



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103915308 B

(45) 授权公告日 2016. 06. 29

(21) 申请号 201210594588. 9

CN 101328580 A, 2008. 12. 24,

(22) 申请日 2012. 12. 31

CN 1950922 A, 2007. 04. 18,

(73) 专利权人 中微半导体设备(上海)有限公司
地址 201201 上海市浦东新区金桥出口加工
区(南区)泰华路 188 号

CN 1675738 A, 2005. 09. 28,

审查员 孙宁宁

(72) 发明人 杜若昕 梁洁 王兆祥 苏兴才

(74) 专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司
72003

代理人 张龙哺 吕俊清

(51) Int. Cl.

H01J 37/32(2006. 01)

B81C 1/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101989525 A, 2011. 03. 23,

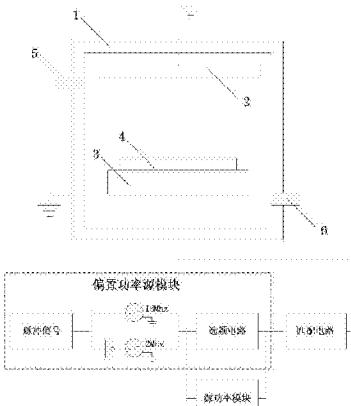
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54) 发明名称

一种双射频脉冲等离子体的刻蚀方法及其刻
蚀装置

(57) 摘要

本发明提供一种双射频脉冲等离子体的刻蚀方法及其刻蚀装置，所述等离子体处理腔室具有上电极和下电极，通过源射频功率和偏置射频功率共同进行制程，所述腔室中放置有基片，所述下电极分别连接有源射频功率源和偏置射频功率源，所述偏置射频功率源以脉冲的方式输出偏置功率，所述偏置射频功率源交替输出第一低频频率和第二低频频率的两种脉冲信号进行制程，所述第一低频频率和第二低频频率的脉冲信号的频率相同且相位相反，本发明结合两种低频频率刻蚀方法，通过调节脉冲发生器的脉冲周期及占空比实现连续调节粒子密度和离子能量，使关键尺寸和均匀性都能得到连续的精确控制，对 28nm 刻蚀工艺或以下刻蚀工艺中关键尺寸精确控制提供有力帮助。



1. 一种双射频脉冲等离子体的刻蚀方法,等离子体处理腔室具有上电极和下电极,通过源射频功率和偏置射频功率共同进行制程,所述腔室中放置有基片,所述下电极连接有源射频功率源和偏置射频功率源,其特征在于:

所述偏置射频功率源以脉冲的方式输出偏置功率,所述偏置射频功率源交替输出第一低频频率和第二低频频率的两种脉冲信号进行制程,所述第一低频频率和第二低频频率的脉冲信号的频率相同且相位相反;所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz;所述第二低频频率的频率范围是1.8至2.3MHz;

或者,所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz;所述第二低频频率的频率范围是360至440KHz。

2. 根据权利要求1所述的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法,其特征在于:所述脉冲信号的频率为50Hz至100kHz。

3. 根据权利要求1所述的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法,其特征在于:所述源射频功率的频率为40MHz、60MHz、100MHz及120MHz中的一种。

4. 根据权利要求1所述的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法,其特征在于:所述第一低频频率的占空比为10%至90%。

5. 一种刻蚀方法,其特征在于,包括以下步骤:

在衬底上依次形成刻蚀停止层、电介质层、硬掩膜层以及底部抗反射层;

在所述底部抗反射层上形成光刻胶的刻蚀图案;

采用如权利要求1至4中任意一项所述的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法刻蚀底部抗反射层和硬掩膜层;以及

进行后续制程。

6. 一种用于等离子体处理腔室的偏置射频功率源模块,所述偏置射频功率源模块包括依次串联连接的脉冲信号源、射频偏压发生电路以及选频电路,其特征在于:所述偏置射频功率源模块为变频功率源,用于交替地输出第一低频频率和第二低频频率的偏置功率;

所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz;所述第二低频频率的频率范围是1.8至2.3MHz;

或者,所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz;所述第二低频频率的频率范围是360至440KHz。

7. 根据权利要求6所述的偏置射频功率源模块,其特征在于:所述射频偏压发生电路包括第一低频射频偏压发生器和第二低频射频偏压发生器,所述第一低频射频偏压发生器的一端与所述脉冲信号源相连,另一端连至所述选频电路;所述第二低频射频偏压发生器的一端经一非门与所述脉冲信号源相连,另一端连至所述选频电路。

8. 根据权利要求6所述的偏置射频功率源模块,其特征在于:所述选频电路包括第一偏置射频通路和第二偏置射频通路,所述第一偏置射频通路仅通过经过第一低频偏压发生器的脉冲信号,所述第二偏置射频通路仅通过经过第二低频偏压发生器的脉冲信号。

9. 一种双射频脉冲等离子体的刻蚀装置,包括一个刻蚀腔(1),所述刻蚀腔(1)内上部设置一上电极(2),下部设置一承载硅片(4)的下电极(3),其特征在于:包括一如权利要求6至8中任意一项所述的偏置射频功率源模块、一匹配电路以及一与所述偏置射频功率源模块中的选频电路并联的源功率模块,所述匹配电路的一端连接所述偏置射频功率源模块,

另一端连接所述下电极(3)。

10. 根据权利要求9所述的双射频脉冲等离子体的刻蚀装置，其特征在于：所述匹配电路包括第一匹配电路、第二匹配电路和第三匹配电路，所述第一匹配电路仅通过经过第一偏置射频通路的脉冲信号，所述第二匹配电路仅通过经过第二偏置射频通路的脉冲信号，所述第三匹配电路仅通过经过源功率模块的信号。

11. 根据权利要求9或10所述的双射频脉冲等离子体的刻蚀装置，其特征在于：所述源功率模块的频率为40MHz、60MHz、100MHz及120MHz中的一种。

一种双射频脉冲等离子体的刻蚀方法及其刻蚀装置

技术领域

[0001] 本发明涉及等离子刻蚀领域,特别涉及一种交替使用不同低频刻蚀频率的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法及其刻蚀装置。

