



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113651291 A

(43) 申请公布日 2021. 11. 16

(21) 申请号 202110797789.8

(22) 申请日 2021.07.15

(71) 申请人 复旦大学

地址 200433 上海市杨浦区邯郸路220号

(72) 发明人 陈宜方 李艺杰

(74) 专利代理机构 上海正旦专利代理有限公司

31200

代理人 陆飞 陆尤

(51) Int. Cl.

B81C 1/00 (2006.01)

G21K 1/06 (2006.01)

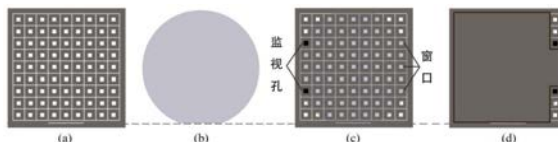
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

一种自支撑微米厚度硅薄膜的制备方法

(57) 摘要

本发明属于微纳光学元件技术领域,具体为一种自支撑微米厚度硅薄膜的制备方法。本发明包括:在双面抛光的SiN_x/Si片上双面旋涂光刻胶,利用光刻掩模版和紫外曝光在正面光刻胶上形成方形窗口阵列作为氮化硅薄膜层的掩膜层,在背面光刻胶上形成与正面边沿方形窗口对齐的两个方形窗口作为硅隔膜厚度监视孔的掩膜层;在反应离子刻蚀机中刻蚀硅片表面露出来的氮化硅薄膜层;去除残余光刻胶,在电感耦合等离子体刻蚀系统中进行深反应离子刻蚀形成微米深度的监视孔,用PMMA光刻胶作为监视孔保护层,最后将硅片放入热KOH溶液中进行湿法腐蚀至监视孔透白光为止,得到自支撑微米厚度的硅隔膜。本发明方法操作简单、工艺稳定,硅隔膜的厚度精确可控。



1. 一种自支撑微米厚度硅隔膜的制备方法,其特征在于,具体步骤如下:

(1) 在双面抛光的 SiN_x/Si 片上,双面旋涂RZJ-304光刻胶,利用紫外曝光的方法在正面光刻胶上形成由若干小正方形窗口以阵列排布方式组成的方形窗口阵列,作为氮化硅薄膜层的掩膜层;在背面光刻胶上形成与正面边沿方形窗口对齐的2个方形窗口,作为硅隔膜厚度监视孔的掩膜层;

(2) 对步骤(1)得到的样品,用RIE分别去除样品正反面露出的 SiN_x 薄膜层,形成硅片的氮化硅掩膜层;

(3) 对步骤(2)得到的样品用丙酮去掉正反面光刻胶;

(4) 对步骤(3)得到的样品,背面朝上,用高温胶带覆盖住监视孔周围的部分,在电感耦合等离子体刻蚀系统中进行DRIE,形成具有几微米深度的监视孔;

(5) 对步骤(4)得到的样品,用PMMA光刻胶封盖监视孔,作为监视孔的保护层;

(6) 对步骤(5)得到的样品,浸入到热KOH溶液中,进行湿法刻蚀,直至监视孔完全透光时,停止湿法硅刻蚀;用去离子水清洗,并自然晾干。

2. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(1)中,所述的双面抛光的 SiN_x/Si 片,采用4 ~ 6英寸、厚度为500 ~ 800 μm 、双面抛光的 $\text{SiN}_x/\text{Si}\langle 100 \rangle$ 片;所述RZJ-304光刻胶旋涂厚度为1000~ 1500 nm;并烘烤使之硬化,烘烤温度为80 $^{\circ}\text{C}$ ~ 100 $^{\circ}\text{C}$,时间为3 ~ 5 min;光刻掩膜版带有隔膜窗口阵列图案、划片线和对准标记;隔膜窗口均为正方形,边长为1 mm ~ 5 mm。

3. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(2)中,在氮化硅的RIE刻蚀过程中,采用的刻蚀气体为 CHF_3 ,气体流量为50 ~ 80 sccm,功率为200 ~ 300 W,时间为4 ~ 10 min。

4. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(4)中,所述DRIE是采用Bosch刻蚀法,通过调节刻蚀周期和气体流量对Bosch工艺进行调控:将钝化气体 C_4F_8 加入到刻蚀步骤中,以抑制横向刻蚀,将钝化周期和刻蚀周期的时间分别为4 ~ 12 s和5 ~ 7 s,以保证低侧壁粗糙度;DRIE刻蚀监视孔深度由所制备的硅隔膜的厚度决定。

5. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(5)中,所述PMMA光刻胶厚度为> 5000 nm,并用烘箱烘烤使之硬化;烘烤时采用逐渐升温法以防止产生过多气泡,温度升高到170 ~ 180 $^{\circ}\text{C}$ 后,烘烤60 ~ 120 min。

6. 根据权利要求1所述的制备方法,其特征在于,步骤(1)中,步骤(6)中,所述KOH溶液浓度为20 ~ 40%,水浴加热温度为50 ~ 80 $^{\circ}\text{C}$,磁力搅拌转速为1200 ~ 1800 rpm/min。

