

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H01J 37/26 (2006.01)

H01L 21/66 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 02802988.7

[45] 授权公告日 2007 年 3 月 14 日

[11] 授权公告号 CN 1305100C

[22] 申请日 2002.7.19 [21] 申请号 02802988.7

[30] 优先权

[32] 2001.7.26 [33] EP [31] 01202856.9

[86] 国际申请 PCT/IB2002/003025 2002.7.19

[87] 国际公布 WO2003/010792 英 2003.2.6

[85] 进入国家阶段日期 2003.5.23

[73] 专利权人 皇家飞利浦电子有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬

[72] 发明人 P·迪尔克森

R·J·G·埃尔夫林克

C·A·H·于费尔曼斯

[56] 参考文献

US6103009A 2000.8.15

US4335189A 1982.6.15

JP11-224640A 1999.8.17

JP8-272664A 1996.10.18

审查员 陈超

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 肖春京 章社杲

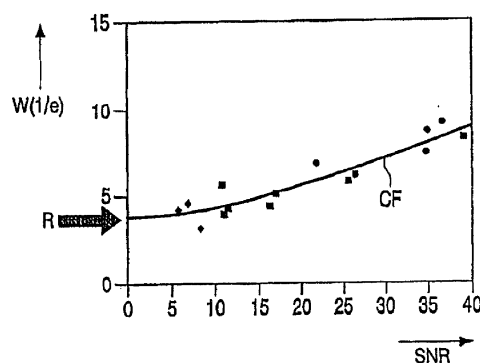
权利要求书 1 页 说明书 16 页 附图 6 页

[54] 发明名称

测量扫描电子显微镜的性能的方法

[57] 摘要

扫描电子显微镜(SEM)(10)的性能通过以 SEM 扫描多孔硅表面区域(PS_F 、 PS_C)、计算表面区域的图象的傅立叶变换频谱(F_c)并在零信噪比(SNR)的情况下从频谱的宽度($W(1/e)$)、信号振幅(S_a)和噪声偏移外推分辨率(R)而被测定出来,其中,每个多孔硅表面区域都具有不同的平均微孔尺寸。提供有不同的表面区域的测试样本通过在恒定电流下阳极氧化硅衬底(S_u)、同时持续减少衬底暴露在蚀刻电解液(EL)中的区域而得到。



1、一种确定扫描电子显微镜的成像质量的方法，该电子显微镜用于在制造器件的过程中测量构型在衬底层上的器件特征的尺寸，该方法包括以下步骤：

提供多个多孔硅表面结构；

利用扫描电子显微镜扫描该表面结构；

利用快速傅立叶变换技术分析由扫描电子显微镜获取的图象，以获得扫描电子显微镜的分辨率，其特征在于：扫描表面结构的步骤和获得分辨率的步骤分别包括以下步骤：

获取多种表面结构的图象，该表面结构具有不同的平均微孔尺寸；

计算这些图象中的每一个的傅立叶频谱，通过确定每个傅立叶频谱的 $1/e$ -宽度和信噪比的数值，从所有所述图象的傅立叶频谱的 $1/e$ -宽度、信号振幅和噪声偏移来确定扫描电子显微镜的分辨率，匹配一条曲线于这些数值，和从所述匹配曲线确定所述 $1/e$ -宽度相应于为零的信噪比。

2、根据权利要求1所述的方法，其特征在于：获取图象的步骤包括以下步骤：扫描多个分开的衬底的多孔硅表面结构，每个多孔硅表面结构都具有不同的平均微孔尺寸。

3、根据权利要求1所述的方法，其特征在于：获取图象的步骤包括以下步骤：扫描提供有多孔硅表面结构的单个衬底，该多孔硅表面结构的平均微孔尺寸在一个方向上从小到大连续增加。

4、根据权利要求3所述的方法，其特征在于：使用这样一种衬底，其多孔表面结构提供有具有远大于微孔尺寸的尺寸的附加的特征的图案。

5、根据权利要求4所述的方法，其特征在于：附加的图案包括伸长的特征，其长度方向沿平均微孔尺寸增加的方向。

6、根据权利要求4或5所述的方法，其特征在于：附加的图案由形成图案的层构成；形成图案的层包括下述金属之一：钨、钛、锆、铪、钴、钇、镧、铂、钡和铝。

7、根据权利要求4或5所述的方法，其特征在于：所述附加的图案是由层包括材料氮化锆、氮化硅和碳化硅之一的形成图案所构成。

测量扫描电子显微镜的性能的方法

本发明涉及一种用于测定扫描电子显微镜的成像质量的方法，该电子显微镜用于在制造器件的过程中测量形成在衬底层上的器件特征的尺寸，该方法包括以下步骤：

提供多孔硅表面区域；

利用扫描电子显微镜扫描表面区域；

利用快速傅立叶变换技术分析由扫描电子显微镜获取的图象，以获得扫描电子显微镜的分辨率的指标。

本发明还涉及用于上述方法的测试衬底、制造测试衬底的方法、使用上述测定方法大批量制造器件的方法和自检扫描电子显微镜。

为了制造所述器件，使用了光刻方法，其包括大量的掩膜、蚀刻、植入等步骤。光刻投影装置在光刻技术中是一个重要的工具。利用这种装置，对于每个要被构成的器件层，可以在成像步骤之前，将具有图案特征的掩膜图案转印到涂覆在所述层上的辐射敏感薄膜上，其中，该图案特征与所述层上要被构型的器件特征相应。辐射敏感层对用于成像的辐射特别敏感，即，在辐射照射的区域内改变其特性。这种层是抗蚀剂层的一个实施例，该术语还含盖了对带电粒子束如电子束敏感的层。转印图案应理解为利用如电子束在抗蚀剂层上成像掩膜图案和在该层上写入图案。在器件制造期间，连续掩模图案，另一衬底层的每一个都由此转印到相同的目标上例如衬底上的 IC 区域。

光刻方法和装置还用在 IC 之外的器件的制造上，如，集成或平面光学器件、磁头或液晶显示板。

衬底应理解为材料如硅的平板，其构成了完整的多层器件，如 IC，该器件通过多组处理过程一层一层的形成。每组都包括下述主要的处理步骤：在衬底上涂覆辐射敏感的或抗蚀剂薄膜，使掩模与衬底对准，在抗蚀剂薄膜上成像掩模图案，显影抗蚀剂薄膜，通过抗蚀剂薄膜蚀刻衬底，进一步清理和其他处理步骤。术语衬底包括了在制造过程中不同阶段内的衬底，即，包括了没有和仅具有一层已经构型的器件特征的衬底及所有层而不是一层已经构型有器件特征的衬底，和所有的中间衬底。

对投影装置的性能和设定如焦点在规则的时间点被控制，例如在工作日的开始或在曝光一批相同的衬底的开始。用于曝光一批晶片的测试掩模或制造掩模在不同位置成像，因此，有可能在测试衬底上的抗蚀剂层中具有不同的焦点设定。在抗蚀剂层显影之后，测试衬底的表面由电子显微镜（SEM）扫描，以确定构型在抗蚀剂层上的图案的质量。通常，需要测定最小特征尺寸的质量，也被称为临界尺寸（CD）。在这种情况下，可以确定最佳焦点设定，并确定是否获得所需的图象质量。由测试曝光性能得到的数据可以用于校正投影装置的设定。

