



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111095482 B

(45) 授权公告日 2024.06.28

(21) 申请号 201880059897.1

(22) 申请日 2018.09.12

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 111095482 A

(43) 申请公布日 2020.05.01

(30) 优先权数据  
1714802.4 2017.09.14 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.03.16

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2018/074649 2018.09.12

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/053082 EN 2019.03.21

(73) 专利权人 爱尔兰国立高威大学  
地址 爱尔兰高威市

(72) 发明人 杰拉德·奥康纳 纳扎尔·法里德  
皮纳基·达斯古普塔

(74) 专利代理机构 北京同立钧成知识产权代理  
有限公司 11205  
专利代理师 彭雪瑞 臧建明

(51) Int.Cl.  
H01L 21/02 (2006.01)  
H01L 21/268 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 2009130795 A1, 2009.05.21  
US 2010075487 A1, 2010.03.25  
US 2017025541 A1, 2017.01.26

审查员 李静

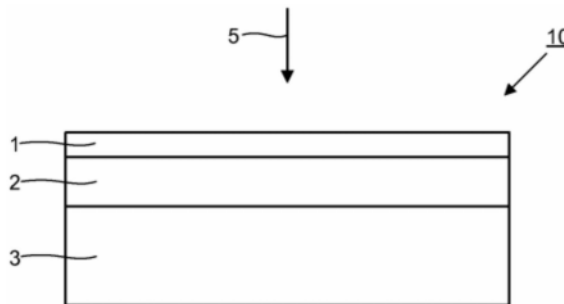
权利要求书1页 说明书8页 附图4页

(54) 发明名称

处理靶材料的方法

(57) 摘要

公开了一种处理靶材料的方法。在一种布置中,用辐射束照射多层结构。多层结构至少包括包含靶材料的靶层和不包含靶材料的附加层。附加层是金属的。在多层结构的照射期间,靶层通过附加层被照射。能量从辐射束到靶层以及到附加层的传递使得在靶层中引起热诱导变化。热诱导的变化包括以下一种或多种:靶材料中的晶体生长,靶材料中的载流子迁移率增加,靶材料中的化学稳定性增加以及靶材料中电性能的均匀性增加。



1. 一种处理靶材料的方法,包括:  
用辐射束照射多层结构,所述多层结构至少包括包含所述靶材料的靶层和不包含所述靶材料的附加层,其中:  
所述附加层是金属的;  
在所述多层结构的照射过程中,通过所述附加层照射所述靶层;  
能量从所述辐射束到所述靶层以及到所述附加层的转移使得在所述靶层中引起热诱导变化,所述热诱导变化包括所述靶材料中的晶体生长;以及  
在所述靶层中发生了热诱导变化之后,对所述多层结构的照射导致至少所述附加层被照射的部分与所述靶层分离。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中,选择所述辐射束的能量密度,使得在所述辐射束的照射期间,所述靶层的任何部分都没有进入熔融相而实现所述热诱导变化。
3. 根据权利要求1所述的方法,其中,选择所述辐射束的能量密度,使得在所述辐射束的至少一部分照射期间,所述靶层的至少一部分进入熔融状态。
4. 根据前述权利要求中任一项所述的方法,其中,所述附加层的厚度小于200nm。
5. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述辐射束是脉冲激光束。
6. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述辐射束的单个脉冲导致所述靶材料中的晶体生长。
7. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述脉冲持续时间小于1ns。
8. 根据权利要求5所述的方法,其中,所述脉冲激光束包括IR或可见辐射。
9. 根据权利要求5所述的方法,其中,将多个脉冲施加到要促进晶体生长的所述靶材料的每个区域,其中,在每个所述区域中,第一脉冲引起晶体生长,而后一个脉冲引起晶体进一步生长。
10. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述靶材料包括非晶硅。
11. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述靶材料包括透明导电材料。
12. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述靶材料包括铟镓锌氧化物。
13. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述靶材料包括电介质材料。
14. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述靶材料包括金属或金属氧化物。
15. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述附加层包括钼或钨。
16. 根据权利要求1-3中任一项所述的方法,其中,所述靶材料包括非晶硅,所述附加层包括钼或钨,并且由所述辐射束的单个脉冲提供的能量密度在50-125mJcm<sup>-2</sup>的范围内。

## 处理靶材料的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及处理靶材料以引起靶材料的热诱导变化,例如晶体生长或改善的均匀性。本发明特别涉及在诸如显示器的电子设备的制造过程中处理半导体材料,但是也适用于其它材料。

### 背景技术

[0002] 已知处理金属或半导体材料以促进晶体生长并由此改善电性能。例如,由于材料变得更接近于完美规则的单晶,因此增加微晶的尺寸通常会增加载流子迁移率(从而降低电阻率)。用于驱动晶体生长的技术需要提供能量以通过原子扩散来驱动原子的重新定位和/或成核先前不存在的晶相。此类技术可能还需要在处理过程中保持其它属性,例如透明度(例如在显示器或PV应用的情况下)。

[0003] 多晶硅(Polycrystalline silicon, poly-Si)在大面积电子设备中用作薄膜晶体管中的有源层和/或掺杂层。多晶硅可以例如用于诸如LCD或AMOLED的显示器的TFT中。TFT由源极、漏极和栅极组成。当集成在显示设备上时,多晶硅栅极材料必须具有高导电性。另一个应用是在光伏(photovoltaic, PV)电池中,其中需要高度结晶、高度透明的层以有效地提取光生电荷。

[0004] 可以通过非晶硅(a-Si)的固相结晶形成多晶硅,其中基板(例如玻璃)可以支撑所涉及的相对较高的温度(至少300°C)。对于其它基板,例如在柔性屏幕上制造数字显示器可能需要的塑料基板,或者在要结晶的a-Si附近存在其它温度敏感组件的地方,需要不同的技术。

