



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102072913 B

(45) 授权公告日 2015. 09. 09

(21) 申请号 201010529590. 9

WO 2008155560 A1, 2008. 12. 24,

(22) 申请日 2010. 08. 09

US 2005103272 A1, 2005. 05. 19,

(30) 优先权数据

审查员 支辛辛

102009036701. 2 2009. 08. 07 DE

(73) 专利权人 卡尔蔡司显微镜有限责任公司

地址 德国耶拿

(72) 发明人 休伯特·曼茨 雷纳·阿诺德

迈克尔·阿尔比兹

(74) 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

11105

代理人 邱军

(51) Int. Cl.

G01N 23/225(2006. 01)

G01N 23/22(2006. 01)

(56) 对比文件

US 7851755 B2, 2010. 12. 14,

US 2002100877 A1, 2002. 08. 01,

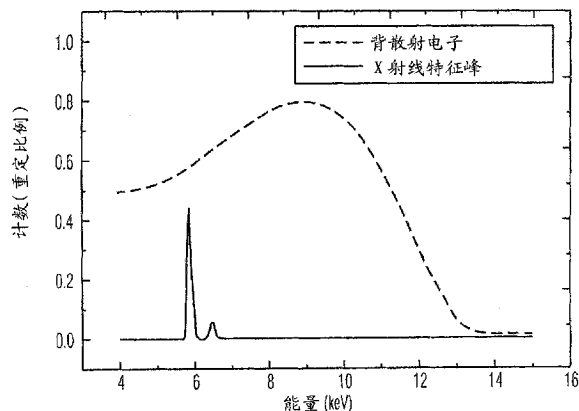
权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

检测方法、粒子束系统和制造方法

(57) 摘要

本发明提供一种检测方法、粒子束系统和制造方法。该检测方法包括：将粒子束聚焦到样品上；操作位于样品附近的至少一个探测器；将由至少一个探测器产生的探测信号分配到不同的强度区间；基于分配到强度区间的探测信号，确定与入射到探测器的电子相关的至少一个第一信号分量；以及基于分配到强度区间的探测信号，确定与入射到探测器的 X 射线相关的至少一个第二信号分量。根据本发明，可通过样品发出的电子和 X 射线二者获得与样品相关的信息。



1. 一种检测方法,包括:
将粒子束聚焦到样品上;
操作位于所述样品附近的至少一个探测器;
将由所述至少一个探测器产生的探测信号分配到不同的强度区间;
基于分配到所述强度区间的所述探测信号,确定与入射到所述探测器的电子相关的至少一个第一信号分量;以及
基于分配到所述强度区间的所述探测信号,确定与入射到所述探测器的 X 射线相关的至少一个第二信号分量。
2. 如权利要求 1 所述的检测方法,其中当所述探测信号表示为取决于所述探测信号的强度的谱图时,所述第一信号分量对应于所述谱图的宽峰,所述第二信号分量对应于所述谱图的窄峰。
3. 如权利要求 1 或 2 所述的检测方法,还包括基于所述至少一个第二信号分量确定包含在所述样品中的至少一种化学元素。
4. 如权利要求 1 或 2 所述的检测方法,还包括将所述粒子束聚焦于所述样品的多个不同位置。
5. 如权利要求 4 所述的检测方法,还包括对于所述样品的所述多个不同位置中的每个,记录基于所述至少一个第一信号分量确定的至少一个第一值以及基于所述至少一个第二信号分量确定的至少一个第二值。
6. 如权利要求 4 所述的检测方法,还包括生成代表所述样品的电子显微镜图像的第一图,以及生成代表所述样品的元素组成的图像的第二图。
7. 如权利要求 6 所述的检测方法,还包括在显示介质上显示相互重叠的所述第一图和所述第二图。
8. 如权利要求 1 或 2 所述的检测方法,其中所述至少一个探测器是半导体探测器。
9. 如权利要求 8 所述的检测方法,其中所述半导体探测器是硅漂移探测器。
10. 如权利要求 1 或 2 所述的检测方法,其中至少一个膜位于所述样品和所述至少一个探测器之间。
11. 如权利要求 10 所述的检测方法,包括操作第一探测器和第二探测器,其中第一膜位于所述样品和所述第一探测器之间,其中第二膜位于所述样品和所述第二探测器之间,并且所述第一膜和所述第二膜就厚度和元素组成至少之一而言不同。
12. 如权利要求 11 所述的检测方法,其中所述第二膜的厚度为所述第一膜的厚度的至少 1.1 倍。
13. 如权利要求 11 所述的检测方法,其中存在于所述第二膜中的化学元素的浓度是所述第一膜中的所述化学元素的浓度的至少 1.1 倍。
14. 如权利要求 11 所述的检测方法,包括:
将由所述第一探测器产生的探测信号分配到不同的第一强度区间;
将由所述第二探测器产生的探测信号分配到不同的第二强度区间;
基于分配到所述第一强度区间和所述第二强度区间的探测信号,确定与入射到所述第一探测器和所述第二探测器的电子相关的至少一个第一信号分量;以及
基于分配到所述第一强度区间和所述第二强度区间的探测信号,确定与入射到所述第

一探测器和所述第二探测器的 X 射线相关的至少一个第二信号分量。

15. 如权利要求 1 或 2 所述的检测方法,包括操作多个探测器并基于由不同探测器的探测信号确定的信号分量确定所述样品的三维结构。

16. 一种粒子束系统,包括:

粒子束源,构造为产生初级粒子束;

物镜,构造为将所述初级粒子束聚焦在物面中;

探测系统,布置在所述物镜和所述物面之间,且所述探测系统包括至少一个探测器;以及

计算机,构造为分析所述至少一个探测器的输出信号和输出代表电子强度的第一值和代表元素组成的第二值。

17. 一种微型化物体的制造方法,该方法包括:

将粒子束聚焦到物体的区域上;

操作位于所述物体附近的至少一个探测器;

基于从所述至少一个探测器接收的探测信号,确定由于所述粒子束而从所述物体发出的电子的数量;

基于从所述至少一个探测器接收的探测信号,确定由于所述粒子束而从所述物体发出的 X 射线的量;以及

基于确定的所述电子的数量和所述 X 射线的量从所述物体去除材料。

18. 如权利要求 17 所述的方法,其中去除所述材料包括将离子束聚焦到所述物体的区域。

19. 如权利要求 17 或 18 所述的方法,其中去除所述材料包括提供反应气体到所述物体的区域。

20. 如权利要求 17 或 18 所述的方法,其中所述物体的厚度小于 $1\ \mu\text{m}$ 。

检测方法、粒子束系统和制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及使用粒子束的粒子束系统,其中粒子束可以是,例如电子束和离子束。本发明进一步涉及使用粒子束获取与样品结构相关的信息的检测方法。

背景技术

[0002] 传统的粒子束显微镜包含用于产生初级粒子束(primary particle beam)的粒子束源以及电子探测器。这样的粒子束显微镜的实例包括具有电子束源的电子显微镜和具有离子束源的离子显微镜。电子显微镜可具有用于探测通过入射到样品的初级粒子束产生的X射线的X射线探测器。X射线可包括指示样品中所含化学元素的特征X射线,使得通过X射线探测器产生的探测信号的分析,可确定样品中的元素组成,其中该分析可包括对探测到的X射线的能量的分析。这种方法被称作能量色散X射线光谱法(EDX)。

