



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107644811 B

(45)授权公告日 2020.05.22

(21)申请号 201610573575.1

H01L 21/66(2006.01)

(22)申请日 2016.07.20

(56)对比文件

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107644811 A

CN 105679688 A,2016.06.15,

CN 101174082 A,2008.05.07,

JP 2001044171 A,2001.02.16,

JP 2003092286 A,2003.03.28,

(43)申请公布日 2018.01.30

(73)专利权人 中微半导体设备(上海)股份有限公司

审查员 刘恋恋

地址 201201 上海市浦东新区金桥出口加工区(南区)泰华路188号

(72)发明人 严利均 黄智林 王红超 刘身健

(74)专利代理机构 上海信好专利代理事务所(普通合伙) 31249

代理人 朱成之

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065(2006.01)

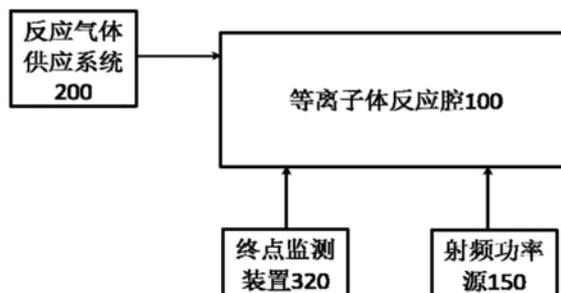
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

博世工艺的刻蚀终点监测方法以及博世刻蚀方法

(57)摘要

本发明公开了一种博世工艺的刻蚀终点监测方法以及博世刻蚀方法,其可更准确地确定刻蚀终点,避免过度刻蚀引起的基片损伤。在所述博世工艺中,连续监测并获得OES信号,其特征在于,以每一刻蚀步骤或每一沉积步骤为单位,对所获得的OES信号进行处理,以此来确定刻蚀终点。



1. 一种博世工艺的刻蚀终点监测方法,所述博世工艺在一反应腔内进行;
向所述反应腔内交替输送刻蚀气体或者沉积气体;
施加一射频功率源,使刻蚀气体或者沉积气体转化为等离子体;
所述博世工艺包括交替进行的刻蚀步骤与沉积步骤,在所述博世工艺中,连续监测并获得OES信号,其特征在于,以每一刻蚀步骤为单位,计算出所获得的每一刻蚀步骤的OES信号的平均值,根据所述刻蚀步骤的平均值来确定刻蚀终点;
提供一气体监测装置;利用所述气体监测装置监测等离子体发出的光谱,以确定反应气体是刻蚀气体抑或是沉积气体,并发射指示信号使所述射频功率源输出与反应气体相匹配的功率。
2. 如权利要求1所述的刻蚀终点监测方法,其中,根据所述平均值来确定刻蚀终点,包括:
将所述平均值与一阈值进行比较,当某一刻蚀步骤的平均值超出所述阈值时,则停止刻蚀。
3. 如权利要求1所述的刻蚀终点监测方法,其中,根据所述平均值来确定刻蚀终点,包括:
根据各个平均值之间的差值或比值,来确定刻蚀终点。
4. 如权利要求1所述的刻蚀终点监测方法,其中,还包括:
以每一沉积步骤为单位,计算出所获得的每一沉积步骤的OES信号的平均值;
计算相邻刻蚀步骤与沉积步骤的OES信号的平均值的比值;
根据所述比值来确定刻蚀终点。
5. 如权利要求1所述的刻蚀终点监测方法,其中,刻蚀步骤通入的气体包括SF₆,沉积步骤通入的气体包括C₄F₈。
6. 一种博世刻蚀方法,包括:
将基片置于反应腔内;
施加一射频功率源;
执行刻蚀步骤:向所述反应腔内持续通入刻蚀气体,所述刻蚀气体在射频功率源作用下形成等离子体以刻蚀所述基片的表面;
执行沉积步骤:向所述反应腔内持续通入沉积气体,所述沉积气体在射频功率源作用下形成等离子体以在所述基片的表面形成钝化层;
交替执行所述刻蚀步骤与所述沉积步骤;
在所述刻蚀步骤与所述沉积步骤进行时,终点监测装置监测反应腔,以获得OES信号,并以每一刻蚀步骤,计算出所获得的每一刻蚀步骤的OES信号的平均值,根据所述刻蚀步骤的平均值来确定刻蚀终点;
提供一气体监测装置;
利用所述气体监测装置检测等离子体发出的光谱,以确定是刻蚀气体抑或是沉积气体,并发射指示信号使射频功率源输出与反应气体相匹配的功率。
7. 如权利要求6所述的博世刻蚀方法,其中,根据所述平均值来确定刻蚀终点,包括:
将所述平均值与一阈值进行比较,当某一刻蚀步骤的平均值超出所述阈值时,则停止刻蚀。