背景技术

[0002] 等离子体刻蚀是采用高频辉光放电反应,使反应气体激活成活性粒子,如原子或游离基,这些活性粒子扩散到需刻蚀的部位,在那里与被刻蚀材料进行反应,形成挥发性生成物而被去除。它的优势在于快速的刻蚀速率同时可获得良好的物理形貌。

[0003] 目前,低温等离子体微细加工手段是材料微纳加工的关键技术,因为它是微电子、光电子、微机械、微光学等制备技术的基础。特别是在超大规模集成电路制造工艺中,有近三分之一的工序是借助于等离子体加工完成的,如等离子体薄膜沉积、等离子体刻蚀及等离子体去胶等,其中等离子体刻蚀成为最为关键的工艺流程之一,是实现超大规模集成电路生产中的微细图形高保真地从光刻模板转移到硅片上不可替代的工艺。目前在一些发达国家的实验室里,刻蚀线宽已经突破 $0.1\mu m$,并开始考虑挑战纳米芯片的加工技术。

[0004] 在等离子体刻蚀工艺中,首先是在把硅晶片上面涂抹一层由碳氢化合物构成的光敏物质,并在光敏物质上盖上具有一定图形规则的金属模板。然后进行紫外曝光,使部分晶片的表面裸露出来。接着再把这种待加工的硅晶片放置到具有化学活性的低温等离子体中,进行等离子体刻蚀。这种具有化学活性的等离子体通常是由氯气或碳氟气体放电产生的,它不仅含有电子和离子,还含有大量的活性自由基。这些活性基团沉积到裸露的硅晶片上时,与硅原子相互结合而形成挥发性的氯化硅或氟化硅分子,从而对晶片进行各向异性刻蚀。另一方面,为了控制轰击到晶片上离子的能量分布和角度分布,还通常将晶片放置在一个施加射频电极上面,在晶片的上方将形成一个非电中性的等离子体区,即鞘层。等离子体中的离子在鞘层电场的作用下,轰击到裸露的晶片表面上,并与刻蚀介质层表面进行碰撞,使其溅射出来,从而实现对晶片的各向异性刻蚀。

[0005] 等离子体刻蚀工艺的核心问题是在提高刻蚀速率的同时,又能保证刻蚀过程具有较高的均匀性、较高的各向异性以及较低的辐照损伤。这些物理问题包括:低气压放电条件下大面积高密度均匀等离子体的产生机理与方法、外界放电参数(如电源功率、频率、放电气压以及放电模式等)对等离子体参数的调控行为、射频偏压鞘层的物理特性、带电粒子(尤其是离子)与晶片表面材料层的相互作用机理、刻蚀剖面的演化规律等。

[0006] 射频等离子体鞘层的物理特性如下:由于所有粒子都必须穿越鞘层才能与晶片发生相互作用,因而鞘层在等离子体加工过程中具有重要的地位。鞘层电场要比等离子体内部电场强两个数量级,离子以玻姆(Bohm)速度进入鞘层后,被鞘层电场加速,以一定的能量轰击基板,而电子则受到鞘层电场的排斥。在气压较高情况下,离子还将与其他中性粒子发生弹性和非弹性碰撞,使离子以一定的角度轰击晶片。换言之,鞘层特性决定了离子轰击晶片的能量分布和角度分布,而离子的能量分布和角度分布直接影响到刻蚀速率与刻蚀剖面,进而影响着等离子体加工的产量和质量。

[0007] 与直流等离子体鞘层相比,射频等离子体鞘层的特点在于等离子体参数如鞘层的厚度和鞘层电位等物理量均随时间变化。决定射频鞘层特性的关键物理量是外加射频场的频率和离子等离子体频率之比,当外加射频偏压的频率远大于离子等离子体频率时,离子不能瞬时响应射频电场,离子运动由平均场决定,可以合理地假定离子在鞘层中的运动是稳态的。当外加射频场的频率远小于离子等离子体频率时,鞘层中离子运动是由瞬时电势决定的,这时,每一时刻的射频鞘层特性都与电势为相应值的直流辉光放电的鞘层特性一样,离子流密度呈现出随时间周期性振荡形式。频率越低,离子流密度的振荡幅值越大。当外加射频偏压的频率和离子等离子体频率接近或相等时,离子只能部分地响应射频频率,这时离子的运动行为较为复杂。

[0008] 对于单一射频驱动的电容感应耦合放电,鞘层电势相对于等离子体电势为负,且有一个波峰和一个波谷。在波峰和波谷两个相位处,电势随时间变化缓慢,因而进入鞘层离子较多。在波峰时,进入的离子获得的能量最小,而在波谷时,进入的离子获得的能量最大,导致离子能量分布呈双峰结构。研究表明,在低频条件下,离子能量分布的高能峰和低能峰之间的宽度较宽,且随着频率的增加而变窄;在高频条件下,能量分布趋于单峰结构。

[0009] 对于双频驱动的电容感应耦合放电,同样会在晶片附近形成一个随时间瞬变的鞘层,双频鞘层电势降的特点是:随时间缓慢变化的包络线受低频所调制,而随时间快速振荡的鞘层电势降受高频调制。在这样一个由低频偏压调制的鞘层电场作用下,入射到晶片上的离子能量分布呈多峰结构,这一点与单频鞘层有明显的不同。这里需要说明的是,当等离子体中的电子朝鞘层边界运动时,将受到这种快速运动鞘层的反射,产生所谓的随机加热效应。此外,由于所加高频较高,所引起的驻波和趋肤效应会对双频鞘层特性产生影响,从而影响刻蚀均匀性。

[0010] 由于受到高、低频电源的共同作用,双频电容感应耦合的离子能量分布不同于传统单频电容感应耦合的双峰结构,而是呈现出多峰结构。随着放电气压的减小,离子在鞘层中的碰撞减少,导致轰击到基片上的离子能量显著增加,且低能峰逐渐向能量较高的方向移动。两个射频电源的参数也对离子能量分布有着显著的影响。减小低频源的频率,离子穿越鞘层的时间相对低频周期变短,使得更多的离子可以有效地被低频电源加速,轰击到基板上的离子能量显著增大。随着高频源频率的增加,等离子体的鞘层厚度减小,离子在穿越鞘层的过程中碰撞次数减少,因此在高频情况下,离子的碰撞效应减小。通过增大施加在低频源上的电压幅值可以增加鞘层电位降,离子在穿越鞘层的过程中可以获得更多的能量,从而使得轰击到极板上的离子能量显著增加。

