



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113167741 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(21) 申请号 201980047563.7

(22) 申请日 2019.05.14

(30) 优先权数据

62/671,611 2018.05.15 US

62/671,616 2018.05.15 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2021.01.15

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2019/032282 2019.05.14

(87) PCT国际申请的公布数据

W02019/222260 EN 2019.11.21

(71) 申请人 菲拓梅里克斯公司

地址 美国加利福尼亚州

(72) 发明人 雷鸣

(74) 专利代理机构 北京三高永信知识产权代理有限公司 11138

代理人 关越

(51) Int.Cl.

G01N 21/88 (2006.01)

G01N 21/95 (2006.01)

G01N 21/01 (2006.01)

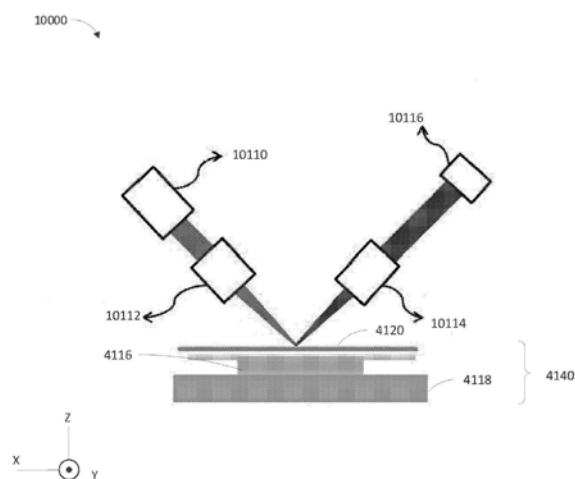
权利要求书3页 说明书39页 附图22页

(54) 发明名称

二次谐波产生 (SHG) 光学检查系统设计

(57) 摘要

二次谐波产生 (SHG) 可用于询问样品 (例如层状半导体结构) 的表面。基于SHG的样品询问系统可一次同时收集SHG信号的不同偏振分量, 以提供不同类型的信息。SHG成像系统可提供更大样品区域上的SHG图像或SHG信号分布图。一些这样的SHG成像系统采用多个光束和多个检测器来捕获样品区域上的SHG信号。一些SHG成像系统采用成像光学器件将样品成像到检测器阵列上, 以形成SHG图像。



1. 一种使用二次谐波产生来表征样品的系统,所述系统包括:
样品架,被配置为支撑样品;
光源,被配置为将光束引导至所述样品上,以生成二次谐波产生;
光学检测系统,被配置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述光学检测系统包括第一检测器和第二检测器;
偏振分束器,被设置在所述样品和所述光学检测系统之间的光路中以接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述偏振分束器被配置为将光分离为第一偏振分量和第二偏振分量并将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至所述第一检测器和所述第二检测器;以及
处理电子设备,被配置为基于所述接收到的第一偏振分量和第二偏振分量接收来自所述第一检测器和所述第二检测器的信号。
2. 根据权利要求1所述的系统,其中,所述第一偏振分量和所述第二偏振分量包括正交的偏振态。
3. 根据权利要求1或2所述的系统,其中,所述第一偏振分量和所述第二偏振分量包括不同偏振方向上的线性偏振光。
4. 根据上述权利要求中任一项所述的系统,其中,所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别是s和p偏振。
5. 根据上述权利要求中任一项所述的系统,其中,所述偏振分束器包括偏振分束器立方体。
6. 根据上述权利要求中任一项所述的系统,还包括设置在所述光源和所述样品之间的光路中的偏振器,使得偏振光被引导至所述样品。
7. 根据权利要求6所述的系统,其中,设置在所述光源和所述样品之间的所述光路中的所述偏振器包括线性偏振器。
8. 根据上述权利要求中任一项所述的系统,还包括设置在所述光源和所述样品之间的聚焦透镜,以将来自所述光源的光聚焦到所述样品上。
9. 根据上述权利要求中任一项所述的系统,还包括设置在所述样品和所述偏振分束器之间的准直透镜,以准直来自所述样品的二次谐波产生的光。
10. 根据上述权利要求中任一项所述的系统,其中,所述样品架包括平移台。
11. 一种使用二次谐波产生来表征样品的系统,所述系统包括:
样品架,被配置为支撑样品;
光源,被配置为将光束引导至所述样品上,以生成二次谐波产生;
分束器,设置在所述光源和所述样品之间的光路中,所述分束器被配置为将来自所述光源的所述光分离成多个光束,所述多个光束同时入射到所述样品上的多个位置处,使得所述多个光束生成多个二次谐波产生信号;
光学检测系统,被配置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述光学检测系统包括多个检测器,来自所述分束器的所述多个光束中的相应光束被配置为产生被引导至所述多个检测器中的相应检测器的相应SHG信号;以及
处理电子设备,被配置为接收来自所述多个检测器的信号。
12. 根据权利要求11所述的系统,其中,所述分束器包括衍射分束器,所述衍射分束器

被配置为接收一个光束并将所述光束分成多个光束。

13. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述分束器包括声光调制器, 所述声光调制器被配置为接收一个光束并且将所述光束分成多个光束。

14. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述分束器被配置为将输入光束分离为被引导至所述样品上的至少三个输出光束。

15. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述分束器被配置为将输入光束分离为被引导至所述样品上的至少五个输出光束。

16. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述分束器被配置为将输入光束分离成被引导至所述样品上的至少十个输出光束。

17. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述多个检测器包括三个检测器。

18. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述多个检测器包括五个检测器。

19. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述多个检测器包括十个检测器。

20. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 还包括在所述分束器和所述样品之间的光路中的分色反射镜, 以接收来自样品的所述SHG信号并将所述SHG信号引导至所述多个检测器中的相应检测器。

21. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述样品架包括平移台。

22. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 还包括被配置为扫描所述多个光束的光束扫描系统。

23. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 还包括至少一个偏振分束器, 所述偏振分束器设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光, 所述至少一个偏振分束器被配置为将光分离成第一偏振分量和第二偏振分量并将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器和第二检测器。

24. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 还包括多个偏振分束器, 所述偏振分束器设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光, 所述偏振分束器被配置为将光分离成第一偏振分量和第二偏振分量并将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器和第二检测器。

25. 根据权利要求23或24所述的系统, 其中, 所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别是s和p偏振。

26. 一种使用二次谐波产生来表征样品的系统, 所述系统包括:

样品架, 被配置为支撑样品;

光源, 被配置为将光束引导至所述样品上, 以生成二次谐波产生;

光学检测系统, 被配置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光, 所述光学检测系统包括至少一个检测器阵列;

投射光学器件, 被配置为将来自所述样品的二次谐波产生的光投射到所述检测器阵列上; 以及

处理电子设备, 被配置为接收来自所述检测器阵列的信号。

27. 根据权利要求23所述的系统, 其中, 所述检测器阵列包括二维阵列。

28. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述检测器阵列包括CCD阵列。

29. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述检测器阵列包括时间依赖积分

设备。

30. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述投射光学器件被配置为将所述样品成像到所述检测器阵列上。

31. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 其中, 所述投射光学器件包括成像透镜, 所述检测器阵列设置在所述样品的共轭像平面处。

32. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 还包括聚焦透镜, 被配置为将来自所述光源的光聚焦到所述样品上。

33. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 还包括平移台, 被配置为相对于所述光源和所述检测器阵列平移所述样品。

34. 根据权利要求33所述的系统, 其中, 所述平移台包括x-y平移台。

35. 根据上述权利要求中任一项所述的系统, 还包括至少一个偏振分束器, 设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光, 所述偏振分束器被配置为将光分离成第一偏振分量和第二偏振分量, 并将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器阵列和第二检测器阵列。

36. 根据权利要求35所述的系统, 其中, 所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别是s和p偏振。

二次谐波产生 (SHG) 光学检查系统设计

相关申请的交叉引用

[0001] 本申请根据35U.S.C. §119(e) 要求于2018年5月15日提交的标题为“SECOND HARMONIC GENERATION (SHG) IMAGING BASED OPTICAL INSPECTION SYSTEM DESIGN (基于二次谐波产生 (SHG) 成像的光学检查系统设计)”的第62/671,616号美国临时申请和于2018年5月15日提交的标题为“SYSTEM DESIGN FOR HYBRID-POLARIZATION OPTICAL SECOND HARMONIC GENERATION (用于混合偏振光学二次谐波产生的系统设计)”的第62/671,611号美国临时申请的权益,这两者均通过引用整体并入本文。

技术领域

[0002] 本申请涉及用于基于二次谐波产生 (Second Harmonic Generation, SHG) 的晶片检查、半导体计量、材料表征、表面表征和/或界面分析的系统。

背景技术

[0003] 在非线性光学器件中,光束输入被输出为输入的和、差或谐波频率。二次谐波产生 (SHG) 是一种非线性效应,其中从材料中以一定角度发出频率为入射源光束两倍的光。该过程可以被认为是两个能量为E的光子组合以产生入射辐射的能量为2E的单个光子(即,产生两倍频率(2ω)或一半波长的光)。

[0004] T.F.Heinz等人发表在由A.C.Tam、J.L.Cole和W.C.Stwalley (1988年,位于纽约的美国物理研究所) 编辑的Advances in Laser Science III《激光科学进展III》第452页的“Optical Second-Harmonic Generation from Semiconductor Surfaces (来自半导体表面的光学二次谐波产生)”提供了其中采用SHG技术的科学调查的概述。正如所评述的那样,SHG过程不会在具有对称中心的本体材料(即,反演(inversion)或中心对称的材料)中发生。对于这些材料,仅可在本体材料反演对称被破坏的表面和/或界面处才能感知SHG过程。因此,SHG过程对表面和界面特性具有独特的灵敏度。

[0005] 在这样的理解下,在授予Heinz等人的第5,294,289号美国专利中描述了SHG效应。授予Downer等人的第5,557,409号美国专利;授予Hunt的第6,795,175号、第6,781,686号、第6,788,405号、第6,819,844号、第6,882,414号和第7,304,305号美国专利;授予Tolk等人的第6,856,159号美国专利以及授予Alles等人的第7,158,284号美国专利也均描述了可以采用的其他方法或“工具”。然而,这些专利的教导看起来并未克服将SHG作为成熟技术用于半导体制造和计量中所面临的一些主要障碍。

发明内容

[0006] 第一部分

[0007] 描述了一种SHG计量工具,其中,为了实现求和频率生成(Sum Frequency Generation, SFG) (例如,通常是SHG) 的目的,用具有不同功率特性的泵浦(pump) 光源和探头(probe) 光源各自以不同方式激发层状半导体衬底中的电子。对于这种方法,计量表征工

具设有作为“泵浦”操作的“附加”集成光源(例如,紫外线闪光灯或激光器)和作为“探头”光源操作的短或超短脉冲激光器(例如,飞秒固态激光器),二者一起在层状半导体器件模板诱导跨一个或多个异质界面的电势差。效用是通过将用于不同目的两种不同光源协同使用或彼此结合(通过进一步描述的多种时间偏移(time-offset)和/或可变泵浦能量方法)而实现的,这与单激光器SHG或双激光器或多激光器SFG系统不同。

[0008] 在一种方法中,将泵浦用作预激发(pre-exciting或pre-excitation)光源,以减少某些材料的总表征时间。在许多这样的实施方式中,时间相关的电场不是主要由探头/探测激光器产生的。在该方法的一种变型中,泵浦被用于对整个晶片进行紫外线闪光,然后使用探头激光器光栅化或以其他方式扫描整个晶片或其部分,每个点花费最少的探测时间(例如,就像硬件尽可能快地移动激光器那样扫描)。在这方面的选择包括逐行扫描,并且通过晶片转移来进行沿(扫描)列的跨步。另一种方法可以采用沿半径的晶片旋转和扫描。

[0009] 在另一种变型中,泵浦允许在样点处对材料界面进行快速充电,然后通过探头结合在于2014年4月17日提交的名称为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES(晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第二节的标题为“CHARGE DECAY MEASUREMENT SYSTEMS AND METHODS(电荷衰减测量系统和方法)”的部分中进一步描述的快速阻挡和/或光学延迟方法,来观察该带电界面的衰减。无论如何,在多种实施方案中,用于预激发的泵浦的意图是将电荷载流子注入到例如电介质中,其数量足以影响该界面。

[0010] 在另一种方法中,泵浦激光器被用作后激发(post-exciting或post-excitation)光源,以影响探头激光器在样点处已经产生的SHG信号。又一方法采用对由施加泵浦激光器能量前后的探头产生的SHG信号进行的比较/对比。通过在泵浦之前用探头处理样品并测量SHG响应,然后施加来自泵浦光源的辐射,然后再用探头处理,可以用泵浦前后的SHG响应差异来确定另外的材料特性,例如材料电介质中的陷阱密度。

[0011] 在本文讨论的多种方法中,采用时间差(即,在泵浦源相对于探头激光器进行激发之前和/或之后这一方面)来递送询问曲线,该询问曲线表明了关于材料界面的更多信息。

[0012] 在多种方法中,同时使用泵浦源和探头源,并使用该组合来提供SHG信号以确定阈值注入载流子能量。具体而言,在使用探头激光器进行探测时,提高可调谐泵浦激光器的频率。在特定频率下,SHG信号显示出拐点(或不连续区域)。与拐点(或不连续区域)处的泵浦激光器频率相对应的值可与阈值注入载流子能量相关。

[0013] 本发明的泵浦和探头系统的多种实施方案也提供了某些基于硬件的优势可能性。在泵浦是闪光灯的示例中,相对于2激光器系统,可以实现高度相关的成本节约。无论是作为闪光灯还是第二激光器提供,本文中设想的泵浦和探头的组合还可以降低对要被询问的衬底造成光学损坏的风险,这是因为如果超过阈值平均功率,太强的照明会降低电介质甚至衬底的质量。可以通过实验校准研究来确定对衬底造成光学损坏的阈值平均功率。

[0014] 为了理解与本发明的硬件有关的后一种可能性,提供了一些背景。即,泵浦能量和探头能量都能够单独利用这样的硬件产生SHG信号。尽管泵浦源和探头源不需要一起运行即可产生SHG信号,但是在本发明的方法中,相关材料特性主要是由探头产生的SHG强度得出的,这是因为泵浦通常没有峰值功率来适当地驱动掩埋界面SHG。时间相关的SHG强度曲线将基于跨界面(例如电介质层和衬底之间)的电荷载流子分布而变化。跨界面(例如电介质层和半导体衬底之间)注入载流子所需的时间取决于样品的目标平均功率。在一些实施

方式中,仅探头就可以跨电介质和衬底之间的界面注入载流子。在这样的实施方式中,由于无法将平均功率与峰值功率解耦,达到这样的目标平均功率所花费的时间可能比使用泵浦和探头组合的实现方式更长:该目标平均功率允许跨电介质和衬底之间的界面注入载流子,而不会超过材料的光学损伤阈值。通过使用高平均功率但低峰值功率的光源作为泵浦在探测之前跨电介质层和衬底之间的界面注入载流子,可以节省提高平均功率的时间,而不会造成在所述平均功率情况下的高峰值功率可能会引起的潜在损害问题。

[0015] 因此,与泵浦相比,本发明的探头通常是具有低平均功率的峰值功率较高的源。换句话说,探头激光器通常相对较弱。在一个方面中,这允许对存在于衬底界面处的自然电场的干扰最小,以产生初始的时间无关的信号。

[0016] 在平均功率较高但是峰值功率低的情况下,泵浦通过使电荷载流子在材料界面处或跨界面发生能级跃升而感应出电场(E)。通过使用相对较高平均功率源作为泵浦,并通过给所有可用电子提供至少足以跳入电介质的能量来对界面快速“充电”,可导致出现峰值功率高(提供高SHG转换率)但是平均功率低(由于脉冲持续时间短且此类脉冲的数量有限)的探头激光器可以快速询问表面以提供时间无关的SHG信号数据的情况。

[0017] 因此,在本文所述的多种实施方案中,可以减少探头激光器将电子移动到更高能级或跨界面移动所需的时间,这可以允许更快地评估稳态SHG信号和/或电荷载流子时间动态的测量。这种方法还可以将SHG探头的影响与其自身对衬底界面处的电场的影响分开。它还允许加快或忽略SHG过程中的时间相关性,并允许在从探头光束获取的至少一部分信号上更快地采集时间无关的SHG数据。同样,另一方面允许更快和/或更精确地确定用于将载流子注入到界面(例如,半导体和电介质之间的界面)中的阈值能量,以及实现在线工具环境中的高(更高)吞吐量。无论上下文如何,提供的可用时间减少都可以有利地促进半导体行业中任何类型的在线计量工具中实现高吞吐量测试。举例来说,要在包括10nm绝缘体上硅和其下方的25nm掩埋氧化物层的器件(10nm器件层/25nm BOX SOI)上应用先前存在的SHG技术来生成时间相关曲线,需要每个点6至12+秒。使用本文所述的预激发,取决于材料和泵浦/探头功率,可以在不到1秒的时间内产生时间相关性。这一进步将使得给定可用时间/生产线上的晶片上能够处理表面积达到10倍以上,或者在10%的时间内获得同等的置信度。尽管这些数字会根据材料、层厚以及具体的泵浦/探头功率和波长而变化,但它们应该具有启发性。

[0018] 本发明的实施方案包括与上述方法相关联的每个方法、用于执行该方法的硬件、结合了硬件及其产品(包括其由过程生产的产品)的生产系统。

[0019] 第二部分

[0020] 迄今为止,基于SHG的计量工具的使用存在很多限制。据信,这一事实源于现有系统无法在检测到的界面特性之间进行区分。换句话说,尽管现有的SHG技术提供了确定界面电活性异常的位置和存在的方法,但是它们的方法依赖于相对测量,并且实际上无法解析电活性异常类型(例如,诸如铜vs键空隙之类的吸杂污染物)和/或量化检测到的污染物。

[0021] 然而,本发明的系统和方法能够以多种方式捕获定量信息以进行这种活动所需的多种确定。在这些系统和方法中,在用光学电磁辐射(在特定位置处用脉冲激光器或闪光灯或其他电磁能源或光源或其他方式)对晶片样品充电后,进行多次测量以监测与控制衰减周期的异质界面相关联的瞬态电场衰减。

[0022] 通过使用利用多个点生成并表征的衰减曲线数据,可以确定样点处的异常或问题的光谱参数,从而可以区分和/或量化缺陷类型或污染物。总之,收集衰减相关的数据并将其用于提供这样的系统:通过该系统可以确定电荷载流子寿命、陷阱能量和/或陷阱电荷密度,从而可以将缺陷和污染物彼此区分开或解析,以在检测到污染物时进行种类区分和/或在检测到污染物时进行污染物定量。

[0023] 这一活动是定点(site-by-site basis)确定的,通常通过重复所选方法来扫描整个晶片或其他材料样品或其区域。至于实现这种确定所需的计算机处理,它可以“实时”发生(即在扫描期间无任何显著延迟地输出结果)或通过后处理发生。然而,在多种实施方案中,控制软件可以无延迟地运行,以提供精确的系统定时从而根据如下所述的方法获得本发明的数据。

[0024] 可选地,结合SHG信号产生来监测样品材料的充电。在这种情况下,可以将通过此信号获得的信息用于材料分析和确定。

[0025] 在任何情况下,系统实施方案可包括具有在 10^2 秒至皮秒(10^{-12} 秒)范围内操作的快速快门的超短脉冲激光器。这样的系统可以用于在引入多个短的阻挡间隔之后,监测样点处由薄膜材料的表面和掩埋界面产生的SHG信号。可以对这些间隔进行定时,以监测感兴趣的场衰减。

[0026] 本发明的系统还可以包括光线路延迟。延迟线可以是基于光纤的设备,特别是如果与色散补偿和偏振控制光学器件耦合在一起的设备。可替代地,延迟线可以是基于反光镜的,并且类似于授予MacDonald的USPN 6,147,799、授予Bishop等人的6,356,377或授予Wu等人的6,751,374中的示例。在任何情况下,系统使用延迟以允许在皮秒(10^{-12} 秒)至飞秒(10^{-15} 秒)以及可能的十亿秒(10^{-18} 秒)范围内对材料进行激光询问。这种询问对于沿着单个衰减曲线检测多个电荷衰减相关的数据点可能很有用。

[0027] 本发明的方法包括这样一种方法,该方法涉及针对连续充电事件后获取的衰减数据点测量SHG信号。在每次充电事件中,获取SHG信号的条件可能会有所不同。另外,连续充电事件之间的时间间隔可能不同。在这种方法中,可以将多个数据点(至少两个,但通常三个或三个以上)进行关联,并表示为单个复合衰减曲线。另一种方法在单个充电事件之后采用最小破坏性(即,用于产生SHG信号的辐射不会显著地给材料再充电)SHG信号询问事件。

[0028] 用于确定瞬态电荷衰减的另一种方法涉及测量来自样品材料(更准确地说,是其已被光学辐射充电的结构)的放电电流。然后可以按照假设已采用SHG感测的相同方式处理此信号的时间相关性(动力学)。此外,如上所述,可以在充电至给定水平之后在一个衰减间隔的跨度和/或在多个衰减间隔中进行这种感测。无论如何,下面将详细描述用于这种用途的具有特定电极的硬件。

[0029] 关于充电或充电水平,当在标准线性时间内或对照对数时间标度观察充电动态时,其可以被设置为表观饱和点。如上所述,本发明的方法可选地观察、记录和分析充电动力学,因为这可以产生重要的信息。

[0030] 对于连续的充电/询问事件,如果测量了样品的初始充电状态并且饱和水平与初始充电状态相距不远,则系统可以省略进一步或后续的表征。在这种情况下,可以认为“不远”是指相对于通过获知何时使用本发明工具进行给定采样时间所确定的初始充电状态,电荷增加约1%至约10%。

[0031] 换句话说,所谓的“饱和”是一个相对术语。使用线性时间标度,材料将很快出现饱和。但是,如果在10至100秒之间以对数标度观察到与充电相关的SHG信号强度,则可以观察到饱和的后期部分以不同的时间常数发生,并且是相对更加渐进或耗时的。因此,尽管本文提供的方法的示例讨论了充电至饱和,但是可以将延迟和其他定时视为相对于表观饱和而发生。不必等待100%饱和所需的全部时间,因为这可能会花费不必要的时间,仪器可能会延迟直至达到表观饱和所需的时间或者直至达到可以提取重要参数的时间,而不必管完全饱和所需要的时间。

[0032] 此外,应当理解,当监测趋向饱和的充电量或充电程度时(例如,结合SHG监测),本发明的方法和系统可以在小于饱和的充电和/或再充电水平下操作(如上文所讨论的),同时仍会产生有意义的衰减曲线信息。然而,如果没有这种测量,则当近似饱和度是已知参数时(例如,通过本发明的工具针对给定材料获得的经验),可将达到饱和的充电用作目标水平。

[0033] 在待测样品上引入DC偏压也可以有助于材料的分析。在光感应电压产生任何影响之前,采用DC偏压会主动改变界面处的初始电荷分布。为此,可以将待测样品安装在导电卡盘的顶部,该导电卡盘可以用作使用样品顶表面的探针实现的跨样品DC偏压的接地。不使用表面探针而引入感应电压偏压的其他方式也是可能的,如在于2014年4月17日提交的题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES (晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第四节的标题为“FIEDD-BIASED SHG METROLOGY”(场偏压SHG计量)的部分中进一步描述的。

[0034] 此外,除了用于阻挡型分析的初级激光器之外,本发明的系统还可以使用次级光源来确定电荷衰减。这样的一组光源可以用作辐射泵浦/探头的组合,如在于2014年4月17日提交的标题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES (晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第一节的标题为“PUMP AND PROBE TYPE SHG METROLOGY (泵浦和探头类型SHG计量)”的部分中进一步描述的。

[0035] 本文的所有所述发明实施方案包括与单独的本文描述的方法或与引用的共同未决专利申请中的要素组件或特征进行组合的本文描述的方法相关联的每种方法、用于执行该方法的硬件、结合了硬件及其产品(包括由过程生产的产品)的生产系统。

[0036] 第三部分

[0037] 描述了多种基于场偏压(例如,磁场偏压、DC偏压和/或仅由交流场、与电容耦合的交流场和/或变化的磁场诱导的电压偏压)的基于SHG的系统及其使用方法。这些将被依次描述。它们可以独立使用和/或在组合系统中使用。本文描述的多种实施方案包括与上述方法相关联的每个方法、用于执行该方法的硬件、结合了硬件及其产品(包括由过程生产的产品)的生产系统。

[0038] 磁场偏压

[0039] 施加至样品的静态或变化的磁场将引起材料的二阶光学磁化张量变化。因此,可以使用磁场将来自样品的SHG信号增加到最佳值。此外,变化的磁场可用于感应偏压,如下文进一步讨论的。

[0040] 用于消除直流接触探头的感应电压偏压

[0041] 描述了无需在系统中使用接触偏压探头就能表征在其界面上经受离散电场的层

状半导体材料的SHG响应的系统和方法,该接触偏压探头可以使探头激光器的脉冲和/或检测器的选通与施加在样品上的交流、可变或脉冲偏压电压的预定振幅同步,以在待询问的表面产生相应或协调的感应电压场。

[0042] 本发明的硬件包括SHG设备(例如,在于2014年4月17日提交的标题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES(晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第二节的标题为“CHARGE DECAY MEASUREMENT SYSTEMS AND METHODS(电荷衰减测量系统和方法)”的部分中进一步描述的),以及在不接触的情况下在样品的“器件”表面上或沿样品的“器件”表面感应电压的装置(例如,被配置为进行感应的组件)。这样的装置或部件可以通过用探头背面接触或导电卡盘(包括与同样与背面接触探头或这种卡盘通信的电源连接的电容耦合探头)或通过向样品施加变化的磁场来实现的,目的是跨其多层界面感应出外部电压场。

[0043] 由可变波形(可选地,AC)电源(通过上述任何方法)产生的瞬态电场跨多层半导体材料的界面感应出电场。电压和材料界面电场之间的关系可以通过传递函数或其他方式建模,包括通过考虑多种(电容性或其他方式)外部影响。给定特定的交流(或其他)电流振幅和频率,该函数的输出可用作定时提示,以同时触发激光器快门和/或光子计数器,来对测试点进行SHG表征,从而获得界面处的电场振幅的恒定近瞬时值。这样,该系统能够模拟通过接触电探头在顶侧(即,在衬底的器件层处)施加的恒定(DC)电压。

[0044] 在将AC直接施加到样品的背面的情况下,系统以“中性”或接地状态的卡盘开始,而主体和器件层处于平衡电位。然后,对卡盘施加交变偏压,该卡盘与多层半导体材料的主体或衬底层处于流电接触。由于器件层通过掩埋的氧化物层与主体隔开,并且不与导体直接连接,因此将在器件层和主体层之间产生(即感应出)电势场或电压。

[0045] 可替代地,可以使用位于附近(在约1mm至约2mm之内)但不接触样品顶侧的一个或多个电容耦合探头。在这方面,一种优选的方法是将板的尺寸设置为覆盖(但不接触)整个晶片,并在板上设置有小孔,用于使入射激光在通过小孔后到达样品,并且使SHG光束在离开样品后通过小孔。

[0046] 在一些实施方式中,可以使用MEMS技术来实现非接触电极。例如,在一个实施方式中,Si晶片可以在两侧均被氧化。然后可以通过在晶片的一个或多个位置上进行沉积来设置螺旋形或栅格状电极。可以在那些位置处去除晶片背面的氧化物材料。在这样的实施方式中,施加到电极的电磁场可以通过近场感应耦合来为晶片提供感应偏压。由外部电流产生的磁场可用于通过在沉积电极中感应出电流而在晶片上产生电流。也可以使用实现非接触探头的其他方法。

[0047] 在任何情况下,可以使用SHG方法来询问样品,例如,如在于2014年4月17日提交的题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES(晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第一节的标题为“PUMP AND PROBE TYPE SHG METROLOGY(泵浦和探头型SHG计量)”的部分中进一步描述的那样。关于下面讨论的其他实施方案,同样如此。

