



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102307696 B

(45) 授权公告日 2015. 05. 06

(21) 申请号 200980156319. 0

(22) 申请日 2009. 12. 21

(30) 优先权数据

09290050. 5 2009. 01. 26 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 08. 08

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2009/009180 2009. 12. 21

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/083867 EN 2010. 07. 29

(73) 专利权人 激光系统解决方案欧洲公司

地址 法国热讷维耶

(72) 发明人 茱利安·温特维尼

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理

有限公司 11262

代理人 周靖 郑霞

(51) Int. Cl.

B23K 26/354(2014. 01)

(56) 对比文件

US 2004/0084427 A1, 2004. 05. 06, 说明书第 0001 段、0053 段、0070-0074 段及附图 1-14.

US 5057664 A, 1991. 10. 15, 全文.

US 4908493 A, 1990. 03. 13, 全文.

US 4761786 A, 1988. 08. 02, 全文.

US 4734912 A, 1988. 03. 29, 全文.

US 6208673 B1, 2001. 03. 27, 全文.

审查员 张耀东

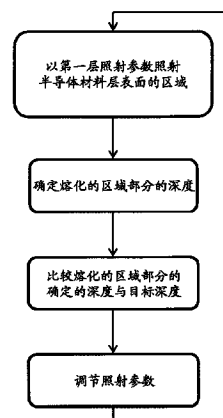
权利要求书1页 说明书6页 附图7页

### (54) 发明名称

用于通过激光能量照射半导体材料表面的方法和设备

### (57) 摘要

本发明涉及用于照射半导体材料的方法, 其包括: 以具有激光照射参数的第一激光器照射半导体材料层表面的区域以熔化至少部分区域; 以及通过调节照射参数控制照射过程; 其特征在于所述方法还包括确定熔化的区域部分的深度。此外, 本发明涉及用于照射半导体材料的设备, 其包括: 第一激光器, 其用于照射半导体层表面的区域以熔化至少部分区域, 所述激光器具有激光照射参数; 以及控制器, 其用于通过调节激光照射参数控制照射过程; 其特征在于所述设备还包括用于确定熔化的区域部分的深度的装置。



1. 一种用于照射半导体材料的方法,包括:

- 利用具有激光照射参数的第一激光器照射半导体材料层表面的区域,以熔化所述区域的至少一部分;

- 确定熔化的区域部分的深度;

- 以及基于确定的熔化的区域部分的深度,通过调节所述照射参数来控制照射过程;

其特征在于所述确定熔化的区域部分的深度的步骤包括在照射期间测量所述熔化的区域部分的熔化时间,所述熔化时间是在照射的区域部分在此期间被熔化的时间段。

2. 根据权利要求1所述的用于照射半导体材料的方法,其中所述照射过程通过基于将所述熔化的区域部分的所确定的深度与目标深度进行比较来调节所述照射参数而被控制。

3. 根据权利要求1或2所述的用于照射半导体材料的方法,其中测量所述熔化的区域部分的所述熔化时间包括在照射期间测量被照射的表面的折射率的改变。

4. 根据权利要求3所述的用于照射半导体材料的方法,其中测量所述熔化的区域部分的所述熔化时间包括在照射期间测量所述被照射的表面的反射率。

5. 根据权利要求4所述的用于照射半导体材料的方法,其中测量所述反射率包括检测在所述被照射的表面上来自所述第一激光器的反射。

6. 根据权利要求4所述的用于照射半导体材料的方法,其中测量所述反射率包括检测在所述被照射的表面上来自第二激光器的反射。

7. 一种用于照射半导体材料的设备,包括:

- 第一激光器,其用于照射半导体层表面的区域,以熔化所述区域的至少一部分,所述激光器具有激光照射参数;

- 用于确定熔化的区域部分的深度的装置;

- 以及控制器,其用于通过调节所述激光照射参数来控制照射过程;

其特征在于所述用于确定熔化的区域部分的深度的装置包括用于在照射期间测量所述熔化的区域部分的熔化时间的装置。

8. 根据权利要求7所述的用于照射半导体材料的设备,其中所述控制器适于通过基于将所述熔化的区域部分的所确定的深度与目标深度进行比较以调节所述照射参数来控制所述照射过程。

9. 根据权利要求7或8所述的用于照射半导体材料的设备,其中所述用于测量所述熔化的区域部分的熔化时间的装置包括用于在照射期间测量被照射的表面的折射率的改变的装置。

10. 根据权利要求9所述的用于照射半导体材料的设备,其中所述用于测量所述熔化的区域部分的熔化时间的装置包括用于在照射期间测量所述被照射的表面的反射率的装置。

11. 根据权利要求10所述的用于照射半导体材料的设备,其中所述用于测量所述被照射的表面的反射率的装置包括第二激光器。

12. 一种根据权利要求7至11所述的设备的用途,用于制造半导体材料。

## 用于通过激光能量照射半导体材料表面的方法和设备

### 发明领域

[0001] 本发明涉及凭借激光照射半导体材料表面的方法。此外，其涉及用于照射半导体材料表面的激光设备。

### [0002] 发明背景

[0003] 半导体材料表面的激光照射被熟知用于例如非晶硅的加温退火以获得再结晶化和 / 或掺杂剂活化的应用。该技术通过实现非常快速的热处理以及浅深度加热区域来提供超越传统加热过程的显著优势。

