



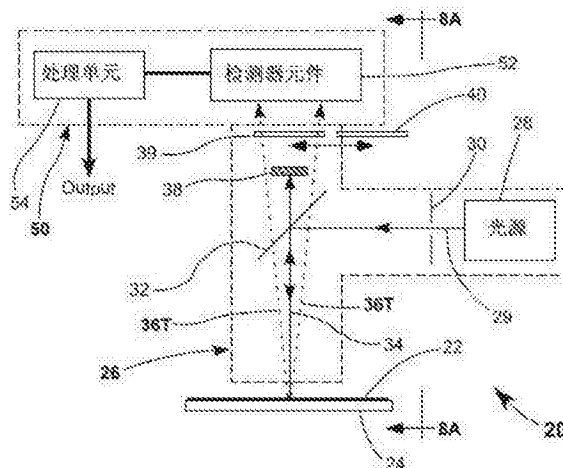
(43)申请公布日 2017.02.22

(72)发明人 P·范德威尔特

权利要求书1页 说明书9页 附图10页

用于控制准分子激光退火的监测方法和装

公开了一种对通过用准分子激光脉冲进行辐射而结晶的硅层(22)进行评价的方法。所述结晶根据层所暴露的脉冲的数量和脉冲中的能量密度ED而在结晶层上产生周期性特征。使用光(29)照明层的区域。由于周期性特征而从照明区衍射的光形成照明区域的显微图像。显微图像包括相应的周期性特征。通过测量显微图像中周期性特征的对比从而确定ED。



1. 一种用于评价半导体层的方法,其中所述的半导体层是通过以下过程至少部分结晶的:在所述的层上暴露于具有能量密度的大量的激光-辐射脉冲;在第一方向上,在所述的层上产生第一组周期性表面特征的结晶,并且在垂直于所述的第一方向的第二方向上,产生第二组周期性特征的结晶;根据所述的半导体层所暴露的激光-辐射脉冲的能量密度,形成第一组和第二组周期性特征;所述的方法包括:

照明所述的结晶半导体层的区域;

在由所述的照明的区域衍射的光中,通过所述的第一组和所述的第二组周期性特征记录所述的照明的区域的显微图像,所述的所记录的图像包含分别相当于所述的层的照明区域中第一组和第二组周期性特征的、水平组和垂直组的周期性图像特征;以及

由所述的水平组和所述的垂直组的周期性图像特征的至少一者的对比量度来测定能量密度。

2. 权利要求1所述的方法,其中所述的显微图像为透射显微图像。

3. 权利要求1所述的方法,其中所述的显微图像是由像素的行和竖形成的,并且通过测量图像中像素的所有的行和所有的竖的一者的振幅,并将由平均振幅得到的标准偏差作为所述的周期性图像特征的对比的量度来测定所述的对比。

4. 权利要求1所述的方法,其中所述的显微图像是透射显微图像,并且是由像素的行和竖形成的,并且通过测量所述的图像中的像素的所有的行和所有的竖的一者的振幅,并将最高和最低测量振幅之间的差异作为所述的周期性图像特征的对比的量度来测定所述的对比。

5. 任意前述权利要求所述的方法,其中所述的图像为绿色被过滤的图像。

6. 权利要求1-4中任一项所述的方法,其中所述的图像为蓝色被过滤的图像。

7. 任意前述权利要求所述的方法,其中所述的测量对比的最小值表明用于结晶的最佳能量密度。

用于控制准分子激光退火的监测方法和装置

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求2014年3月3日提交的美国专利申请系列No.14/195,656的优先权,该申请的内容作为整体以引用方式并入本文。

技术领域

[0003] 本发明总体涉及通过脉冲激光辐射使薄硅(Si)层熔融和再结晶。该方法特别涉及评价再结晶层的方法。

背景技术

[0004] 硅结晶是制造薄层晶体管(TFT)有源矩阵LCD和有机LED(AMOLED)显示器的常用步骤。晶体硅形成半导体基材,其中显示器的电子电路是通过传统的光刻工艺形成的。通常,使用在长线(long line)上成型的脉冲激光束进行结晶,其中所述脉冲激光束在沿着长度方向(长轴)上具有均匀的强度谱,并且在宽度方向(短轴)上具有均匀的或“礼帽状”强度谱。在该工艺中,通过激光辐射的脉冲反复熔融玻璃基底上的无定形硅薄层,同时将基底(及其上的硅层)相对于激光辐射脉冲的传递来源而转化。通过重复脉冲在某些最佳能量密度(OED)下发生熔融和再固化(再结晶),直至在薄膜中获得所需的晶体微结构。

[0005] 使用光学元件使激光脉冲形成辐射线,并且结晶发生于具有辐射线宽度的条带中。每次尝试都试图保持辐射脉冲的强度沿着线是高度均匀的。这必须要保持晶体微结构沿着条带是均匀的。光学脉冲的有利来源是准分子激光,其传递波长为电磁波谱紫外区内的脉冲。使用准分子激光脉冲的上述结晶工艺通常称为准分子激光退火(ELA)。该工艺是细微的工艺,并且OED的误差界限可以为百分之几,或者甚至低至 $\pm 0.5\%$ 。

[0006] 存在2种模式的ELA。在一种模式中,面板相对于激光束的转化速度足够缓慢,使得激光束宽度的“礼帽状部分”从一个脉冲至下一个脉冲重叠高达95%,这样任何微小的区域接收总计大约20的脉冲。在另一个称为先进的ELA或AELA的模式中,转化速度更快,并且在单次穿过面板时,辐射的“线”具有最小的重叠,并且甚至可以在之间留出非结晶空间。制成多个通道,这样使用所有的脉冲来辐射完整的面板,其中产生等量物质的脉冲少于ELA工艺中的脉冲。

[0007] 无论使用哪一种ELA模式,对生产线中面板上的结晶薄膜进行评价目前是通过肉眼检查在线下完成。这种检查完全是主观性的,依赖于训练有素的有经验的检查员,这些检查员通过他们的经验能够将观察到的面板特征与结晶束中能量密度的极小变化(例如低于1%)相关联。在制造环境下,肉眼分析并确定工艺能量密度的改变是否是必需的过程通常在进行结晶时在大约1个小时至1个半小时之间发生,其中对可接受面板的生产线生产能力具有相应的不利作用。

[0008] 需要ELA工艺的客观的评价方法。优选地,所述方法应该至少能够在生产线上实施。更优选地,所述方法应该能够在反馈环中用于准实时评价,从而用于响应于评价提供的数据而自动调节工艺能量密度。

[0009] 发明概述

[0010] 本发明涉及用于评价半导体层的方法和装置,所述半导体层通过暴露于在层上具有能量密度的大量激光-辐射脉冲从而至少部分结晶,所述结晶在第一方向上在所述层上产生第一组周期性表面特征,以及垂直于第一方向的第二方向上的第二组周期性特征的结晶,第一组和第二组周期性特征的形成取决于半导体层暴露于激光-辐射脉冲的能量密度。

[0011] 在本发明的一个方面中,用于评价半导体层的方法包括照明结晶的半导体层区域以及记录由于第一组和第二组周期性特征而从照明区衍射的光中照明区域的显微图像。所记录的图像包含水平组和垂直组的周期性图像特征,其分别对应于所述层的照明区域中第一组和第二组周期性特征。通过测量水平组和垂直组周期性图像特征的至少一者的对比从而确定能量密度。

[0012] 附图简述

[0013] 引入并构成本说明书一部分的附图示意性地说明了本发明优选的实施方案,并且连同上文给出的总体性描述以及下文给出的优选实施方案的详细描述用于解释本发明的原理。

[0014] 图1为示意性示出所测量的峰振幅的图,其中所述峰振幅对于ELA结晶硅层扫描激光显微图像的快速傅里叶变换(FFT)而言在轧制方向和横向方向作为脉冲能量密度的函数。

[0015] 图2为示意性示出所测量的峰振幅的图,其中所述峰振幅对于A-ELA结晶硅层扫描激光显微图像的FFT而言在轧制方向和横向方向而言作为脉冲能量密度的函数。