[0003] 具有X射线探测器的传统电子显微镜可从US2006/0138325A1获知。该显微镜的X射线探测器接收发源于样品的且通过聚焦在样品上的初级电子束在样品处产生的X射线。由于初级粒子束还产生从样品发出的二次电子,所以X射线探测器还包括电子阱,以防止二次电子在X射线探测器中产生探测信号。电子阱可包括磁电子阱。

[0004] 期望将电子检测和X射线检测结合,以改善检测方法和检测系统。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种检测方法和检测系统,其中可通过样品发出的电子和X射线二者获得与样品相关的信息。

[0006] 传统粒子束系统使用分离的探测器,用于探测样品发出的电子和X射线。但是,不可能将两个探测器都靠近样品布置,因为X射线探测器的磁电子阱影响初级粒子束的聚焦,或者占用了空间而导致电子探测器无法靠近样品设置。也已经考虑将电子探测器和X射线探测器交替地靠近样品布置以及使用靠近样品布置的X射线探测器执行对样品的第一检测,以及使用靠近样品布置的电子探测器执行对样品的第二检测。这导致这样的问题:两个探测器对聚焦的初级束具有不同的影响,使得难以将两次检测中获得的样品的结构信息结合。

[0007] 根据实施例,使用可探测电子和X射线二者的探测器,并靠近样品布置。该探测器产生对应于入射电子和X射线的探测信号。通过分析更大量的探测信号,可以将与入射到探测器的电子相关的信号分量同与入射到探测器的X射线相关的信号分量分离。

[0008] 根据实施例,对探测信号的分析包含对探测信号的强度谱或能量谱的分析。

[0009] 根据实施例,探测信号的分析包含:将探测器产生的探测信号分配到多个不同的强度区间;基于分配到强度区间的探测信号,确定与入射到探测器的电子相关的至少一个第一信号分量;以及基于分配到强度区间的探测信号,确定与入射到探测器的X射线相关的至少一个第二信号分量。

[0010] 在此,探测器可构造为使得探测器产生的探测信号随着它们的强度而变化,其中

强度取决于所探测的事件的强度。如果所探测的事件是入射到探测器的电子,则其强度取决于入射到探测器的电子的动能。从而,探测信号的强度将表示探测到的电子的动能。类似地,如果被探测的事件是入射到探测器的 X 射线,则探测信号的强度将表示入射的 X 射线的能量。

[0011] 不同的探测信号的强度会不同,因为它们基于探测器的类型引起不同的电压、不同的电流、不同的电阻、不同的电荷量或者探测器的输出处的其它不同效果。通过与探测器的输出相连接的电子电路,将不同的电压、电流、电阻、电荷量和其它效果放大、转换或者进一步处理。

[0012] 根据实施例,探测器的探测信号被分配到强度区间。强度区间可以对应于所探测的事件的能量区间。特别地,强度区间可部分重叠,或者强度区间可不相交。

[0013] 根据实施例,向每个强度区间分配计数器,以计算强度落在各个强度区间内的探测信号量。

[0014] 根据此处的实施例,可使用多通道分析器将探测信号分配到强度区间。

[0015] 例如,根据强度区间增加的强度,通过对分配到各个强度区间的探测信号进行计数以及显示该计数,可确定被探测事件的能谱。

[0016] 能谱表示两种类型的事件,即,电子入射到探测器和 X 射线入射到探测器。入射的电子产生宽的谱峰,该谱峰具有最大值和几个 keV 的宽度。入射的 X 射线产生一个或更多谱峰,具有最大值和小于 1keV 的宽度。很明显,由于电子事件和 X 射线事件的不同能谱特征,基于能谱的分析能够将与在入射到探测器的电子相关的信号分量同与入射到探测器的 X 射线相关的信号分量分离。即使能谱的概念足以示意性地用于理解与电子有关的信号分量同与 X 射线有关的信号分量的分离,但在实践中也没有必要明晰的确定能谱。无需确定能谱,基于给不同的强度区间(intensity interval)分配探测信号,可以直接执行对应的分析。

[0017] 根据实施例,基于至少一个与入射到探测器的 X 射线有关的信号分量,以及基于分配到强度区间的探测信号,确定样品所含的至少一种化学元素。在能谱的表示中,与 X 射线相关的信号分量的窄的最大值指示样品中粒子束聚焦位置处化学元素的存在。通过分析能谱的最大值,可以确定样品的该位置处化学元素的存在。再者,通过将探测信号分配到不同的强度区间,可以无需计算能谱而确定样品的该位置处化学元素的存在。

[0018] 根据实施例,聚焦粒子束随后被导向样品的多个不同位置。根据这里的特定实施例,聚焦粒子束扫过样品。

[0019] 根据此处进一步的实施例,对每个不同的位置执行上述方法,使得对于粒子束聚焦的每个位置,为了将与电子有关的信号分量同与 X 射线有关的信号分量分离,多个探测信号被分配到强度区间。与电子有关的信号分量表示样品的电子显微图像,而与 X 射线有关的信号分量表示样品的元素组成的图像或图。这些图像可以相互独立或叠加地被显示。

[0020] 根据实施例,多个探测器靠近样品布置。多个探测器的相对于样品的位置可不同。例如,不同的探测器可相对于样品覆盖不同的立体角。这样,从不同探测器的探测信号获得的信息可以用于确定样品的三维结构。

[0021] 多个探测器还可基于它们对探测电子和 X 射线的探测灵敏度而不同。根据实施例,在探测器和样品之间设置膜,其中膜对电子和 X 射线的传输特性不同。根据此处的实施

例,膜的厚度或化学组成不同。

附图说明

[0022] 通过随后参考附图对示例性实施例的细节性描述,本发明前述和其它有利的特征将更加明显。应注意到,并非所有可能的实施例都需要展示这里确认的每个或任何优点。

[0023] 图 1 示出了根据实施例的粒子束系统;

[0024] 图 2 示出了沿着图 3 中的线 II-III 的图 1 所示的粒子束系统的探测器的截面;

[0025] 图 3 为图 2 所示的探测器的底部的正视图;

[0026] 图 4 是表示图 2 和 3 所示的探测器的膜的电子透过率的曲线图;

[0027] 图 5 是表示图 2 和 3 所示的探测器的膜的 X 射线透过率的曲线图;

[0028] 图 6 是表示利用图 2 和 3 所示的探测器探测的计数率的曲线图;

[0029] 图 7 是表示由电子和 X 射线产生的计数率的曲线图;

[0030] 图 8 为根据实施例的检测方法的流程图;以及

[0031] 图 9 示出了根据进一步的实施例的粒子束装置。

具体实施方式

[0032] 在下述示例性实施例中,功能或结构类似的部件尽可能的标注了相同的附图标记。因此,为了理解具体实施例的独立部件的特征,应参考其它实施例和发明内容中的描述。

[0033] 图 1 是粒子束系统 1 的示例性实施例的示意图。粒子束系统 1 包括电子束源 5,具有阴极 7 以及提取器和抑制器电极 9,用于产生初级粒子束 13。初级粒子束 13 经过会聚透镜 11、电子探测器 17 中提供的孔 15 以及用于将初级粒子束 13 聚焦于物面 23 中的位置 21 的物镜 19。将待测物体 25 的表面置于物面 25。

[0034] 物镜 19 包括提供在环形轭中的环形线圈 27,该环形轭具有环形上极靴 31 和环形下极靴 32,使得在上和下极靴 31、32 之间形成环形间隙。在此间隙中产生用于产生电子束 13 的磁场。