[0004] 激光照射过程的普遍问题是很难以控制高准确度，因为其取决于若干可变参数，例如在要被处理的半导体材料中的变化、在激光束能量中的变化、散射等。例如，在一些传统激光照射过程中，激光的输出能量被控制，但因此该类型的控制未解决激光和要被处理的半导体材料表面之间的能量损失、在半导体材料本身中的变化、和在激光脉冲波形中的变化。这些变化导致在不同的处理的表面区域之间的不一致性以及不一致的和不可靠的电子设备性能。

[0005] 为试图解决以上问题，激光照射方法被描述，其中所述过程在半导体材料表面的电平被监控。例如，US 2004/0023418 描述了退火方法，其中在要被处理的材料表面上的激光前脉冲的反射率被测量以及被放入反馈电路以控制照射源的振幅。

[0006] 在前脉冲监控之上的明显的缺点是其不像照射过程的实时控制一样有效。此外，前脉冲为时间消耗的以及因此非成本有效的。

[0007] 其它示例为激光照射方法，其中材料表面的温度被实时地监控。

[0008] 温度监控的缺点是，它是一种假如照射过程使用小于一毫秒的激光脉冲则难以达到满意的准确度的技术。

[0009] 为试图解决后者的困难，US 2005/0199596 描述了结晶化装置，其中熔化和结晶过程被实时地监控，这通过观察在几百个纳秒以及更少的范围内的时间段由所处理的材料区域反射的光。处理的区域的反射的改变被放大和成像以及能够被用于反馈。

[0010] 以上方法的明显的缺点为激光照射过程通过图像被观察和测量，其使以微秒或纳秒为量级的时间分辨的测量是不可能的。

[0011] 在现有技术状态中的另外的问题为在激光照射过程中使用的光束尺寸直径为非常小的以及因此难以探测。

[0012] 考虑以上激光照射过程的缺点，本发明的第一目标为提供激光照射方法和设备，其具有在半导体材料表面的水平上的准确的实时监控，导致在不同的处理的表面区域之间的一致性以及在电子设备性能中的一致性和可靠性。

[0013] 本发明的另外的目标是提供成本有效的以及更少时间消耗的激光照射的方法和设备。

[0014] 本发明的另一个目标是提供激光照射的方法和设备，其在非常短的激光脉冲照射的情况下被调节用于实时监控。

[0015] 同样为本发明的目标是提供激光照射的方法和设备，其被调节用于容易地使用反

馈电路中的监控结果,导致照射过程的有效的稳定性。

[0016] 本发明通过确定半导体层的区域的熔化深度来达到以上目标。

## 发明内容

[0017] 本发明针对用于照射半导体材料的方法,其包括:

[0018] - 以具有激光照射参数的第一激光器照射半导体材料层表面的区域,以熔化至少部分区域;

[0019] - 以及通过调节照射参数控制照射过程;

[0020] 其特征在于方法还包括确定熔化的区域部分的深度。

[0021] 此外,本发明针对用于照射半导体材料的设备,其包括:

[0022] - 第一激光器,其用于照射半导体层表面的区域以熔化至少部分区域,所述激光具有激光照射参数;

[0023] - 以及控制器,其用于通过调节激光照射参数控制照射过程;

[0024] 其特征在于该设备还包括用于确定熔化的区域部分的深度的装置。

[0025] 附图简述

[0026] 图 1 说明了依照本发明的方法的实施方式。

[0027] 图 2A 说明了依照本发明的方法的优选的实施方式。

[0028] 图 2B 说明了依照本发明的方法的另一个优选的实施方式。

[0029] 图 3 说明了熔化时间和熔化的区域部分的深度之间的联系。

[0030] 图 4 说明了依照本发明的设备的实施方式。

[0031] 图 5 说明了依照本发明的设备的另外的实施方式。

[0032] 图 6 示出了熔化时间作为能量密度的函数的图表。

## 具体实施方式

[0033] 本领域技术人员将明白以下描述的实施方式依照本发明仅为说明性的,且不限发明预期的范围。其它实施方式也可被考虑。

[0034] 根据本发明的第一实施方式,用于照射半导体材料的方法被提供,其包括:

[0035] - 以具有激光照射参数的第一激光器照射半导体材料层表面的区域以熔化至少部分区域;

[0036] - 以及通过调节照射参数控制照射过程;

[0037] 其特征在于该方法还包括确定熔化的区域部分的深度。

[0038] 通过确定熔化的区域部分的深度,激光照射过程在半导体材料表面的电平上实时地准确地被监控,导致在不同的处理的表面区域之间的一致性以及在电子设备性能中的一致性。

[0039] 半导体材料层可为适合半导体应用的任何材料,例如,但不限制为未掺杂的硅、掺杂的硅、植入的硅、晶体硅、非晶硅、硅锗、氮化锗、III-V 族混合半导体,例如,氮化镓、碳化硅,以及诸如此类。

[0040] 依照本发明,激光照射方法被提供,其中照射过程可通过调节照射参数被控制,其基于与目标深度比较熔化的区域部分的确定的深度。目标深度可被经验地确定,或通过基