8. 如权利要求6所述的博世刻蚀方法,其中,根据所述平均值来确定刻蚀终点,包括:
根据各个平均值之间的差值或比值,来确定刻蚀终点。
9. 如权利要求6所述的博世刻蚀方法,其中,还包括:
以每一沉积步骤为单位,计算出所获得的每一沉积步骤的OES信号的平均值;
计算相邻刻蚀步骤与沉积步骤的OES信号的平均值的比值;
根据所述比值来确定刻蚀终点。
10. 如权利要求6所述的博世刻蚀方法,其中,刻蚀步骤通入的气体包括 SF_6 ,沉积步骤通入的气体包括 C_4F_8 。

博世工艺的刻蚀终点监测方法以及博世刻蚀方法

技术领域

[0001] 本发明涉及半导体制造技术领域,特别涉及一种博世刻蚀方法以及博世工艺的刻蚀终点监测方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着半导体制造工艺的发展,对元件的集成度和性能要求越来越高,等离子体技术(Plasma Technology)在半导体制造领域中正起着举足轻重的作用。等离子体技术通过使工艺气体激发形成的等离子体被应用在许多半导体工艺中,如沉积工艺(如化学气相沉积)、刻蚀工艺(如干法刻蚀)等。对等离子体处理工艺来说,其准确度直接关系到元件的特征尺寸。随着半导体器件特征尺寸缩小,以及半导体制造过程中所用的等离子体处理工艺步骤的数量和复杂性的迅速增加,对等离子体处理工艺控制的要求变得更加严格,这就需要采用实时监控的手段来控制工艺过程的关键阶段。

[0003] 以等离子体刻蚀工艺为例,在等离子体刻蚀过程中,一个关键的问题是当被刻蚀的介质层被刻蚀掉之后,应当及时停止等离子体刻蚀,以避免下层介质层受到等离子体的刻蚀而损伤,从而造成器件的失效。因此,精确判定等离子体刻蚀工艺终点(endpoint)以避免因刻蚀不足或刻蚀过度导致元器件失效就变得日益重要。现有技术中,通常采用光学发射光谱法(optical emission spectroscopy,OES)进行等离子体刻蚀终点监测。OES技术主要是基于在线光谱监测设备对等离子体发射出的光谱进行实时监控,由于刻蚀到不同物质层光谱会出现明显的变化,特别当到达刻蚀终点时,因刻蚀的材料发生转换,气相的组成及被刻蚀薄膜都会发生化学变化,这种变化通过OES光谱信号的强度变化表现出来。因此,通过连续监测等离子体发射,就能够用OES终点监测方法来监测出此变化并利用它来确定薄膜被完全清除的时间。例如,当OES信号下降至预定阈值水平之下时,就利用这种转变来触发“终点”。因此,通过监测刻蚀过程中刻蚀到不同层的物质时,反应物或生成物的发射谱线强度值,以此就能够判断刻蚀终点。例如美国专利US5565114公开了一种等离子体工艺中通过OES技术监测终点的方法,通过先计算等离子体发光频谱强度的总和平均值,然后计算总和平均值的差或是比值以决定刻蚀是否达到终点。由此可知,通过OES技术能够很好地实现了制程稳定的单一刻蚀步骤处理或有限分离蚀刻步骤的处理。

[0004] 如今,对晶片进行深反应离子刻蚀以形成高深宽比结构(如硅通孔技术)正越来越受到广泛的重视和研究,深反应离子刻蚀通常采用博世工艺(Bosch process)进行。而博世工艺是通过使等离子刻蚀工序和等离子淀积工序周期性地反复进行而对半导体衬底在垂直方向较深地进行刻蚀的工艺。博世工艺主要包括以下步骤:(1)刻蚀步骤,通常用含有SF₆的混合气体进行化学反应离子刻蚀;(2)聚合物沉积钝化步骤(也可称为“沉积步骤”),通常用含有C₄H₈的混合气体在孔洞内侧面形成氟碳聚合物层,以使下一个周期的刻蚀步骤中化学反应离子刻蚀时,SF₆气体不会对侧壁的聚合物进行刻蚀或者刻蚀速率非常慢;(3)刻蚀步骤和沉积步骤交替循环进行,直到深孔刻蚀完成。由于博世工艺采用交替重复进行各向同性刻蚀和聚合物沉积工艺,而其中刻蚀和沉积步骤所使用的等离子体条件(如工艺气体