最好稳定地降低构型在衬底上的器件特征的宽度，以稳定地增加器件的操作速度和/或增加 IC 器件内电子元件的数量。结果，具有增加的较小的图案特征和这些特征之间的较小距离的掩模图案被成像。这意味着增加的严格的要求不得不强加在器件制造环境中的 CD 控制上，并不得不降低或消除影响该控制的误差源。一个重要的误差源就是广泛使用的度量工具 SEM 的不稳定性。

通常，通过使用标准化的测试样本，即提供有特征的特定掩模图案的校准晶片，稳定并校准 CD-SEM，以 SEM 监控间隙和特征以及周期。如果测量的特征宽度和周期不同于标准数值，将不得不调整 SEM，直到测量的数值等于标准数值。这种校准方法引起的一个问题就是用于分析 SEM 输出数据的线宽测量算法不适用于检测小聚焦误差或共点误差的情况，从而这些误差不能引起注意。这导致了劣质器件层通过 SEM 测试，这种情况将会继续，直到发现器件生产过程的生产率下降。同时，浪费了很多器件。此外，这种校准方式与特定的测试样本极为相关。如果需要以一个新的测试样本替代测试样本，如由于前一样本损坏或污染而需要更换，则需要首先测量新的测试样本，以将其特征化，并需要将测量新的测试样本所获得的结果和前一测试样本的结果彼此分别联系起来。

如由 G.L. Fanget 等人在文章：“Survey of Scanning Electron Microscopes Using Quantitative Resolution Evaluation” SPIE Vol. 3050, 1997, 80-92 页所指出的，SEM 的分辨率提供 SEM 的性能的良好图象，以执行 CD 测量或过程估计。分辨率通过以 SEM 扫描特定样本而被测定，由 SEM 获取的图象数据以频域变换进行处理。这使得相比人眼检测，这种分辨率的测定更加客观，因为人眼的测定是错综

复杂并且主观的。所使用的样本是具有多微孔表面的硅层，其表面分布有任意直径和位置的微孔。具有 5 到 50nm 范围内的直径的深微孔几乎垂直于表面，并具有薄壁，从而产生了高对比度图象。该样本通过在氢氟酸电解液中蚀刻硅晶片而获得。在扫描该样本之后，执行二维快速傅立叶变换（2D FFT）图象分析过程，其产生了在频域（FD）的任意位置上出现的具有小峰值的噪声频谱。为了改进该测量方法，通过卷积所谓二维门函数平滑频谱。这提供了域在频域的每个方向上确定象素的移动平均值相同的结果。然后，检查频域的多个例如六十个方向，确定每个的截止频率（COF）。这些 COF 的数值描述在分辨率轮廓图表中。

在此种分辨率测量方法中，测量相同样本的结构需要进行多次，测量数值受到样本结构的影响。该方法是一种依靠样本结构的并需要调整的方法。该方法在第二篇文章中被披露了：“A contribution to the evaluation of scanning electron microscope resolution”，SPIE, Vol. 3332, 1998, 71-80 页。根据该文章，图象处理过程通过从样本图象提取 SEM 的转印函数并分析该函数而进行。这将减少样本参数对最后结果的影响，并与样本描述法相比提供了关于 SEM 自身的更为精确的信息。在第二方法中，测量相同的样本结构也进行多次。

本发明的目的在于提供一种快速测定如开头段落中所描述的 SEM 的成像质量的方法，其中，测量的分辨率与表面结构无关。即一种确定扫描电子显微镜的成像质量的方法，该电子显微镜用于在制造器件的过程中测量构型在衬底层上的器件特征的尺寸，该方法包括以下步骤：提供多个多孔硅表面结构；利用扫描电子显微镜扫描该表面结构；

利用快速傅立叶变换技术分析由扫描电子显微镜获取的图象，以获得扫描电子显微镜的分辨率，该方法的特征在于：扫描表面结构的步骤和获得分辨率的步骤分别包括以下步骤：

获取多种表面结构的图象，该表面结构具有不同的平均微孔尺寸；

计算这些图象中的每一个的傅立叶频谱，通过确定每个傅立叶频谱的 $1/e$ -宽度和信噪比的数值，从所有所述图象的傅立叶频谱的 $1/e$ -宽度、信号振幅和噪声偏移来确定扫描电子显微镜的分辨率，匹配一条曲线于这些数值，和从所述匹配曲线确定所述 $1/e$ -宽度相应于为零的信噪比。

本发明还基于这样的理解：通过获取具有多种充分平均微孔尺寸的足够多种表面区域的图象，其中，每个图象都具有特定的傅立叶频谱，将可以获得足够的图象数据，以用于在信噪比为零的情况下从频

谱宽度的这些数值进行外推。后者的数据与 SEM 的分辨率相对应。这样，获得的分辨率与使用的测试样本无关。

方法的第一实施例的特征在于：获取图象的步骤包括以下步骤：扫描多个分开的衬底的多孔硅表面结构，每个衬底都具有不同的平均微孔尺寸。

该方法的具有创造性的和优选的实施例的特征在于：获取图象的步骤包括以下步骤：扫描提供有多孔硅表面结构的单个衬底，该多孔硅表面结构的平均微孔尺寸在一个方向上从小到大连续增加。

本发明的实施例还基于这样的理解：可以将具有不同平均微孔尺寸的多孔结构提供在单个测试衬底上，以使可以通过仅扫描该单个衬底就可以测定 SEM 的分辨率，时间由此而大大节省。

为了允许初始聚焦在测试样本上和/或可以进行导航和图案识别，第二实施例优选地还具有下述的特征：使用这样一种衬底，该衬底的多孔表面提供有具有远大于微孔尺寸的尺寸的附加的特征的图案。

附加的图案的特征的尺寸在几 μm 范围内，其允许 SEM 在多孔结构上的初始聚焦和最终，如步进的，聚焦。每个附加的图案可以包括有关相关衬底表面区域的位置的信息，从而允许将任意给定区域定位在 SEM 的物场中。

