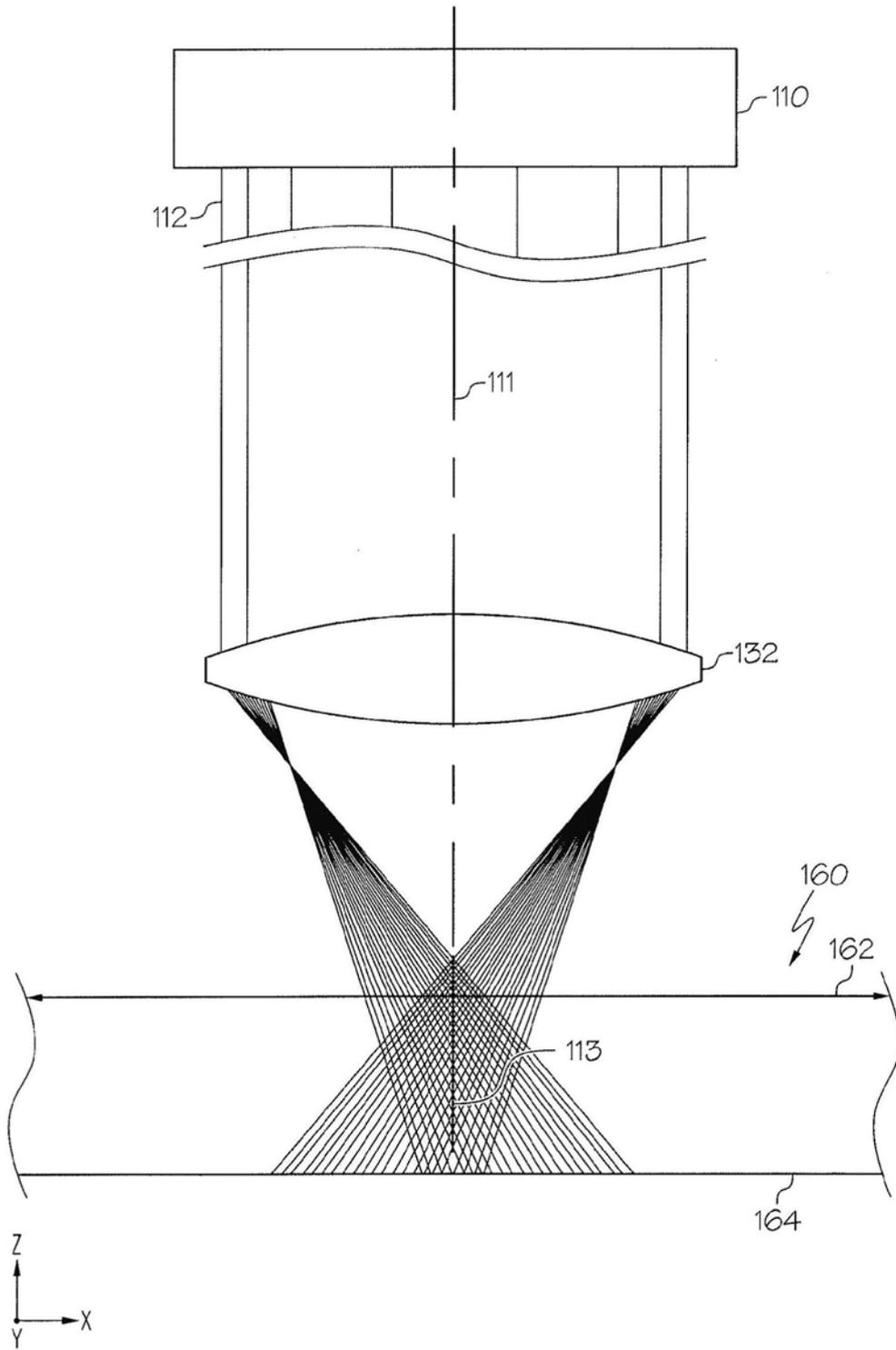


图1B



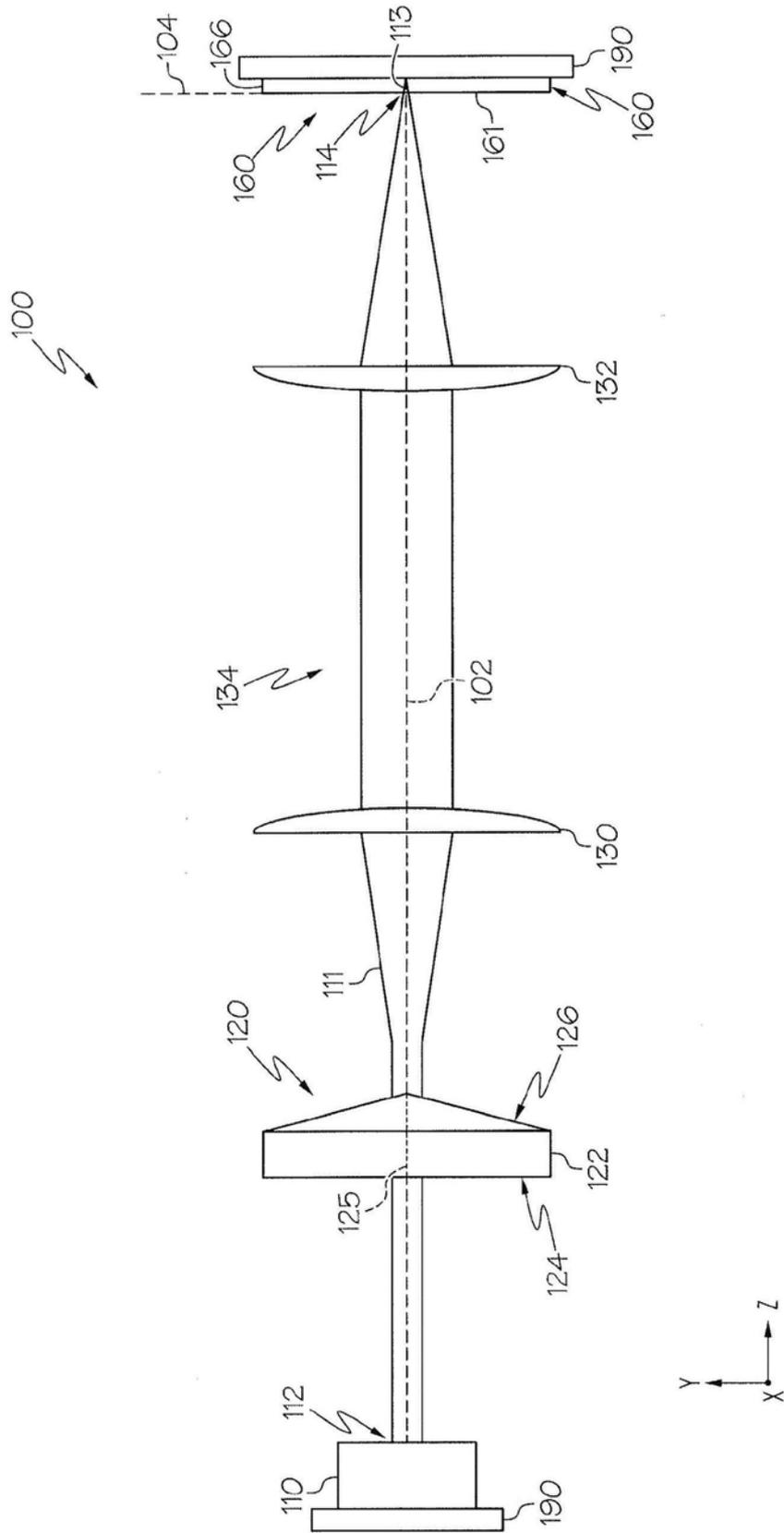