[0016] 图3为示意性示出所测量的峰振幅的图,其中所述峰振幅对于A-ELA结晶硅层扫描激光显微图像的快速傅里叶变换的振幅而言在轧制方向和横向方向上作为脉冲数量的函数。

[0017] 图4为ELA结晶硅层的区域的偏振光显微图像,其示出结晶过程中与层的轧制方向(RD)横向形成和平行形成的脊。

[0018] 图5为与图4类似的结晶层的区域的锥光显微图像,其描绘了分别从横向和轧制方向的脊衍射出的光形成的光的水平带和垂直带。

[0019] 图6为示意性示出所测量振幅的图,其中所述振幅对于从ELA结晶层横向和轧制方向的脊衍射的光而言作为脉冲能量密度的函数。

[0020] 图7为示意性示出所测量振幅的图,其中所述振幅对于ED为410、415和420mJ/cm²时从A-ELA结晶层的横向和轧制方向的脊衍射的光而言作为脉冲数量的函数。

[0021] 图8和8A示意性地示出了根据本发明的装置的一个优选的实施方案,其用于分别测量从ELA结晶层的横向和轧制方向的脊衍射的光的振幅。

[0022] 图9示意性地示出根据本发明的ELA装置的一个优选的实施方案,其中所述装置包括图8所示的装置以及可变衰减器,其中所述可变衰减器用于用于响应于从ELA结晶层的横向和轧制方向的脊衍射的光的测量振幅而调节硅层上的脉冲能量密度。

[0023] 图10示意性地示出根据本发明的ELA装置的另一个优选的实施方案,其与图9所示的装置类似,但是其中图8所示的装置被根据本发明的装置的另一个优选的实施方案替换,其用于分别测量从ELA结晶层的横向和轧制方向的脊衍射的光的振幅。

[0024] 图11A为从低于最佳能量密度(OED)下结晶的硅层区域衍射的光中所记录的透射

显微图像的再现,其中所述图像包括对应于层中轧制方向和横向特征的水平和垂直周期性特征。

[0025] 图11B为透射显微图像的再现,其与图11A的图像类似,但是其中硅层在高于最佳能量密度的能量密度下结晶。

[0026] 图12为透射显微图像的再现,与图11B的图像类似并且为光振幅的图,其中光振幅作为水平和垂直距离(可以由此测量水平和垂直特征的对比)的函数。

[0027] 图13为示意性地示出显微图像的水平特征中所测量对比的图,其与图12的图像类似,所记录的从两组层特征衍射的光的振幅作为能量密度的函数(如图2的图中),所测量振幅之一的计算得到的斜率作为能量密度的函数。

[0028] 图14为与图13的图类似的图,但是其中显微图像得自通过包括微光滑技术的激光结晶工艺而结晶的硅层。

[0029] 发明详述

[0030] Si薄膜的ELA处理使得形成表面-粗糙的突起,所述突起是由于固化时Si膨胀而形成的。突起特别在侧向生长中相撞的3个或多个固化前沿(solidification fronts)之间形成。突起通常不是随机定位的。相反,它们由于波纹形成工艺(在文献中称为激光诱导的周期性表面结构(LIPSS))而排列。因此,波纹由一系列良好排列的突起组成。波纹的形成仅在能量密度窗口(范围)内观察到,其中薄膜部分熔融。通常波纹的周期性近似于入射光的波长,例如对于XeCl准分子激光而言大约290-340nm。由于这些小的维度,所以波纹不能或者难以使用传统的光学显微镜技术来解决。

[0031] 通常在光学亮视野显微镜中观察到ELA处理的膜的表面由延长的较暗色的区域组成,其间散布较亮的区域。较暗区域的严格检查显示它们由具有更高的突起的更强波纹状(有序的)区域组成,其间具有有序性较低和/或较低突起的区域。更有序的区域在本文中称为脊,而其间的区域称为谷。创新性的发现是,脊的形成显示与波纹的形成相关,其中脊的典型取向与波纹方向垂直。本发明的方法和装置依赖于测量Si薄膜(层)中从脊的光衍射,其中所述脊是在ELA工艺中形成的。所述方法提供了对波纹程度的间接测量,所述波纹程度可以用于准实时地监测或控制ELA工艺。此外,虽然使用与更传统的光学显微镜技术(用于测量从脊的衍射)相比相对缓慢的显微镜技术,但是所述方法被描述为更直接地观看波纹本身。

[0032] 波纹通常不仅在一个方向上形成。波纹主要在与扫描方向平行的方向上形成,并且还在与扫描方向垂直的方向上形成(线方向)。波纹是周期性的,并且在本文中使用冶金学中常用的术语通过它们的周期性方向来描述,其中轧制方向(RD)相当于扫描方向,而横向方向(TD)相当于线方向。因此,由于在扫描方向上取向的波纹在横向方向上是周期性的,所以它们称为TD波纹。类似地,在线方向上取向的波纹在轧制方向上是周期性的,并且称为RD波纹。

[0033] 根据LIPSS理论,TD波纹具有大约等于光波长的间距,而RD波纹间隔大约为 $\lambda/(1 \pm \sin\theta)$,其中 $\lambda/(1-\sin\theta)$ 间距通常占有优势,其中 θ 为激光辐射在层上的入射角,其在ELA中通常为大约5度或更高。波纹形成在获得均匀的聚-Si薄膜中起作用,这是因为颗粒结构往往符合表面周期性。当波纹存在时,理想的是,形成极其有序的薄膜,其主要由尺寸为大约 $\lambda \times \lambda/(1-\sin\theta)$ 的方形颗粒组成。在较低的能量密度(ED)下,颗粒较小,而在较高的ED下,颗

粒较大。当颗粒生长(在本文中称为超-侧向生长(SLG))为大于波纹域尺寸时,表面回流将导致突起高度降低以及薄膜中的有序性逐渐损失。

[0034] 在用于测定由波纹和激光脉冲的ED所导致的表面周期性之间的数量关系的第一试验中,通过快速傅里叶变换(FFT)(具有在RD和TD方向中形成的变换)来分析结晶薄膜的激光扫描显微(LSM)图像。FFT中的峰表明某些表面周期性的存在,峰的位置对应于表面周期性的方向。TD-变换提供了大约 $1/\lambda$ 的尖峰,表明TD周期性很强。RD变换显示大约 $(1-\sin\theta)/\lambda$ 的峰并且具有低于TD变换的振幅,即较低的公称RD波纹,其具有大约 $(1-\sin\theta)/\lambda$ 的间距。

[0035] 图1为示意性地示出相应的RD和TD变化峰的振幅的图,其中所述振幅作为ELA工艺中能量密度(ED)的函数(总计25次重叠脉冲的脉冲中,以毫焦耳/平方厘米(mJ/cm^2)计)。可见在稍微高于TD周期性最大时的ED下,RD周期性显示最大。此处显示OED为大约 $420\text{mJ}/\text{cm}^2$,并且随着ED升高,RD和TD方向的周期性急剧降低(相对地)。应该注意的是,本文定义的ED使用工业中常用的方法来测定,其涉及测量激光束的功率,并除以激光束的顶帽宽度,而忽视顶帽任意一侧上的任何梯度。

[0036] 图2为与图1所示的图类似的图,但是通过25次脉冲的A-ELA工艺进行结晶。在此,RD波纹显示比ELA更强的周期性,并且其峰的周期性比ELA工艺的情况更好地定义。

[0037] 图3为示意性地示出RD和TD峰的振幅的图,其中所述振幅作为在 $420\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的ED下脉冲次数的函数,其稍微低于凭经验测定的OED。可见周期性在TD方向上稳定地升高,达到大约22的脉冲次数。在RD方向中,周期性少量升高,直至在传递大约15次脉冲之后。

[0038] 图4为反射光的偏振显微图像。可以清晰地看见沿着横向方向取向的脊(其与RD方向的波纹有关,或者换言之,根据基于周期性的定义,为“TD-波纹”)。沿着轧制方向取向的脊(与“RD波纹”有关)不太突出,但是仍是明显的,这可以由上文讨论的FFT分析所预计。

