



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110784981 B

(45) 授权公告日 2023. 07. 28

(21) 申请号 201911033324.4

(22) 申请日 2015.06.25

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 110784981 A

(43) 申请公布日 2020.02.11

(30) 优先权数据  
14/325,153 2014.07.07 US

(62) 分案原申请数据  
201580036836.X 2015.06.25

(73) 专利权人 ASML荷兰有限公司  
地址 荷兰维德霍温

(72) 发明人 陶业争 J·T·斯特瓦特四世  
J·朱尔 D·布朗  
J·M·亚查恩德 A·A·沙夫甘斯  
M·A·普尔维斯 A·拉弗格

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所  
11256

专利代理师 李兴斌

(51) Int.Cl.  
H05G 2/00 (2006.01)

(56) 对比文件  
JP 2010003548 A, 2010.01.07  
JP 2007317598 A, 2007.12.06  
DE 10251435 B3, 2004.05.27

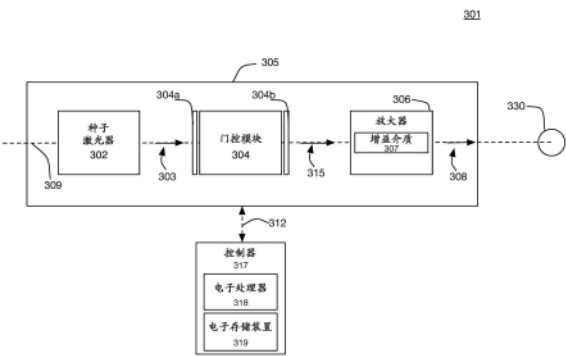
审查员 邱园

权利要求书5页 说明书12页 附图17页

(54) 发明名称  
极紫外光源

(57) 摘要

本公开的实施例涉及极紫外光源。生成初始辐射脉冲;提取初始辐射脉冲的一段以形成修改辐射脉冲,修改辐射脉冲包括第一部分和第二部分,第一部分在时间上连接到第二部分,并且第一部分的能量小于第二部分的能量;修改辐射脉冲的第一部分与靶材相互作用以形成修改靶;并且修改辐射脉冲的第二部分与修改靶相互作用以生成发射极紫外(EUV)光的等离子体。



1. 一种生成极紫外(EUV)光的方法,所述方法包括:

将靶提供到靶位置,所述靶包括在等离子状态时发射EUV光的靶材,所述靶在第一方向上具有200纳米(nm)或更小的范围并且在第二方向上具有300微米( $\mu\text{m}$ )或更大的范围;

从初始辐射脉冲形成主辐射脉冲,所述主辐射脉冲是具有第一部分和第二部分的单个辐射脉冲,所述第二部分具有基于所述初始辐射脉冲的时间能量分布的时间能量分布并且所述第一部分具有不同于所述初始辐射脉冲的时间能量分布的时间能量分布;以及

将形成的所述主辐射脉冲朝向所述靶位置引导,以使所述辐射与所述靶相互作用,所述第二部分在所述第一部分之后到达所述靶位置,形成的所述主辐射脉冲在所述靶位置处在平行于所述第一方向的方向上传播,其中:

形成的所述主辐射脉冲的第一部分与所述靶的相互作用形成修改靶,所述修改靶具有低于所述靶的密度;以及

形成的所述主辐射脉冲的第二部分与所述修改靶的相互作用将所述修改靶中的至少一些靶材转换为发射EUV光的等离子体。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中在所述第一方向上所述靶的范围在50nm与200nm之间,并且在所述第二方向上所述靶的范围在300 $\mu\text{m}$ 与350 $\mu\text{m}$ 之间。

3. 根据权利要求1所述的方法,其中在所述第一方向上所述靶的范围在50nm与200nm之间,并且在所述第二方向上所述靶的范围在300 $\mu\text{m}$ 与500 $\mu\text{m}$ 之间。

4. 根据权利要求1所述的方法,其中所述辐射的第一部分与第一峰值能量相关联,并且所述辐射的第二部分与第二峰值能量相关联,所述第二峰值能量大于所述第一峰值能量。

5. 根据权利要求4所述的方法,其中所述第一峰值能量是所述第二峰值能量是1-10%。

6. 根据权利要求4所述的方法,其中所述辐射的第一部分具有50-150ns的持续时间,并且所述第一峰值能量是5毫焦(mJ)或更小。

7. 根据权利要求1所述的方法,其中所述辐射的第一部分是第一辐射脉冲,并且所述辐射的第二部分是第二辐射脉冲。

8. 根据权利要求1所述的方法,其中将所述靶提供到靶位置包括:

将靶材液滴提供到初始靶位置;以及

将辐射脉冲朝向所述初始靶位置引导,使得所述辐射脉冲和所述靶材液滴相互作用以形成所述靶。

9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述靶材液滴是基本上球形的,并且具有17-35 $\mu\text{m}$ 的直径。

10. 根据权利要求9所述的方法,其中所述直径小于30 $\mu\text{m}$ 。

11. 根据权利要求1所述的方法,其中所述修改靶包括体积中的成片的靶材的集合。

12. 根据权利要求11所述的方法,其中所述体积基本上是椭圆体的。

13. 一种生成极紫外(EUV)光的方法,所述方法包括:

将靶提供到靶位置,所述靶包括在等离子状态时发射EUV光的靶材,所述靶在第一方向上具有200纳米(nm)或更小的范围并且在第二方向上具有300微米( $\mu\text{m}$ )或更大的范围;

从初始辐射脉冲形成主辐射脉冲,所述主辐射脉冲具有第一部分和第二部分,所述第二部分具有基于所述初始辐射脉冲的时间能量分布的时间能量分布并且所述第一部分具有不同于所述初始辐射脉冲的时间能量分布的时间能量分布;以及

将所述主辐射脉冲朝向所述靶位置引导,以使所述主辐射脉冲与所述靶相互作用,所述主辐射脉冲的第一部分与所述靶之间的相互作用使得所述靶的密度降低,以及在所述主辐射脉冲的第二部分与所述靶之间的相互作用将具有降低的密度的靶中的靶材料中的至少一些转换为发射EUV光的等离子体。

14. 根据权利要求13所述的方法,进一步包括:

将初始靶提供到初始靶位置;以及

将辐射脉冲提供给所述初始靶位置,其中所述辐射脉冲与所述初始靶之间的相互作用修改所述初始靶的靶材料的几何分布,使得所述靶提供给所述靶位置。

15. 根据权利要求14所述的方法,其中在所述第二方向上所述初始靶的最大范围小于所述靶的范围。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中所述初始靶是基本上球形的,并且具有17-35 $\mu\text{m}$ 的直径。

17. 根据权利要求13所述的方法,其中在所述第二方向上所述靶的范围在300 $\mu\text{m}$ 与350 $\mu\text{m}$ 之间。

18. 根据权利要求13所述的方法,其中在所述第二方向上所述靶的范围在300 $\mu\text{m}$ 与500 $\mu\text{m}$ 之间。

19. 根据权利要求17所述的方法,其中在所述第一方向上所述靶的范围在50nm与200nm之间。

20. 根据权利要求13所述的方法,其中:

所述主辐射脉冲的第二部分在所述第一部分之后到达所述靶位置,

所述主辐射脉冲的第一部分与所述靶之间的相互作用形成修改靶,以及

使所述主辐射脉冲的第二部分与所述靶之间相互作用包括:使所述主辐射脉冲的第二部分与所述修改靶之间相互作用,以将所述修改靶中的靶材料中的至少一些转换为发射EUV光的等离子体。

21. 根据权利要求13所述的方法,其中所述靶包括体积中的成片的靶材的集合。

22. 根据权利要求13所述的方法,其中形成所述主辐射脉冲进一步包括:控制所述第一部分的峰值能量和所述第一部分的持续时间中的一个或多个。

23. 根据权利要求22所述的方法,其中控制所述第一部分的持续时间包括改变所述第一部分的持续时间和所述第一部分的峰值能量中的一个或多个。

24. 根据权利要求23所述的方法,其中形成所述主辐射脉冲包括使所述初始辐射脉冲穿过光学调制器。

25. 根据权利要求13所述的方法,其中:

所述第一部分的时间能量分布具有第一持续时间,

所述第二部分的时间能量分布具有第二持续时间和峰值能量,所述峰值能量发生在位于所述第二持续时间的开始和结束之间的时间,

所述第一部分的时间能量分布在所述第一持续时间上具有第一能量斜率,

所述第二部分的时间能量分布在所述持续时间的开始与所述峰值能量的时间之间具有第二能量斜率,以及

所述第一能量斜率小于所述第二能量斜率。

26. 一种方法, 包括:

将光学脉冲朝向光学元件引导;

控制所述光学元件从所述光学脉冲形成修改光学脉冲, 所述修改光学脉冲包括第一部分和第二部分, 所述第二部分具有基于所述光学脉冲的时间能量分布, 所述第一部分具有不同于所述光学脉冲的时间能量分布的时间分布, 其中所述修改光学脉冲的一个或多个特性至少部分通过控制所述光学元件来控制; 以及

使所述修改光学脉冲与包括靶材的靶相互作用, 其中所述修改光学脉冲的第一部分与所述靶之间的相互作用使得所述靶的密度降低, 且所述修改光学脉冲的第二部分与所述靶之间的相互作用将具有降低的密度的靶中的靶材的至少一部分转换为发射极紫外 (EUV) 光的等离子体。

27. 根据权利要求26所述的方法, 其中所述修改光学脉冲的所述一个或多个特征包括所述修改光学脉冲的所述第一部分的持续时间、峰值能量和/或时间能量分布。

28. 根据权利要求27所述的方法, 其中与所述修改光学脉冲相互作用的所述靶是修改靶, 并且所述方法进一步包括使预脉冲光学脉冲与初始靶相互作用, 以形成所述修改靶。

29. 根据权利要求28所述的方法, 其中所述修改靶沿第一方向具有第一范围, 所述第一方向平行于所述修改光学脉冲的第二部分的传播方向, 所述修改光学脉冲的所述一个或多个特性包括持续时间, 并且控制所述光学元件形成所述修改光学脉冲包括: 基于所述修改靶的第一范围来控制所述修改光学脉冲的第一部分的持续时间。

30. 根据权利要求26所述的方法, 其中使所述修改光学脉冲的第一部分与所述靶相互作用包括靶材料在至少一个维度修改所述靶材料的几何分布。

31. 根据权利要求30所述的方法, 其中所述靶材料的几何分布在所述至少两个维度中的至少一个维度上增加。

32. 根据权利要求26所述的方法, 其中所述修改光学脉冲的第一部分与所述靶之间的相互作用修改所述靶材的几何分布, 以形成修改靶, 所述修改靶比所述靶占据更大的体积, 所述修改靶至少包括密度小于所述靶的区域, 并且所述修改光学脉冲的第二部分与所述修改靶相互作用, 以形成发射EUV光的等离子体。

33. 根据权利要求26所述的方法, 其中控制光学元件包括向电光调制器 (EOM) 施加电压。

34. 一种用于极紫外EUV光源的系统, 所述系统包括:

光生成模块;

光学元件; 以及

控制系统, 被配置为确定从由所述光生成模块产生的光学脉冲形成的修改光学脉冲的一个或多个特征, 其中所述修改光学脉冲包括第一部分和第二部分, 所述第二部分具有基于所述光学脉冲的时间能量分布的时间能量分布, 所述第一部分具有不同于所述光学脉冲的时间能量分布的时间分布且被配置为使得靶的密度降低, 并且所述第二部分具有足以将具有降低的密度的靶中的至少一些靶材料转换为发射EUV光的等离子体的能量。

35. 根据权利要求34所述的用于EUV光源的系统, 其中所述光学元件包括电光调制器 (EOM)。

36. 根据权利要求34所述的用于EUV光源的系统, 进一步包括第二光生成模块, 所述第

二光生成模块被配置为发射第二光学脉冲。

37. 根据权利要求36所述的用于EUV光源的系统,进一步包括束组合器,所述束组合器被配置为与所述修改光学脉冲和所述第二光学脉冲相互作用,并且将所述修改光学脉冲和所述第二光学脉冲朝向被配置为接纳靶的容器引导。

38. 根据权利要求37所述的用于EUV光源的系统,其中所述光生成模块包括二氧化碳(CO<sub>2</sub>)激光器,并且所述第二光生成模块包括固态激光器。

39. 根据权利要求38所述的用于EUV光源的系统,其中所述修改光学脉冲包括具有10.6微米(μm)的波长的光,并且所述第二光学脉冲具有1.06μm的波长的光。

40. 根据权利要求36所述的用于EUV光源的系统,其中所述修改光学脉冲包括具有10.6微米(μm)的光,并且所述第二光学脉冲具有1.06μm的波长的光。

41. 根据权利要求40所述的用于EUV光源的系统,其中所述光生成模块和所述第二光生成模块是单个光源的一部分。

42. 根据权利要求40所述的用于EUV光源的系统,其中所述光生成模块和所述第二光生成模块是不用的分开的光源。

43. 一种EUV光源,包括:

光生成模块;

光学元件;

容器,被配置为接纳包括靶材的靶,所述靶材在处于等离子状态时发射EUV光;以及

控制系统,被配置为确定由所述光学元件基于由所述光生成模块产生的光学脉冲形成的修改光学脉冲的一个或多个特征,其中所述修改光学脉冲包括第一部分和第二部分,所述第二部分具有基于所述光学脉冲的时间能量分布的时间能量分布,所述第一部分具有不同于所述光学脉冲的时间能量分布的时间分布且被配置为使得所述靶的密度降低,并且所述第二部分具有足以将具有降低的密度的靶中的至少一些靶材料转换为发射EUV光的等离子体的能量。

44. 一种EUV光源,包括:

光生成模块,被配置为发射光学脉冲;

光学元件,被配置为从所述光学脉冲形成主光脉冲,所述主光脉冲是具有第一部分和第二部分的单个辐射脉冲,所述第二部分具有基于所述光学脉冲的时间能量分布的时间能量分布,并且所述第一部分具有不同于所述光学脉冲的时间能量分布的时间能量分布;以及

容器,包括被配置为接纳靶的靶区域,其中所述靶包括在处于等离子状态时发射EUV光的靶材料,并且所述靶在第一方向上具有200纳米(nm)或更小的范围并且在第二方向上具有300微米(μm)或更大的范围,其中所述主光脉冲的第一部分被配置为使得所述靶的密度降低,所述主光脉冲的第二部分具有足以将具有降低的密度的靶中的至少一些靶材料转换为发射EUV光的等离子体的能量。

45. 根据权利要求44所述的EUV光源,进一步包括:

控制系统,被配置为控制所述光学元件确定所述主光脉冲的一个或多个特性。

46. 根据权利要求44所述的EUV光源,进一步包括:

靶材供应系统,被配置为将所述靶供应给所述容器。

47. 根据权利要求46所述的EUV光源,其中所述靶材供应系统被配置为将熔融金属液滴供应给所述容器,并且所述EUV光源进一步包括:

第二光生成模块,被配置为发射初始光脉冲,所述初始光脉冲被配置为在所述靶被接纳在所述靶区域之前与所述熔融金属液滴相互作用,以形成所述靶。

48. 根据权利要求47所述的EUV光源,其中所述熔融金属液滴直径为17-35 $\mu\text{m}$ 。

## 极紫外光源

[0001] 本申请是申请日为2015年06月25日、申请号为201580036836.X、发明名称为“极紫外光源”的中国发明专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 所公开的主题涉及一种极紫外光源。

### 背景技术

[0003] 极紫外(“EUV”)光,例如波长约为50nm或更小(有时也称为软X射线)并且包括波长约为13nm和更小,例如约6.5nm的光的电磁辐射,可在光刻工艺中用于在例如硅晶片的衬底中产生极小的特征。

[0004] 产生EUV光的方法包括但不必限于,在等离子体状态下用EUV范围内的发射线来转换具有元素例如氫、锂或锡的材料。在通常称为激光产生等离子体(“LPP”)的这样一种方法中,所需的等离子体可以通过用放大光束照射形式例如为液滴、板、带、流或材料簇的靶材而产生,该放大光束可以被称为驱动激光。对于该过程,等离子体通常在例如真空腔室的密封容器中产生,并使用各种类型的量测设备进行监测。

### 发明内容

[0005] 在一个一般的方面中,一种方法包括:生成初始辐射脉冲;提取初始辐射脉冲的一段以形成修改辐射脉冲,修改辐射脉冲包括第一部分和第二部分,第一部分在时间上连接到第二部分,并且第一部分的最大能量小于第二部分的最大能量;使修改辐射脉冲的第一部分与靶材相互作用以形成修改靶;以及使修改辐射脉冲的第二部分与修改靶相互作用以生成发射极紫外(EUV)光的等离子体。

[0006] 实施可以包括以下特征中的一个或多个。修改辐射脉冲可以穿过增益介质以形成放大的修改辐射脉冲,增益介质将修改辐射脉冲的第一部分放大比修改辐射脉冲的第二部分更大的量。增益介质可以具有小信号增益和饱和增益,并且修改辐射脉冲的第一部分可以通过小信号增益被放大,并且修改辐射脉冲的第二部分可以通过饱和增益被放大。

[0007] 提取初始辐射脉冲的一段以形成修改辐射脉冲可以包括使初始辐射脉冲穿过门控模块。门控模块可以包括电光门控模块。电光门控模块可以包括电光调制器,其包括一个或多个偏振器。

[0008] 初始辐射脉冲可以包括光脉冲。初始辐射脉冲可以是脉冲二氧化碳(CO<sub>2</sub>)激光。修改辐射脉冲的第一部分的能量可以随时间连续地增加。修改辐射脉冲的第一部分可以具有50纳秒(ns)或更短的持续时间。初始辐射脉冲和修改辐射脉冲可以均与将能量表征为时间函数的时间分布相关联,并且初始辐射脉冲和修改辐射脉冲的时间分布可以不同。

[0009] 在使修改辐射脉冲的第一部分与靶材相互作用之前,靶可以与第一辐射脉冲相互作用以形成靶材。第一辐射脉冲可以具有1微米(μm)的波长。

[0010] 在另一个一般方面,一种生成极紫外(EUV)光的方法包括:将靶提供到靶位置,靶

在到达靶位置之前在空间上扩展;将辐射脉冲朝向靶位置引导,辐射脉冲包括第一部分和在第一部分之后到达靶位置的第二部分;使辐射脉冲的第一部分与靶相互作用以形成具有与靶不同的吸收的修改靶;以及使辐射脉冲的第二部分与修改靶相互作用以生成发射EUV光的等离子体。

[0011] 实施可以包括以下特征中的一个或多个。具有与靶不同的吸收的修改靶可以包括比靶吸收更大量的辐射的修改靶。靶包括预扩展靶,靶的空间范围在被提供给靶位置之前在一个维度上被扩展并且在第二维度上被减小。

[0012] 在另一个一般方面,一种极紫外(EUV)系统包括:光源,其被配置成发射光束;调制器,其被配置成接收从光源发射的光束并提取光束的一部分;以及包括增益介质的放大器,放大器被配置成接收光束的提取部分,并且用增益介质将提取部分放大为包括第一部分和第二部分的脉冲,第一部分和第二部分在时间上连接,第一部分被放大比第二部分更大的量,并且第二部分包括足以将当处于等离子体状态时发射EUV光的靶材转换为等离子体状态的能量,其中,在使用中,靶材可定位在接收脉冲的靶位置中,靶包括当处于等离子体状态时发射EUV光的靶材。

[0013] 实施可以包括以下特征中的一个或多个。光源可以包括产生激光的源。光源可以是脉冲二氧化碳(CO<sub>2</sub>)激光器。调制器可以被配置成通过仅允许光束的一部分通过调制器来提取光束的一部分。

[0014] 该系统还可以包括被配置成产生辐射脉冲的第二光源,该辐射脉冲包括足以在空间上扩展靶材液滴以形成可定位在靶位置中的靶的能量。第二光源可以发射包括波长为1.06微米( $\mu\text{m}$ )的光的激光脉冲。被配置成发射光束的光源可以被进一步配置成在发射光束之前发射激光脉冲,激光脉冲包括足以在空间上扩展靶材液滴以形成可定位在靶位置中的靶的能量。

[0015] 上述任何技术的实施可以包括EUV光源、方法、过程、设备、存储在计算机可读介质上的可执行指令或装置。在附图和以下描述中阐述了一个或多个实现的细节。根据说明书和附图以及权利要求书,其他特征将是显而易见的。

## 附图说明

[0016] 图1是示例性激光产生等离子体极紫外光(EUV)源的框图。

[0017] 图2是用于产生辐射脉冲的示例性过程的流程图。

[0018] 图3A是用于EUV光源的示例性光学系统的框图。

[0019] 图3B是从种子激光器发射的示例性脉冲的制图。

[0020] 图3C是具有基部(pedestal)的示例性脉冲的制图。

[0021] 图4是用于生成EUV光的示例性过程的流程图。

[0022] 图5A、图5C和图6A示出了随时间变化的示例性靶位置。

[0023] 图5B和图6B是示例性辐射脉冲的制图。

[0024] 图7是EUV功率和基部水平之间的示例性关系的制图。

[0025] 图8是示例性的测量的辐射脉冲。

[0026] 图9是转换效率和靶尺寸之间的示例性关系的制图。

[0027] 图10A-图10D是随时间变化的靶位置的示例性阴影图。



[0028] 图11是另一激光产生等离子体极紫外 (EUV) 光源和耦合到该EUV光源的光刻工具的俯视图。

[0029] 图12是示例性的激光产生等离子体极紫外光 (EUV) 源的框图。

### 具体实施方式

[0030] 公开了用于调节靶的技术。靶包括当处于等离子体状态时发射极紫外 (EUV) 光的靶材。如下面更详细地讨论的,该调节可以增强靶吸收激光辐射的能力,并且因此可以提高采用该调节技术的EUV光源的转换效率 (CE)。

[0031] 用包括第一部分 (“基部”) 和第二部分 (主脉冲或加热脉冲) 的辐射脉冲来调节靶。第一和第二部分在时间上彼此连接。换句话说,第一部分和第二部分是单个辐射脉冲的一部分,并且在第一部分和第二部分之间没有缺少辐射的间隙或区域。

[0032] 辐射脉冲的第一部分 (或 “基部”) 与靶相互作用以修改靶的吸收特性。例如,通过降低靶的密度梯度并增加在接收辐射脉冲的表面处与辐射脉冲相互作用的靶体积,这种相互作用可以修改吸收特性,这增加了靶可以吸收的辐射量。以这种方式,靶和辐射脉冲的第一部分之间的相互作用对靶进行调节。辐射脉冲的第二部分具有足以将靶中的靶材转换成发射EUV光的等离子体的能量。因为通过第一部分的调节增加了靶可以吸收的辐射量,所以调节可以导致靶的更大部分被转换成发射EUV光的等离子体。另外,调节可以降低靶的反射率,并且因此可以减少到产生辐射脉冲的光学源中的背反射量。

[0033] 如下所述,可以控制和改变基部的特性,比如持续时间和能量,以适合特定靶。

[0034] 参考图1,光学放大器系统106形成用于驱动激光产生等离子体 (LPP) 极紫外 (EUV) 光源100的光学源105 (也称为驱动源或驱动激光器) 的至少一部分。光学放大器系统106包括至少一个光学放大器,使得光学源105产生提供到靶位置130的放大光束110。靶位置130从靶材供给系统接收诸如锡之类的靶材120,并且放大光束110和靶材120之间的相互作用产生发射EUV光或辐射150的等离子体。光收集器155收集EUV光150并且将其作为收集的EUV光160引导向诸如光刻工具的光学装置165。

[0035] 放大光束110由束递送系统140引导向靶位置130。束递送系统140可以包括光学组件135和将放大光束110聚焦在聚焦区域145中的聚焦部件142。组件135可包括通过折射和/或反射引导放大光束110的光学元件,例如透镜和/或反射镜。组件135还可以包括控制和/或移动组件135的元件。例如,组件135可以包括可控制以使束递送系统140的光学元件移动的致动器。

[0036] 聚焦部件142聚焦放大光束110,使得束110的直径在聚焦区域145中处于最小值。换句话说,聚焦部件142使放大光束110中的辐射当其在方向112上向聚焦区域145传播时会聚。在没有靶的情况下,放大光束110中的辐射随着束110在方向112上传播远离聚焦区域145而发散。

[0037] 如下所述,光学源105产生具有在时间上连接的第一部分和第二部分的脉冲。第一部分可以被称为 “基部”。第一部分调节靶材120以更容易地吸收脉冲的第二部分。脉冲的第二部分具有足以将靶材转换成发射EUV光的等离子体的能量。

[0038] 另外,可以修改靶材120的空间分布,以在脉冲的第一部分与靶材120相互作用之前在与放大光束110相交的方向上增加靶材120的尺寸。例如,靶材120可以用单独的辐射脉

冲(“预脉冲”)从液滴扩展成扁盘,该单独的辐射脉冲在第一和第二部分之前与靶材120相互作用。在与放大光束110相互作用之前增大靶材120的尺寸可以增加暴露于放大光束110的靶材120的部分,这可以增加针对给定量的靶材120产生的EUV光的量(这是由于增加的靶材体积和较大的EUV发射体积,增加的靶材体积可更有效地吸收辐射脉冲,而较大的EUV发射体积可生成增加量的EUV光)。

[0039] 参考图2,示出了示例性过程200的流程图。过程200可以产生辐射脉冲,其可以用作图1的EUV光源100或任何其他EUV光源中的放大光束110。参考图3A-图3C讨论过程200。

[0040] 生成初始辐射脉冲(210)。提取初始辐射脉冲的一段以形成修改辐射脉冲,辐射的修改部分包括第一部分(“基部”)和第二部分(220)。第一部分和第二部分在时间上连接,而不具有缺乏辐射的中间区域。

