



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109852947 B

(45)授权公告日 2019.10.22

(21)申请号 201910131157.0

(22)申请日 2019.02.22

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 109852947 A

(43)申请公布日 2019.06.07

(73)专利权人 武汉大学
地址 430072 湖北省武汉市武昌珞珈山

(72)发明人 曹强 聂阳天 刘胜 吴改 彭庆

(74)专利代理机构 北京汇泽知识产权代理有限公司 11228

代理人 张涛

(51)Int.Cl.

C23C 16/44(2006.01)

G01N 21/65(2006.01)

(56)对比文件

CN 105092555 A,2015.11.25,

JP 4954014 B2,2012.06.13,

JP H05160040 A,1993.06.25,

CN 204945048 U,2016.01.06,

CN 104134616 A,2014.11.05,

CN 104393116 A,2015.03.04,

审查员 刘德全

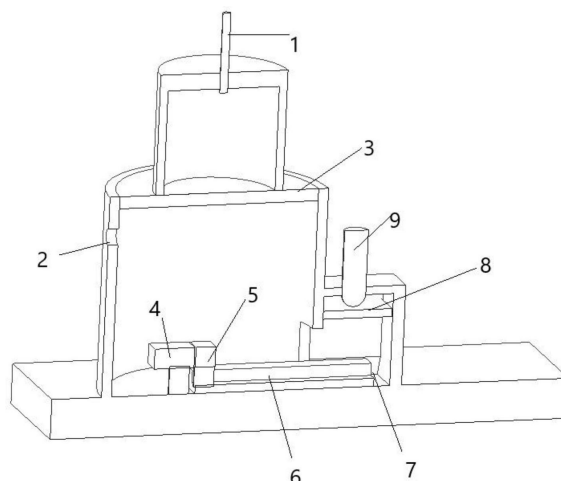
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54)发明名称

一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置

(57)摘要

一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,所述装置包括传动装置、用于对薄膜材料进行化学气相沉积反应的反应腔和用于对薄膜材料进行拉曼光谱原位监测的监测腔,所述反应腔和监测腔相连通,所述反应腔中设置有反应底座,所述监测腔中设置有拉曼光谱监测模块;所述反应底座用于作为薄膜材料生长的基底;所述传动装置用于控制反应底座在反应腔与监测腔之间移动;所述拉曼光谱监测模块用于对移动到监测腔的薄膜材料进行拉曼光谱原位监测。本发明提供一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,解决了在不影响薄膜生长的条件下对薄膜进行原位拉曼检测,进而可实时调整工艺以减少缺陷。



1. 一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特征在于,所述装置包括传动装置、用于对薄膜材料进行化学气相沉积反应的反应腔和用于对薄膜材料进行拉曼光谱原位监测的监测腔,所述反应腔和监测腔相通,所述反应腔中设置有反应底座,所述监测腔中设置有拉曼光谱监测模块;

所述反应底座用于作为薄膜材料生长的基底;

所述传动装置用于控制反应底座在反应腔与监测腔之间移动;

所述拉曼光谱监测模块用于对移动到监测腔的薄膜材料进行拉曼光谱原位监测;

其中,所述拉曼光谱监测模块包括调整反馈处理模块,所述调整反馈处理装置用于根据监测的薄膜材料数据计算薄膜生长的各项参数是否在正常范围。

2. 根据权利要求1所述的包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特这在于,所述传动装置包括传动控制系统和皮带传输机,所述皮带传输机一端置于所述反应腔中,所述皮带传输机另一端穿过反应腔与监测腔之间的通道并延伸至监测腔中,所述反应底座置于所述皮带传输机的传输带上,所述传动控制系统用于根据需求控制皮带传输机正/反转,从而带动反应底座在反应腔与监测腔之间移动。

3. 根据权利要求1所述的包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特征在于,所述反应底座包括固定底座和移动底座,所述固定底座固定于所述反应腔中,所述移动底座置于所述传动装置上,所述传动装置控制反应底座的移动底座在反应腔与监测腔之间移动。