[0048] 无论如何,在本发明的实施方案中,由于期望将SHG作为跨界面电压的函数来监测SHG,因此SHG信号将与电源同步。这种同步可以通过在时间上随电压变化来控制用于SHG信号产生的一个或多个激光器和SHG信号处理软件、单独控制一个或多个激光器、或仅控制SHG信号处理软件来实现。也可以控制卡盘的电压。

[0049] 这种同步的优点在于,无需在晶片的前表面上使用接触电压偏压探头,就可以获得类似于DC偏压SHG测量的电压偏压SHG测量。无需施加DC偏压,该系统将使用与SHG测量和/或生成同步的AC偏压来收集电压周期上离散点处的SHG数据。可以使用近场电感耦合或通过样品的电容耦合来施加AC偏压。用这些偏压技术采集的SHG数据将产生与DC偏压SHG相同的材料特性信息。

[0050] 为了减少噪声或使噪声最小化并获得作为跨界面电压的函数的SHG强度统计相关指标,可能期望具有多个光子计数窗口,如下文进一步描述的。

[0051] 用于表征界面泄漏的感应电压偏压

[0052] 描述了用于使用SHG和施加到层状(例如半导体)材料上的电压变化(例如交变、可变和/或脉冲电压或电流信号或以在样品的器件层中感应出电压变化的方式改变磁场的器件)表征上述层状半导体材料各层之间的界面泄漏电流和/或载流子注入能量的系统和方法。

[0053] 通过在向层状半导体材料施加交变、可变或脉冲电压的同时或之后不久,测量由导向至层状半导体/电介质结构的脉冲激光器产生的光脉冲获得的SHG响应,可以表征各层之间的界面泄漏电流和/或电荷载流子注入能量。在一些实施方案中,可以作为感应电压的衰减的时间常数的函数而测量来自界面的SHG信号的时间演变。这样就产生了有关界面上的电荷载流子迁移率的信息。

[0054] 用于表征阈值载流子注入能量的感应电压偏压

[0055] 描述了不使用可调波长激光激发,而是与施加在样品器件层的变化电场一起施加SHG测量,以确定用于将光感应电荷载流子注入层状半导体材料中的电介质的能量阈值的系统和方法。更具体地,为了测量用于将光感应电荷载流子注入到电介质中所需的阈值能量,可以将材料暴露于基本上单色的入射光子束以产生SHG,然后递增地改变暴露的层状半导体材料的界面上的电压,从而在每次改变增量电压时测量SHG信号计数,直到SHG响应与之前的测量相比出现明显的拐点或不连续性或斜率突然变化。斜率的这种变化可以是最大值或最小值(例如,局部最大值或最小值)或尖点或阶跃函数等。由于所有这些过程而导致的净电荷变化转移可以描述为三次谐波注入电流、由于强电场而流向电介质的“正向”泄漏电流和“反向”放电泄漏电流的贡献的积分。代入以下等式: $Q(t) = \int (I_x + I_E - I_L) dt$ 。然后,该曲线形状的动力学特征(弯曲时刻和饱和时刻)将提供用于确定阈值电荷载流子注入能量的信息。

[0056] 本文的所有所述发明实施方案包括与单独的本文描述的方法或与引用的共同未决专利申请中的要素组件或特征进行组合的本文描述的方法相关联的每种方法、用于执行该方法的硬件、结合了硬件及其产品(包括由过程生产的产品)的生产系统。

[0057] 本文公开的系统、方法和设备均具有诸多创新方面,其中没有任何一个单独负责本文公开的期望属性。下面提供了多种示例系统和方法。

[0058] 有效收集多个偏振

示例1:一种使用二次谐波产生来表征样品的系统,所述系统包括:

样品架,被配置为支撑样品;

至少一个光源,被配置为将光束引导至所述样品上,以生成二次谐波产生;

光学检测系统,被配置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述光学检测

系统包括第一检测器和第二检测器；

至少一个偏振分束器，设置在所述样品和所述光学检测系统之间的光路中，以接收来自所述样品的二次谐波产生的光，所述至少一个偏振分束器被配置为将光分离为第一偏振分量和第二偏振分量并将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至所述第一检测器和所述第二检测器；以及

处理电子设备，被配置为基于所述接收到的第一偏振分量和第二偏振分量接收来自所述第一检测器和所述第二检测器的信号。

示例2：根据示例1所述的系统，其中，所述第一偏振分量和所述第二偏振分量包括正交的偏振态。

示例3：根据示例1或2所述的系统，其中，所述第一偏振分量和所述第二偏振分量包括不同偏振方向上的线性偏振光。

示例4：根据上述示例中任一项所述的系统，其中，所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别是s和p偏振。

示例5：根据上述示例中任一项所述的系统，其中，所述至少一个偏振分束器包括偏振分束器立方体 (polarization beamsplitter cube)。

示例6：根据上述示例中任一项所述的系统，还包括至少一个偏振器，设置在所述光源和所述样品之间的光路中，使得偏振光被引导至所述样品。

示例7：根据示例6所述的系统，其中，设置在所述光源和所述样品之间的所述光路中的所述至少一个偏振器包括线性偏振器。

示例8：根据上述示例中任一项所述的系统，还包括设置在所述光源和所述样品之间的至少一个聚焦透镜，以将来自所述光源的光聚焦到所述样品上。

示例9：根据上述示例中任一项所述的系统，还包括设置在所述样品和所述偏振分束器之间的至少一个准直透镜，以准直来自所述样品的二次谐波产生的光。

示例10：根据上述示例中任一项所述的系统，其中，所述样品架包括平移台。

[0059] SHG成像

示例1：一种使用二次谐波产生来表征样品的系统，所述系统包括：

样品架，被配置为支撑样品；

至少一个光源，被配置为将光束引导至所述样品上，以生成二次谐波产生；

至少一个分束器，设置在所述光源和所述样品之间的光路中，所述至少一个分束器被配置为将来自所述光源的所述光分离成多个光束，所述多个光束同时入射到所述样品上的多个位置处，使得所述多个光束生成多个二次谐波产生信号；

光学检测系统，被配置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光，所述光学检测系统包括多个检测器，来自所述分束器的所述多个光束中的相应光束被配置为产生分别被引导至所述多个检测器中的相应检测器的相应SHG信号；以及

处理电子设备，被配置为接收来自所述多个检测器的信号。

示例2：根据示例1所述的系统，其中，所述至少一个分束器包括衍射分束器，所述衍射分束器被配置为接收一个光束并且将所述光束分成多个光束。

示例3：根据上述示例中任一项所述的系统，其中，所述至少一个分束器包括声光调制器，所述声光调制器被配置为接收一个光束并将所述光束分成多个光束。

示例4:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个分束器被配置为将输入光束分离为被引导至所述样品上的至少三个输出光束。

示例5:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个分束器被配置为将输入光束分离为被引导至所述样品上的至少五个输出光束。

示例6:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个分束器被配置为将输入光束分离为被引导至所述样品上的至少十个输出光束。

示例7:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述多个检测器包括三个检测器。

示例8:根据上述权利要求中任一项所述的系统,其中,所述多个检测器包括五个检测器。

示例9:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述多个检测器包括十个检测器。

示例10:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括在所述分束器和所述样品之间的光路中的至少一个分色反射镜,以接收来自所述样品的所述SHG信号并将所述SHG信号引导至所述多个检测器中的相应检测器。

示例11:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述样品架包括平移台。

示例12:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括被配置为扫描所述多个光束的光束扫描系统。

示例13:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括至少一个偏振分束器,设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述至少一个偏振分束器被配置为将光分离为第一偏振分量和第二偏振分量,并且将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器和第二检测器。

实例14:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括多个偏振分束器,设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述偏振分束器被配置为将光分离成第一偏振分量和第二偏振分量并将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器和第二检测器。

示例15:根据示例13或14所述的系统,其中,所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别是s和p偏振。

示例16:一种使用二次谐波产生来表征样品的系统,所述系统包括:

样品架,被配置为支撑样品;

至少一个光源,被配置为将光束引导至所述样品上,以生成二次谐波产生;

光学检测系统,被配置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述光学检测系统包括至少一个检测器阵列;

投射光学器件,被配置为将来自所述样品的二次谐波产生的光投射到所述至少一个检测器阵列上;以及

处理电子设备,被配置为接收来自所述至少一个检测器阵列的信号。

示例17:根据示例16所述的系统,其中,所述至少一个检测器阵列包括二维(2-D)阵列。

示例18:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个检测器阵列包括

CCD阵列。

示例19:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个检测器阵列包括时间依赖积分设备。

示例20:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述投射光学器件被配置为将所述样品成像到所述检测器阵列上。

示例21:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述投射光学器件包括至少一个成像透镜,所述至少一个检测器阵列设置在所述样品的共轭像平面处。

示例22:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括至少一个聚焦透镜,被配置为将来自所述光源的光聚焦到所述样品上。

示例23:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括至少一个平移台,被配置为相对于所述光源和所述检测器阵列平移所述样品。

示例24:根据示例23所述的系统,其中,所述至少一个平移台包括x-y平移台。

示例25:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括至少一个偏振分束器,设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述至少一个偏振分束器被配置为将光分离为第一偏振分量和第二偏振分量,并且将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器阵列和第二检测器阵列。

示例26:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括至少一个偏振分束器,设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述偏振分束器被配置为将光分离为第一偏振分量和第二偏振分量并将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器和第二检测器。

示例27:根据示例25或26所述的系统,其中,所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别是s和p偏振。

示例28:一种使用二次谐波产生来表征样品的系统,所述系统包括:

样品架,被配置为支撑样品;

至少一个光源,被配置为将光束引导至所述样品上,以生成二次谐波产生;

至少一个分束器,设置在所述光源和所述样品之间的光路中,所述分束器被配置为将来自所述光源的所述光分离成多个光束,所述多个光束同时入射到所述样品上的多个位置处,使得所述多个光束生成多个二次谐波产生信号;

光学检测系统,被配置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述光学检测系统包括至少一个检测器阵列,来自所述至少一个分束器的所述多个光束中的相应光束被配置为生成被引导至所述至少一个检测器阵列的相应区域的相应SHG信号;以及

处理电子设备,被配置为接收来自所述检测器阵列的信号。

示例29:根据示例1所述的系统,其中,所述至少一个分束器包括衍射分束器,所述衍射分束器被配置为接收一个光束并且将所述光束分成多个光束。

示例30:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个分束器包括声光调制器,所述声光调制器被配置为接收一个光束并将所述光束分成多个光束。

示例31:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个分束器被配置为将输入光束分离为被引导至所述样品上的至少三个输出光束。

示例32:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个分束器被配置为

将输入光束分离为被引导至所述样品上的至少五个输出光束。

示例33:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个分束器被配置为将输入光束分离为被引导至所述样品上的至少十个输出光束。

示例34:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个检测器阵列包括多个像素。

示例35:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个检测器阵列的所述区域包括一个或多个像素。

示例36:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述至少一个检测器阵列包括CCD检测器阵列。

示例37:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括在所述分束器和所述样品之间的光路中的至少一个分色反射镜,以接收来自所述样品的所述SHG信号并将所述SHG信号引导至所述至少一个检测器阵列的相应区域。

示例38:根据上述示例中任一项所述的系统,其中,所述样品架包括至少一个平移台。

示例39:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括被配置为扫描所述多个光束的光束扫描系统。

示例40:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括至少一个偏振分束器,设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述至少一个偏振分束器被配置为将光分离为第一偏振分量和第二偏振分量,并且将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器阵列和第二检测器阵列。

示例41:根据上述示例中任一项所述的系统,还包括多个偏振分束器,设置为接收来自所述样品的二次谐波产生的光,所述偏振分束器被配置为将光分离为第一偏振分量和第二偏振分量并将所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别引导至第一检测器和第二检测器。

示例42:根据示例40或41所述的系统,其中,所述第一偏振分量和所述第二偏振分量分别是s和p偏振。

附图说明

[0060] 附图示意性地示出了不同发明变型的多个实施方案的各方面。

[0061] 图1A是本发明的SHG计量系统实施方案的示意图;图1B是用于这种SHG系统的卡盘的立体图。图1C是本发明的另一SHG计量系统实施方案的示意图。

[0062] 图2A/2B和3A/3B是示出用于产生特征化SHG信号的示例泵浦/探头系统的示意图。

[0063] 图4是示出用于确定阈值注入载流子能量的探头/泵浦系统的示意图。

[0064] 图5是流程图,详述了产生如图所示的信号的方法。

[0065] 图6A-6C是系统实施方案的示意图。

[0066] 图7是系统功能的示意图;图8A和8B是表示实现这种功能的方式的示意图。图9以图形输出表示系统功能。

[0067] 图10和11绘出了与SHG询问有关的方法实施方案;图12A至图12E绘制了与图6C中的系统相关联的时间动态,该系统可用于图10和11的方法中。

[0068] 图13绘出了用于观察瞬态电场衰减的基于电流的询问方法;图14A和14B示出了可以在图13的方法中采用的硬件配置。

[0069] 图15A和15B是如本文中可以使用的SHG系统组件的示意图。

[0070] 图16A是本发明的第一卡盘构造的立体图;图16B是图16A中的卡盘构造的侧视截面图。

[0071] 图17A和17B是本发明的第二卡盘构造的局部剖视、立体图;图17C是图17A/17B中的卡盘的俯视剖视图。

[0072] 图18A和18B涉及施加到样品并在样品中表现出的AC电压,以消除DC偏压探头。

[0073] 图19A和19B涉及施加到样品并在样品中表现出的AC电压,以测试泄漏电流。

[0074] 图20示出了示例性SHG系统的示意图,该示例性SHG系统可用于控制被引导至样品上的光的偏振以及所收集的来自样品的SHG光的偏振。

[0075] 图21示出了包括偏振分束器的示例性SHG系统的示意图,使得可以同时分别收集SHG信号的第一和第二偏振(例如s和p偏振分量)。

[0076] 图22A和22B示出了包括分束器的示例性SHG成像系统的示意图,该分束器被配置为将激光束分成多个光束,该多个光束生成可被引导至多个相应检测器的多个相应SHG信号。

[0077] 图23示出了包括检测器阵列和一光学器件的示例性SHG系统的示意图,该光学器件被配置为将来自样品的多个位置的多个SHG信号的光投射到检测器阵列上。

具体实施方式

[0078] 第一部分

[0079] 图1是可以结合本发明的方法使用的系统100的示意图。例如,对于中间光学元件,包括光学延迟线和可选的电极特征件,在于2014年4月17日提交的标题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES (晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第二节的标题为“CHARGE DECAY MEASUREMENT SYSTEMS AND METHODS (电荷衰减测量系统和方法)”的部分中提出了其他合适的系统变型。

[0080] 如图所示,系统100包括初级或探头激光器10,用于将电磁辐射的询问光束12引导至由真空卡盘30夹持的样品晶片20的样品晶片20。如图1B所示,卡盘30包括x台和y台,或被设置在x台和y台上,并且可选地,该卡盘还包括旋转台,该旋转台用于相对于激光瞄准的位置来在晶片上定位样点22。x-y台使得能够扫描多个晶片表面点或位置22而无需移动其他硬件。旋转台可选地能够评估晶体结构对SHG的影响(例如应变),以及所表征的材料上的相关缺陷或关注区域。在于2014年4月17日提交的标题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES (晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第四节的标题为“FIELD-BIASED SHG METROLOGY (场偏压SHG计量)”的部分中介绍了卡盘30的其他可选特征、方面和/或用途。样点22可包括一层或多层。样点22可以包括复合衬底,该复合衬底包括至少两层。样点22可以包括两种不同材料之间(例如,两种不同半导体材料之间、两种不同掺杂的半导体材料之间、半导体与氧化物之间、半导体与电介质材料之间、半导体与金属之间或氧化物与金属之间)的界面。

[0081] 当使用系统100时,指向检测器40的反射辐射束14将包括SHG信号。检测器40可以

是光电倍增管、CCD照相机、雪崩检测器、光电二极管检测器、条纹照相机和硅检测器中的任一种。系统100还可以包括一个或多个快门型装置50。所使用的快门硬件的类型将取决于激光辐射将被阻挡、被丢弃或以其他方式被引导离开样点的时间范围。诸如Pockel盒或Kerr盒之类的电光阻挡装置可用于获得非常短的阻挡时间段(即,具有 10^{-9} 到 10^{-12} 秒量级的致动时间)。

[0082] 对于更长的阻挡时间间隔(例如,从约 10^{-5} 秒起以及更高),可以使用机械快门或飞轮斩波器型装置。然而,电光阻挡装置将允许根据以下方法测试更广泛的材料。可以采用能够离散地选通非常小的时间间隔(通常在皮秒至微秒量级)的光子计数系统44来解析时间相关的信号计数。对于更快的时间范围,可以如上文所述并入光学延迟线。

[0083] 系统100可以包括附加的电磁辐射源60,也称为泵浦源。在多种实施方式中,辐射源60可以是如图所示的发出定向光束62的激光器,或者是发出发散或光学准直脉冲64的UV闪光灯。在激光源的情况下,其光束62可以与光束12共线(例如,如通过附加的反光镜或棱镜等所导向的)。源60的输出的光的波长可以为从约80nm到约1000nm之间的任何波长。与较长波长相比,使用该范围内的较短波长(例如,小于约450nm)可以使用较少的光子和/或较低的峰值强度来驱动电荷激发。

[0084] 对于闪光灯,每次闪光的能量或闪光期间的功率水平可以取决于衬底材料。对于完全耗尽的绝缘体上硅(FD-SOI),闪光灯每次闪光产生的总能量为1J至10kJ较为合适。但是,脉冲或恒定的紫外线源也是可行的。泵浦特征和使用中的重要因素是将电荷载流子注入待询问的材料电介质中。合适的闪光灯的制造商包括美国赫尔玛公司(Hellma USA, Inc.)和滨松光子学株式会社(Hamamatsu Photonics K.K.)。

[0085] 当采用激光器作为源60时,它可以是纳秒级、皮秒级或飞秒级或更快的脉冲激光源中的任一种。它甚至可以是连续固态激光器。在多种实施方案中,泵浦源的波长是可调谐的。市售的可供选择的可调谐激光器包括Spectra Physics的Velocity和Vortex可调谐激光器。洛蒂斯有限公司(LOTIS Ltd.)的LT-22xx系列固态激光器可提供其他可调谐固态解决方案。

[0086] 无论是以激光器还是闪光灯形式提供,泵浦源60都可以被选择用于相对较高的平均功率。这可能是约10mW至约10W,但更通常是约100mW至约4W,取决于待询问的材料(同样,上述考虑是为了确保以将电荷载流子注入到材料的界面(例如,电介质界面)中的方式来诱导电荷载流子迁移,所述平均功率可以是材料特定的)。泵浦源60的平均功率被选择为低于材料的光学损伤阈值。例如,当询问材料包含硅时,可以选择泵浦源60的平均光功率在1w至2w之间,以不超过硅的光学损伤阈值。

[0087] 探头激光器10可以是纳秒、皮秒或飞秒或更快的脉冲激光源中的任一种。目前市售的具有所需的峰值功率、波长和可靠性的激光器的两种选择是掺杂光纤和钛蓝宝石单元。Coherent的VITESSE和Spectra Physics的MAI TAI激光器是合适的钛蓝宝石器件的示例。飞秒激光器有限公司(Femtolasers GmbH)和其他制造商也制造其他相关的钛蓝宝石器件。合适的掺杂光纤激光器由IMRA、OneFive和Toptica Photonics生产。也可根据衬底材料和泵浦类型选择许多制造商(如滨松)生产的皮秒和/或纳秒激光器。激光器10可以在约100nm至约2000nm之间的波长范围内操作,并且峰值功率在约10kW至1GW之间,但是平均传输功率低于约150mW。

[0088] 可以在系统100中采用多种其他可选的所谓“中间”光学组件。例如,该系统可以包括分色反射或折射滤光片70,用于选择性地通过SHG信号,该SHG信号与直接来自激光器3010和/或源3060的反射辐射同轴。可替代地,可以使用棱镜来区分较弱的SHG信号和强许多数量级的反射主光束。然而,由于棱镜方法已被证明对失准非常敏感,因此如上所述的分色系统可能是优选的。其他选项包括使用衍射光栅或Pellicle分束器。可以提供用于聚焦和准直/列柱光学器件的光学束80。可替代地,在系统中可以使用滤光轮90、一个或多个偏振器92和/或一个或多个变焦透镜94单元或组件。并且,可能期望角度(或弧形)旋转调整(对检测器进行相应调整)和直插式光学组件。

[0089] 在图1C所示的实施方式中,来自激光器10的光束12可以由分束器74在两个光路之间分开。分束器74可以在两个光路之间不均等地将光束12分束。例如,光束12的能量的70%可以被导向为沿着第一光路(例如,作为光束16),光束12的能量的30%可以被导向为沿着第二光路(例如,作为光束18)。作为另一示例,光束12的能量的60%可以被导向为沿着第一光路,光束12的能量的40%可以被导向沿着第二光路。作为又一个示例,光束12的能量的80%可以被导向为沿着第一光路,光束12的能量的20%可以被导向为沿着第二光路。因此,分束可能不均等(例如,70-30%,80-20%,60-40%或它们之间的任何范围,例如,一条路径中在60-90%之间,而另一路径中在40-10%之间,以及这些之外的其他范围),则在泵浦光束中发送大部分功率,而在探头光束中发送小部分功率。例如,对于泵浦和探头,分束可以分别为60-70%和40-30%;对于泵浦和探头,分束可以分别为70-80%和30-20%;对于泵浦和探头,分束可以分别为80-90%和20-10%;或对于泵浦和探头,分束可以分别为90-99.999%和10-0.001%。在不同的实施方案中,探头光束可以例如在0.001%至49.99%之间,而泵浦光束可以在50.001%至99.999%之间。两个光束的总和可以是100%或接近100%。分束可以通过在某些情况下表征的特定的材料系统来确定。在图1C所示的示例中,光束12的光束能量的5%被导向为沿着第一光路,光束12的能量的95%被导向为沿着第二光路。

[0090] 分束器74可以包括介电镜、分束器立方体、金属镀膜镜、薄膜镜或波导分束器。在一些实施方式中,在光束12包括光脉冲的情况下,分束器74可以包括具有可忽略的色散的光学组件,该光学组件在两个光路之间将光束12分开,使得光脉冲不被加宽。如图1C所示,可以使用多种反光镜元件2072来重定向或瞄准每个光束。

[0091] 来自检测器40和/或光子计数系统44的输出可以被输入到电子器件48。电子器件48可以是计算设备、计算机、平板电脑、微控制器或FPGA。电子器件48包括处理器、处理电子器件、控制电子器件、处理/控制电子器件或可被配置为执行一个或多个软件模块的电子器件。除了执行操作系统之外,处理器还可以被配置为执行一个或多个软件应用程序,包括网络浏览器、电话应用程序、电子邮件程序或任何其他软件应用程序。电子器件48可以通过执行包括在诸如RAM、ROM、EEPROM等的机器可读非暂时性存储介质中的指令来实现本文讨论的方法。电子器件48可以包括显示设备和/或与用户互动的图形用户界面。电子器件48可以通过网络接口与一个或多个设备通信。网络接口可以包括可以连通例如有线以太网、蓝牙®或无线连接的发送器、接收器和/或收发器。

[0092] 关于其他选项,由于与产生SHG信号的反射光束相比,该SHG信号较弱,所以期望提高SHG计数的信噪比。随着光子计数系统44的光子计数选通时间因本文所述的阻挡和/或延

迟过程而减少,改进变得更加重要。可以采用的一种降低噪声的方法是主动冷却光子计数器。这可以通过使用低温液体(例如液氮或液氦)或通过使用Peltier装置进行固态冷却来实现。其他方面的改进可以包括使用与快门速度相关的Marx Bank电路(MBC)。此外,系统100可以在线并入生产线环境中。系统100之前或之后的生产线元件可以包括外延生长系统、光刻和/或沉积(CVD、PVD、溅射等)系统中的任何一种。

[0093] 现在转到图2A/2B和3A/3B,这些是示出了由本发明的泵浦/探头系统在其使用方法中可以产生的示例类型的SHG曲线的示意图。在图2A和2B中,获得此类信号的时间标度为毫秒量级(10^{-3} s)。因此,这些是“快速”过程。如下面进一步讨论的,相对于现有方法,它们可以提供若干数量级的时间改进。例如,由于可能不需要在每个点进行持续测量,在SHG探测之前能够将测试材料的整个表面暴露于紫外线辐射的闪光灯可以大大减少总扫描时间。

[0094] 具体地,在图2A中,以初始强度202测量SHG信号200。该信号由施加在表面位置的探头源辐射产生。在给定的时间偏移量(O_1)之后添加泵浦源辐射(添加到保持打开的探头的辐射)后,信号强度沿时间相关的曲线204下降到较低的水平206。相反,在图2B中,在时间偏移(O_2)之后施加泵浦辐射之后,仅由探头辐射产生的较低水平212的SHG信号200'沿时间相关的曲线214增加到较高平台216。信号200和200'还在曲线的开始和结束处包括时间无关的分量或部分。

[0095] 取决于衬底材料和不同的激光功率(例如,在这种情况下,泵浦的激光功率),可以用本发明的系统进行图2A和图2B中的两个观察结果。在多种实施方案中,电荷分离包括电子和空穴在从光子激发之后彼此分离。由来自激光器的光子从硅价带注入到 SiO_2 导带中的电子主要在氧化物的上表面上被捕获。空穴主要聚集在靠近Si/ SiO_2 界面的硅价带中。这种由于来自入射辐射或内部光发射的激发而造成的电荷载流子的分离导致了本发明的系统内部存在的电场,这进而改变了测得的SHG。多种因素(例如测试点处是否存在气态氧以及所涉及样品的组成和结构)将决定是否实现如图2A或2B所示的观察结果。

[0096] 实际上,在某些情况下已经观察到信号200和200'的组合。在那些情况下,信号强度首先从峰值下降,降至最低,然后再次上升到渐近线。通常,SHG强度曲线由非线性磁化率张量确定,而非线性磁化率张量又受分子方向、原子组织、电子结构和外部场的影响。在界面上移动的电荷载流子将改变结构中的电荷状态和发生SHG信号产生的子界面层中的电场。根据跨越界面的电荷载流子的类型(正或负)以及在界面上的场的初始状态,将观察到不同的时间相关的曲线。检测到的SHG信号的强度可取决于多种因素,包括光斑大小、平均激光功率和峰值激光功率。在多种实施方式中,系统100可以被配置为检测强度在约400计数/秒至约700万计数/秒之间的范围内的SHG信号。本文所述的泵浦/探头系统可以减少电荷载流子在界面上移动达到饱和水平所需的时间。在多种实施方案中,在本文描述的泵浦/探头系统中,电荷载流子在界面上移动达到饱和水平所需的时间可以在1毫秒至1000秒之间。由于在包括界面的区域中的电荷载流子密度低于饱和时以及在包括界面的区域中的电荷载流子密度达到饱和水平时获得SHG信号的时间演进可能是有利的,因此该系统可以被配置为在打开/关闭泵浦辐射后约1微秒内获得SHG信号测量值。例如,该系统可以被配置为在以下时间内获得SHG信号测量值:在打开/关闭泵浦辐射(或探头辐射)后10秒内、在打开/关闭泵浦辐射后约6秒内、在打开/关闭泵浦辐射后约1秒内、在打开/关闭泵浦辐射后约100毫秒内、或在打开/关闭泵浦辐射后约1毫秒内、在打开/关闭泵浦辐射后1微秒内、在打开/

关闭泵浦辐射后的1纳秒内或在由这些值中的任何值形成的任何范围内(例如,持续大于一纳秒、大于一微秒、大于一毫秒的时间段等)以及超出任何这些范围。这些值和范围适用于获得从单点获得的数据,但是使用适当的成像光学器件,可以将其增加到晶片的大部分区域,一次最多包括整个晶片。如上面的括号所示,这些值和范围也适用于探头辐射。减少充电时间和获得SHG信号所需的时间可以加快界面的测试速度,从而提高测试和/或制造生产线的吞吐量。

[0097] 通过比较,图3A和3B示意性地示出了相应材料的SHG信号曲线300和300',其中,与现有的SHG技术一样,仅使用一个辐射源(在这种情况下是高平均功率和高峰值功率的激光器)来询问衬底。在图3A和3B中,用于产生信号300和300'的时间标度是约为几十到几百(10^2 s)秒量级。