于要求的设备性能建模来确定。

[0041] 如在图 1 中说明的,通过与目标深度比较熔化的区域部分的确定的深度,监控结果可容易地被使用在反馈电路中,造成照射过程的有效稳定性。此外,很显然地,有效的稳定性可引起激光照射过程,其根据过程一致性、成本效益以及时间消耗被改进。

[0042] 第一激光器可为任何脉冲激光,其波长、输出能量和脉冲持续时间使得照射的区域能够被熔化。这类激光器可为例如氯化氙准分子激光器。第一激光器的激光照射参数被调节以熔化材料以及达到要求的能量密度。第一激光器的能量典型地可为 10 焦耳,光束尺寸直径为大约 4cm<sup>2</sup> 以达到大约 2.5 焦耳/cm<sup>2</sup>。第一激光器的脉冲持续时间典型地可在大约 100ns 到大约 200ns 的范围,其可以是在快速温度倾斜上升以达到熔化但足够缓慢以限制由于爆发性沸腾导致的不期望的缺陷生成之间的折衷。

[0043] 调节激光照射参数可通过调整激光的输出能量进行。例如,假如第一激光器为准分子激光器,应用于气体放电的电压可被改变。

[0044] 通过调节激光的照射参数,熔化区域部分的深度被影响,从而直接影响再凝固之后的该区域部分的质量。例如,通过调节激光的照射参数,晶体大小以及在再凝固的区域部分的缺陷的数量可被控制。

[0045] 依照本发明,确定熔化的区域部分的深度可包括在照射期间测量被照射的表面的熔化时间。在本发明的背景下,熔化时间被定义为熔化阶段的持续时间,也就是,在照射的区域部分在此期间被熔化的时间段。熔化阶段的持续时间可通过测量当至少部分照射的区域熔化相比于再凝固的折射率的改变来确定。

[0046] 图 2A 和图 2B 说明了依照本发明的两种方法,其包括反馈电路,其中熔化的区域部分的深度通过测量在照射期间的被照射的表面的熔化时间来确定。

[0047] 图 2A 描述了反馈回路,熔化的区域部分的熔化深度和目标深度之间的差被用作输入以调节第一激光器电压。如果第一激光器能量超过规格则警报被生成,其表明在过程中或设备性能中的严重偏差。

[0048] 图 2B 描述了反馈回路,第一激光器脉冲能量通过调节第一激光器电压被控制。在熔化的区域部分的熔化深度和目标深度之间的差被使用作为输入,如果其超过规格则生成警报,表明在过程中或设备性能中的严重偏差。

[0049] 在依照本发明的另外的方法中,前馈控制步骤可被使用,其中,在要被照射的表面区域的全部处理之前,熔化的区域部分的深度被确定以及被特征化为第一激光器的脉冲持续时间和电压的函数,以使在全部处理期间,熔化的区域部分的深度可被控制为期望值或一组期望值。

[0050] 熔化的区域部分的深度基于第一激光器和半导体层表面区域的已知特性以及第一激光器熔化时间被确定。因此,熔化时间、第一激光器的脉冲波形、以及半导体层表面区域的光学特性和热学特性可被放入热学建模工具中,以确定熔化深度。这可通过实时计算进行或通过使用联系熔化时间到熔化深度以及在处理之前被定义的查找表格来进行,如在图 3 中说明的。

[0051] 作为通过测量熔化时间来确定熔化的区域部分的深度的替代法,熔化的区域部分的深度可通过使用时间解析的干涉法或同样的椭圆光度法被确定。

[0052] 在依照本发明的优选的实施方式中,用于照射半导体材料的方法被提供,其中测

量被照射的表面的折射率的改变可包括测量在照射期间的被照射的表面的反射率,或可包括椭圆对称的测量。测量反射率可包括反射强度测量。

[0053] 通过以反射测量来确定熔化的区域部分的深度,激光照射方法可被用于实时监控,甚至在非常短的激光脉冲照射的情况下。

[0054] 依照本发明,实施方式被提供,其中测量反射率可包括在照射的表面上检测来自第一激光器的反射。为测量由被照射的表面区域反射的、来自第一激光器的照射的部分,关于表面的第一激光器入射角应是非零。反射检测器可放置以使其能够监控该反射。反射率的改变可通过减去第一激光器的反射光束和入射光束的规范化信号来测量。

[0055] 在依照本发明的可选实施方式中,测量反射率可包括在照射的表面上检测来自第二激光器的反射。第二激光器可为任何连续的激光,其波长使得当被照射的区域部分从固态改变为熔化状态以及相反的改变时反射率显著地改变。优选地,第二激光器可以是在可见光谱的红色区域发射的连续激光器,例如,发射红光的连续激光二极管。第二激光器被指向要被处理的表面,以使其光束在由第一激光器照射的被照射的区域内在表面上反射。

[0056] 为改进反射测量的信号噪音比,一系列的反射检测可被执行以及被用于确定熔化时间。

[0057] 根据本发明的另一个实施方式提供用于照射半导体材料的方法,其中控制照射过程可包括检测第一激光器的脉冲波形。

[0058] 还依照本发明,用于照射半导体材料的设备被提供,其包括:

[0059] - 第一激光器,其用于照射半导体层表面的区域以熔化至少部分区域,所述激光器具有激光照射参数;

[0060] - 以及控制器,其用于通过调节激光照射参数控制照射过程;