[0035] 粒子束系统 1 进一步包括束管 (beam tube) 35,其进入并特别地穿过物镜 19。在束管 35 的底端提供末端电极 37。在末端电极 37 和物面之间设置有终端电极 36,其中末端电极 37 和终端电极 36 之间产生的静电场提供了对初级电子束 13 的聚焦力。由电极 36 和 37 之间的静电场提供的聚焦力以及由极靴 31 和 32 之间的磁场提供的聚焦力通常提供粒子束系统 1 的物镜 19 的聚焦力。

[0036] 控制器 39 被提供以向终端电极 36、末端电极 37、阴极 7 以及提取器和抑制器电极 9 供给合适的电压,使得电子束焦点形成于物面中。

[0037] 选择这些电压,使得初级电子束的电子在入射到位置 21 处的物体 25 上时,具有预定的动能。特别地,控制器 39 可以向终端电极 36 提供与接地电势对应的电压或不同于接地电势的电压。

[0038] 物镜 19 进一步包括也由控制器 39 控制的偏转器 41,用于偏转电子束 13 和用于改变初级电子束 13 入射到物面 23 中的物体 25 所处的位置 21。特别地,通过偏转初级电子束,可以使初级粒子束系统地扫过物体 25 的部分表面。

[0039] 入射到物体 25 的初级粒子束导致物体 25 发出二次电子。这些二次电子的一部分会进入束管 35, 使得它们被电子探测器 17 探测到。在本发明的上下文中, 术语二次电子包括通过将初级粒子束导向至物体而导致从物体出射且可以由电子探测器 17 检测到的所有类型的电子。特别地, 术语二次电子包括背散射电子, 其动能相应于或稍微小于入射到物体的初级粒子的动能。该术语还包括这样的二次电子, 当它们从物体表面出射时, 动能实质上小于入射到物体的初级粒子的动能。图 1 以附图标记 43 示意性地示出入射到电子探测器 17 的二次电子的示例性轨迹。

[0040] 粒子束系统 1 进一步包括设置在物镜 19 和物面 23 之间的另外的探测器 47。探测器 47 包括中央孔 49, 允许初级粒子束 13 和二次电子 43 穿过探测器 47。探测器 47 包括多个检测表面 51, 位于距物镜的主轴 12 的径向距离处。提供探测器 47 用于探测由入射到物体的初级粒子束 13 产生的二次电子和 X 射线二者。由位置 21 处的初级粒子束 13 产生并入射到探测器 47 的二次电子或 X 射线的示例性轨迹以附图标记 53 标识在图 1 中。

[0041] 图 2 示出了探测器 47 的构造的截面图, 图 3 是正视图。探测器 47 包括环形容器 (carrier), 其包括具有中央孔的上板 55, 该中央孔用于提供容许初级粒子束 13 和二次电子 43 穿过的孔 49。四个半导体探测器贴附于板 55 的底表面, 使得每个半导体探测器 57 的探测表面 59 取向为朝着物面 23。在每个半导体探测器 57 的探测表面 59 前面安装膜或窗口 61。膜 61 具有至少部分防止二次电子入射到半导体探测器 57 的探测表面 59 的功能。在图 2 示出的示例性实施例中, 膜 61 设置在距探测表面 59 的一小段距离处。但是, 仍然可以使膜接触半导体探测器的探测表面, 或作为膜层直接贴附于该探测表面, 使得由半导体探测器承载该膜。

[0042] 半导体探测器可以是硅漂移探测器 (silicon drift detector), 例如从 BrukerAXS Microanalysis GmbH, Berlin, Germany 可获得的产品名为 Xflash® QUAD 的探测器。

[0043] 膜 61 可配置为非固定地贴附于半导体探测器或环形结构, 使得它们可以随意地移除或由其它膜替代。图 2 和 3 示出的示例性实施例具有提供在板 55 上的轴向突出 63。突出 63 包括径向延伸部分 65, 适于承载膜 61, 使得膜 61 安装在探测器 47 上。例如, 膜 61 可被夹在提供在板 55 上的径向突出 65 和外部轴向环形突出 66 之间。

[0044] 在图 2 和 3 所示的实施例中, X 射线探测器 57 包括四个分离的半导体探测器 57, 以围绕孔 49 分布的四个象限的构造而布置。四个半导体探测器 57 的每个具有相同的构造和相同的特性, 并且控制器 39 分开接收四个半导体探测器 57 的探测信号。

[0045] 在图 2 和 3 所示的例子中, 探测器的探测表面是环形的、被初级束穿过并且靠近粒子束 13 入射到物体 45 表面的位置 21。但是, 也可以使用其它探测器的构造。例如, 探测器的探测表面可靠近位置 21, 而不围绕电子束 13。在此, 探测器可以具有多个分离的探测表面, 该探测表面靠近位置 21 设置用于探测电子和 X 射线。不同膜可设置在多个探测表面的前面, 从而改变各个探测器的相对于 X 射线探测效率的电子探测效率。然而, 不同的探测表面可相对于位置 21 覆盖不同量的立体角, 使得不同探测器的探测信号的分析容许来确定样品的三维结构。

[0046] 而且, 四个探测器 57 可以都具有对电子和 X 射线相同的探测特性。这样, 它们将因覆盖了相对于样品上的位置 21 的不同的立体角的事实而不同。探测器根

据位置 21 处的样品表面的取向检测信号。这样,探测器的探测信号可用于确定样品的三维结构。这样的确定三维结构的相关背景信息可由文章“Three-Dimensional Characterization of Microstructures in a SEM”,Wlodzimierz Drzazga et al.,Meas. Sci. Technol. 17(2006), pages 28-31 获得。

[0047] 在图示的示例中,四个膜 61 布置在四个半导体探测器的探测表面 59 前面,具有不同的特性。提供两种不同类型的膜。图 3 中以附图标记 61 指示的两个膜具有大于图 3 中以附图标记 61' 指示的另外两个膜的二次电子透过率。

[0048] 提供具有不同的二次电子透过率的两种不同类型的膜,以修改探测器的二次电子探测效率。

[0049] 膜 61 可以由包括具有低原子序数的元素的材料制造,使得 X 射线的透过率较高。所有膜可由相同的材料制成,具有不同的厚度以对二次电子提供不同的透过率。例如,膜可由聚酯制造。适合的聚酯的例子包括对苯二甲酸聚酯 (terephthalat-polyester),例如聚对苯二甲酸乙二醇酯 (polyethylenterephthalatpolyester)。适合的膜可以是公司: DuPont, Wilmington, USA 获得的产品名为 Mylar 的膜。膜的适合的厚度可以是,例如在 0.1 μm 至 50 μm 的范围内,特别地是在 1.0 μm 至 10 μm 的范围内。其它适合的膜可以是公司 MoxTek, Orem, USA 获得的产品名为 AP3.3 的膜。例如,膜还可以由铍来制造。

[0050] 接下来,参照图 4 和 5 中所示的示意性实施例,由 AP3.3 材料制成且厚度为 1 μm 的箔提供具有较大电子透过率的膜,具有较低电子透过率的膜由厚度为 6 μm 的 Mylar 材料的箔制成。

[0051] 图 4 所示的曲线图表示通过数值模拟获得的两种膜的基于电子动能的电子透过率。

[0052] 图 5 所示的曲线图表示通过数值模拟获得的两种膜的基于电子动能的 X 射线透过率。

[0053] 在以下参照图 6 所示的实例中,由厚度为 1 μm 的 Mylar 材料的箔提供具有较大电子透过率的膜,且由厚度为 6 μm 的相同的 Mylar 材料的箔提供了具有较小电子透过率的膜。