[0011] 不同低频频率下的离子能量分布的规律为:在低频频率较高时,入射离子的能量较小,低能峰向右偏移。这是由于在较高的低频频率下,离子在若干个射频周期内穿过鞘层,因此离子响应平均的鞘层电位降。大部分的离子具有相近的能量,这使得低能峰向右偏移,离子能量较小。随着低频频率的降低,离子穿越鞘层的时间不到一个射频周期,如果离子在鞘层电位降较大时过鞘层,就可以获得很高的能量。因此,当频率降低时,离子能量显著增加。

[0012] 等离子体刻蚀技术发展至今,对工艺精度的要求越来越高,以目前最前沿的28纳米刻蚀来说,双频射频去耦合技术已广泛地应用于各种设备中。其优点是可以将离子密度和离子能量近似地独立控制。

[0013] 图1为现有技术的一种双频刻蚀装置的结构示意图。如图1所示,该双频刻蚀装置包括一个刻蚀腔1',刻蚀腔1'上、下部分别设有一进气口5'和一排气口6'。刻蚀腔1'内上部设置一上电极2',下部设置一承载硅片4'的下电极3',下电极3'通过一匹配电路分别连接一60MHz的源射频功率源和一2MHz的偏置射频功率源。在使用中,通过下电极3'(60MHz)产生的等离子体控制粒子密度,通过下电极3'(2MHz)产生的等离子体控制离子能量,但其缺点是由2MHz产生的等离子体对晶片表面的轰击效果太强,难易精细控制。

[0014] 图2为现有技术的另一种双频刻蚀装置的结构示意图。如图2所示,该双频刻蚀装置包括一个刻蚀腔1',刻蚀腔1'上、下部分别设有一进气口5'和一排气口6'。刻蚀腔1'内上部设置一上电极2',下部设置一承载硅片4'的下电极3',与上一个装置不同的是,该装置的下电极3'通过一匹配电路分别连接一60MHz的源射频功率源和一13MHz的偏置射频功率源。在使用中,通过下电极3'(60MHz)产生的等离子体控制粒子密度,通过下电极3'(13MHz)产生的等离子体控制离子能量,但其缺点是由13MHz产生的等离子体则由于13MHz本身对粒子密度也有贡献,使得晶片表面附近的粒子密度的均匀性在晶片中心快而在晶片边上慢,造成最后的晶片表面轰击的程度不均匀。

[0015] 而在28nm刻蚀工艺甚至28nm以下刻蚀工艺中,对关键尺寸和轮廓在整个晶片表面的均匀性都有较高要求。

[0016] 有鉴于此,提供一种能够将离子密度和离子能量控制在合适的范围内的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法及其刻蚀装置显得尤为重要。发明内容

[0017] 针对现有技术中的缺陷,本发明的目的是提供一种双射频脉冲等离子体的刻蚀方法及其刻蚀装置,克服了现有技术的困难,解决了低频频率过高影响粒子密度分布,而低频频率过低轰击效果太强,难易精细控制的难题,通过源功率频率以及两种低频频率相互交替的双频等离子体技术进行刻蚀制程,以便精细控制晶片表面的离子密度和离子能量,使得关键尺寸本身及其均匀性都能得到连续的精确控制。

[0018] 根据本发明的一个方面,提供了一种用于等离子体处理腔室的双射频脉冲的控制方法,所述等离子体处理腔室具有上电极和下电极,通过源射频功率和偏置射频功率共同进行制程,所述腔室中放置有基片,所述下电极分别连接有源射频功率源和偏置射频功率源,所述偏置射频功率源以脉冲的方式输出偏置功率,所述偏置射频功率源交替输出第一低频频率和第二低频频率的两种脉冲信号进行制程,所述第一低频频率和第二低频频率的脉冲信号的频率相同且相位相反。

[0019] 优选地,所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz;所述第二低频频率的频率范围是1.8至2.3MHz。

[0020] 优选地,所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz;所述第二低频频率的频率范围是360至440KHz。

[0021] 优选地,所述脉冲信号的频率为50Hz至100kHz。

[0022] 优选地,所述源功率的频率为40MHz、60MHz、100MHz及120MHz中的一种。

[0023] 优选地,所述第一低频频率的占空比为10%至90%。

[0024] 更优选地,所述第一低频频率的占空比为50%。

[0025] 根据本发明的另一个方面,还提供了一种刻蚀方法,包括以下步骤:

[0026] 在衬底上依次形成刻蚀停止层、电介质层、硬掩膜层以及底部抗反射层;