[0061] 其特征在于所述设备还包括用于确定熔化的区域部分的深度的装置。

[0062] 在根据本发明的实施方式中,用于照射半导体材料的设备被提供,其中控制器可适于通过调节照射参数来控制照射过程,其基于熔化的区域部分的被确定的深度与目标深度的比较。

[0063] 依照本发明,用于确定熔化的区域部分的深度的装置可包括用于在照射期间测量被照射的表面的熔化时间的装置。用于测量熔化时间的装置可包括用于在照射期间测量被照射的表面的折射率的改变的装置。

[0064] 作为用于测量熔化时间的装置的替代物,时间解析的干涉仪或椭圆率计也可被使用。

[0065] 在依照本发明的优选的实施方式中,用于测量被照射的表面的反射率的改变的装置可包括用于在照射期间测量被照射的表面的反射率的装置,或适于执行椭圆偏光测量的装置。用于测量反射率的装置可适于执行反射强度测量。

[0066] 还依照本发明以及如在图4中说明的,用于照射半导体材料(e)的设备被提供,其中用于测量被照射的表面(d)的反射率的装置可包括反射检测器(c)。反射检测器可为例如硅光电二极管以及被放置成监控第一激光器(a)或第二激光器(b)的反射光束,如以上所描述的。

[0067] 在依照本发明的另外的实施方式中,用于测量被照射的表面的反射率的装置可包括第二激光器阵列和反射检测器阵列。如果其中不同的熔化带以相同的时间但以半导体材

料中的不同的深度传播,如通常发生在例如再结晶的非晶硅中,这类第二激光器阵列和反射检测器阵列可提供关于熔化的深度的均匀性的信息或可帮助更安全地解析熔化深度。

[0068] 在根据本发明的另一个实施方式中以及如在图 5 中说明的,用于照射半导体材料的设备被提供,其中控制器可包括用于测量第一激光器 (a) 的脉冲波形的脉冲波形检测器 (g)。脉冲波形检测器可例如是硅光电二极管。测量脉冲波形可通过检测穿过反光镜 (f) 中的一个的光泄漏来进行,该反光镜将来自第一激光器的光束指引到要被照射的表面区域 (d)。

[0069] 还在根据本发明的另一个实施方式中,控制器可包括用于衰减第一激光器的可变的衰减器。这类可变的衰减器可由光学平板形成,其关于第一激光器光束的角度能够被调整,以改变入射在被照射的表面区域的光束能量。

[0070] 本发明的方法和设备可被用于制造半导体材料,例如,基底或设备。所述方法和装置可被应用于例如以下项:

[0071] - 非晶体半导体材料的再结晶

[0072] - 修复例如由植入造成的晶体损坏或缺陷

[0073] - 掺杂剂活化:见示例 1

[0074] - 受控制的两倍植入激活:见示例 2

[0075] - 检测不一致的半导体材料:当保持相同的照射参数时的熔化时间或熔化深度的转变可表明材料的转变或半导体层的材料质量。

[0076] - 在激光退火步骤之前检测不一致的过程:熔化时间的转变或熔化深度的转变可被用作在激光照射期间的被动的监控,其可帮助在激光退火之前控制过程的质量。例如,如果氧化层或另外的层在要被熔化的表面的顶部出现以及当保持熔化深度相同时倾向于熔化时间转变,则所述层的一致性可被控制以及如果期望则可获得警报。

[0077] 示例 1:

[0078] 熔化时间确定:

[0079] 处理激光器为高能量氯化氙准分子激光器,其在 308nm 发射。其照射的区域在 2 和 4cm<sup>2</sup>之间的矩形表面,以及在照射的区域上的能量密度在 2 到 6 焦耳/cm<sup>2</sup>之间。所述参数被选择从而实现在晶片上的被照射的区域的熔化。

[0080] 诊断激光器是在 632nm 的光谱的红色区域中连续发射的激光二极管,其在计划照射的区域内的位置处在晶片上被引导。离开晶片的表面的激光光束的反射由检测器捕获,例如,硅光电二极管。

[0081] 由于处理激光器照射晶片,来自检测器的信号由数据获取卡(示波器或等同物)数字化,以及数字化的信号由控制系统读取。由于硅的反射率的改变,当硅熔化时信号增加,以及当其固化时信号减少。控制系统计算熔化时间作为数字化信号的“在半最大值的全宽度”。计算的熔化时间由控制系统记录以及使每个激光发射对用户是可用的。

[0082] 过程优化:

[0083] 第一步是建立对应于由用户要求的处理性能的熔化深度。这能够通过改变激光能量密度时照射植入的测试晶片以及监控熔化时间来进行。作为结果,任何人能够绘制如在图 6 中说明的作为能量密度函数的熔化时间。

[0084] 在测试晶片的照射之后,通常为表面电阻系数的期望输出被测量,使用户能够实

现识别对应于目标熔化深度和目标能量的期望的操作点。另外的可能的期望的输出可为掺杂剂扩散,其精确地遵循熔化深度范围以及能够由 SIMS(次级离子质谱分析法)测量。

[0085] 过程监控以及控制:

[0086] 在激光设备的长期操作期间,处理激光的输出能量通过调整被传递到气体放电的电压被保持等于目标能量。由控制系统记录的熔化时间被监控以及通过多次发射被平均以最小化其变化。如果在测量的熔化深度和在过程优化期间建立的目标值之间的差大于预先确定的阈值(例如,  $\pm 5\%$ ),则控制系统生成警报,该警报能够触发过程的再优化。