一种自支撑微米厚度硅薄膜的制备方法

技术领域

[0001] 本发明属于微纳光学元件技术领域,具体涉及一种自支撑微米厚度硅薄膜的制备方法。

背景技术

[0002] 自支撑硅薄膜可以用于制作高质量的X射线聚焦和成像元件。目前在X射线成像领域中用到的大多是金属(例如Au)波带片透镜。金属(Au)波带片制作工艺复杂、制备成本高、更重要的是其衍射聚焦和成像的效率低。理论计算的相位型波带片透镜衍射成像效率为40%,但实际波带片透镜由于存在的金属材料对X射线的吸收以及各种缺陷等,测得的衍射效率仅仅5%左右。为了简化制备工艺、降低制备成本、提高透镜的衍射成像效率,发展方向是在自支撑的硅薄膜上制备硅基X射线波带片透镜。因此,研发具有各种厚度(1 μm 至400 μm)硅基薄膜技术是制备包括波带片透镜在内的各种X射线光学部件的前提。制备硅基波带片需要硅薄膜的厚度在1至几微米(对于软X射线)和几微米到几十微米(对于硬X射线)之间,并且波带片需要镂空且自支撑,镂空的波带片可以避免X射线在硅衬底中的吸收而造成波带片的聚焦和成像质量下降。因此非常有必要开发出自支撑微米厚度的硅薄膜,以满足制备高质量的X射线波带片的需要。

[0003] 硅片减薄方法有许多种。现有专利申请号为CN201310425797.5、名称为“一种硅片减薄方法”的发明专利,其技术方案为:“本发明属于半导体集成电路制造工艺,尤其涉及一种硅片减薄方法。步骤1,将保护材料设置在硅片的正面;步骤2,用分阶段研磨的方式对所述硅片进行背面减薄,具体减薄过程分为两个阶段;步骤3,将研磨减薄后的硅片放入腐蚀液中,用磨砂轮以腐蚀速率 v_3 进行湿法腐蚀;步骤4,将保护材料从硅片上去除”。这种方法制备过程中保护膜要有足够的厚度,否则,机械研磨会造成硅薄膜破裂损坏。而且将保护膜去除之后,由于硅薄膜很薄,硅片表面难以抛光。

[0004] 现有专利申请号为CN201110251150.6、名称为“一种基于金属纳米粒子催化的硅片减薄方法”的发明专利,其技术方案为:“本发明采用<100>或<111>硅片,利用丙酮、CP4-A溶液和氢氟酸常温预处理得到清洁的硅表面。配制硝酸银、双氧水、氢氟酸均匀混合的减薄液并放入水浴中预热,把硅片浸入减薄液,通过控制反应时间、温度与溶液配比可获得所需厚度的超薄硅片”。这种方法利用金属纳米粒子催化特性进行硅片均匀腐蚀,利用单步法简化硅片减薄的工艺过程,并保持了近常温、常压下湿法腐蚀的特征,获得厚度小于50 μm 的超薄硅片,并且这种方法获得硅薄片的表面平整度较高($R_a < 10\text{nm}$)。但是这种方法只适用于硅片整体减薄,并且硅片两面同时减薄,原抛光的硅表面不能保持。

[0005] 现有专利申请号为CN201610107954.1、名称为“晶圆背面减薄方法”的发明专利,其技术方案为:“本发明提供了一种晶圆背面减薄方法,包括:第一步骤:提供待减薄晶圆;第二步骤:去除待减薄晶圆背面的损伤层;第三步骤:对待减薄晶圆背面进行氢离子注入;第四步骤:使得待减薄晶圆在大于300 $^{\circ}\text{C}$ 的温度下进行退火,由此使得注入到待减薄晶圆背面的氢离子在晶圆中形成气泡,进而导致待减薄晶圆在气泡处发生分离,以使得硅薄层从

待减薄晶圆分离下来；第五步骤：取走分离下来的硅薄层；第六步骤：判断待减薄晶圆的厚度是否大于第一预定厚度，而且如果待减薄晶圆的厚度大于第一预定厚度，则对剩余的待减薄晶圆重复第三步骤至第五步骤”。这种方法对硅片减薄后，表面很不平整，需要对减薄后的硅片表面进行抛光处理。如果硅片很薄，例如，厚度小于10微米，抛光极易导致硅片损坏。

[0006] 用上述方法减薄的硅片没有本发明所拥有的自支撑能力，上述减薄方法不能够满足制备X射线波带片所需要的自支撑硅隔膜的需要。

[0007] 干法刻蚀和各向异性湿法腐蚀相结合可以制备自支撑氮化硅膜(王付雄,谢婉谊,自支撑氮化硅膜结构制备工艺优化,人工晶体学报,Vol.49(12): 2358-2364(2020))。但是,这种干法刻蚀和各向异性湿法腐蚀相结合的方法无法制备自支撑微米厚度硅隔膜。而且,为了不改变工艺参数,腐蚀出相同厚度的氮化硅隔膜,每次反应后需要更换新的腐蚀剂,这对腐蚀剂是一种浪费,同时增加污染。