[0005] 一种最近开发的方法是激光结晶,其使用短的高强度UV激光脉冲将a-Si加热到硅的熔点以上,而不会熔融或损坏基板和/或任何周围的温度敏感组件。此过程合并了称为超横向生长(super lateral growth, SLG)和顺序横向凝固(sequential lateral solidification, SLS)的过程。激光脉冲被材料吸收,从而通过从非晶态固体加热到熔融状态,然后快速冷却以形成多晶材料,导致相位变化。必须仔细控制激光脉冲的持续时间和热影响区的大小。必须显著提高非晶态材料的温度,以使晶畴成核。例如,据报道“本体”结晶温度600至800°C的范围内,a-Si具有约11.95kJ/mol的结晶焓。SLG和SLS是经过优化的过程,可产生这种局部温度并在快速冷却时建立定向晶体。通过控制熔融硅的冷却,可以形成具有可控制的微晶尺寸范围的poly-Si。

[0006] 多年来,准分子激光源已用于改善poly-Si材料的结晶度(或将a-Si转换为poly-Si)。激光在紫外线下在308nm处工作,以便将能量耦合到硅中,硅在可见波长下是透明的。使用了长线光束(例如750mm×0.030mm)。长线光束是为了确保大面积的显示器(电视、公共屏幕等)可以以最高的速度覆盖“第10代”(G10)片材(2880mm×3130mm)。准分子激光器的重复频率较低(300-600Hz),有效地实现每个位置通常需要20个激光脉冲的重结晶。这限制了处理速度。光束的均匀性也需要保持较高水平,以确保每个晶体管都进行相同程度的退火。整个典型的G10面板中可能散布着大约10亿个TFT晶体管。

[0007] 可以包括保温层,以辅助基于准分子的激光诱导的结晶过程。这种保温层包括电介质材料,例如硅的氧化物和氮化物。它们沉积在将要结晶的非晶层附近。保温层的厚度通常约为一微米或更大。在激光诱导的结晶过程的整个过程中,保温层都保持附着在材料上。可以使用用作保温层的图案化介电层来优先辅助激光诱导的结晶过程,其中介电层与要结晶的层直接相邻。使用电介质层是因为认为在这种情况下金属层会抑制结晶过程。

[0008] 已经提出了使用在10kHz下工作的多模绿色激光器的替代技术,作为准分子激光器的低成本替代方案,但这些技术尚未在业界得到广泛采用。

[0009] 另一种方法是金属诱导结晶(metal-induced crystallization, MIC),该方法使得要结晶的a-Si薄膜在140°C的低温下结晶,通过将a-Si在与作为结晶过程的催化剂的金属膜(例如铝、金或银)接触时通过退火进行。MIC工艺所需的退火通常在宏观上进行,并保持比与激光结晶相关的加热更长的时间。不使用激光进行退火。

[0010] MIC通常涉及:1) 非晶态材料与金属的界面键弱化,从而增强了非晶态原子在界面上的迁移率;2) 界面效应为非晶态原子的运输提供了快速,缩短的扩散途径;3) 界面热力学,其进一步有利于界面处的晶体生长。

[0011] 当前针对a-Si存在两种类型的MIC工艺。

[0012] 例如,在将结晶铝用作a-Si上的催化剂层时,会发生这些MIC工艺中的第一项。硅原子优先在高于140°C的温度下润湿铝的高角度晶界界面。当达到润湿的a-Si层的临界厚度时,Si结晶成核。铝层中产生压应力,而a-Si层中产生拉应力。由于抗拉材料具有容纳更多原子的空间,因此应力梯度会驱动扩散过程,从而导致铝层中的铝晶粒溶解在a-Si层中。随着这些铝的烟羽(aluminium plume)在a-Si中生长,它们会受到对流力的作用,以确保它们向表面传播。该效应引起固态层交换,其导致在金属下方形成结晶硅相。该工艺中的所有步骤都能够在低温下进行。

[0013] MIC工艺的第二项导致形成的金属半导体化合物对周围区域的晶格失配最小。例如,在加热a-Si层上的镍层时,在结晶镍a-Si界面处形成NiSi<sub>2</sub>。结晶硅从NiSi<sub>2</sub>相中沉淀出来并迁移到a-Si材料中。这导致形成晶体Si的针状晶体结构。该过程在晶界面上的晶种越多,形成的晶体材料就越多。

## 发明内容

[0014] 本发明的一个目的是提供用于处理靶材料以实现靶材料中期望的热诱导变化(例如,结晶度增加)的替代技术。

[0015] 根据本发明的一个方面,提供了一种处理靶材料的方法,包括:用辐射束照射多层结构,所述多层结构至少包括包含所述靶材料的靶层和不包含所述靶材料的附加层,其中:所述附加层是金属的;在所述多层结构的照射过程中,通过所述附加层照射所述靶层;并且能量从所述辐射束到所述靶层以及到所述附加层的转移使得在所述靶层中引起热诱导变化,所述热诱导变化包括以下一种或多种:所述靶材料中的晶体生长,所述靶材料中的载流子迁移率的增加,所述靶材料中的化学稳定性的增加以及所述靶材料中电性能的均匀性的增加。

[0016] 因此,提供了一种方法,所述方法使得在靶材料的选定区域中能够有效地被驱动热诱导变化,而对所述靶材料的其它区域和/或周围层或附近的器件结构的影响最小或没

有影响。与其中同时处理整个靶材料层(例如,通过在表面上扫描准分子激光)的替代方法相比,时间和能量成本更低。所述热诱导变化可以包括晶体生长、增加的载流子迁移率、增加的化学稳定性和增加的电性能均匀性的任何组合。发明人发现,所述附加层的金属性质促进了所述热诱导变化(例如,晶体生长)。考虑到在基于准分子的激光诱导的结晶的情况下,金属层被认为抑制结晶,这有点令人惊讶。

[0017] 不希望受到理论的束缚,认为所述靶层中电子的分布通过在所述照射之后通过光电和热电子发射从金属附加层的表面向周围环境发射电子而改变。在这种发射之后导致的电荷不平衡暂时改变了附加层和靶层中的电子密度,从而暂时影响(例如降低)了所述靶层中组成原子的结合强度。对所述结合强度的暂时影响有助于所述靶材料中的晶体生长、所述靶材料中的载流子迁移率增加、所述靶材料中的化学稳定性增加以及所述靶材料中的电性能均匀性中的一种或多种。薄的多层结构的电荷中性通过其与地面的电气路径的连接以及通过其表面与从周围环境撞击所述多层结构的悬浮离子和电子的相互作用而得以恢复。