[0054] 图 6 所示的曲线图表示在使用图 1 所示的粒子束系统 1 的探测器 47 的实验中测量的计数率 (count rate)。在此实验中,将初级粒子束导向到由锰 (Mn) 制成的样品上。图 6 所示的曲线图示出了在给定时间内通过在前部设置有薄箔的半导体探测器记录的探测事件的数量,以及在该给定时间内通过在前部设置有厚箔的半导体探测器记录的探测事件的数量。每条曲线基于入射到样品的初级粒子的动能而绘制。

[0055] 通过图 6 明显看出:电子实质上对厚膜的能谱没有贡献,因为此能谱实质上仅包含狭窄的锰的特征峰,其中在低能量处可看到少量的韧致辐射。对于薄膜,该能谱包含较大的包括特征 X 射线的分量、上述的韧致辐射以及由探测器探测到的与背散射电子相关的附加分量的分量。背散射电子显示了在大约 9keV 处的宽的最大值,其中在高于 14keV 处实质上没有事件被计数,因为在所示实例中初级束中的粒子能量为 15keV。

[0056] 由于电子和 X 射线的不同能谱特征,所以基于探测事件的能谱分析可以将电子和 X 射线彼此分离,该探测事件由在其探测表面的前面布置薄膜的探测器检测。可以在利用薄膜获得的谱图中识别窄峰并从该谱图中扣除该窄峰,使得保留主要与背散射电子相关的分

量。此结果可通过考虑与韧致辐射相关的分量进一步得到改进。通过模拟和从谱图扣除，可以相对高的准确性预测此分量，使得剩余的谱图将以甚至更高的准确性对应于与背散射电子相关的信号分量。

[0057] 图 7 示出了图 6 中所示的薄膜的谱图的此分析结果。图 7 中的实线示出了 X 射线谱，图 7 中的虚线示出了背散射电子谱。

[0058] X 射线能谱可以被进一步分析，以确定能谱所指示的化学元素。关于样品元素组成的 X 射线谱图分析的相关背景信息可从 chapter 10.1 and 10.2 of L. Reimer, " Scanning Electron Microscopy", Second Edition, Springer 1998 获得。

[0059] 图 7 所示的背散射电子谱图的积分或求和对应于传统电子显微镜中使用的背散射电子 (BSE) 信号。

[0060] 通过控制偏转器 41，可以导引粒子束 13 至样品上的多个不同位置，并且在每个位置记录能谱，其中每个能谱将包含与电子有关的信号分量和与 X 射线有关的信号分量。可以分析每个位置的能谱，以获得 BSE 信号，并基于多个位置的 BSE 信号生成并显示样品的电子显微镜图像。类似地，从每个位置的记录能谱可获得与 X 射线相关的信号分量。根据与 X 射线相关的信号分量可以确定元素组成。多个位置处的化学组成信息可以用于生成样品的化学组成图。此图可在显示介质，如监视器上以彩色图显示，其中不同的颜色代表不同的化学元素。还可以与电子显微镜图像重叠显示化学组成图。如果探测器具有关于初级束的入射位置 21 的不同立体角的多个探测表面，则也可利用多个探测表面的不同信号分量确定样品的三维表面结构。三维结构也可在显示介质上显示，其中可根据元素组成对显示的三维结构彩色化。

[0061] 下面，将参照图 8 中所示的流程图概述检测方法的实施例。该方法包括确定用聚焦粒子束扫描样品表面的扫描策略。聚焦束可沿着迂回形状的路径扫描，例如，可逐行扫描。在初始步骤 101 中，确定在样品上开始扫描的位置的起始值。该位置可基于在样品上的坐标 x 、 y ，或者基于任何其它适合的坐标系来确定。确定起始位置后，重复执行多个步骤 103、105 和 107，直到在步骤 109 中确定下一个位置，其中对于下一位置将再次执行步骤 103、105 和 107。如果样品的扫描完成，则步骤 109 也可包括步骤 103、105、107 和 109 的重复执行的终止。在步骤 103 中，导引聚焦粒子束至样品上的位置 x 、 y 。在步骤 105 中，与此位置关联的能谱 $S(x, y)$ 通过读取探测器的探测信号而被记录。能谱 $S(x, y)$ 将包含与从位置 $0(x, y)$ 发射的电子相关的信号分量，以及与从位置 $0(x, y)$ 发射的 X 射线相关的信号分量。在步骤 107 中，记录谱图 $S(x, y)$ 被存储到存储介质 111，例如，计算机磁盘驱动器。

[0062] 在根据步骤 101 至 109 的扫描完成后或在该扫描期间分析存储的谱图。为此，在步骤 201 中，计算机读取第一谱图并在步骤 209 中读取后续谱图，从而在步骤 211 至 221 中分析读取的谱图，直到在扫描中记录的全部谱图被分析。在步骤 211 中分析能谱，从而确定包含在能谱中的信号分量。此处，在步骤 213 中从能谱中提取与背散射电子相关的信号分量，在步骤 217 中从能谱提取与 X 射线相关的信号分量。

[0063] 步骤 213 进一步包括积分与背散射电子相关的信号分量，以确定与位置 $0(x, y)$ 相关的 BSE 值。在步骤 215 中将此 BSE 值 $BSE(x, y)$ 存储到存储介质 111。在步骤 219 中分析与 X 射线相关的信号分量 $R(x, y)$ ，从而确定位置 $0(x, y)$ 处的化学元素量 C_i 。在步骤 221 中将确定的量 $C_i(x, y)$ 存储到存储介质 111。步骤 101 至 109 中记录谱图的程序和步骤 201

至 221 中分析谱图的程序在图 8 所示的流程图中独立进行。但是,也可以将步骤 105 中记录的谱图直接传输到分析步骤 211 而不存储到存储介质 111。

[0064] 基于与不同位置 $O(x, y)$ 相关的 BSE 值 $BSE(x, y)$,可以在步骤 301 中生成被扫描样品的电子显微镜图像。在步骤 303 中,通过值 $C_i(x, y)$ 生成图像,其中此图像表示样品中化学元素的分布。步骤 301 和 303 中生成的图像可显示在粒子束系统的显示器 81 上(图 1)。还可以进一步叠加在步骤 301 和 303 中生成的图像,以在步骤 305 中形成公用图像并在显示器 81 上显示该图像。这可以通过将不同颜色与不同的化学元素 i 关联,并以不同颜色的强度代表 C_i 的量来实现。这样生成的彩色图像可与通过值 $BSE(x, y)$ 获得的灰度级图像重叠。

[0065] 如果探测器具有覆盖与粒子束的入射位置相关的不同立体角的多个探测表面,则可在步骤 307 中确定样品的三维结构。在步骤 309 中样品的三维结构图像与样品的化学组分图像重叠。再次,这可以通过将不同颜色与不同化学元素关联并根据这些颜色彩色化三维图像来实现。

[0066] 检测方法和检测系统的实施例容许由入射的聚焦粒子束产生的背散射电子和 X 射线的同时检测。与背散射电子相关的信号分量和与 X 射线相关的信号分量可以与由初级粒子束的入射位置定义的样品上的同一位置相关联。此处,典型地,背散射电子出射自此位置周围的一体积,该体积小于出射 X 射线的体积。这就是为什么 BSE 图像通常比 EDX 图像具有更好的空间分辨率的原因。但是,根据本实施例,可以基于从 BSE 图像获得的结构信息提高检测到的 EDX 图像的空间分辨率。例如,如果由第一化学元素制成的样品包含由第二化学元素形成的窄带,其中窄带的宽度小于 EDX 图像的空间分辨率但大于 BSE 图像的空间分辨率,则可以从 BSE 图像推定:与第二化学元素相关的探测信号只可能源自具有由 BSE 图像确定的宽度的窄带。此信息可用于改进 EDX 图像,使得对应于第二化学元素的窄带的宽度在图像中尽可能减小地进行显示。