[0041] 还参考图3A,示出了可以执行过程200的示例性系统301的框图。系统301包括光学源305。光学源305或系统301可以在EUV光源中而不是在光学源105中使用。光学源305包括种子激光器302、门控模块304和光学放大器306。放大器306包括增益介质307。光学源305、门控模块304、放大器306和增益介质307位于光沿其传播的束路径309上。束路径309与接收包括靶材的靶的靶位置330相交。

[0042] 例如,种子激光器302可以是二氧化碳(CO<sub>2</sub>)激光器,其产生放大光束303,并且将束303发射到朝向门控模块304的束路径309上。图3B示出了束303的示例性脉冲形状(能量对时间)。图3B中所示的束303的脉冲形状是用于说明性的目的,并且束303可以具有其他脉冲形状。再次参考图3A,种子激光器302例如可以是发射激光脉冲的主振荡器功率放大器(MOPA)CO<sub>2</sub>激光器。在一些实施中,种子激光器302可以是发射具有1微米(μm)波长的光的激光器,例如钕掺杂的钇铝石榴石(Nd:YAG)激光器。门控模块304用作仅允许束303的一部分通过的开关或滤波器。例如,门控模块304可以包括将束303切割成脉冲的电光门控模块。

[0043] 在一些实施中,门控模块304包括位于路径309上的偏振器304a和304b。偏振器304a和304b例如可以是线性偏振器,当其被定向为它们的透光轴彼此垂直时防止光从门控模块304出现。在该示例中,当偏振器304a和304b被对准为它们的透射轴彼此平行且与束303的偏振平行时,光穿过门控模块304。因此,通过控制偏振器304a和304b的相对方向,门控模块304可以选择性地通过或阻挡束303以提取束303的特定部分。以这种方式,门控模块304提取束303的一部分以形成修改脉冲315。另外,由于门控模块304从透光状态变成挡光状态的有限时间量,在修改脉冲315的任一侧或两侧上可以存在少量漏光。

[0044] 系统301还包括控制器317。光学源305通过链路312与控制器317通信。控制器317包括电子处理器318和电子存储装置319。电子存储装置319可以是易失性存储器,例如RAM。在一些实施中,电子存储装置319可以包括非易失性和易失性部分或组件。处理器318可以是适于执行计算机程序的一个或多个处理器,诸如通用或专用微处理器,以及任何类型的数字计算机的任何一个或多个处理器。电子处理器从只读存储器或随机存取存储器或二者接收指令和数据。电子处理器318可以是任何类型的电子处理器,并且可以是多于一个的电子处理器。

[0045] 电子存储装置319存储可能作为计算机程序的指令,其在被执行时使处理器318与光学源305和/或其组件通信。例如,指令可以是生成信号的指令,所述信号驱动致动器以相对于彼此定位偏振器304a和304b以使得门控模块304阻挡或透射光。换句话说,控制器317

可以被编程或设置成使得束303的特定部分被提取。

[0046] 还参考图3B,示出了从种子激光器302发射的束303和从门控模块304发射的修改脉冲315的示例性时间分布(强度对时间)。修改脉冲315是束303的一部分。

[0047] 在图3B的示例中,束303是具有近似高斯的时间分布的激光脉冲。束303被传递到门控模块304以形成修改脉冲315。可以控制门控模块304以选择或提取束303的特定部分。在图3B的示例中,在时间 $t=t_1$ 时,门控模块304被设置为发射光,而在时间 $t=t_2$ 时,门控模块304被设置为阻挡光。结果,修改脉冲315是束303在时间 $t_1$ 和 $t_2$ 之间的部分,并且其时间分布近似等于束303在时间 $t_1$ 和 $t_2$ 之间的时间分布。然而,由于门控模块304在有限时间量内在透光和/或挡光之间切换,漏光311存在于修改脉冲315的前沿(时间 $t=t_1$ )。漏光311的量可以通过门控模块304的切换时间来确定。在一些实施中,门控模块304将束303切割成具有陡坡的脉冲(几乎瞬间从阻挡束303过渡到穿透束303),脉冲持续时间为50-250纳秒(ns)。

[0048] 在其他示例中,门控模块304可以提取束303的不同部分。例如,门控模块304可以被激活来透光一段较长的时间,以产生具有较长持续时间的修改脉冲315。附加地或替代地,门控模块304可以在不同的时间被激活,以捕获具有与图3B的示例中提取的部分不同的时间强度分布的束303的一部分。选择性地捕获束303的特定部分允许修改脉冲315的能量或强度被控制。例如,在束303处于其峰值能量时激活门控模块304导致修改脉冲315的能量大于当束303处于较低能量时通过激活门控模块304所生成的修改脉冲。

[0049] 再次参考图3A中,修改脉冲315被输入到放大器306,并且放大器306产生放大的修改脉冲308。光学放大器306包括增益介质307,其通过泵浦接收能量并将该能量提供给修改脉冲315,并且将修改脉冲315转换成放大的修改脉冲308。

[0050] 修改脉冲315的放大量由增益介质307和放大器306的增益确定。该增益是放大器306提供给输入光束的能量增加的量或因数。光学放大器306具有“小信号增益”和“饱和增益”,并且入射在光学放大器306上的光束看见的增益取决于光束的能量。对于具有相对较低能量的光束,光学放大器306的增益是线性的,即,增益是相同的,而与输入信号的能量的变化无关。这种情况下的增益被称为“小信号增益”。然而,对于足够大的能量或强度的光束,放大器306可变得饱和。饱和是非线性行为的一种形式,其中由放大器输出的光束的能量与输入光束相比不成比例地增加。处于饱和的放大器306的增益可以被称为“饱和增益”。饱和增益可以小于小信号增益。光学放大器306的小信号增益例如可以是100,000的因数。在一些实施中,光学放大器306的小信号增益例如可以是一个范围,例如 $10^4$ 到 $10^7$ 的因数。

[0051] 如上所述,当门控模块304形成修改脉冲315时,漏光311存在于修改脉冲315的前沿。漏光311具有比修改脉冲315的其他部分更小的能量。结果,漏光311可以按照增益介质307的小信号增益被放大,并且修改脉冲315的剩余部分可以按照饱和增益被放大。因此,在修改脉冲315的前沿的漏光311可以比修改脉冲315的剩余部分放大更大的因数。

[0052] 还参考图3C,示出了示例性放大的修改脉冲308的时间分布(能量作为时间的函数)。放大的修改脉冲308包括第一部分308a(“基部”)和第二部分308b。放大的修改脉冲308是单个脉冲,并且第一和第二部分308a、308b在时间上彼此连接而不具有缺少辐射的中间间隙或区域。

[0053] 第一部分308a从漏光311的放大形成。第一部分308a具有基部持续时间313。基部

持续时间313是在修改脉冲308的开始( $t=t_3$ )与第二部分308b的开始( $t=t_4$ )之间的时间长度。第一部分308a还具有基部水平314。基部水平314是第一部分308a在持续时间313上的最大能量或最大功率。虽然图3C的示例示出了基部水平314与第二部分308b的开始紧邻,但是水平314可以在持续时间313期间的任何时间出现。第二部分308b具有足以将靶中的靶材转换成发射EUV光的等离子体的峰值能量316。

[0054] 参考图4,示出了示例性过程400的流程图。过程400可以用于生成EUV光,并且可以例如用EUV光源100和系统301来执行。

[0055] 参考图5A-图5C来讨论过程400,其示出了在时间段501上的示例性靶位置530。图5A示出了靶材在时间段501上与辐射脉冲508相互作用时靶材的几何分布的变化。图5B是辐射脉冲508的时间分布。辐射脉冲508包括在时间上连接的基部508a和第二部分508b。靶521与基部508a相互作用以形成修改靶524,且第二部分508b照射修改靶524以将修改靶524中的靶材转换为发射EUV光550的等离子体。图5C示出在时间段501期间在靶位置530中的基部508a和第二部分508b的示例性的束宽度。在所示的示例中,基部508a在靶位置530中具有511的束宽。

[0056] 再次参考图4,靶521被提供给靶位置530(410)。靶位置530是接收放大光束和靶材的分布的空间区域,在该示例中,放大光束是辐射脉冲508。靶位置530可以类似于靶位置130(图1)或靶位置330(图3A)。

[0057] 靶521是未电离的靶材(不是等离子体的材料)的几何分布。靶521例如可以是液体或熔融金属的盘、液体或熔融金属的液滴、没有空隙或显著间隙的靶材的连续段、微米或纳米颗粒的雾或原子蒸汽云。靶521的尺寸的特征在于沿着第一方向“x”的范围522和在垂直于第一方向的第二方向“z”上的范围523。范围523平行于辐射脉冲508的传播方向512。

[0058] 在一些实施中,靶521是范围522大于范围523的扩展靶。例如,范围522可以是220微米( $\mu\text{m}$ ),而范围523可以是370纳米( $\text{nm}$ )。在另一示例中,范围522可以是300 $\mu\text{m}$ ,而范围523可以是200 $\text{nm}$ 。范围522和523也可以更大,更小,或在这些示例值之间。例如,范围522可以在30 $\mu\text{m}$ 和500 $\mu\text{m}$ 之间。范围523可以在30 $\mu\text{m}$ 和50 $\text{nm}$ 之间,其中,范围523在未命中靶521时具有在范围的较大端(例如,30 $\mu\text{m}$ )处的值,而在靶521在平行于传播方向512的方向中变平时具有在范围的较小端(例如,50 $\text{nm}$ )处的值。

[0059] 空间地扩展靶521可以增加所生成的EUV光的量。首先,因为范围522大于范围523,所以扩展靶在垂直于传播方向512的方向上向辐射脉冲508呈现相对较大的区域。这将靶中更多的靶材521暴露给放大光束。另外,扩展靶沿着传播方向512可以具有相对较短的长度,允许辐射脉冲508深入靶中,并将靶材的较高部分转换成等离子体。

[0060] 其次,扩展靶在空间上展开了靶材,从而最小化由第二部分508b加热等离子体期间出现材料密度过高的区域的情况。如果在用辐射照射的整个区域中等离子体密度高,则辐射的吸收可以限于首先接收辐射的区域的部分。由该初始吸收所生成的热量可能与大块靶材相距太远,因此难以使靶材表面的蒸发和加热过程维持得足够长,从而无法在第二部分508b的有限持续时间期间利用(蒸发)有意义量的大块靶材。在该区域具有高电子密度的情况下,光脉冲在到达“临界表面”之前仅穿透去往该区域的路径的一部分,“临界表面”中的电子密度如此之高,使得光脉冲被反射。光脉冲不能行进到该区域的那些部分,并且在那些区域中从靶材几乎不生成EUV光。高等离子体密度的区域还可以阻挡从的确发射EUV光的

区域的部分发射的EUV光。因此,从该区域发射的EUV光的总量小于该区域缺少高等离子体密度的部分的情况下的EUV光的总量。这样,使用扩展靶可以导致第二部分508b在被反射之前到达更多的靶材。这可以增加随后产生的EUV光的量。

[0061] 在采用空间扩展靶521的一些实施中,并且参考图6A和6B,靶是预扩展靶621,其是通过使预脉冲612与靶材液滴620相互作用在到达靶位置530之前在空间上被扩展的靶材的分布。靶材液滴620例如可以是直径为17-35 $\mu\text{m}$ 的熔融金属液滴,其是从系统(例如靶材供给系统115(图1))释放的熔融金属液滴流的一部分。第一预脉冲612对液滴620的冲击力使液滴620变形为更接近盘的形状,其在约1-3微秒( $\mu\text{s}$ )之后变形为熔融金属的盘状片。

[0062] 预脉冲612具有持续时间614,并且在时间上与辐射脉冲508隔开延迟时间613,其中预脉冲612发生在辐射脉冲508之前。持续时间614可以使用合适的度量来测量,比如脚到脚的持续时间或半峰全宽(FWHM)。持续时间614例如可以是20-70ns、小于1ns、300皮秒(ps)或更小、100ps或更小、100-300ps或10-100ps。预脉冲612的波长例如可以是1.06 $\mu\text{m}$ 或10.6 $\mu\text{m}$ 。预脉冲612可以具有例如3-60毫焦(mJ)的能量。预脉冲612可以由与产生辐射脉冲508的源相同的次级源生成,或者由与产生辐射脉冲508的源分离并且也与该源不同的源产生。

[0063] 使用预脉冲生成扩展靶的示例是提供扩展靶的一种方式。然而,靶521是扩展靶的实施可以涉及其他技术。例如,靶521可以在从靶材供给系统(诸如图1的系统115)下降到靶位置530的过程中被扩展,而不与预脉冲相互作用。在另一示例中,靶521可以是在到达靶位置之前形成的预成形或加工的靶。在一些实施中,靶521不是扩展靶。

[0064] 再次参考图4,辐射脉冲508被引导向靶521以形成修改靶524(420)。如上面参照图2和图3A-图3C所讨论的,辐射脉冲508可以通过过程200形成。