[0098] 在这样的时间段上,这些信号(像图2A和2B中的信号一样)包括下平台306和上平台316。可以在初始302和/或时间相关的信号之后对下平台306和上平台316进行表征。因此,尽管可以对信号200/200'和300/300'执行类似(或相同)的分析,但主要区别在于本发明的系统(即,结合较高平均功率泵浦和较低峰值功率飞秒探头激光器来用于材料预激发)可以极大地提高时间效率,从而获得所需的信号信息。此外,本发明的方法提供了一种无需使用滤光轮或某些其他方法即可更轻松地确定时间无关的SHG测量值的方法。

[0099] 在任何情况下,图4示出了用于确定阈值注入载流子能量的方法。在这种情况下,泵浦包括波长可调激光器。这使得泵浦入射到样品上的光子的输出频率(以及由此由 $E=h\nu$ 表示的能量)随着时间上升。观察到的SHG活动动作显示为信号400。通过如此应用或使用的泵浦激光器,观察到通过应用探头激光器而产生的初始SHG信号电平402,直到该信号突然改变(即在404处产生多种拐点、不连续性、最大值、最小值、阶跃函数、尖点或斜率的突然变化)。此时的频率取值为对应于阈值能量。在多种实施方式中,阈值能量是在两种材料(例如两种半导体材料,或半导体材料和电介质材料(例如,Si和SiO₂、Si和Si₃N₄、Si和Ta₂O₅、Si和BaTiO₃、Si和BaZrO₃、Si和ZrO₂、Si和HfO₂、Si和La₂O₃、Si和Al₂O₃、Si和Y₂O₃、Si和ZrSiO₄))之间的界面上将电子从一种半导体材料的价带传输到另一种半导体材料的导带所需的能量。系统100可以被配置为测量在约1.0eV至约6.0eV之间的范围内的阈值能量。本文描述的系统和方法可以被配置为确定多种界面的阈值能量,例如,在两种不同的半导体之间、在半导体和金属之间、在半导体和电介质之间等等。

[0100] 图5是示出用于通过SHG表征半导体器件的方法的实施方式的流程图500。表示了多种过程流动路径。任何这样的方法都可以在502开始于将样品定位在期望的位置处(例如,通常在将晶片20固定到其上之后定位卡盘30)。如进一步描述的,渐进定位(即,重新定位)可以在任何给定的SHG检测事件520之后发生,以扫描样品区域中的多个表面位置或者甚至每个表面位置或者甚至样品的每个表面位置。可替代地,在540处关于检测到的SHG信号进行了给定确定之后,可以发生这样的动作(由虚线指示的“返回”选项)。参考上面引用的本申请的其他部分,可以理解关于替选确定的更多细节。在任何情况下,在样品定位或重新定位之后,都将选择给定的流动路径(或另一个流动路径可以在相同的表面位置按顺序延伸以生成另一个数据)。

[0101] 沿着一个过程流动路径(部分为实线),在504,探头源辐射在给定位置处施加到样品表面。接下来,在506,施加泵浦源辐射。在本示例中,泵浦辐射以变化的方式施加,该泵浦

辐射(可选地)通过减小辐射波长来线性地增加光子能量。在520,检测到所得的SHG。在542,信号分析(根据图4中的示例)允许确定载流子注入阈值能量。在多种实施方式中,泵浦辐射的能量可以对应于半导体界面的阈值能量。因此,泵浦辐射的能量可以在约1.0eV至约6.0eV之间。例如,为了确定跨Si和SiO₂界面的阈值能量,泵浦辐射的阈值能量可以在约4.1eV至约5.7eV之间变化。可以通过改变辐射的频率(或波长)来实现泵浦辐射能量的变化。例如,为了以约3.2eV的阈值能量的期望值询问样品,泵浦辐射的波长可以在约443nm至约365nm之间变化。在多种实施方式中,泵浦辐射的能量可以低于半导体界面的阈值能量,这是因为来自泵浦辐射的光子可以产生具有两倍能量的电子(例如,当单个电子吸收两个光子时)。在这样的实施方式中,充电时间增加,这可以提供具有增加的分辨率和强度的观察结果。增加充电时间也会增加测试样点所需的时间,从而降低吞吐量。

[0102] 沿着另一条流动路径(部分为虚线),在508,泵浦辐射被施加到衬底上。可以将这种施加仅导向至要立即询问的表面(例如通过激光器)或晶片的整个表面(例如使用闪光灯)。接下来,在510,将待询问的样品的部分暴露于探头源辐射。在520,检测到所得的SHG。然后,在502的样品重新定位之后,可重复该方法的泵浦-探头-检测方面。但是,如所指示的,动作框508可以被跳过,并且可以避免再次泵浦或从顺序扫描过程中省略泵浦,如上述示例所示,其中整个衬底一开始就暴露于泵浦辐射。在任何情况下,如本专利申请中其他地方所讨论的,在544,可以进行多种基于SHG的信号分析中的任何一种,以进行542中除阈值能量以外的确定。

[0103] 沿着另一过程流动路径(部分为点划线/中心线),在508施加泵浦辐射之前和之后在504和510执行探头询问,其中在504和510施加探头辐射之后直接在520收集SHG信号数据。再次,该方法可以递归地进行以对多个样点采样,例如衬底或其区域的每个部分,返回到流程图元素502以进行重新定位并重复探头-检测-泵浦-探头-检测方法或子方法。

[0104] 值得注意的是,SHG信号分析方法或子方法(通常包含在框540和542中)中的任何一种都可以实时执行,例如瞬时或接近瞬时输出。在这样做时,可以由软件包通过机器上的集成软件或远程地计算由收集的数据确定的任何光谱特性。可替代地,在已经检测到或收集到一些或全部SHG数据之后,可以在后处理中处理SHG信号分析。

[0105] 本文所述的系统和方法可用于表征样品(例如,半导体晶片或其一部分)。例如,如上文所讨论的,本文所述的系统和方法可用于检测样品中的缺陷或污染物。本文描述的系统和方法可被配置为在半导体晶片的制造或生产期间表征样品。因此,可沿半导体制造设施中的半导体制造线使用所述系统和方法。本文描述的系统和方法可以与半导体制造/生产线集成。本文描述的系统和方法可以集成到具有自动晶片处理能力的半导体生产线中。例如,该系统可以配备有附接的设备前端模块(Equipment Front End Module,EFEM)。该模块可以接收晶片盒,例如前端开口式晶片盒(Front Opening Unified Pod,FOUP)。可以由操作人员或盒自动搬运机器人将每个盒运送到机器上,这些机器人沿着制造/生产线将盒从一个工序运送至另一个工序。

[0106] 在多种实施方案中,该系统可以被配置为使得一旦盒被安装在EFEM上,打开FOUP,机械臂从FOUP中选择各个晶片,并将它们移动通过系统中的自动驱动门,进入不透光的处理盒中,再移动至具有偏置功能的真空卡盘上。可以将卡盘设计为与机械臂互补配合,以便其能将样品放在卡盘顶部。在此过程中的某个时刻,可以将晶片固定在扫描仪上方,以识别

其独特的激光标记。

[0107] 因此,被配置为集成在半导体制造/装配线中的系统可具有:来自FOUP或其他类型的盒的自动晶片处理能力;如上文所讨论的与EFEM的集成,被设计为与机械手操作兼容的卡盘,可打开和关闭以允许移动机械棒/臂的自动不透光门,以及发送信令到EFEM以进行晶片装载/卸载和晶片识别的软件。

[0108] 第二部分

[0109] 图6A是可结合本发明的方法采用的第一系统2100的示意图。在图6B和6C中示出了替选系统2100'和2100"。每个系统包括初级激光器2010,用于将电磁辐射的主光束2012引导到由真空卡盘2030夹持的样品晶片2020上。卡盘2030包括x台和y台或被设置在x台和y台上,且可选地,该卡盘包括旋转台。旋转台用于相对于激光瞄准的位置在晶片上定位样点2022。指向检测器2040的反射辐射束2014将包括SHG信号。该检测器可以是光电倍增管、CCD照相机、雪崩检测器、光电二极管检测器、条纹照相机和硅检测器中的任一种。样点2022可包括一层或多层。样点2022可以包括复合衬底。该复合衬底包括至少两层。样点2022可以包括两种不同材料之间的界面(例如,两种不同的半导体材料之间、两种不同掺杂的半导体材料之间、半导体与氧化物之间、半导体与电介质材料之间、半导体与金属之间、氧化物与金属之间、金属与金属之间或金属与电介质之间)。

[0110] 每个实施方案都同样包括一个或多个快门型装置2050。如以下结合方法所描述的那样使用它们。所使用的快门硬件的类型将取决于激光辐射被阻挡、被丢弃或以其他方式被引导远离样点的时间范围。

[0111] 诸如Pockel盒或Kerr盒之类的电光阻挡装置可用于获得非常短的阻挡时间段(即,具有 10^{-9} 至 10^{-12} 秒的量级的开关时间)。对于更长的阻挡时间间隔(例如,从约 10^{-5} 秒起以及更高),可以使用机械快门或飞轮斩波器型装置。

[0112] 然而,电光阻挡装置将允许根据以下方法测试更广泛的材料。可以包括能够离散地选通非常小的时间间隔(通常在皮秒至微秒量级)的光子计数系统2044来解析时间相关的信号计数。

[0113] 考虑了用于将方法推入更快的时间范围的硬件。即,如图6C所示,该系统可以包括延迟线硬件2060。在多个设定时间延迟线之间可设置光束分束和开关(或快门开/关),以用于相应数量的时延询问事件。但是,可变延迟线可能更可取,因为它为在泵浦脉冲后即刻(尽管许多方法可能仅需要 10^{-12} 秒的延迟)到泵浦脉冲后数十纳秒的时间范围内的多个瞬态电荷衰减询问事件提供了单一解决方案。如果使用较慢的千赫兹重复激光器,则期望的延迟时间甚至可能进入微秒级。并且,尽管这样的硬件特别适合于执行本发明的方法(认为本方法和这种硬件都是迄今为止未知的),但是也可以将其用于其他用途。

[0114] 在图6C所示的实施方式中,来自激光器2010的光束2012可以由分束器2070在两个光路之间分开。分束器2070可以在两个光路之间不均等地分开光束2012。例如,光束2012的能量的70%可以被导向为沿着第一光路(例如,作为光束2016),光束12的能量的30%可以被导向为沿着第二光路(例如,作为光束2018)。作为另一个示例,光束2012的能量的60%可以被导向为沿着第一光路,光束2012的能量的40%可以被导向为沿着第二光路。作为又一个示例,光束2012的能量的80%可以被导向为沿着第一光路,光束2012的能量的20%可以被导向为沿着第二光路。分束器2070可以包括介电镜、分束器立方体、金属镀膜镜、薄膜镜

或波导分束器。在多个实施方式中,在光束2012包括光脉冲的情况下,分束器2070可以包括具有可忽略的色散的光学组件,该光学组件在两个光路之间分开光束2012,使得光脉冲不被加宽。如图6C中的双箭头所示,可以延长或缩短分束器2070从主光束2012截取的“询问”光束2016的路径,以改变其相对于“泵浦”光束2018到达的时机,其中每个光束被示出为由多种镜元件2072引导或瞄准。另一种方法(上述)在光学延迟部件和/或其他光学路径中采用光纤(例如,如通过引用以其整体结合在本文中的第6,819,844号美国专利中针对该描述所呈现的那样)。

[0115] 来自检测器2040和/或光子计数系统2044的输出可以被输入到电子器件2048(例如,参见图6A和6B)。电子器件2048可以是计算设备、计算机、平板电脑、微控制器或FPGA。电子器件2048包括处理器、处理电子器件、控制电子器件、处理/控制电子器件或可被配置为执行一个或多个软件模块的电子器件。除了执行操作系统之外,处理器还可以配置为执行一个或多个软件应用程序,包括网络浏览器、电话应用程序、电子邮件程序或任何其他软件应用程序。电子器件2048可以通过执行包括在诸如RAM、ROM、EEPROM等的机器可读非暂时性存储介质中的指令来实现本文讨论的方法。电子器件2048可以包括显示设备和/或与用户互动的图形用户界面。电子器件2048可以通过网络接口与一个或多个设备通信。网络接口可以包括可通过有线或无线连接进行通信的发送器、接收器和/或收发器。

[0116] 系统2100”的另一个潜在方面涉及初始分束器工作的方式。即,分束可能不均等(例如,70-30%,80-20%,60-40%或它们之间的任何范围,例如,一条路径中在60-90%之间,而另一条路径中在40-10%之间,以及这些之外的其他范围),则在泵浦光束中发送大部分功率,而在探头光束中发送小部分功率。例如,对于泵浦和探头,分束可以分别为60-70%和40-30%;对于泵浦和探头,分束可以分别为70-80%和30-20%;对于泵浦和探头,分束可以分别为80-90%和20-10%;或对于泵浦和探头,分束可以分别为90-99.999%和10-0.001%。在不同的实施方案中,探头光束可以例如在0.001%至49.99%之间,而泵浦光束可以在50.001%至99.999%之间。两个光束的总和可以是100%或接近100%。分束可以通过在某些情况下表征的特定的材料系统来确定。这样做的价值(至少部分地)可以是帮助促进诸如图10和11所示的方法,其中,如下面所讨论的,期望使在材料充电之后的SHG询问中涉及的功率降低或最小化。另一个方面是泵浦光束和探头光束以不同的角度进入。这种方法有助于分别测量泵浦和探头的SHG响应。在这种情况下,可以有利地采用两个检测器,每个反射光束路径一个。

[0117] 多种其他可选的光学器件区构成所示的实施方案之间的差异。例如,示出的实施方案2100和2100' 包括分色反射或折射滤光器2080,用于选择性地使与直接来自激光器2010的反射辐射同轴的SHG信号通过。可替代地,可以使用棱镜来区分较弱的SHG信号与强许多数量级的反射主光束。然而,由于棱镜方法已被证明对失准非常敏感,因此如上所述的分色系统可能是优选的。其他选项包括使用衍射光栅或Pellicle分束器。如系统2100所示,可以提供聚焦和准直光学器件的光学束2082。如系统2100' 中所示,滤光轮2084、变焦透镜2086和/或偏振器2088可以被用在系统中。而且,如系统2100' 中所示的角度(或弧型)旋转调整(对于检测器2040和直插式光学部件具有相应的调整)可能是期望的。附加的辐射源2090(可以是图示的发出定向光束2092的激光器,也可以是发出发散的或光学准直的或聚焦的脉冲2094的UV闪光灯)也可被并入该系统中以提供诸如上文所引用的结合于2014年4

月17日提交的标题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES (晶片计量系统)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第一节且标题为“PUMP AND PROBE TYPE SHG METROLOGY (泵浦和探头型SHG计量)”的部分和/或以下方法中的初始充电/饱和之类的特征。

[0118] 在这些系统中,激光器10可以在约700nm至约2000nm的波长范围内操作,并且峰值功率在约10kW至1GW之间,但是平均传输功率低于约100mW。在多种实施方案中,在10mW至10W之间的平均功率应该是足够的。附加光源2090 (可以是另一个激光器或闪光灯) 可以在约80nm至约800nm的波长范围内操作,从而提供约10mW至10W的平均功率。但是,这些范围之外的值也是可能的。

[0119] 关于可供选择的其它系统,由于与产生SHG信号的反射光束相比,该SHG信号较弱,所以可能期望提高SHG计数的信噪比。随着光子计数选通时间因本文所述的阻挡和/或延迟过程而减少,改进将变得更加有用。可以采用的一种降低噪声的方法是主动冷却光子计数器。进行冷却可以减少检测到的由于热噪声而随机产生的假阳性光子的数量。这可以通过使用低温液体 (例如液氮或液氦) 或通过使用Peltier装置进行固态冷却来实现。其他方面的改进可以包括使用与快门速度相关的Marx Bank电路 (MBC)。

[0120] 可将这些改进应用于图6A至图6C所示的任何系统中。同样,上文与系统2100和系统2100' 有关的任何或所有上述特征件可并入至系统2100”中。实际上,考虑了特征件或组件在所有系统间的混合与搭配。

[0121] 在采用此类系统实施本发明的方法的情况下,可以使用激光阻挡和/或延迟相关技术进行至今无法进行的多种确定。图7示出了表示这些可能性的流程图或决策树2200。即,可在缺陷2210 (扩展缺陷,例如键隙或位错、晶源粒子 (Crystal Originated Particle, COP) 等) 和污染物2220 (例如点缺陷或聚集形式的夹铜或其它金属) 之间解析检测到的所谓问题2210。就缺陷而言,还可确定缺陷类型2222和/或缺陷量化2224 (例如密度或程度方面)。就污染物而言,可确定污染物种类或类型2232和/或污染物量化2234。可在缺陷和污染物之间进行此类解析以及种类识别,并确定电荷载流子寿命、陷阱能量、陷阱俘获截面和/或陷阱密度,然后将其与查找表或数据库中的值进行对比。本质上,这些表或数据库包括由本发明的方法表征的材料特性列表,然后将所述特性与表中或数据库中与特定缺陷或污染物对应的条目进行匹配。

[0122] 可选地,可结合检测到的充电动力学观察陷阱捕获截面和陷阱密度。关于确定电荷载流子寿命和陷阱能量,以下基于I.Lundstrom的工作的等式可提供指导:

$$\tau = \tau_0 \exp \left\{ \frac{4}{3\hbar} \sqrt{2em_{ox}^*} [\phi_r^{3/2} - (\phi_r - E_{ox} d_r)^{3/2}] / E_{ox} \right\}$$

式中, τ 是陷阱放电隧穿机制的隧穿时间常数, ϕ_r 表示陷阱能量, E_{ox} 表示界面处电场强度,其余等式变量和上下文如I.Lundstrom,JAP,v.43,n.12,p.5045,1972所述,其主题全部通过引用并入本申请。

[0123] 在任何情况下,通过使用物理模型和相关数学,可使用由本发明的样品询问获得的衰减曲线数据来确定陷阱能量和电荷载流子寿命的参数。可根据上述等式计算出例如如图8A和图8B所示的曲线2300、2300' 的代表组 (其中,图8B对图8A中的部分数据进行突出显示或扩展)。

[0124] 这些曲线示出了不同的陷阱能量或势垒能量的时间常数(纵轴)与电介质厚度(横轴)之间的关系。纵轴包括低至纳秒(1E-9s)的超快时间标度。横轴是隧穿距离(或介电层厚度,在本例中,这两个术语通常是等效的)。不同的曲线是恒定势垒能量线。例如,在图8B中,如果电介质厚度为40埃,在所列势垒能量的能量深度为0.7eV的陷阱中捕获的电子具有约1E-5秒的脱陷时间常数。

[0125] 可使用利用泊松/输运(Poisson/Transport)求解器的进一步建模来确定类似MOS结构以及使用电荷载流子寿命和已知陷阱能量的更独特的器件中的陷阱密度。具体而言,飞秒光脉冲所产生的光注入电流引起电荷载流子的爆发,所述电荷载流子到达介电导带。该电流的平均值与载流子浓度和载流子在该区域的寿命有关。跨界面的电场则是SHG测量这些现象的代表(proxy)。

[0126] 在图8A的图中,可以观察到(见虚线):对于具有约3eV能量的陷阱,20埃的氧化物的放电时间常数为1毫秒。为了将该图与本发明的系统中的使用示例相关联,假设在阻挡激光激发之后,询问了20埃的氧化物。如图8B所示(见突出显示的框),结果将为从1微秒至约1毫秒的可观察电流,然后所有电流消失。

[0127] 本申请中讨论的衰减曲线可以是多个过程(例如电荷弛豫、电荷复合等)的产物,所述多个过程来自具有不同能量和不同弛豫/复合时间常数的陷阱的过程。然而,在多种实施方案中,衰减曲线通常可用指数函数 $f(t) = A \exp(-\lambda t) + B$ 表示,其中,A为衰减幅度,B表示基线偏移常数,且 λ 表示衰减常数。这种一般的指数函数可用于大致表征从实验获得的衰减数据曲线的“衰减程度”。在多种实施方案中,可使用半衰期 $t_{1/2}$ 、平均寿命 τ 和衰减常数 λ 来表征(通过实验或模拟获得的)衰减曲线的衰减程度。例如,可由以下讨论的实验获得的衰减数据点获得参数A、B和 λ 。然后,可使用放射性衰减理论,根据参数A、B和 λ 计算出平均寿命 τ ,以此作为定性地定义为部分衰减或完全衰减的基准的设定方法。例如,在一些实施方案中, τ 可由等式 $(t_{1/2}) / (\ln(2))$ 给出。

[0128] 在多种实施方式中,在经过三个平均寿命 τ 的时间跨度后,可以认为电荷状态已完全衰减,这对应于与完全饱和相比衰减了约95%。可用经过了一定数量的平均寿命 τ 后的信号表示部分衰减。

[0129] 在操作中,该系统至少部分地基于本发明的方法,在部分晶片(例如管芯尺寸部分)或整个晶片上逐点地确定参数,例如载流子寿命、陷阱能量、陷阱截面、电荷载流子密度、陷阱电荷密度、载流子注入阈值能量、电荷载流子寿命、电荷累积时间等。通常可在不到约10分钟的时间内扫描整个晶片(根据材料、表面积和所需的扫描密度),这些参数是针对每个扫描点而确定的。在多种实施方案中,可在约100毫秒至约3秒之间的时间间隔内扫描晶片的位置。例如,可在约950毫秒内扫描晶片的位置。

[0130] 可将包含所确定参数的空间分布的数据矩阵绘制为每个参数的单独彩色编码热图或等值线图,作为定量检查、反馈和呈现的方式。图9示出了一幅这样的图2400。该图示出了如何描述缺陷2402。但是,在图7中可示出进一步细化的任何主题。一旦获得了定量数据,提这样的输出仅仅是改变绘图程序/脚本中的代码的问题。

[0131] 下面处理的此类信息和/或其它信息可显示在计算机监视屏或专用系统显示器上,和/或可将其记录下来以供日后参考或用于数字媒体上的分析。此外,通过参考椭圆数据可交叉关联每个晶片的空间分布,以校正层厚度的变异度,且采用诸如全反射X射线荧光

(TXRF)、飞行时间二次离子质谱 (TOF-SIMS) 等技术获得的独立污染表征数据,对每个晶片的空间分布进行交叉校准。然后,可将这些初始或校正的空间分布与已知处于规格范围内的晶片的空间分布进行比较,以确定所讨论的样品是否具有任何缺陷或具有问题特征件,需要进行进一步测试。然而,一般来说,希望使用低成本的SHG并使用或反对使用缓慢而昂贵的直接方法(如TXRF等)进行校准的其它方法。

[0132] 在确定晶片合格或不合格的标准时,可首先采用人工决策(如检查生成的热图2400),直至工具被正确校准以能够自动标记晶片为止。对于制造中良好表征的过程,只需进行人工决策即可根据标记晶片的特性来确定任何系统性产量问题的根本原因。

[0133] 无论以何种方式实施,图10提供了图2500,其示出了可用于进行此类确定的第一方法实施方案。与下面讨论并图示的其它方法一样,这种方法依赖于使用多个快门阻挡事件来表征SHG响应,在这些快门阻挡事件中,询问激光于数段时间内被选通。

[0134] 在该第一示例中,待询问的样品的部分被充电至饱和(通常由激光器)。虽然,在其它实施方案中可使用单独的泵浦源和单独的探头源,但是,在该示例中,采用单源来产生泵浦光束和探头光束。在此期间,可监测SHG信号。通过材料表征和/或观察与充电(I_{ch})相关的SHG信号强度的渐近行为,可获知饱和水平。达到饱和时(或饱和后),来自激光(泵浦光束)的电磁辐射被阻挡在样品部分之外。激光(探头光束)在选定的时间段内(t_{b11})是选通的。选通停止后,使用暴露在表面的激光(探头光束)进行SHG强度测量(I_{dch1}),从而观察电荷在第一放电点处的衰减。经过一段时间(t_{ch}), (使用泵浦光束)再次将材料部分充电至饱和后,第二阻挡事件发生,持续时间(t_{b12})与第一次不同,以鉴定出将沿其形成复合衰减曲线的另一个点。停止阻挡激光(探头光束)后,再次测量SHG信号强度(I_{dchs2})。该减弱的信号指示了在第二选通事件或阻挡间隔期间的电荷衰减。再次通过激光(泵浦光束)充电至饱和,随后发生时间不同的第三阻挡事件(t_{b13}),接下来进行SHG询问和信号强度测量(I_{dch3}),从而第三次测量与SHG强度相关的电荷衰减。

[0135] 尽管在上述示例中,样品被充电至饱和水平,但是,在另一些示例中,样品可被充电至低于饱和的电荷水平。尽管在上述示例中,三个阻挡时间 t_{b11} 、 t_{b12} 和 t_{b13} 是不同的,但是,在另一些示例中,三个阻挡时间 t_{b11} 、 t_{b12} 和 t_{b13} 可以是相同的。在多种示例中,样品可被初始充电到充电水平,且可在初始充电事件之后的不同时间间隔获得SHG强度测量值(I_{dch1})、(I_{dch2})和(I_{dch3})。

[0136] 如上所述,(对应于 I_{dch1} 、 I_{dch2} 和 I_{dch3} 的)这三个点可用来构建复合电荷衰减曲线。本文中,该曲线被称为“复合”曲线,因为其组成部分来自多个相关事件。虽然还可进行进一步重复(有可能使用不同的选通时间来生成更多的衰减曲线数据点,或使用相同关系的定时(same-relation timing)来确认确定性,和/或从选定点的测量中消除误差),以便使用四个或四个以上的阻挡-然后-检测循环,应该注意到,可以采用少至两个这样的循环。一个与衰减相关的数据点无法提供有意义的衰减曲线表征,一对数据点定义一条线,根据这对数据点可建模或推算出曲线以提供一些效用,而用于指数衰减拟合的三个或三个以上的点将产生精度更高的近似值。换句话说,任何简单的(例如不被分散传输物理延展的)衰减动力学具有通式:可测量的(t)= $M_0 \cdot \exp(-t/\tau)$,所以,在这个简单的动力学的假设下,需要至少2个点以获得两个未知参数 M_0 和 τ 。在分散(即非线性)动力学中,期望测量尽可能多的点,以在测量了 n 个点的情况下,提取($n-1$)阶校正参数,然后应用适合该逼近的阶的模

型。此外,可针对不同的电场(E)测量这组测量值,以使 τ 真正实用且精确,并将 τ 分配给特定类型的缺陷。

[0137] 通过在几个时间点获得测量值,上述方法可提供参数相对于时间(如界面泄漏电流或占据陷阱密度与时间)的动力学曲线。可从参数-时间动力学曲线中提取时间常数(τ)。可将时间常数归因于特定类型缺陷的时间常数特性。

[0138] 在任何情况下,使用询问(或探头)激光器使材料饱和的同时,可在获取衰减相关的数据之前进行SHG数据的获取(如示例中所示)。然而,充电不必需达到饱和(例如,如上所述)。也不必需在阻挡充电的激光之前进行测量。此外,不必需使用询问/探头激光器充电(例如,见上文所述的可选泵浦/探头方法)。

[0139] 无论如何,在一个样点处进行本发明的测试后,通常会移动或索引样品材料,以定位另一进行相同(或相似)测试的部分。如上文所讨论地,通过这种方式,在扫描整个晶片时,可对样品材料的多个部分甚至每个部分进行询问和量化。

[0140] 图11和图2600示出了通过扫描获取电荷衰减相关数据的替选方案(或补充方法),如图2600所示。在该方法中,在第一次充电至饱和后,通过来自用于测量不同SHG强度(I_{dch1} 、 I_{dch2} 、 I_{dch3})的询问或探头激光器的激光脉冲,研究多个阻挡时间间隔(t_{b11} 、 t_{b12} 、 t_{b13})期间的连续放电,或至少半连续放电。选择来自询问/探头激光器的激光脉冲的强度和/或频率,以便降低询问/探头激光器的平均功率,以避免在获得合理的SHG信号的同时,在阻挡间隔之间对材料进行再次充电。为此,只需施加一至三个激光脉冲。如果数量和/或功率以这种方式减少,由询问或探头激光器脉冲引起的材料激发可被忽略,或通过校准或建模来考虑。