[0067] 由于与背散射电子相比,X 射线从样品的较大体积出射,所以也可以探测样品中的位于样品表面之下并且不能仅使用背散射电子被检测的缺陷。进一步可以通过分析 BSE 图像,识别样品的其中缺陷潜在地存在的区域并且通过分析与该区域关联的对应 X 射线谱图验证该缺陷的存在。

[0068] 图 9 是可用于物体的制造方法的粒子束装置 71 的示意图。粒子束装置 71 包括粒子束系统 1,该粒子束系统 1 具有与图 1 所示的粒子束系统相似的构造。粒子束系统 1 包括产生粒子束 13 的粒子束源 5,粒子束 13 可通过透镜 11、29 聚焦于位置 21。粒子束装置 71 还包括第二粒子束系统 73,构造为也在位置 21 处聚焦第二粒子束 75。在所示实例中,粒子束系统 73 是离子束系统,包括离子源 77、用于成形和加速离子束 75 的电极 79 以及用于将离子束 75 聚焦到位置 21 并使束扫过位置 21 的周围区域的束偏转器 81 和聚焦线圈或聚焦电极 83。粒子束 75 和 13 将在样品 21 的共同区域以不同的入射角入射,并且可分别通过控制偏转器 81 和 41 扫过该区域。例如,粒子束 75、13 的方向之间的角度可以是 45° 。提供两个粒子束的传统系统的实例在 US2005/0184251A1 和 US6,855,938 中公开,二者的全部公开以参考方式被引用于此。

[0069] 参照图 9 示出的粒子束装置可用于其中使用粒子束 75 由样品 21 制备薄板或薄片 22 的方法。薄材料板或薄片 22 可用作在使用透射电子显微镜的随后检测中的样品。出于

此目的,薄片应具有小于 1000nm 或小于 500nm 甚至小于 200nm 的厚度。制备这样的薄材料板或薄片的传统方法从 W02008/051937A2 和 W02008/051880A2 获知,二者的全部公开以参考方式被引用于此。

[0070] 在此方法中,通过刻蚀样品 25 的体材料而制造薄片 22。该刻蚀包括从贮存器 84 通过供给管 85 向薄片 22 供应反应气体。靠近薄片的离子束 75 将反应气体激活,且反应气体在靠近离子束 75 入射到样品 22 的位置的区域中与样品 22 进行反应。由于该反应,样品的材料被从样品释放,并可通过粒子束装置的真空系统而去除。从而,通过操作离子束系统 73 和通过供给管道 85 供应反应气体,可以从样品的所选区域去除材料。此过程可以使用粒子束系统 1,通过获得制备的薄片 22 的电子显微镜图像来观查,其中这样的电子显微镜图像可以被连续记录,或者可以在预定数量的刻蚀步骤后被记录。在此过程中,粒子束系统 1 作为成像工具。

[0071] 在此方法中,制备的薄片的厚度可基于与背散射电子相关的探测信号分量和与 X 射线相关的探测信号分量来确定。出于此目的,粒子束 13 被导引至薄片表面上的位置。产生的背散射电子的强度指示了薄片的厚度,因为入射到并穿过薄片的相对较厚的部分的束的粒子产生的背散射电子的量大于入射到并穿过薄片的相对较薄的部分的束的粒子产生的背散射电子的量。但是,背散射电子的量不仅取决于薄片的厚度,还取决于薄片的化学成分,因为不同的化学元素被粒子束 13 辐照时产生不同量的背散射电子。在本实施例中,薄片在粒子束 13 的入射位置处的化学组成可通过分析与 X 射线相关的探测信号分量来确定。

[0072] 因此,可以将粒子束导引到薄片表面上的位置,并且基于分析与 X 射线相关的信号分量来确定在样品上粒子束的入射位置处的薄片的化学组分。化学组成信息可用于分析背散射电子的强度,以最终确定束 13 的入射位置处薄片的厚度。这样,基于薄片的确定厚度,可决定是否应该操作粒子束系统 73 以进一步从该位置去除材料。

[0073] 由于薄片的化学组成会随位置不同而变化,所以考虑到化学组成,可以以相对高的准确性确定所有位置处的薄片的厚度。

[0074] 在所制备方法中,基于探测到的电子强度和探测到的 X 射线强度控制材料的去除。可使用以上参考图 1 至 7 中示出的探测器获取检测的电子强度和检测的 X 射线强度。在图 9 中,这样的探测器标示为 47,其中粒子束装置 71 进一步包括板 89,其可以被以箭头 91 指示的致动器横向移位。这样,板 89 可以如图 9 所示的被选择性定位并位于探测器 47 前面。在探测器 47 前面的位置中,当从粒子束 75 的入射位置 22 看时,板 89 覆盖探测器 47。这样,板 89 防止了由于粒子束系统 73 的操作而从样品释放的小粒子入射并损伤探测器 49。作为此保护板 89 的备选或对其的补充,还可以在粒子束系统 73 操作时从靠近样品的测量位置移除探测器 47。

[0075] 在以上所示的实例中,探测器 47 用于探测电子强度和 X 射线强度。但是,也可以使用分离的探测器,也就是优化的用于检测电子的且实质上不检测 X 射线的电子探测器以及分离优化而用于检测 X 射线且实质上不检测电子的 X 射线探测器。

[0076] 以上参考图 9 中所示的粒子束装置使用分离的粒子束系统,用于去除材料及用于观测材料的去除。但是,也可以使用除聚焦离子束和反应气的提供的结合之外的其它方法且利用其它系统来进行材料去除,其中执行材料去除的装置可以分离于执行用于监视材料去除的成像的装置,其中样品可以在用于去除的装置和用于成像的装置间来回传送。

[0077] 虽然发明是通过其特定的示范性实施例来描述,但很多备选、修改和变形对本领域技术人员来说是显而易见的。因此,这里所阐述的本发明的示范性实施例旨在是说明性的,而非任何形式的限定。在不背离本发明的由所附权利要求书定义的主旨和范围的前提下可以进行各种改变。

[0078] 本申请要求于 2009 年 8 月 7 日在德国提交的名称为“Teilchenstrahlssystem und Untersuchungsverfahren hierzu”、申请号为 No. 102009036701.2 的专利申请的优先权,在此其内容以参考方式全文引入。