本发明还涉及一种新的和具有创造性的用在该新的方法中的测试衬底。该衬底的特征在于：多孔硅表面的平均微孔尺寸在一个方向上从小到大连续增加。

该衬底的优点在于：其使得用于测定 SEM 的分辨率所需的时间明显下降，这对使用 SEM 的器件制造环境是极为重要的。

该测试衬底的优选实施例的特征在于：多孔表面提供有附加的特征的图案，其尺寸远大于微孔尺寸。

该测试衬底允许 SEM 初始聚焦在样本上和/或可以进行导航和图案识别。

优选的，该测试衬底的特征在于：附加的图案包括伸长的特征，其长度方向沿平均微孔尺寸增加的方向。

测试衬底还具有这样的特征：附加的图案由非硅材料的形成图案的层构成。

该图案的特征与其周围环境形成的鲜明的对比。

该测试衬底的一个实施例的特征在于：形成图案的层包括下述金属之一：钨、钛、锆、铪、钴、钇、镧、铂、钨和铝。

这些在光刻技术中用于其他目的的材料可以有效抵抗 HF 蚀刻。

测试衬底的另一个实施例的特征在于：形成图案的层包括材料氮化锆、氮化硅和碳化硅之一。

具有大量的硅的氮化物特别适合于该层。

本发明还涉及一种用于制造具有多孔硅的测试衬底的方法，该多孔硅的平均微孔尺寸在一个方向上从小到大连续增加。该方法的特征在于包括下述顺序步骤：

将 P⁺ 掺杂的硅衬底放置在装有盐水溶液的电解槽中；

将电解槽浸入装有电解溶液的容器中；

将电流源的一个电极连接到设置在容器上的阴极上，另一极连接到电解槽上，该电解槽形成了阳极，由此，电流从衬底流动到阳极；

在一个方向上，连续减小暴露在电解溶液中的衬底的表面区域，和

当衬底表面离开电解溶液时切断电流。

这是一种简单而快速的形成执行上述方法所需的组成多孔结构的方法，该方法可以以简单的装置的执行。

该方法的特征在于还具有下述附加步骤：形成附加的特征的图案，其尺寸远大于微孔尺寸。

可以首先形成附加的图案，然后蚀刻微孔。对于形成图案的层，非常适用于上述金属材料中的一种，因为它们都具有良好的 HF 蚀刻抵抗力。

优选的，制造方法的特征在于：在衬底表面已经提供有多孔结构之后，形成附加的图案。

用于测定 SEM 在制造器件如 IC 的过程的环境中的图象质量的方法和装置的使用使得该过程的生产率提高。本发明还涉及一种大批量制造器件的过程，该器件在器件衬底的至少一个衬底层上具有器件特征，该过程至少包括一个下述顺序步骤：

提供具有与要构型在所述层上的器件特征相应的特征的掩膜图案；

将掩膜图案成像在涂覆在衬底上的抗蚀剂层上，显影该层，从而形成相应于掩膜图案的形成图案的层；

从衬底层的区域上移开材料或将材料附加到衬底层的区域上，其中，该区域由形成图案的覆层的图案进行勾画；

其中, 在进行批量生产的开始, 通过以扫描电子显微镜获取图象并分析图象, 控制提供有形成图案的覆层的衬底, 以控制形成图案的覆层特征的尺寸。该过程的特征在于: 电子显微镜的成像质量通过上述方法被规律地检查。

本发明还涉及一种扫描电子显微镜, 包括: 扫描电子单元、用于保持要被显微镜检测的物体的载物架和提供有用于分析由扫描单元提供的数据的程序的信号处理单元。该显微镜的特征在于: 载物架表面对扫描器件的一小部分永久的提供有小多孔硅表面形式的测试样本, 其平均微孔尺寸在扫描单元的扫描方向上连续增加, 其中, 处理单元提供有附加的程序, 用于在扫描测试样本的过程中分析由扫描单元提供的数据。

通过这种方式定位载物架: 使样本位于物场中, 同时扫描样本并处理由扫描单元提供的数据, 可以确定显微镜的即时性能。这样, 可以获得可以自检的电子显微镜。

通过下面参考实施例的非限定性实施例的描述, 本发明的这些和其他方面将更加明显。

在附图中:

图 1 示出了传统测试衬底的表面;

图 2 示出了该表面的傅立叶频谱;

图 3 示出了在本发明的方法中使用的多孔硅表面的实施例的傅立叶频谱;

图 4 示出了根据本发明的用于制造测试硅衬底的装置;

图 5 示出了作为 HF 浓度和电流密度的函数的测试衬底的微孔尺寸的变化;

图 6a 和 6b 示出了由本发明的测试衬底制造方法获得的多孔表面的两部分;

图 7 示出了当扫描该表面时获得的傅立叶频谱的信噪比和 $1/e$ -宽度的数值以及这些数值的最佳匹配曲线;

图 8a 和 8b 示出了提供有附加图案的多孔表面的部分的不同放大率的图象;

图 9 示出了在最佳聚焦条件下由不同方向进行测量得到的最佳匹配曲线;

图 10 示出了实现本发明的 SEM 的第一实施例，和

图 11 示出了实现本发明的 SEM 的第二实施例。

SEM 的质量的主要参数是其分辨率。通常，测定分辨率的工作是一个主观过程。典型的，要被检测的 SEM 扫描提供有金粒子的碳样本，如图 1 所示。在该附图中，亮的金粒子由附图标记 2 指示，黑的碳背景由附图标记 4 指示。操作者检测由 SEM 提供的图象，以测定最小的粒子和/或可见的粒子之间的最小的粒子间隔。最小间隔被称为分辨率。以这种方式测定分辨率是一种主观过程，需要技术熟练的操作者。由于通常检测单个图象这一实际情况，而没有采取措施消除或降低噪声影响，因此，错误测定的概率增加。

SEM 的成像质量，即显微照片的质量，如图 1 所示，可以在频域，即傅立叶域，较容易的被估计。用于这种估计的计算机程序已经存在。这种程序降低了估计的主观性，并提供了用于监控随时间变化的分辨率、象散、图象质量并用于比较不同 SEM 的性能的定量框架。测量数据还用于调整 SEM，以获得最佳性能。

在通过已知的快速傅立叶变换技术分析 SEM 数据的过程中，可以获得频域的频谱。该频谱已经由高斯形状详细描述了出来。图 2 示出了这种傅立叶频谱的一个实施例。作为扫描样本上的粒子的密度的函数的快速傅立叶变换 (FFT) 数值 F_s 由高斯曲线 F_c 表示，该曲线与计算值最为匹配。样本上沿 XY 坐标系的 Y 轴延伸的粒子的密度 d_y 沿图 2 的水平线绘制。傅立叶频谱不仅由 SEM 的分辨率决定，而且由样本的结构决定，从而，分辨率测量受到样本结构的影响。

现已发现，具有多微孔表面结构的硅衬底是用于高分辨率测量的理想样本。如果 SEM 设定在高分辨率，将可以观测到多孔结构的精细细节。多微孔结构可以通过硅衬底在浓氢氟 (HF) 酸中的阳极溶解而得到，如下所述。结构的微孔与表面垂直，并具有锐壁，以获得高对比度。

当以 SEM 扫描该多孔硅结构并分析图象时，可以获得如图 2 所示的傅立叶频谱。该频谱的曲线与上述文件中所示的理想曲线相同，上述文件为“一种对扫描电子显微镜分辨率估计的方法”。傅立叶频谱包括与用于扫描多孔结构的 SEM 的分辨率相关的信息，以使分辨率可以大体上从该频谱中被推导出来。然而，根据该文件获得的傅立叶数

值不仅取决于 SEM 的分辨率，而且取决于多孔衬底的结构。测量的分辨率包括基于衬底结构的项，这意味着必须要执行校准过程。此外，噪声也同样影响测量的分辨率。

为了获得其微孔具有给定平均尺寸的多孔硅表面结构，在给定时间间隔内，硅片在给定恒定电流密度下具有给定百分比的 HF 的溶液中被阳极氧化。通过使用不同的电流密度和不同的浓度的 HF，可以获得具有不同平均微孔尺寸的多孔结构。如果电流密度增加，HF 浓度降低，平均微孔尺寸将增加。如果电流密度降低，HF 浓度增加，平均微孔尺寸将降低。当硅衬底被浸入到 HF 溶液中时，电流将被迫从衬底流动到置于 HF 溶液中的阴极，由于 F 离子的侵蚀而发生硅的溶解，形成氟化硅原子，其中包含有电荷。如果衬底为 P⁺ 掺杂的硅，电子空穴将由材料的大块部分移动到表面上。基于空穴从硅块到微孔的扩散受限的移动过程，可以形成表面的微孔。由于扩散长度取决于电流密度和掺杂水平，因此，微孔的尺寸及其分布是这两个参数的函数。