类型、压力、RF功率等)并不相同,因此需要在切换工艺气体的同时切换RF功率;由于工艺气体注入反应腔内并达到所需压力需要一定的时间,导致满足要求的工艺气体与与之匹配的RF功率重叠时间较短,很难提供稳定的等离子体条件对基片进行刻蚀和沉积保护。同时,将常规的OES技术应用于具有快速且周期性的等离子体扰动特性的博世工艺会导致周期性的终点轨迹,容易发生误判等离子体发射强度的改变,因此其无法准确监测终点。

发明内容

[0005] 为了克服现有技术的缺陷,本发明提供一种博世工艺的刻蚀终点监测方法,所述博世工艺包括交替进行的刻蚀步骤与沉积步骤,在所述博世工艺中,连续监测并获得OES信号,以每一刻蚀步骤或每一沉积步骤为单位,对所获得的OES信号进行处理,以此来确定刻蚀终点。

[0006] 可选的,以每一刻蚀步骤或每一沉积步骤为单位对所获得的OES信号进行处理,包括:

[0007] 计算出所获得的每一刻蚀步骤的OES信号的平均值;

[0008] 根据所述平均值来确定刻蚀终点。

[0009] 可选的,根据所述平均值来确定刻蚀终点,包括:

[0010] 将所述平均值与一阈值进行比较,当某一刻蚀步骤的平均值超出所述阈值时,则停止刻蚀。

[0011] 可选的,根据所述平均值来确定刻蚀终点,包括:

[0012] 根据各个平均值之间的差值或比值,来确定刻蚀终点。

[0013] 可选的,以每一刻蚀步骤或每一沉积步骤为单位对所获得的OES信号进行处理,包括:

[0014] 计算相邻刻蚀步骤与沉积步骤的所述平均值的比值;

[0015] 根据所述比值来确定刻蚀终点。

[0016] 可选的,刻蚀步骤通入的气体包括SF₆,沉积步骤通入的气体包括C₄F₈。

[0017] 可选的,还包括:

[0018] 采集基片表面的光波长信号,以确定基片表面的气体是刻蚀气体或沉积气体;

[0019] 根据基片表面的气体种类,发送指示信号至射频功率源,指示所述射频功率源调节至与基片表面的气体相匹配的功率条件。

[0020] 为了克服现有技术的缺陷,本发明还提供一种博世刻蚀方法,包括:

[0021] 将基片置于反应腔内;

[0022] 执行刻蚀步骤:向所述反应腔内持续通入刻蚀气体,刻蚀所述基片的表面;

[0023] 执行沉积步骤:向所述反应腔内持续通入沉积气体,在所述基片的表面形成钝化层;

[0024] 交替执行所述刻蚀步骤与所述沉积步骤;

[0025] 在所述刻蚀步骤与所述沉积步骤进行时,终点监测装置监测反应腔,以获得OES信号,并以每一刻蚀步骤或每一沉积步骤为单位,对所获得的OES信号进行处理,以此来确定刻蚀终点。