[0018] 所述方法特别适用于选择性地用于制造显示器的大面积电子装置的TFT栅极区域以及基于PV的器件中由a-Si形成poly-Si。所述方法使得结晶度能够增加,而对透明度的影响最小或没有影响。由于施加到基板上的热负荷非常低,因此该方法还与使用柔性基板的卷对卷或片对片大批量制造平台兼容。可以使用塑料基材,而不会熔融或损坏。

[0019] 所述方法还适用于其它透明导电材料,例如用于显示器。在这种情况下,热诱导变化可以包括局部结晶,这可以改善载流子迁移率。

[0020] 所述方法特别适用于促进铟镓锌氧化物(indium gallium zinc oxide,IGZO)的结晶、改善载流子迁移率、改善均匀性和/或改善化学稳定性。所述方法还适用于薄膜电池技术中其它电介质(例如金属氧化物)的结晶。

[0021] 所述方法还适用于减小金属迹线的电阻,例如使用纳米粒子墨水或其它简单的低温沉积工艺形成的迹线。可以通过使所述辐射束的频率与所述纳米粒子墨水的共振等离子体频率(resonant plasmon frequency)或沉积金属的晶粒尺寸匹配来增加沉积金属的晶粒尺寸。通过提供定义明确的粒度分布可以提高效率。

[0022] 在一个实施例中,所述多层结构的照射导致,在所述靶层发生所述热诱导变化(例如晶体生长)之后,至少所述附加层的被照射部分从所述靶层脱离。因此,所述附加层在达到其促进所述靶材料中的热诱导变化的目的之后,自发地从靶材料上脱离,而无需任何额外的处理步骤。

[0023] 在一个实施例中,选择所述辐射束的能量密度(Fluence),使得在由所述辐射束照射期间,所述靶层的任何部分都没有进入熔融相而实现所述靶层中的热诱导变化(例如晶体生长)。避免熔融状态提高了所述靶材料中晶体生长的质量,有利于小晶粒均匀分布的发展。

[0024] 在一个替代实施例中,选择所述辐射束的能量密度,使得在所述辐射束的至少一部分照射期间,所述靶层的至少一部分进入熔融状态。进入熔融状态能够在需要的地方形成较大的微晶。

[0025] 在一个实施例中,所述靶层和所述附加层被配置为使得来自所述激光辐射的能量从所述附加层的电子转移到所述靶材料的晶格比来自激光辐射的能量从所述附加层的电子转移到所述附加层的晶格更快。这种效果有利于在所述热诱导变化(例如晶体生长)期间

所述附加层对所述靶层的有效孵育 (incubation)。将附加材料的电子系统中存储的能量随后热化到附加材料的晶格可方便地引起所述热诱导变化发生之后所述附加层与所述靶层的分离。

### 附图说明

- [0026] 现在将通过示例并参考附图进一步描述本发明,其中:
- [0027] 图1示意性地示出了根据一个实施例的多层结构的照射;
- [0028] 图2(a) - (f) 是TFT图案的光学显微镜图像 ((a)) 和在通过照射进行处理的不同阶段的栅极区域的放大图 ((b) - (f));
- [0029] 图3示出了不同能量密度方案的范围;
- [0030] 图4示出了在未处理 ((a)) 之后和在不同的能量密度方案下通过照射处理后的Si的SEM图像 ((b) - (c));
- [0031] 图5示出了a-Si、nc-Si和c-Si的拉曼光谱;
- [0032] 图6示出了在四个能量密度方案中的每一个中处理后的硅材料的AFM图像;和
- [0033] 图7示出了包括Al作为靶材料和Mo作为附加层的多层结构的处理的图像。

### 具体实施方式

[0034] 本公开的实施例涉及处理靶材料以在靶材料中引起期望的热诱导变化。热诱导变化通常涉及靶材料中的晶体生长。晶体生长可以导致无定形材料转化为多晶材料。或者,晶体生长可以导致在加工之前已经是多晶的靶材料中的微晶的平均尺寸增加。

[0035] 在一个实施例中,晶体生长是通过减少靶材料中的不规则性(诸如晶界或与完美晶格周期性的其它偏差)的散射来降低靶材料中的电阻率或增加电荷载流子的迁移率。

[0036] 热诱导变化可以包括以下的一种或多种的任意组合:靶材料中的晶体生长、靶材料中的载流子迁移率增加、靶材料中的化学稳定性增加、靶材料中电性能的均匀性增加。

[0037] 如图1中示意性示出的,该方法包括用辐射束5照射多层结构10。多层结构10至少包括靶层2和附加层1。附加层1是金属的。靶层2包括靶材料,基本上由靶材料或由靶材料组成。附加层1不包括靶材料。在照射多层结构10期间,靶层2通过附加层1被照射。因此,辐射束5部分地穿过附加层1到达靶层2。来自辐射束5的能量沉积在附加层1和靶层2中。

[0038] 在所示的实施例中,多层结构10包括在基板3上的包括靶层2和附加层1的叠层。在一个实施例中,基板3是柔性基板,例如由塑料或玻璃或陶瓷形成。基板3可以例如构造成与卷对卷或片对片的制造工艺兼容。可以根据需要提供一个或多个另外的层,包括在附加层1的顶部上,在附加层1和靶层2之间,和/或在靶层2和基板3之间的一个或多个层。

[0039] 辐射束5和多层结构10被配置为(例如,在辐射束的情况下通过适当地选择能量密度和/或脉冲长度,和/或在多层结构10的情况下通过适当地选择材料和层厚度)使得能量从辐射束5到靶层2和到附加层1的转移会导致靶材料中发生所需的热诱导变化(例如晶体生长)。

[0040] 发明人已经发现,在能量密度的特定范围内,附加层1孵育靶层2,并延长了靶材料的温度足够高以促进热诱导变化,例如晶体生长(通过加热的晶格中的原子的固态扩散)的时间,同时使能量传递的峰值速率保持足够低,从而避免了靶材料在照射过程中的任何熔