[0065] 辐射脉冲508包括第一部分508a(“基部”)和第二部分508b,第二部分508b在第一部分508a之后到达靶位置530。辐射脉冲508是单个脉冲,并且在第一部分508a和第二部分508b之间没有间隙或时间分离。第一部分508a具有持续时间513和水平514。持续时间513是辐射脉冲508的开始和第二部分508b的开始之间的时间量。持续时间例如可以是10-150ns。基部508a的能量可以在持续时间513上变化。水平514是基部508a的最大或平均能量。水平514例如可以是1-4mJ。在一些示例中,水平514被表示为第二部分508b的峰值(最大)能量516的百分比。例如,水平514可以是第二部分508b的峰值能量516的1-10%。

[0066] 如关于图3A所讨论的,当通过选择性激活门控模块304而生成基部508a时,设置基部水平514和持续时间513。基部持续时间513和水平514的最佳值取决于靶521的空间特性。例如,靶521可以是具有在约200 $\mu\text{m}$ 和220 $\mu\text{m}$ 之间的范围522以及在约400 $\mu\text{m}$ 和370nm之间的范围523的相对厚的靶。在一些实施方案中,厚靶具有大于350nm的范围523,而薄靶具有小于200nm的范围523。对于相对较厚的靶,产生的EUV光的量随着基部水平514减小而增加。对于这样的靶,基部508a的持续时间513可以被设置为例如150ns或更小,而基部水平514可以被设置为具有1-3mJ的能量。在另一示例中,靶521可以是范围522为300 $\mu\text{m}$ ,范围523为200nm的相对较薄的靶。在该示例中,基部水平514可以被设置为5mJ,而持续时间513可以是50-150ns。在该示例中,水平514可以约为第二部分508b的最大能量的1%。

[0067] 再次参考图4,基部508a与靶521相互作用以形成修改靶524(430)。基部508a撞击靶521以形成修改靶524。修改靶524可采取许多形式。例如,修改靶524可以是在空间上接近大块靶材并且在基部508a与修改靶524中的金属相互作用时形成的预等离子体。预等离子

体是用于增强入射光吸收的等离子体。虽然预等离子体在一些情况下可以发射少量EUV光，但是所发射的EUV光不具有通过将修改靶524中的靶材转化成等离子体而发射的波长或量。在一些实施中，修改靶524是靶材的雾或大量碎片。基部508a与靶521的相互作用力可以导致靶521的全部或部分碎裂，形成雾或大量碎片。

[0068] 修改靶524具有与靶521不同的属性。例如，修改靶524的密度可以不同于靶521的密度。修改靶524的至少一部分的密度可以小于靶521的密度。附加地或替代地，修改靶524的几何分布可以不同于靶521的几何分布。例如，修改靶524可以在一个或多个维度上大于靶521。

[0069] 辐射脉冲508的第二部分508b与修改靶524相互作用以生成EUV光550 (340)。第二部分508b具有足以将修改靶524中的靶材转换成发射EUV光的等离子体的能量。

[0070] 图7、图9和图10A-图10D示出了通过使靶与包括基部的辐射脉冲相互作用而得来的示例性测量数据，图8示出了包括基部的示例性的测量辐射脉冲。

[0071] 参考图7，制图700示出了针对具有300 $\mu\text{m}$ 直径和200nm厚度的靶的EUV功率和基部水平之间的示例性测量关系。沿着与照射辐射束的传播方向垂直的方向测量直径，并且沿着与传播方向平行的方向测量厚度。

[0072] 如上所述，最佳基部水平可以取决于靶的特性。在图7所示的示例中，靶的厚度为200nm，随着基部水平的变化测量EUV功率。对于辐射脉冲加热部分的峰值强度的1-2%之间的基部水平而言，产生的EUV功率最高。辐射脉冲的加热部分是脉冲的具有足够能量将靶材转化为等离子体的部分，比如第二部分508b。在图7所示的示例中，最佳基部水平(产生最多EUV的水平)约为4mJ。

[0073] 参考图8，制图800示出了包括基部804a和第二部分804b的CO<sub>2</sub>激光脉冲804的示例性测量波形。基部804a调节靶(未示出)并且可以通过诸如参照图2讨论的过程200的过程生成。示例性的脉冲804针对从35 $\mu\text{m}$ 直径的熔融锡滴扩展到350 $\mu\text{m}$ 的靶进行优化。与图7的示例相比，图8示例的靶具有较大的直径。对于该靶，最佳基部水平较大，如图8所示。最佳基部水平为第二部分804b的峰值功率的3%，基部水平为10mJ，持续时间为100ns。

[0074] 参考图9，制图900示出了示例性测量转换效率(CE)作为靶直径的函数。靶直径是扩展靶沿着与照射辐射束的传播方向垂直的方向的直径。如图所示，当膨胀靶的直径大于300 $\mu\text{m}$ 时，CE大于或等于3.5%。

[0075] 参考图10A-图10D，示出了在相对于主脉冲到达时间的不同时间拍摄的扩展靶1021的示例性测量阴影图。靶1021是扩展靶，其范围1022沿平行于方向“x”的方向，其范围1023平行于方向“z”。范围1022垂直于方向“z”，并且范围1022大于范围1023。

[0076] 靶1021处于接收辐射脉冲(未示出)的靶位置，该辐射脉冲在平行于“z”方向的方向上传播。该辐射脉冲包括基部和在基部之后到达靶位置的第二部分(或主脉冲)。辐射脉冲的第二部分具有足以将扩展靶中的靶材转换成发射EUV光的等离子体的能量。

[0077] 图10A示出了在辐射脉冲的第二部分的开始前200ns的时间处的预扩展靶1021。图10B示出了在第二部分开始前0-50ns之间并且在基部与靶1021相互作用时的时间处的靶1021。基部和靶1021之间的相互作用在靶1021附近形成低密度羽流(plume) 1005。底座可以对靶1021进行两次修改。首先，底座可以通过生成低密度羽流1005使靶1021的横向和/或纵向密度分布均匀化。这可以使靶密度在局部更均匀，从而产生局部平滑的靶。其次，基部和

靶1021之间的相互作用沿着辐射入射线(方向“z”)形成更温和的等离子体密度标度长度。温和的等离子体密度标度长度在图10B中在羽流1005中被示出。扩展靶的相对均匀的密度分布可以允许主脉冲更有效地穿透靶,与靶材的较高部分相互作用,并将靶材的较高部分转换成等离子体。因此,转换效率(CE)可以更高。温和的等离子体密度分布可导致包括靶材的更多原子或颗粒的更大的等离子体体积。由于更长的等离子体标度长度和更多的EUV光,这可以导致更高的辐射吸收。此外,温和的等离子体密度分布导致较少反射的表面,并且可以减少主脉冲回到产生主脉冲的光源的反射。

[0078] 图10C示出了在主脉冲撞击的时间期间的靶1021,其中靶中的靶材被转换成等离子体和EUV光。图10D示出在主脉冲到达之后保持200ns的后羽流。

[0079] 图11和图12提供了关于可以生成包括基部的辐射脉冲的系统的附加信息。

[0080] 参考图11,示出了示例性光学成像系统1100的俯视平面图。光学成像系统1100包括向光刻工具1170提供EUV光1150的LPP EUV光源1102。光源1102可类似于图1的光源100,和/或包括图1的光源100的组件的一些或全部。

[0081] 系统1100包括光学源,比如驱动激光系统1105、光学元件1122、预脉冲源1143、聚焦部件1142和真空腔室1140。驱动激光系统1105产生放大光束1110。放大光束1110包括基部部分和第二部分,例如类似于上面讨论的辐射脉冲308和508。放大光束1110具有足以将靶1120中的靶材转换成发射EUV光的等离子体的能量。上面讨论的任何靶均可以被用作靶1120。

[0082] 预脉冲源1143发射辐射脉冲1117。辐射脉冲可以用作预脉冲612(图6B)。例如,预脉冲源1143可以是以50kHz重复率操作的Q开关Nd:YAG激光器,并且辐射脉冲1117可以是来自Nd:YAG激光器的波长为1.06 $\mu\text{m}$ 的脉冲。预脉冲源1143的重复率指示预脉冲源1143产生辐射脉冲的频率。对于预脉冲源1143具有50kHz重复率的示例,每20微秒( $\mu\text{s}$ )发射辐射脉冲1117。

[0083] 其他源可以用作预脉冲源1143。例如,预脉冲源1143可以是除Nd:YAG之外的任何稀土掺杂固态激光器,例如掺铒光纤(Er:玻璃)激光器。在另一示例中,预脉冲源可以是产生具有10.6 $\mu\text{m}$ 波长的脉冲的二氧化碳激光器。预脉冲源1143可以是产生具有用于上述预脉冲的能量和波长的光脉冲的任何其他辐射或光源。

[0084] 光学元件1122将放大光束1110和辐射脉冲1117从预脉冲源1143引导到腔室1140。光学元件1122是可以将放大光束1110和辐射脉冲1117沿着类似或相同的路径引导的任何元件。在图11所示的示例中,光学元件1122是接收放大光束1110并将其向腔室1140反射的二向色分束器。光学元件1122接收辐射脉冲1117并将脉冲向腔室1140传送。二向色分束器具有涂层,其反射放大光束1110的(一个或多个)波长并且透射辐射脉冲1117的(一个或多个)波长。二向色分束器例如可以由金刚石制成。

[0085] 在其他实施中,光学元件1122是限定孔径(未示出)的反射镜。在该实施中,放大光束1110从反射镜表面反射并且被引导到腔室1140,并且辐射脉冲穿过孔径并朝向腔室1140传播。

[0086] 在另外的其他实施中,可以使用楔形光学器件(例如,棱镜)将放大光束1110和预脉冲1117按照其波长分离成不同的角度。除了光学元件1122之外,还可以使用楔形光学器件,或者它可以用作光学元件1122。楔形光学器件可以被定位在聚焦部件1142的正上游(在

“-z”方向上)。

[0087] 另外,脉冲1117可以以其他方式被递送到腔室1140。例如,脉冲1117可以穿过将脉冲1117递送到腔室1140和/或聚焦部件1142的光纤,而不使用光学元件1122或其他引导元件。在这些实施中,光纤通过在腔室1140的壁中形成的开口将辐射脉冲1117直接引导到腔室1140的内部。

[0088] 放大光束1110从光学元件1122反射并通过聚焦部件1142传播。聚焦部件1142将放大光束1110聚焦在聚焦平面1146处,聚焦平面1146可以或可以不与靶位置1130重合。脉冲辐射1117穿过光学元件1122并通过聚焦部件1142被引导到腔室1140。放大光束1110和辐射脉冲1117沿着“x”方向被引导到腔室1140中的不同位置,并且在不同时间到达腔室1140。

[0089] 在图11所示的示例中,单个框表示预脉冲源1143。然而,预脉冲源1143可以是单个光源或多个光源。例如,可以使用两个单独的源来生成多个预脉冲。两个单独的源可以是产生具有不同波长和能量的辐射脉冲的不同类型的源。例如,一个预脉冲可以具有 $10.6\mu\text{m}$ 的波长并且由 $\text{CO}_2$ 激光器生成,另一个预脉冲可以具有 $1.06\mu\text{m}$ 的波长并且由稀土掺杂的固态激光器生成。

[0090] 在一些实施中,预脉冲1117和放大光束1110可以由相同的源生成。例如,辐射的预脉冲1117可以由驱动激光系统1105生成。在该示例中,驱动激光系统可以包括两个 $\text{CO}_2$ 种子激光器子系统和一个放大器。种子激光器子系统之一可以产生具有 $10.26\mu\text{m}$ 波长的放大光束,而另一个种子激光器子系统可以产生具有 $10.59\mu\text{m}$ 波长的放大光束。这两个波长可以来自 $\text{CO}_2$ 激光器的不同线。在其他示例中, $\text{CO}_2$ 激光器的其他线可以用于生成两个放大光束。来自两个种子激光器子系统的两个放大光束在相同的功率放大器链中被放大,然后被角分散以到达腔室1140内的不同位置。波长为 $10.26\mu\text{m}$ 的放大光束可以用作预脉冲1117,而具有 $10.59\mu\text{m}$ 波长的放大光束可以用作放大光束1110。在采用多个预脉冲的实施中,可以使用三个种子激光器,其中一个用于生成放大光束1110,第一预脉冲和第二单独的预脉冲中的每一个。

[0091] 放大光束1110和辐射的预脉冲1117都可以在同一光学放大器中被放大。例如,三个或更多的功率放大器可以用于对放大光束1110和预脉冲1117进行放大。

[0092] 参考图12,在一些实施中,极紫外光系统100是包括其他组件的系统的一部分,其他组件比如有真空腔室1200、一个或多个控制器1280、一个或多个致动系统1281和引导激光器1282。