[0141] 在多种实施方案中,可使用单独的泵浦源进行充电。但是,在一些实施方案中,可使用探头光束对样品充电。

[0142] 在任何情况下,脉冲之间的延迟可以是相同的,也可以进行调谐,以考虑预期的瞬态电荷衰减曲线或其它实际原因。同样,虽然上文中用“选通”或“阻挡”来描述延迟,但是应当理解:如上文所讨论的,可结合图6C使用一个或多个光延迟线产生延迟。此外,有关结合图10讨论的阻挡/选通,也是如此。

[0143] 此外,如上所述,通过对阻挡或延迟时间或事件的数量进行多种修改,可实现图11中的方法。此外,在充电至饱和期间,可测量或不测量SHG信号。无论如何,可(如图所示地)实施图11中的方法,使得最终选通周期将SHG信号置零。在测量充电强度(I_{ch})的模式下,通过在同一位置重复该方法,或仅通过观察(再次)充电至饱和的SHG信号,可对此进行确认。

[0144] 关于使用本发明的硬件来获取与衰减相关的数据点的方式,图12A至图12E具有指导意义。图12A提供了图2700,其示出一系列激光脉冲2702,其中,在所谓的“脉冲拾取(pulse picking)”方法中,中间脉冲或交替脉冲被(例如如上所述的)快门硬件阻挡。在给定的时间间隔期间,可让单个脉冲通过(用实线表示)并阻挡其它脉冲(如虚线所示)。

[0145] 图12B提供了图2710,其示出了用于SHG研究的阻挡技术分辨率可受探头激光器的重复(rep)率限制的方式。具体而言,在类似于衰减曲线2712的衰减曲线出现时,可在图12A所示的同一时间标度,使用所示脉冲激光器进行操作,以解析每隔一个脉冲的阻挡的时延概况。然而,在这种情况下,无法解析或观察较短曲线2714。因此,利用一个或多个光延迟台可以提供附加的效用。

[0146] 因此,图12C中的图2720(以图形和文本形式)示出了就相对于激光器重复率的曲线衰减时间而言,相对于对样品进行充电相关联的参考时间,阻挡和引入延迟可如何提供有用的重叠区域。该图还示出了:当只有延迟台允许询问衰减曲线时,如何存在较短的时间范围,而当只可阻挡泵浦和/或探头光束时,如何存在较长的时间范围。

[0147] 图12D和图12E进一步示出了组合阻挡/延迟装置的效用。图2730示出了由单个激光脉冲2702产生的示例性SHG信号。仅使用延迟台,通过改变光延迟,仅可询问每个这种脉冲之间的范围(X)。相反,使用结合延迟台和阻挡装置或快门装置(例如斩波器、快门或调制器)的系统,可在范围(Y)上实现附加效用。如图2740所示,这样一个系统能够测量一个至数个脉冲时间范围内的衰减曲线(及其相关的时间常数)。

[0148] 图13提供了绘图2800,其示出本发明的第三方法实施方案。该实施方案与图11中的实施方案类似,用激光器或其它电磁辐射源给材料充电,可选地监测或捕获其SHG强度(I_{ch}),然后阻挡或以其它方式停止对样品施加激光辐射,从而允许放电,之后每隔一段时间测量放电电流(J_{dch1} 、 J_{dch1} 、 J_{dch3})。上述时间间隔,例如基本上根据对数时间标度与线性时间, $t_i = t_0, 2t_0, 3t_0, 7t_0, 10t_0, 20t_0, 30t_0, 70t_0$, 其中, t_0 是开始测量时约 10^{-6} 秒或 10^{-3} 秒的标度参数。衬底内的e-h等离子体衰减后和放电电流开始出现时,使用该方法预估衬底内的移动载流子寿命,从而提供了晶片的重要物理参数。在确定载流子寿命之后,可用其时间相关性(即电荷衰减的动力学)来解释电流的放电,与通过放电电荷的SHG传感得到的方式一样。

[0149] 可使用多种实施方案测量具有范围值的时间常数(例如衰减时间常数)。例如,时间常数的范围可以是:0.1飞秒到1飞秒、1飞秒到10飞秒、10飞秒到100飞秒、100飞秒到1皮秒、1皮秒到10皮秒、10皮秒到100皮秒、100皮秒到1纳秒、1纳秒到10纳秒、10纳秒到100纳秒、100纳秒到1微秒、1纳秒到100微秒、100微秒到1毫秒、1毫秒到100毫秒、100微秒到1秒、1秒到10秒、或10秒到100秒或者更长或更短的范围。同样,例如,探头与泵之间或泵与探头之间的时间延迟(Δ)可以是:例如0.1飞秒到1飞秒、1飞秒到10飞秒、10飞秒到100飞秒、100飞秒到1皮秒、1皮秒到10皮秒、10皮秒到100皮秒、100皮秒到1纳秒、1纳秒到10纳秒、10纳秒到100纳秒、100纳秒到1微秒、1纳秒到100微秒、100微秒到1毫秒、1毫秒到100毫秒、100微秒到1秒、1秒到10秒、10秒到100秒。也可能出现超出这些范围的值。

[0150] 可采用多种物理方法,来提供适合于实施图13中所示方法的系统,值得注意的是:如上述方法一样,可对该方法进行修改。图14A和图14B中示出了两种此类方法。

[0151] 系统2900和系统2900' 分别使用栅电极2910和栅电极2920,所述栅电极2910和栅电极2920是由在可见光范围内透明的导电材料制成的。这样的电极可接触待检查的晶片2020,但不必接触,因为其间可只间隔很小的距离。在多种实施方式中,可利用对电容-电压曲线(CV曲线)进行交流测量,通过提取电极-电介质-衬底结构参数,来对电介质中的电场进行估计。使用市售标准CV测量装置可完成CV曲线测量,该装置被连接到本发明的工具中的材料样品(例如施加的电压将在电介质中提供约0.1MV/cm至约5MV/cm之间的电场)。晶片可夹持在提供衬底电接触的导电卡盘2030上。栅电极的另一备选结构是厚度为10埃至30埃的玻璃上的超薄金膜或铝膜,该膜可降低由于半透明的薄金属层吸收一些光子而导致的敏感性。

[0152] 然而,电极2910和电极2920不存在明显的吸收问题(尽管可能出现一些基于折射的考虑因素,可校准出来这些因素,或可在系统中另行考虑)。这些电极可包括透明导体栅

极层2930,该透明导体栅极层由诸如ZnO或SnO等材料制成,且与电触头2932连接。该结构中可包括防反射面漆2934。栅极层2930可设置在透明载流子2936上,所述透明载流子2936由具有图示厚度(D_{gc})的电介质(SiO_2)制成。在多种实施方案中,透明载流子包括用作非接触电极的栅极的绝缘体,例如,该非接触电极可采用电容耦合进行电测量,类似于2014年4月17日提交的“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES (晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请中的被称为第四节的标题为“FIELD-BIASED SHG METROLOGY (场偏压SHG计量)”的部分。当晶片由入射的激光辐射充电时,穿过其一个或多个界面的电场将发生变化,晶片的各层应与电极中的板进行电容耦合,类似于平板电容器。电极的充电将涉及电荷载流子的移动,电荷载流子的移动将被测量为电流。

[0153] 已知施加的电压时,使用非侵入方法对半导体衬底上的CV曲线进行测量,从而校准 D_{gc} 并将其用于电场(E)的计算。栅极与样品之间的可忽略间隙距离可能是气隙。或者,电极可直接与样品接触,不被气隙或电介质隔开。因此,在多种实施方案中,可进行正常的CV或IV测量。

[0154] 或者,考虑到水和 SiO_2 之间的折射率相近,用去离子水填充该间隙可能有助于减少边界层反射,而不产生任何不良影响(或至少不产生无法解决的不良影响)。去离子(或洁净室等级的)水可保持电敏感且化学纯衬底晶片周围的清洁度。实际上,去离子水的导电性比普通水差。

[0155] 在图14B中,示出了一种相关结构,不同之处在于其载流子或栅极夹持架2938的构造。在此,其被配置为环,如使用MEMS技术所产生的那样,优选将中心蚀刻掉并将电极周围的材料留下来形成环。但是在任何情况下,由于激光和SHG辐射必须通过较大的未占用区域,因此,如上文所述,特别期望使用去离子水对该区域进行填充。

[0156] 无论如何,在各实施方案中,通常,整个电极2910、电极2920结构相对于所使用的激发材料的辐射而言是静止的。在使用前后,可由机械臂或托架组件(未示出)放置该电极结构。

[0157] 如上述,在多种实施方案中,电极直接接触晶片,以进行电测量,例如电流测量。然而,也可使用非接触式电流测量方法,例如可使用与样品进行电容耦合的电极。

[0158] 本文所述的系统和方法可用于表征样品(例如,半导体晶片或其一部分)。例如,如上文所讨论的,本文所述的系统和方法可用于检测样品中的缺陷或污染物。本文描述的系统和方法可被配置为在半导体晶片的制造或生产期间表征样品。因此,可沿半导体制造设施中的半导体制造线使用所述系统和方法。本文描述的系统和方法可以与半导体制造/生产线集成。本文描述的系统和方法可以集成到具有自动晶片处理能力的半导体生产线中。例如,该系统可以配备有附接的设备前端模块(Equipment Front End Module,EFEM)。该模块可以接收晶片盒,例如前端开口式晶片盒(Front Opening Unified Pod,FOUP)。可以由操作人员或盒自动搬运机器人将每个盒运送到机器上,这些机器人沿着制造/生产线将盒从一个工序运送至另一个工序。

[0159] 在多种实施方案中,该系统可以被配置为使得一旦盒被安装在EFEM上,打开FOUP,机械臂从FOUP中选择各个晶片,并将它们移动通过系统中的自动驱动门,进入不透光的处理盒中,再移动至具有偏置功能的真空卡盘上。可以将卡盘设计为与机械臂互补配合,以便其能将样品放在卡盘顶部。在此过程中的某个时刻,可以将晶片固定在扫描仪上方,以识别

其独特的激光标记。

[0160] 因此,被配置为集成在半导体制造/装配线中的系统可具有:来自FOUP或其他类型的盒的自动晶片处理能力;如上文所讨论的与EFEM的集成,被设计为与机械手操作兼容的卡盘,可打开和关闭以允许移动机械棒/臂的自动不透光门,以及发送信令到EFEM以进行晶片装载/卸载和晶片识别的软件。

[0161] 第三部分

[0162] 图15A和图15B示出了适用于2014年4月17日提交的标题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES (晶片计量技术)”的第61/980,860号临时申请的被称为第一节的标题为“PUMP AND PROBE TYPE SHG METROLOGY (泵浦和探头型SHG计量)”的部分中所述的本发明的系统和方法的合适硬件。例如,对于中间光学元件,包括光学延迟线和可选的电极特征件,在于2014年4月17日提交的标题为“WAFER METROLOGY TECHNOLOGIES (晶片计量技术)”的第61/980,860号美国临时申请的被称为第二节的标题为“CHARGE DECAY MEASUREMENT SYSTEMS AND METHODS (电荷衰减测量系统和方法)”的部分中介绍了可供选择的其它系统和方法。

[0163] 如图所示,系统3000包括初级激光器或探头激光器3010,用于将电磁辐射的询问光束3012引导至由真空卡盘3030夹持的样品晶片3020。如图15B所示,卡盘3030包括x台和y台或被设置在x台和y台上,并且可选地,该卡盘还包括旋转台,所述旋转台用于相对于激光瞄准的位置来在晶片上定位样点3022。x-y台使得能够扫描多个晶片表面点或位置3022而无需移动其他硬件。可选地,旋转台能够评估晶体结构对SHG的影响。卡盘3030的其它优选特征、方面和/或用途呈现在本申请的其它部分中。样点3022可包括一层或多层。样点3022可包括复合衬底,该复合衬底至少包括两层。样点3022可包括两种不同材料之间(例如两种不同的半导体材料之间、两种掺杂不同的半导体材料之间、半导体与氧化物之间、半导体与电介质材料之间、半导体与金属之间或氧化物与金属之间)的界面。

[0164] 当使用系统3000时,指向检测器3040的反射辐射光束3014将包括SHG信号。检测器3040可以是光电倍增管、CCD照相机、雪崩检测器、光电二极管检测器、条纹照相机和硅检测器中的任何一种。系统3000还可包括一个或多个快门型装置3050。所使用的快门硬件的类型将取决于激光辐射将会被阻挡、被倾倒或以其它方式被引导离开样点3022的时间范围。诸如Pockel盒或Kerr盒之类的电光阻挡装置可用于获得非常短的阻挡时间段(即,具有 10^{-9} 至 10^{-12} 秒)量级的致动时间。

[0165] 对于较长的阻挡时间间隔(例如,自约 10^{-5} 秒起以及更高),可采用机械快门或飞轮斩波器型装置。然而,电光阻挡装置将允许根据以下方法测试更广泛的材料。可以采用能够离散地选通非常小的时间间隔(通常在皮秒至微秒量级)的光子计数系统3044来解析时间相关的信号计数。对于更快的时间范围,可以如上文所述并入光学延迟线。

[0166] 系统3000可包括额外的电磁辐射源3060,也称为泵浦源。在多种实施方式中,辐射源3060可以是如图所示的发射定向光束3062的激光器,或者是发出发散或光学准直脉冲3064的紫外线闪光灯。在激光源的情况下,其光束3062可与光束3012共线(例如,如通过附加的反光镜或棱镜等所导向的)。辐射源3060的光线的波长可以为约80纳米至约1000纳米之间的任何波长。与较长波长相比,使用该范围内的较短波长(例如,小于约450nm)可以使用较少的光子和/或较低的峰值强度来驱动电荷激发。

[0167] 对于闪光灯,每次闪光的能量或闪光期间的功率水平可能取决于衬底材料。对于完全耗尽的绝缘体上硅(FD-SOI),闪光灯每次闪光产生的总能量为1J至10kJ较为合适。然而,脉冲或恒定的紫外线源也是可行的。泵浦特性和用途的重要因素在于:将电荷载流子注入到待询问材料的电介质中。合适的闪光灯制造商包括美国赫尔玛公司(Hellma USA, Inc.)和滨松光子学株式会社(Hamamatsu Photonics K.K.)。

[0168] 当采用激光器作为源3060时,它可以是纳秒、皮秒或飞秒或更快的脉冲激光源中的任何一种。它甚至可以是连续的固态激光器。在多种实施方案中,泵浦源的波长是可调谐的。市售的可供选择的可调谐激光器包括光谱物理的速度(Spectra Physics' Velocity)激光器和涡流可调谐(Vortex Tunable)激光器。洛蒂斯有限公司(LOTIS Ltd.)的LT-22xx系列固态激光器可提供其他可调谐固态解决方案。

[0169] 无论是以激光器还是闪光灯形式提供,泵浦源3060都可以被选择用于相对较高的平均功率。该功率可为约10mW至约10W,但通常为约100mW到约4W,这取决于待询问的材料(同样,上述考虑是为了确保以将电荷载流子注入到材料的界面(例如,电介质界面)中的方式来诱导电荷载流子迁移,所述平均功率可以是材料特定的。泵浦源3060的平均功率被选择为低于材料的光学损伤阈值。例如,当询问材料包括硅时,泵浦源3060的平均光学功率可被选择为1w至2w之间,以不超过硅的光学损伤阈值。

[0170] 探头激光器3010可以是纳秒、皮秒或飞秒或更快的脉冲激光源中的任何一种。目前市售的具有所需的峰值功率、波长和可靠性的激光器的两种选择是掺杂光纤和钛蓝宝石单元。Coherent的VITESSE和Spectra Physics的MAI TAI激光器是合适的钛蓝宝石器件的示例。飞秒激光器有限公司(Femtolasers GmbH)和其它制造商也生产其它相关的钛蓝宝石器件。合适的掺杂光纤激光器是由IMRA、OneFive和Toptica Photonics生产的。也可根据衬底材料和泵浦类型选择许多制造商(如滨松)生产的皮秒和/或纳秒激光器。激光器3010可以在约100纳米至约2000纳米之间的波长范围内工作,并且峰值功率约10千瓦至1兆瓦之间,但平均传输功率低于约150毫瓦。

[0171] 系统3000中可采用多种其他可选的所谓“中间”光学组件。例如,系统3000可包括分色性反射或折射过滤器3070,其用于选择性地通过SHG信号,该SHG信号与直接来自激光器3010和/或源3060的反射辐射同轴。可替代地,可以使用棱镜将较弱的SHG信号与强许多数量级的反射主光束区分开来。然而,由于已经证明棱镜方法对于失准非常敏感,因此如上所述的分色系统可能是优选的。其他选项包括使用衍射光栅或Pellicle分束器。可提供用于聚焦和准直/柱状光学器件的光束3080。可替代地,可在该系统中使用过滤轮3090、一个或多个偏振器3092和/或一个或多个变焦透镜3094单元或组件。此外,可能期望进行角度(或弧型)旋转调整(对检测器进行相应的调整)和直插式光学组件。

[0172] 来自检测器3040和/或光子计数系统3044的输出可被输入至电子器件3048。电子器件3048可以是计算装置、计算机、平板电脑、微控制器或FPGA。电子器件3048包括处理器、处理电子器件、控制电子器件、处理/控制电子器件或可被配置为执行一个或多个软件模块的电子器件。除了执行操作系统之外,处理器还可被配置为执行一个或多个软件应用程序,包括:网页浏览器、电话应用程序、电子邮件程序或任何其它软件应用程序。电子器件3048可以通过执行包含机器可读非暂时性存储介质(如随机存取存储器、只读存储器、电可擦可编程只读存储器等)中的指令来实现本发明中讨论的方法。电子器件3048可包括显示装置

和/或与用户交互的图形用户界面。电子器件3048可通过网络接口与一个或多个装置通信。网络接口可包括可以连通例如有线以太网、蓝牙®或无线连接的发送器、接收器和/或收发器。

[0173] 关于其它选择,因为与产生SHG信号的反射光束相比,该SHG信号较弱,所以期望提高SHG计数的信噪比。随着光子计数系统3044的光子计数选通时间因本文所述的阻挡和/或延迟过程而减少,进行改进变得更加重要。可以采用的一种降低噪声的方法是主动冷却光子计数器。这可以通过使用低温流体(如液氮或液氦)或通过使用珀尔帖设备进行固态冷却而实现。其它需要改进的方面可包括使用与快门速度相关的Marx Bank电路(MBC)。此外,系统3000可在线并入生产线环境中。在系统100之前或之后的生产线元件可包括外延生长系统、光刻系统和/或沉积(CVD、PVD、溅射等)系统中的任何一种。

[0174] 在任何情况下,图16A和图16B提供了可用于本发明的SHG系统的第一组专用卡盘硬件的视图。卡盘3030通过与其相通的真空或以其它方式夹持晶片3020。卡盘3030导电且被连接至电源。可选地,电容耦合探头3100也被连接至电源3120。电源可由计算机控制,或由于上述计时原因,至少其输出是由计算机协调的。同样,可控制和/或监测探头3100。该探头将受到控制,从某种意义上说,该探头将成为连接至电源3120的电容电路的一部分。可以通过电压表对该探头和卡盘3030一起进行监测,以确保按预期感应电压。

[0175] 探头3100包括位于其环3104中的孔3102或端口(例如,其直径为0.2mm),使得光束3012、3014(询问光束和反射的SHG光束)不受阻挡地通过,且该探头相对于光学器件是固定的,使得在对装置表面进行扫描时,该探头无论是发生移动还是停留,均与光学器件一起将(重新)定位的样品位点3022设置为中心。耦合装置(标记为带有正“+”电荷)定位于靠近样品装置表面的位置(例如,位于约1mm至约2mm范围内),但不与该样品装置表面接触。该耦合装置由悬臂或其它结构支撑。探头3100可被设置为如图16B所示的环3104,或该探头可包括更大的盘或板。

[0176] 如在图16B的横截面中所示的示例中,晶片3020或器件表面(包括:硅)通过SiO₂绝缘体与硅体层隔开。因此,如上所解释的,由于器件表面另外地(至少基本上)与同导电卡盘3030接触的底层硅电绝缘或电隔离,因此需要对器件表面施加感应偏置。

[0177] 图17A至图17C详细示出了电磁卡盘3030,其包括连接至电源3120的电线圈3130。使用时,晶片3020位于并被固定在卡盘3030的顶部。向线圈3130施加交流电(AC)时,通过晶片3020产生交变磁场。在包含其器件表面的晶片3020上,磁场感应出电势。然后,该电场启动上述多种SHG询问模式,下面详细介绍其中一些模式。可替代地,直流电流可被施加至线圈3130,该线圈3130的方向与卡盘3030平行,从而在卡盘上产生恒定磁场,用于实现如上所述的其它效果。

[0178] 图18A示出了随时间变化的施加于衬底本体层的示例交流电压(V_0)分布(正弦波)。图18B示出了针对器件与器件制造于其上的衬底本体层(V_i)之间的感应电压的假设响应。在多种实施方案中,衬底可包括硅晶片或半导体材料的一部分。图19A示出了随时间变化的施加于衬底本体层的示例交流电压(V_0)分布(方波)。图19B示出了针对器件与本体层(V_i)之间的感应电压的假设响应。值得注意的是:图18A或图19A中的任一幅中的电压输入可能与所示的不同,并且可能以阶梯、斜坡、正弦波或其它形式施加。

[0179] 更具体地说,关于图18A和图18B,如上所述,为了使噪声最小化并获得统计上相关

的SHG强度指标,作为界面上的电压的函数,可能期望多个光子计数窗口。为此,对示例点A1和A2进行定时,使得主体层与器件层之间的电压(电压A)在这两点上是相同的。电压为B的示例点B1和B2,以及电压为C的示例点C1和C2,也是这样的。以电压A为例,记录SHG,且A1点的计数可与A2点的计数相加,然后根据所需的测量时间,再与任意长的序列中的点A3、A4、A_n.....处的计数相加。然后,在此期间测量的总计数除以该“选通”的时间,作为计算每秒平均计数的方法,使得SHG强度可被绘制为本体-器件电压A的函数。根据所需的测量时间,使用同样的方法可得到在任意长的序列中的点B1、B2以及B3、B4、B_n.....处的电压B的测量值。然后,在此期间测量的总计数除以该“选通”的时间,作为计算每秒平均计数的方法,使得SHG强度可被绘制为本体-器件电压B的函数。同样,根据所需的测量时间,使用该方法可得到在任意长的序列中点C1、C2以及C3、C4、C_n.....处的电压C测量值。然后,在此期间测量的总计数除以该“选通”的时间,作为计算每秒平均计数的方法,使得SHG强度可被绘制为本体-器件电压C的函数。可以在直流偏压文献中找到有关SHG强度的效用作为偏置电压的函数的更多详细信息,其中的一个示例是2004年12月出版的“IEEE Transactions on Nuclear Science (IEEE核科学汇刊)”第51卷的第6期中“Charge Trapping in Irradiated SOI Wafers Measured by Second Harmonic Generation (通过二次谐波产生测量辐照SOI晶片中的电荷捕获)”和“Applied Physics Letters (应用物理快报)”88,114107, (2006)中的“Optical probing of a silicon integrated circuit using electric-field-induced second-harmonic generation (使用电场感应二次谐波产生的硅集成电路的光学探测)”,其中每篇出版物均通过引用整体并入本文中。

[0180] 更具体地说,关于图19A和图19B,这些图示出了用于询问绝缘体上硅(SOI)器件的示例。在该示例中,导电卡盘始于“中性”接地状态,本体层和器件层处于平衡电势。在时刻“A”,施加到卡盘上的电压迅速变化,将该电压施加至样品的导电主体层上。由于样品的器件层通过薄埋氧化物层与本体分隔,且未与导体直接连接,因此在该器件层和本体层之间会感应出电势场或电压。在时刻“A”与时刻“B”之间,施加至卡盘上的电压不变。由于本体层和器件层之间的电介质并不完美,感应电势将驱动层与层之间的泄漏电流,导致本体层和器件层之间的电势恢复至其自然状态。然后通过SHG监测电场中的尖峰和衰减,以观察泄漏电流。在时刻“B”时,施加在卡盘上的电压恢复接地,导致界面上的电压反向。

[0181] 本文所述的系统和方法可用于表征样品(例如,半导体晶片或其一部分)。例如,如上文所讨论的,本文所述的系统和方法可用于检测样品中的缺陷或污染物。本文描述的系统和方法可被配置为在半导体晶片的制造或生产期间表征样品。因此,可沿半导体制造设施中的半导体制造线使用所述系统和方法。本文描述的系统和方法可以与半导体制造/生产线集成。本文描述的系统和方法可以集成到具有自动晶片处理能力的半导体生产线中。例如,该系统可以配备有附接的设备前端模块(Equipment Front End Module, EFEM)。该模块可以接收晶片盒,例如前端开口式晶片盒(Front Opening Unified Pod, FOUP)。可以由操作人员或盒自动搬运机器人将每个盒运送到机器上,这些机器人沿着制造/生产线将盒从一个工序运送至另一个工序。

[0182] 在多种实施方案中,该系统可以被配置为使得一旦盒被安装在EFEM上,打开FOUP,机械臂从FOUP中选择各个晶片,并将它们移动通过系统中的自动驱动门,进入不透光的处理盒中,再移动至具有偏置功能的真空卡盘上。可以将卡盘设计为与机械臂互补配合,以便

其能将样品放在卡盘顶部。在此过程中的某个时刻,可以将晶片固定在扫描仪上方,以识别其独特的激光标记。

[0183] 因此,被配置为集成在半导体制造/装配线中的系统可具有:来自FOUP或其他类型的盒的自动晶片处理能力;如上文所讨论的与EFEM的集成,被设计为与机械手操作兼容的卡盘,可打开和关闭以允许移动机械棒/臂的自动不透光门,以及发送信令到EFEM以进行晶片装载/卸载和晶片识别的软件。

[0184] 多个偏振的有效收集

[0185] 二次谐波产生信号的不同偏振分量能提供与不同材料特性有关的信息。例如,对于与硅具有相同对称性的硅基材料或晶体,p偏振的二次谐波产生信号可以对电特性敏感。相反,s偏振的二次谐波产生信号可以提供与应变或晶体有关的信息。因此,能够控制收集哪个偏振或偏振分量的系统可用于隔离和收集与样品的特定特性有关的数据。因此,本文描述了用于收集二次谐波产生信号的不同偏振分量的系统的多种实施方式。

[0186] 图20描绘了这样的系统,其能够收集特定偏振的二次谐波产生信号。特别地,图20示出了可用于询问诸如晶片等样品的示例性组件的示意图。如图所示,用于询问晶片4120的系统4000可包括光源4110、偏振光学器件(例如,偏振器)4112、聚焦光学器件(例如,聚焦透镜)4114、旋转台4116、平移台4118、收集光学器件(例如,准直光学器件)4124、偏振光学器件(例如,偏振滤波光学器件或偏振器)4122、光谱滤波器4126和检测器4130。在所示的配置中,光源4110、偏振光学器件(例如偏振器)4112和聚焦光学器件(例如,聚焦透镜)4114处于将光引导至样品(例如,晶片)的第一光路中,而收集光学器件(例如,准直光学器件)4124、偏振光学器件(例如,偏振滤波光学器件或偏振器)4122、光谱滤波器4126和检测器4130处于由样品反射的光的第二光路中。

[0187] 当使用系统4000时,可从光源4110发出输入光4132。光源4110可以包括激光源或其他电磁辐射源。例如,光源4110可以是诸如脉冲激光器(如纳秒、皮秒、飞秒激光器)或连续激光器等激光器。在多种实施方式中,激光器包括固态激光器。在另一些示例中,光源4110可以是发射发散或光学准直的光的灯。光源4110可以发射具有任意数量的波长的光4130。例如,光源4110可以发射具有包括80nm至1000nm的光谱的波长的光4130。