图3

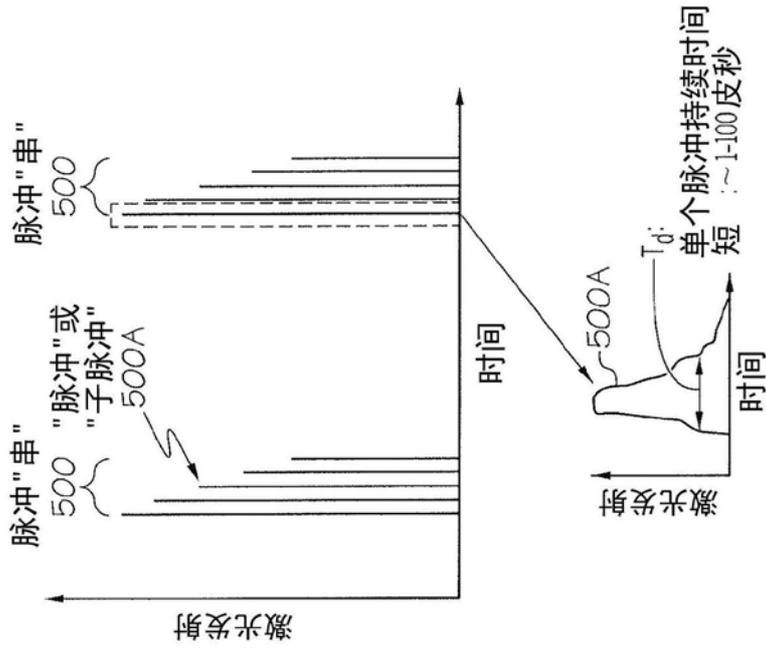


图4A

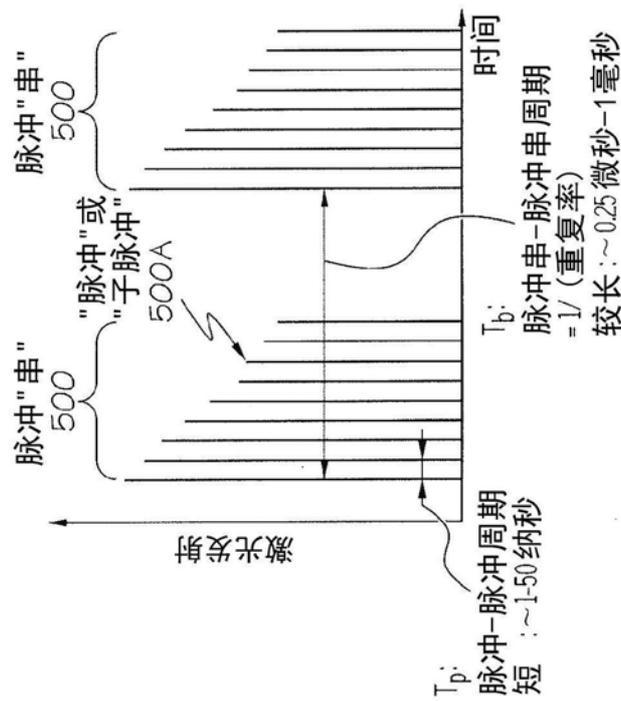