本发明的方法利用了以上述简单的方法控制平均微孔尺寸的可能性。根据本发明，可以形成多种不同的多孔结构，每种多孔结构都利用了不同的电流密度和不同的 HF 浓度。要被检测的 SEM 扫描每个多孔结构，其傅立叶频谱被计算出来。在此过程中，还考虑了噪声影响。可以获得相应数量的傅立叶频谱，其中之一如图 3 所示。该频谱是通过在 $7.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 的恒定电流密度下将硅片在 10% 的 HF 中阳极氧化 5 分钟所得的多孔结构的频谱。

图 3 示出了大量离散傅立叶数值 Fd。虚曲线 Fc 是高斯曲线，其与离散数值 Fd 最佳匹配。傅立叶频谱或曲线 Fc 具有信号振幅 Sa，并示出了恒定的偏移，其代表基本均匀的背景或恒定的噪声电平 NL，其与样本无关。该噪声电平 NL 与 SEM 相关，其物理影响可以是 SEM 的检测器的热噪声或散粒噪声，该噪声具有白噪声频谱，和/或样本保持器的机械振动。

新方法的重要参数是由图 3 中的 $W(1/e)$ 指示出来的曲线 Fc 的 $1/e$ -宽度，即高斯曲线在信号振幅上的宽度，其是最大值 Sa 的 $1/e$ 。 $1/e$ -宽度、信号振幅 Sa 和噪声电平 NL 可以从通过使用已知的最小平方拟合例程，即对试验数据的匹配曲线的方法，从图象数据中计算出来。 $1/e$ -宽度用于测定 SEM 的分辨率。该宽度还依赖测试衬底的

多孔结构，从而，由具有给定结构的单个样本测量出来的 SEM 分辨率还包括依赖衬底结构的项。根据本发明，具有不同平均微孔尺寸的多孔硅结构被扫描，其傅立叶频谱的数据被组合，SEM 分辨率通过对这些数据进行外推而测定出来，该 SEM 分辨率与多孔结构无关。

该方法所需的多种多孔结构可以以不同结构提供在不同衬底上，其被连续呈现在要被测量的 SEM 的物场中，被扫描并被从该物场中移开。如果这些结构可以放在单个衬底的离散表面区域上，将可以基本减少测量不同多孔结构所需的时间。之后，通过扫描一个衬底，收集所有必需的信息。

本发明的物质部分适用于用于构成具有多种多孔结构的此种衬底的方法和装置。该方法和装置的原理如图 4 所示。

图 4 的蚀刻装置包括装有包括有氢氟酸 (HF) 的电解液的蚀刻池保持器 H_{bb} 。阴极 Ka ，如由铂制成的阴极，放置在保持器 H_{bb} 中。在保持器 H_{bb} 中，用于容纳衬底 Su 的电解槽 Ce 浸泡在电解液 $E1$ 中。该电解槽包括由如铂构成的阳极 An ，其连接到电流源 Cs 的第一极，其另一极连接到阴极 Ka 。在蚀刻期间，电流源使恒定电流从阳极流动到阴极。电解槽 Ce 装有盐水 Sa ，如浓度为 $22g/l$ 的 K_2SO_4 ，其提供了阳极和衬底 Su 之间的电连接。由此，衬底在蚀刻过程中作为阳极。要被蚀刻的衬底是 P^+ 硅片，其重掺杂有硼，并具有如 $0.01 - 0.02$ 欧姆·厘米的低电阻。这种低电阻的优点在于，晶片可以简单的浸泡在电解槽中，不需要背面接触任何的硼植入和铝蒸发。电解液 EL 最好包括如 50% 的乙醇。将乙醇添加到 HF 溶液中保证了蚀刻过程的结果的可再生性。根据另一种改进方式，可以将如 $10ml/6l$ 浓度的少量三硝基甲苯添加到溶液中，以降低表面张力。

在蚀刻过程开始，衬底 Su 完全浸入电解液，电流分布在整个表面上，以使电流密度相对较低。然后，与电解液接触的衬底表面区域缓缓下降。当电流恒定时，电流密度将持续增加，其导致形成的微孔的平均尺寸持续增加。该尺寸在与电解液接触最长时间的表面区域上最大。这样，形成了具有平均微孔尺寸梯度的多孔硅表面。在蚀刻池中的 HF 的量可以在约为 10% 的范围内，电流密度可以从几个到几十个 mA/cm^2 。

为了减小与电解液接触的衬底表面区域，将衬底从电解液中拉出，

即从图 4 中所示的装置中拉出,衬底慢慢向上移动。优选地,电解液的水位简便地通过打开蚀刻池保持器 H_{eb} 的阀门 V_a 而缓缓下降。

离开阀门的电解液在容器 C_o 被收集,可以被清洗,并再次用于后面的蚀刻过程中。

图 5 示出了作为浓度 HF ($10\log(\text{HF})$ 沿水平轴)和电(阳极氧化的)流 I ($10\log(I)$) 沿垂直轴)的函数的微孔半径的变化。图 5 显示了在高 HF 浓度和低电流密度的条件下有利于形成微孔,即在图中所示的区域 PF 中有利于形成微孔。在低 HF 浓度和高电流密度的情况下,即在图 5 中的区域 EP 中,表面将电镀-抛光。区域 PF 和 EP 之间还存在过渡区域 TA。在 PF 中的圆点代表了试验中的设定条件,在这些圆点附近的数字指出了以 nm 为单位的典型的微孔尺寸,其在使用上述设定条件的情况下形成。例如,在 10% 的 HF 浓度和 $7.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 的电流密度的条件下,形成半径在 13 到 5nm 范围内的微孔。图 5 确证了微孔尺寸可以通过改变 HF 浓度和电流密度进行调节的事实。根据拇指法则,大电流密度导致大微孔和较宽阔的微孔尺寸范围,高 HF 浓度可以获得较小的微孔和较小的微孔尺寸范围。

通过图 4 所示的方法和装置获得的多孔结构在一个方向上显示了在平均微孔尺寸上的梯度,即在与电解液接触的表面区域减少的方向上的梯度。在衬底的上侧 Su_t 的平均微孔尺寸最小,在下侧 Su_b 的最大。可以以这种方式设定蚀刻条件:即,使得平均微孔尺寸在约为 1nm 的精细微孔范围到约为 25nm 的粗微孔范围之间进行变化。提供有多孔结构的衬底可以是当前的 8 英寸硅片。

图 6a 示意性地示出了衬底上侧精细多孔结构 PS_F 的部分,图 6b 示出了衬底下侧粗大多孔结构 PS_C 的部分。两个图都是以放大率为 300000X 的 SEM 得到的。

根据本发明,通过将具有平均微孔尺寸为梯度的多孔硅表面放置在 SEM 的物场中并在梯度的方向上对其进行扫面可以测定 SEM 的分辨率。SEM 获取连续表面区域部分的图象,该图象被用于分析。每个图象都被变换为类似图 3 中所示的傅立叶频谱。测定每个频谱的 $1/e$ 宽度 ($W(1/e)$) 和信噪比 (SNR)。图 7 示出了整个图象的参数的数值,以及与这些数值最佳匹配的理论曲线 CF。