[0026] 可选的,以每一刻蚀步骤或每一沉积步骤为单位对所获得的OES信号进行处理,包

括：

[0027] 计算出所获得的每一刻蚀步骤的OES信号的平均值；

[0028] 根据所述平均值来确定刻蚀终点。

[0029] 可选的，根据所述平均值来确定刻蚀终点，包括：

[0030] 将所述平均值与一阈值进行比较，当某一刻蚀步骤的平均值超出所述阈值时，则停止刻蚀。

[0031] 可选的，根据所述平均值来确定刻蚀终点，包括：

[0032] 根据各个平均值之间的差值或比值，来确定刻蚀终点。

[0033] 可选的，以每一刻蚀步骤或每一沉积步骤为单位对所获得的OES信号进行处理，包括：

[0034] 计算相邻刻蚀步骤与沉积步骤的所述平均值的比值；

[0035] 根据所述比值来确定刻蚀终点。

[0036] 可选的，刻蚀步骤通入的气体包括 SF_6 ，沉积步骤通入的气体包括 C_4F_8 。

[0037] 可选的，还包括：

[0038] 利用气体监测装置采集基片表面的光波长信号，以确定基片表面的气体是刻蚀气体或沉积气体；

[0039] 根据基片表面的气体种类，发送指示信号至射频功率源，指示所述射频功率源调节至与基片表面的气体相匹配的功率条件。

附图说明

[0040] 图1示出一种用于博世工艺的等离子体刻蚀装置的结构示意图；

[0041] 图2是利用终点监测装置所测得的特定光谱强度随时间而变化的一种示例。

具体实施方式

[0042] 为使本发明的内容更加清楚易懂，以下结合说明书附图，对本发明的内容作进一步说明。当然本发明并不局限于该具体实施例，本领域内的技术人员所熟知的一般替换也涵盖在本发明的保护范围内。

[0043] 图1所示为一种等离子体刻蚀装置的结构示意图。如图1，所述刻蚀装置包括一等离子体反应腔（简称“反应腔”）100。本实施例中，等离子体反应腔100为电感耦合式等离子体反应腔。

[0044] 所述等离子体反应腔100连接反应气体供应系统200和射频功率源150。所述反应气体供应系统200可向等离子体反应腔100提供至少两组气体：刻蚀气体和沉积气体。所述刻蚀气体和沉积气体通常可交替地被注入等离子体反应腔100内。所述射频功率源150通常可包括第一射频功率源和第二射频功率源，所述第一射频功率源为偏置射频功率源，其频率通常小于13兆赫兹，所述第二射频功率源为源射频功率源，其频率通常大于13兆赫兹。

[0045] 利用博世工艺对基片（比如，硅片）进行通孔刻蚀时，通常需要交替执行刻蚀步骤和沉积步骤，直至设备发出停止刻蚀信号为止。在沉积步骤，沉积气体（通常可包括含碳气体，如 C_4F_8 ）被持续通入反应腔100内。源射频功率源可将反应腔100内的沉积气体解离为等离子体、自由基等。所形成的自由基等可在基片的表面形成保护层。在刻蚀步骤，刻蚀气体

(通常包括含氟气体,如SF₆)被反应气体供应系统200持续通入反应腔100。源射频功率源可将反应腔100内的刻蚀气体解离为等离子体、自由基等。偏置射频功率源则会保证刻蚀沿竖直方向进行。

[0046] 一终点监测装置320与上述等离子体反应腔100相连,用于监测整个博世刻蚀过程,并在刻蚀进行至预定深度时终止整个博世工艺。本实施例中,终点监测装置320采用光学发射光谱法(OES)进行监测。在监测过程中,终点监测装置320可持续地获取反应腔100内各等离子体发射出的光谱强度(OES信号)。由于不同的等离子体对应不同的光谱,因而特定光谱强度的变化可反映出反应腔内特定种类等离子体数量的变化,进而可据此确定是否到达刻蚀终点。

[0047] 在计算或确定博世工艺刻蚀终点时,通常会以一个周期(其通常包括相邻的一个刻蚀步骤和一个钝化步骤)为单位。举例而言,现有方法通常会计算出每一周期内某种元素含量(比如,氟(F))的平均值,当某一周期的该平均值超出某个预先设定的阈值,终点监测装置就会认定该周期结束时博世工艺已到达刻蚀终点,进而发出停止博世工艺的指令。但是,依据上述方法所获得的刻蚀终点不够准确,常常发生过度刻蚀的状况。过度刻蚀往往会导致基片的损伤和缺陷,因而是要竭力避免的。

[0048] 为改善上述缺陷,本发明提出一种新的用于博世工艺的刻蚀终点监测方法,该方法以一个步骤(一个周期内的刻蚀步骤或沉积步骤都是这里所说的“一个步骤”)为单位,进行OES信号的处理,确定刻蚀终点。这里所说的“OES信号的处理”包括常用的方法,比如,计算平均值、计算比值等。不同的是,传统方法计算的是整个周期的平均值,而本发明方法计算的是一个步骤(一个刻蚀步骤或一个沉积步骤)的平均值。大量实验验证了本发明的上述方法确实可大幅改善刻蚀终点判断的准确性,进而可大幅减少由过度刻蚀而导致的基片缺陷。以下将举例来说明本发明的方法。