- [0027] 在所述底部抗反射层上形成光刻胶的刻蚀图案；
- [0028] 采用如权利要求1至6中任意一项所述的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法刻蚀底部抗反射层和硬掩膜层；以及
- [0029] 进行后续制程。
- [0030] 根据本发明的另一个方面，还提供了一种用于等离子体处理腔室的偏置射频功率源模块，所述偏置射频功率源模块包括依次串联连接的脉冲信号源、射频偏压发生电路以及选频电路，所述偏置射频功率源模块为变频功率源，用于交替地输出第一低频频率和第二低频频率的偏置功率。
- [0031] 优选地，所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz；所述第二低频频率的频率范围是1.8至2.3MHz。
- [0032] 优选地，所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz；所述第二低频频率的频率范围是360至440KHz。
- [0033] 优选地，所述射频偏压发生电路包括第一低频射频偏压发生器和第二低频射频偏压发生器，所述第一低频射频偏压发生器的一端与所述脉冲信号源相连，另一端连至所述选频电路；所述第二低频射频偏压发生器的一端经一非门与所述脉冲信号源相连，另一端连至所述选频电路。
- [0034] 优选地，所述选频电路包括第一偏置射频通路和第二偏置射频通路，所述第一偏置射频通路仅通过经过第一低频偏压发生器的脉冲信号，所述第二偏置射频通路仅通过经过第二低频偏压发生器的脉冲信号。
- [0035] 优选地，所述第一低频频率的占空比为10%至90%。
- [0036] 更优选地，所述第一低频频率的占空比为50%。
- [0037] 根据本发明的另一个方面，还提供了一种双射频脉冲等离子体的刻蚀装置，包括一个刻蚀腔，所述刻蚀腔内上部设置一上电极，下部设置一承载硅片的下电极，包括一如权利要求8至12中任意一项所述的偏置射频功率源模块、一匹配电路以及一与所述偏置射频功率源模块中的选频电路并联一源功率模块，所述匹配电路的一端连接所述偏置射频功率源模块，另一端连接所述下电极。
- [0038] 优选地，所述匹配电路包括第一匹配电路、第二匹配电路和第三匹配电路，所述第一匹配电路仅通过经过第一偏置射频通路的脉冲信号，所述第二匹配电路仅通过经过第二偏置射频通路的脉冲信号，所述第三匹配电路仅通过经过源功率模块的信号。
- [0039] 优选地，所述源功率模块的频率为40MHz、60MHz、100MHz及120MHz中的一种。
- [0040] 优选地，所述第一低频频率的占空比为10%至90%。
- [0041] 更优选地，所述第一低频频率的占空比为50%。
- [0042] 由于采用了以上技术，本发明与现有技术相比，本发明通过源功率频率以及两种低频频率相互交替的双频等离子体技术进行刻蚀制程，巧妙结合两种低频频率刻蚀方法，通过调节脉冲发生器的脉冲周期及占空比就可以达到连续调节粒子密度和离子能量的目的，使得关键尺寸本身及其均匀性都能得到连续的精确控制，这将对28nm刻蚀工艺甚至28nm以下刻蚀工艺中关键尺寸的精确控制提供有力的帮助。

附图说明

[0043] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0044] 图1为现有技术的一种双频刻蚀装置的结构示意图;

[0045] 图2为现有技术的另一种双频刻蚀装置的结构示意图;

[0046] 图3示出根据本发明的一个具体实施方式的,本发明的一种双射频脉冲等离子体的刻蚀装置的结构示意图;

[0047] 图4示出根据本发明的一个具体实施方式的,本发明中的偏置射频功率源模块的模块连接示意图;以及

[0048] 图5示出根据本发明的一个具体实施方式的,实施本发明的一种双射频脉冲等离子体的刻蚀方法时,两种低频频率的脉冲波形示意图。

[0049] 附图标记

[0050] 1'刻蚀腔

[0051] 2'上电极

[0052] 3'下电极

[0053] 4'硅片

[0054] 5'进气口

[0055] 6'排气口

[0056] 1刻蚀腔

[0057] 2上电极

[0058] 3下电极

[0059] 4硅片

[0060] 5进气口

[0061] 6排气口

具体实施方式

[0062] 本领域技术人员理解,本领域技术人员结合现有技术以及上述实施例可以实现变化例,在此不予赘述。这样的变化例并不影响本发明的实质内容,在此不予赘述。

[0063] 为了克服低频频率过高影响粒子密度分布,而低频频率过低轰击效果太强,难易精细控制的难题,本发明提供了一种用于等离子体处理腔室的双射频脉冲的控制方法,所述等离子体处理腔室具有上电极和下电极,通过源射频功率和偏置射频功率共同进行制程,所述腔室中放置有基片,所述下电极分别连接有源射频功率源和偏置射频功率源,所述偏置射频功率源以脉冲的方式输出偏置功率,所述偏置射频功率源交替输出第一低频频率和第二低频频率的两种脉冲信号进行制程,所述第一低频频率和第二低频频率的脉冲信号的频率相同且相位相反。

[0064] 实施该方法中,下电极以第一低频频率以及第二低频频率交替进行刻蚀,第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz。第二低频频率的频率范围是1.8至2.3MHz或者360至440KHz。

[0065] 优选的第一低频频率为13MHz,优选的第二低频频率为2MHz。

[0066] 所述脉冲信号的频率为50Hz至100kHz。

[0067] 源功率的频率为40MHz、60MHz、100MHz及120MHz中的一种,优选的源功率频率的频率为60MHz。

[0068] 第一低频频率的占空比为10%至90%,优选的占空比为50%。

[0069] 本发明中,采用在源功率的频率在60Mhz连续输出的状态下,交替使用13MHz和2MHz的低频射频信号进行刻蚀制程,以便精细控制晶片表面的离子密度和离子能量,使得关键尺寸本身及其均匀性都能得到连续的精确控制。

[0070] 通常,在具有金属硬掩膜的低介电材料四合一刻蚀工艺中,容易出现的问题是:在刻蚀过程中,

[0071] (1)金属硬掩膜被化学腐蚀或物理轰击之后的副产物沉积在沟槽底部形成微掩膜,从而阻碍了沟槽内低介电材料的均匀刻蚀,最终形成不平整、粗糙的底部形貌,进而影响芯片的电性。

[0072] (2)过强的离子轰击会使金属通孔底部的铜(Cu)过早暴露出来,形成“微笑曲线(Smiling Curve)”,对后续工艺及电性测量产生不良影响。

[0073] (3)金属硬掩膜被化学腐蚀或物理轰击之后金属沟槽的边缘平整度(LER)会受到影响。因此,在刻蚀过程中,总的射频功率不宜太高,并且偏置频率的选择及源频率和偏置频率的功率比例也会影响到刻蚀制程结果。

[0074] 如果偏置频率太低(比如2MHz),即使所使用的功率很低,等离子体的离子浓度不足而离子能量仍然较高,则容易出现前述(2)和(3)的状况。

[0075] 而如果偏置频率太高(比如13MHz),则偏置频率对离子浓度贡献过大,金属硬掩膜自身的刻蚀速率过大,也容易出现前述(3)中提到的腐蚀或物理轰击之后金属沟槽的边缘平整度会受到影响。并且,刻蚀中整个晶片的刻蚀速率均匀度也强烈地受到所选偏置频率及其功率的影响。