4. 根据权利要求3所述的包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特征在于,所述移动底座中设置有用于给装载于其上的薄膜材料加热的加热装置。

5. 根据权利要求1所述的包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特征在于,所述拉曼光谱监测模块包括拉曼光纤探头,所述拉曼光纤探头用于对移动到监测腔的薄膜材料进行拉曼光谱原位监测。

6. 根据权利要求 5所述的包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特征在于,所述监测腔由一块密封玻璃分割成上下两个空间,密封玻璃之下的空间与所述反应腔连通,密封玻璃之上的空间为独立空间,所述拉曼光纤探头位于密封玻璃之上的空间内且正对需要检测的薄膜材料。

7. 根据权利要求1所述的包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特征在于,所述反应腔内设置有辉光放电装置和射频天线,所述辉光放电装置位于所述反应底座上方,所述射频天线设置于所述反应腔顶部,所述辉光放电装置与所述射频天线在反应底座上方共同构成一个等离子体。

8. 根据权利要求7所述的包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特征在于,所述反应腔由一块电介质玻璃分割成上下两个空间,所述辉光放电装置与反应底座位于所述电介质玻璃之下的空间,所述射频天线位于所述电介质玻璃之上的空间中。

9. 根据权利要求1所述的包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,其特征在于,所述反应腔的左侧设有进气口,所述监测腔底部设有出气口,所述进气口与进气管道连通,所述出气口与出气管道连通,所述出气管道上设有三通阀,用于将出气管道与抽真空管道和反应排气管道相连通,所述抽真空管道的另一端与真空泵相连,所述反应排气管道与抽真空管道上均设有阀门。

一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置

技术领域

[0001] 本发明涉及化学气相沉积装置,具体涉及一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置。

背景技术

[0002] 第三代半导体材料包括金刚石、碳化硅和氮化镓等,具有高热导率、高击穿场强、高饱和电子漂移速率和高键合能等优点,可以满足现代电子技术对高温、高功率、高压、高频以及抗辐射等恶劣条件的新要求,在半导体照明、电力电子器件、激光器和探测器等领域有着重要应用前景。

[0003] 目前,化学气相沉积法是制备金刚石、碳化硅和氮化镓等薄膜的主要方法,但该方法存在一些难以克服的问题。由于反应基底表面必然存在缺陷,以及前驱气体所造成的反应腔内微粒污染,再加上生长温度存在不均匀分布等原因,目前化学气相沉积方法生产的薄膜材料不可避免的存在诸多微观缺陷。半导体工艺发展的关键因素之一便是控制薄膜生长质量,减少生长过程中的缺陷形成,从而在工业上生产出更高质量的半导体薄膜。针对缺陷控制问题,国内外现有多种解决方案,其中包括对化学气相沉积法所生长的薄膜进行原位或在线检测,如专利CN201410668906提出一种纳米硅薄膜太阳能电池椭圆偏振光谱实时监控制备方法,在工作腔室两侧设置真空室,在反应过程中通过椭偏仪测量薄膜光谱参数,从而计算出薄膜生长的结构性息。该专利方法主要在于对材料厚度和折射率的测量,与薄膜生长质量并不直接相关。拉曼光谱仪相比于椭圆偏振光谱监测,能够提供生长过程中薄膜质量变化的关键信息,例如薄膜层数、缺陷、掺杂、应力等,从而多方面判断薄膜材料的生长情况,但是,目前基于椭圆偏振光谱测量的设计不适配于生长过程中的拉曼光谱原位检测。

发明内容

[0004] 为解决上述结束问题,本发明提供一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,解决了在不影响薄膜生长的条件下对薄膜进行原位拉曼检测,进而可实时调整工艺以减少缺陷。