[0039] 与波纹不同,脊并非是严格周期性的。但是,脊具有特征间距,其范围通常可以为大约 $1.5\mu\text{m}$ 至大约 $3.0\mu\text{m}$,或者比波纹之间的间距更大的振幅级别。根据波纹的术语,脊称为周期性方向,即RD脊沿着横向方向取向,而TD脊沿着轧制方向取向。

[0040] FFT分析本身清晰地提供了评价结晶层的一种手段。但是,形成上文讨论信息所需的步骤通常是缓慢的,并且不鼓励使用这种分析对通过ELA或A-ELA结晶的层进行近实时在线监测或评价。因此,决定研究分析与垂直取向的几组脊(与RD和TD波纹有关)有关的衍射现象的可能性,而并非尝试直接测量波纹本身。

[0041] 图5为层的锥光显微图像,例如图4中所描述的那些。图5是使用常用的显微镜取得的,其中目镜被移除,从而允许物镜的后聚焦面的图像得以记录。在该实例中,使用简单的移动-电话照相机来记录图像。使用透射光构造的显微镜。第一偏振器位于样品前方的照明光路径上,而第二偏振器(分析仪)位于样品之后,并且偏振方向与第一偏振器成90度。

[0042] 锥光图像的中心相当于显微镜系统的光轴,并且与光学轴(中心点)的距离相当于光在其上通过的角度。因此,锥光图像提供了显微镜中关于光的方向的信息。

[0043] 聚光镜的光圈设定为接近于最小孔,从而限定入射光在样品上的角度分布,并因此将孔的图像限制在锥光图像的中心上。图像的剩余部分是由几组TD和RD脊(通过结晶形成)衍生的光而形成的。偏振器和分析仪一起将中心点相对于图像的其余部分的亮度降至最低。在90度的相对旋转下,2个偏振器在锥光图像上形成了一对衰减的交叉带,称为同消

色线(isogyre)。通过相对于样品一起旋转偏振器和分析仪,同消色线可以旋转远离衍射带,从而使带的衰减最低。

[0044] 图5中灰度呈现的实际图像为彩色图像。水平的带为浅蓝色,垂直的带为浅绿色。带的颜色可以是很均匀的,并且据信,表明了在这些波长下具有高的衍射效率,而在其他的波长上具有较低的衍射效率。据信,带的颜色的均匀性是脊的可变间距的结果。在水平的带与垂直的带的光谱之间可以具有一些光谱的重叠。

[0045] 显微镜的物镜为20X物镜。在强度梯度较高的中心点的分片的边缘(fragmented edge)表明图像的像素尺寸。黑暗象限中较大的方形是JPEG图像压缩的人工制品。

[0046] 在所述的图的水平方向中,存在有RD脊(与TD波纹有关)衍射而得到的强烈的光带。在所述的图的垂直方向中,存在有TD脊(与RD波纹有关)衍射而得到的较弱的光带。透射光在图像的中心形成了亮点。

[0047] 由图1和图2所示的图可以预计,当脉冲ED降低至OED以下时,随着ED的降低,与RD-脊衍射带的亮度有关的TD-脊衍射带的相对亮度急剧降低。当脉冲ED升高至OED以上时,与RD-脊衍射带的亮度相比,TD-脊衍射带的相对亮度保持大约相同,但是随着ED的升高,二者均急剧降低。测量衍射带的亮度由此提供测定ED是否高于或低于OED和高于或低于多少的有效方法。

[0048] 图6是示意性示出RD脊衍射强度(实曲线)和TD脊衍射强度(虚曲线)的图,其中所述脊衍射强度作为ELA工艺中通过25次重叠脉冲结晶的硅层区域的脉冲ED的函数。脊的强度不能直接测量。实际上,根据以下观察而设想用于衍射带强度的量度:所述的带具有不同的颜色,并且颜色信息仍存在于规则的显微图像中。

[0049] 市售可得的光栅图形编辑器用于测定偏振光图像的蓝色通道和绿色通道平均亮度,其分别作为RD脊和TD脊的衍射的量度。该方法的缺点在于图像颜色通道不能提供最佳的过滤以便看见所述的带的亮度,这样在2个信号之间存在很明显的交互作用。而且,非衍射的中心点的信号也被附加在这些颜色通道上,这样它们具有更高的噪声水平。即使如此,使用在绿色通道的亮度与蓝色通道的量度的比达到最大时所发现的OED,差异清晰地显示趋势,图6中通过虚线描绘。

[0050] 备选地,可以使用合适的软件,以电子方式处理通过CMOS阵列或CCD阵列记录的锥光图像(类似于图5所示的图像),从而仅由衍射带收集测量数据。其具有以下优点:所述的测量对图像中衍射光带的实际颜色和衍射效率不敏感,这是由于空间信息基本上与上述情况无关。实际衍射效率可以为膜厚和沉积参数的函数。

[0051] 图7为示意性地示出RD-脊衍射强度(实曲线)和TD-脊衍射强度(虚曲线)的图,其中对于被依次传递至结晶的层的相同区域的脉冲而言,所述脊衍射强度作为脉冲数量和ED的函数。在此所述的趋势类似于图3所示的图的趋势。在各种情况下,3个ED值为 $410\text{mJ}/\text{cm}^2$, $415\text{mJ}/\text{cm}^2$ 和 $420\text{mJ}/\text{cm}^2$,即,在1%的ED上,较小间隔下选择的。可见在沉积15次脉冲后,ED改变1%使得信号振幅改变大约20%。在大约22次脉冲下,衍射信号改变仍在5%的级别上,或者更高(对于ED改变2%)。这清晰地表明本发明方法的敏感性。

[0052] 图8示意性地示出根据本发明用于评价结晶硅层的装置的一个优选的实施方案20。此处,待评价的结晶硅层22支撑于玻璃面板24上。设定用于Köhler照片的显微镜26包含传递白光束29的灯或光源28。聚光镜光圈30提供了对光束29的光锥的数值孔径的控制。

[0053] 部分反射和部分透射光元件32(分光镜)将光束29以与层22垂直入射的方式定向于层22上,如图8所描绘。一部分光束34被层22反射,一部分光束36T被衍射。如本文所用,后缀T是指光被在层结晶过程中形成的上文所述的横向方向(TD)的脊所衍射。图8A描绘了与图8所示的平面垂直的平面中的装置20,并且示出在层结晶过程中形成的上文所述的轧制方向(RD)的脊所衍射的光36R。

[0054] 反射的和衍射的光被传播通过元件32。反射光被终止器38阻断。衍射光绕过终止器38,并且入射在检测器单元50中的光学检测器元件52上。在检测器单元50中提供由电子处理器54,并排列,从而测定检测器所接收的衍射光的振幅。

[0055] 检测器元件52可以为像素化的检测器,例如CCD阵列或CMOS阵列,如上文所述,记录了衍射光的锥光图像(参见图7),其中处理器54可以通过空间分析测定由衍射光得到的衍生个强度。备选地,检测器元件可以一个或多个记录汇聚(aggregate)衍射光的光电元件。就这种情况而言,提供具有通带的光学滤光片元件39和40,其中对所述的通带进行选择,从而相当于TD和RD衍射光的特定颜色,如上文所讨论的那样。这些元件可以移入或移出衍射光路径,如图8中箭头A所示。

[0056] 在任何情况下,可以提供另一个光谱滤光片(未示出),用于将由光源28得到的光的带宽限定为被衍射的那些颜色。这降低了由于层22的散射光(未示出)而产生的噪声,其中所述的散射光能够绕过终止器38并与衍射光混合。

[0057] 在图8和8A中,为了便于说明,未示出显微镜26的光学器件,包括用于光源28的聚光透镜光学器件、(无限校正的)物镜光学器件和镜筒透镜光学器件。此外,可以提供具有Bertrand透镜的显微镜,从而直接观察锥光图像和“目镜(eye piece)”(或目镜(ocular))。显微镜中此类光学器件的形式和功能是熟知光学领域的那些人员所公知的,并且它们的详细描述不是理解本发明的原理所必需的。