[0076] 本发明的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法,采用脉冲方式将低频频率较高的和较低的偏置频率的优点整合在一起,即可实现自由控制离子能量和离子浓度的分配,得到所需的刻蚀形貌。

[0077] 显然,本发明的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法,交替使用两种低频频率进行刻蚀制程,同时减弱低频偏置频率太低和偏置频率太高两种方法的不利因素,缓解了等离子体的离子浓度不足而离子能量仍然较高,以及对离子浓度贡献过大,金属硬掩膜自身的刻蚀速率过大的问题。明显优于现有技术中下电极的偏置频率单独使用13MHz或2MHz进行刻蚀制程的方法,避免了这两种方法各自的缺陷,以便精细控制晶片表面的离子密度和离子能量,使得关键尺寸本身及其均匀性都能得到连续的精确控制。

[0078] 而且,本发明的下电极通过两种低频频率交替进行刻蚀的方法,可以应用到任何现有的射频脉冲等离子体刻蚀方法中。本发明还提供了一种刻蚀方法,包括以下步骤:

[0079] 在衬底上依次形成刻蚀停止层、电介质层、硬掩膜层以及底部抗反射层。

[0080] 在底部抗反射层上形成光刻胶的刻蚀图案。

[0081] 采用上述的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法刻蚀底部抗反射层和硬掩膜层。以及

[0082] 进行后续制程。

[0083] 显然,该方法同样可对等离子体产生的离子密度和离子能量进行连续的有效控制,提高刻蚀工艺的均匀性,增加其工艺窗口。这里的工艺窗口是指工艺从“刻蚀”到“刻蚀

停止(即沉积速率大于刻蚀速率)”的工艺参数范围。

[0084] 图3示出根据本发明的一个具体实施方式的,本发明的一种双射频脉冲等离子体的刻蚀装置的结构示意图。如图3所示,本发明的一种双射频脉冲等离子体的刻蚀装置,包括一个刻蚀腔1,刻蚀腔1的上部和下部分别设有一进气口5和一排气口6。刻蚀腔1内上部设置一上电极2,下部设置一承载硅片4的下电极3。下电极3通过一匹配电路连接一偏置射频功率源模块,且所述偏置射频功率源模块中的选频电路并联一源功率模块。偏置射频功率源模块为变频功率源,以至少两种偏置功率的低频频率交替进行刻蚀。其中,偏置射频功率源模块为两种偏置功率的低频频率交替呈现的变频功率源模块。第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz。第二低频频率的频率范围是1.8至2.3MHz或者360至440KHz。所述源功率模块的频率为40MHz、60MHz、100MHz及120MHz中的一种。

[0085] 图4示出根据本发明的一个具体实施方式的,本发明中的偏置射频功率源模块的模块连接示意图。如图4所示,本发明中的偏置射频功率源模块包括依次串联连接的脉冲信号源、射频偏压发生电路以及选频电路,所述偏置射频功率源模块为变频功率源,用于交替地输出第一低频频率和第二低频频率的偏置功率。所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz。所述第二低频频率的频率范围是1.8至2.3MHz。或者,所述第一低频频率的频率范围是12.8至14.3MHz。所述第二低频频率的频率范围是360至440KHz。

[0086] 所述射频偏压发生电路包括第一低频射频偏压发生器和第二低频射频偏压发生器,所述第一低频射频偏压发生器的一端与所述脉冲信号源相连,另一端连至所述选频电路。所述第二低频射频偏压发生器的一端经一非门与所述脉冲信号源相连,另一端连至所述选频电路。

[0087] 所述选频电路包括第一偏置射频通路和第二偏置射频通路,所述第一偏置射频通路仅通过经过第一低频偏压发生器的脉冲信号,所述第二偏置射频通路仅通过经过第二低频偏压发生器的脉冲信号。

[0088] 所述匹配电路包括第一匹配电路、第二匹配电路和第三匹配电路,所述第一匹配电路仅通过经过第一偏置射频通路的脉冲信号,所述第二匹配电路仅通过经过第二偏置射频通路的脉冲信号,所述第三匹配电路仅通过经过源功率模块的信号。

[0089] 其中,第一低频频率的占空比为10%至90%,优选的占空比为50%。源功率频率的频率为40MHz、60MHz、100MHz及120MHz中的一种。

[0090] 图5示出根据本发明的一个具体实施方式的,实施本发明中的一种双射频脉冲等离子体的刻蚀方法中的两种低频频率的脉冲波形示意图。如图5所示,T_w为脉冲宽度,T_s为脉冲周期。显而易见,在一个脉冲周期内,由于第二低频射频偏压发生器前端的非门的作用,第一低频频率与第二低频频率形成反向脉冲,使得第一低频频率与第二低频频率交替作用于刻蚀腔的下电极,轮流参与对晶片进行刻蚀。而且还可以通过调节脉冲发生器的脉冲周期及占空比就可以达到连续调节粒子密度和离子能量的目的。本发明中,采用源频率在60Mhz连续输出的状态下,交替使用13MHz和2MHz的低频射频信号,以便精细控制晶片表面的离子密度和离子能量,使得关键尺寸本身及其均匀性都能得到连续的精确控制。

[0091] 实施例1

[0092] 继续参考图3和4,本实施例中,采用连续的60MHz源频率信号与脉冲式的13MHz/2MHz低频信号的双频等离子体技术进行刻蚀制程。脉冲信号则由一个脉冲发生器产生,直

接接入13MHz或2MHz射频发生器，并通过一个非门接入另一低频发生器以控制低频射频的频率和开关使得13MHz和2MHz的脉冲相位相反。

[0093] 脉冲式的低频信号由两台13MHz和2MHz的单频信号源分别产生，通过一个选频电路进入到一个匹配电路，受到非门以及选频电路的作用，13MHz和2MHz交替输入到下电极3。

[0094] 继续参考图5，13MHz脉冲的占空比为50%，即13MHz信号和2MHz信号脉冲宽度相等地交替进行刻蚀。通过射频功率源的两种低频频率相互替换的，轮流采用13MHz或2MHz进行刻蚀，缓解了等离子体的离子浓度不足而离子能量仍然较高，以及对离子浓度贡献过大，金属硬掩膜自身的刻蚀速率过大的问题。