[0188] 系统4000可以将偏振光引导至样品上。在一些实施方式中,光源4110可以输出诸如线性偏振光等偏振光。在一些实施方式中,系统4000可以用偏振光学器件4112偏振输入光4132。偏振光学器件4112可以例如包括用于改变输入光4132的偏振态的一个或多个偏振器。在一些实施方式中,偏振光学器件4112可以包括用于改变输入光4132的偏振态的任何合适类型的一个或多个偏振器。例如,偏振光学器件可以包括能使输入光4132线性偏振的吸收性偏振器。在一些实施方式中,偏振光学器件4112可以包括偏振控制光学器件,该偏振控制光学器件被配置为改变偏振态,例如,改变线性偏振光的方向(例如,从竖直偏振到水平偏振)。例如,在一些实施方式中,偏振光学器件4112为入射到样品上的光提供具有特定角度 θ_1 的线性偏振光。偏振光学器件4112可以改变偏振态,例如,输入光4132相对于晶片4120、晶片4120的区域或晶片4120上的图案的线性偏振 θ_1 的方向。例如,偏振光学器件4112可以产生关于晶片4120上的图案的s偏振光。在多种实施方式中,可以使一个或多个硬件处理器能够控制偏振光学器件4112,以改变输入光4132的偏振态。

[0189] 系统4000可以用聚焦光学器件4114聚焦输入光4132。聚焦光学器件4114可以包括

用于将输入光4132聚焦于晶片4120的区域4136的任何合适的聚焦光学器件。例如,聚焦光学器件4114可以包括一个或多个透镜,该一个或多个透镜可以将输入光4132聚焦到晶片4120的区域4136。

[0190] 该系统还可以包括收集光学器件,该收集光学器件收集从样品反射的光。收集光学器件可以包括例如一个或多个透镜或反光镜,该一个或多个透镜或反光镜被设置为接收来自样品的SHG光。

[0191] 在一些实施方式中,收集光学器件4124包括准直光学器件,以收集来自样品的SHG光。准直光学器件4124可包括任何合适的准直光学器件,用于准直从晶片4120接收的输出光4134。例如,准直光学器件4124可包括一个或多个准直器,诸如一个或多个准直透镜。这样的—个或多个准直透镜可以例如具有焦距 f ,并且被设置在与样品相距一定距离的位置处,该距离对应于焦距 f 。也可能采用其他配置。

[0192] 如上文所讨论的,由于不同材料特性的信息可以包含在二次谐波产生信号的不同偏振分量中,因此,系统4000可以被配置为选择SHG信号的不同偏振进行检测。系统4000可以例如使用偏振光学器件4122来将具有某些偏振特性(例如具有特定偏振态)的光引导至检测器4130。偏振光学器件4122例如可以包括偏振滤波器或偏振器,该偏振滤波器或偏振器被配置为选择并透过输出光4134的特定偏振态。偏振光学器件4122可以包括任何合适类型的偏振器。例如,偏振光学器件4122可以包括吸收性偏振器,该吸收性偏振器可以选择地透射特定方向的线性偏振光。可以包括例如一个或多个硬件处理器的控制电子设备能够控制偏振光学器件4122,以改变从输出光4134选择的偏振态。例如,偏振器4122可以被配置为通过旋转选择具有特定偏振角 θ_2 的线性偏振光。在一些实施方式中,控制电子设备可以被配置为改变例如选择性地透射的(例如通过旋转偏振器4122而选择的)线性偏振光的角度。控制电子设备可以控制偏振光学器件4122,以例如在处于第一状态时,相比于p偏振SHG,有选择地允许来自样品的s偏振SHG光到达检测器,并在处于第二状态时,相比于s偏振SHG,有选择地允许来自样品的p偏振SHG光到达检测器。例如,控制电子设备可以控制偏振光学器件4122,以例如透射来自样品的s偏振SHG光,使得来自样品的s偏振SHG光入射到检测器上,并且透射不超过可忽略的量的p偏振SHG光,使得处于第一状态时,从样品入射到检测器的p偏振SHG光不超过可忽略的量。类似地,控制电子设备可以控制偏振光学器件4122,以例如透射来自样品的p偏振SHG光,使来自样品的p偏振SHG光入射到检测器上,并且透射不超过可忽略的量的s偏振SHG,使得处于第二状态时,从样品入射到检测器的s偏振SHG光不超过可忽略的量。

[0193] 系统4000可以包括其他可选的光学元件。例如,系统4000可以包括光谱滤波器4126,以选择某些波长的光。例如,滤波器4126可以是带通滤波器、高通滤波器或低通滤波器。滤波器4126可以例如有选择地透射具有特定波长或波长范围的光。

[0194] 如上文所讨论的,系统4000可以包括检测器4130。该检测器可以是光电倍增管、雪崩检测器、光电二极管检测器、条纹照相机和硅检测器中的任何一个。检测器4130可以检测可包括SHG信号的输出光4134。

[0195] 可以使用样品台4140将晶片4120保持在适当的位置,在一些实施方式中,该样品台可以包括卡盘。在一些设计中,样品台或卡盘4140可以包括能够定位晶片4120以在晶片的平面中移动的平移台4118和/或旋转台4120。例如,可以使旋转台4120能够相对于晶片区

域4136绕轴4128旋转晶片4120。可以使平移台能够改变晶片4120的x和y位置。旋转台4120和平移台4118可以由控制电子设备控制,该控制电子设备可以包括例如一个或多个硬件处理器。

[0196] 如上文所讨论的,该系统可以检测具有第一偏振(例如,s偏振)的SHG信号,以获得样品的第一类信息,并且可以检测具有第二偏振(例如,p偏振)的SHG信号,以获得样品的第二类信息。例如,可以将偏振控制器设置为首先收集第一偏振分量,然后收集第二偏振分量,反之亦可。本文所述的其他实施方式被配置为同时将来自多个偏振分量的光(例如,第一偏振(例如,s偏振光)和第二偏振(例如,p偏振光))分别引导至第一检测器和第二检测器。

[0197] 例如,图21示出了诸如图20所示的系统,该系统包括偏振分束器5122而非偏振光学器件4122,以及设置成接收来自偏振分束器的光的第一检测器和第二检测器5130A、5130B而非单个检测器4130。偏振分束器被配置为接收光并将该光分成第一偏振分量和第二偏振分量。在图21所示的系统中,分束器被设置成接收来自样品的二次谐波产生的光,并将该光分成第一和第二(例如,正交)偏振分量(例如,s偏振光和p偏振光)。偏振分束器将第一偏振分量和第二偏振分量分别沿着相应的第一和第二路径引导至所述第一检测器和所述第二检测器。由此,能够同时收集关于二次谐波产生信号的第一偏振分量和第二偏振分量的数据。

[0198] 在一些实施方式中,可以对样品进行扫描,或者可以对来自光源4110并被引导至样品上的光束4132进行扫描,以获得针对样品的不同部分的SHG信号,可能会产生样品或其部分的SHG图像。可以使用以下讨论的另一些方法由来自样品的二次谐波产生的光形成图像。有利的是,在图21所示的系统中,SHG信号的第一和第二偏振可以被同时分别收集和测量。例如,可以从样品的一次扫描中同时收集诸如p和s偏振分量等正交偏振。当同时收集具有两种偏振态的信号来评估材料时,吞吐量可因此增加,例如增加一倍。如上文所讨论的,对于与硅具有相同对称性的硅基材料或晶体,p偏振的SHG信号分量可以提供有关电特性(例如界面电特性)的信息,而s偏振的SHG信号分量可以提供应变或晶体相关信息。使用本文公开的系统,可以同时收集这样的信息,从而提供了具有增加的吞吐量和/或处理速度的通过两个偏振分量实现的更全面的材料性能评估。信号归一化还可以具有多个偏振分量。

[0199] 偏振分束器可以包括偏振分束器立方体、板或表面上具有偏振选择性反射涂层的其他光学元件。也可以使用其他类型的偏振器。该系统中的其他组件可以与图20中所示的组件相同。同样地,以上关于图20讨论的或在本公开的其他地方讨论的各种特征和操作模式也可以应用于图21所示的系统。但是,也可以有各种各样的变化形式。例如,作为接收第一偏振分量和第二偏振分量的第一检测器和第二检测器5130A、5130B的代替,可采用检测器阵列(例如,CCD检测器阵列)来接收第一偏振分量和第二偏振分量。例如,检测器阵列可以包括多个像素。检测器阵列的不同区域(例如检测器阵列的第一和第二区域)可以分别接收第一偏振分量和第二偏振分量。检测器阵列的一个区域可以包括检测器阵列的一个或多个像素。其他变化也是可能的。

[0200] SHG成像

[0201] 如上文所讨论的,二次谐波产生能够提供对临界界面电特性的灵敏且非破坏性的检测。然而,多种基于点的测量/采样方法对于较大区域覆盖范围和以高分辨率进行较大区

域的空间剖析而言具有较低的吞吐量。因此,本文公开的多种实施方式设计了针对基于SHG成像的检查系统。这些成像系统可以提供在更大的样品区域上的SHG图像或SHG信号分布图,同时还能保持较高的分辨率。这些成像系统可以对二次谐波产生的现有应用能力进行扩展,从而以更高的吞吐量、高分辨率和高覆盖范围处理在更大区域上随机分布的缺陷/问题。在一些情况下,这样的SHG成像系统可以采用一个或多个分束器来产生多个光束,并使用多个检测器来捕获样品区域上的多个SHG信号以形成SHG图像。也可以使用扫描技术。在一些情况下,SHG成像系统可以采用成像光学器件来对样品或样品的区域成像和/或将与样品的区域相关联的SHG信号投射到检测器阵列上以形成SHG图像。以下讨论了这种系统的示例。

[0202] 例如,图22A描绘了SHG成像系统8000,其被配置为将激光束7126分成或分离成多个光束7122A、7122B、7122C。在一些实施方式中,可以在样品4120的整个区域上扫描该多个光束7122A、7122B、7122C,以提供样品或其部分的SHG图像。

[0203] 与在本文中讨论的另一些SHG系统一样,图22中所示的系统8000可以包括光源(例如,激光源)7108,光源7108被配置为输出可被引导至支撑在样品台4140上的样品4120的光7126,以由样品4120生成二次谐波产生。与在本文中讨论的另一些SHG系统一样,样品台4140可包括平移台(例如x-y平移台4118)和/或旋转台4116。

[0204] 图22A所示的系统8000还包括分束器7110,分束器7110被配置为接收一个光束并将该光束分成或分离成多个光束。这种分束器7110也可以被称为多点光束发生器或阵列光束发生器。该多个光束可以是线性光束阵列或二维(2D)光束阵列。分束器7110可以包括衍射分束器,例如光栅或衍射光学元件,衍射分束器被配置为将来自光束的光衍射成多个光束。在一些实施方式中,分束器7110可以包括声光调制器。声光调制器可以例如被配置为使来自输入光束的光衍射从而产生多个输出光束。在图22A所示的系统8000中,分束器7110接收从激光源7110输出的光束7126,并从中产生该多个光束7122A、7122B、7122C。尽管示出了三个光束,但是分束器7110可以产生更多或更少的光束。光束7122A、7122B、7122C的数量(以及样品上可以被光束照射的相应光斑或位置,以及所得SHG信号的数量)可以大于3、5、10、15、20、25、30或这些值之间的任意范围。也可能具有更多或更少的光束7122A、7122B、7122C、样品4120上的照射光斑或位置,和/或SHG信号。

[0205] 系统8000还包括扫描器7112,扫描器7112被配置为接收由分束器7110产生的多个光束7122A、7122B、7122C。扫描器7112可以包括例如一个或多个反光镜或反射表面,该一个或多个反光镜或反射表面倾倒、倾斜、旋转和/或改变其方向,以将接收到的光重新引导至不同的方向。可以采用其他类型的扫描器或光束扫描器。在多种实施方式中,扫描器7112可以被配置为在样品4120的一个或多个区域上扫描光束7122A、7122B、7122C。

[0206] 系统8000还包括设置在分束器7110和样品之间的物镜7116,使得物镜7116接收该多个光束7122A、7122B、7122C,该多个光束7122A、7122B、7122C之后作为图22A中所示的光束7120A、7120B、7120C前进到样品4120上。在一些实施方式中,物镜7116将该多个光束7120A、7120B、7120C聚焦在样品4120上。在图22A所示的系统中,扫描器7112处于分束器7110和物镜7116之间的光路中,使得入射在物镜上的该多个光束7122A、7122B、7122C被扫描。同样地,入射在样品4120上的该多个光束7120A、7120B、7120C在被物镜7116作用(例如聚焦)之后从样品的至少一部分的一边到另一边被扫描。在如图22A所示的一些实施方式

中,物镜7116还可以沿着更垂直于样品4120的光路将该多个光束7120A、7120B、7120C引导至样品上。

[0207] 入射在样品4120上的该多个光束7120A、7120B、7120C产生多个相应的SHG信号。这些分离的SHG信号可以被引导回到物镜7116。在如图22A所示的一些实施方式中,该多个SHG信号可以被引导沿着基本垂直于样品4120的物镜7116的路径行进。

[0208] 图22A所示的系统8000还包括分色镜或反射镜7114。该分色镜7114可以设置为接收由该多个光束7122A、7122B、7122C(和7120A、7120B、7120C)分别产生的分离的SHG信号。分色镜7114可以设置在分束器7110和扫描器7112之间,使得扫描器接收的来自物镜7116和扫描器的SHG信号入射在分色镜上。分色镜7114可以被配置为反射具有SHG信号的波长的光。因此,该多个SHG信号将被分色镜7114反射。

[0209] 分色镜7114还可以被配置为透射来自光源7108和分束器7110的该多个光束7122A、7122B、7122C。例如,分色镜7114可以被配置为透射具有与该多个光束7122A、7122B、7122C的光对应的波长的光(例如基本频率)。结果是,在激光源7108和样品4120之间的光路中插入分色镜7114可以使来自激光源和分束器7110的该多个光束7122A、7122B、7122C能够透射通过从而入射在样品4120上。然而,由该多个光束7122A、7122B、7122C(和7120A、7120B、7120C)产生的该多个相应的SHG信号可以具有合适的波长以被分色镜7114反射。

[0210] 图22A所示的系统8000还包括设置为接收该多个SHG信号的多个检测器8130A、8130B、8130C(例如,光电倍增管或PMT)。特别地,在所示的系统8000中,分色镜7114被配置为沿着光路8128A、8128B、8128C将该多个SHG信号反射到多个检测器8130A、8130B、8130C。尽管这些光路8128A、8128B、8128C在图22A中示意性地图示为弯的,这些光路可以是不同的,例如,直且更靠近在一起。光路8128A、8128B、8128C还可以随光学元件(例如,反光镜)而变化,或者可以包括其他光学元件(例如,光纤或光纤装置或集成的光学或波导装置)。如上文所讨论的,分色镜7114可以被配置为反射具有SHG信号的波长的光,使得SHG信号从分色镜被反射。此外,该多个检测器8130A、8130B、8130C可以相对于分色镜7114设置在光路中以接收相应的SHG信号。

[0211] 尽管在图22A所示的系统8000中示出了三个光学检测器8130A、8130B、8130C,但是可以使用更多或更少的光学检测器。光学检测器8130A、8130B、8130C的数量(以及对应的SHG信号数量)可以例如大于3、5、10、15、20、25、30或这些值中的任何值之间的任何范围。也可能采用更多或更少的光学检测器8130A、8130B、8130C和/或SHG信号。如下文所讨论的,在一些实施方式中,检测器阵列(或多于一个检测器阵列)可以用作检测器8130A、8130B、8130C。

[0212] 这样的系统8000可以有利地使用该多个检测器8130A、8130B、8130C来提供针对多个点或位置的SHG数据,从而增加吞吐量。另外,可以扫描该多个位置以获得样品的一部分上的SHG信号。例如,该多个光束7122A、7122B、7122C可以沿第一方向(例如,x(或y)方向)延伸。可以在第二(可能是正交)方向(例如,y(或x)方向)上扫描这些光束7122A、7122B、7122C,以在样品4120的区域上对SHG信号水平进行采样。另外地或可替代地,样品4120可以相对于光源7108和物镜7116移动,以提供对整个样品的询问区域的进一步扫描。在一些实施方式中,例如,扫描器7112在一个方向或维度(例如,x)上扫描该多个光束7122A、7122B、7122C,且样品台7140在另一个方向或维度(例如,y)上扫描样品,反之亦然。以此方式,可以

获得样品4120区域上的SHG图像或SHG信号分布图。该多个检测器8130A、8130B、8130C的设置可以有利地提高数据收集的效率或速度。

[0213] 相应地,在多种实施方式中,利用诸如图22A所示的系统将来自激光源的光(以及SHG信号)分成多个光束。可以在分开的区域上并行扫描该多个光束。由不同的入射光束产生的SHG信号可以由不同的通道(例如,光电倍增管或PMT通道)检测。可以根据来自PMT检测器阵列或多个PMT检测器的数据组合来生成最终图像。因此,通过使用具有同时从多个通道收集的信号的多光束扫描设置,可以实现快速扫描。

[0214] 因此,在多种实施方式中,可以使用激光束或晶片(或两者)的快速扫描来形成样品的一个或多个区域上的SHG信号的二维成像。可以生成来自不同位置(例如x,y位置)的SHG信号的点对点映射,这可以提供与SHG信号相关的物理参数(例如电荷密度、应变、界面状态)的空间分布。

[0215] 可能具有多种变化,例如,作为一个光源、一个分束器、一个扫描器、一个分色镜和一个物镜的代替,可以在系统8000中包括多于一个上述任意组件。另外,这些组件可能位于不同的位置。例如,如图23B所示,分色镜7114可被设置在物镜7116和扫描器7112之间,使得从物镜接收到的SHG信号入射在分色镜上。另外,可以在SHG询问系统8000中使用光纤或集成的光学组件(例如,基于波导的组件)。此外,可以使用一个或多个检测器阵列(例如,CCD阵列)来代替该多个检测器8130A、8130B、8130C。例如,检测器阵列的不同区域可以收集由入射在样品4120上的相应的光束7122A、7122B、7122C产生的不同的SHG信号。在一些实施方式中,可以通过在检测器阵列上的相应区域上进行积分来获得用于入射光束7122A、7122B、7122C中的某一特定光束的SHG信号。另外,可以采用本文其他地方公开的任何组件、特征和/或方法或技术。例如,可以使用一个或多个偏振分束器来同时收集第一和第二偏振态的光,例如s和p偏振分量。参见例如图21和相关的讨论。

[0216] 图23示出了用于产生样品4120的区域的SHG图像的另一系统10000。该SHG成像系统10000采用成像光学器件10114来对样品4120或样品的区域进行成像,和/或将与样品的区域相关的SHG信号投射到检测器阵列10116上,以形成SHG图像。

[0217] 如本文讨论的另一些SHG系统一样,图23所示的系统10000包括光源(例如,激光源)10110,光源10110被配置为输出可被引导至支撑在样品台4140上的样品4120的光,以由样品4120生成二次谐波产生。如本文讨论的另一些SHG系统一样,样品台4140可以包括平移台(例如x-y平移台4118)和/或旋转台4116。

[0218] 图23所示的系统8000还包括可选的聚焦光学器件10112,以将来自光源10110的光聚焦到样品4120上的位置上。在一些实施方式中,聚焦光学器件可以包括例如一个或多个透镜或反光镜。

[0219] 图23所示的系统8000还包括投射光学器件10112,投射光学器件10112被配置为收集光,例如,来自样品4120的二次谐波产生的光。在一些实施方式中,投射光学器件10112可以包括例如一个或多个透镜或反光镜。

[0220] 图23所示的系统8000包括检测器阵列10116,检测器阵列10116设置成接收来自样品4120的二次谐波产生的光。检测器阵列或像素化检测器10116包括多个检测器或像素。由检测器阵列的像素产生的电信号可以被处理,以形成由像素接收的光信号的强度水平的图像或图。在一些实施方式中,尽管可以使用其他类型的检测器阵列,但是检测器阵列10116

可以包括例如电荷耦合检测器 (CCD) 阵列。在某些实施方式中,检测器阵列10116还可包括基于时间依赖积分的装置。随时间积分信号可以提供增加的信号测量。

[0221] 在一些实施方式中,投射光学器件10112包括成像光学器件,诸如具有光功率的一个或多个光学元件。成像光学器件10112可以包括,例如,诸如一个或多个透镜、一个或多个反光镜或其组合。在一些实施方式中,例如,检测器阵列10116位于样品(可以在对应的物平面上)的共轭平面(例如,图像平面)上。因此,在一些实施方式中,样品4120(或至少由从样品上的不同位置发出的SHG光形成的图像)被成像到检测器阵列10116上。SHG光是通过用激光照射样品而产生的,并且可以在样品区域或样品上被入射激光束照射的光斑上延伸。

[0222] 因此,在多种实施方式中,来自样品4120上不同位置的SHG信号被映射到检测器阵列10116上的不同位置。不同位置的SHG信号可以由来自激光源10110的光入射在样品4120的不同位置而产生。因此,检测器阵列10116可以测量样品4120上不同位置处的SHG信号,并产生样品上SHG信号的图像或分布图。

[0223] 在一些实施方式中,相对于激光源和投射光学器件平移样品,以提供更大样品区域的成像。类似地,激光器和投射光学器件(和检测器)可以相对于样品平移,以提供更大样品区域的成像。另外,可以使用时间积分来提升所测量的信号电平。

[0224] 因此,在多种实施方式中,激光束可以保持静止而样品(例如,晶片)被平移,同时SHG信号被投射到像素化检测器上。在一些实施方式中,可以采用时间依赖积分来增加所测量的信号电平。检测器的不同像素元件可以记录来自晶片表面上与检测器阵列上的相应像素共轭的空间位置的局部SHG信号。

[0225] 可能具有多种变化,例如,作为一个光源10110、一个检测器阵列10116、一组聚焦光学器件10112或一组投射光学器件10114的代替,可以在系统8000中包括多于一个上述任意组件。另外,可以采用本文其他地方公开的任何组件、特征和/或方法或技术。例如,可以使用一个或多个偏振分束器来同时收集第一和第二偏振态的光,例如s和p偏振分量。参见例如图21和相关的讨论。

[0226] 变型

[0227] 上文阐述了示例性发明实施方案以及有关选择特征件的详细说明。至于其它详细信息,可结合上文引用的发明和出版物以及属于本领域技术人员已知或理解的专利和出版物来理解这些内容。就通常或逻辑上采用的附加行为而言,发明基于方法的方面也可是如此。可按照逻辑上可能的事件的任何顺序以及事件的任何述及的顺序来实现这些方法,包括:生产方法和使用方法。此外,在提供数值范围的情况下,应当理解:每个中间值,即在该范围的上限和下限之间的值以及所述范围内的任何其它所述值或中间值,都包含在发明范围内。此外,可以设想:可以单独地提出并要求保护,或结合本文所述的任何一个或多个特性提出并要求保护所述创新性变型的任何可选特征。

[0228] 如本文中所使用的,提及项目列表中的短语“至少一个”指的是这些项目的任何组合,包括单个项目。例如,“a、b或c中的至少一个”旨在涵盖:a、b、c、a-b、a-c、b-c和a-b-c。

[0229] 尽管已经参考几个示例来描述发明的实施方案,可选地结合了多种特征,但它们并不局限于就每个这样的变化所设想的描述或指示的内容。在不脱离本文的真实精神和范围的情况下,可对所描述的任何此类发明实施方案进行更改,且可替换等效物(无论是在本文中提及,还是为简洁起见未包含在本文中)。本说明书中在单独实施方式中描述的某些特

征也可以在单一实施方式中组合实施。相反,在单个实施方式的上下文中描述的多种特征,也可在多个实施方式中单独实施,或在任何合适的子组合中实施。此外,尽管上述特征可被描述为以某些组合形式起作用,甚至最初要求如此,但在某些情况下,可从组合中删除要求保护的组合中的一个或多个特征,并且,要求保护的组合可针对子组合或子组合的变型。

[0230] 使用通用处理器、数字信号处理器(DSP)、专用集成电路(ASIC)、现场可编程门阵列(FPGA)或其它可编程逻辑器件、离散门或晶体管逻辑、离散硬件组件或设计的其任何组合,可实施或执行所描述的多种说明性过程,以实施本文所述的功能。通用处理器可以是微处理器,但是在替代方案中,处理器可以是任何传统的处理器、控制器、微控制器或状态机。该处理器可以是计算机系统的一部分,该计算机系统还具有与用户接口通信的用户接口端口,且该用户接口端口接收用户输入的命令。该计算机系统具有至少一个存储电子信息的存储器(例如硬盘驱动器或其它类似的存储器,以及随机存取存储器)。该电子信息包括程序和视频输出,所述程序在处理器的控制下操作并通过用户接口端口通信,所述视频输出通过任何类型的视频输出格式(例如VGA、DVI、HDMI、DisplayPort或任何其它形式)产生其输出。

[0231] 处理器也可以实现为计算设备的组合,例如DSP和微处理器的组合、多个微处理器的组合、与DSP核心结合的一个或多个微处理器的组合,或任何其它此类配置的组合。这些装置还可用于选择本文所述的装置的值。

[0232] 可直接在硬件中、在由处理器执行的软件模块中,或在两者的组合中,实施结合本文所公开的实施方案中描述的方法或算法的步骤。软件模块可设置在随机存取存储器(RAM)、闪存、只读存储器(ROM)、电可编程只读存储器(EPROM)、电可擦可编程只读存储器(EEPROM)、寄存器、硬盘、可移动磁盘、只读光盘存储器(CD-ROM)或本领域已知的任何其它形式的存储介质中。示例性存储介质耦合至处理器,使得处理器可从该存储介质读取信息,并向该存储介质写入信息。在替代方案中,存储介质可以是处理器的组成部分。处理器和存储介质可设置在专用集成电路(ASIC)中。专用集成电路(ASIC)可设置在用户终端中。在替代方案中,处理器和存储介质可作为离散组件设置在用户终端中。

[0233] 在一个或多个示例实施方案中,可在硬件、软件、固件或其任意组合中实现所描述的功能。如果在软件中实现这些功能,则可在计算机可读介质上存储、在计算机可读介质的上方传输这些功能,或将结果分析/计算数据输出为计算机可读介质上的一个或多个指令、代码或其它信息。计算机可读介质包括计算机存储介质和通信介质,所述通信介质包括有助于将计算机程序从一个地方传送至另一个地方的任何介质。存储介质可以是计算机可访问的任何可用介质。作为示例而非限制,这种计算机可读介质可包括:RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM或其它光盘存储器、磁盘存储器或其它磁存储装置,或任何可用指令或数据结构形式携带或存储所需程序代码且可由计算机访问的其它介质。存储器还可以是旋转磁硬盘驱动器、光盘驱动器或基于闪存的存储驱动器或其它此类固态存储装置、磁存储装置或光存储装置。

[0234] 此外,任何连接均可适当地称为计算机可读介质。例如,如果使用同轴电缆、光纤电缆、双绞线、数字用户线路(DSL)或无线技术(如红外线、无线电和微波)从网站、服务器或其它远程源传输软件,则该同轴电缆、光纤电缆、双绞线、DSL或无线技术(如红外线、无线电和微波)均属于介质的定义的范围。本文所使用的磁盘和光盘包括:光碟(CD)、激光盘、光

盘、数字多功能光盘(DVD)、软盘和蓝光盘,其中,磁盘通常以磁性方式再现数据,而光盘则利用激光以光学方式再现数据。上述的组合也应包括在计算机可读介质的范围内。

[0235] 可在网站上或通过网站来执行本文所描述的操作。可在服务器计算机上运行网站,或可本地运行网站,例如,通过将网站下载到客户端计算机,或者通过服务器农场运行网站。可通过移动电话、PDA或任何其它客户端访问网站。该网站可使用任何形式的超文本标记语言(HTML)代码,如聚合超文本标记语言(MHTML)或可扩展标记语言(XML),并通过任何形式,如级联样式表(“CSS”)或其它形式,使用HTML代码。

[0236] 此外,本发明的发明人希望:只有那些使用“手段”一词的权利要求才根据《美国法典》第35卷第112节第6段进行解释。此外,除非权利要求中明确包含那些限制,否则本说明书中的任何限制均不应解读至任何权利要求中。本文所描述的计算机可以是任何类型的计算机,可以是通用计算机,或是诸如工作站的某种专用计算机。可使用C语言、Java、Brew或任何其它编程语言编写这些程序。程序可被驻留在存储媒介上,例如磁存储媒介或光存储媒介,例如计算机硬盘驱动器、可移动磁盘或媒介,如记忆棒、SD媒介,或其它可移动媒介。程序也可在网络上运行,例如,由服务器或其它机器向本地机器发送信号,使得本地机器能够执行本文所描述的操作。