图4B

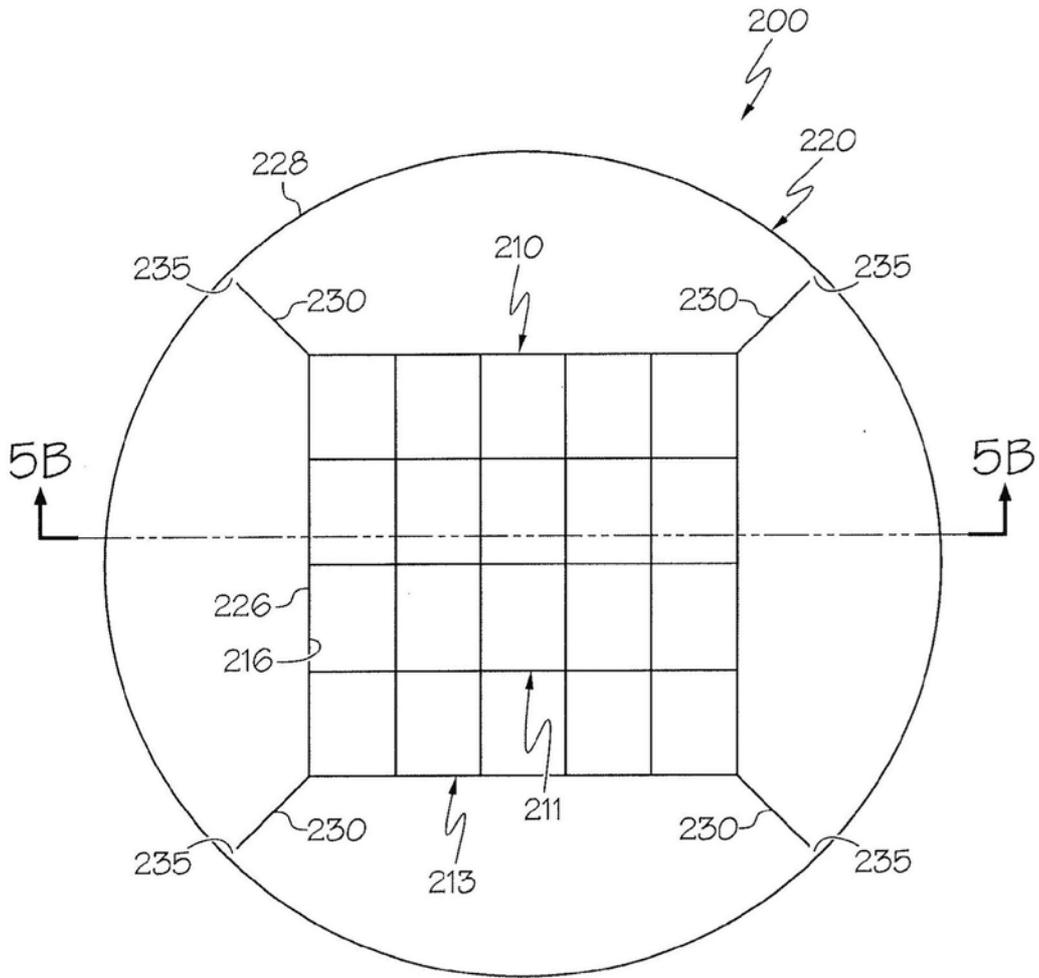


图5A