[0049] 首先,在博世工艺中,利用终点监测装置实时获取并记录反应腔内某种元素或某几种元素的光谱强度(即OES信号,其对应的是该元素的含量)随时间而变化的情况。通常可追踪氟(F)元素的含量变化。

[0050] 如图2,t₁时刻起,工艺进入刻蚀阶段,F的含量开始快速升高,并在t₂时刻时,F的含量达到最高。t₂至t₃阶段为高速刻蚀阶段。从t₃时刻起,工艺进入沉积阶段。由于刻蚀气体不再通入,F的含量快速下降,并在t₄时刻达到最低。T₄至t₅阶段为高速沉积阶段。

[0051] 而后,以每一刻蚀步骤或每一沉积步骤为单位,对所获得的OES信号进行处理,以此来确定刻蚀终点。

[0052] 这里所说的“对OES信号的处理”可包括:计算出所获得的每一刻蚀步骤的OES信号的平均值,而后根据所述平均值来确定刻蚀终点。比如,可将所述平均值与一预先设定的阈值进行比较,当某一刻蚀步骤的平均值超出所述阈值时,则停止刻蚀。又比如,可比较各个平均值之间的差值或比值(特别是相邻刻蚀阶段的平均值之间的差值或比值),当该差值或比值超出一预先设定的标准值时,停止刻蚀。

[0053] 这里所说的“对OES信号的处理”还可包括:计算相邻刻蚀步骤与沉积步骤(比如,同一周期内的刻蚀步骤与沉积步骤)的所述平均值的比值,而后根据所述比值来确定刻蚀终点。比如,可将该比值与一预先设定的阈值进行比较,当该比值小于所述阈值时,则停止刻蚀。

[0054] 除了上面所描述的对OES信号的特殊处理方式外,另一措施(后续会详细介绍)同样可改善博世工艺刻蚀终点监测的准确性。在一个实施例中,可将该两种方式结合使用,以最大程度地改善刻蚀终点监测的准确性。

[0055] 在博世工艺的刻蚀步骤和沉积步骤中,射频功率源的偏置射频功率源和源射频功率源通常需要提供不同的功率到等离子体反应腔。由于刻蚀步骤和沉积步骤的交替进行,射频功率源150需要提供交替的偏置射频功率和源射频功率。在现有技术中,刻蚀气体和沉积气体的交替切换与射频功率源的功率切换同步进行,并最大程度地保持一致性。由于一种反应气体从反应气体供应系统200进入等离子体反应腔100并达到工艺所需的压力条件需要一定的时间,例如,刻蚀步骤和沉积步骤每一步的时间为1s-2s,反应气体充满等离子体反应腔的时间为0.4s-0.8s,在射频功率源150功率切换和反应气体的切换同时进行的情况下,重叠时间最多只有80%,使得反应气体和与其匹配的射频功率重合工作的时间缩短,不仅降低了刻蚀效率,同时由于无法提供较长时间的稳定等离子体浓度,使得刻蚀的终点监测变得极为困难。

[0056] 为消除或降低该缺陷,等离子体反应腔100还可连接一气体监测装置(未图示),气体监测装置可与射频功率源150相连并可向射频功率源150发射控制信号(功率切换信号)。本实施例中,气体监测装置利用光学发射光谱法(OES)对反应腔进行监测。作为较佳的选择,气体监测装置可集中对基片表面的反应气体产生的等离子体发出的光谱进行实时监测。当刻蚀气体和沉积气体交替切换时,气体监测装置根据等离子体发出的光谱确定基片表面的气体为刻蚀气体或是沉积气体,并发射信号指示射频功率源150输出与该气体匹配的偏置功率和源功率。通过对等离子体反应腔提供与其主要反应气体相匹配的功率,延长了反应气体和与其匹配的射频功率的重合时间,提高了刻蚀效率。