[0058] 关于反光显微镜的备选,可以使用透射光显微镜。此类显微镜设置不具有分光镜,但是需要处于样品前方的分离的聚光透镜。为了达到最佳效果,可以将光束终止器38放置在物镜的后聚焦面中,或者放置在样品后的任何共轭平面中。对于反射光显微镜而言,光束终止器最佳地放置在与物镜的后聚焦面的共轭平面中,其中所述的物镜位于分光器之后,这样不好阻断入射光。

[0059] 应该注意的是,在偏振器和/或光束终止器缺省的情况下,也观察到由脊形成的衍射。在移除物镜和/或聚光透镜后,仍观察到衍射带。因此,就待探测的薄膜内的区域的亮度和选择性方面,所述的透镜应该视为使测量达到最佳的工具。它们并非本文所述的装置的重要元件。

[0060] 图9示意性地示出根据本发明的准分子激光退火装置的一个优选实施方案60。装置60包括传递激光束65的准分子激光器64。激光束65被传播通过可变衰减器66到达光束整形光学器件68,其通过转向镜70将整形光束69传递至透射光学器件72。透射光学器件将光束以非垂直入射投射至层22上,如上文所述。在转移阶段62上支撑包含层22的玻璃面板24,其中所述的转移阶段62以相对于透射激光束的方形RD移动层和面板。

[0061] 上文所述的装置20定位于层22上方。处理单元54由TD脊衍射光和RD脊衍射光部件的振幅(通过检测器元件52观察)和试验曲线(例如图6和图7的曲线)创建的电子查找表来测定使用高于或低于所述的OED的脉冲,所述的层是否结晶。

[0062] 通常,透射激光束的能量密度(脉冲能量或工艺ED)最初控制在公称OED下。但是,所传递的能力密度可以随着时间偏移,这通常被记录为OED的表观偏移。如果OED显示偏移至低于公称OED的值,则ED将低于所述的OED;在2个方向上将具有较低的脊的密度,如上文所讨论;因此,2种衍射信号的振幅将减小。然后,信号由处理单元54发送至衰减器66,从而减少传递至所述的层的脉冲能量。如果OED显示偏移至高于公称OED的值,则ED将低于瞬时OED;将具有相对于上文所讨论的TD脊更低的RD脊的密度;因此,RD脊衍射振幅降低,而TD衍射振幅保持不变。然后,信号由处理单元54发送至衰减器66,从而适当地增加传递至所述的层的脉冲能量。

[0063] 上述校正工艺当然不必使用图9所示的反馈排列自动化地进行。备选地,处理单元54可以将监视器上显示的关于表观OED偏移的信息传递至操作器,并且操作器可以人工调节传递至层22上的脉冲能量。

[0064] 图10示意性地示出根据本发明的准分子激光退火装置的另一个优选实施方案60A。装置60A与图9所示的装置60类似,不同之处在于其衍射测量装置20被备选的衍射测量装置21替换,其中所述衍射测量装置21包含直接光源80,例如激光束82。由激光得到的光以非垂直入射的方式入射在层22上,如图10所示,从而产生反射光束82R和衍射光84。将有上文所述的从TD脊和RD脊衍射的光束,参照图8和图9所示的装置20。反射光束82R可任选地被终止器38阻断,而衍射光被检测器元件52检测,并且如上文所述,可以根据检测器元件52的形式,被处理单元54处理。

[0065] 因此,本发明的方法和装置可以用于由包含多个扫描的面板找到OED,其中所述扫描均处于不同的ED下,例如具有ED 10、5或者甚至仅仅以 $2\text{mJ}/\text{cm}^2$ 相隔。根据本发明的显微镜可以固定在激光退火装置的退火室内部。显微镜可以包含变焦透镜组件,从而改变振幅。面板可以在显微镜下方扫描,从而允许面板根据条件在一个或多个位置处测量。显微镜可以额外提供一个阶段,从而在横向方向上移动。可以加入自动聚焦排列,但是对于锥光图像而言,这不是必需的,因为锥光图像比ELA工艺具有更大的焦点深度。还可以在一个或多个位置处测量(在线或离线)完全结晶的面板,以检测工艺的品质,这样如果需要,可以中断其他面板的结晶。如果实施充分的测量,可以获得缺陷(不均匀(mura))图。

[0066] 在上文所述的本发明的实施方案中,在彼此垂直的两个方向之一或每一个方向上,由样品衍射的光的测量振幅来测定OED,例如图6所描绘的那样。使用该方法的潜在问题在于测量振幅的改变可以由于ED改变以外的原因而发生。例如检测部件的劣化可以改变测量振幅。此外,在样品上可以具有结晶的空间变化,对于表面上相同的结晶ED而言,所述空间变化导致测量的衍射振幅的空间变化。下文以参照图11A和图11B开始,列出备选数据获取和处理方法的描述,其中所述方法如果没有一并除去,也可以减少上文讨论的潜在的问题。

[0067] 图11A和11B为在透射中通过偏光显微镜形成的结晶样品的显微照片。图11A来自在低于OED的ED下处理的(辐射的)硅层形成。图11B来自使用与图11相同的激光束段但是在高于OED的ED下处理的硅层形成。显微镜物镜为 $1.25\times$ 物镜。因此,图11A和11B的图像描绘了比图4中描绘的更大的区域,图4中的图像是使用 $10\times$ 物镜取得的,并且比用于创建图6和7的图像大很多,图6和7的图像是使用 $20\times$ 物镜取得的。

[0068] 图11A和11B的图像的水平维度为大约9mm。使用这种大的视野,可以形成明显的渐

晕,并且至图像的边缘,亮度渐暗。基于软件的平场校正适用于校正这种情况。使用市售可得的光栅图形过滤图像,从而得到绿色通道,但是蓝色被过滤的图像或者甚至未过滤的图像均具有相似的外观。备选地,图像可以得自提供有彩色滤光片的显微镜,从而仅过滤例如绿光或仅过滤蓝光。在显微镜照明中,未使用聚光镜光圈。图像具有高的亮度,并且照相机的快门时间少于100毫秒(ms)。

[0069] 图像是使用零阶透射光在衍射光中形成的,其中所述的零阶透射光被90度相对旋转的偏光器和分析仪所阻断。偏光器和分析仪相对样品的旋转使得同消色线由衍射带旋转开,如上文所讨论。这创建了所述的层(具有衍射光的高密度的脊)中的区域与所述的层(具有同样衍射光的低密度的脊)中的区域具有极高对比的显微图像。

[0070] 如上文所讨论,脊密度的差异将对应于波纹密度的差异,并且对应于颗粒结构的差异。因此,这些图像中的对比表明层的非均匀性。这种非均匀性一般称为不均匀。这些图像中的水平条带为扫描(轧制)方向,并且称为扫描不均匀。由于沿着激光束长轴的轻微的ED变化,通常显示扫描不均匀。这种ED变化使得工艺窗(process window)发生局部迁移。因此,在OED之下和OED之上的扫描不均匀对比相对彼此转化。发现扫描不均匀条带的对比在一段时间内极为稳定,并且在ELA系统的激光束传递系统中,通常仅由于光学器件的重排、污染或清洁而改变。图像中的垂直线为线的方向(激光束的长轴),并且被称为发射不均匀(shot mura)。在OED之下,发射不均匀大部分由宽的条带组成,而在OED之上,通常额外观察到尖的条带。

[0071] 对本说明书和所附的权利要求书的目的而言,水平和垂直线可以描述为周期性的,但是这并非必须意味着周期性是规则的。此外,术语水平的和垂直的仅用于方便地描述彼此垂直的线,并且不代表实践中线的实际取向。