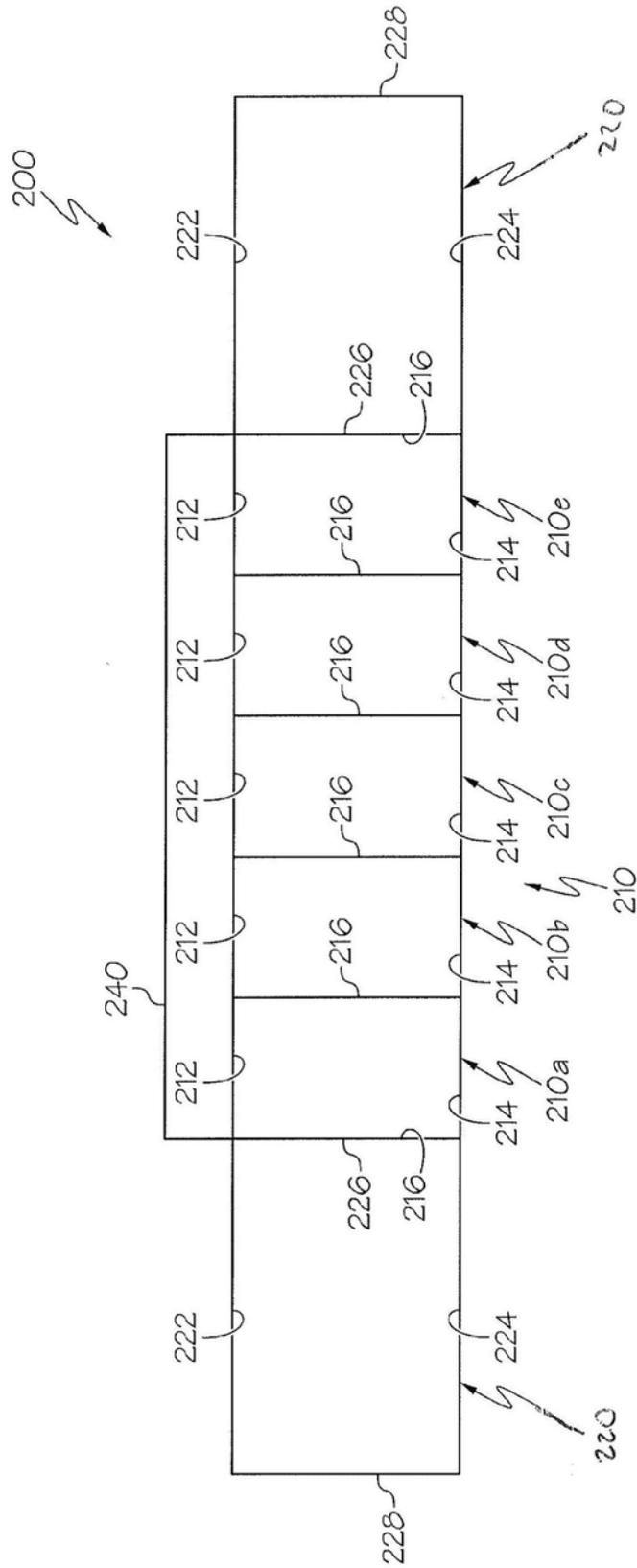


图5B

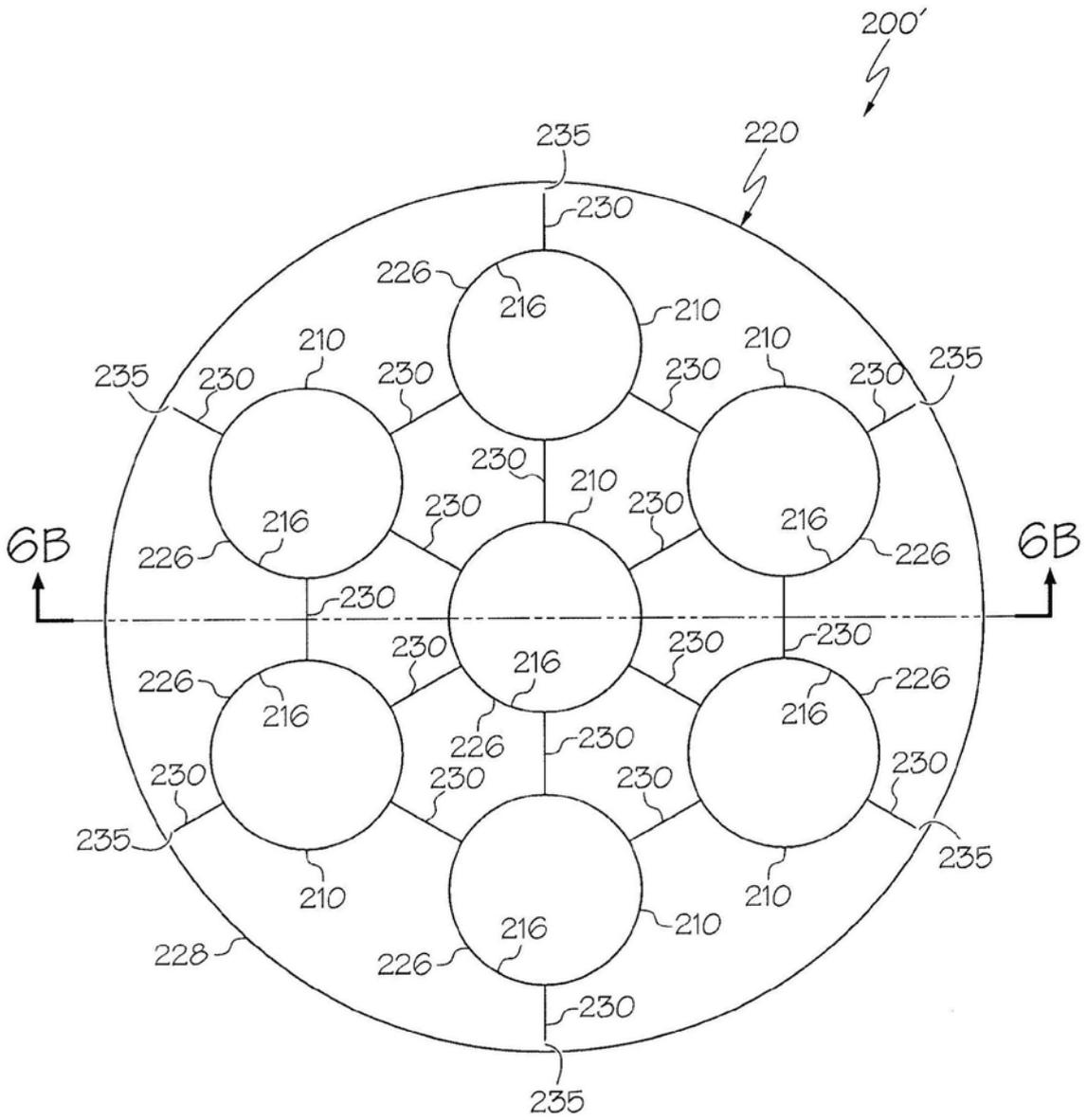


图6A