[0095] 尤其是，本发明的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法克服了等离子体刻蚀工艺的核心问题：就是在提高刻蚀速率的同时，又能保证刻蚀过程具有较高的均匀性、较高的各向异性以及较低的辐照损伤。

[0096] 而且，本发明通过调节脉冲发生器的脉冲周期及占空比就可以达到连续调节粒子密度和离子能量的目的。这将对28nm刻蚀工艺甚至28nm以下刻蚀工艺中关键尺寸的精确控制提供有力的帮助。

[0097] 当然，实际使用时，本发明的一种双射频脉冲等离子体的刻蚀方法以及刻蚀装置中的第一低频频率会在12.8至14.3MHz的频率范围内自适应变化，不限于13MHz。而所述第二低频频率会在360至440KHz或者1.8至2.3MHz的频率范围内自适应变化，同样不限于2MHz。

[0098] 综上可知，本发明的双射频脉冲等离子体的刻蚀方法及其刻蚀装置通过源功率频率以及两种低频频率相互交替的双频等离子体技术进行刻蚀制程，巧妙结合两种低频频率刻蚀方法，通过调节脉冲发生器的脉冲周期及占空比就可以达到连续调节粒子密度和离子能量的目的，使得关键尺寸本身及其均匀性都能得到连续的精确控制，这将对28nm刻蚀工艺甚至28nm以下刻蚀工艺中关键尺寸的精确控制提供有力的帮助。

[0099] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是，本发明并不局限于上述特定实施方式，本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改，这并不影响本发明的实质内容。