[0072] 图12示意性地示出图像像素的列和行的平均亮度如何可以作为图像中各个发射不均匀和扫描不均匀的量度。图12为与图11B的图像相似的ED范围内取得的。图12的图G2和G1示意性地描绘了图像中像素的所有的列和像素的所有行分别的测量振幅。例如可以通过在各种情况中,由最大测量值减去最小测量值,或者通过振幅围绕平均振幅的变化的标准偏差来测定各种情况的对比值。如上文注释的那样,在这种情况下,图像是使用基于软件的绿色滤光片形成的。这增强了扫描不均匀的对比。

[0073] 图13为示意性地示出扫描不均匀(曲线A)的测量对比的图,其中所述的扫描不均匀为由图像(例如图12的图像)推导的ED的函数。该图是由经过滤而仅显示绿色通道的图像测量的。此外,为了比较,示意性地描绘了测量衍射光振幅,对于偏光显微镜图像的绿色通道亮度(曲线B)和蓝色通道亮度(曲线C)(类似于图6所示的曲线)而言,所述的测量衍射光振幅为ED的函数;并且是曲线B的计算斜率(曲线D)的绝对值。可见在大约 $15\text{mJ}/\text{cm}^2$ 的ED(OED)下,测量对比(曲线A)展现出极其明确的定义的最小值。还可见扫描不均匀对比(曲线A)通常跟随计算斜率(曲线D)的形式,其中所述的计算斜率在与曲线A的最小值相同的ED下还展现出明确定义的最小值。

[0074] 这符合以下观察:扫描不均匀对比很大程度是由线束中长轴能量密度变化所导致的。预计这种能量密度变化根据亮度曲线B所描绘的关系而给出亮度变化。因此,扫描不均匀对比的量度得到关于ED曲线的斜率的信息,以及通过这种关系,得到相对于所需的ED或OED的实际处理ED。

[0075] 图14为类似于图13所示图的图,其描绘了上文所讨论的参照图13的相同的测量和计算量,但是使用微光滑结晶的层。微光滑为用于减少扫描不均匀条带的对比的技术。该技术的详细描述对于理解本发明的原理并非是必需的,因此,在本文中未呈现。微光滑技术在美国专利No.7,723,169(转让给本发明的受让人)中详细描述,并且该文献的内容作为整体以引用方式并入本文。

[0076] 通过比较图13和图14的曲线可见,测量的对比相比未使用微光滑的情况更低,并且对比的最小值并未良好地定义。但是,可以测量扫描不均匀对比,其如实地与亮度曲线的斜率成比例,这可以通过比较图14的曲线A和D看见。因此,通过这种关系,对于上文所述的结晶工艺的监测和控制而言,扫描不均匀对比可以视为实际处理ED相对于所需的ED或OED的量度。

[0077] 在此应该注释,甚至可以在面板上的层间ELA处理的同时,可以取得上文所述的用于对比测量的偏光显微镜图像。在ELA过程中,面板沿着扫描方向移动,换言之,与扫描不均匀条带完全相同的方向。因此,即使在一次照相机曝光的过程中发射不均匀对比可以遭受到面板移动,但是扫描不均匀对比不受影响。

[0078] 扫描不均匀对比很稳定,但是可以很弱。可以通过在激光束传递系统(例如细金属丝)中精细地引入光学缺陷而增强扫描不均匀的对比。这种光学缺陷在处理的薄膜中会得到阴影和/或衍射条带。只要由这种光学缺陷得到的对比不强,则其可以再次为亮度曲线的斜率的量度,并且可以用于补偿ED偏移。使用激光束段扫描的区域具有较低的均匀性,并且理想的是可以将其定位于面板上部用于展示有源矩阵的位置。例如其可以定位于面板的边缘或者定位于其中展示面板是较晚划线的并分离的位置。备选地,通过暂时关闭微光滑来增强扫描不均匀的对比。而且,理想的是将受影响的区域定位于用于形成展示的区域以外。

[0079] 在本文中应该注释的是,尽管参照评价ELA和A-ELA结晶硅层描述了本发明,但是本发明适用于评价其他半导体材料的结晶层。例如可以评价锗(Ge)、或者Ge与硅合金的层。