[0005] 一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,所述装置包括传动装置、用于对薄膜材料进行化学气相沉积反应的反应腔和用于对薄膜材料进行拉曼光谱原位监测的监测腔,所述反应腔和监测腔相连通,所述反应腔中设置有反应底座,所述监测腔中设置有拉曼光谱监测模块;

[0006] 所述反应底座用于作为薄膜材料生长的基底;

[0007] 所述传动装置用于控制反应底座在反应腔与监测腔之间移动;

[0008] 所述拉曼光谱监测模块用于对移动到监测腔的薄膜材料进行拉曼光谱原位监测。

[0009] 进一步地,所述传动装置包括传动控制系统和皮带传输机,所述皮带传输机一端置于所述反应腔中,所述皮带传输机另一端穿过反应腔与监测腔之间的通道并延伸至监测

腔中,所述反应底座置于所述皮带传输机的传输带上,所述传动控制系统用于根据需求控制皮带传输机正/反转,从而带动反应底座在反应腔与监测腔之间移动。

[0010] 进一步地,所述反应底座包括固定底座和移动底座,所述固定底座固定于所述反应腔中,所述移动底座置于所述传动装置上,所述传动装置控制反应底座的移动底座在反应腔与监测腔之间移动。

[0011] 进一步地,所述移动底座中设置有用于给装载于其上的薄膜材料加热的加热装置。

[0012] 进一步地,所述拉曼光谱监测模块包括拉曼光纤探头,所述拉曼光纤探头用于对移动到监测腔的薄膜材料进行拉曼光谱原位监测。

[0013] 进一步地,所述监测腔由一块密封玻璃分割成上下两个空间,密封玻璃之下的空间与所述反应腔连通,密封玻璃之上的空间为独立空间,所述拉曼光纤探头位于密封玻璃之上的空间内且正对需要检测的薄膜材料,且所述拉曼光纤探头正对需要检测的薄膜材料。

[0014] 进一步地,所述拉曼光谱监测模块还包括调整反馈处理模块,所述调整反馈处理装置用于根据拉曼光纤探头所测得的薄膜材料数据计算薄膜生长的各项参数是否在正常范围。

[0015] 进一步地,所述反应腔内设置有辉光放电装置和射频天线,所述辉光放电装置位于所述反应底座上方,所述射频天线设置于所述反应腔顶部,所述辉光放电装置与所述射频天线在反应底座上方共同构成一个等离子体。

[0016] 进一步地,所述反应腔由一块电介质玻璃分割成上下两个空间,所述辉光放电装置与反应底座位于所述电介质玻璃之下的空间,所述射频天线位于所述电介质玻璃之上的空间中。

[0017] 进一步地,所述反应腔的左侧设有进气口,所述监测腔底部设有出气口,所述进气口与进气管道连通,所述出气口与出气管道连通,所述出气管道上设有三通阀,用于将出气管道与抽真空管道和反应排气管道相连通,所述抽真空管道的另一端与真空泵相连,所述反应排气管道与抽真空管道上均设有阀门。

[0018] 本发明的有益效果:

[0019] (1) 本发明提供的了一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置,将反应样品转移至监测腔进行拉曼测量,既解决了等离子增强化学气相沉积反应时等离子体辉光对拉曼光谱检测的影响,同时也减小了转移过程中由于温度的变化对薄膜内应力的影响,相对于薄膜生长所需的时间,检测过程所需时间极短,故认为参照与固定底座持续生长的材料在生长进度上能够保持一致,在检试完后可将其送回反应腔中继续生长用于下一次检测。

[0020] (2) 本发明利用拉曼光谱表征,可以在薄膜生长相同环境条件下,对其质量情况进行原位检测,并根据所表征的数据,对腔体中样品生长的工艺参数进行及时调整,从而得到品质可控的薄膜材料,与其它表征手段相比,拉曼光谱分析方法不需要对样品进行预处理和直接接触,减少了对薄膜的影响。其具有分析过程简便,测试时间短,灵敏度高等优点,能够得到生长薄膜结晶质量和杂质含量变化等的重要信息。本发明将拉曼光谱监控反馈技术与等离子增强气相化学制备技术相结合,并确保薄膜制备工艺的可重复性和稳定性。