[0057] 为了更好地实现终点监测,本发明所述系统将气体监测装置同时和终点监测装置320相连,在向射频功率源发射指示信号的同时向终点监测装置320发送同步信号,终点监测装置320根据接收到的同步信号统一选择在刻蚀步骤或者沉积步骤采集特定波长的实时光信号强度并建立具有周期性的实时光信号强度谱线,根据所述光信号强度特征谱线确定所述等离子体处理工艺的终点。根据上述描述可知,本发明系统由于延长了反应气体和与其匹配的射频功率的重合时间,使得等离子体反应腔内每一步骤的等离子体分布相对稳定,同时终点监测装置320根据从气体监测装置处接收到的指示信号可以明确获知等离子体反应腔内正在进行的反应为刻蚀步骤或是沉积步骤,并统一选择在某一步骤重复采集特定波长的实时光信号强度并建立具有周期性的实时光信号强度谱线。

[0058] 在本实施例中,每个处理周期均包括一个刻蚀步骤和一个沉积步骤,通过使刻蚀步骤和沉积步骤周期性交替反复进行而完成刻蚀。当然在其他实施例中,除刻蚀步骤和沉积步骤之外,每个处理周期还可包括过渡步骤或清洗步骤等,本发明并不限于此。

[0059] 虽然本发明已以较佳实施例揭示如上,然所述诸多实施例仅为了便于说明而举例而已,并非用以限定本发明,本领域的技术人员在不脱离本发明精神和范围的前提下可作若干的更动与润饰,本发明所主张的保护范围应以权利要求书所述为准。

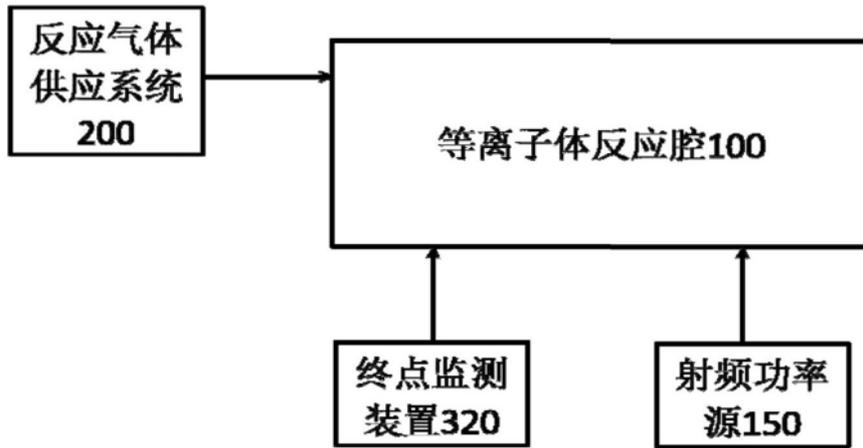


图1

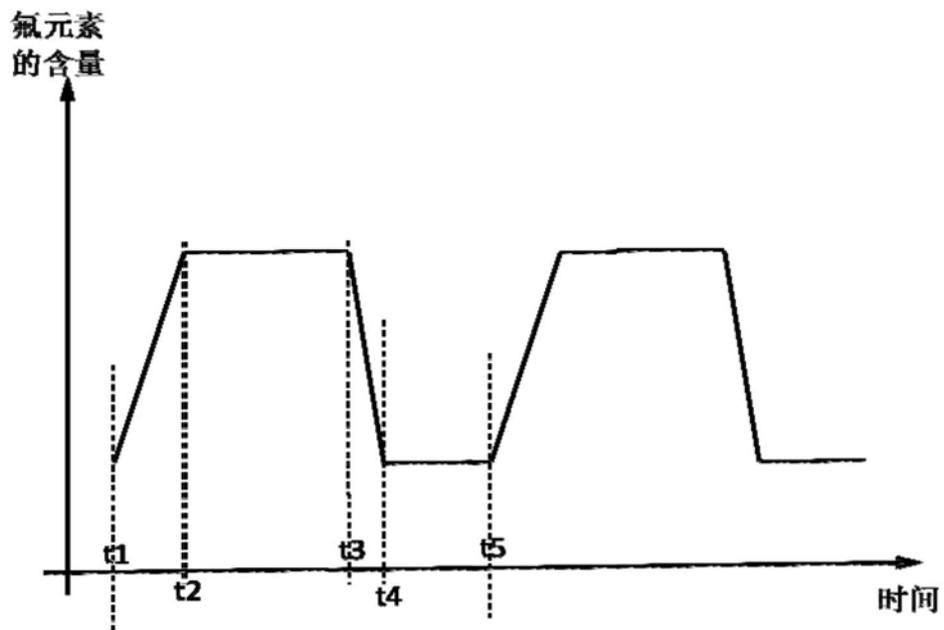


图2