发明内容

[0008] 本发明的目的在于提出一种便捷、低廉、新颖、适合于大工业生产的自支撑微米厚度硅隔膜的制备方法,以满足制备X射线光学元件载体的需要。

[0009] 本发明提出的自支撑微米厚度硅隔膜的制备方法,是将紫外曝光、反应离子刻蚀、电感耦合等离子体刻蚀和湿法腐蚀等技术有机结合,制备厚度 $1\mu\text{m}$ 以上,且精确可控的自支撑硅隔膜;包括:在双面抛光的 SiN_x/Si 片上双面旋涂RZJ-304光刻胶,利用光刻掩膜版和紫外曝光在正面光刻胶上形成方形窗口阵列,作为氮化硅薄膜层的掩膜层,在背面光刻胶上形成与正面边沿方形窗口对齐的两个方形窗口,作为硅隔膜厚度监视孔的掩膜层;然后在反应离子刻蚀机中刻蚀硅片表面露出来的氮化硅薄膜层,然后去除残余光刻胶,在电感耦合等离子体刻蚀系统中进行深反应离子刻蚀,形成微米深度的监视孔;用PMMA光刻胶作为监视孔的保护层,最后将硅片放入热KOH溶液中进行湿法腐蚀,至监视孔透白光为止,从而得到制备X射线聚焦和成像元件等方面所需要的自支撑微米厚度的硅隔膜。本发明方法操作简单、工艺稳定,硅隔膜的厚度可精确控制,腐蚀溶液可重复利用。本发明适用于制备硅隔膜从 $1\mu\text{m}$ 到任何厚度的硅隔膜。

[0010] 本发明提出的自支撑微米厚度硅隔膜的制备方法,具体步骤如下:

(1) 在双面抛光的 SiN_x/Si 片上,双面旋涂RZJ-304光刻胶,利用紫外曝光的方法在正面光刻胶上形成由若干小正方形窗口以阵列排布方式组成的方形窗口阵列,作为氮化硅薄膜层的掩膜层;在背面光刻胶上形成与正面边沿方形窗口对齐的2个方形窗口,作为硅隔膜厚度监视孔的掩膜层;

(2) 对步骤(1)得到的样品,用RIE(反应离子刻蚀)分别去除样品正反面露出的 SiN_x 薄膜层,形成硅片的氮化硅掩膜层;

(3) 对步骤(2)得到的样品用丙酮去掉正反面光刻胶,作为监视孔的保护层;

(4) 对步骤(3)得到的样品,背面(监视孔)朝上,用高温胶带覆盖住监视孔周围的部分,在电感耦合等离子体刻蚀系统中进行DRIE,形成具有几微米深度的监视孔;

(5) 对步骤(4)得到的样品,用PMMA光刻胶封盖监视孔;

(6) 对步骤(5)得到的样品,浸入到热KOH溶液中,进行湿法刻蚀,直至监视孔完全

透光时,停止湿法硅刻蚀;用去离子水清洗,并自然晾干。

[0011] 步骤(1)中,所述的双面抛光的 SiN_x/Si 片,采用4~6英寸、厚度为500~800 μm 、双面抛光的 $\text{SiN}_x/\text{Si}\langle 100 \rangle$ 片;所述RZJ-304光刻胶旋涂厚度为1000~1500 nm;并烘烤使之硬化,烘烤温度为80 $^\circ\text{C}$ ~100 $^\circ\text{C}$,时间为3~5 min;光刻掩膜版(铬版)带有隔膜窗口阵列图案、划片线和对准标记;氮化硅隔膜窗口均为正方形,边长为1 mm~5 mm(可按1cm或者2cm的周期排布成阵列)。

[0012] 步骤(2)中,在氮化硅的RIE刻蚀过程中,采用的刻蚀气体为 CHF_3 ,气体流量为50~80 sccm,功率为200~300 W,时间为4~10 min。

[0013] 步骤(4)中,所述DRIE是采用Bosch刻蚀法,通过调节刻蚀周期和气体流量对Bosch工艺进行调控:将钝化气体 C_4F_8 加入到刻蚀步骤中,以抑制横向刻蚀,将钝化周期和刻蚀周期的时间分别为4~12 s和5~7 s,以保证低侧壁粗糙度;DRIE刻蚀监视孔深度由所制备的硅隔膜的厚度决定。

[0014] 步骤(5)中,所述PMMA光刻胶厚度为 >5000 nm,并用烘箱烘烤使之硬化。烘烤时采用逐渐升温法以防止产生过多气泡,温度升高到170~180 $^\circ\text{C}$ 后,烘烤60~120min。

[0015] 步骤(6)中,所述KOH溶液浓度为20~40%,水浴加热温度为50~80 $^\circ\text{C}$,磁力搅拌转速为1200~1800 rpm/min。

[0016] 本发明方法可以分为四个部分:

第一部分,即步骤(1),形成光刻胶掩模板:在 SiN_x/Si 片上旋涂光刻胶,利用紫外曝光的方法在正面光刻胶上形成方形窗口阵列,在背面光刻胶上形成与正面边沿方形窗口对齐的两个方形窗口(作为监视孔窗口,窗口大小为 $2\text{mm}\times 2\text{mm}$),作为后续刻蚀氮化硅薄膜的掩膜层。具体包括:在 SiN_x/Si 片上双面旋涂RZJ-304光刻胶,旋涂厚度为1500 nm,进行前烘;将自制的光刻掩膜版(铬版)覆盖在涂胶后的 SiN_x/Si 片上,分别在紫外光刻机下进行正反面曝光;对曝光后图形进行显影;

第二部分,即步骤(2)和步骤(3),RIE形成氮化硅掩模板:用RIE去除硅片正面方形窗口阵列中的 SiN_x 和硅片背面监视孔窗口中的 SiN_x ,分别形成硅隔膜窗口 SiN_x 掩膜层和用于监视硅隔膜厚度的监视孔 SiN_x 掩膜层;