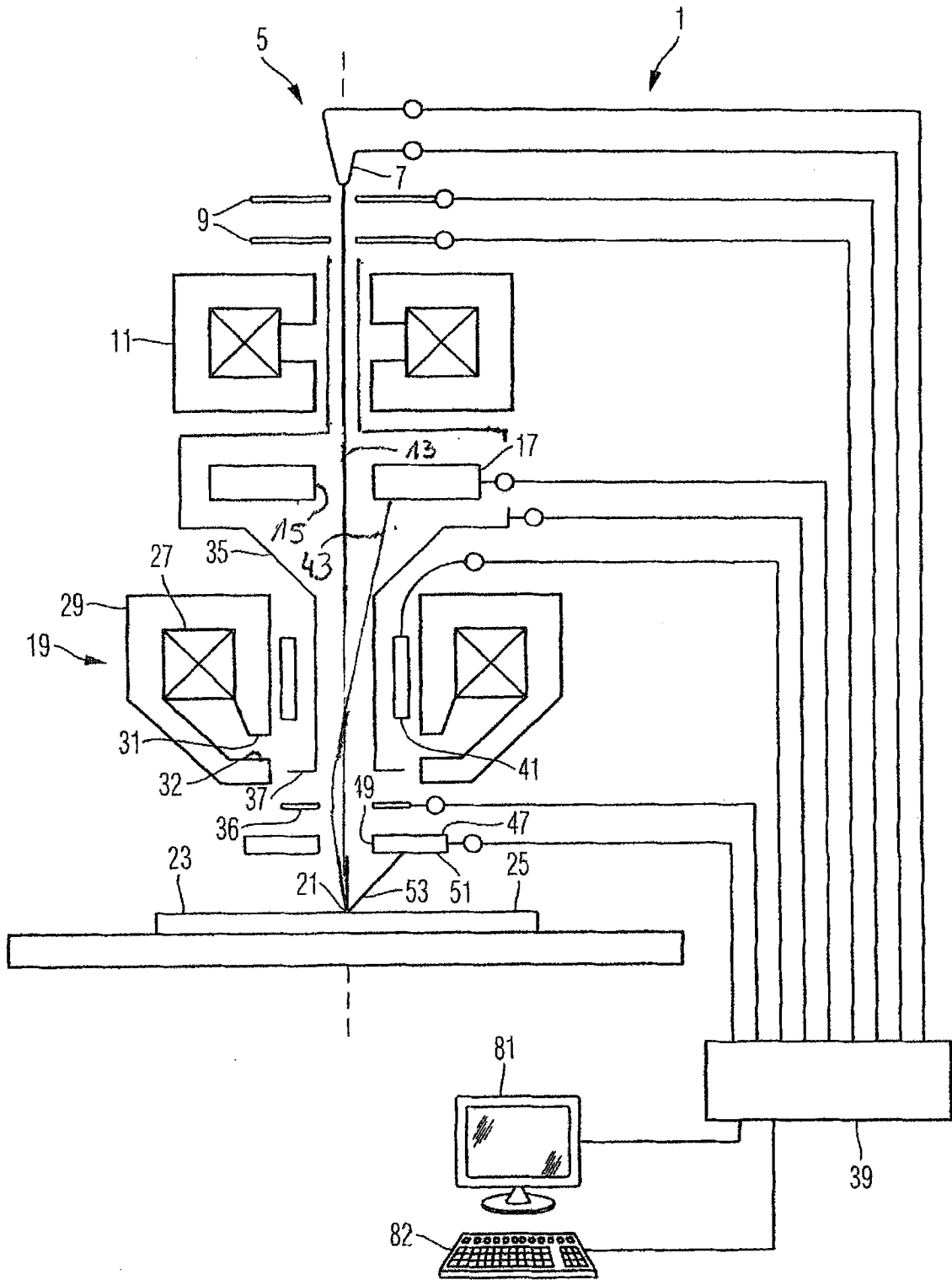


图 1

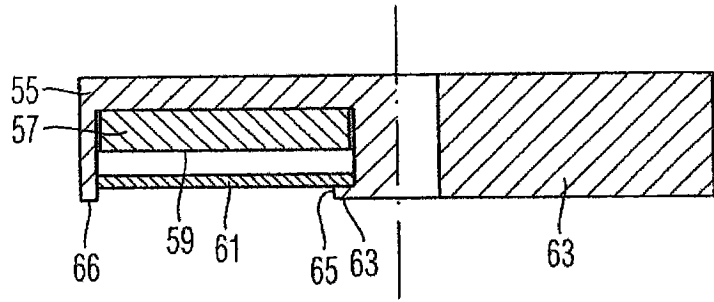


图 2

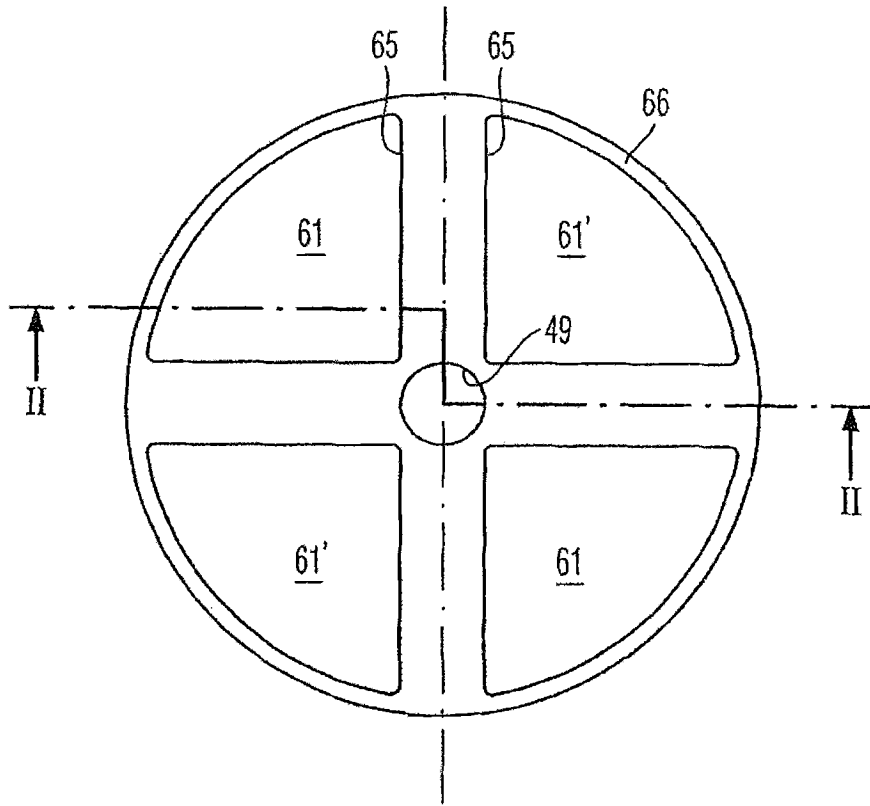


图 3