[0237] 还应注意:关于本文提供的任何实施方案所描述的所有特征、元件、组件、功能、动作和步骤旨在可与任何其它实施方案中的特征、元件、组件、功能、动作和步骤自由组合和替换。如果仅针对一个实施方案描述某个特征、元件、组件、功能或步骤,则应理解:除非另有明确说明,否则该特征、元件、组件、功能或步骤可在本文所述的每个其它实施方案中使用。因此,本段落任何时候都用作介绍权利要求的前提基础和书面支持,所述权利要求组合不同实施方案中的特征、元件、组件、功能和动作或步骤,或用一个实施方案中的特征、元件、组件、功能和动作或步骤替换另一个实施方案中的特征、元件、组件、功能和动作或步骤。在特定情况下,即使未明确说明以下描述,也可进行此类组合或替换。明确承认的是:明确描述每种可能的组合和替换过于繁琐,特别是考虑到本领域普通技术人员很容易认识到允许进行此类组合与替换。

[0238] 在一些情况下,在本文中将实体描述为耦合到其它实体。应当理解的是:在本文中术语“相互配合”、“耦合”或“连接”(或任何一种此类形式)可互换使用,且对于两个实体(无任何不可忽略的寄生实体、中间实体)的直接耦合和两个实体(有一个或多个不可忽略的中间实体)的间接耦合是通用的。如果实体被显示为直接耦合在一起,或在未说明任何中间实体的情况下,被描述为耦合在一起,则应当理解:除非上下文另有明确规定,那些实体也可间接耦合在一起。

[0239] 指代单数项时,可能存在多个相同项。更具体地,除非另有明确说明,如本文和所附权利要求中所使用的单数形式“一个”、“一种”、“所述”和“该”包括复数指代物。换句话说,在上面的说明书以及下面的权利要求中,冠词的使用可以表示“至少一个”主题项目。

[0240] 还应注意的是:可以起草权利要求书以排除任何可选的要素(例如,在本说明书中指定为“典型”要素、“能够”或“可以”使用的要素,等等)。因此,本声明旨在作为使用诸如“仅”、“只”等与权利要求要素的叙述有关的排他性术语或其他使用“消极的”权利要求限制性语言的前置基础。在不使用这种专有术语的情况下,权利要求中的术语“包括”应当允许包含任何附加的要素,无论在权利要求中是否列举了给定数量的要素,或者增加一个特征

可视为改变了权利要求中提出的要素的性质。然而,可以设想:可将权利要求中的该术语“包括/包含”修改为排他型术语“由……组成”。此外,除本文中特别定义的术语以外,本文使用的所有技术术语和科学术语应在保持权利要求的有效性的前提下尽可能广泛地赋予本领域技术人员通常理解的含义。

[0241] 尽管容易对实施方案进行各种修改和替换,但是,已在附图中示出其具体示例,且在本文中详细描述。然而,应当理解的是:这些实施方案不限于所公开的特定形式,相反,这些实施方案将涵盖落入本公开的精神范围内的所有修改、等同和替代方案。此外,可在权利要求中陈述实施方案的任何特征、功能、动作,步骤或元件,以及通过不属于该范围内的特征、功能、步骤或元件来限定权利要求的发明范围的负面限制(如上所述或其它),或将其添加至权利要求中。因此,本发明变型或发明实施方案的范围不限于所提供的示例,而应局限于所附权利要求语言的范围。尽管如此,我们要求:

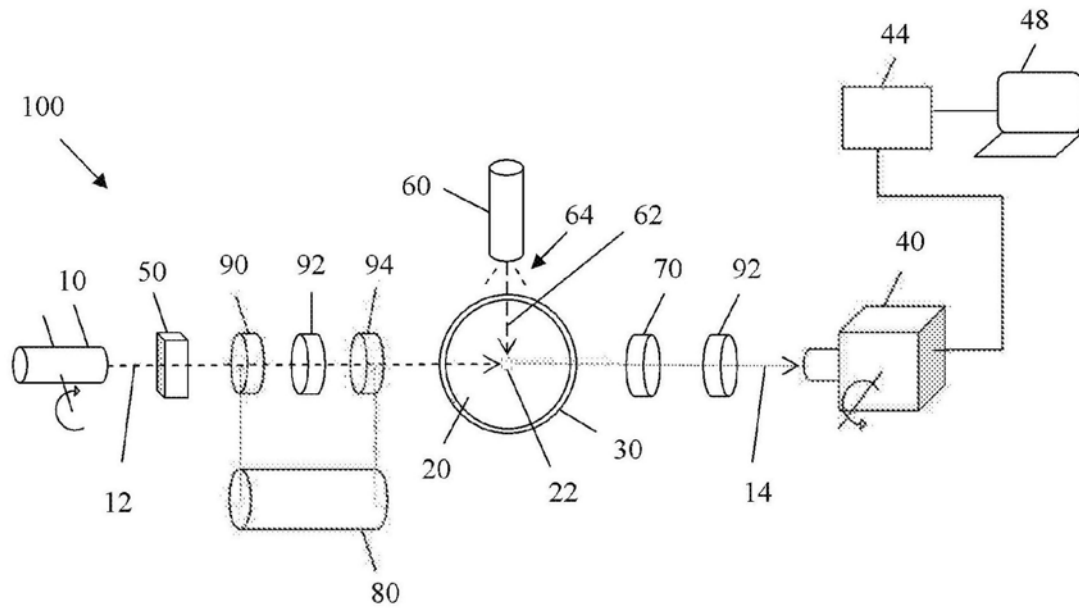


图1A

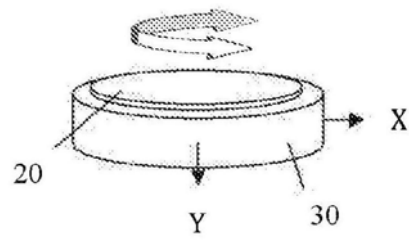


图1B

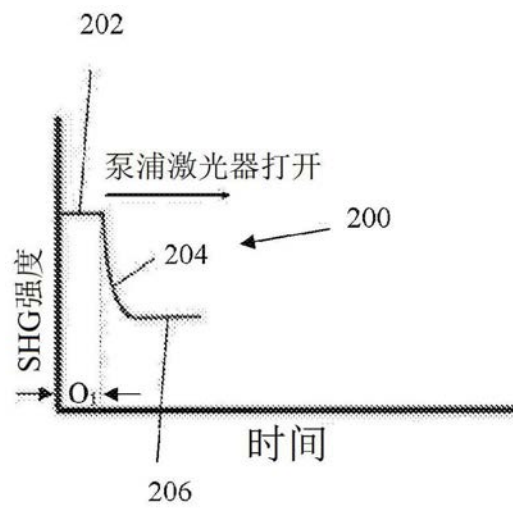


图2A

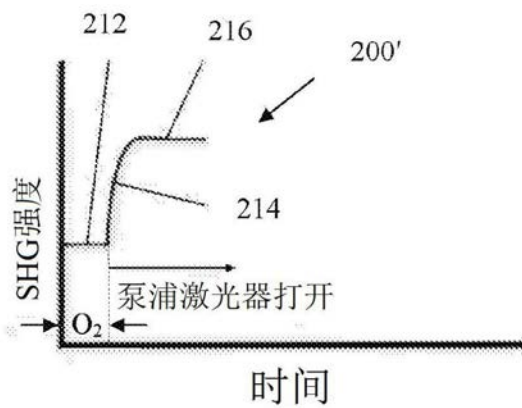


图2B

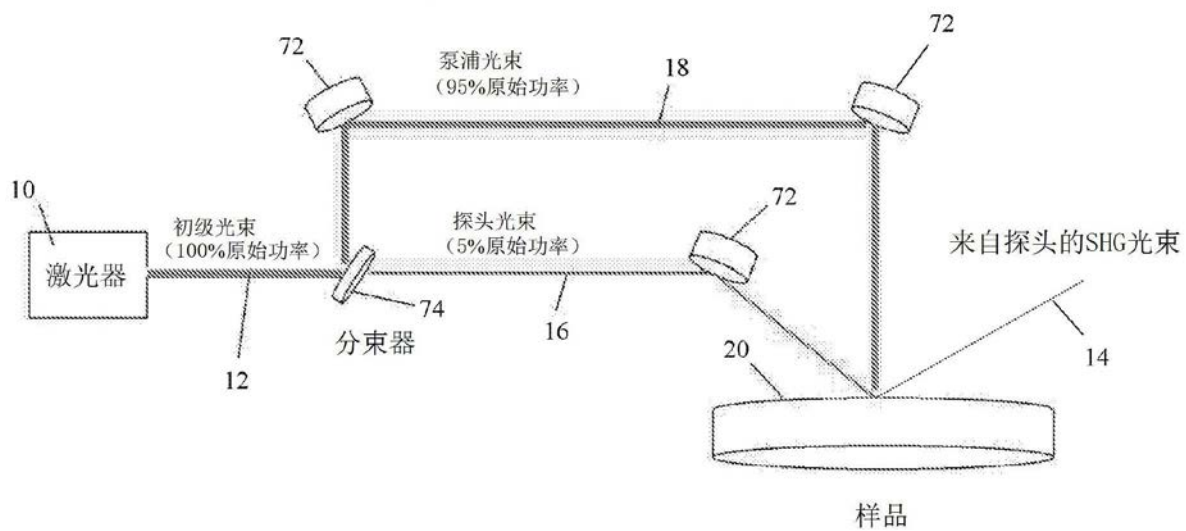


图1C

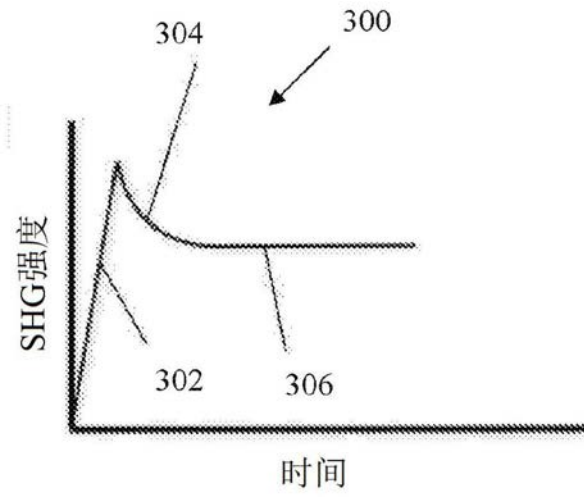


图3A

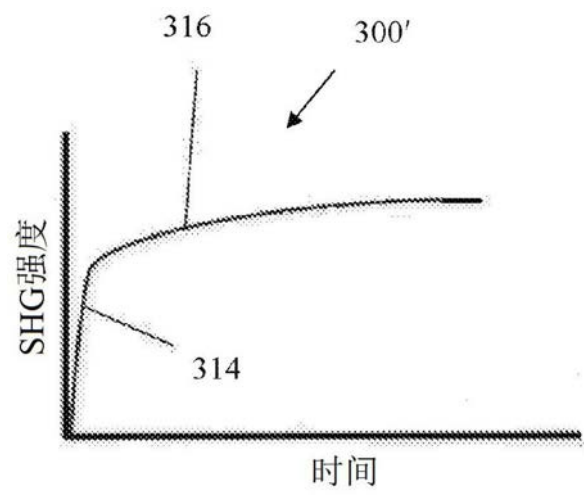


图3B

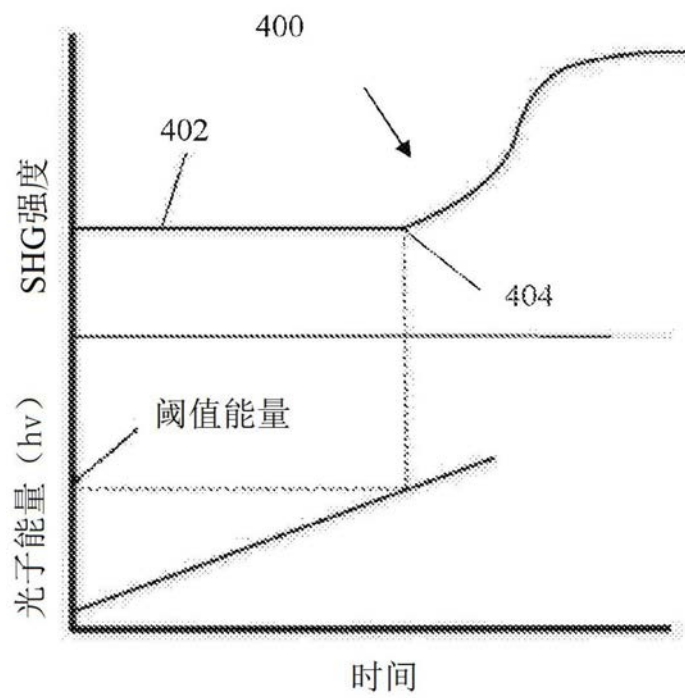


图4

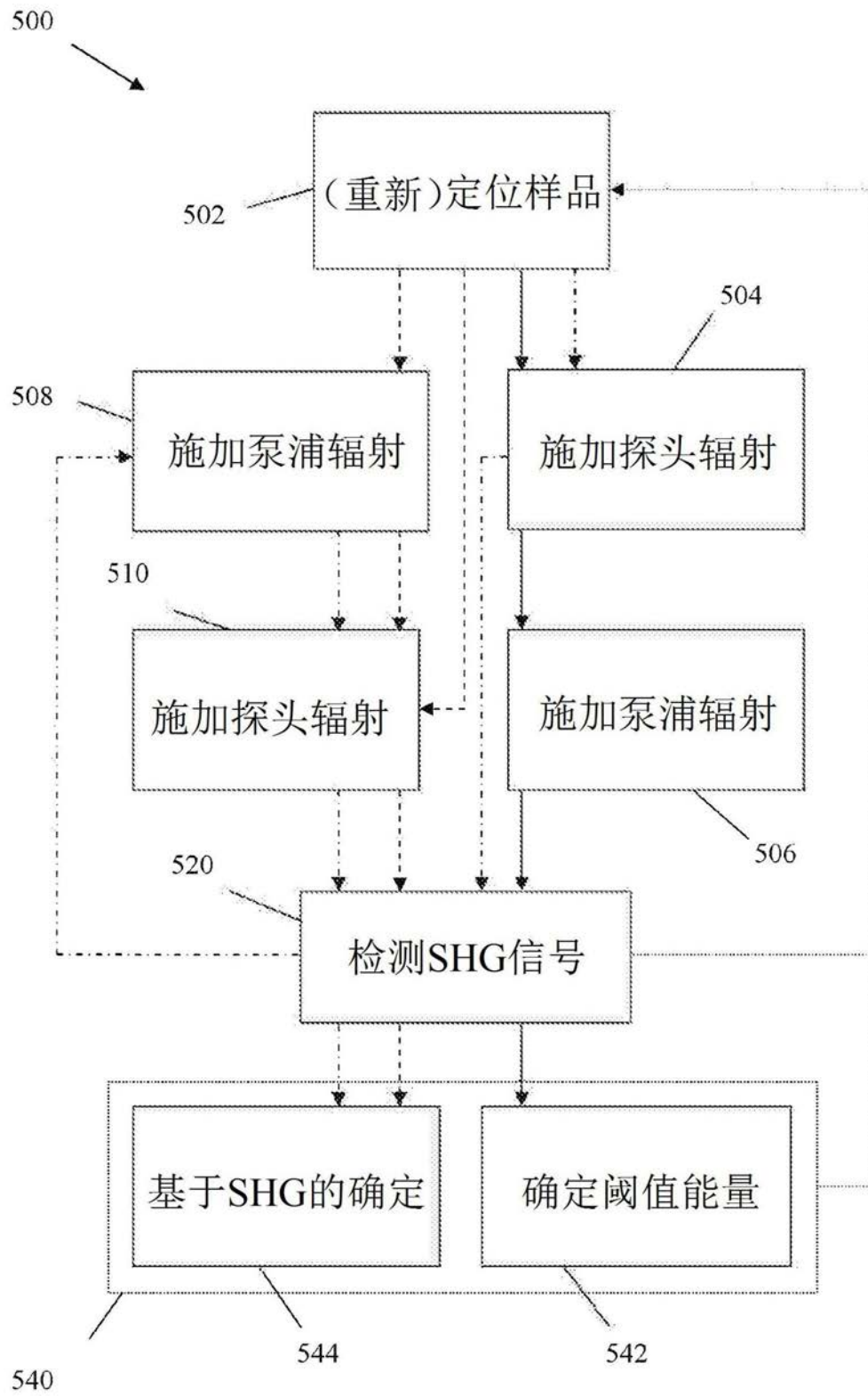


图5

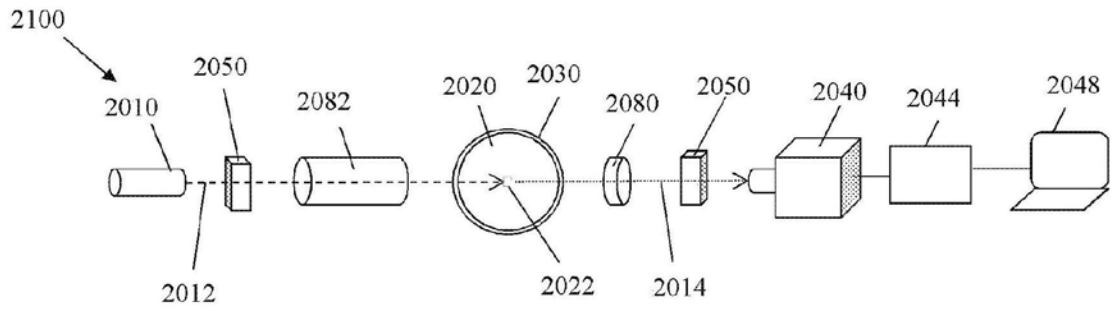


图6A

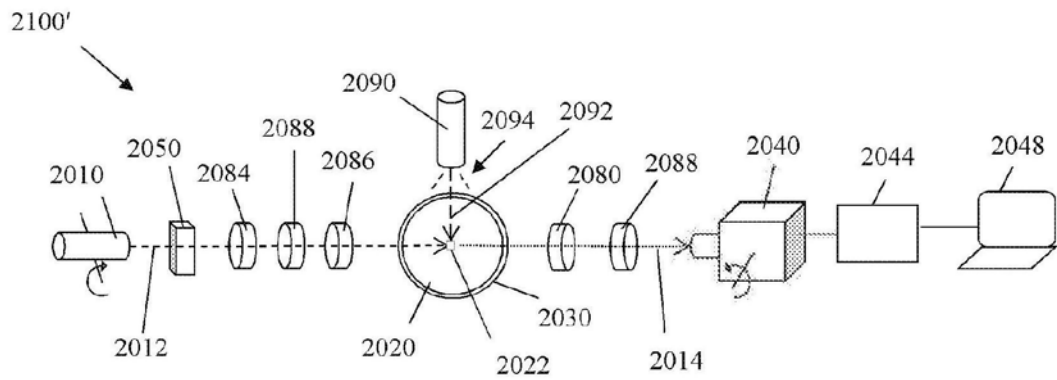


图6B

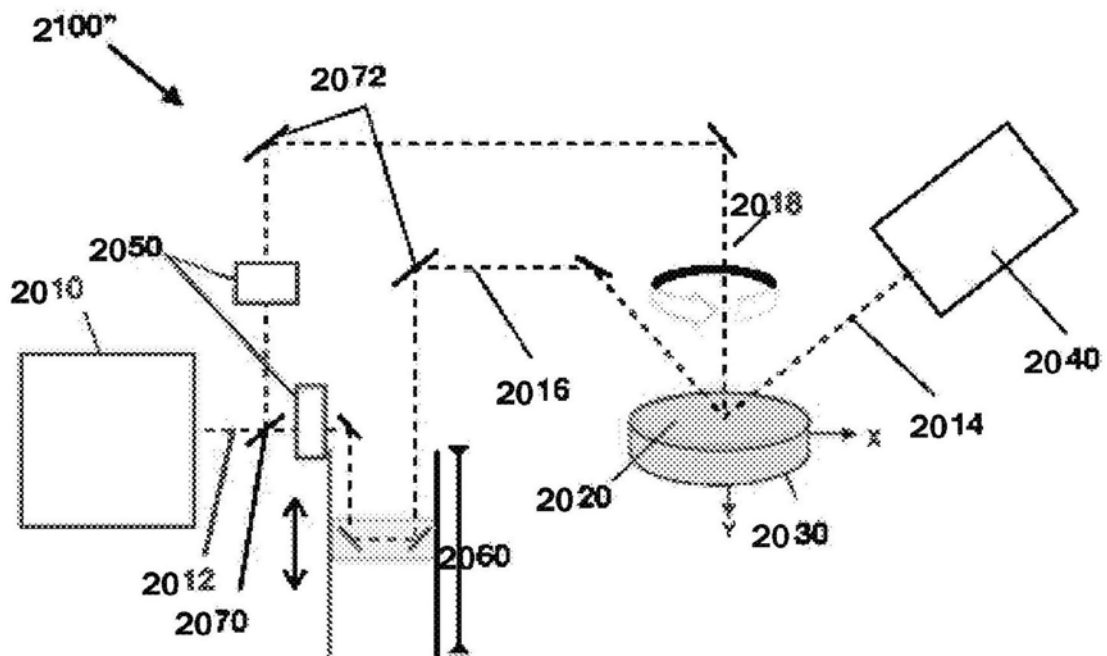


图6C

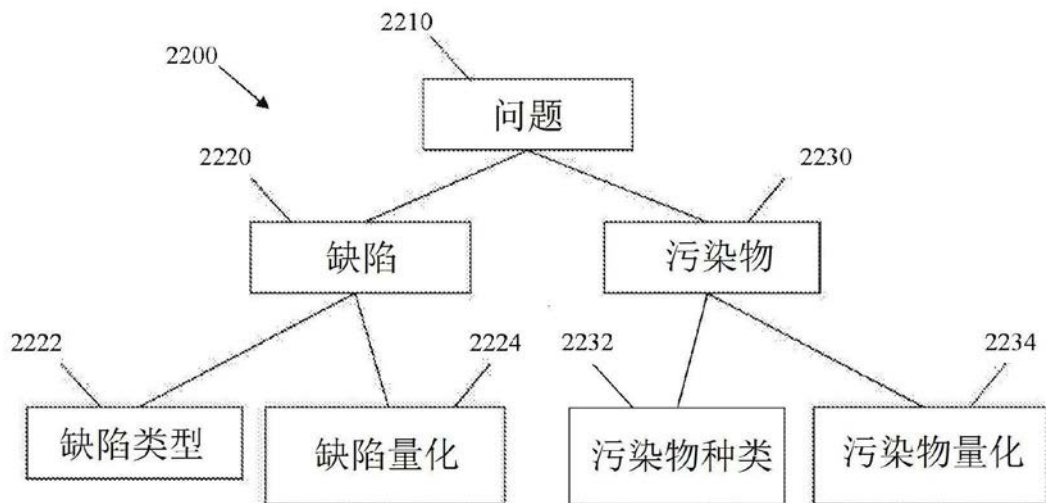


图7

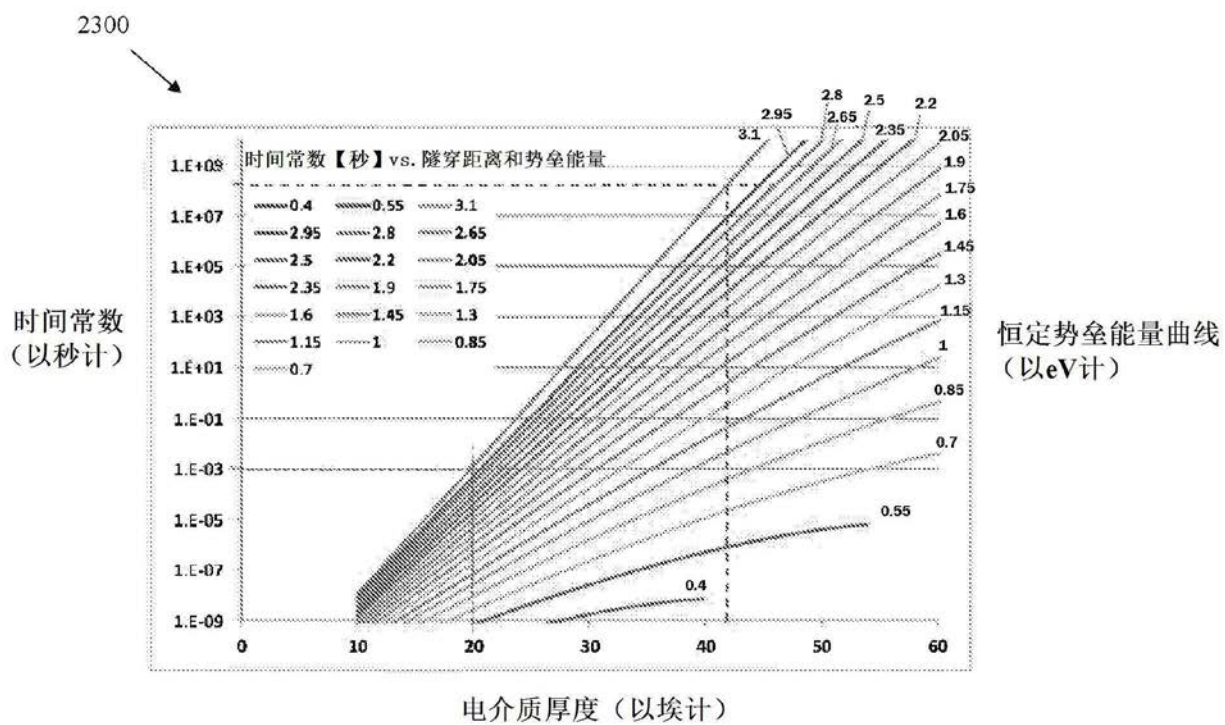


图8A

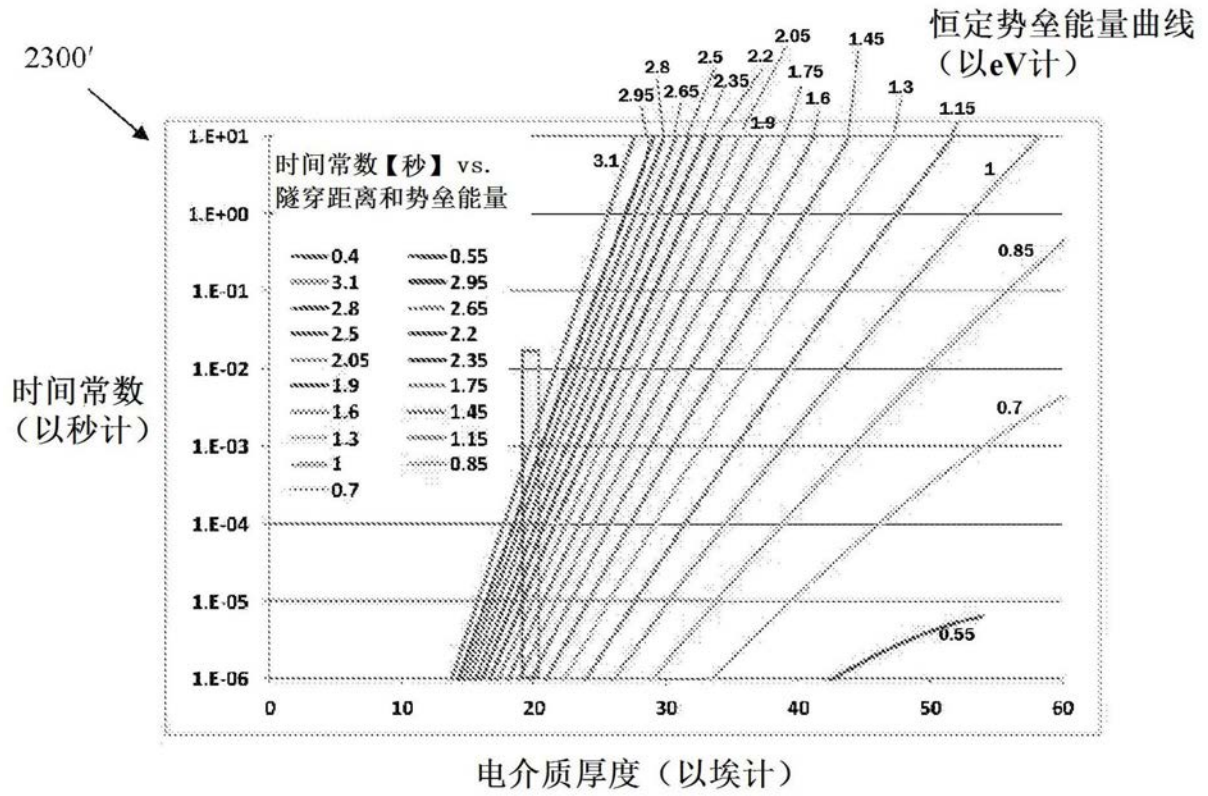


图8B

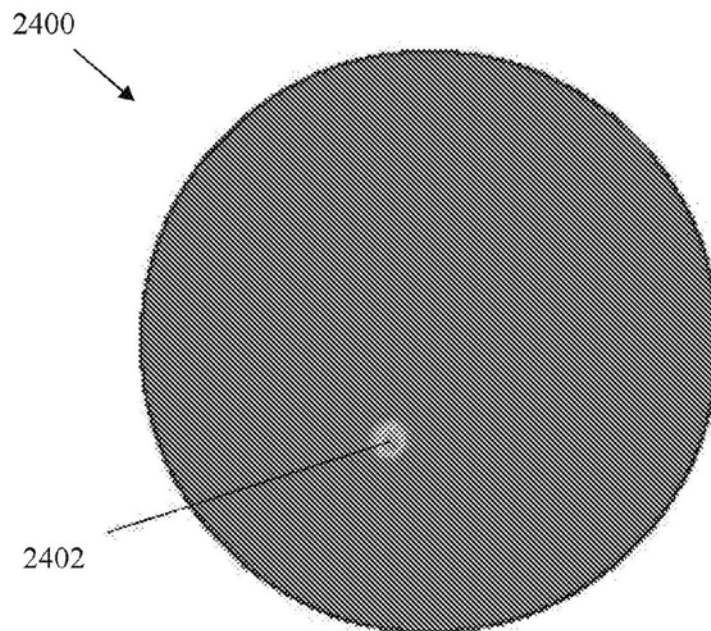


图9

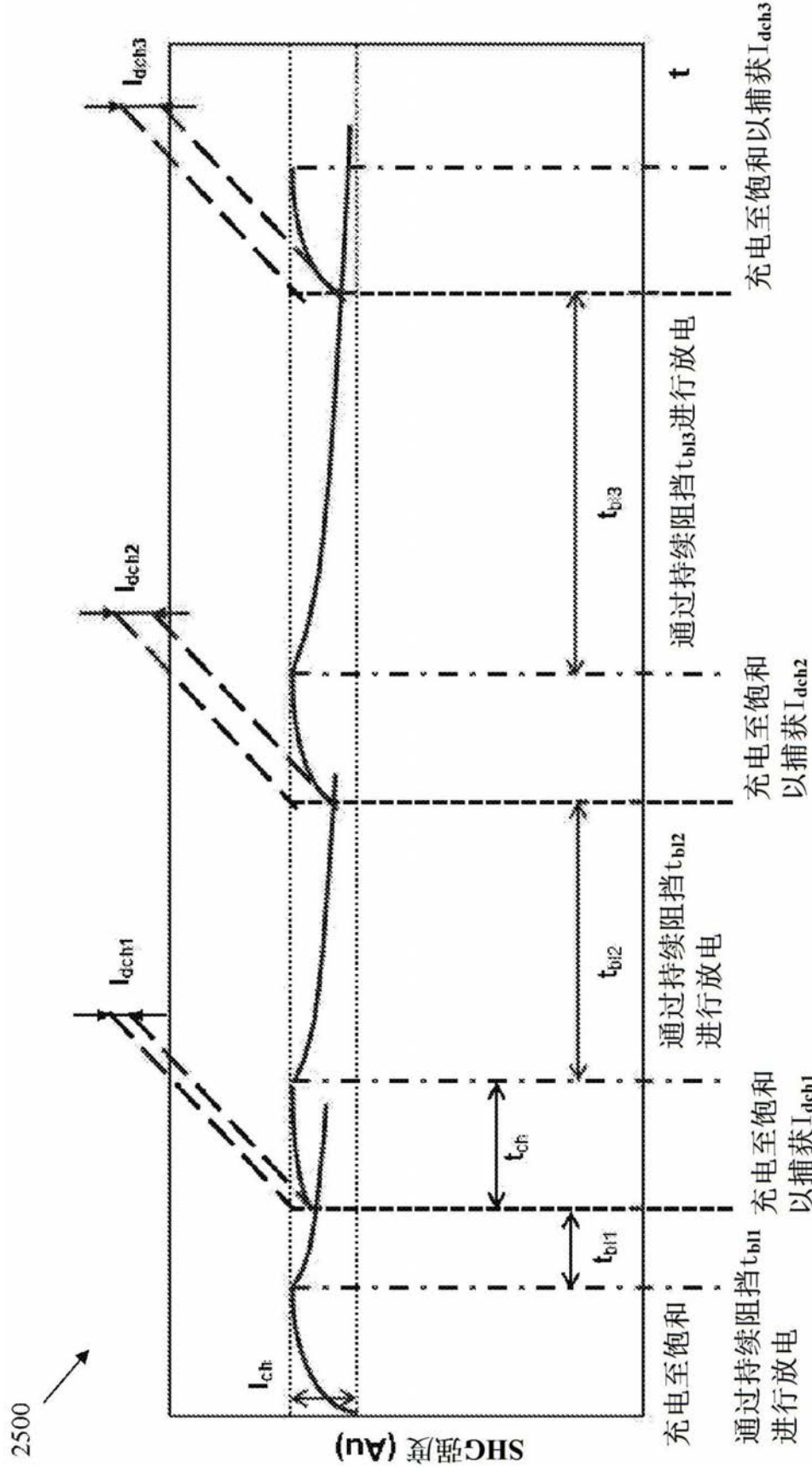


图10

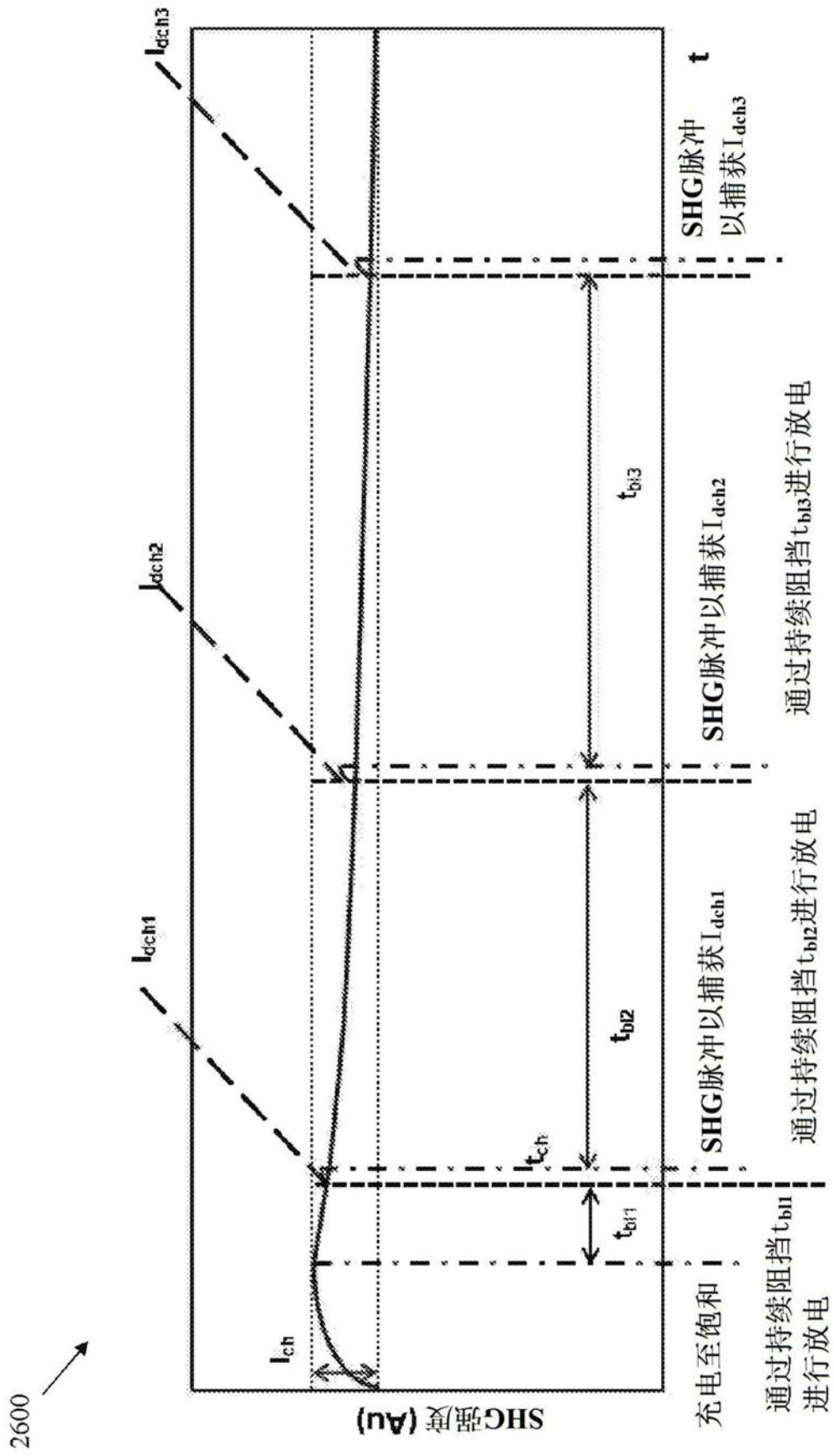


图11

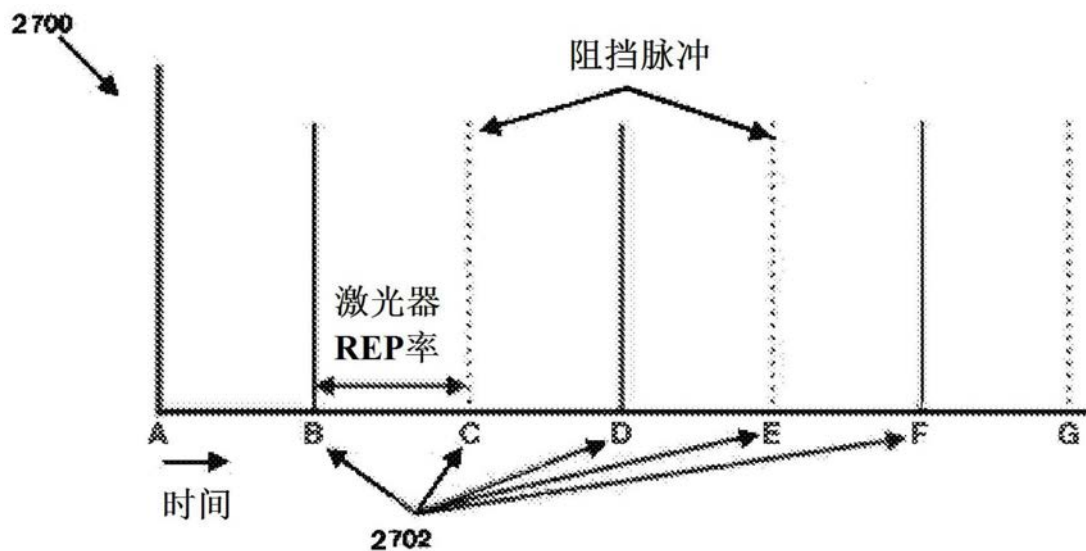


图12A

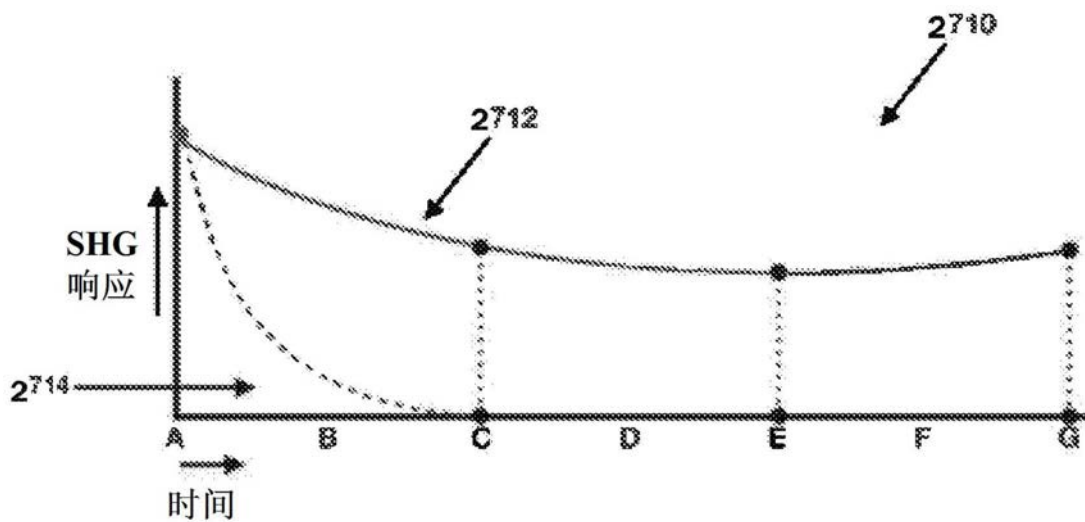


图12B

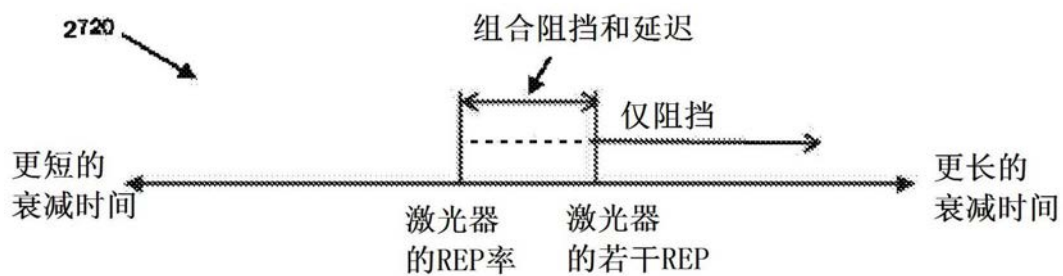


图12C

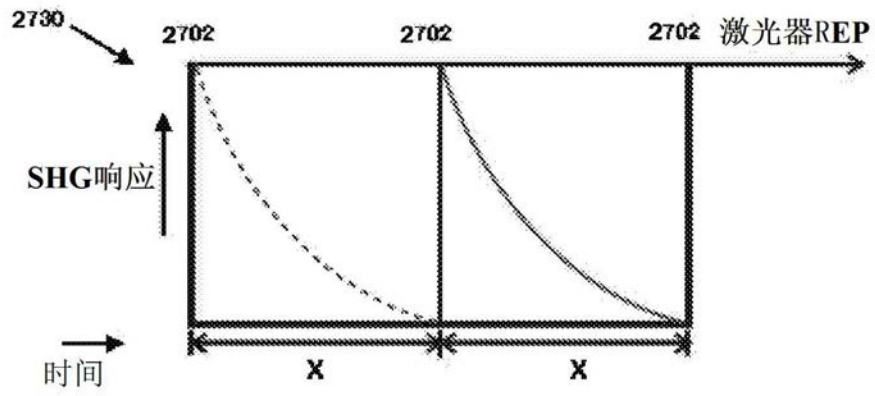


图12D

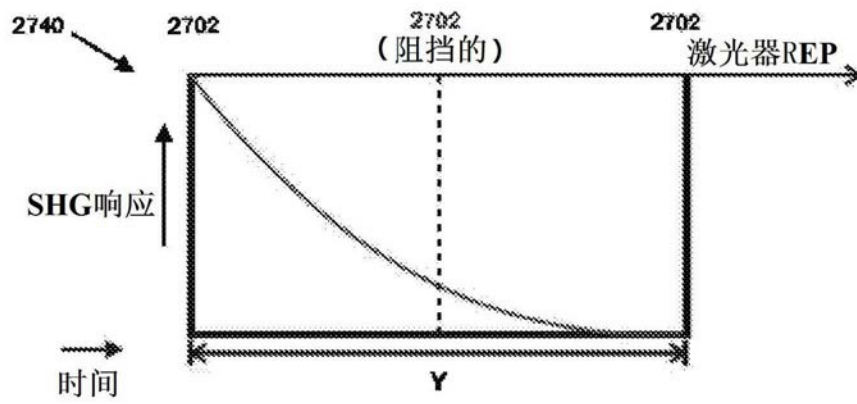


图12E

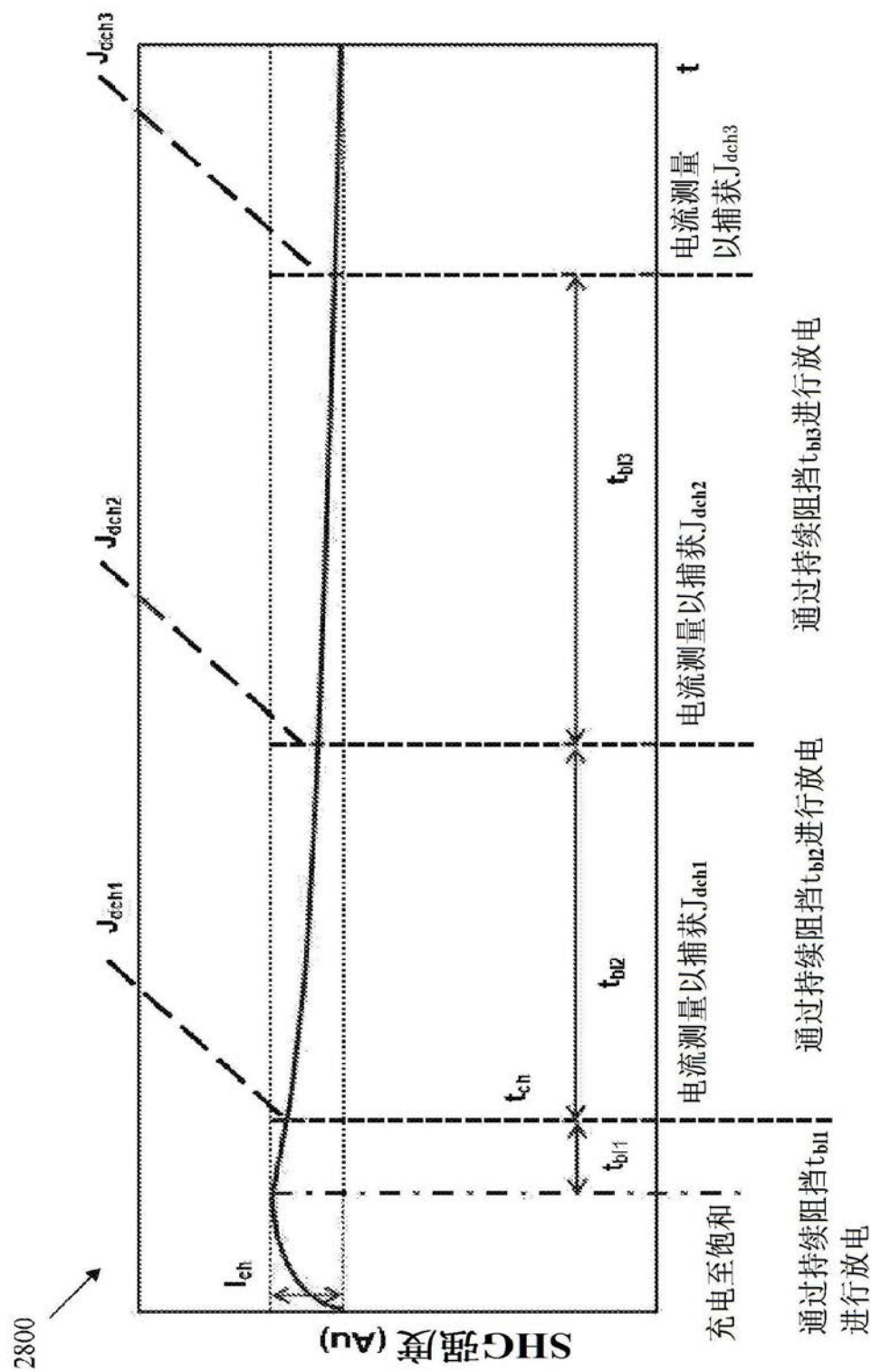


图13

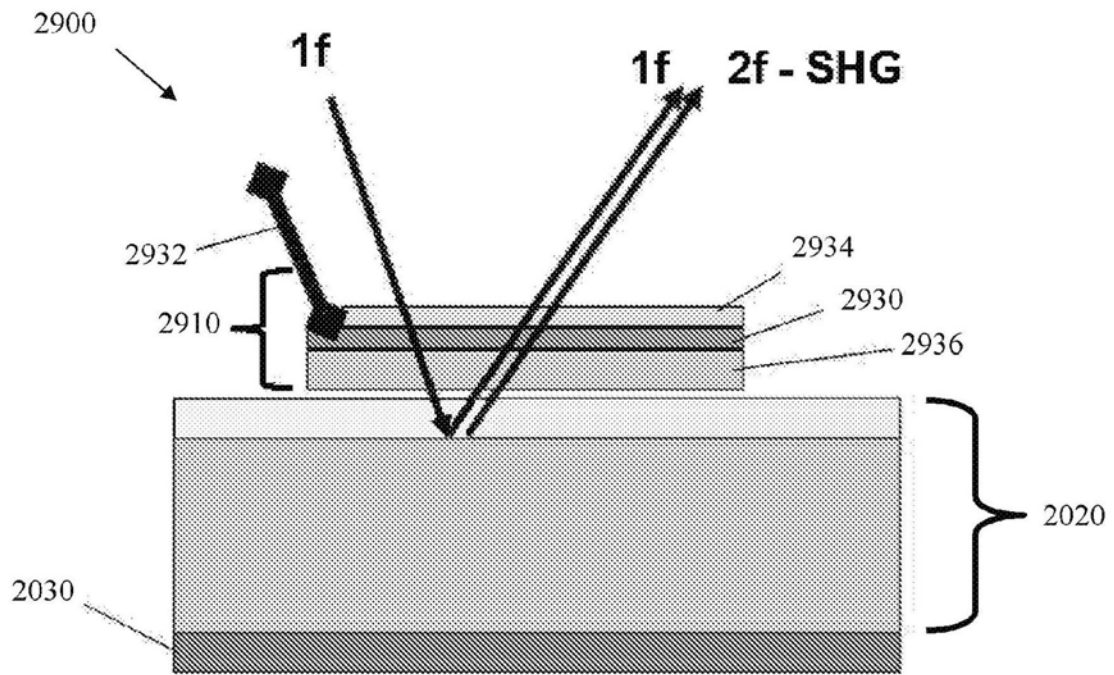


图14A

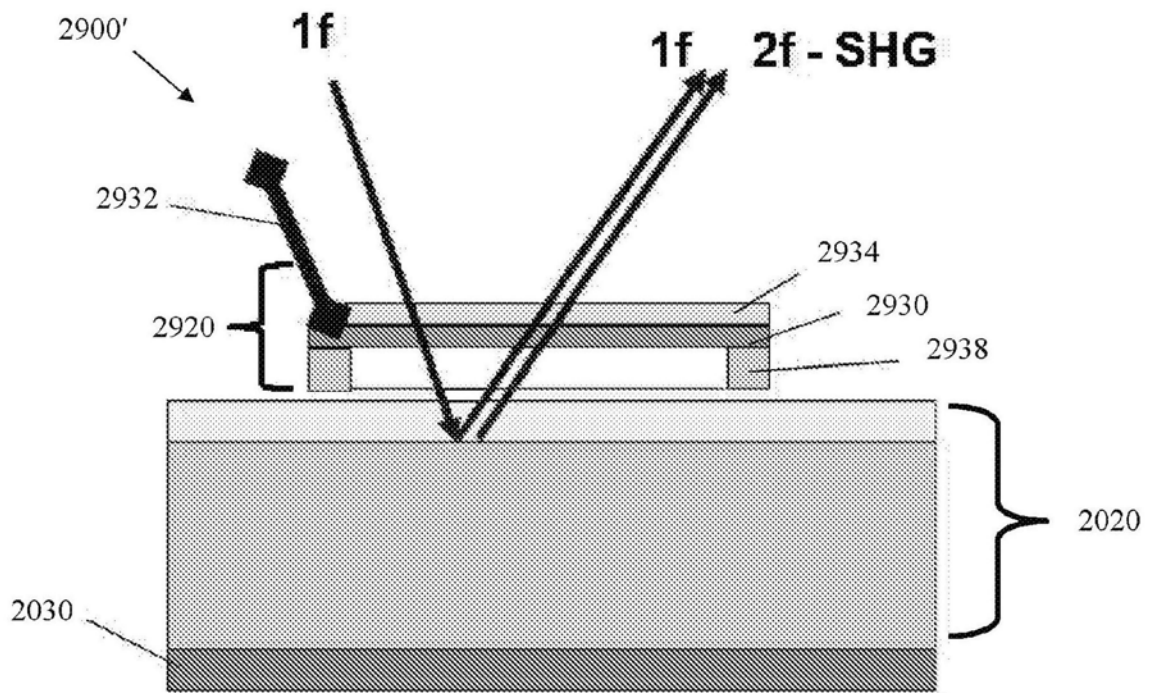


图14B

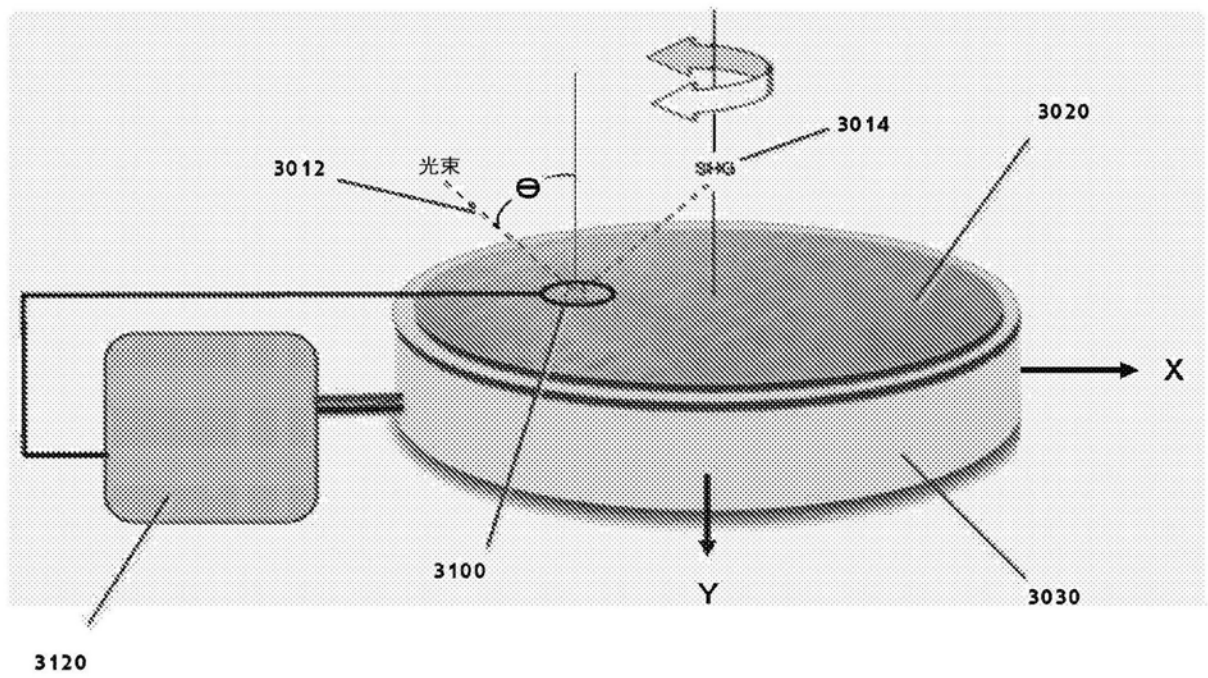
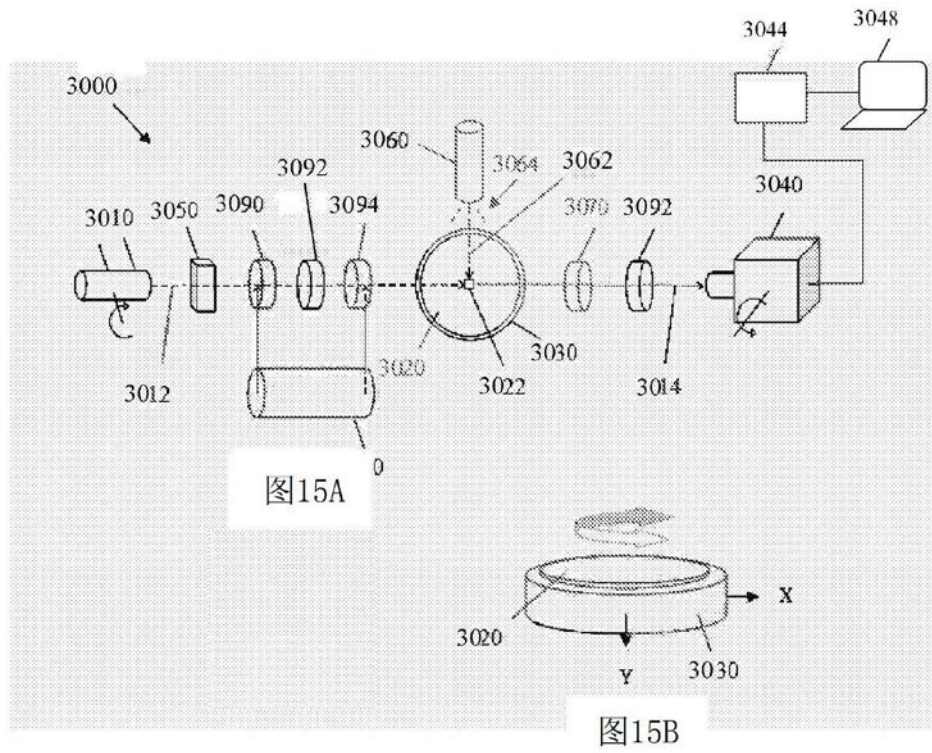