融。通常希望避免熔融,因为这会对靶层2中产生的晶体材料的质量产生负面影响(目的是促进结晶)。例如,在发生熔融的情况下,可产生具有微晶尺寸次佳分布的多晶结构,包括例如过大的微晶,这会导致结构和/或电子性能的不均匀性。然而,在其它实施例中,期望的热诱导变化可以受益于进入熔融相,在这种情况下,可以选择辐射束的能量密度,使得在所述辐射束的至少一部分照射期间,所述靶层的至少一部分进入熔融状态。

[0041] 不希望受理论的束缚,认为辐射束被附加层1的材料中的电子部分吸收。这种吸收在附加层1中产生弹道电子。被激发的电子保持弹道直到它们经历散射。电子可以与其它电子或晶格离子发生弹性或非弹性散射。在本公开的实施例中,选择附加层1的厚度以使弹道电子能够传播到附加层1和靶层2之间的界面。在一个实施例中,附加层1的厚度小于200nm,可选地小于150nm,可选地小于100nm,可选地在20-70nm范围内。

[0042] 在被激发的电子在附加层1中经历弹性散射的情况下,它们的方向改变了,但是它们携带的能量保持不变。在被激发的电子与附加层1中的其它电子进行非弹性散射的情况下,弹道电子将能量转移给其它电子,从而在附加层1中产生以电子温度为特征的热电子气。

[0043] 生成的热电子气在耦合到附加层1的晶格之前扩散到整个附加层1中。选择附加层1的材料和激光参数以确保该时间范围相对较长(例如3-50皮秒)。一旦电子耦合到晶格,附加层1的晶格就会加热并产生升高的晶格温度。

[0044] 附加层1中的加热的电子与靶材料交换能量。可以将电子能量视为波,该波部分地反射并穿过附加层1与靶层2之间的界面传输。附加层1中激发或加热的电子在两种材料之间的界面处以多种方式与靶材料交换能量。激光激发的弹道电子可以渗透到靶材料中,并通过电子-电子散射、碰撞电离和电子晶格耦合与靶材料的电子和晶格子系统交换能量。取决于界面处的电子能带结构,附加层1中的热电子可以通过界面处的电子-电子散射和电子-声子耦合而与靶材料的电子和晶格子系统相互作用。最后,加热的附加层1的晶格还可通过界面处的声子-声子耦合将能量耦合至靶材料的晶格。

[0045] 辐射束也部分地通过附加层1传输到靶层2。辐射束因此也直接加热靶材料中的电子。从而被加热或在层之间被交换的电子将能量转移至靶材料的晶格。

[0046] 在界面或靶材料中发生的能量从电子到晶格的这种转移理想地在附加层1中发生之前发生在靶材料中。因此,来自激光辐射的能量从附加层1的电子转移到靶材料的晶格比来自激光辐射的能量从附加层1的电子转移到附加层1的晶格更快。当热量最终到达附加层1的晶格时,期望附加层1自发地与多层结构10的其余部分分离。

[0047] 当附加层1存在于多层结构10上时,附加层1临时孵育靶材料的加热晶格。由于附加层1的分离发生在激光脉冲入射到多层结构上1微秒至1毫秒后,因此任何孵育在时间上是有限的。

[0048] 在非常低的能量密度(在本文中称为能量密度方案I)下,附加层1最终被加热到足以使其从多层结构10脱离的程度,但是加热不足以同时导致靶材料中晶体的显著生长,即使具有上述孵育效果。

[0049] 在较高能量密度下(在本文中称为能量密度II),靶材料对辐射束的直接吸收与附加层1的孵育的结合提供了靶材料的晶格中适合于在不熔融靶材料的情况下发生所需热诱导变化(例如晶体生长)的随时间变化的温度曲线。靶材料的激发晶格(energised

lattice)不足以在此阶段破坏附加层1(附加层1的晶格仍相对较冷),因此附加层1保持与多层结构10接触并继续保温。通过选择靶材料和附加层1的材料来促进这种效果,使得来自激光辐射的能量从附加层1的电子转移到靶材料的晶格比来自激光辐射的能量从附加层1的电子转移到附加层1的晶格更快。例如,在靶材料包括a-Si,而附加层1的材料包括诸如Mo的金属的情况下。

[0050] 在较高的能量密度下(在本文中称为能量密度方案III),电子能量与附加层1的晶格的耦合在较短的时间尺度上发生,这导致附加层1的晶格的加热比在较低能量密度下观察到的快。这影响了电子能量从附加层1到靶层2的转移,从而限制了所需的热诱导变化(例如,晶相)的形成,例如在高斯光束用于辐射的情况下,向辐射束的外环面的形成。附加层1太快地从多层结构10分离,降低了上面讨论的电子扩散和孵育效果(incubation effects)。

[0051] 在更高的能量密度(在本文中称为能量密度方案IV)下,附加层1如方案III中那样被光机械破坏,但是所施加的能量密度也使靶材料熔融,如上所述,这可能导致靶材料中的次优结晶。

[0052] 晶体生长机理对能量密度的依赖性在图2所示的实验结果中得到了例证。

[0053] 图2(a)示出了包括栅极区域的TFT图案的光学显微镜图像。图2(b)示出了在包括a-Si的靶层已经被施加在栅极区域上之后与该栅极区域之一相对应的区域的放大显微图像。图2(c)-(f)示出了在靶层上施加了附加层(包含Mo)作为涂层的图2(b)区域,以及随后通过不同能量密度的高斯辐射束斑处理所得到的多层结构。

[0054] 在该示例中,附加层由通过磁控溅射沉积的40nm厚的Mo层组成。高斯辐射束斑是使用脉冲飞秒激光产生的,该激光发出1030nm波长的500fs脉冲。用扫描系统的100mm焦距透镜( $NA=0.014$ )将激光聚焦在样品上。扫描系统通过反射器和镜子(reflectors and mirrors)的组合与加工台相连(用于精确定位样品)。振镜式的光束扫描系统用于通过调节转向镜的速度来扫描激光束斑。激光以最大功率工作,并结合使用半波片和偏振器进行衰减,以保持最佳的光束形状并获得更高的脉冲间稳定性。