[0093] 真空腔室1200可以是单个整体结构,或者其可以设置有容纳特定组件的单独子腔室。真空腔室1200是至少部分刚性的外壳,空气和其他气体通过真空泵从其中移除,导致腔室1200内的低压环境。腔室1200的壁可以由适合真空使用(可以承受较低的压力)的任何合适的金属或合金制成。

[0094] 靶材递送系统115将靶材120递送到靶位置130。靶位置处的靶材120的形式可以是液滴、液体流、固体颗粒或团簇、包含在液滴内的固体颗粒或包含在液体流内的固体颗粒。例如,靶材120可以包括水、锡、锂、氩或当转变成等离子体状态时具有在EUV范围内的发射线的任何材料。例如,元素锡可以作为纯锡(Sn),作为锡化合物例如 $\text{SnBr}_4$ 、 $\text{SnBr}_2$ 、 $\text{SnH}_4$ ,作为锡合金例如锡-镓合金、锡-铟合金、锡-铟镓合金或这些合金的任何组合而被使用。靶材120可以包括涂覆有上述元素之一的线,例如锡。如果靶材120处于固态,则它可以具有任何合



适的形状,比如环、球或立方体。靶材120可以由靶材递送系统115递送到腔室1200的内部和靶材位置130。靶材位置130也被称为照射点,靶材120在那里与放大光束110进行光学相互作用来产生等离子体。

[0095] 驱动激光系统105可以包括一个或多个光学放大器、激光器和/或灯,它们用于提供一个或多个主脉冲并在某些情况下提供一个或多个预脉冲。每个光学放大器包括能够以高增益来光学放大所需波长的增益介质、激发源和内部光学器件。光学放大器可以或可以不具有形成激光腔的激光镜或其他反馈设备。因此,即使没有激光腔,由于激光放大器的增益介质中的粒子数反转,驱动激光系统105也产生放大光束110。此外,如果有激光腔向驱动激光系统105提供足够的反馈,则驱动激光系统105可以产生是相干激光束的放大光束110。术语“放大光束”包括以下中的一个或多个:来自驱动激光系统105的仅被放大但不一定是相干激光振荡的光,以及来自驱动激光系统105的被放大且也是相干激光振荡的光。

[0096] 驱动激光系统105中的光学放大器可以包括作为增益介质的填充气体,其包括CO<sub>2</sub>并且可以以大于或等于1000的增益来放大波长在约9100和约11000nm之间的,尤其是约10600nm的光。用于驱动激光系统105中的合适的放大器和激光器可以包括脉冲激光器件,例如产生约9300nm或约10600nm辐射的脉冲式气体放电CO<sub>2</sub>激光设备,其例如利用DC或RF激励,以相对较高的功率操作,例如以10kW或更高的功率以及例如50kHz或更高脉冲重复率操作。驱动激光系统105中的光学放大器还可以包括诸如水的冷却系统,其可以在以较高功率操作驱动激光系统105时被使用。

[0097] 光收集器155可以是具有孔径1240的收集器反射镜1255,以允许放大光束110穿过并到达聚焦区域145。例如,收集器反射镜1255可以是椭圆面反射镜,其具有在靶位置130或聚焦区域145处的第一焦点,以及在中间位置1261处的第二焦点(也称为中间焦点),其中,EUV光160可以从极紫外光系统输出并且可以被输入到光学装置165。

[0098] 一个或多个控制器1280被连接到一个或多个致动系统或诊断系统,比如液滴位置检测反馈系统、激光控制系统和束控制系统,以及一个或多个靶或液滴成像器。靶成像器提供指示例如相对于靶位置130的液滴位置的输出,并将该输出提供给液滴位置检测反馈系统,其例如可以计算液滴位置和轨迹,从此可以基于逐个液滴或者基于平均来计算液滴位置误差。因此,液滴位置检测反馈系统将液滴位置误差提供为控制器1280的输入。因此,控制器1280可以例如向激光控制系统提供激光位置、方向和定时校正信号,激光控制系统例如可用于控制激光定时电路和/或束控制系统,来控制光束传输系统的放大光束位置和成形,从而改变腔室1200内的束焦斑的位置和/或焦点功率。

[0099] 靶材递送系统115包括靶材递送控制系统,其可响应于来自控制器1280的信号而操作,例如用以修改由内部递送机构释放的液滴的释放点,以校正到达期望的靶位置130的液滴的误差。

[0100] 另外,极紫外光系统可以包括光源检测器,其测量一个或多个EUV光参数,包括但不限于脉冲能量、能量分布作为波长的函数、特定波长带内的能量、特定波长带外的能量以及EUV强度的角分布和/或平均功率。光源检测器生成供控制器1280使用的反馈信号。例如,反馈信号可以指示参数中的误差,所述参数比如是用于在正确的位置和时间恰当地拦截液滴的激光脉冲的定时和焦点,以用于有效和高效的EUV光产生。

[0101] 在一些实施中,驱动激光系统105具有主振荡器/功率放大器(MOPA)配置,其具有

多级放大并且具有种子脉冲,种子脉冲由具有低能量和例如能够进行100kHz操作的高重复率的Q开关主振荡器(MO)发起。通过MO,例如可以使用RF泵浦的快速轴流式CO<sub>2</sub>放大器来放大激光脉冲,以产生沿着束路径行进的放大光束110。

[0102] 尽管可以使用三个光学放大器,但是在该实施中可以使用少至一个放大器和超过三个的放大器。在一些实施中,每个CO<sub>2</sub>放大器可以是具有由内部反射镜折叠的10米放大器长度的RF泵浦轴流式CO<sub>2</sub>激光立方体。

[0103] 在照射点,放大光束110被用来创建具有特定特性的等离子体,特性取决于靶材120的组分。这些特性可以包括由等离子体产生的EUV光160的波长以及从等离子体释放的碎片的类型和量。放大光束110蒸发靶材120,并且将蒸发的靶材加热到电子脱落(等离子体状态)的临界温度,留下离子,离子被进一步加热,直到它们开始发射波长在极紫外线范围内的光子。

[0104] 已经描述了多种实施。然而,其他实施也在所附权利要求的范围内。

[0105] 尽管被示为线性路径,但是束路径309(图3A)可以采取任何形式。另外,光学源305可以包括其他组件,例如透镜和/或反射镜,以沿着路径309对光进行控向。光学放大器306(图3A)被示为单级,然而在其他实施中,光学放大器306可以是多个放大器的链。放大器链可以包括一个或多个前置放大器和一个或多个功率放大器级。