[0087] 示例 2:

[0088] 对于一些应用,两个种类的掺杂剂以不同的深度被植入到硅中。典型的示例为 IGBT 设备(绝缘栅双极型晶体管),其中硼被植入在表面附近以造成集电极层 p,以及磷被更深地植入以造成 n<sup>+</sup> 缓冲层。

[0089] 现在的发明能够通过相同的激光发射实现两个种类的受控激活,因为其使控制熔化深度变为可能以使液态/固态接触面在两个植入的种类之间转换。

[0090] 在该情况下,硼层将在液态阶段被退火,提供所要求的高激活率。以相同的激光脉冲,由于热扩散到材料的深度中,当停留在固态阶段时,磷层也将被退火。在硼-磷接触面控制熔化深度对避免两个种类的混合是重要的,由于在液态硅中的高扩散系数这的确会发生在液态阶段。

[0091] 应了解,当液态阶段由于在硅中的掺杂剂的高扩散而在一个激光发射中能够实现完整的活化时,在固态阶段的活化为要求“热预算”(也就是,在某个温度的某个时间)的累积的过程。因此,取决于要被活化的磷原子的密度,当一直控制在两种掺杂剂之间的接触面的熔化深度时,应用多个发射到相同的区域可能是有利的。在该情况下,在磷(固态阶段)中的活化将通过每个激光发射被增加,而硼的活化将仅被保持在单个发射之后获得的水平。也可以考虑组合熔化深度在两个掺杂剂种类之间的接触面的如此能量的一个激光发射和在用于完成磷活化的熔化阈值之下的能量的后来的激光发射。