[0055] 图2(c)示出了以 $45\text{mJcm}^{-2}$ 的能量密度(与高斯光束斑有关的峰值能量密度)进行照射的结果。能量密度足够高,以使得附加层(Mo)在束斑的中心区域脱离。附加层保留在其它位置。能量密度不足以在任何地方引起将a-Si转换为多晶硅。因此,图2(c)示出了附加层分离区域的能量密度方案I。

[0056] 图2(d)示出了 $82\text{mJcm}^{-2}$ 的能量密度(与高斯光束斑有关的峰值能量密度)下的照射结果。这种情况下的能量密度会导致附加层(Mo)在较大区域上脱离。另外,在中心区域(在束斑内能量密度最大),a-Si中的晶体生长得到促进,从而导致形成了纳米晶体形式的poly-Si(ns-Si)。在中心区域之外的区域中,能量密度太低而无法形成nc-Si,并且观察到a-Si。观察到ns-Si的区域对应于能量密度方案II中能量密度的区域,并且通过附加层1的孵育有效地引起了靶材料中的晶体生长。

[0057] 图2(e)示出了在 $145\text{mJcm}^{-2}$ 的能量密度(与高斯光束斑有关的峰值能量密度)下的照射结果。在这种情况下,中心区域的能量密度(对应于能量密度方案III)足够高,可以改变电子能量耦合到附加层中晶格的速率;能量耦合速率增加,这意味着以与靶层相似的速率加热附加层。这种加热使附加层变形,并改变了光束中心部分的光学和电子性能。但是,

nc-Si形成在中心区域周围的环形区域中,该中心区域对应于能量密度方案II中能量密度所在的区域。在nc-Si的环形区域之外,能量密度下降到形成nc-Si所需的水平以下(对应于能量密度方案I),并且在外环中再次观察到a-Si。

[0058] 图2(f)示出了在 $320\text{mJcm}^{-2}$ 的能量密度(与高斯光束斑有关的峰值能量密度)下的照射结果。在这种情况下,能量密度很大,以致于在中心区域(能量密度在能量密度方案IV中)引起a-Si熔融,导致形成微晶硅相(c-Si)。

[0059] 图3示出了对应于示例实施方式的四个能量密度方案的能量密度范围,其中靶层2包括a-Si并且附加层1包括Mo。

[0060] 图4示出了(a)在类似栅极的区域中未暴露的a-Si的SEM图像,(b)通过在含Mo的附加层1上施加较低能量脉冲(在能量密度方案II中)产生的nc-Si的SEM图像,以及(c)通过施加更高的能量脉冲(在能量密度方案IV中)使硅熔融并重新凝固而生成的c-Si的SEM图像。

[0061] 图5示出了a-Si层、nc-Si区域和c-Si区域的拉曼光谱。分别在能量密度方案II和IV中使用单个脉冲产生nc-Si和c-Si区域。

[0062] 图6示出了在四个能量密度方案中的每一个进行处理后硅材料的AFM图像。能量密度方案II提供了所需的细晶粒均匀分布。能量密度方案IV提供较大的微晶,但较不均匀。

[0063] 上面讨论的图2-6示出了使用a-Si作为靶材料并使用Mo作为附加层获得的实验结果。该方法适用于其它材料组合。其它材料可包括以下一种或多种:透明导电材料;电介质材料;金属;金属氧化物;IGZO。

[0064] 图7示出了将该处理应用于包括Al作为靶材料和Mo作为附加层的多层结构的结果。图7(a)示出了Mo的选择性去除,而不会明显破坏下面的Al膜。图7(b)-(d)是示出在逐渐增加的能量密度(分别为 $0.4\text{Jcm}^{-2}$ 、 $0.8\text{Jcm}^{-2}$ 和 $1.4\text{Jcm}^{-2}$ )下在下层Al中的晶体生长的AFM图像。图7(b)-(c)示出了在能量密度方案II下产生的细晶粒晶体生长,而没有发生Al的任何熔融。图7(d)示出了由于在高能量密度下(能量密度方案IV)Al的熔融而产生的大晶粒。

[0065] 在本公开的实施例中,多层结构10的照射导致在靶层2中发生了热诱导变化(例如晶体生长)之后,至少附加层1的被照射的部分与靶层2分离。首先,因为附加层1没有很好地粘附到靶层2(例如,因为附加层1和靶层2具有不同的晶体结构并且没有混合),所以可能发生分离。替代地或另外地,当辐射束加热附加层1中的电子并且这又加热附加层1的晶格时,附加层1的晶格将想要扩展,但是受到靶层2的约束(即,存在不均匀热膨胀)。形成压缩应力,附加层2的材料破裂。分离是方便的,因为它避免了去除附加层1的单独处理的需要。可以通过适当选择附加层1的材料来促进分离。通过选择具有与靶材料和/或多层结构10中靶材料下方的任何层显著不同的热性能的附加层1的材料,例如,显著不同的电子-声子耦合(例如,具有更长电子-声子耦合时间的附加层)、熔融温度、膨胀系数和/或发射率,来促进分离。替代地或附加地,可以通过选择附加层1的材料使得其具有与靶材料显著不同的机械性能(例如,显著不同的热膨胀系数、晶格常数)来促进分离。替代地或附加地,附加层1由在常温常压下与靶材料形成不同对称性和/或明显不同晶格参数的晶体结构的材料制成。例如,在靶材料包括形成类金刚石(diamond-like)结构(包括互穿的fcc结构)的硅的情况下,附加层1可以在常温常压下由采用bcc结构的材料形成(例如Mo)。替代地或附加地,附加层1以使得其仅松散地粘附至多层结构10的方式施加,例如使用蒸发或溅射。替代地或附加地,可以选择附加层1的材料,使得其不与靶层2中的靶材料或多层结构10中的靶层2下方的任

何其它层混合。

[0066] 尽管由于该处理所涉及的时间尺度附加层1被去除,但是附加层1仍然有助于靶材料中的热诱导变化(例如,晶体生长)。在附加层1分离之前进行孵育。

[0067] 辐射束可以是脉冲激光束。在一个实施例中,辐射束的单个脉冲能够引起靶材料中的晶体生长。但是,如果需要,可以将多个辐射脉冲施加到靶材料的给定区域。多个脉冲可以允许进一步控制结晶过程。在特定实施例中,将多个脉冲施加到靶材料的要促进晶体生长的每个区域,其中,在每个所述区域中,第一个脉冲导致晶体生长,而后一个脉冲导致晶体进一步生长。在另一实施例中,当从附加层转移到例如由半导体或电介质组成的靶材料时,第二定时激光脉冲可用于进一步激励靶中的激发电子。