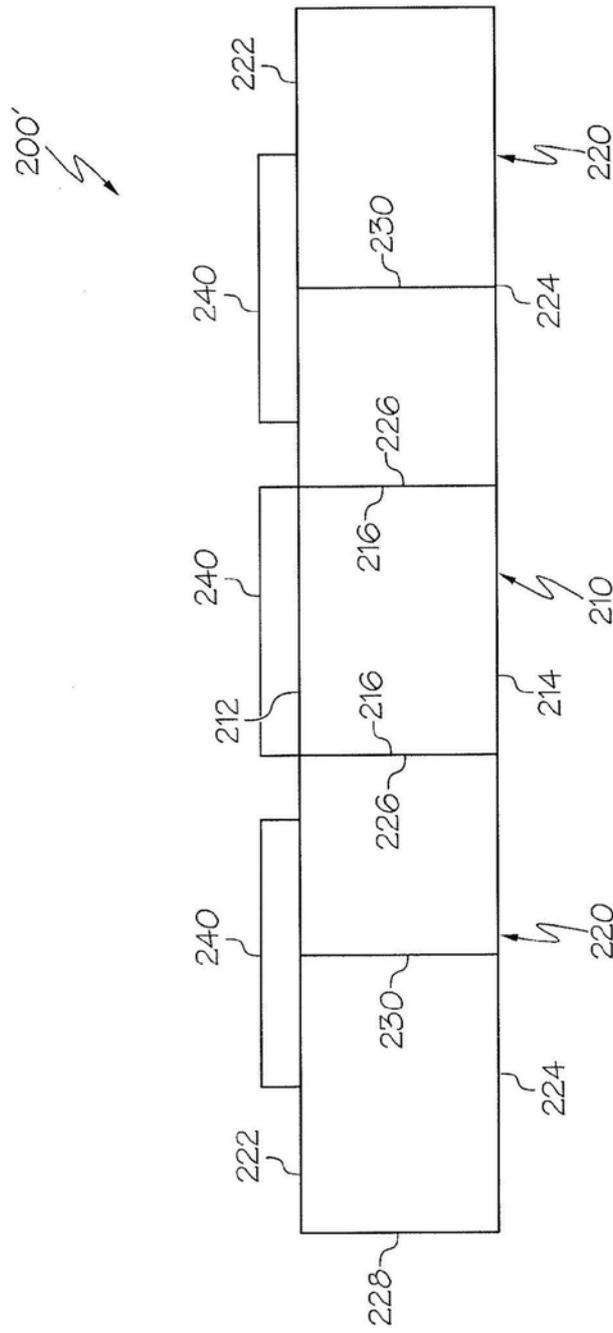


图6B

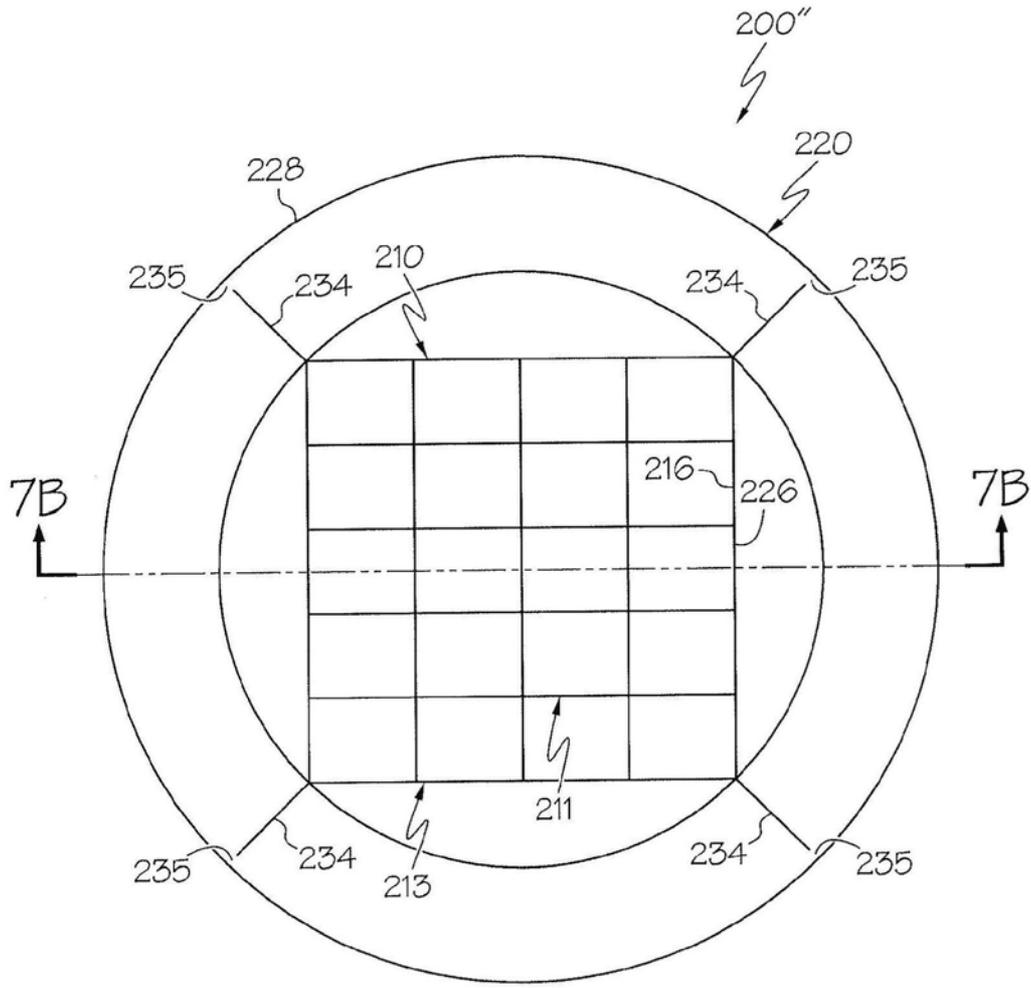