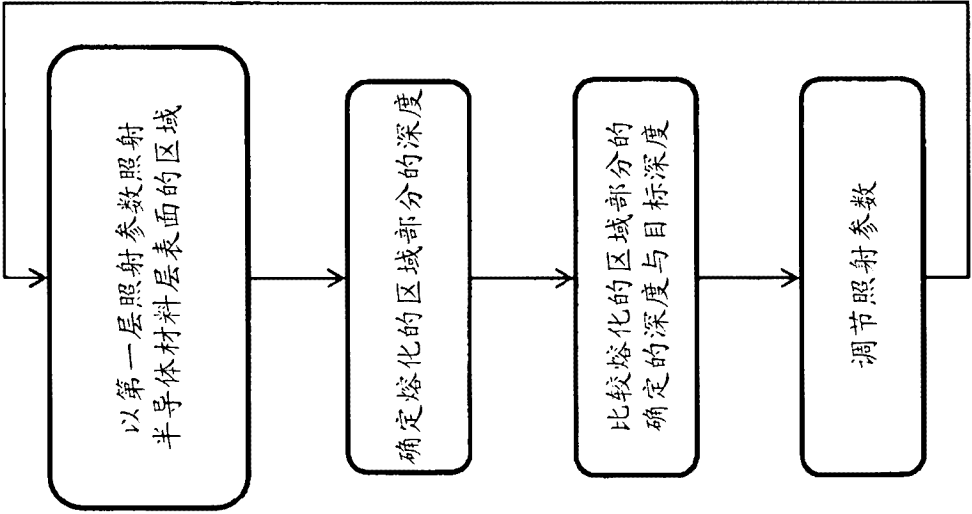


图 1

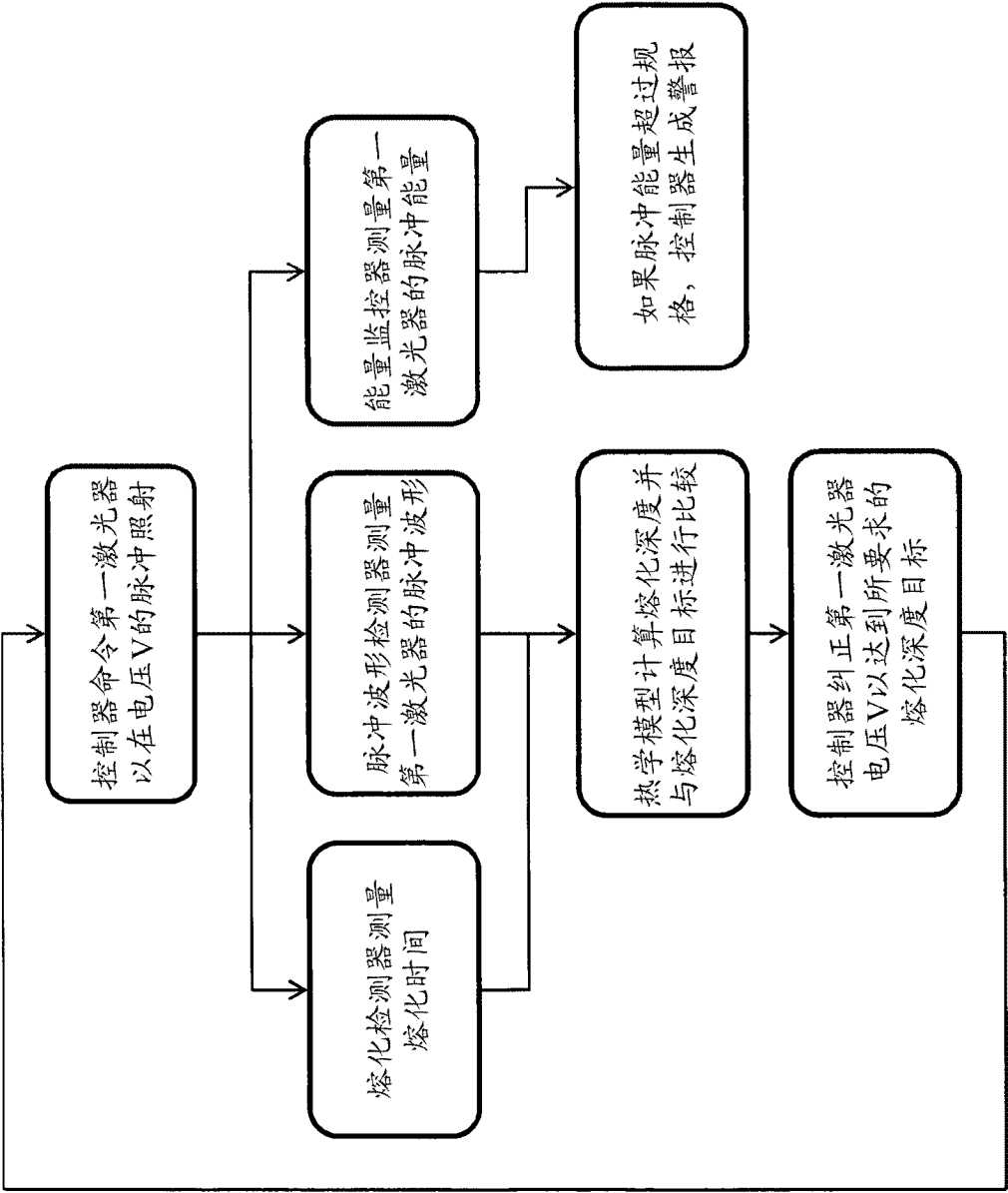


图 2A