附图说明

[0021] 图1为本发明实施例提供的一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置的结构示意图；

[0022] 图2为本发明实施例提供的一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置的反应底座的结构示意图；

[0023] 图3为本发明实施例提供的一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置的监测腔的结构示意图；

[0024] 图4为本发明实施例提供的一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置的控制结构示意图；

[0025] 附图标记说明：1-射频天线、2-进气口、3-电介质玻璃、4-固定底座、5-移动底座、6-传动装置、7-出气口、8-密封玻璃、9-拉曼光纤探头、10-等离子体、11-薄膜材料。

具体实施方式

[0026] 下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其它实施例，都属于本发明保护的范围。

[0027] 如图1-3所示，本发明实施例提供一种包含拉曼光谱原位测量腔的化学气相沉积装置，所述装置包括传动装置6、用于对薄膜材料11进行化学气相沉积反应的反应腔和用于对薄膜材料11进行拉曼光谱原位监测的监测腔，所述反应腔和监测腔相连通，所述反应腔中设置有反应底座，所述监测腔中设置有拉曼光谱监测模块；

[0028] 所述反应底座用于作为薄膜材料11生长的基底；

[0029] 所述传动装置6用于控制反应底座在反应腔与监测腔之间移动；

[0030] 所述拉曼光谱监测模块用于对移动到监测腔的薄膜材料11进行拉曼光谱原位监测。

[0031] 上述实施例中，将化学气相沉积系统分为反应腔和监测腔，反应腔内进行化学气相沉积反应，监测腔内进行样品的拉曼光谱原位监测，当需要进行拉曼光谱原位监测时，通过传动装置6将反应底座从反应腔移动到监测腔，通过监测腔中的拉曼光谱监测模块对反应底座上的薄膜材料11进行拉曼光谱原位监测，监测完后再通过传动装置6将反应底座从监测腔移动到反应腔，从而将薄膜材料11送回反应腔中继续生长。本发明解决了等离子增强化学气相沉积反应时等离子体10辉光对拉曼光谱检测的影响，相对于薄膜生长所需的时间，检测过程所需时间极短，故认为参照与固定底座4持续生长的薄膜材料在生长进度上能够保持一致，在检试完毕后可将其送回反应腔中继续生长用于下一次检测。

[0032] 优选地，所述传动装置6包括传动控制系统和皮带传输机，所述皮带传输机一端置于所述反应腔中，所述皮带传输机另一端穿过反应腔与监测腔之间的通道并延伸至监测腔中，所述反应底座置于所述皮带传输机的传输带上，所述传动控制系统用于根据需求控制皮带传输机正/反转，从而带动反应底座在反应腔与监测腔之间移动。

[0033] 上述实施例中，例如，当需要进行拉曼光谱原位监测时，通过传动控制系统控制皮带传输机正转，皮带传输机的传输带带动反应底座从反应腔移动到监测腔进行拉曼光谱原

位监测,检测完后,通过传动控制系统控制皮带传输机反转,带动反应底座从监测腔移动到反应腔,从而将薄膜材料11送回反应腔中继续生长。

[0034] 优选地,所述反应底座包括固定底座4和移动底座5,所述固定底座4固定于所述反应腔中,所述移动底座5置于所述传动装置6上,所述传动装置6控制反应底座的移动底座5在反应腔与监测腔之间移动。

[0035] 进一步地,所述移动底座5中设置有用于给装载于其上的薄膜材料11加热的加热装置。

[0036] 上述实施例中,反应底座由两部分构成,一部分是用于生长的固定底座4,可放置多块薄膜材料11用于生产;另一部分是用于检测的可调温的移动底座5,可专门放置相同的薄膜材料11用于样品检测,控制对移动底座5的温度控制,可减小了转移过程中由于温度的变化对薄膜内应力的影响。