[0068] 在一个实施例中,激光脉冲持续时间小于1ns,可选地小于100ps,可选地小于50ps,可选地小于10ps,可选地小于1ps,可选地小于100fs,可选地小于50fs。通常,例如,可以使用在十皮秒或十飞秒中的脉冲持续时间。

[0069] 在一个实施例中,辐射束包括IR、可见或UV光谱中的激光辐射。

[0070] 通过该方法处理后,靶材料中存在的晶粒尺寸分布取决于用于照射多层结构的辐射束的性能(特别是所施加的每个脉冲的能量密度和持续时间,以及脉冲数)。如上所述,为了实现均匀的机械和/或电性能,需要较小的晶粒。在实施例中,控制晶粒尺寸分布,使得平均晶粒尺寸(定义为晶粒体积的立方根)小于100nm,可选地小于50nm,可选地小于20nm。

[0071] 在一个实施例中,附加层1包括钼或钨。在一个特定实施例中,靶材料包括a-Si,另外的层包括钼或钨,并且由辐射束的单个脉冲提供的能量密度在50-125mJcm<sup>-2</sup>的范围内(对应于能量密度方案II),可选地70-110mJcm<sup>-2</sup>。在该实施例中,当靶材料被通过附加层传输的辐射加热时,靶材料中激发的电子在比其在附加层中的电子时间更短的时间内耦合到晶格。在其它材料中,这种传输的辐射可以被多光子吸收或雪崩吸收,从而导致陶瓷材料(例如金属氧化物)快速加热。