[0080] 总之,上文参照本发明优选的实施方案描述了本发明。但是,本发明不限于本文所述的和描绘的实施方案。而且,本发明仅由所附的权利要求书限定。

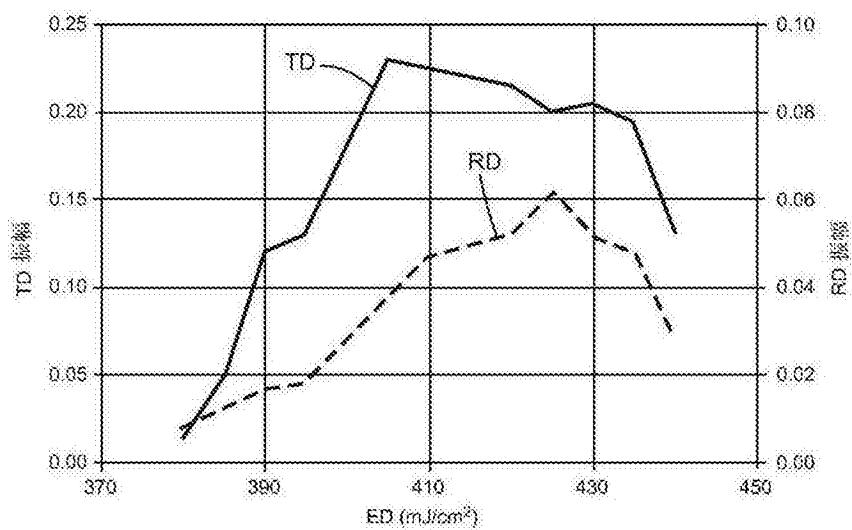


图1

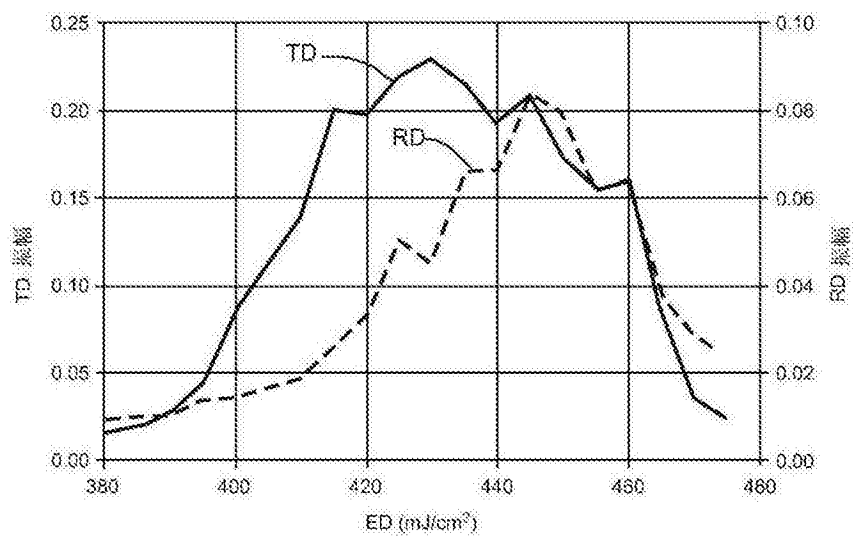


图2

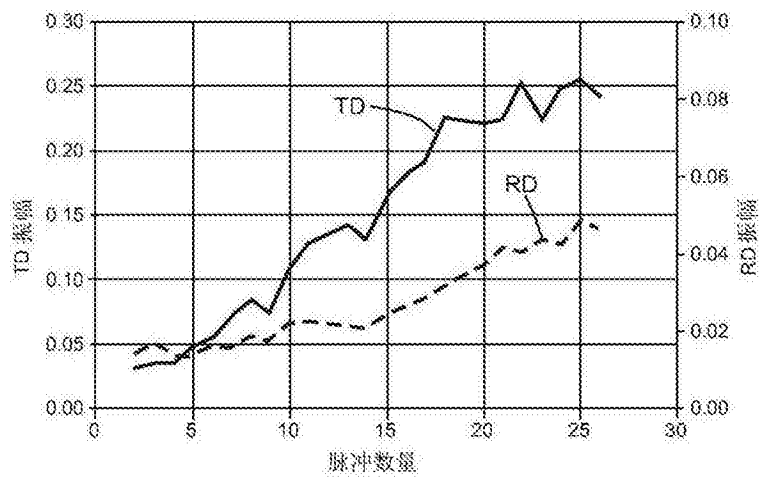


图3

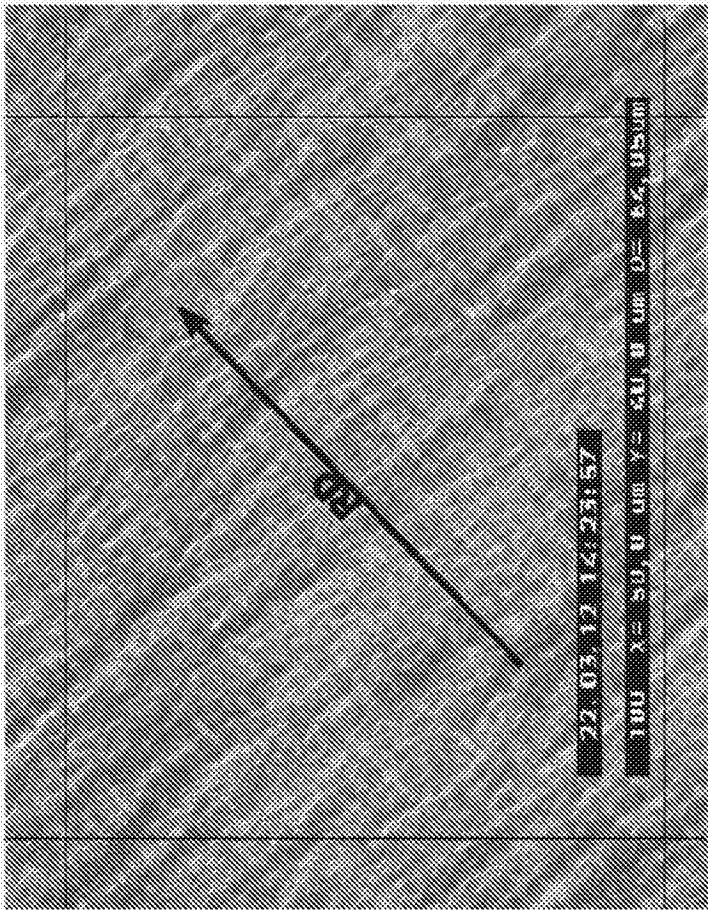


图4