第三部分,即步骤(4),DRIE形成几微米深度监视孔:在电感耦合等离子体刻蚀系统中对监视孔窗口中的硅进行DRIE,刻蚀深度取决于所要制备的硅隔膜的厚度,其中的DRIE采用的是Bosch工艺;

第四部分,即步骤(5)到步骤(6),湿法腐蚀形成硅隔膜窗口:将PMMA光刻胶滴到监视孔窗口上面,以防止湿法刻蚀硅隔膜中,对监视孔的破坏。滴胶厚度 >5000 nm,并烘干;用热KOH溶液湿法腐蚀硅隔膜窗口中的硅,同时,观察监视孔窗口透过光强的变化,当透过光强达到最大值时,立即停止湿法刻蚀,并取出样品;用去离子水浸泡清洗残余的KOH,并自然晾干。

[0017] 本发明中,对于硅片减薄厚度,是通过监测监视孔是否完全透光来控制的,对刻蚀溶液浓度、温度、搅拌速度并无严格要求,因此每一次刻蚀新的硅片,刻蚀溶液可以重复利用。但是,这些参数对于所制备硅隔膜表面粗糙度有一定的影响。

[0018] 本发明中,制备表面粗糙度比较低的硅隔膜,采用的KOH溶液的浓度为20~40%、水浴温度为50~80 $^\circ\text{C}$,磁力搅拌转速为1200~1800 rpm/min。

[0019] 监视孔的对准是通过铬掩膜版的对准标记实现的。由于4英寸圆形硅片有一个边缘呈直线,将其与铬掩膜版的直线标记对准,可以实现硅片的正反面对准,并进行紫外曝光,从而实现背面监视孔窗口与正面硅隔膜窗口对齐。

[0020] 本发明方法操作简单,工艺稳定,硅隔膜的厚度可精确控制,腐蚀液可重复利用。

[0021] 本发明方法的具体操作流程如下

- (1) 选用双面抛光 SiN_x/Si 片,并清洗;
- (2) 在硅片正反面分别均匀旋涂光刻胶,进行前烘处理;
- (3) 在紫外曝光系统中分别对硅片正反面的光刻胶进行接触式掩膜曝光,然后显影,形成光刻胶掩模板;
- (4) 用RIE刻蚀光刻胶掩膜窗口中的氮化硅;
- (5) 用丙酮去掉正反面残余的光刻胶;
- (6) 用高温胶带覆盖住硅片背面监视孔周围部分,然后用电感耦合等离子体刻蚀系统刻蚀硅片背面的监视孔,刻蚀完毕去除高温胶带;
- (7) 在监视孔上面滴PMMA光刻胶,并烘干;
- (8) 将样品浸没在KOH溶液中,进行湿法腐蚀,并监测监视孔透过光强的变化,当透过光为白光时,停止湿法腐蚀,取出硅片;
- (9) 用去离子水浸泡清洗干净并自然晾干。

附图说明

[0022] 图1是所设计的硅隔膜窗口、划片标记和正反面对准标记版图。其中,(a)是定制的4寸Cr掩模版图案,(b)为直边对齐而刻蚀的正面掩模版,(c)为在 SiN_x/Si 衬底上的背面Cr掩模版图案,(d)为通过将(a)掩模版中心部分遮挡而得到图案。

[0023] 图2到图11按照本发明上述的制作步骤的顺序,分别对应实施例1中10个步骤中的10个样品结构的剖面图(反映出样品结构发生变化情况)。

[0024] 图3对应步骤1:清洗 SiN_x/Si 片。

[0025] 图4对应步骤2:在硅片上旋涂光刻胶。

[0026] 图5对应步骤3:紫外曝光后显影形成的掩膜图形。

[0027] 图6对应步骤4:用RIE刻蚀光刻胶掩膜窗口中的氮化硅。

[0028] 图7对应步骤5:丙酮去掉正反面光刻胶。

[0029] 图8对应步骤6:电感耦合等离子体刻蚀硅片背面的监视孔。

[0030] 图9对应步骤7:监视孔上面滴PMMA光刻胶。

[0031] 图10对应步骤8:KOH溶液湿法刻蚀。

[0032] 图11对应步骤9:去离子水清洗,自然晾干。

[0033] 图12是本发明所实现的微米厚度硅隔膜示意图。

[0034] 图13是本发明所制备的厚度为 $3.8\ \mu\text{m}$ 的自支撑硅隔膜截面的SEM图。

[0035] 图14是本发明所制备的厚度为 $12\ \mu\text{m}$ 的自支撑硅隔膜截面的SEM图。

[0036] 图15是本发明所制备的厚度为 $26\ \mu\text{m}$ 的自支撑硅隔膜截面的SEM图。

[0037] 图16是本发明所制备的硅隔膜在不同刻蚀条件下的Si(100)表面形貌的SEM像(45° 角度)。

[0038] 图17是本发明所制备的硅隔膜Si (100) 面的刻蚀速率随着乙醇添加剂浓度的变化图。

[0039] 图中标号:1为SiN_x,2为Si,3为RZJ-304光刻胶,4为高温胶带,5为PMMA,6为实施例3中自支撑硅隔膜的左侧部分,7为实施例3中自支撑硅隔膜的中部,8为实施例3中自支撑硅隔膜的右侧部分,9为实施例3中SiN_x+硅薄膜层,10为实施例3中Si支撑臂与隔膜之间的夹角。11为窗口,12为监视孔。