[0037] 优选地,所述拉曼光谱监测模块包括拉曼光纤探头9,所述拉曼光纤探头9用于对移动到监测腔的薄膜材料11进行拉曼光谱原位监测。

[0038] 上述实施例中,所述拉曼光纤探头9用于与拉曼光谱仪电连接,拉曼光纤探头9可作为入射光源,将由拉曼光谱仪发出的激发光入射到薄膜材料11表面,这些光经薄膜散射后光的波长发生变化,这些变化可反映薄膜材料11的一系列现有性质,携带着薄膜信息的散射光透过密封玻璃8后由拉曼光纤探头9收集,传入拉曼光谱仪对其进行探测与分析,从而得到一系列光谱数据。

[0039] 优选地,所述监测腔由一块密封玻璃8分割成上下两个空间,密封玻璃8之下的空间与所述反应腔连通,密封玻璃8之上的空间为独立空间,所述监测腔上部开设有检测口,所述拉曼光纤探头9穿过监测腔上部检测口进入监测腔密封玻璃8之上的空间,且所述拉曼光纤探头9正对需要检测的薄膜材料11。

[0040] 上述实施例中,所述拉曼光纤探头9垂直放置且穿过检测口进入监测腔内以减少外界光干扰,所述密封玻璃8表面经特殊镀膜处理,使得大部分波长的光都能通过而不被吸收、散射或反射。

[0041] 优选地,所述拉曼光谱监测模块还包括调整反馈处理模块,所述调整反馈处理装置用于根据拉曼光纤探头9所测得的薄膜材料11数据计算薄膜生长的各项参数是否在正常范围。

[0042] 上述实施例中,所述调整反馈处理模块中预设有薄膜生长的各项标准参数,所述调整反馈处理装置根据拉曼光纤探头9所测得的薄膜材料11数据及标准参数计算薄膜生长的各项参数是否在正常范围,如出现异常,可通过人工操作或系统自动操作等对腔体中样品生长的工艺参数进行及时调整。

[0043] 优选地,所述反应腔内设置有辉光放电装置和射频天线1,所述辉光放电装置位于所述反应底座上方,所述射频天线1位于辉光放电装置上方且安装于所述反应腔顶部,所述辉光放电装置与所述射频天线1在反应底座上方形成一个等离子体10。

[0044] 优选地,所述反应腔由一块电介质玻璃3分割成上下两个空间,所述辉光放电装置与反应底座位于所述电介质玻璃3之下的空间,所述射频天线1位于所述电介质玻璃3之上的空间中。

[0045] 优选地,所述反应腔的左侧设有进气口2,所述监测腔底部设有出气口7,所述进气

口2与进气管道连通,所述出气口7与出气管道连通,所述出气管道上设有三通阀,用于将出气管道与抽真空管道和反应排气管道相连通,所述抽真空管道的另一端与真空泵相连,所述反应排气管道与抽真空管道上均设有阀门。

[0046] 如图4所示,本发明还可配合一套控制系统,所述控制系统包括总控制系统和子系统,所述子系统包括真空系统、进气排气系统、控温系统、传动控制系统及生产控制系统,所述总控制系统可接受人工操作,根据需求向各子系统发送控制指令,例如,向传动控制系统发送正向移动指令,传动控制系统根据该指令控制皮带传输机正转,从而将反应底座从反应腔移动到监测腔,再例如,向控温系统发送加温指令,控温系统根据加温指令控制加热装置的加热功率。

[0047] 现以此监控氮化硅薄膜的制备,为了实现化学气相沉积装置与拉曼光谱仪的适配,该设计包含如下步骤:

[0048] 步骤一:该化学气相沉积装置由一个专门设计的反应腔和监测腔组成,反应腔的右侧设有通道与监测腔相连,整体密封不与外界环境接触,内部环境统一。反应腔内设有辉光放电装置和反应底座,反应底座由两部分构成,一部分是用于生长的固定底座4,可放置多块薄膜材料11用于生产;另一部分是用于检测的可调温底座,专门放置相同的薄膜材料11用于样品检测,固定底座4尺寸为300mm×300mm,可调温底座尺寸为100mm×100mm。两部分底座在反应时位置相近,反应条件完全一致,且在后续步骤中将以参考样品为代表对其进行检测,以代表本次生长中薄膜的特性,可调温的移动底座5内设有加热电丝,反应中基片温度大约为400℃,需要时可对基底进行加热以维持材料测量过程中温度的稳定。可调温移动底座5置于传动装置6上,传动装置6内设有电机与皮带,可根据指令将可调温的移动底座5平移传送至指定位置。在左侧反应腔设有进气口2,在右侧监测腔底部设有出气口7,出气管道上设有三通阀,分别将出气管道与真空泵和反应排气管道相连,同时排气管道与抽真空管道上均设有阀门。

[0049] 步骤二:当薄膜材料11进入反应腔内后,真空泵开始工作进行抽真空处理。排气管道阀门关闭同时抽真空管道阀门打开,腔内真空程度可由反应腔外真空表读出并实时监控,腔内压力大约为0.12mbar。进行反应时进气口2持续通入高纯氨气和高纯硅烷,气体流量大约为667sccm和1333sccm,同时排气管道阀门开启,之后辉光放电装置开启,射频天线1及反应腔内的装置在反应基底上形成一个等离子体10,微波频率为2.45GHz,功率范围2600W-3200W。此时反应底座上两部分的材料同时进行化学气相沉积反应,装置中采用红外测温测量材料表面温度,而在需要进行检测时,可控温的移动底座5根据传感器所记录的温度对所生长的薄膜提前进行加热,在开始传送至监测腔之前提前进行加热,以维持薄膜温度的恒定防止薄膜内应力的产生,传动装置6可为凹形结构,可调温的移动底座5放置其中,确保其能稳定准确地传送至指定位置。对传动装置6下达指令,将可调温移动底座5上的薄膜材料11平稳地移动到监测腔内指定位置,移动速度为5cm/s,此时固定底座4上的薄膜材料11继续生长,工艺PECVD沉积的膜厚为80nm,相对于薄膜生长过程,监测样品测试所需要的时间很短,通常为3-5分钟,可认为样品材料的移动检测不影响其生长过程,样品具有代表性且与固定底座4持续生长的材料在生长进度上保持一致,在检测完毕后可送回反应腔中继续生长用于下一次检测。

[0050] 步骤三:进行拉曼检测,解析检测结果得到薄膜质量参数,通过对质量参数的分

析,来改进工艺参数。其具体方案是:监测腔顶部设有拉曼光纤探头9检测口,由一块密封玻璃8分割,玻璃之下是反应所需的低气压环境和所需要检测的薄膜,玻璃之上是已校准的拉曼光谱光纤探头,光纤探头垂直放置且穿过检测口进入监测腔内以减少外界光干扰,密封玻璃8表面经特殊镀膜处理,使得大部分波长的光都能通过而不被吸收、散射或反射,需要进行拉曼检测时,先将反应基底传送至指定位置,此时光纤探头可作为入射光源将由拉曼光谱仪发出的532nm激发光入射到薄膜材料11表面,这些光经薄膜散射后光的波长发生变化,这些变化可反映薄膜材料11的一系列现有性质,携带着薄膜信息的散射光透过密封玻璃8后由拉曼光纤探头9收集,传入拉曼光谱仪对其进行探测与分析,从而得到一系列光谱数据,据此可分析出薄膜生长这一时刻其表面以至内部的一些信息,如表面生长缺陷、内部应力分布等等,而通过这些数据,我们可以实时了解薄膜生长状态,调整生产工艺参数,进而达到减少薄膜生长缺陷的目的,例如调整局部温度、前驱气体浓度等等。同时若需要对薄膜其它位置进行检测,则可通过输送指令给传动装置6移动可调温的移动底座5,使需要检测部分置于拉曼光纤探头9之下,重复检测步骤即可。需要注意的是,本发明测试的是高温拉曼光谱,其数据与常温下数据会有一定差异,其差异视具体情况而定。