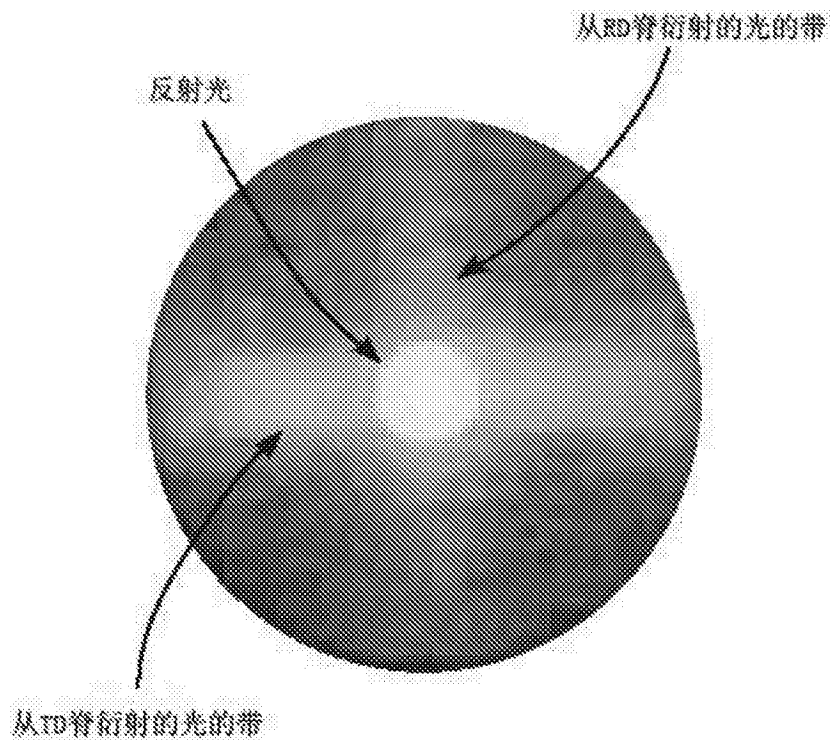


图5

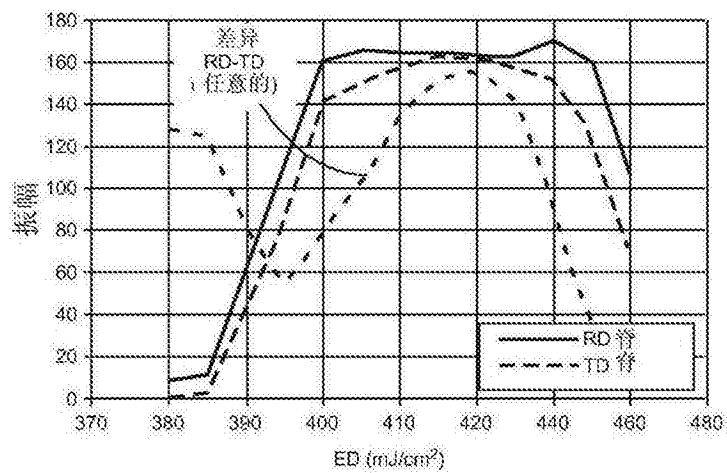


图6

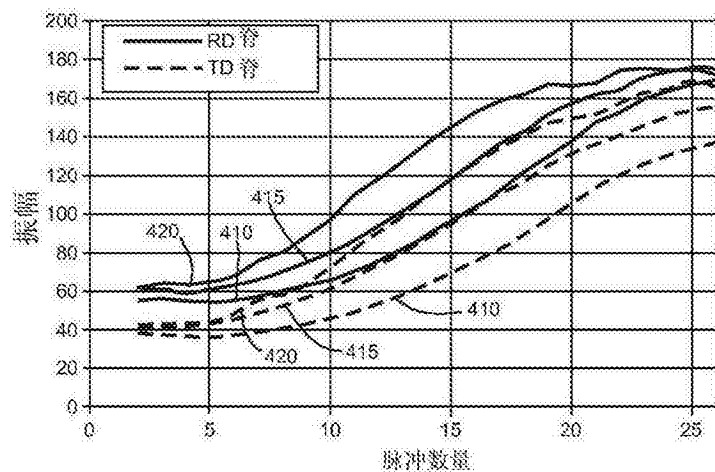


图7

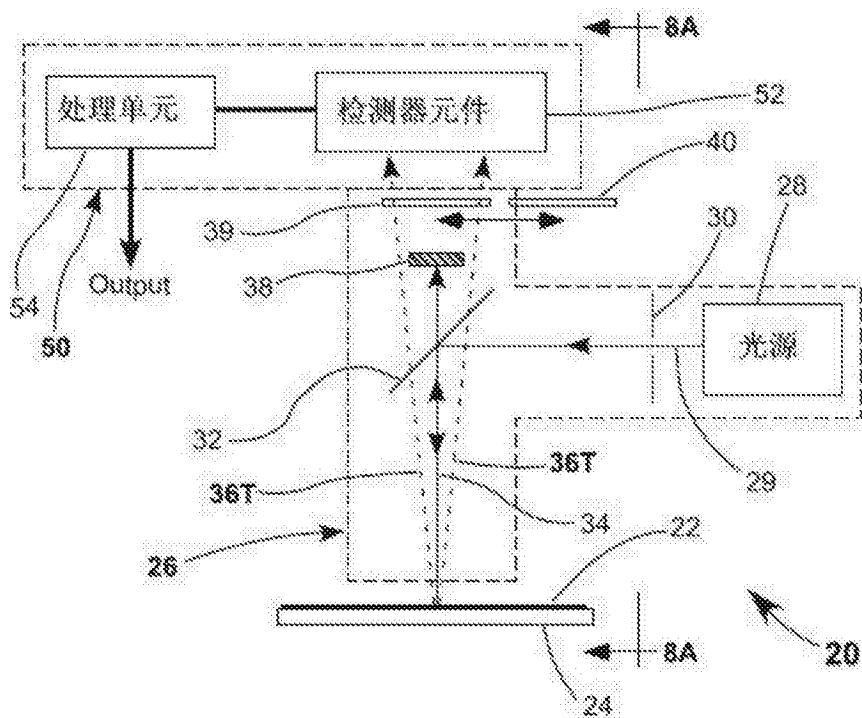


图8

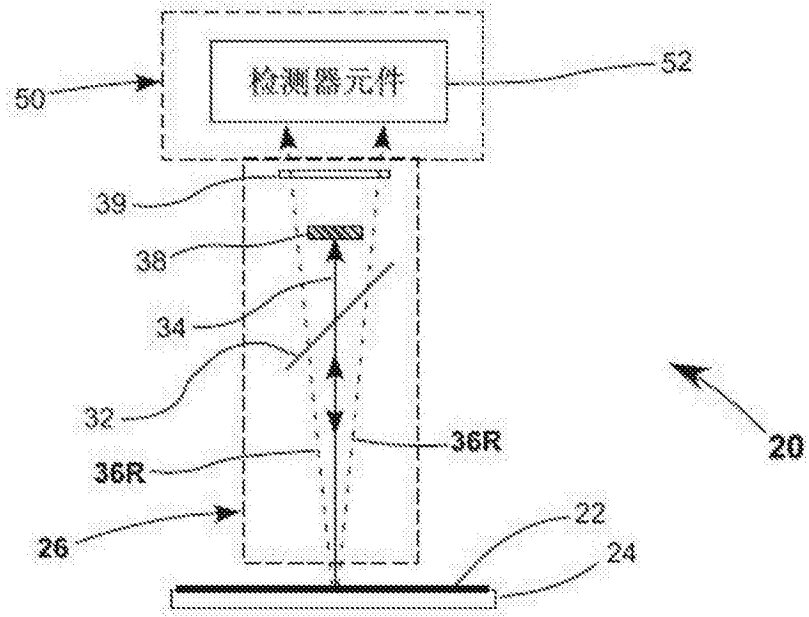


图8A

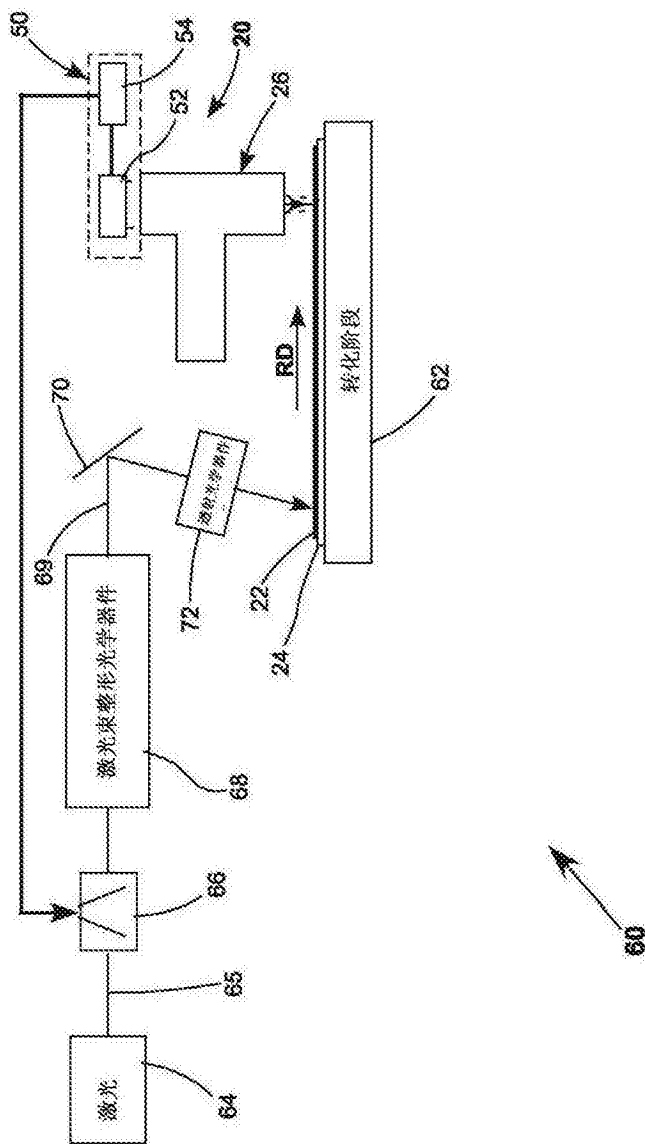


图9