该方法具有下述物理背景。对于具有相对比较大的微孔的多孔结

构来说,衬底的下侧的 PS_c ,以图3中的线条/nmDy表示的单位长度的微孔的数量相对较少。微孔直径刚好在SEM的分辨率界限范围内,从而,傅立叶频谱的 $1/e$ -宽度由多孔结构确定。这种相对粗大的结构的频谱显示了相对较高的频谱强度。对于具有相对较小的微孔的多孔结构来说,衬底的上侧的 PS_p ,单位长度的微孔的数量相对较多, $1/e$ -宽度相对较大,接近SEM的分辨率。因此不能分析多孔结构,其空间频率超过了SEM的分辨率。精细多孔结构的频谱强度相对较小。图3还示出了与频率无关的噪声分布,或噪声电平NL。该噪声电平与SEM本身相关,由如SEM检测器的散粒噪声或衬底保持器的机械振动引起。噪声电平恒定,与多孔结构无关。由于较为精细的多孔结构提供较小的频谱强度,因此,其傅立叶频谱示出了比粗大多孔结构小的信噪比SNR。在精细微孔结构的界限内,SNR趋于零,频谱的 $1/e$ -宽度接近SEM的分辨率。该界限可以通过将具有平均微孔尺寸在如1到25nm的范围内的多个多孔硅样本提供给SEM、确定每个样本的 $W(1/e)$ 和SNR的数值、绘制与这些数值相匹配的曲线CF并确定曲线CF的交点而被发现。该交点R,由图7中的实线箭头指出,代表正在被检测的SEM的分辨率。

相对于在一个方向上平均微孔尺寸具有梯度的单个样本,上述方法还可以用在组合有多个样本的情况下,其中,每个样本都具有不同于其他样本的给定平均微孔尺寸。各样本可以通过在HF溶液中阳极氧化相应数量的硅衬底而得到,在此过程中,每次都利用不同的电流密度和/或不同的HF浓度。可以使用图4中的装置。在蚀刻衬底期间,阀门Va保持关闭。

图7的曲线CF是在一个方向上,如正交系坐标的X方向上, $1/e$ -宽度的最佳匹配曲线,由此曲线,可以确定在该方向上SEM的分辨率。可以准备在Y方向上具有梯度平均微孔尺寸的第二测试样本,并以SEM扫描该样本。然后获得Y方向上的 $1/e$ -宽度的最佳匹配曲线。这在图9中示出,其中,X方向的任意最佳匹配曲线由 $CF(x)$ 表示出来,Y方向上的最佳匹配曲线由 $CF(y)$ 表示出来。在X和Y坐标中,信噪比(SNR)为零时相应于SEM的分辨率的 $1/e$ 宽度由 $R(x)$ 和 $R(y)$ 分别表示。如图9所示,如果X方向上的分辨率不同于Y方向上的分辨率,测量的SEM将出现象散。通过利用本发明的方法在两个,

最好是相互正交的方向，上进行测量，将可以测量出 SEM 的象散。该象散与 $R(y) - R(x)$ 成比例。该测量的结构可以用于控制 SEM 的绘图器，以使 SEM 的象散可以被消除或降低到一个可以接收的水平。

SEM 的性能的另一个重要参数是焦点。每次执行根据本发明的测量方法时，都可以形成不同的焦点设定，其被称为扫描经过焦点。由这种改进的测量方法得到的检测器信号经过处理，转换为傅立叶变换项，可以去定最佳焦点值的最佳匹配曲线。该曲线由图 9 中的 $CF(bf)$ 表示。属于该曲线的分辨率 $R(bf)$ 是 SEM 的理想的或最佳的分辨率，即具有最佳焦点和没有象散的分辨率。

上述方法和装置可以用于在例如 SEM 制造的最后阶段或在验收检验的过程中由 SEM 的用户对 SEM 的质量进行测定。本方法和装置还用在 IC 制造环境中，在该环境中，在制造 IC 期间，SEM 用于测量临界尺寸 (CD)。这种测量执行在如抗蚀剂层已经以掩膜图案曝光并且抗蚀剂图案产生之后，并在抗蚀剂图案转印到 IC 衬底的适当层之前。通过在规定时间间隔内检验用于这些测量的 SEM，可以保证测量结果的可靠性。正在被制造的 IC 的质量的下降可以被发现，制造过程可以在较早的生产阶段内被校正，从而，生产率可以保持在高水平。为了大批量生产 IC，这在 IC 生产过程中是最重要的。在 IC 生产环境中，可以使用多个 SEM 在 IC 的制造过程中的不同阶段执行测量，即在 IC 衬底的不同层上执行测量。对于具有较精细的结构，即较小的 CD，的 IC 层，相比具有较粗大的结构的 IC 层，该 IC 层需要进行更为精确的测量，因此，也需要使用具有更高分辨率的 SEM。本发明的方法和装置还可以用于根据 SEM 的分辨率对其进行分级，以使这些 SEM 可以以最佳方式进行使用。

如果将 SEM 设定在高放大率上，要被测定的 SEM 将可以观测到具有约几 nm 的微孔尺寸的多孔结构，例如，图 6a 和 6b 中所示的图象被放大了 300000 倍。将设定在高放大率的 SEM 聚焦在具有约几 nm 的特征尺寸的结构上是相当困难的。确定正在扫描的多孔结构的部分或将 SEM 导航到结构所需的部分上也是十分困难的。根据本发明的另一方面，提供了一种允许所需的聚焦和导航的方法。该方法通过在样本或衬底上附加特征的图案而构成，该特征具有远大于微孔尺寸的尺寸，该方法使用 SEM 的低放大率。

图 8a 示出了提供有附加或聚焦和导航图案的多孔硅衬底的一小部分的图象，该部分具有特征的结构，如不同长度和宽度的条。附加特征的纵向最好是平均微孔尺寸产生梯度的方向。附加特征的尺寸约为几 μm 。在附加结构中，衬底上的位置被编码。图 8a 的图象放大了 1000 倍。在 SEM 的该放大率上，微孔是不可见的。图 8b 示出了在图 8a 的一个条的边缘的位置处的一个小分支部分的图象，该图象以 SEM 放大了 100000 倍。在该图象中，各微孔是可见的。当开始测定测试衬底时，SEM 的放大率被设定在低水平上，SEM 聚焦在一个附加图案结构上。然后，读取聚焦其上的衬底区域，如果需要，则移动衬底，以将另一衬底区域位于 SEM 视场中。SEM 的放大率增大，直到微孔可见。可以逐步增加放大率，同时使用不同尺寸的附加图案结构。

附加图案结构可以是形成图案的层，其通过传统的平版印刷过程形成，该过程使用如光学光刻投影装置，如晶片分档器/扫描器。层的材料可以是任意一种允许用在“前端光刻”技术中的材料，其是光刻过程中的最重要的部分，对污染极为敏感。该材料应当可以抵抗 HF 蚀刻，并可以是金属，如钨 (W)、钛 (Ti)、锆 (Zr)、铪 (Hf)、钴 (Co)、钇 (Y)、镧 (La)、钋 (Po)、钋 (Pa) 和铝 (Al)。形成图案的层的材料还可以是非金属材料，如氮的化合物，如氮化锆 (ZrN)、氮化硅 (SiN) 和碳化硅 (SiC)。优选采用铝、钨和氮化物，通常采用如氮化硅 (Si_3N_4) 和富氮化硅 (silicon rich nitrides)。具有导航和聚焦图案的多孔硅衬底可以通过先在衬底上提供图案而后以 HF 溶液蚀刻该衬底而生产出来。然而，最好首先蚀刻衬底，提供具有形成图案的层的衬底的多孔表面。然后避免对附加图案的蚀刻，这样可以允许对用于形成图案的层的材料具有更宽的选择面。