具体实施方式

[0040] 下面结合图对本发明的实施以实例方式作进一步描述,但本发明不仅限于实例。凡是对实施例中的工艺参数进行了简单的改变,都属于本发明保护范围之内。

[0041] 图1是Cr掩模版图案,其中,图1(a)是定制的4寸Cr掩模版图案,正方形窗口的大小为1 mm×1 mm 到5 mm×5 mm为宜,在下面的直条透光狭缝是为了与Si片(图1(b))直边对齐而刻蚀的。正面掩模版(图1(d))可以通过将图1(a)掩模版中心部分遮挡而得到。图1(c)是在SiN_x/Si衬底上的背面Cr掩模版。在正面(图1(d))和背面(图1(c))掩模版上的黑色方孔是监视用对准孔。

[0042] 实施例1:自支撑硅隔膜的制备:

(1)选用电阻率为1~10 Ω·cm的P型双抛SiN_x/Si<100>片衬底,氮化硅厚度为100nm,并将硅片清洗干净。首先将SiN_x/Si片放入丙酮中浸泡,此过程结合超声处理10min。然后将SiN_x/Si片放入异丙醇溶液中浸润5 min后取出用氮气枪吹干硅片,结果如图2所示;

(2)在SiN_x/Si片正反面分别旋涂HMDS粘附层之后再旋涂1500 nm厚的RZJ-304光刻胶,并在100℃烘架上中烘烤3 min,结果如图3所示;

(3)将样品正面对准铬掩模版标记后在紫外光刻机下进行曝光处理,时间为24 s;将样品反面对准铬掩模版标记,并用不透光黑色胶片对铬掩模版边沿两个窗口的周围区域遮光处理后,在紫外光刻机下进行曝光处理,时间为24 s;

(4)在温度为24 ℃的RZX-3038溶液中显影至隔膜窗口位置无红色光刻胶,之后在去离子水中清洗,氮气吹干,结果如图4所示;

(5)RIE刻蚀硅片正面窗口阵列和反面监视孔窗口中露出的SiN_x;采用的刻蚀气体为CHF₃,气体流量为50 sccm,功率为300 W,时间为8 min。结果如图5所示;

(6)用丙酮去掉正反面光刻胶;结果如图6所示;

(7)用高温胶带覆盖住硅片背面监视孔周围部分,然后在电感耦合等离子体刻蚀系统中采用Bosch刻蚀工艺刻蚀硅片背面的监视孔,刻蚀完毕去除高温胶带;刻蚀工艺中钝化周期和刻蚀周期的时间分别为5 s和12 s,下极板冷却温度为25 ℃,C₄F₈气体流量为85sccm且气压为19 mtorr,刻蚀周期中的气压为37 mtorr,并且在刻蚀周期中也加入了85sccm的C₄F₈,线圈功率和极板功率的分别为600 W和20 W,SF₆气体流量为135 sccm,刻蚀时间为4 min,刻蚀的硅模板监视孔深度约为4 μm。刻蚀结果如图7所示;

(8)在监视孔上面滴厚度>5000 nm 的PMMA光刻胶,并用烘箱烘烤使之硬化。烘烤时采用逐渐升温法以防止产生过多气泡,温度升高到180℃后,烘烤60 min。结果如图8所示;

(9)采用添加有乙醇的KOH溶液,在恒温水浴锅中,以1800 rpm/min转速下磁力搅

拌,对Si进行湿法刻蚀。从邻近刻蚀完成前半个小时左右开始,每间隔几分钟,将样品从刻蚀溶液中取出,用光功率计监测监视孔透过光强的变化。如果透过光小于入射光强,说明监视孔没有被刻蚀透,样品厚度比要求的厚,将样品放入刻蚀溶液继续刻蚀;如果透光过强等于入射光强,也就是说透射光强达到了最大值,说明监视孔刚好被刻蚀透,样品厚度达到了要求的厚度,停止湿法腐蚀,结果如图9所示;

(10) 去离子水浸泡清洗硅隔膜样品,去除残留的KOH溶液,并自然晾干。结果如图10所示;最后再将样品切成小单元,如图11所示。

[0043] 实施例2:厚度为3.8、12、26 μm 的自支撑硅隔膜的制备:

工艺步骤与实施例1相同,其控制DRIE刻蚀时间,使得正面监视孔的深度分别等于3.8、12和26 μm 。Si的刻蚀条件为:40wt% KOH+10%乙醇,刻蚀温度为80 $^{\circ}\text{C}$,磁力搅拌转速为1800 rpm/min。用SEM测量Si各项异性刻蚀的自支撑硅隔膜的形貌和隔膜厚度。

[0044] 实施例3:Si的刻蚀参数对硅隔膜(111)面刻蚀速率和Si (100)表面形貌的影响:

工艺步骤与实施例1相同。Si刻蚀条件为:刻蚀温度分别为50 $^{\circ}\text{C}$ 和80 $^{\circ}\text{C}$,磁力搅拌转速为1800 rpm/min,KOH的浓度分别为20wt%和40 wt%,用纯的KOH溶液和分别添加浓度分别为5%、10%的乙醇添加剂刻蚀,刻蚀5h。用台阶仪测量刻蚀深度,用SEM测量表面的结构和粗造度。