图7A

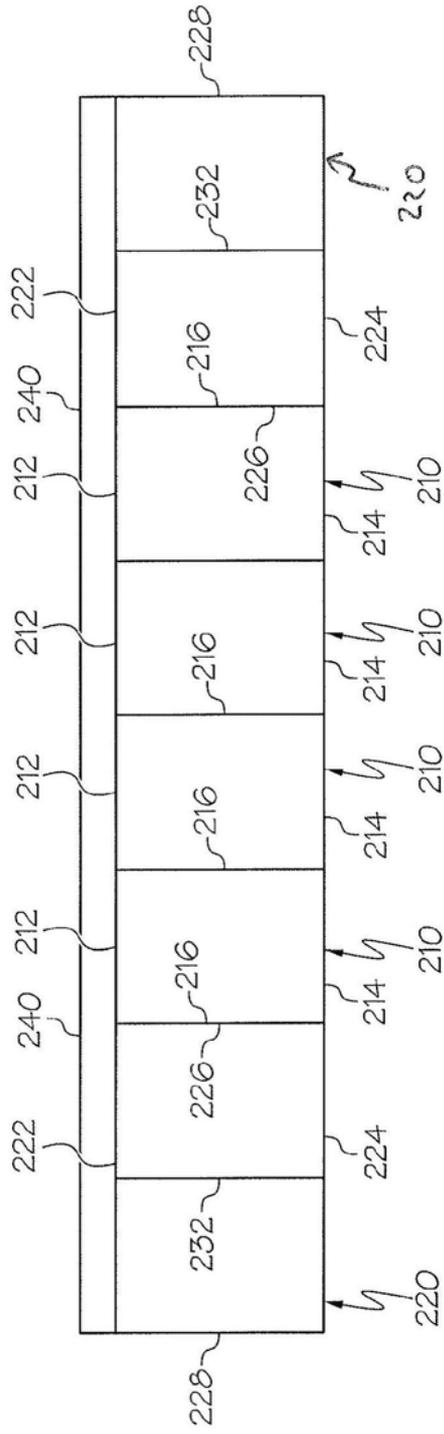


图7B

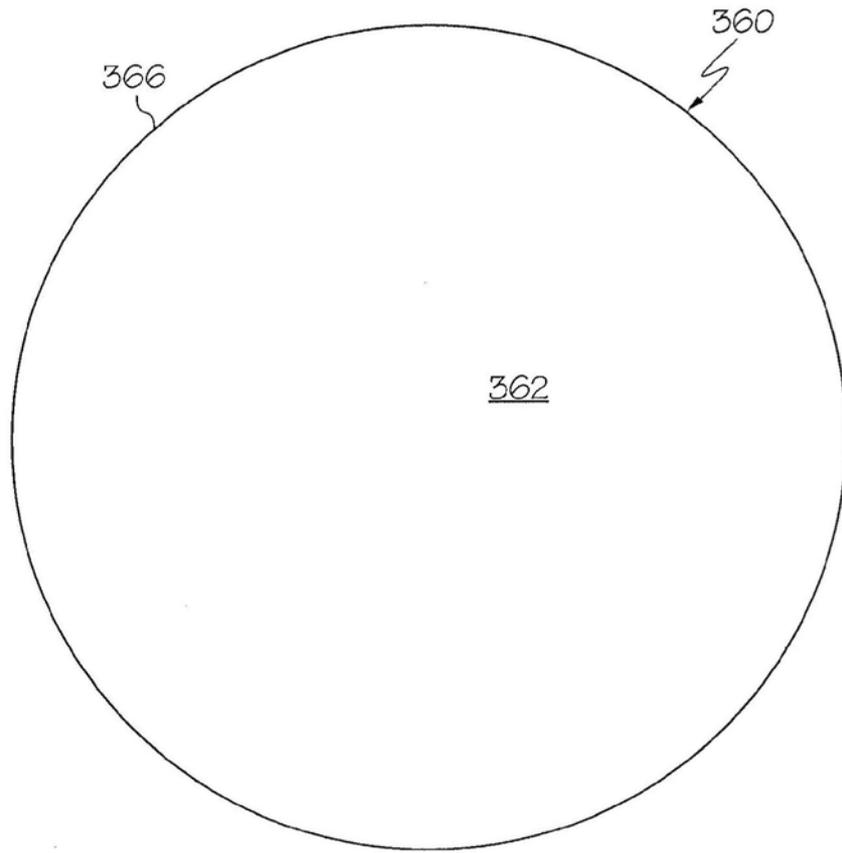