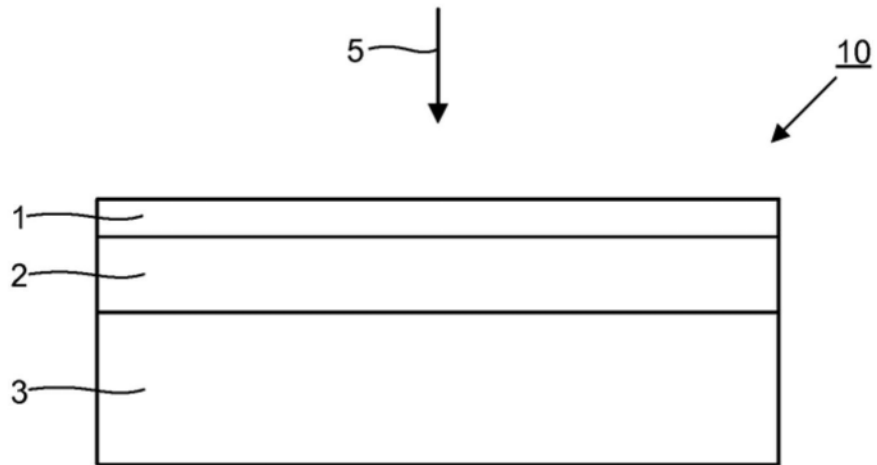


图1

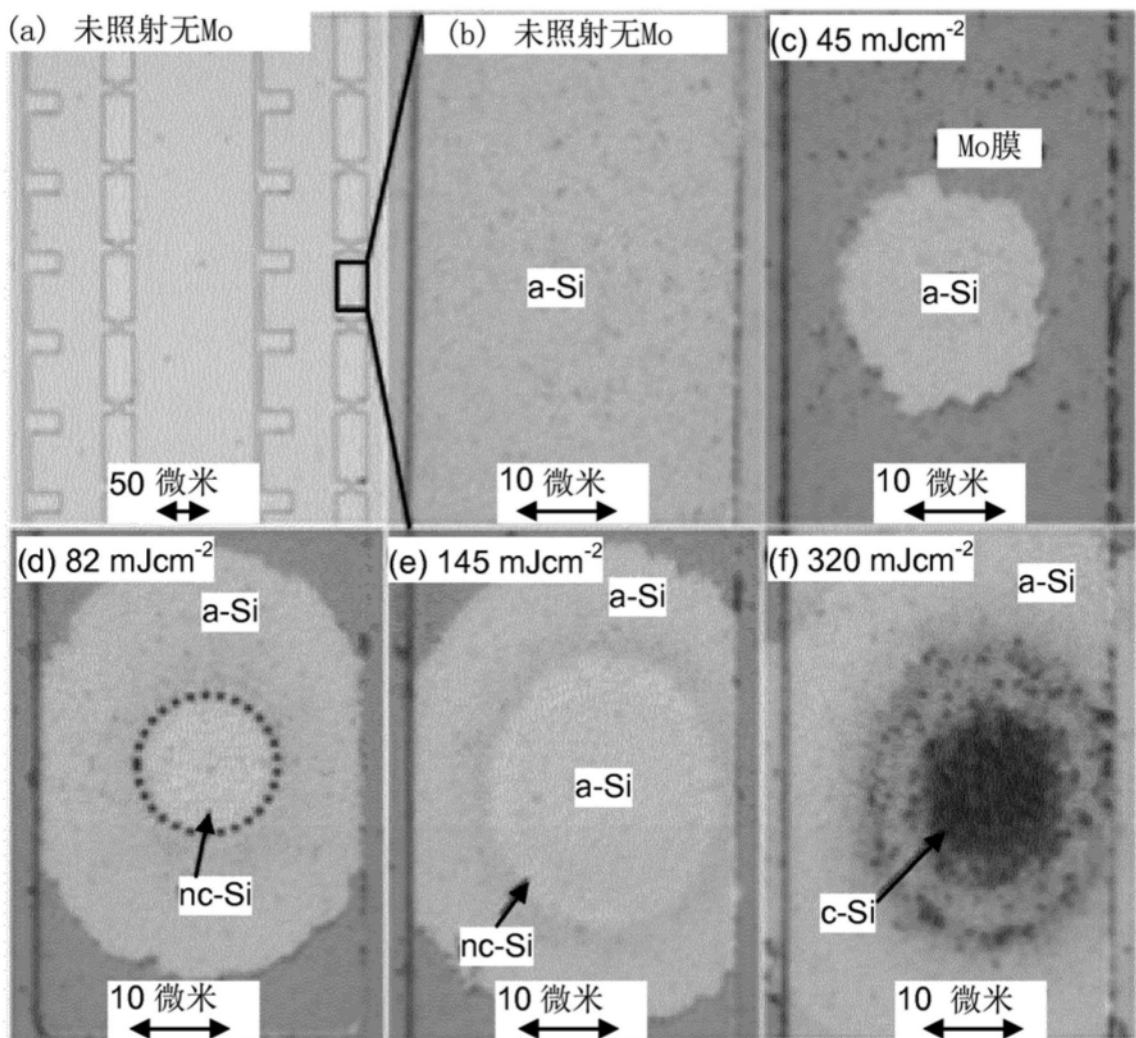


图2

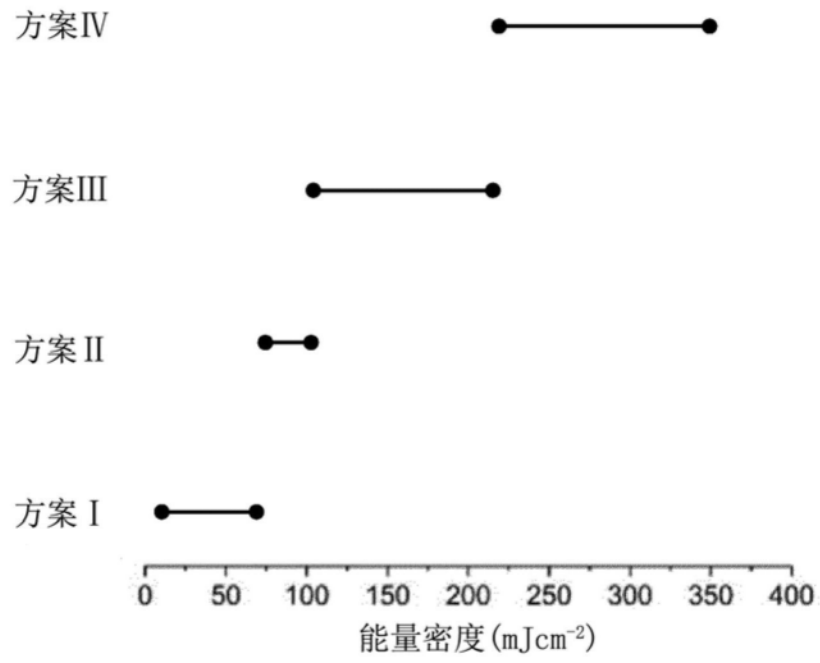


图3

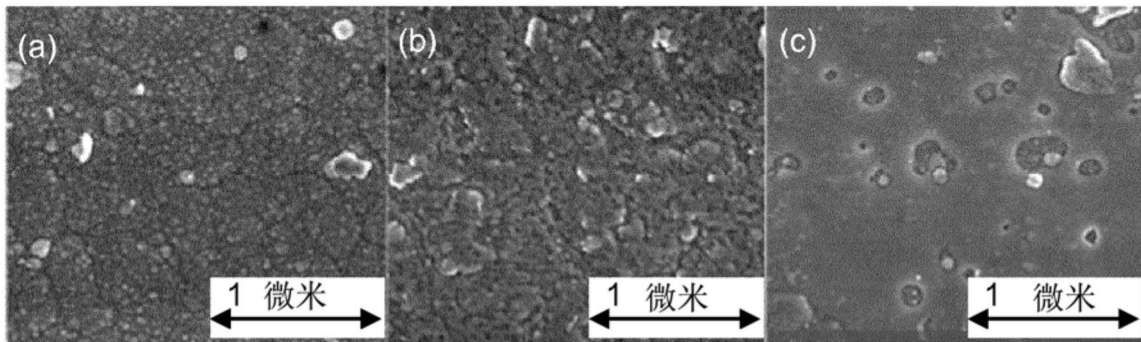