[0045] 以上实施例均可以在SiN_x/Si (100)基片上制备出厚度可以精确控制的自支撑硅隔膜,具体见图12-14。所制备的硅隔膜Si (100)面的刻蚀速率和表面粗造度见图15和图16。

[0046] 图12为所制备的厚度为3.8 μm 的自支撑硅隔膜的左侧部分6,中部7和右侧部分8的SEM像。100 nm厚的SiN_x+硅薄膜层9的厚度为3.8 μm ,测量误差为 ± 10 nm;Si支撑臂与隔膜之间的夹角10为53.5 $^{\circ}$,测量误差为 $\pm 0.5^{\circ}$ 。

图13为所制备的厚度为12 μm 的自支撑硅隔膜的左侧部分6,中部7和右侧部分8的SEM像。100nm厚的SiN_x+硅薄膜层9的厚度为12 μm ,测量误差为 ± 10 nm;Si支撑臂与隔膜之间的夹角10为53.5 $^{\circ}$,测量误差为 $\pm 0.5^{\circ}$ 。

图14为所制备的厚度为26 μm 的自支撑硅隔膜的左侧部分6,中部7和右侧部分8的SEM像。100nm厚的SiN_x+硅薄膜层9的厚度为26 μm ,测量误差为 ± 10 nm;Si支撑臂与隔膜之间的夹角10为53.5 $^{\circ}$,测量误差为 $\pm 0.5^{\circ}$ 。

图15为所制备的厚度为680nm和1.2 μm 的自支撑硅隔膜的中部7的SEM像。100nm厚的SiN_x+硅薄膜层9的厚度分别为680nm和1.2 μm ,测量误差为 ± 10 nm;Si支撑臂与隔膜之间的夹角10为53.5 $^{\circ}$,测量误差为 $\pm 0.5^{\circ}$ 。

图16是在不同的刻蚀条件下刻蚀5h时Si (100)表面的SEM像。由图可见,40 wt% KOH+10%乙醇在80 $^{\circ}\text{C}$ 刻蚀时, Si (100)表面最光滑,表面粗造度可以由纯KOH溶液刻蚀时的十几微米下降两个数量级。

[0047] 图17是在不同20wt%和40wt%的KOH在80 $^{\circ}\text{C}$ 时, Si (100)面的刻蚀速率随着乙醇添加剂浓度的变化。添加10%的乙醇可以使刻蚀速率加倍。