SEM 用在半导体产业，作为一种用于控制光刻过程的质量的元件，和一种用于将掩膜图案成像在提供有抗蚀剂层的衬底或晶片上的装置。形成在抗蚀剂层上的图象勾画出衬底的表面区域，其中，进行材料上的变化。大批量生产器件的过程包括在器件衬底的至少一个衬底层上加入器件特征的步骤，该过程包括下述顺序的步骤中的至少一个步骤：

提供具有与要构型在所述层上的器件特征相应的特征的掩膜图案；

将掩膜图案成像在涂覆在衬底上的抗蚀剂层上，显影该层，从而形成相应于掩膜图案的形成图案的层；

从衬底层的区域上移开材料或将材料附加到衬底层的区域上，其中，该区域由形成图案的覆层的图案进行勾画；

其中，在进行批量生产的开始，通过以扫描电子显微镜获取图象并分析图象，控制提供有形成图案的覆层的衬底，以控制形成图案的覆层特征的尺寸。

当以上述方法规则地检验电子显微镜的成像质量时，可以保证控制是可靠的。这使得在制造器件如 IC 的光刻过程中产生的偏差或误差可以在较早的阶段中被检测出来，从而，执行校正测量，并可以将生产率保持在较高的水平上。由此，本发明影响了大批量生产器件的操作过程，从而，这种过程被认为是本发明的一个实施方式。

本发明的另一方面涉及一种扫描电子显微镜，其提供有自检功能。这种 SEM 不仅可以用于光刻过程中的检查，而且可以用于普通的测量和检查。图 10 示意性的示出了 SEM 的一个实施例。SEM10 包括抽空的外壳 11，其容纳有电子枪 12、形成并加速电子束的控制电极 13 和阳极 14。由电子枪发出的电子束（未示出）连续穿过第一电磁聚焦透镜 16、偏转板 17 和 18 以及第二电磁聚焦透镜 19，然后照射在要被检验样本 21 上。该样本设置在承物玻璃片或镜台 23 上，其可以在 x 和 y 方向上移动。如果希望，可以使用电磁偏转线圈取代偏转板 17 和 18，该线圈可以以这种方式设置：即使得它们可以比偏转板产生更小的畸变。一旦电子束的（主）电子照射在样本上，次电子将离开样本、取决于样本的结构如其表面结构或其他的材料。检测器 25 捕捉次电子，将入射的次电子的通量转换为检测器信号 Sd，其包括与样本结构有关的信息。信号 Sd 可以提供到阴极射线管（CRT）26，以使得样本结构对于操作者来说是可见的。有选择的，或者同时，信号 Sd 可以提供到处理单元或个人计算机 28。该计算提供有专用程序或算法，可以从信号 Sd 中提取出相关信息。该信息可以输出为数据流形式的相关信息信号 Si 或 CRT 信号，用于本地或远程的打印和目测。

根据本发明，SEM 镜台 23 提供有测试样本或测试衬底 30，其具有多孔表面，如上所述，计算机提供有专用测试分析程序，以分析由 SEM 获取的测试样本的图象。该样本可以很小，如 $1 \times 1\text{cm}^2$ ，并可以具有

平均微孔尺寸在一个方向上持续降低的多孔表面。通过将测试样本定位在扫描电子单元（12、13、14、16、17、18、19）的物场中，在平均微孔尺寸降低的方向上扫描样本，并以测试分析程序分析获得的检测器信号 Sd，将获得测试信号 St，其包括关于 SEM 的性能（分辨率）的信息。这样，SEM 可以通过这种方法而获得自测能力。

测试信号提供到另一个处理器 32，该处理器从测试信号形成用于一个或多个致动器的一个或多个控制信号。电子扫描装置的一个或多个元件可以通过控制信号被设定，从而获得所需的 SEM 性能。这样，SEM 可以增加自检控制能力，由此，在 SEM 的整个使用期限内可以保持良好的性能。图 9 中的信号 Sc 和块 34 示意性的表示了所述控制信号或信号和致动器。图 9 中所示的 SEM 是一个通用 SEM，其可用于各种测量和检查。

图 11 示意性的 SEM 的另一个实施例，该实施例特别适于控制具有大直径如 30cm 的 IC 晶片。如果具有该直径的晶片水平放置，SEM 的真空室的尺寸将显著增大。为了限制 SEM 的尺寸，可以相对电子束的轴倾斜晶片。在图 11 中，附图标记 32 代表 SEM 的镜筒部分。电子源（在图 11 中未示出）产生电子束（主电子束），该电子束沿 SEM 的光轴 34 移动。该电子束经过一个或多个电磁透镜，如会聚透镜 36，以最终抵达物镜 38。该透镜，在该实施例中为单极透镜，形成磁路的一部分，其中，样本的壁 40 或备用的室 42 也形成了其中的一部分。物镜 38 使主电子束聚焦在样本上，或扫描要被测定并安置在物镜之下的物体 48。利用容纳在物镜 38 的镗孔中的扫描线圈 44，通过在相互正交的两个方向上沿物镜移动主电子束可以影响物体 48 的扫描。物体安装在载物架 50 中，其形成了载物台 53 的一部分。载物台可以在两个相互正交的方向上移动，以使物体希望观测的区域可以被选择出来，用于测定。另外，载物架 50 还可以相对载物台 53 倾斜。

成像受到从主电子束得到的电子的影响，该主电子束入射到物体上，次电子从物体上失去，次电子向物镜 38 传播。这些次电子由容纳在该透镜的镗孔中的检测器 46 检测出来。该检测器连接到处理单元（未示出），其激发检测器将检测电子的力转换为图象信号，该图象信号用于通过如阴极射线管形成物体的图象。

根据本发明，载物架 48 提供有测试样本 30，处理单元提供有处

理扫描样本 30 时获得的检测信号的程序。这使得 SEM 可以以相同的方式增加自检和自控能力，如参考图 10 的 SEM 所述。

由本发明的方法规律控制的 SEM 不仅被用在制造 IC 的过程中，而且被用在制造其他器件的过程中，如制造集成的和平面的光学系统、液晶显示板、薄膜磁头等过程中。此外，这种 SEM 和本发明可以用在制造领域之外，以进行对精细结构和物体的普通的测量和检查。