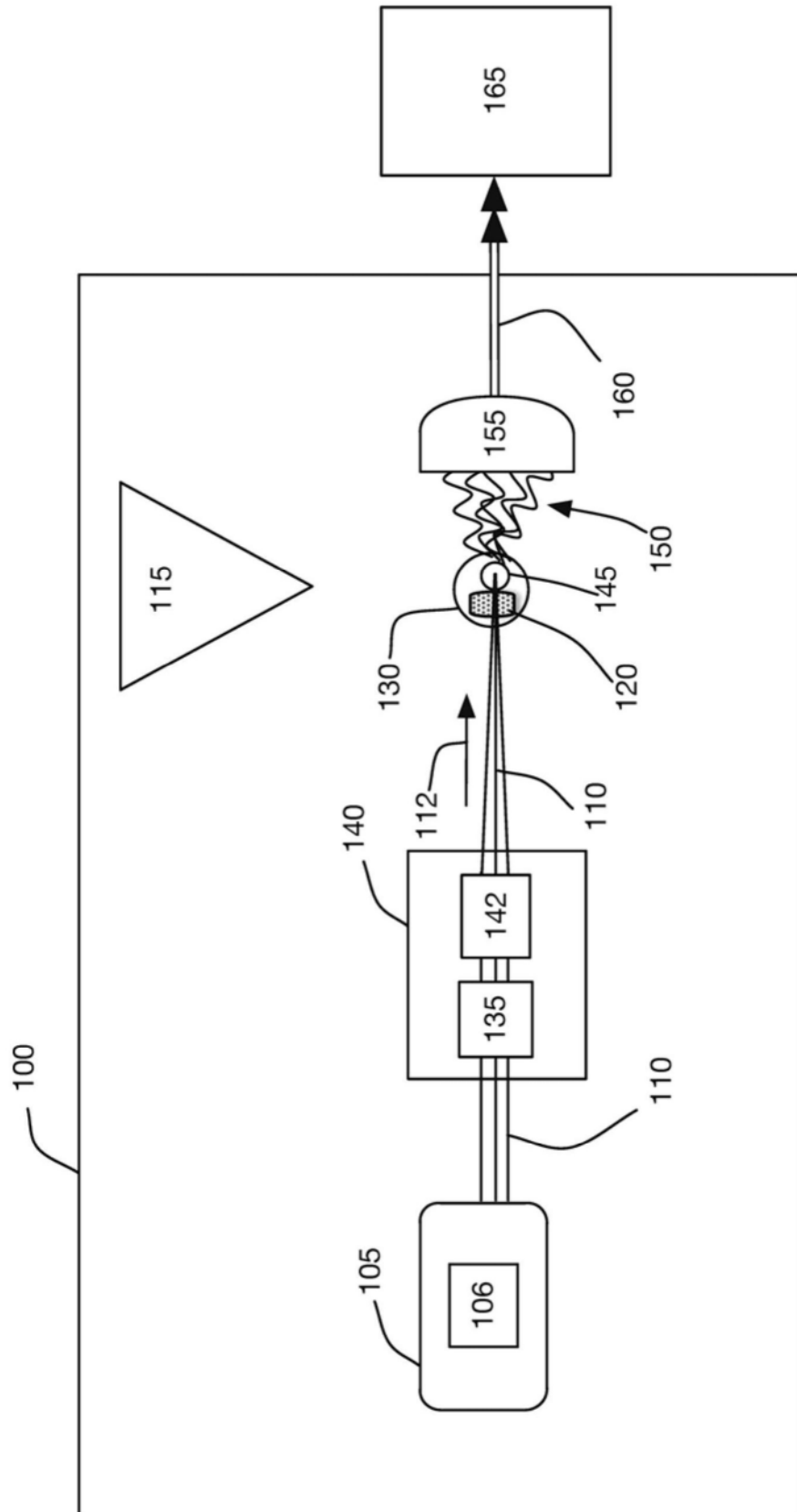


图1

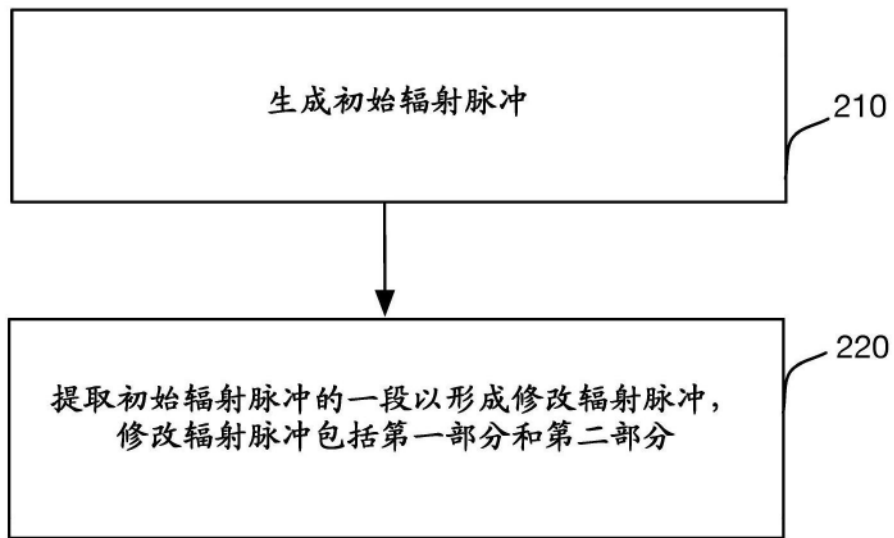
200

图2

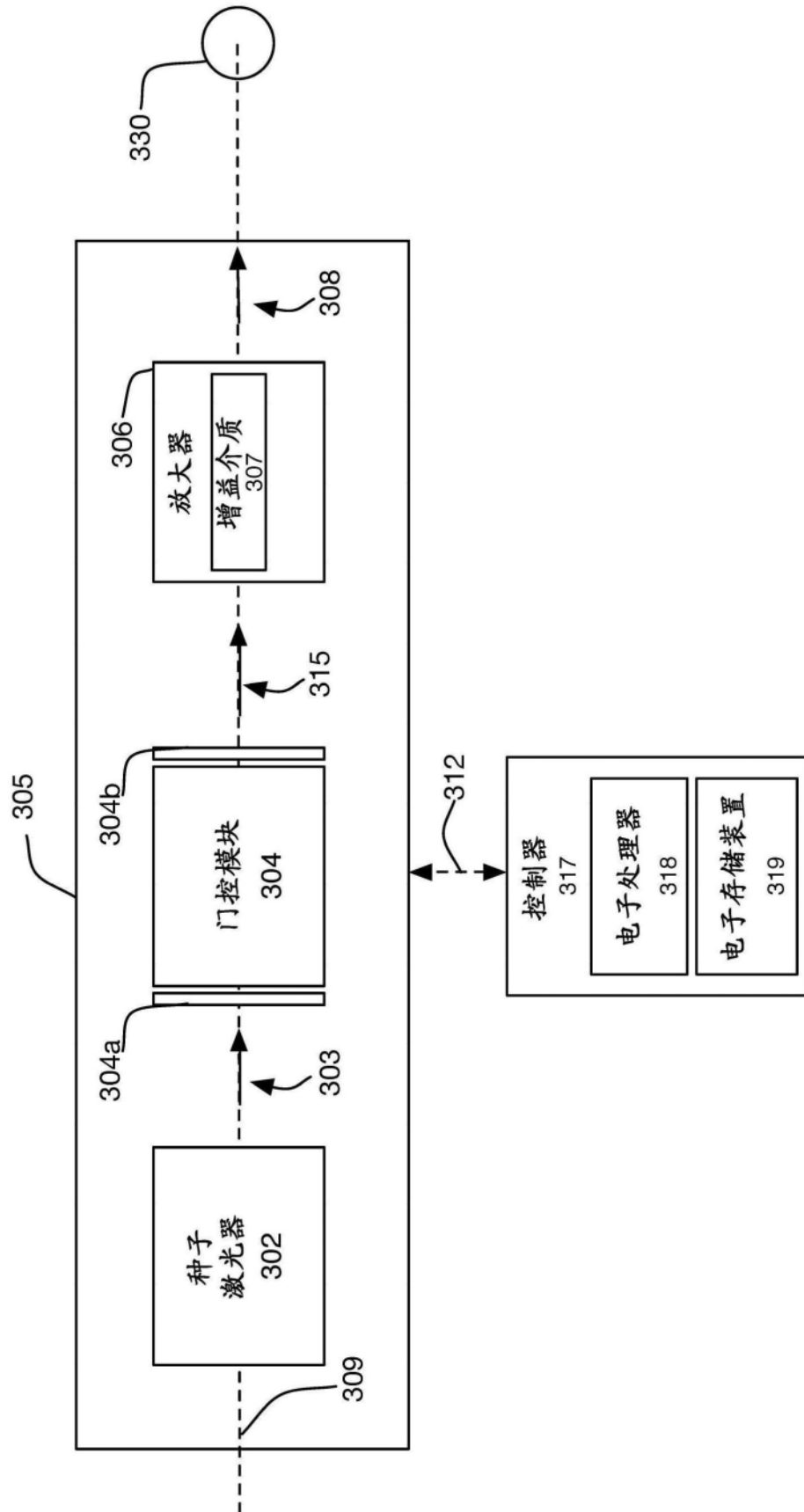
301

图3A

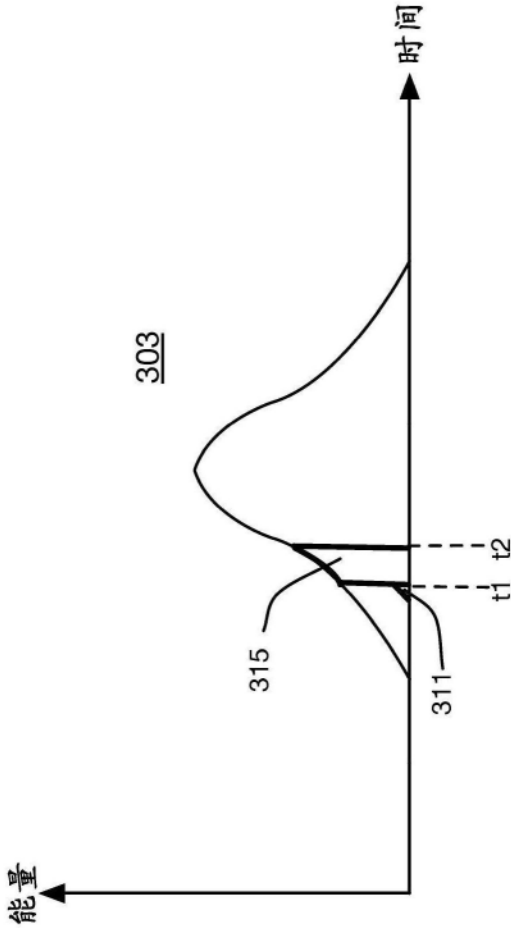


图3B

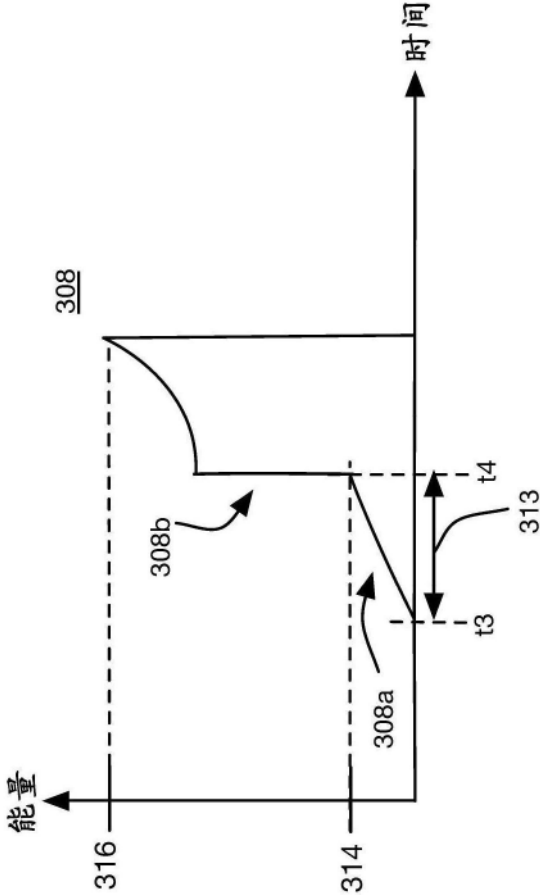


图3C

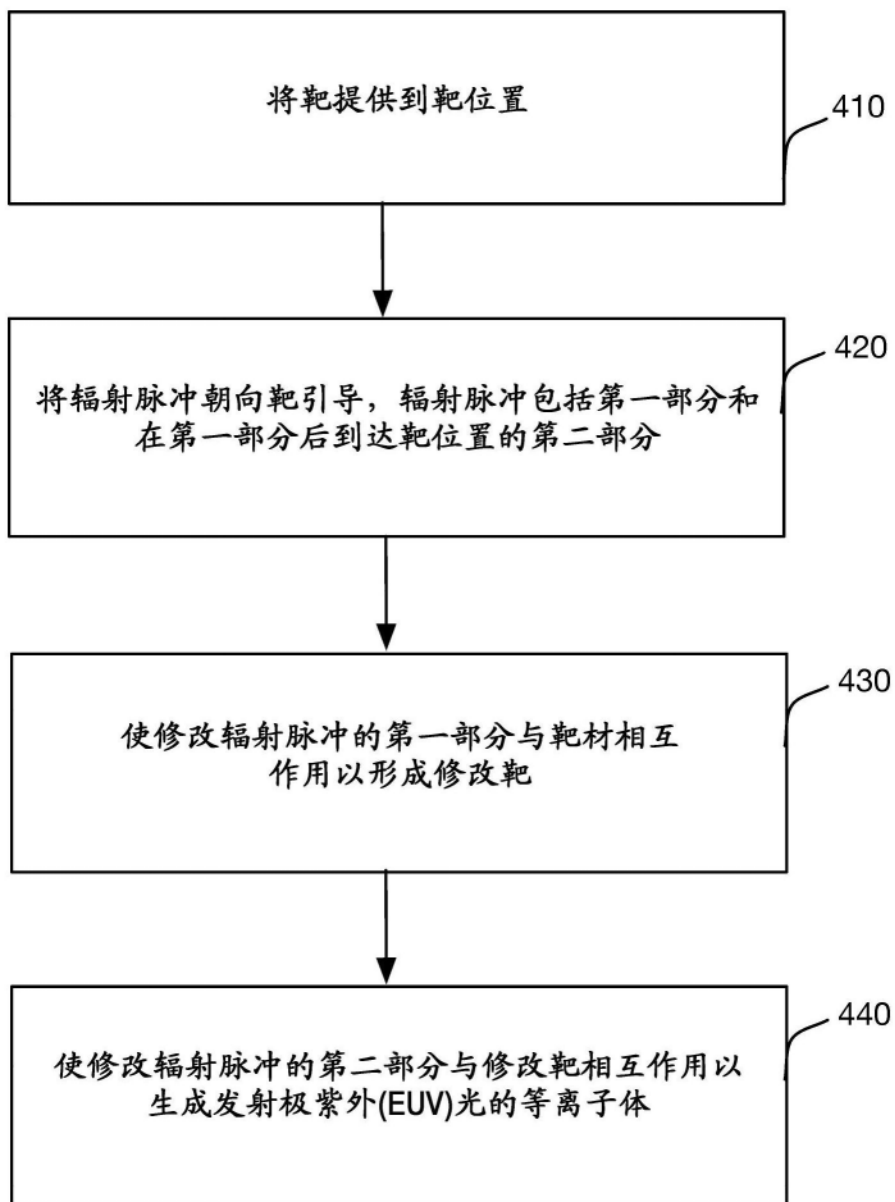