图16A

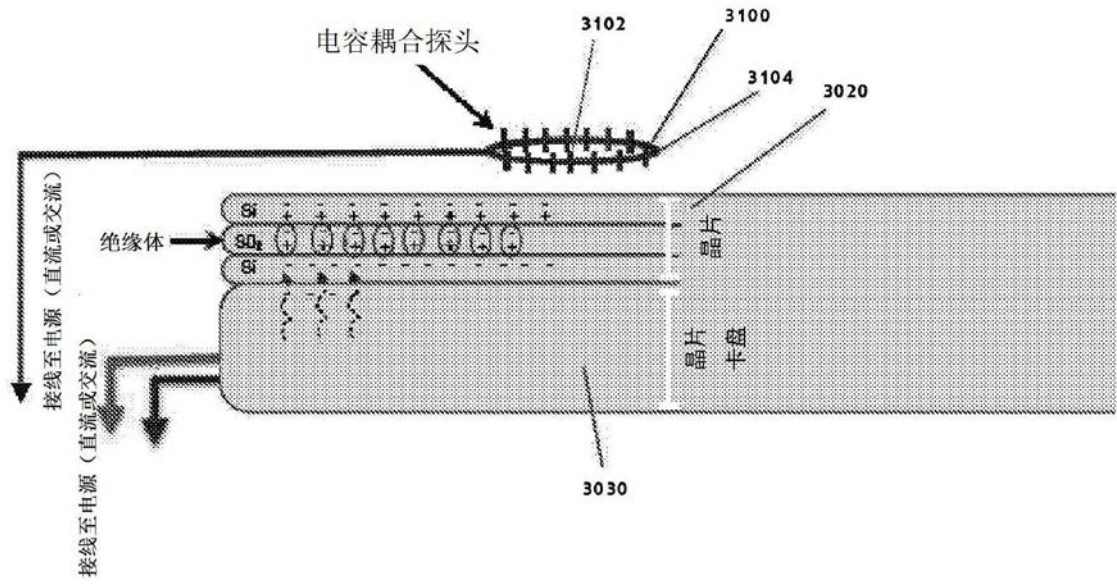


图16B

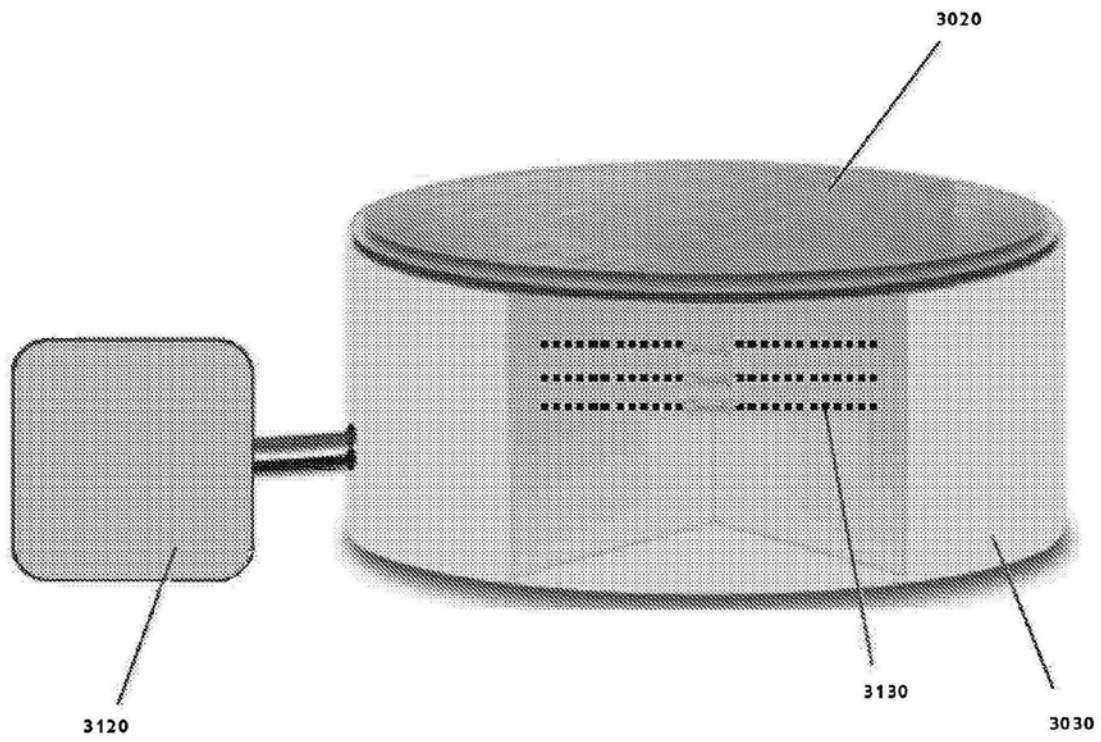


图17A

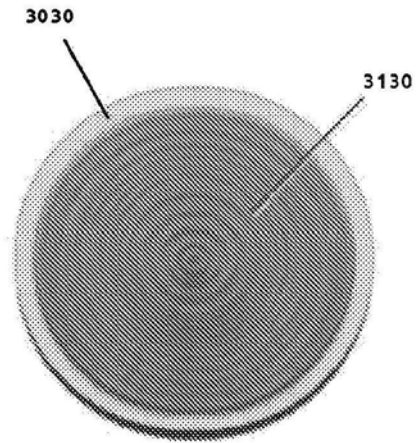


图17B

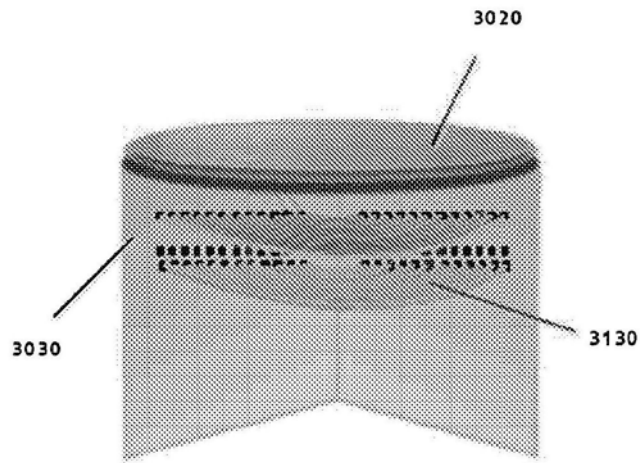


图17C

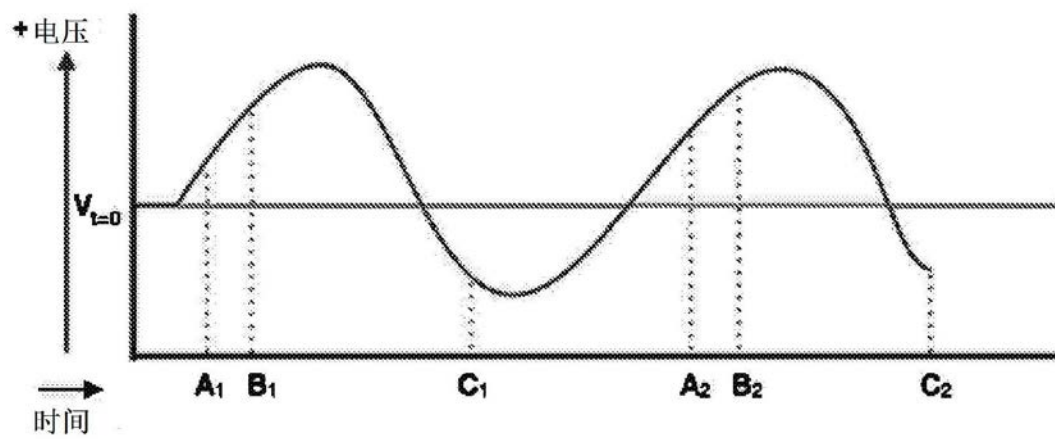


图18A

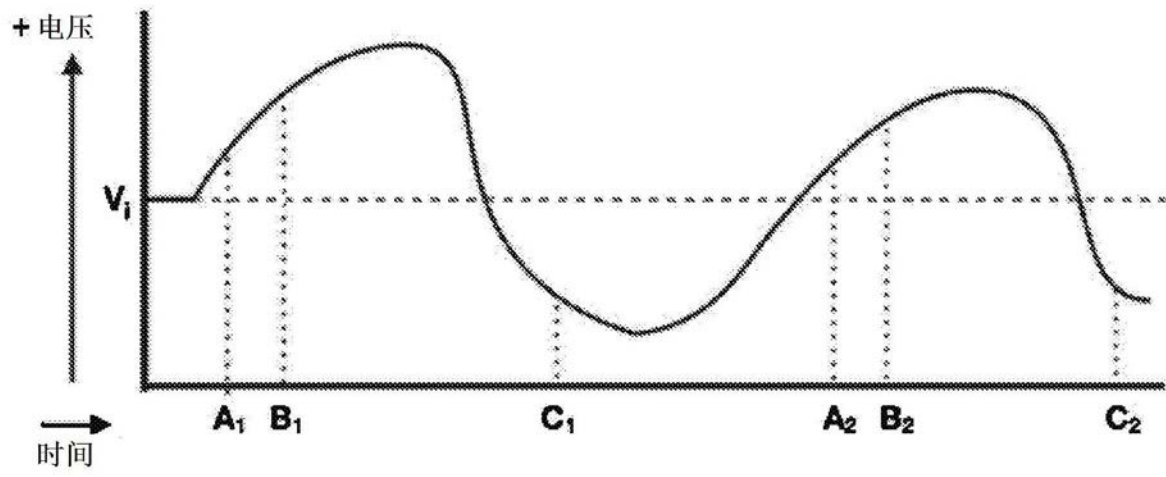


图18B

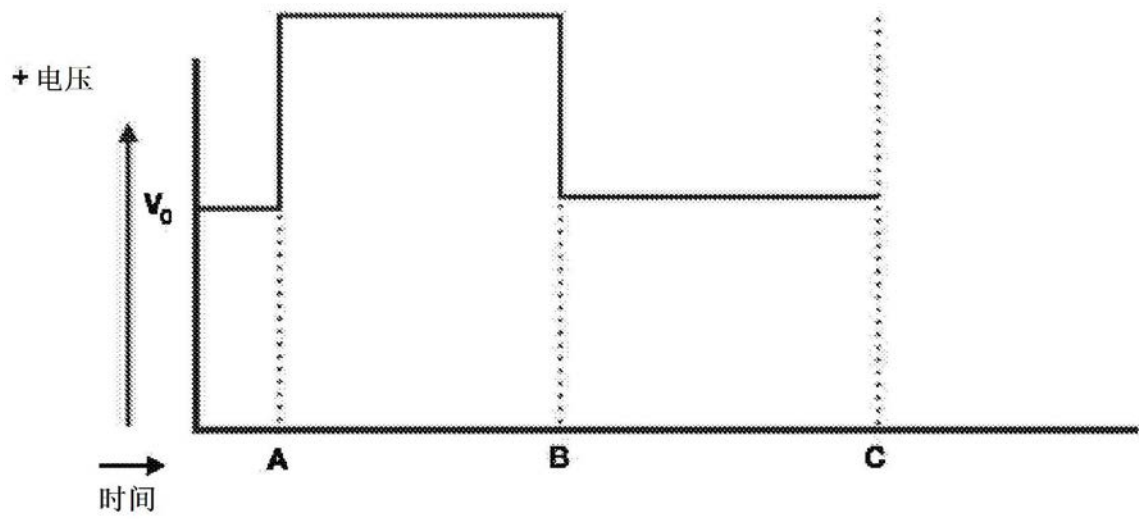


图19A

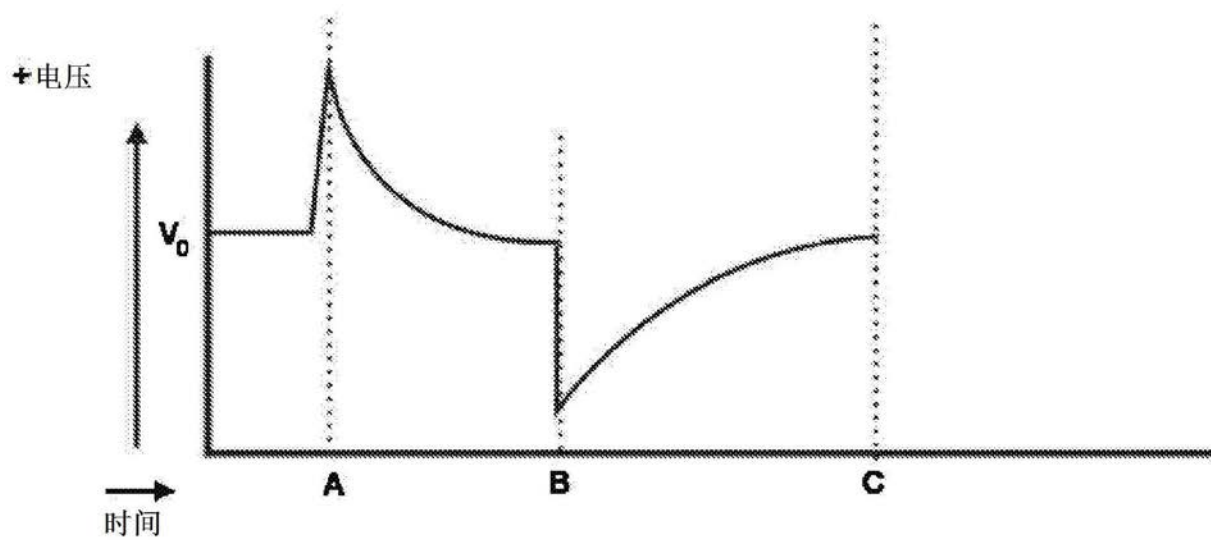


图19B

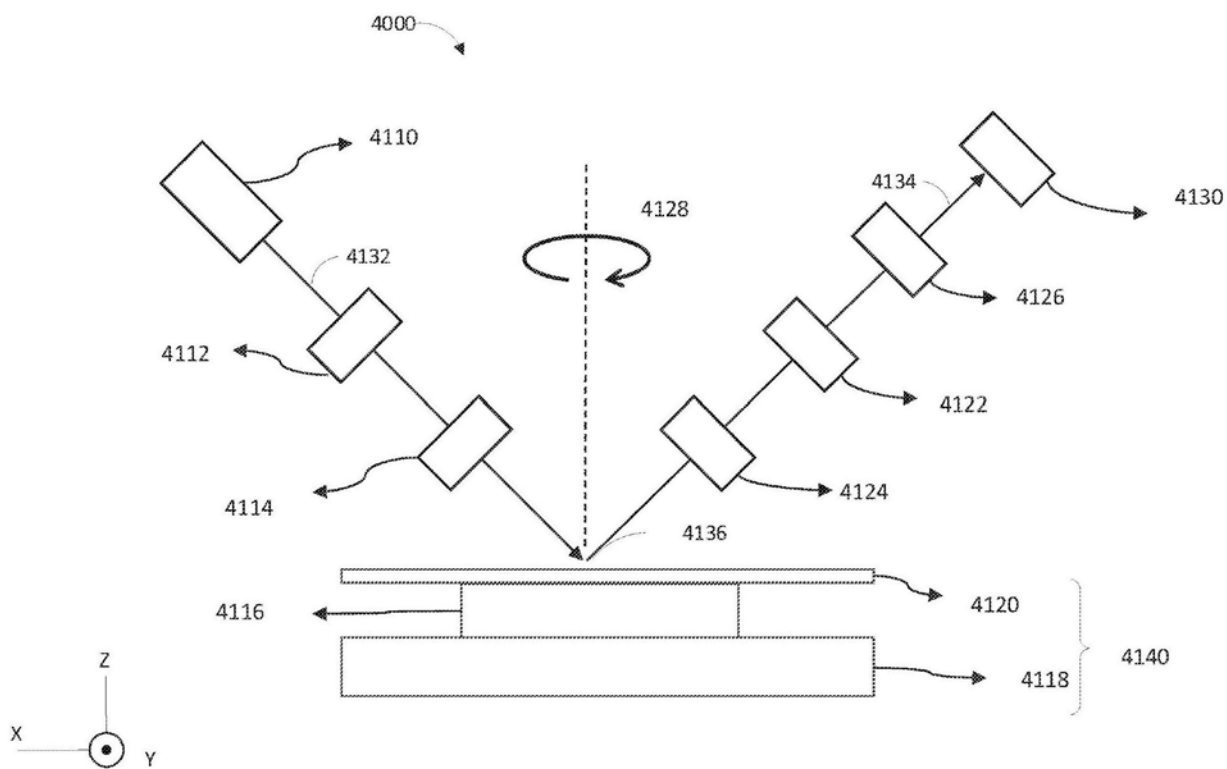


图20

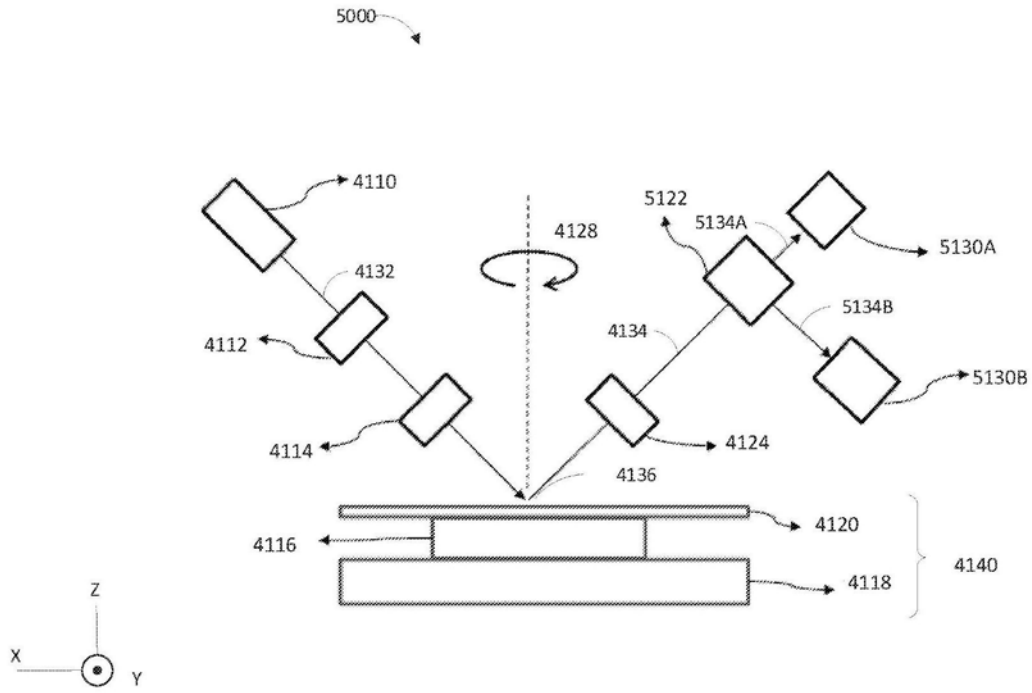


图21

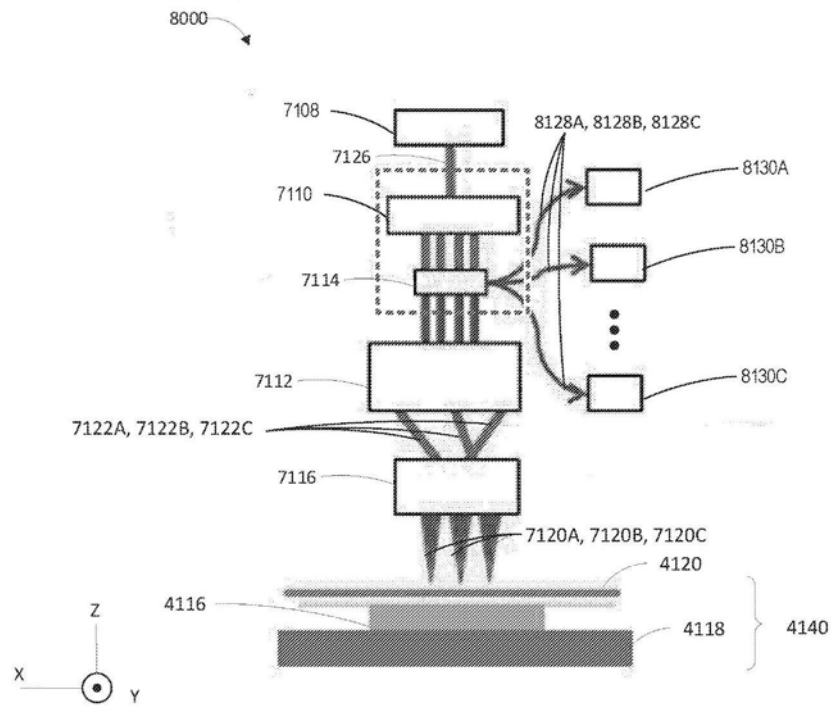


图22A

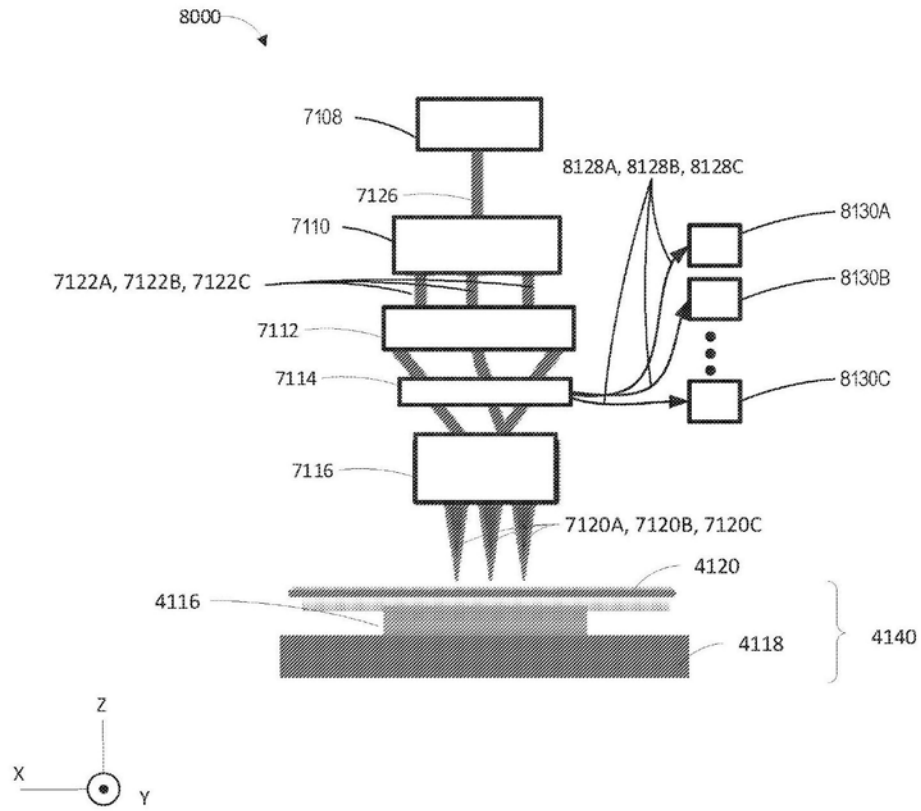


图22B

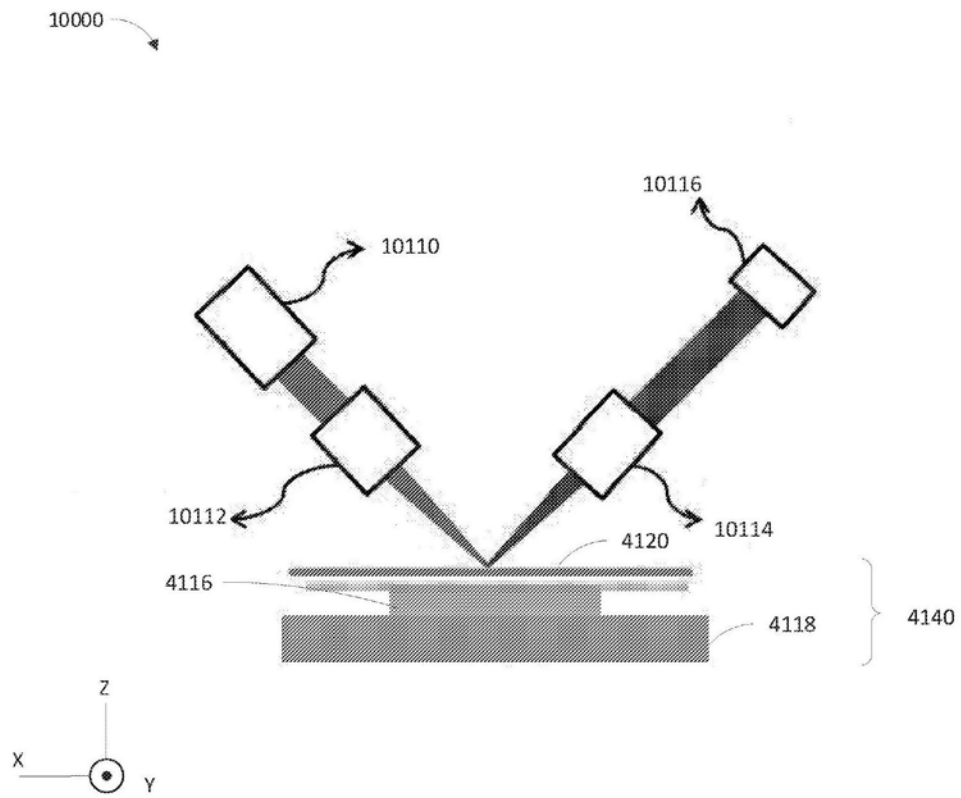


图23