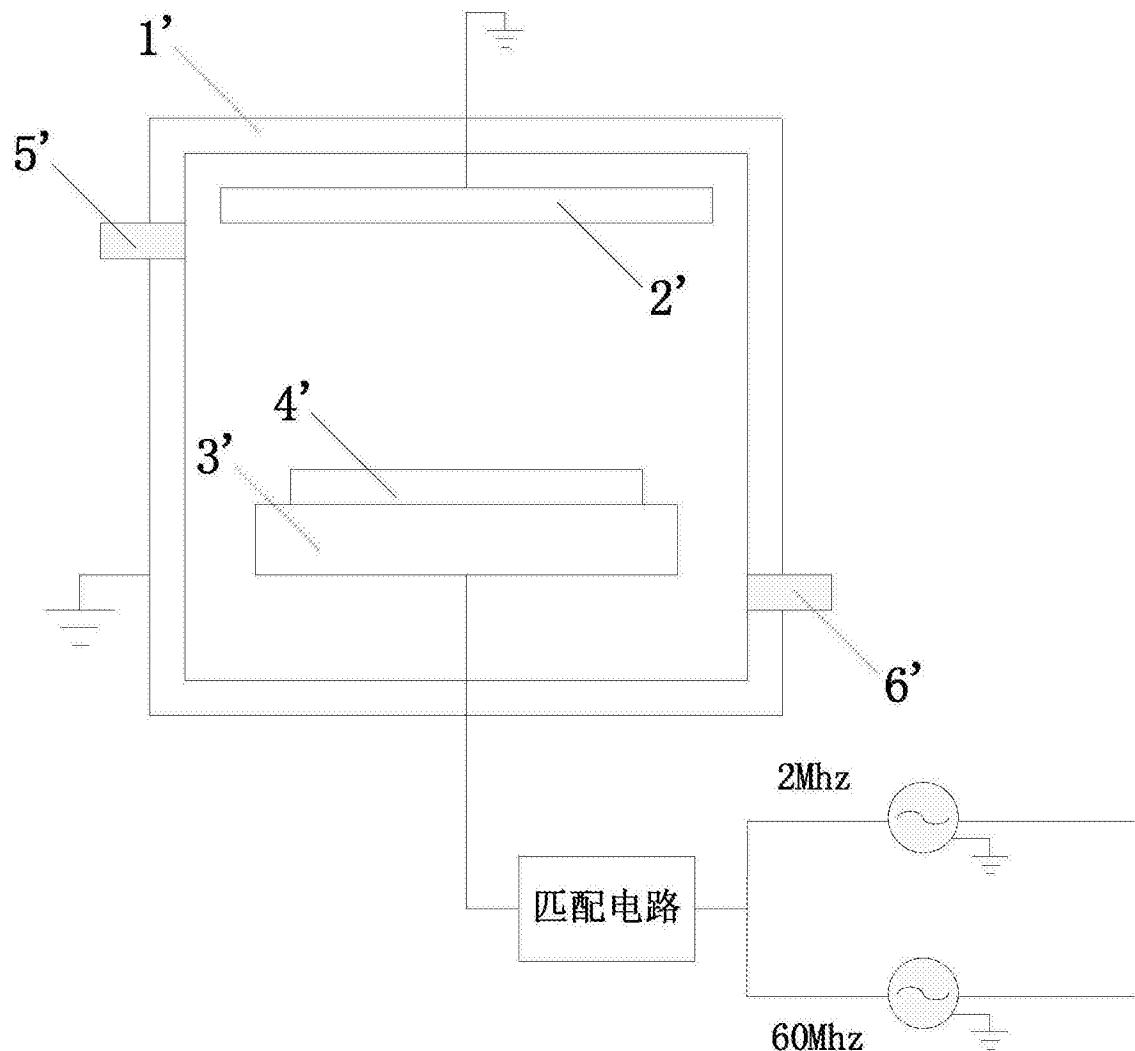


图1

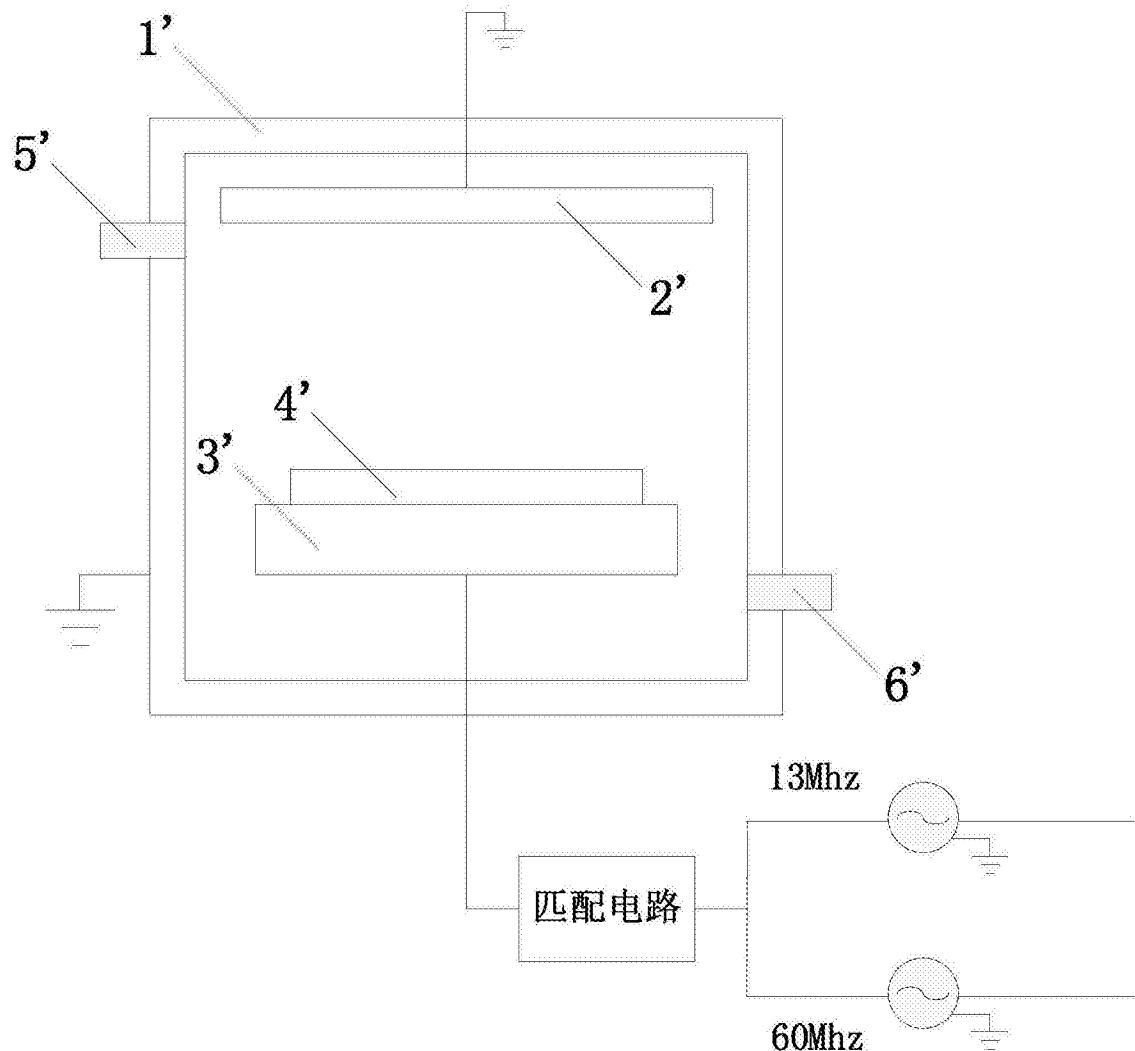


图2

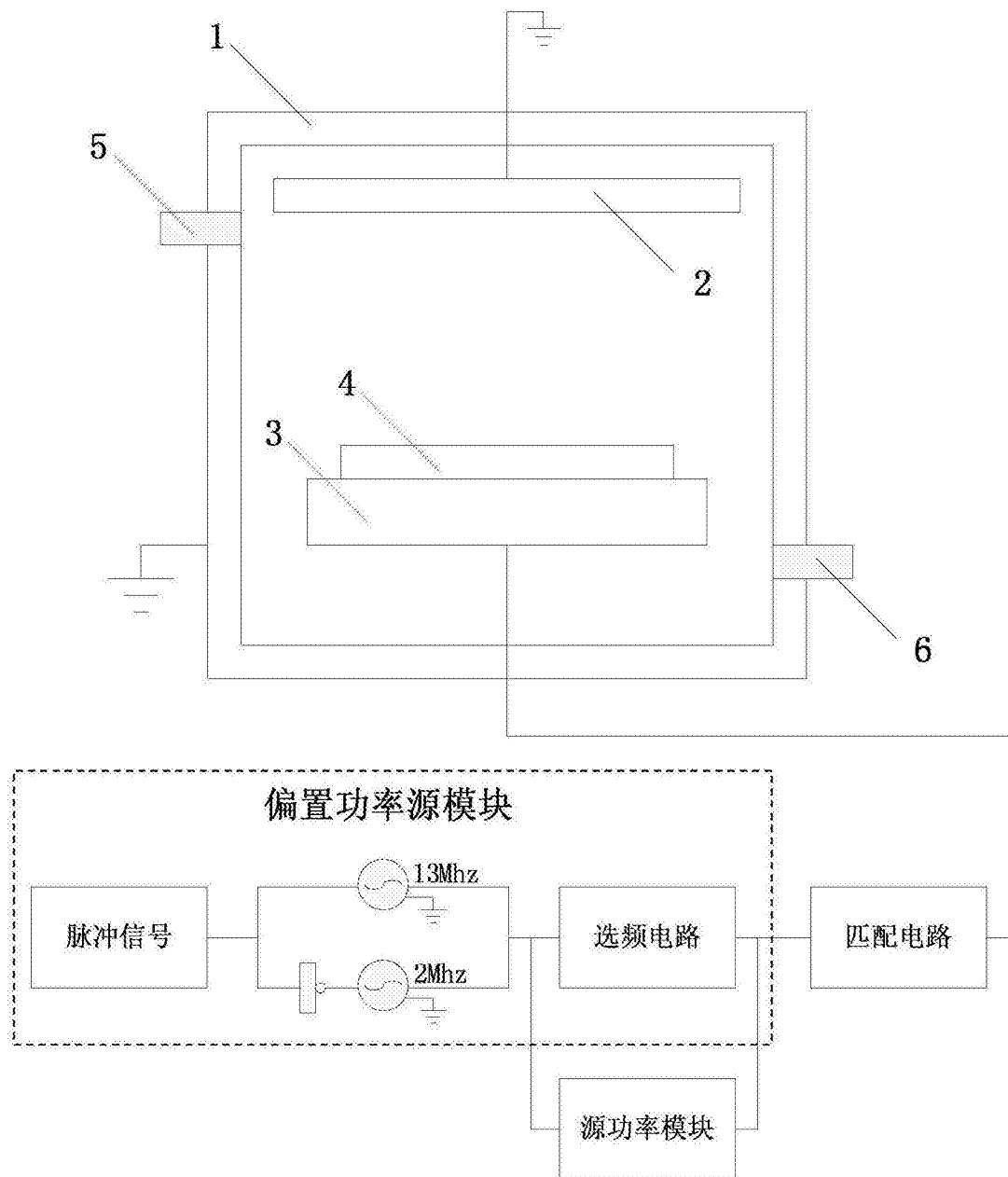