图4

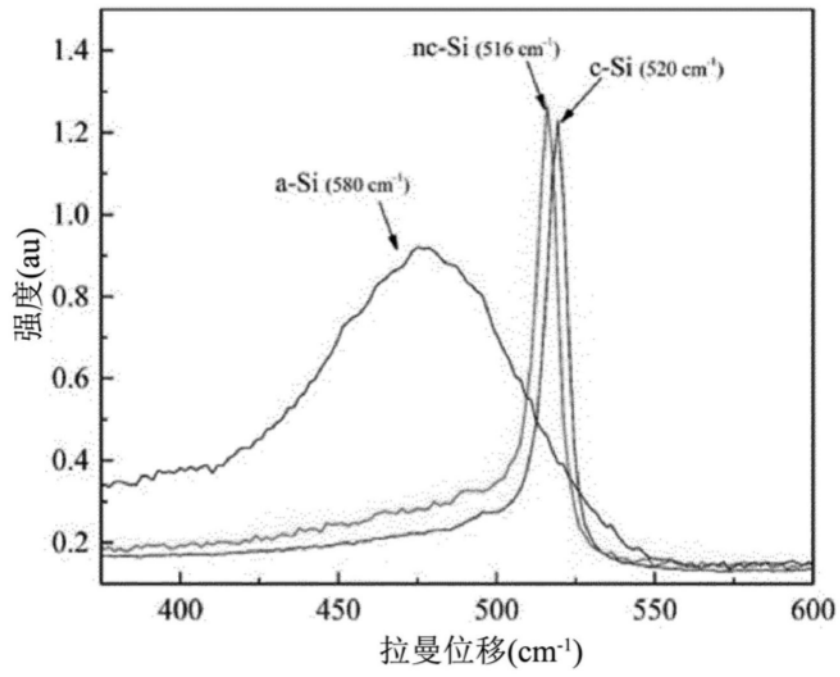


图5

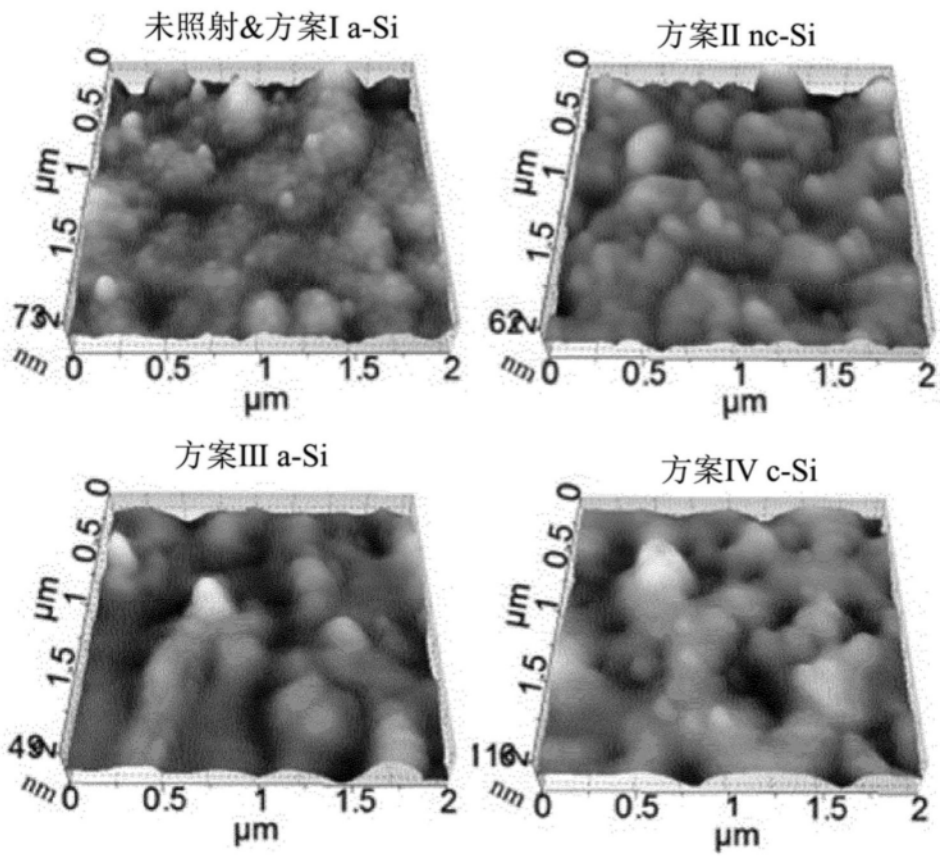


图6

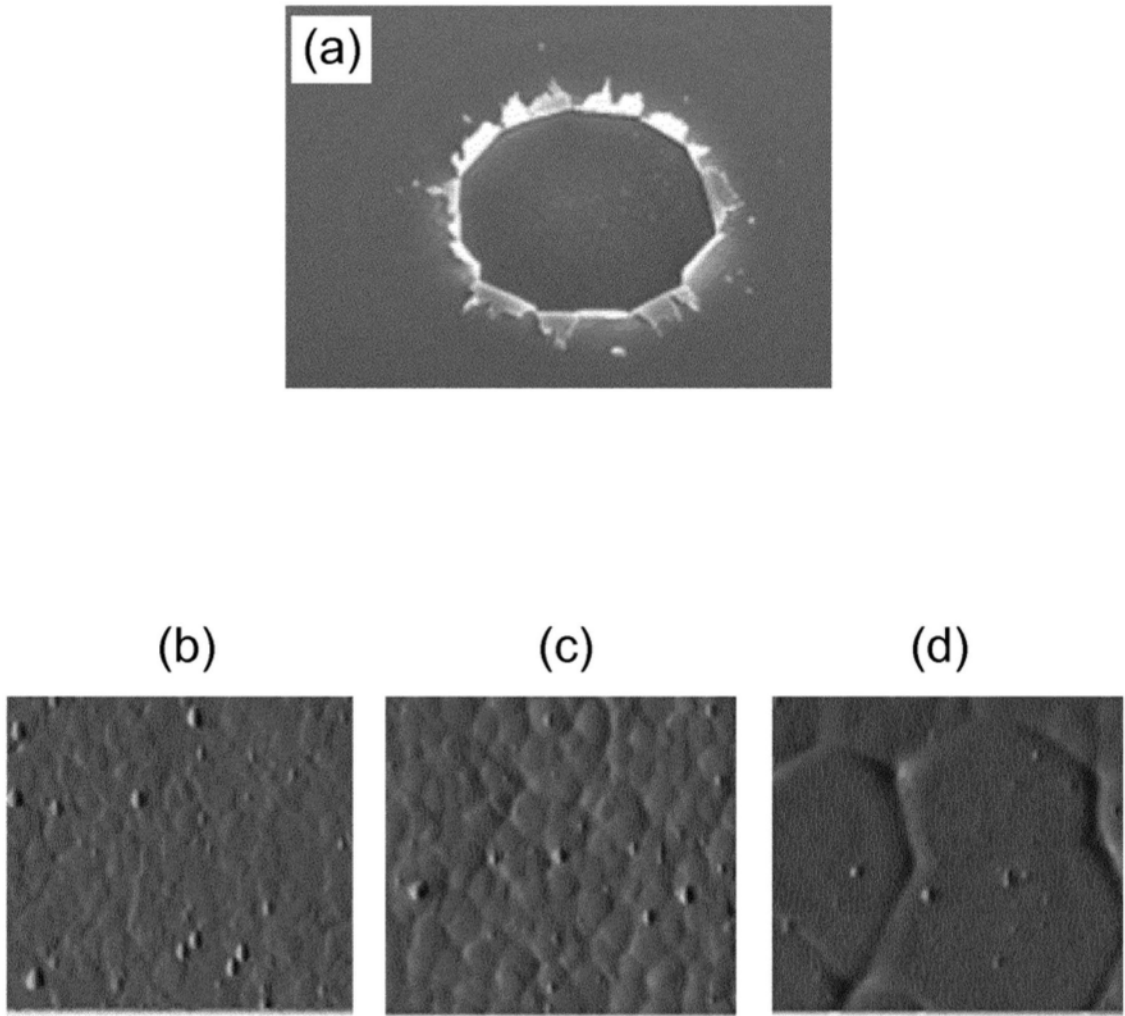


图7