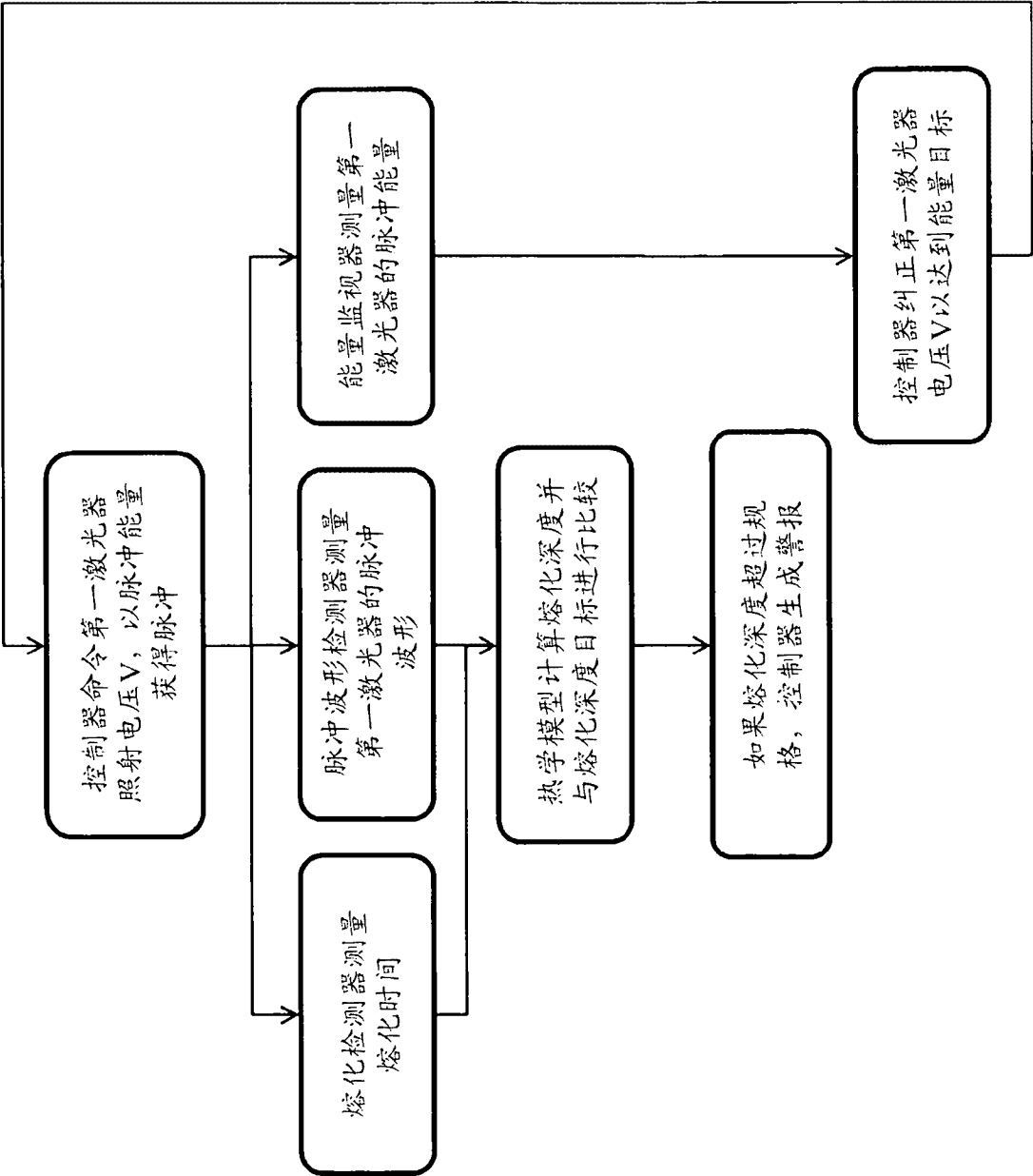


图 2B

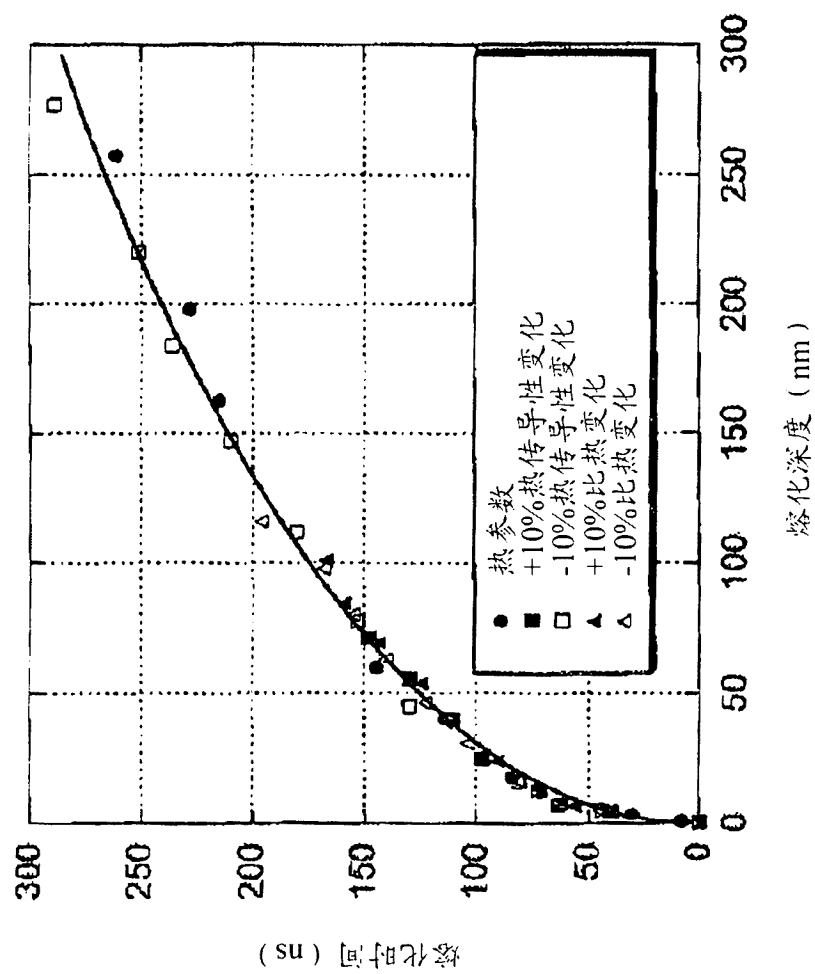


图 3

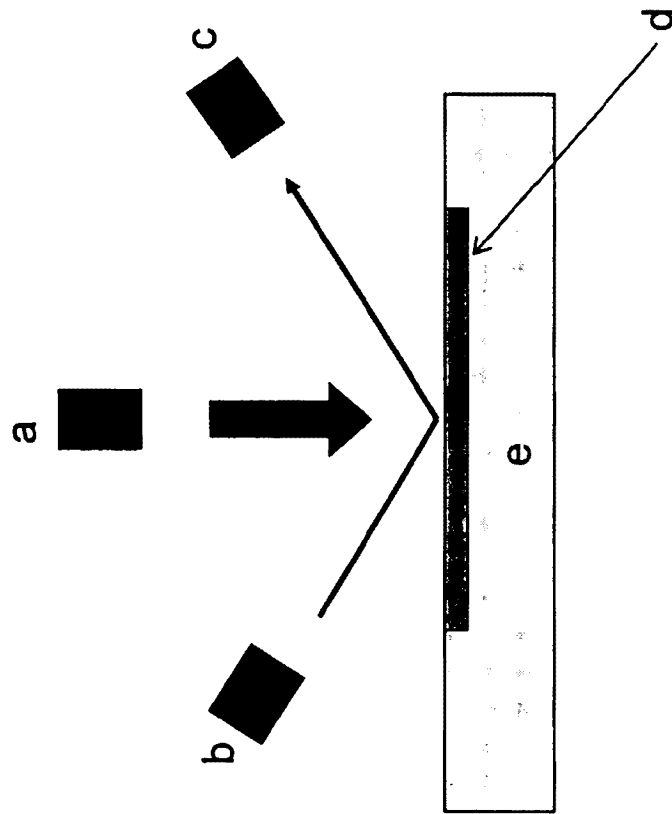