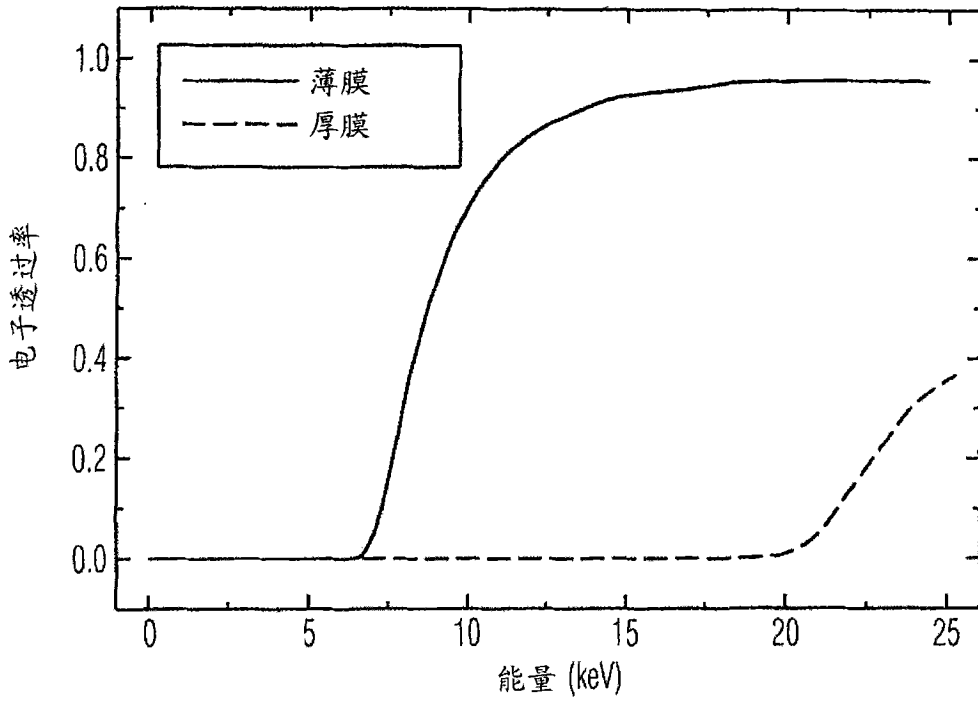


图 4

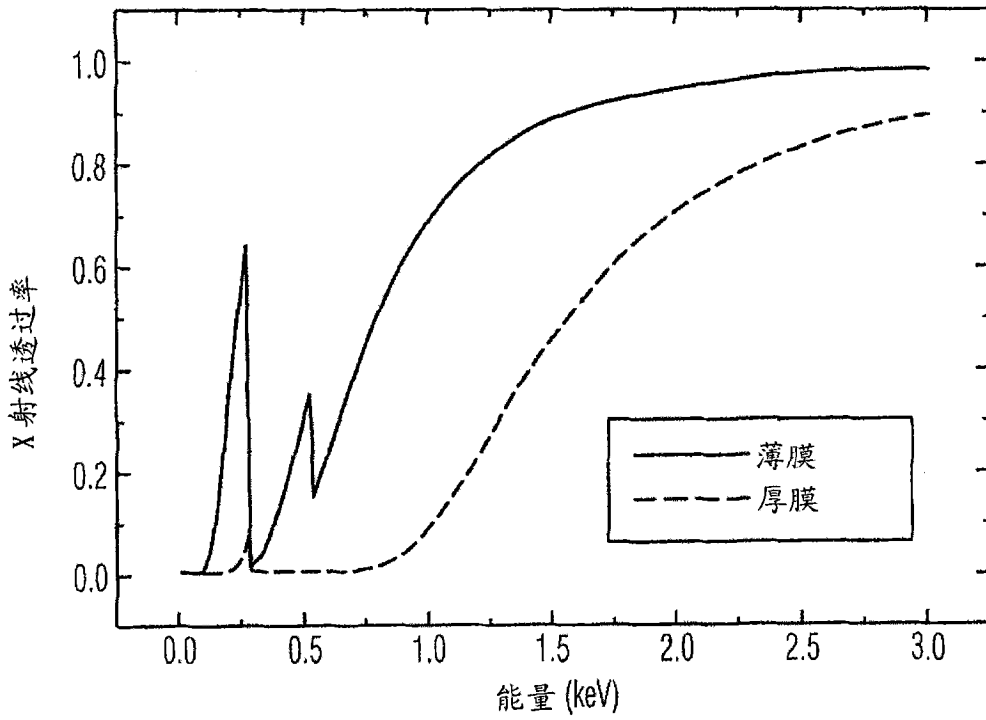


图 5

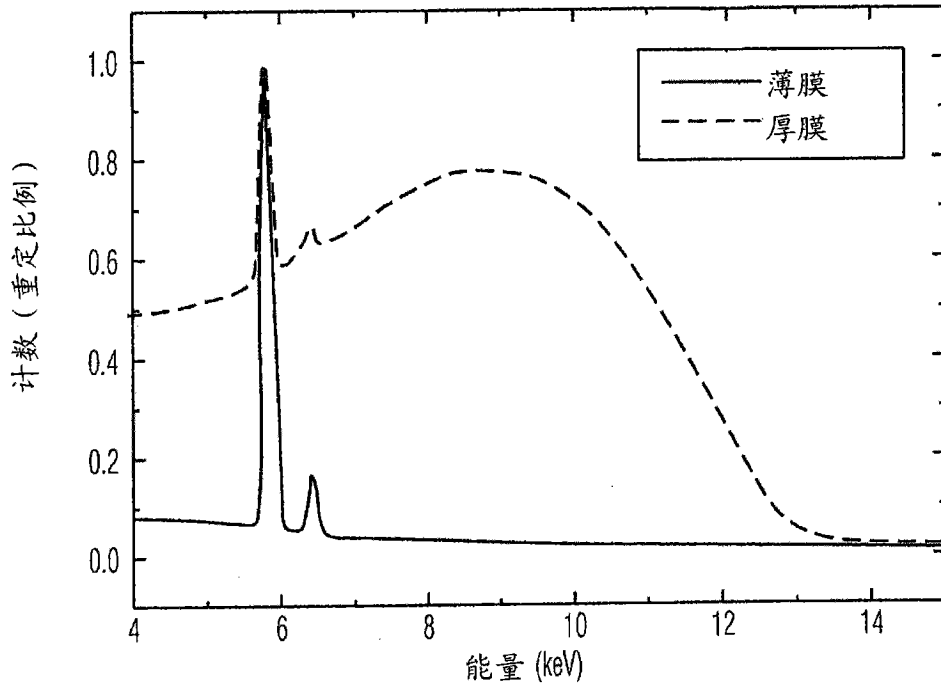


图 6