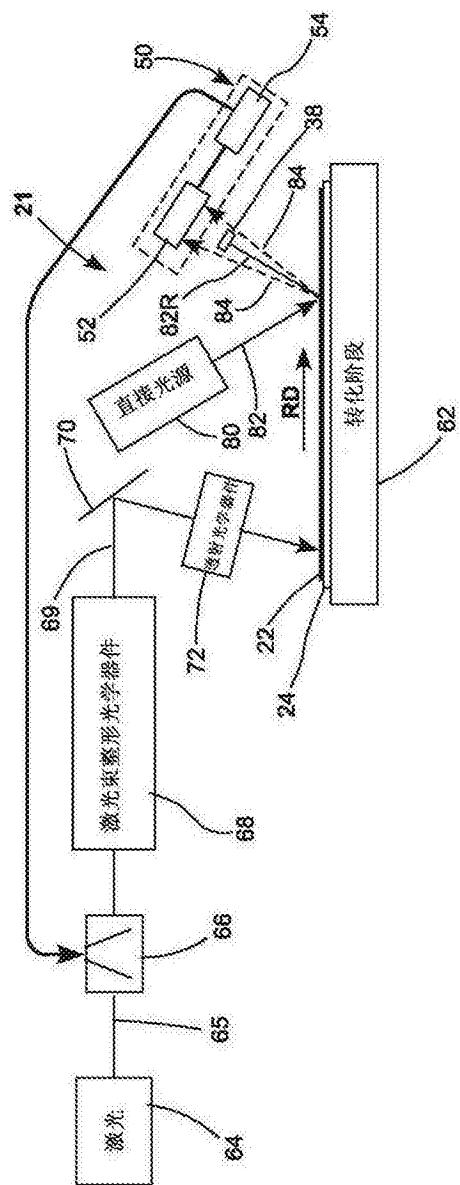


图 10

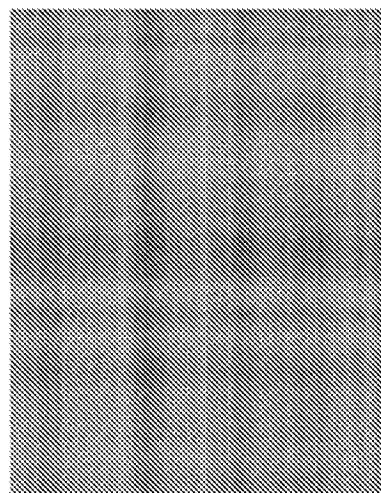


图11A

504

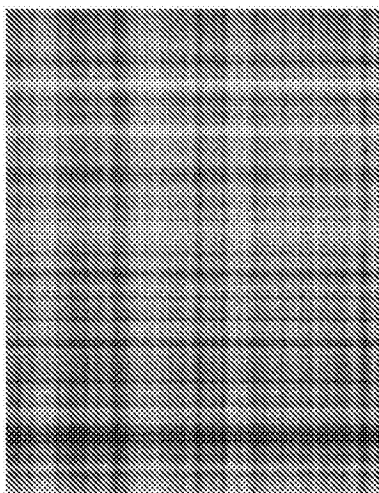


图11B

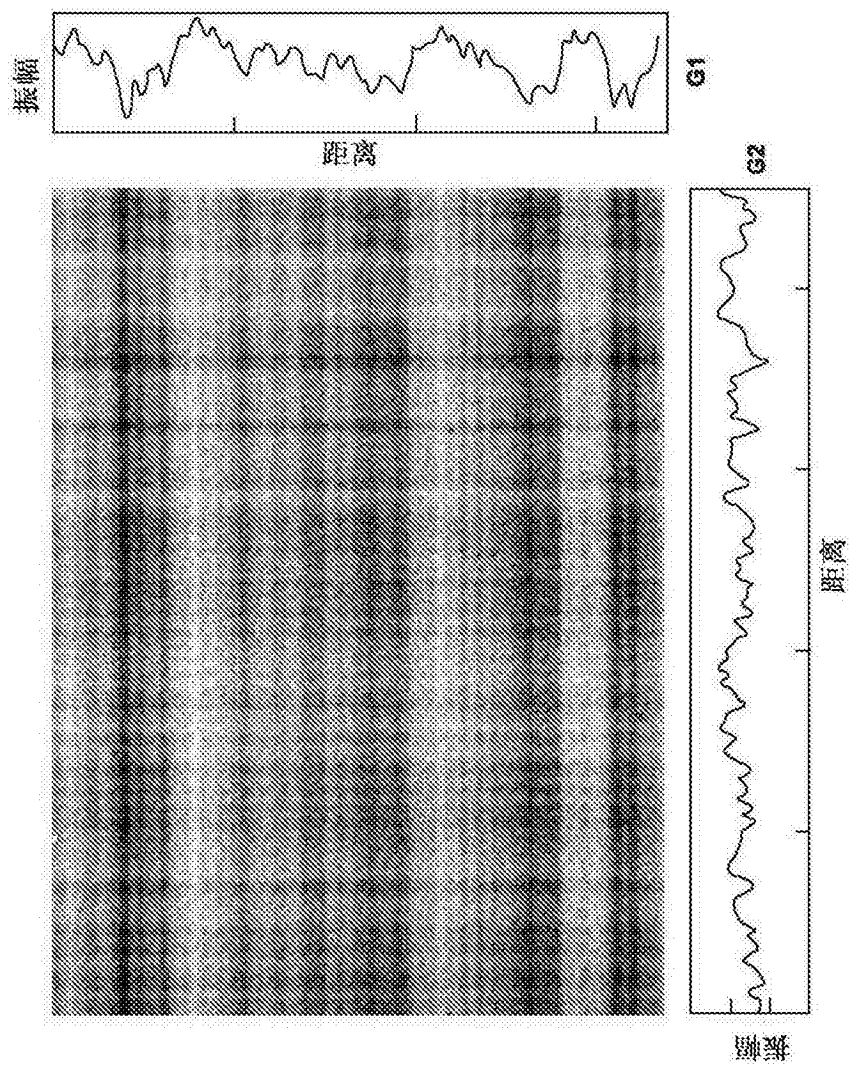


图12

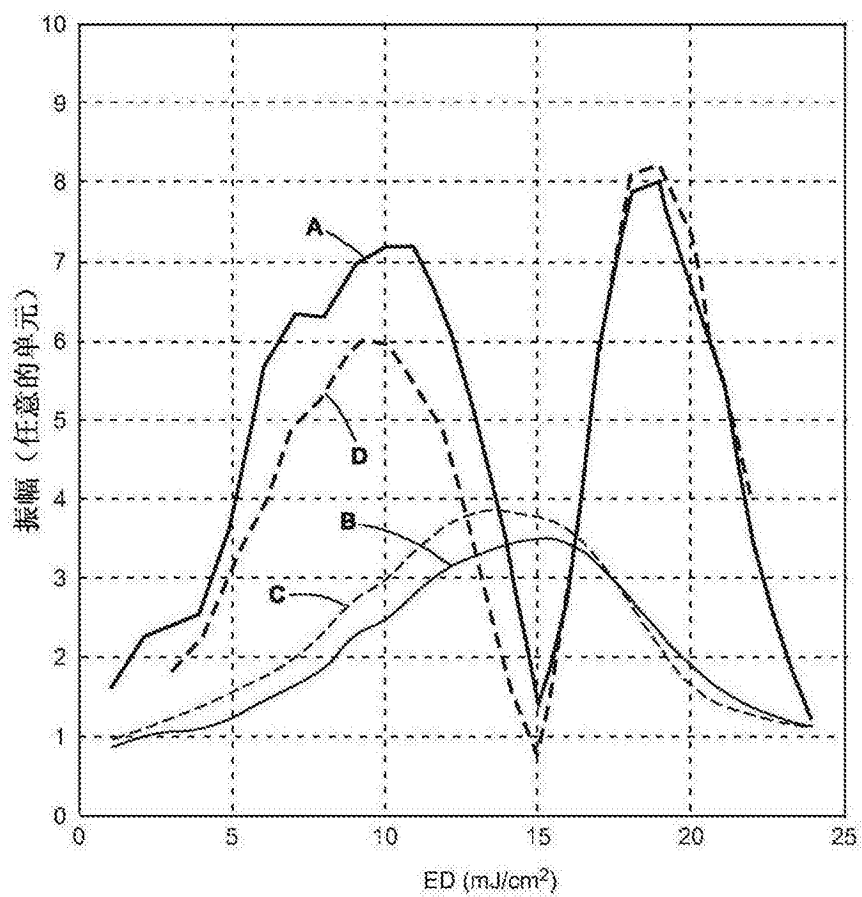


图13

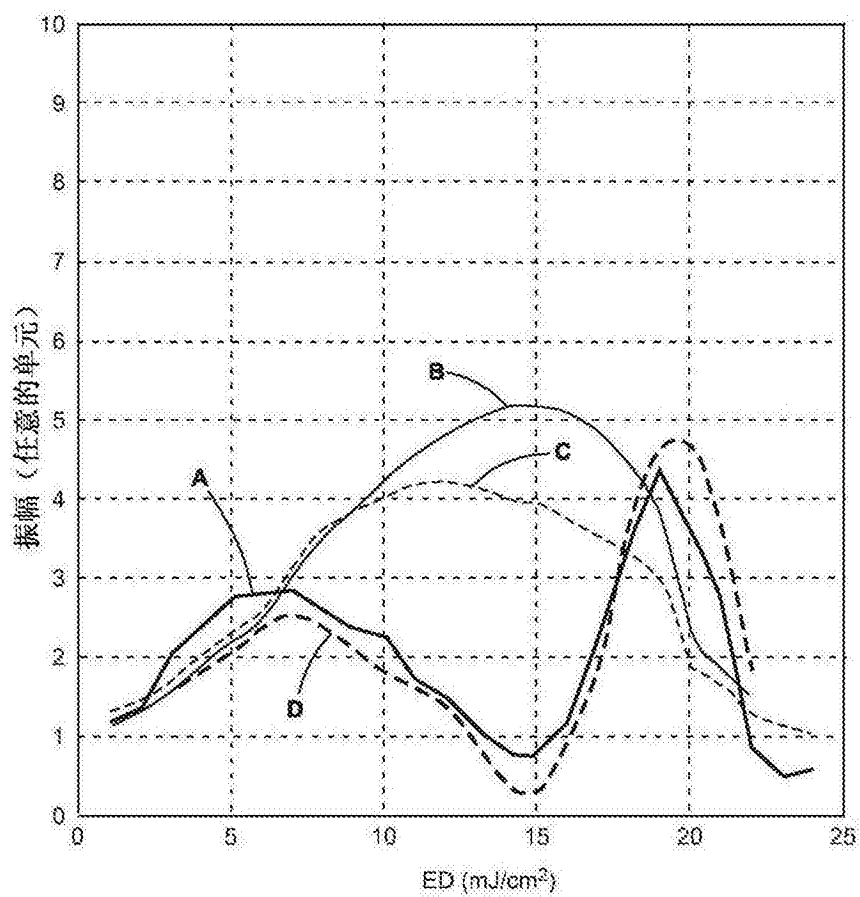


图14