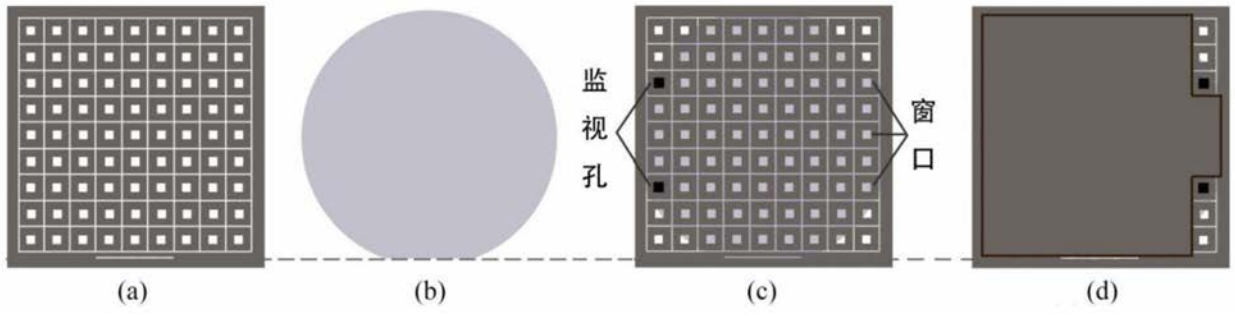


图1



图2



图3

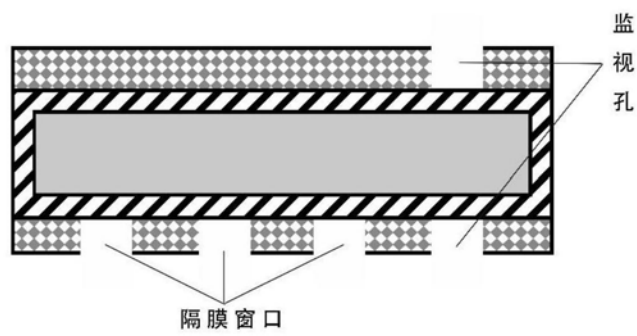


图4

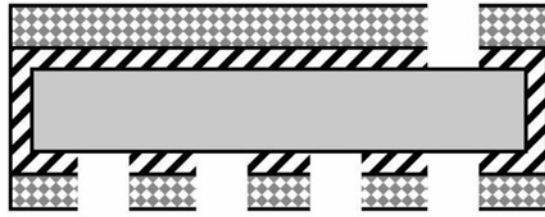


图5



图6

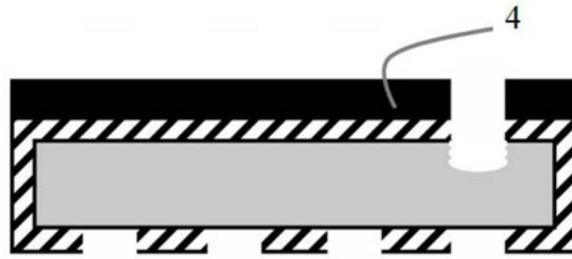


图7

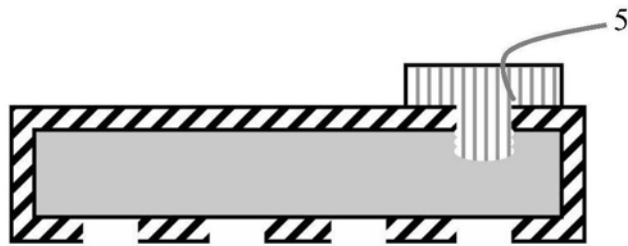


图8



图9

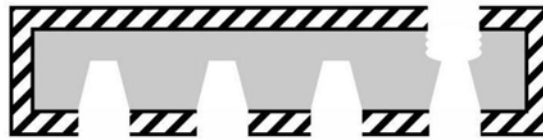


图10



图11

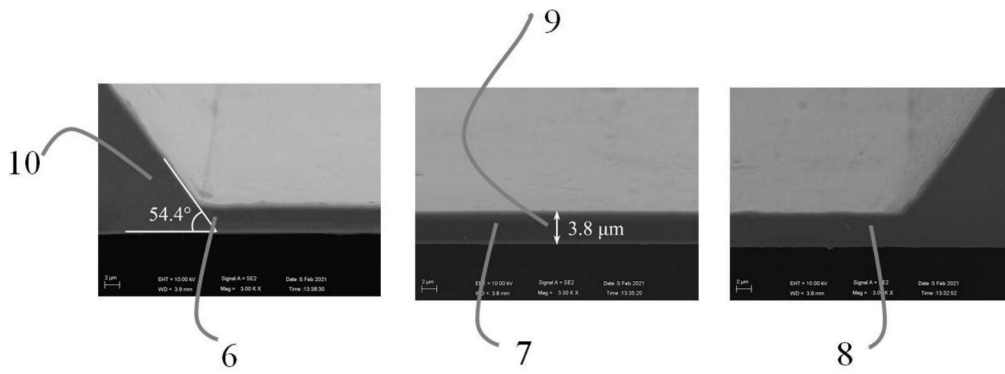


图12

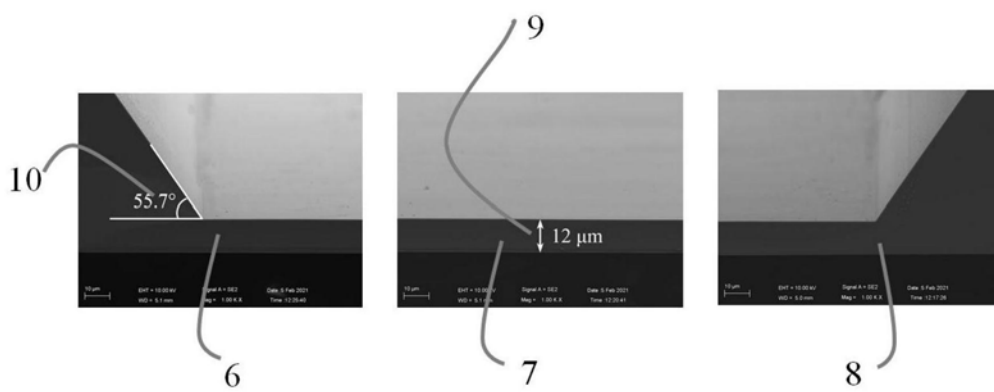


图13

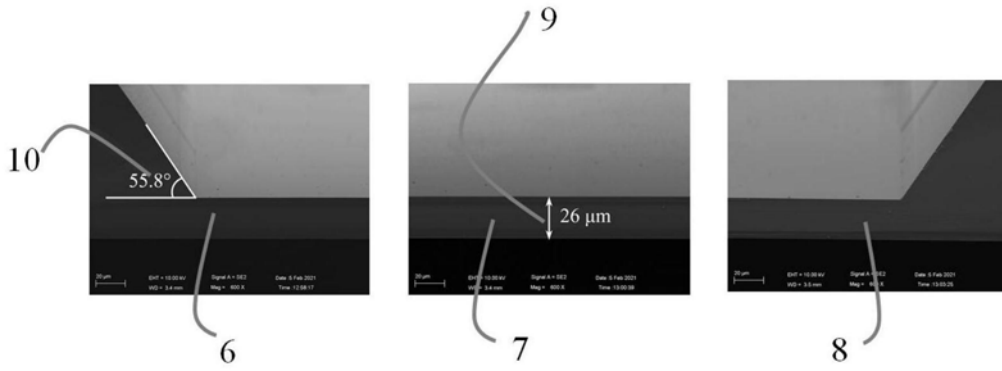


图14

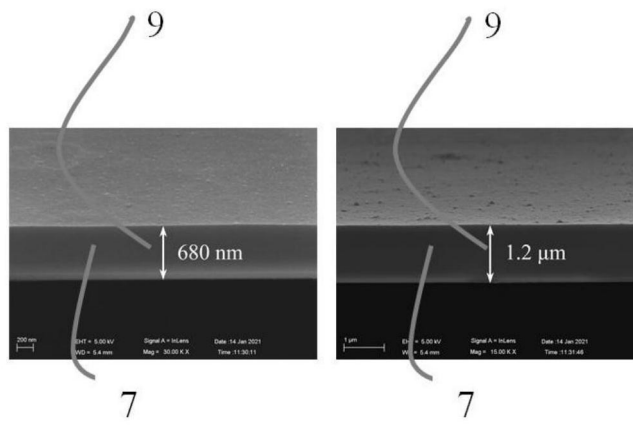
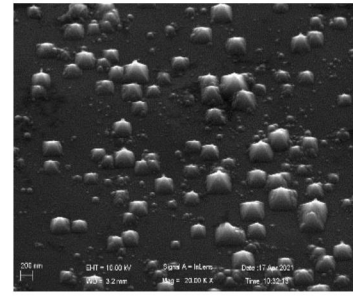
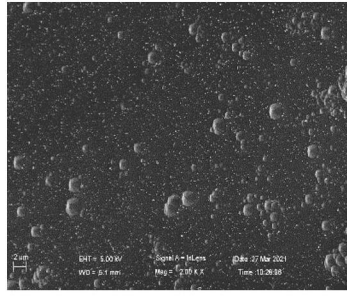