400

图4



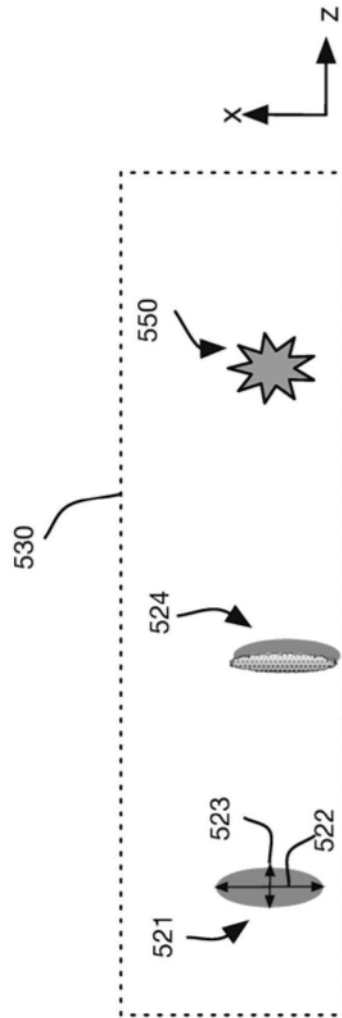


图5A

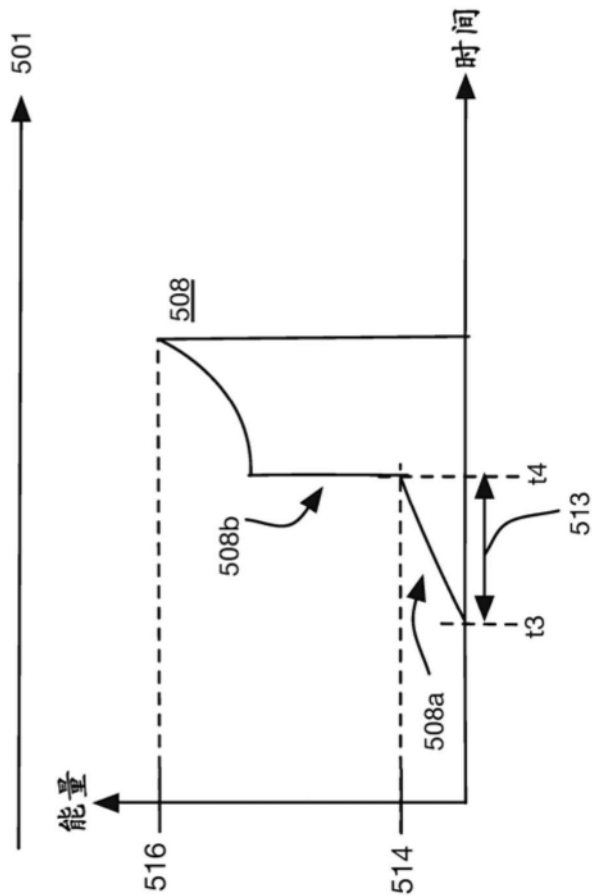


图5B

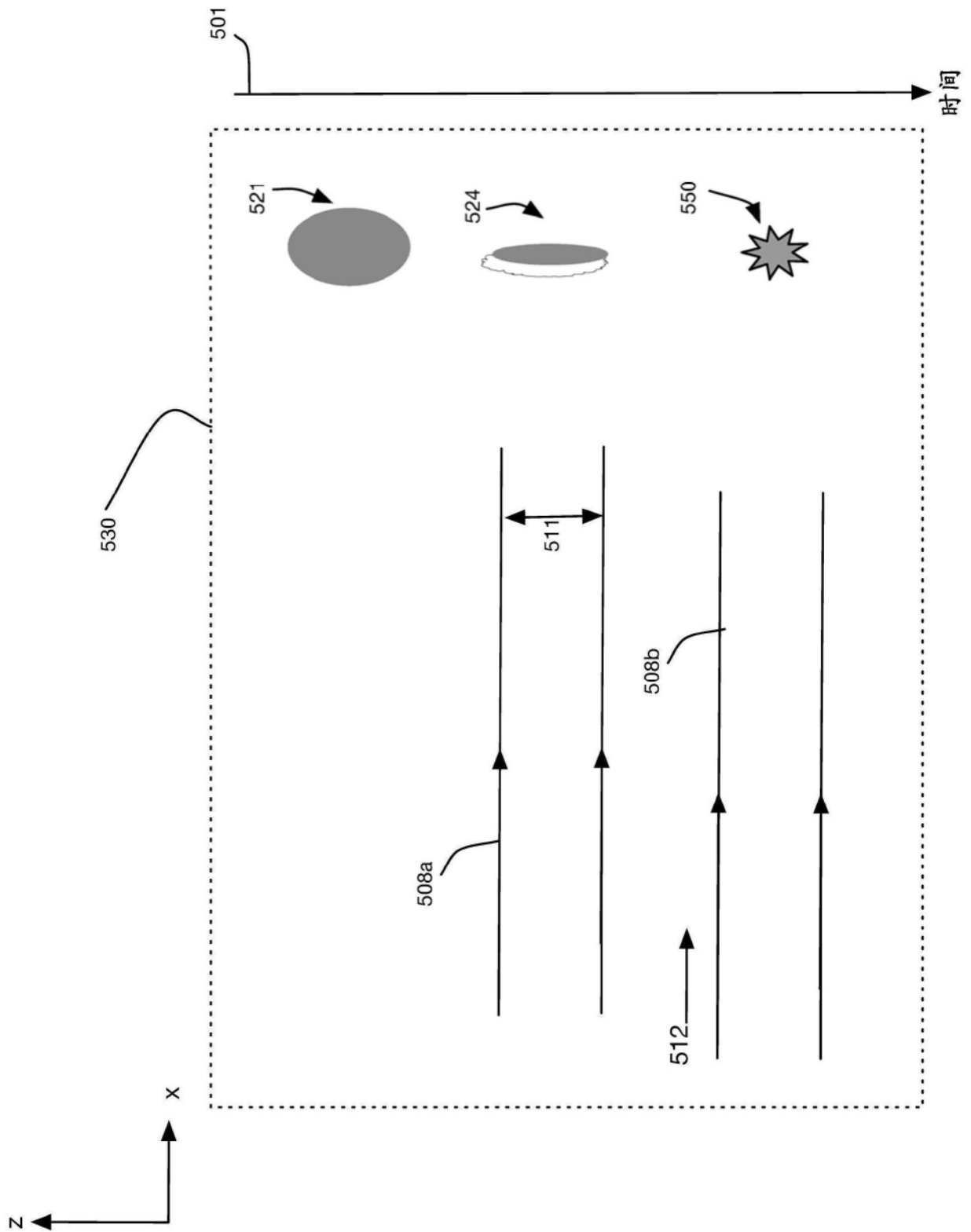


图5C

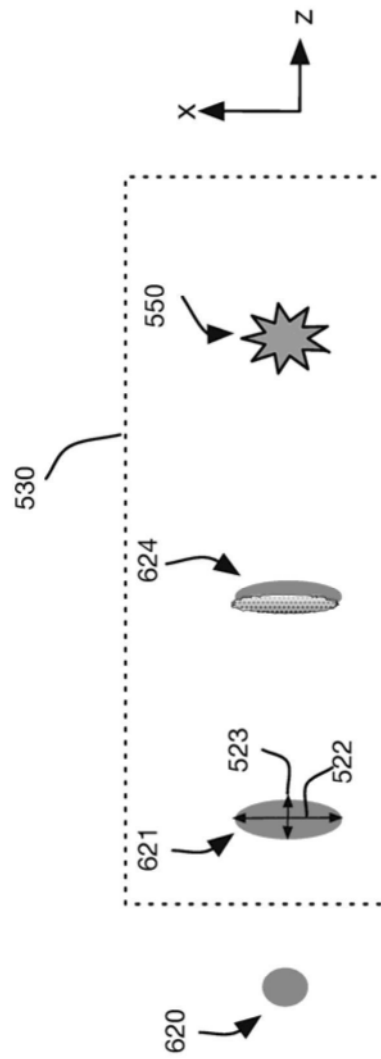


图6A

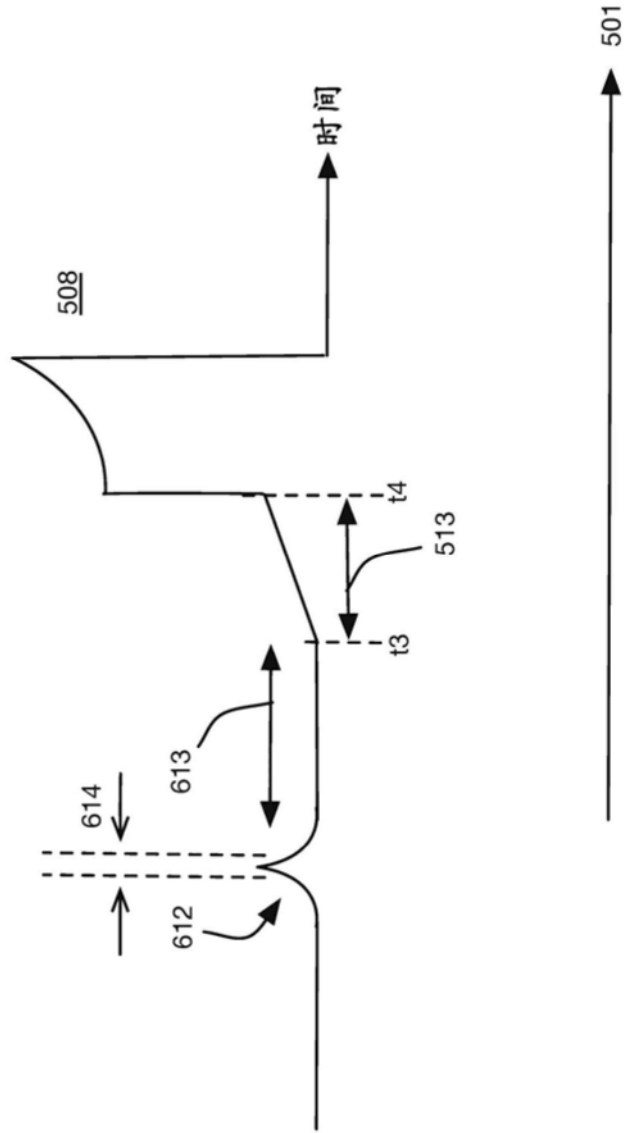


图6B