[0051] 对于本发明所用到的拉曼光谱系统的校准,是以标准硅片为基准进行调试的,其具体做法是在反应生产之前,将标准硅片置于反应底座上,将其传送至检测腔内指定位置。后通过调整拉曼光纤探头9及拉曼光谱仪的所选用的波长、位置、焦距等一系列参数,使得标准硅片的特征峰与理论值能够较好吻合,后固定拉曼光纤探头9以完成校准,这对于本发明的实际应用十分重要。

[0052] 步骤四:根据拉曼光谱所测得的数据对生产工艺调整完毕后,可通过传动装置6将所检测的反应基底传回反应腔内相应位置继续进行化学气相沉积反应,同时关闭移动底座5内的加热装置。这样就实现了通过拉曼光谱表征辅助化学气相沉积装置,在薄膜生长过程进行实时改进以减少其产品缺陷的目的。

[0053] 以上所述仅为本发明的较佳实施例,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

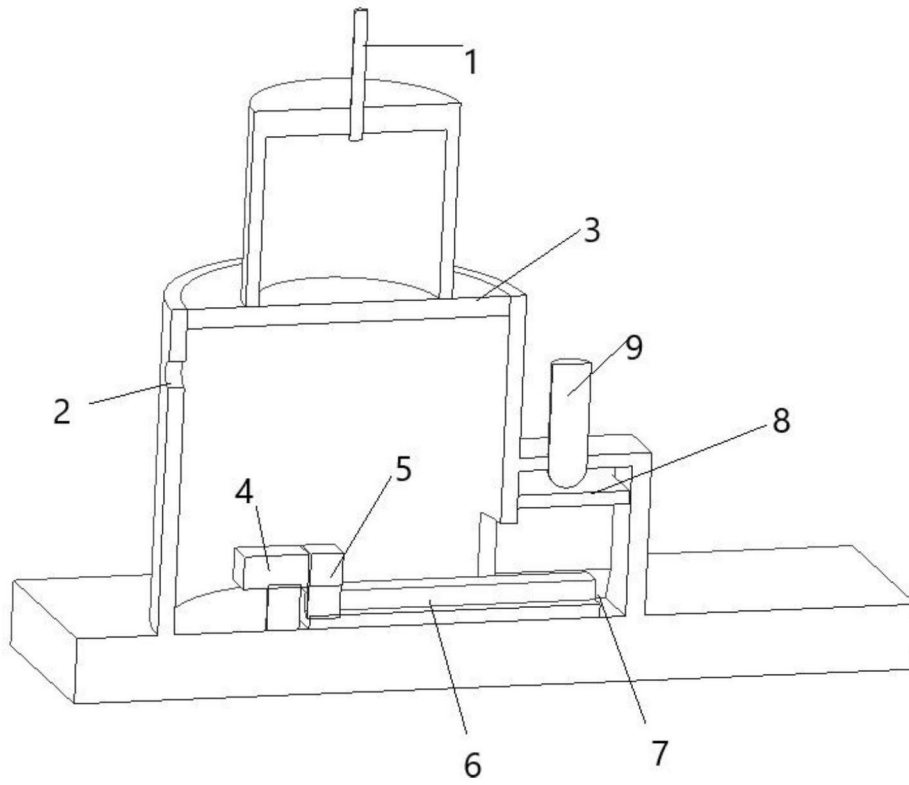


图1

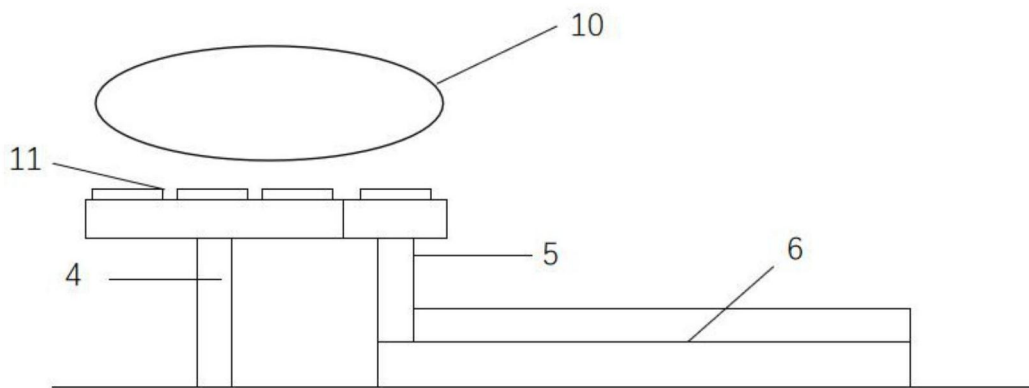


图2

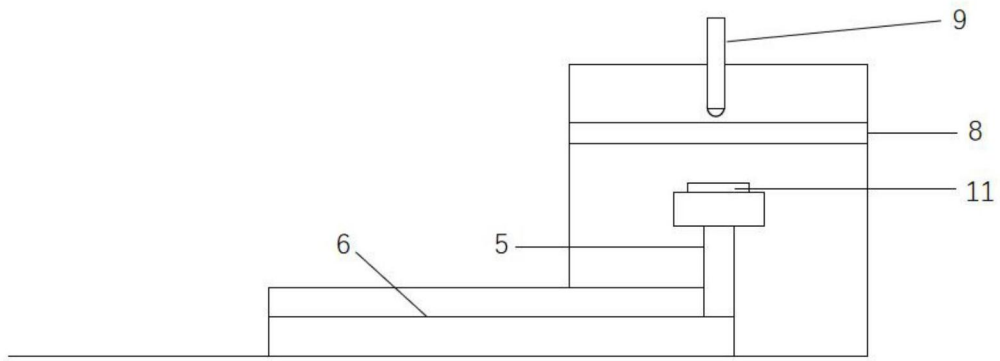


图3

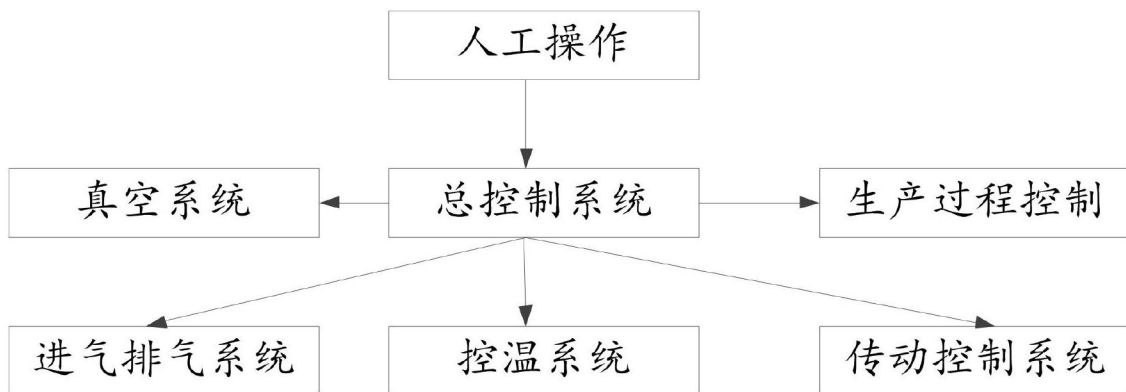


图4