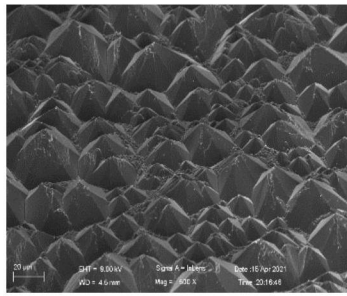
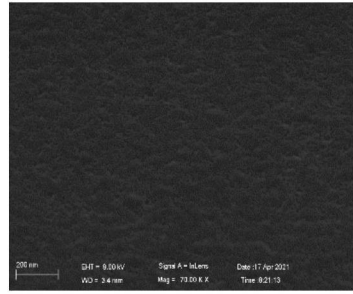
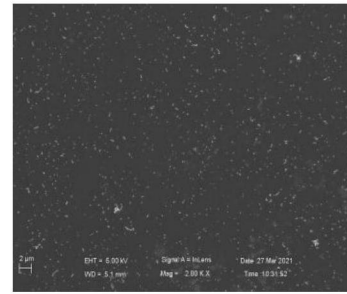
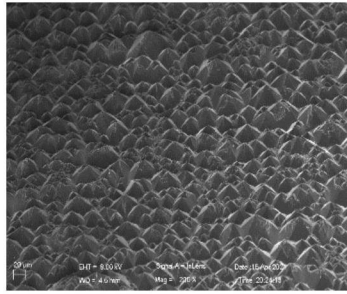


图15



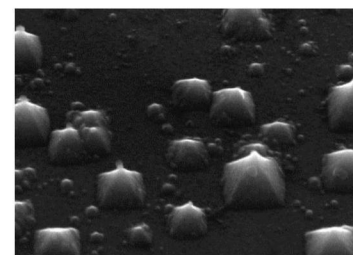
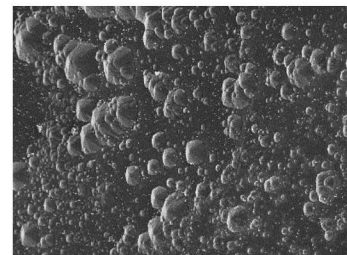
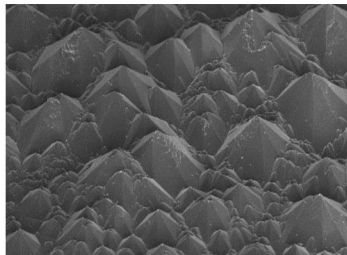
纯 40 wt% KOH 在 50°C 40 wt% KOH+5% ethanol 在 50°C 40 wt% KOH+10% ethanol 在 50°C



纯 40 wt% KOH 在 80°C

40 wt% KOH+5% ethanol 在 80°C

40 wt% KOH+10% ethanol 在 80°C



纯 20 wt% KOH 在 80°C

20 wt% KOH+5% ethanol 在 80°C

20 wt% KOH+10% ethanol 在 80°C

图16

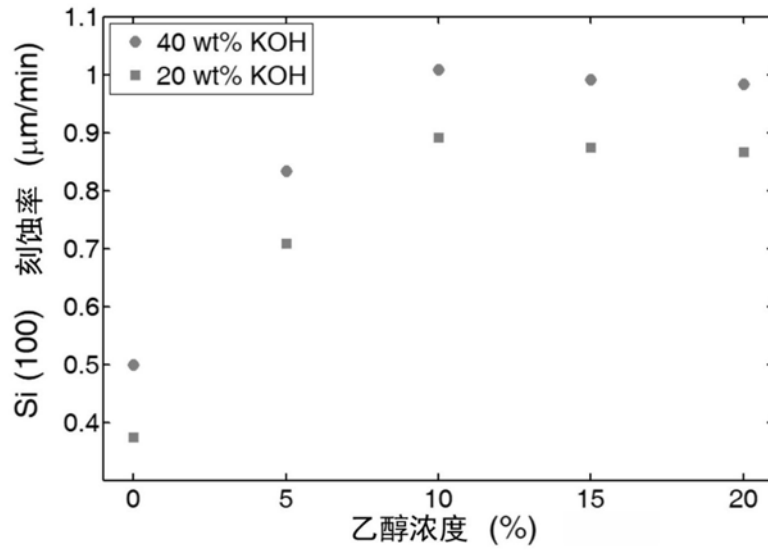


图17