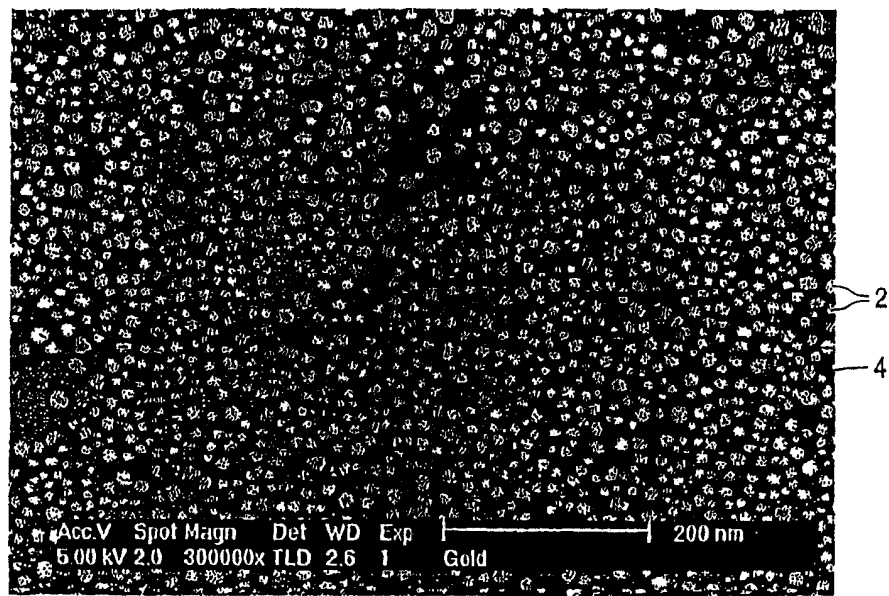


图 1

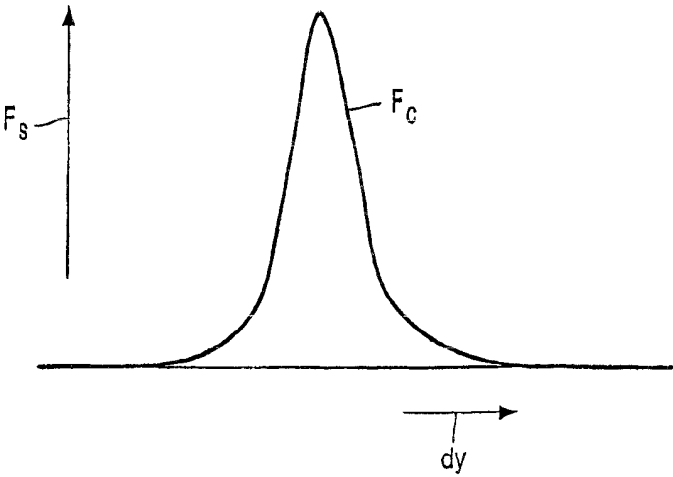


图 2

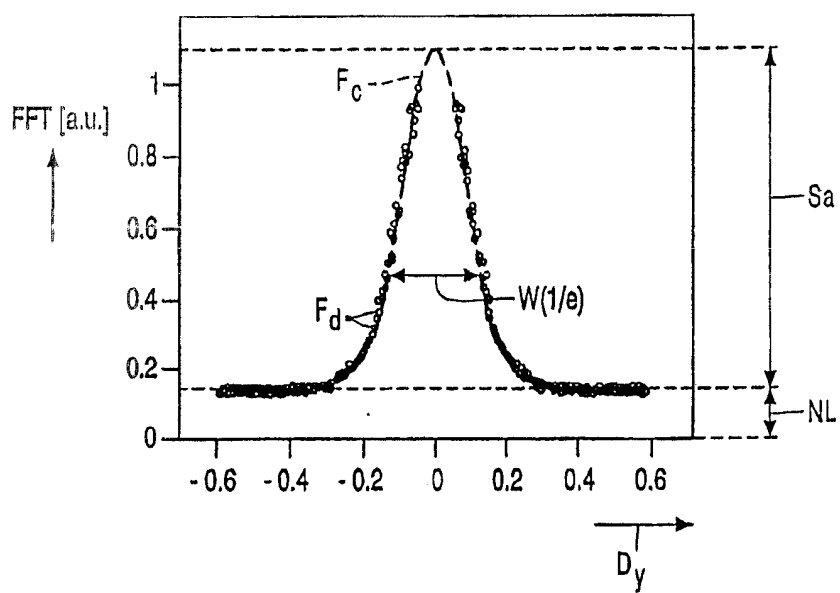


图 3

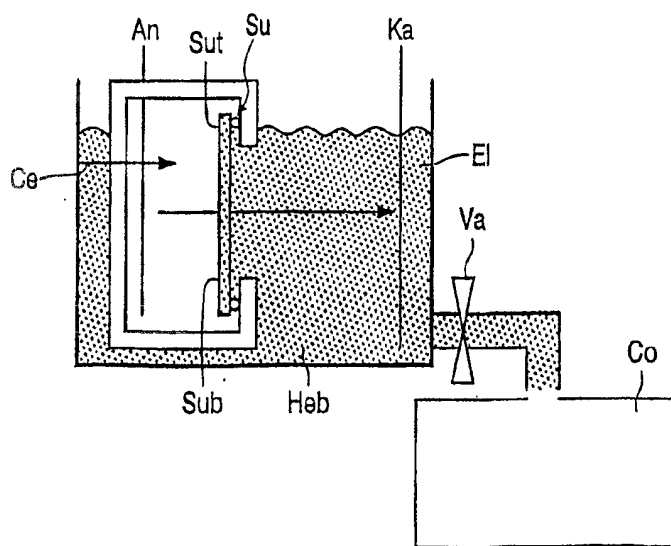


图 4

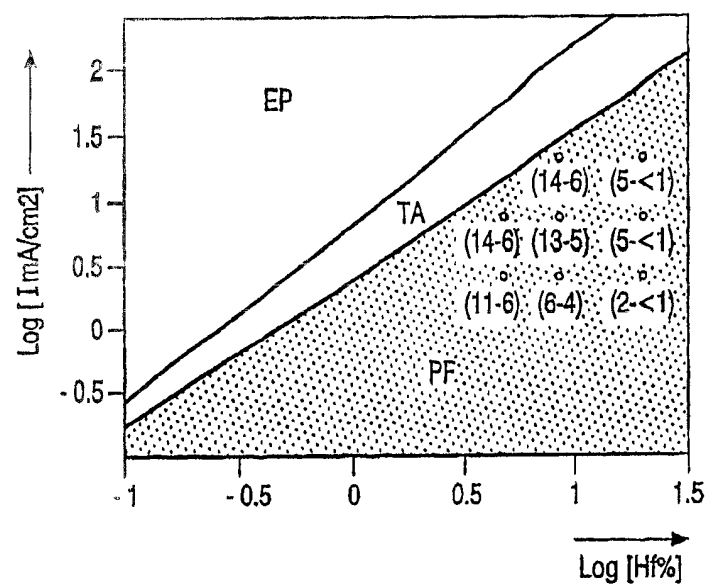


图 5

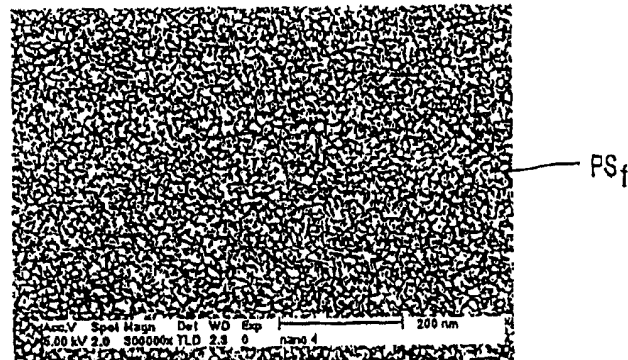


图 6a

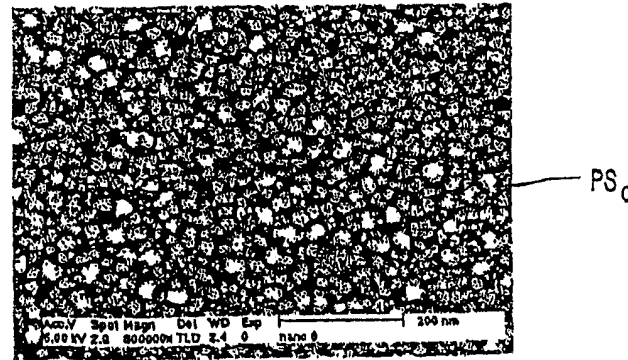