图8A

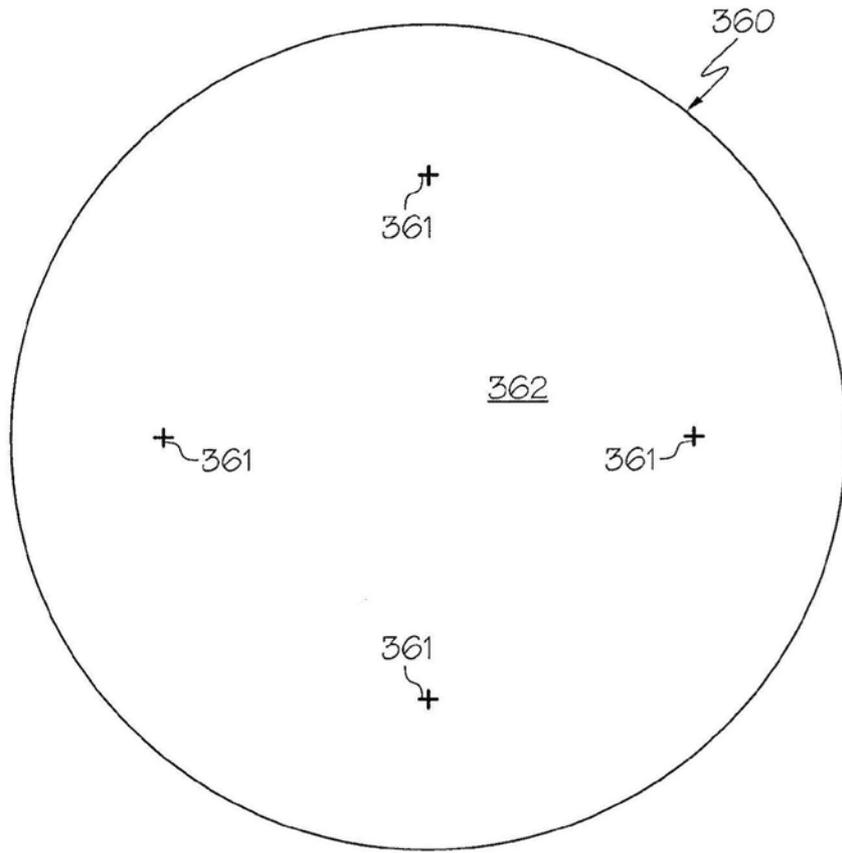


图8B