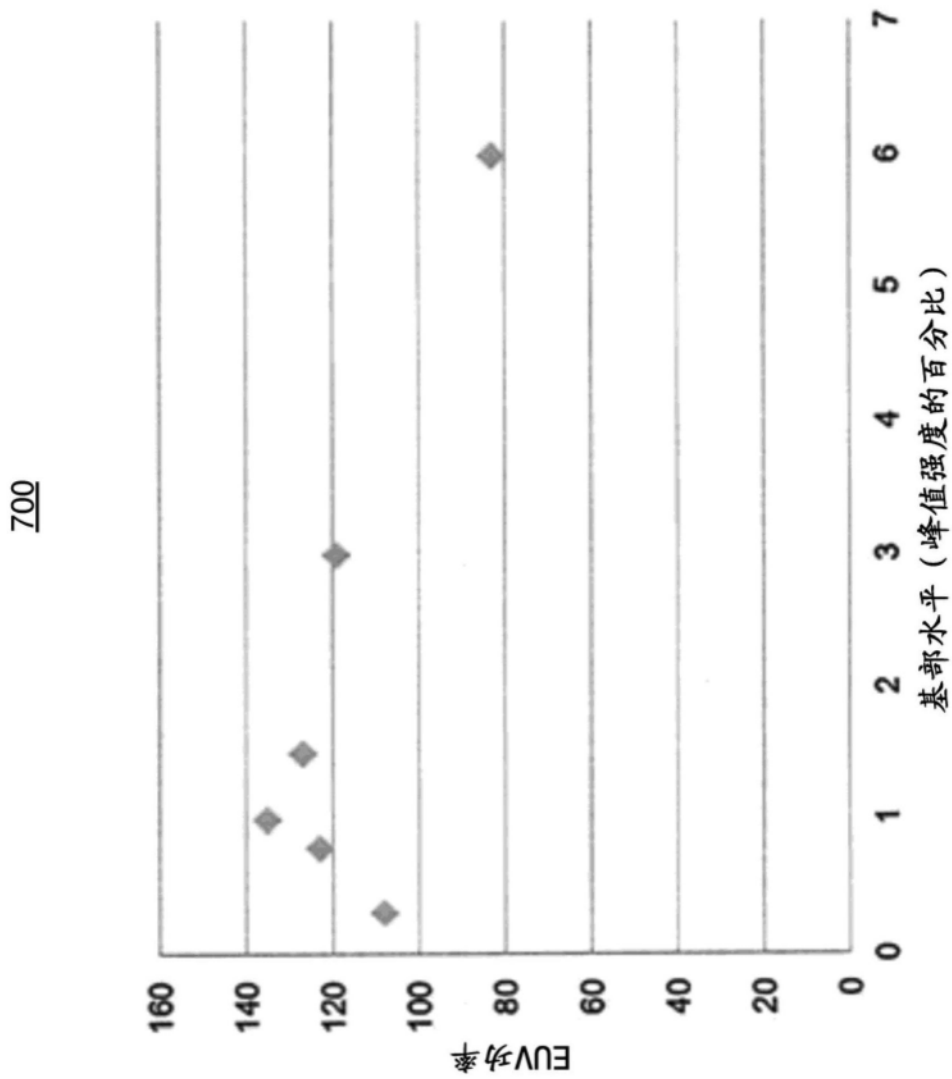


图7

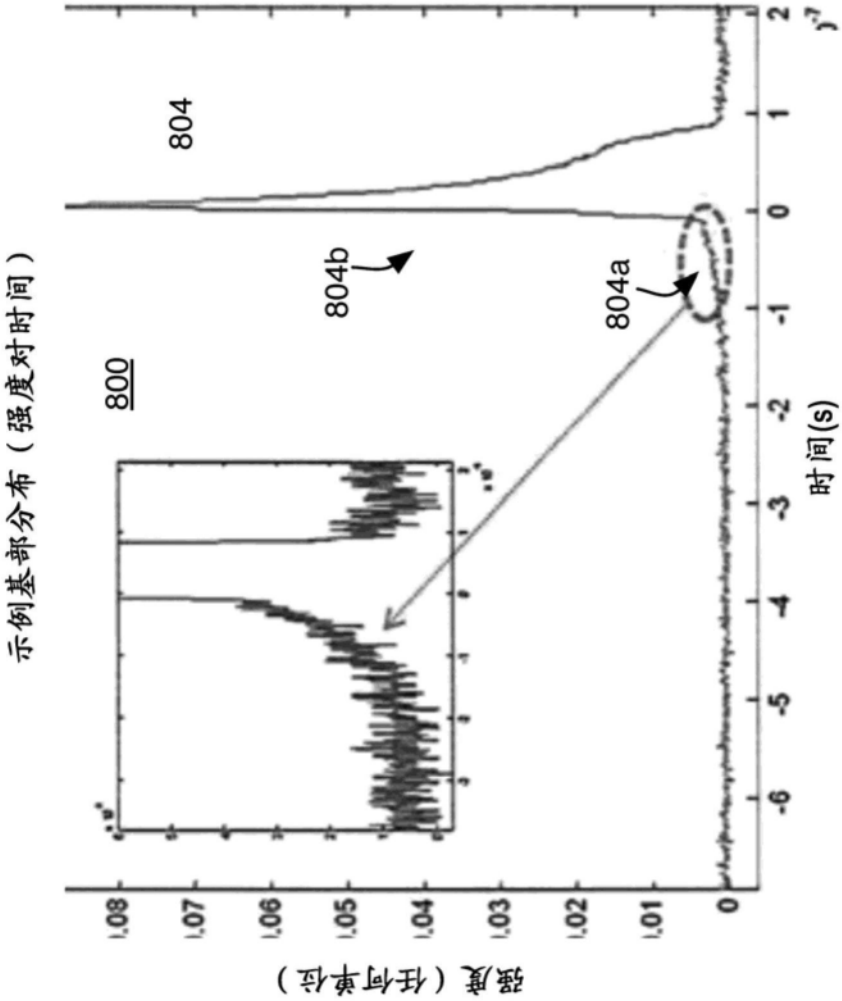


图8

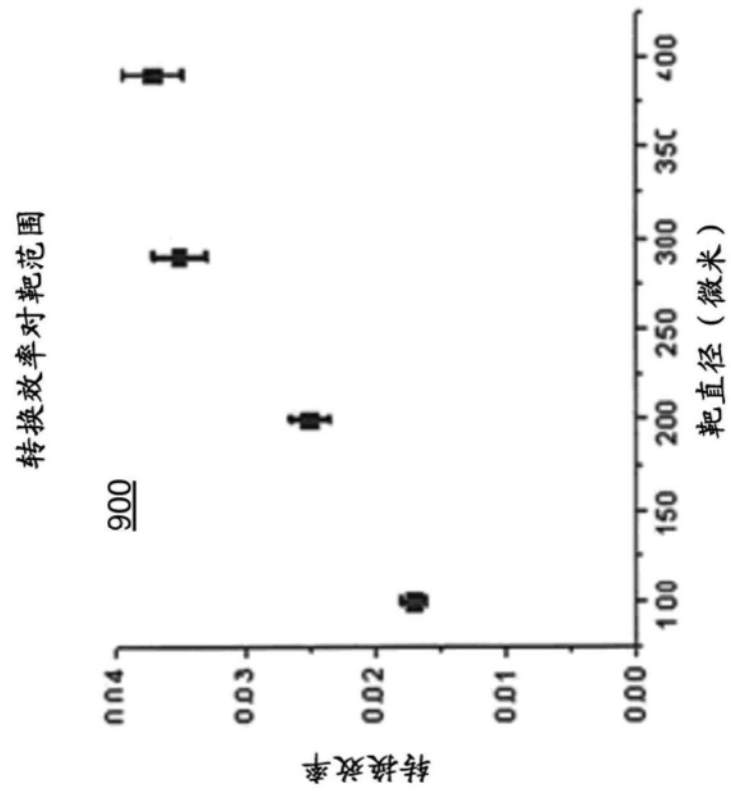
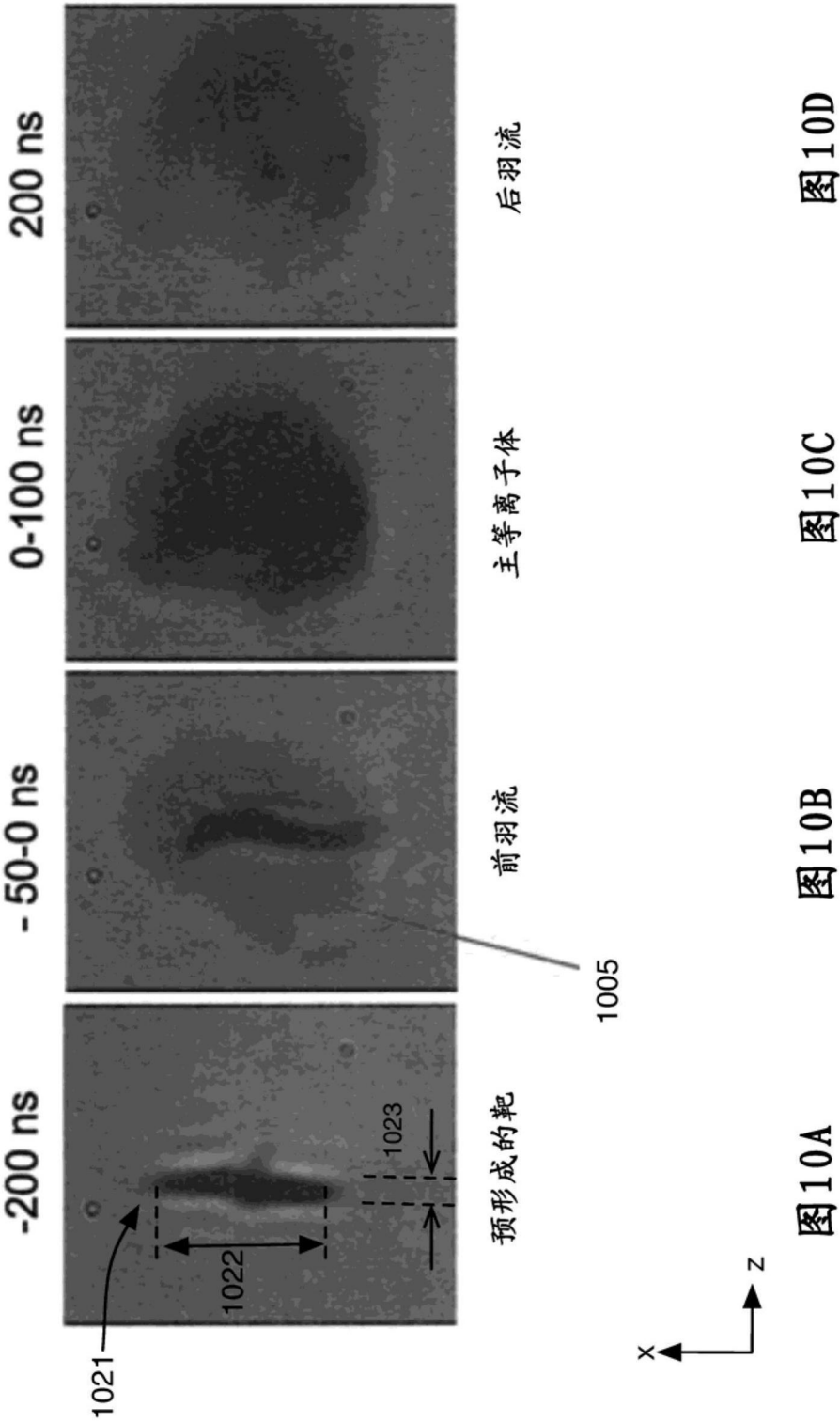


图9





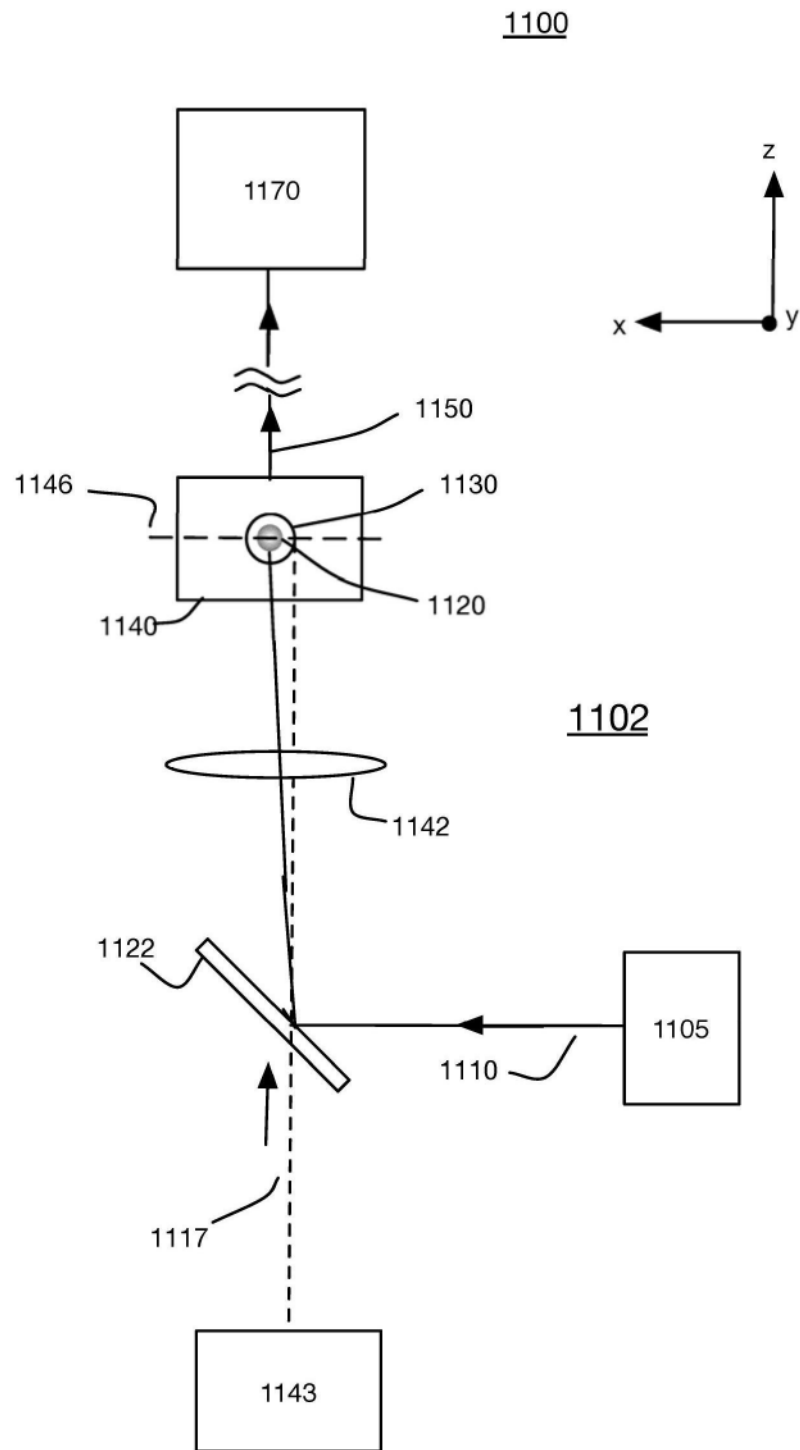


图11

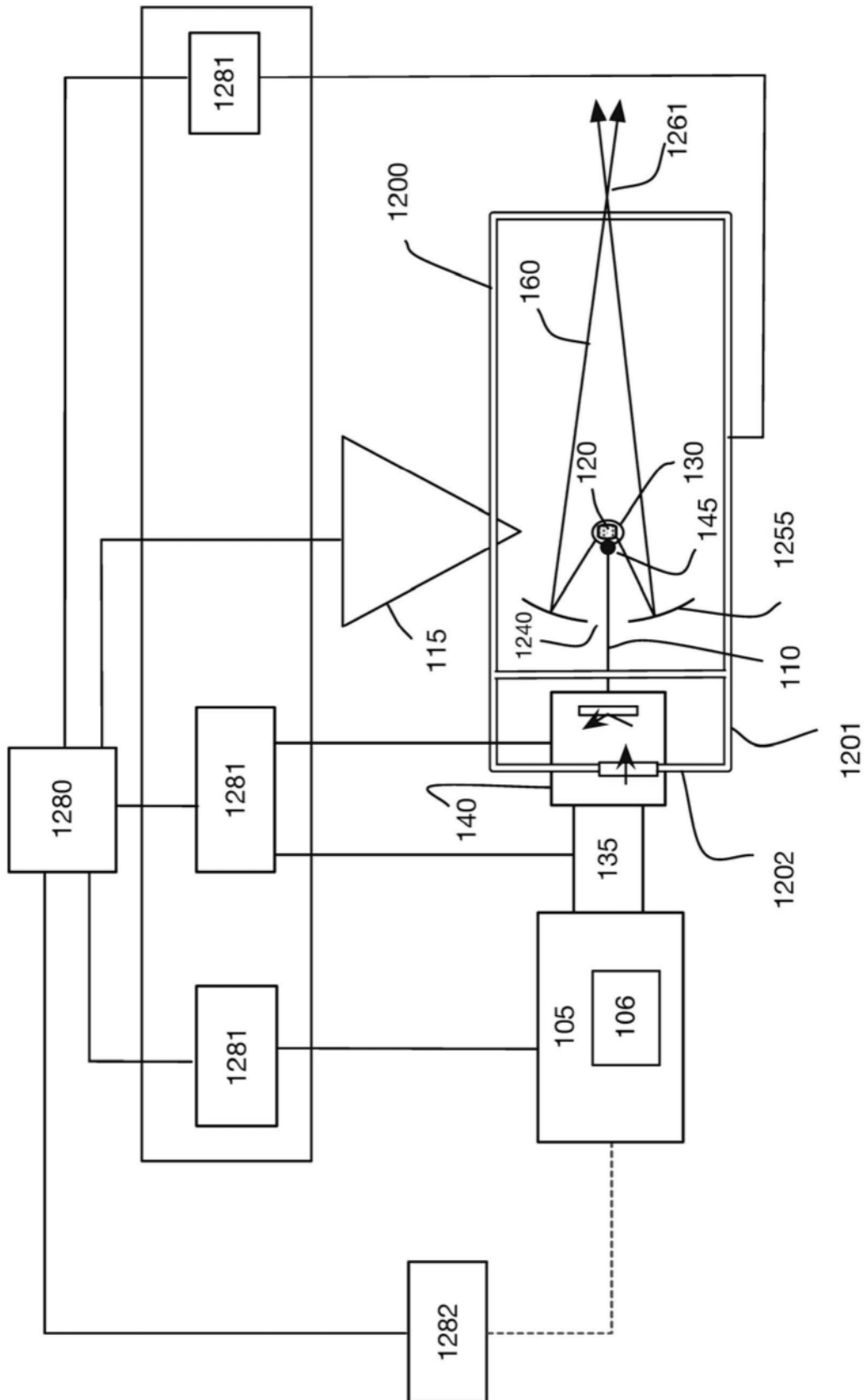


图12