图 6b

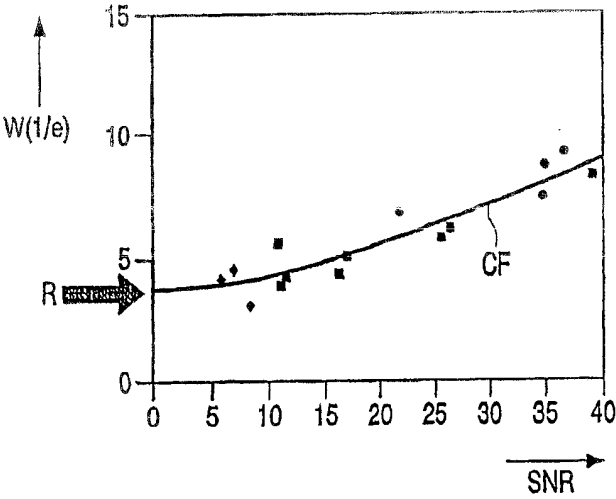


图 7

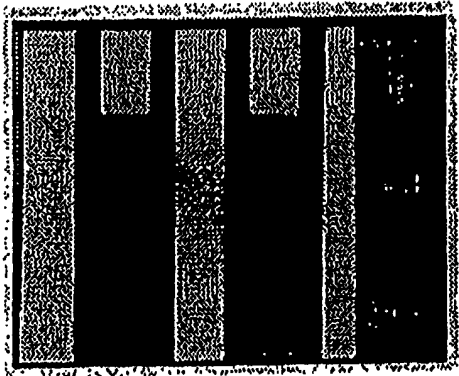


图 8a

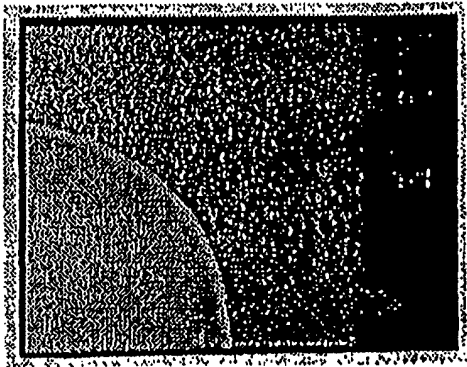


图 8b

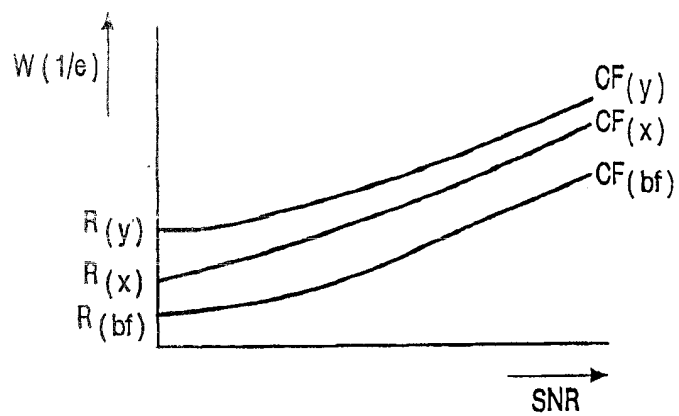


图 9

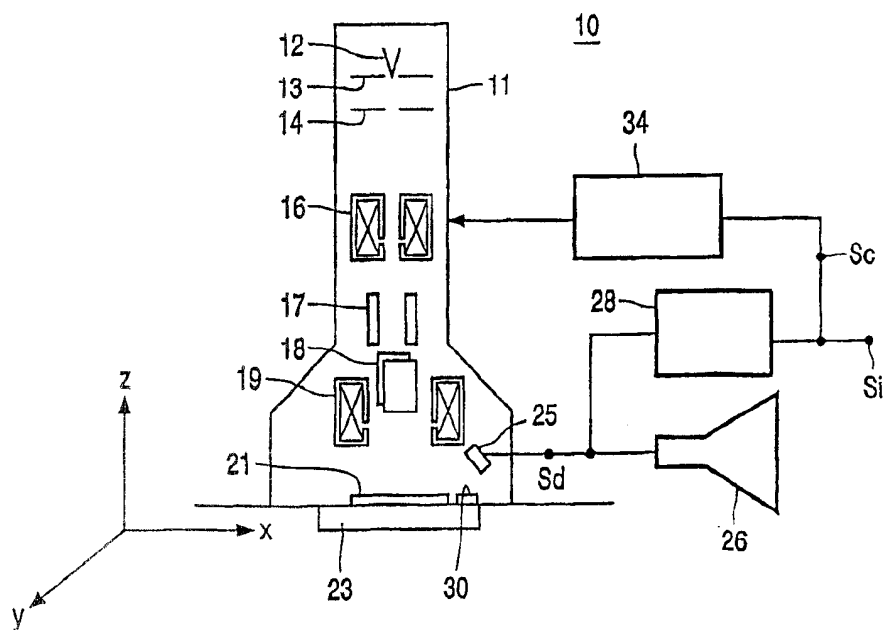


图 10

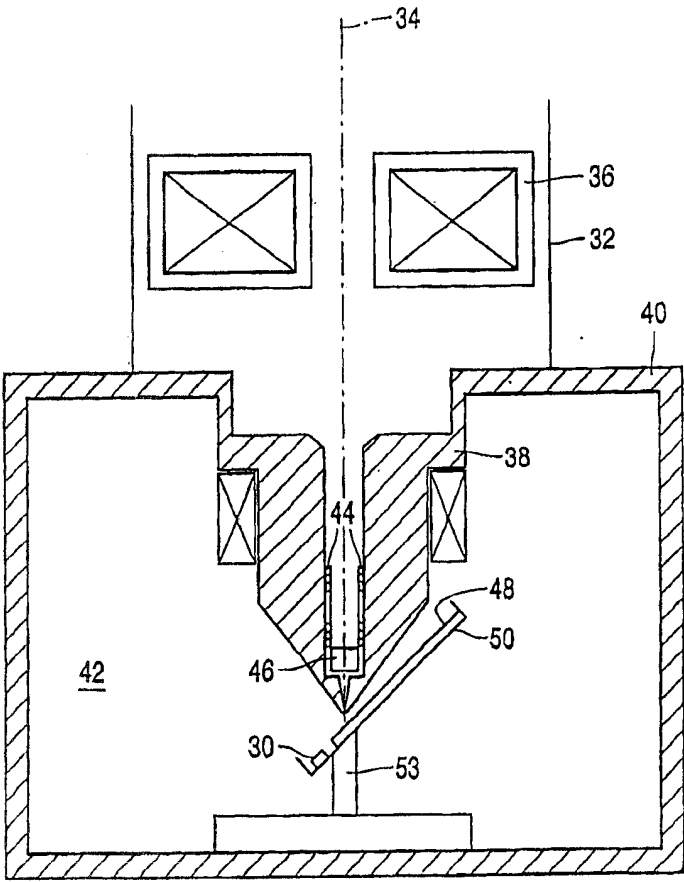


图 11