图 4

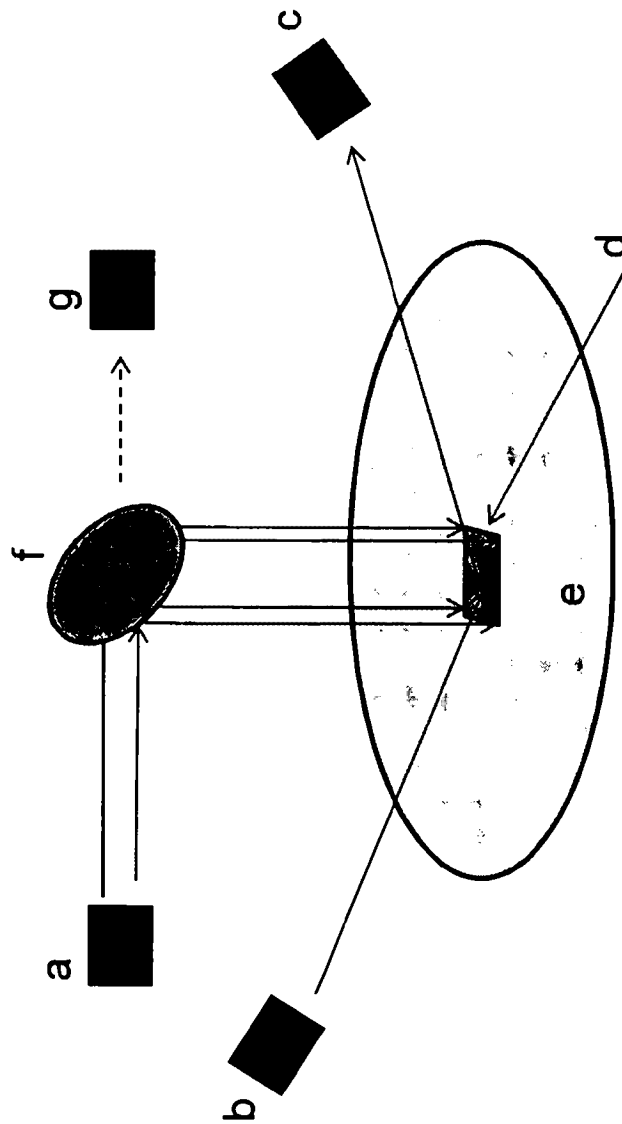


图 5

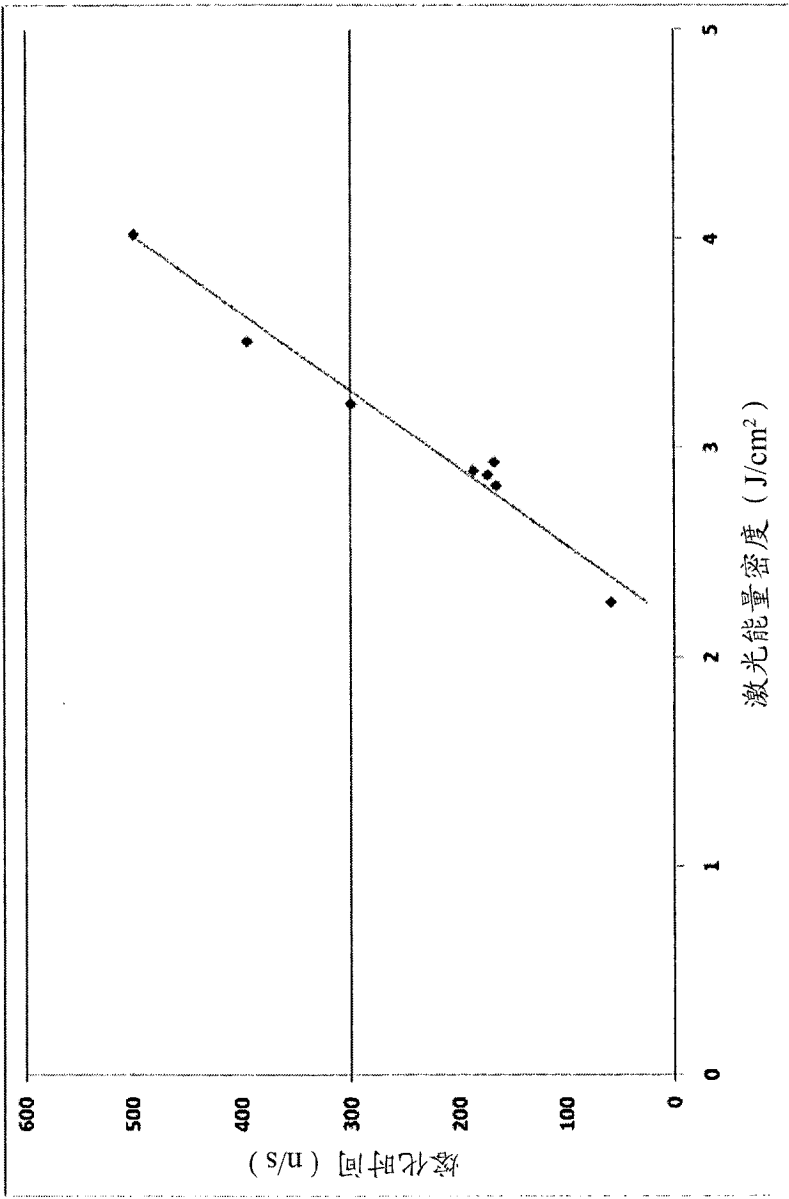


图 6