图3

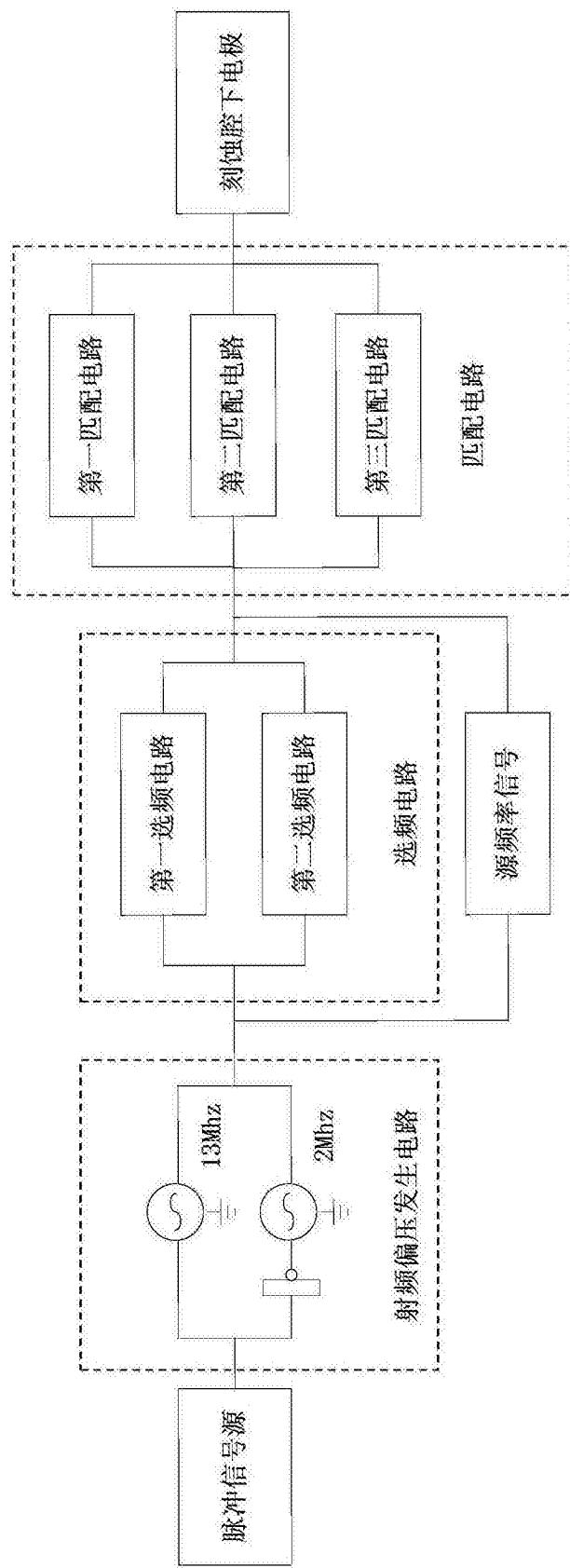


图4

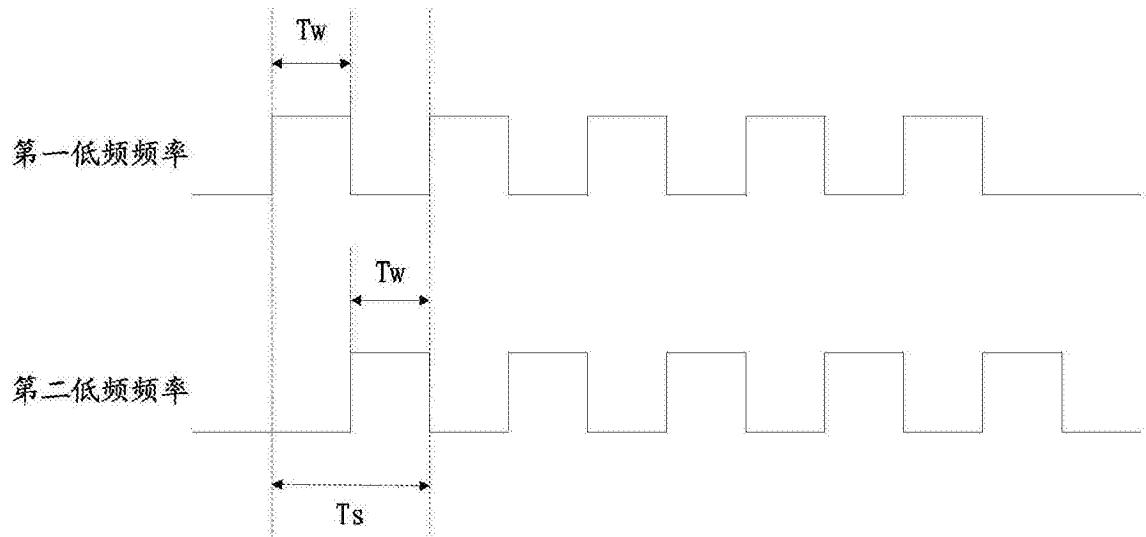


图5