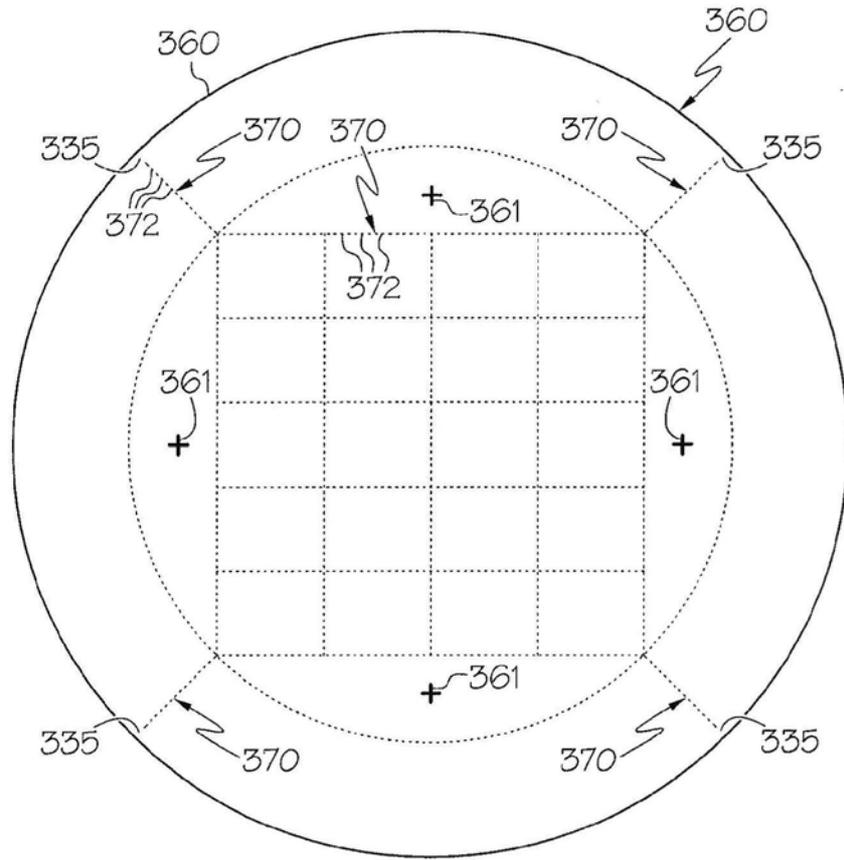


图8C

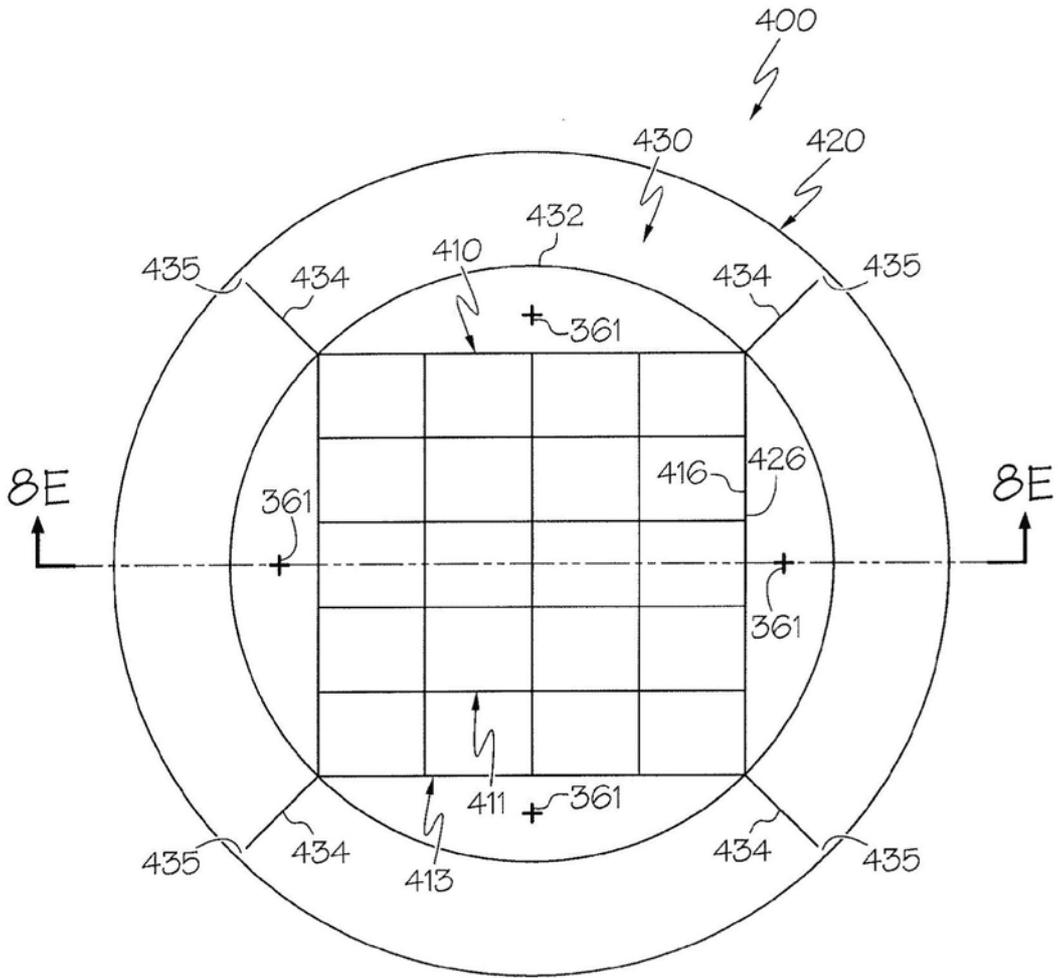


图8D