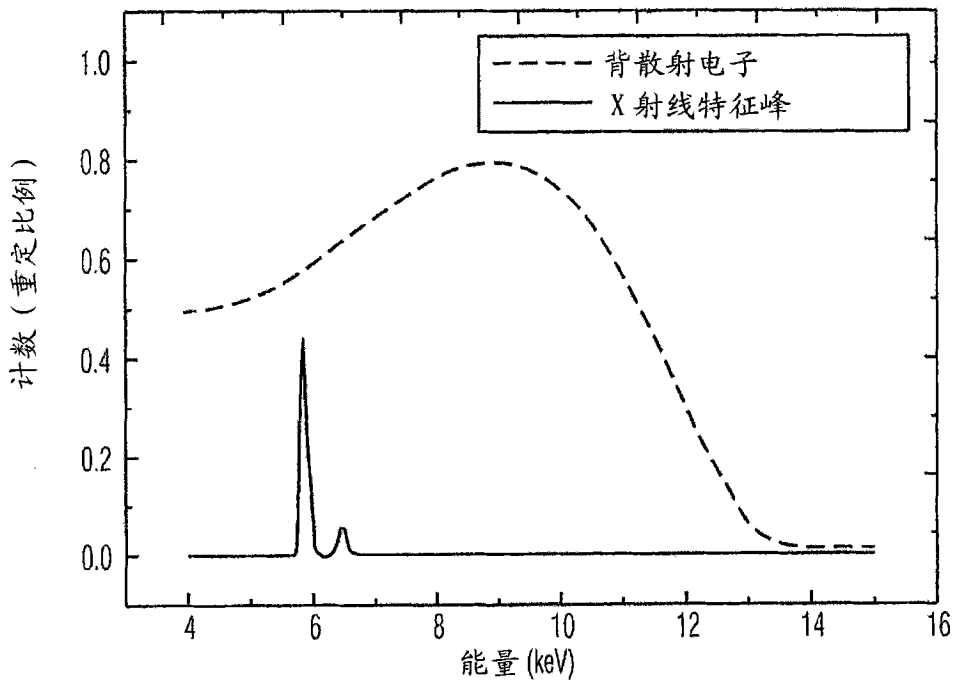


图 7

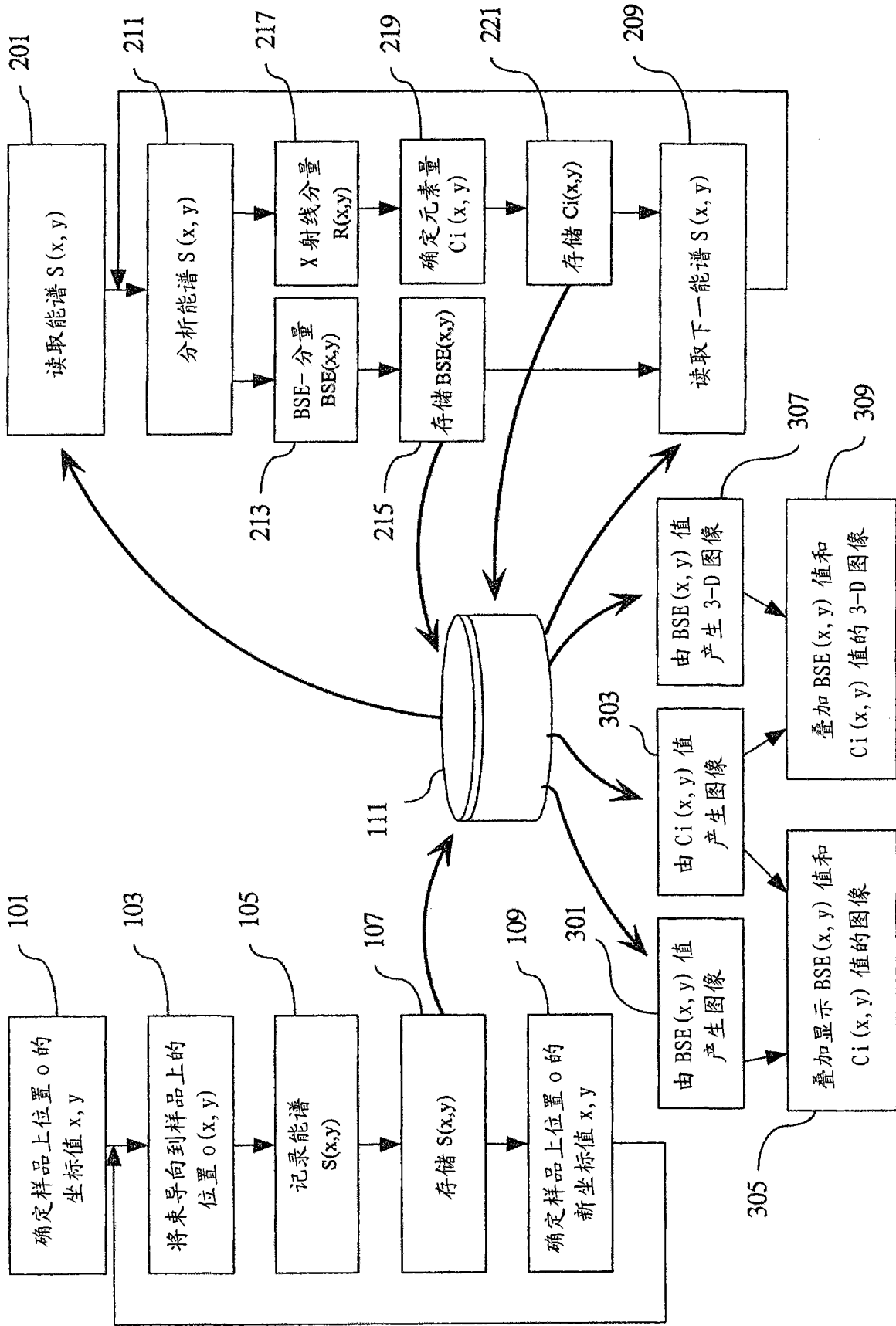


图 8

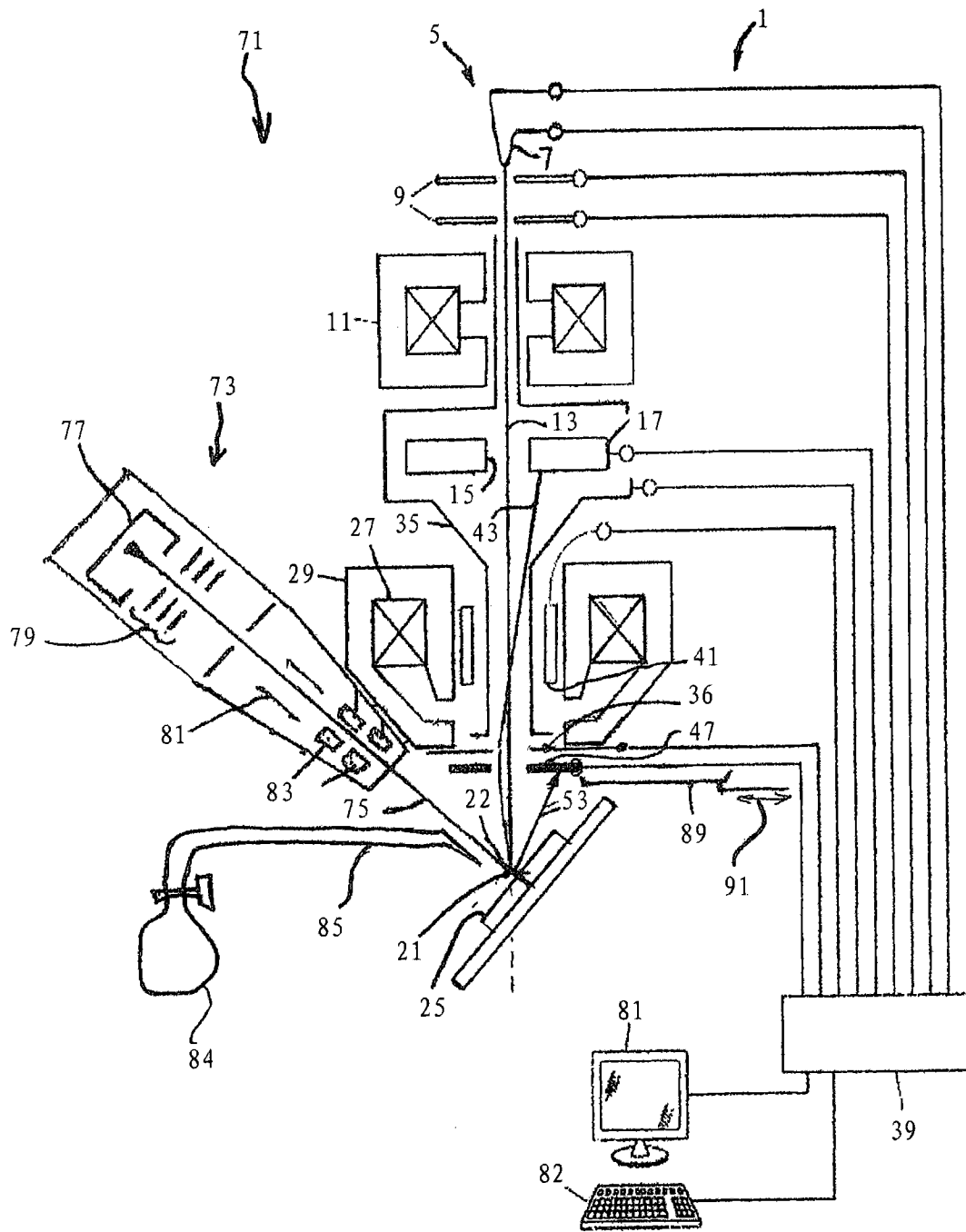


图 9