

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01N 35/00 (2006.01)

G01N 13/00 (2006.01)

H01J 37/20 (2006.01)



# [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610143243.6

[43] 公开日 2007年5月9日

[11] 公开号 CN 1959416A

[22] 申请日 2006.11.1

[21] 申请号 200610143243.6

[30] 优先权

[32] 2005.11.1 [33] EP [31] 05110225.9

[71] 申请人 FEI 公司

地址 美国俄勒冈州

[72] 发明人 H·G·塔佩尔

I·J·B·希斯范 D·兰克斯

G·N·A·维恩范 R·杨

L·A·吉安努兹

[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 杨松龄

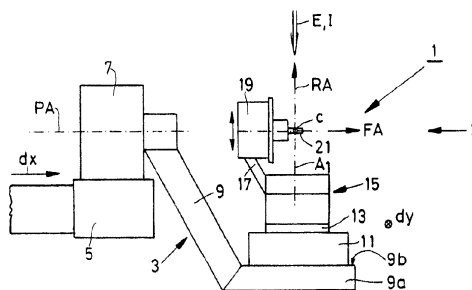
权利要求书 2 页 说明书 8 页 附图 2 页

## [54] 发明名称

工作台组件,包含它的粒子光学设备及处理样品的方法

## [57] 摘要

一种粒子光学设备,包括:第一源,用来沿第一轴线( $A_1$ )产生第一照射束(E);第二源,用来沿第二轴线( $A_2$ )产生第二照射束(I),第二轴线在束交叉点与第一轴线相交,第一和第二轴线( $A_1, A_2$ )确定一个束平面。工作台组件(3),它将样品安置在束交叉点(c)附近,此组件包括:可安装样品的样品台(21);一组致动器,它实现样品台(21)沿以下方向的平动:基本平行于垂直束平面的 X - 轴线,平行于束平面的 Y - 轴线,和平行于束平面的 Z - 轴线,此 X - 轴线, Y - 轴线和 Z - 轴线相互垂直且通过该束交叉点(c)。其特征是这组致动器安装成可实现:样品台(21)围绕基本平行于 Z - 轴线的旋转轴线(RA)旋转,和样品台(21)围绕基本垂直于 Z - 轴线的翻转轴线(FA)旋转,其中翻转轴线(FA)本身可以绕旋转轴线(RA)旋转。



1. 本发明涉及一种工作台组件(3), 它将样品安置在参考点(c)附近, 此组件包括:

- 可安装样品的样品台(21);
- 一组致动器, 它实现样品台(21)沿以下方向的平动: 基本平行于垂直参考平面的 X-轴线, 平行于参考平面的 Y-轴线, 和平行于参考平面的 Z-轴线, 此 X-轴线, Y-轴线和 Z-轴线相互垂直且通过该参考点(c)。

其特征是这组致动器安装成可实现:

- 样品台(21)围绕基本平行于 Z-轴线的旋转轴线(RA)旋转, 和
- 样品台(21)围绕基本垂直于 Z-轴线的翻转轴线(FA)旋转, 其中翻转轴线(FA)本身可以绕旋转轴线(RA)旋转。

2. 如权利要求1的工作台组件(3), 其中该组致动器还可实现 Y-轴线和 Z-轴线围绕与 X-轴线重合的主轴线旋转。

3. 如权利要求2的工作台组件(3), 包括:

- 可沿平行于 X-轴方向平动的子工作台(5);
- 安装在此子工作台(5)上的主旋转部件(7), 用来使机架(9)围绕主轴线(PA)旋转;
- 由机架(9)支承的 Y 部件, 用来使滑板(13)沿平行于 Y-轴线的方向相对机架(9)平动;
- 由滑板(13)支承的 Z 部件, 用来使平台(17)围绕旋转轴线(RA)相对于机架旋转, 以及该平台(17)沿旋转轴线(RA)的平动;
- 由平台(17)支承的翻转部件(19), 用来使样品台(21)围绕翻转轴线(FA)相对于机架(9)旋转。

4. 如权利要求1-3中任一条所述的工作台组件(3), 其中样品台(21)围绕翻转轴线(FA)的角向行程基本为 360 度或更大。

5. 一种粒子光学设备, 包括:

- 第一源, 用来沿第一轴线( $A_1$ )产生第一照射束(E);
- 第二源, 用来沿第二轴线( $A_2$ )产生第二照射束(I), 第二轴线在束交叉点与第一轴线相交, 第一和第二轴线( $A_1$ ,  $A_2$ )确定束平面;

---

- 如权利要求 1 - 4 中任一条所述的工作台组件；  
其中参考点 (c) 是束交叉点，参考平面是束平面。

## 工作台组件，包含它的粒子光学设备 及处理样品的方法

### 技术领域

本发明涉及一种工作台组件，它将样品安置在参考点附近，此组件包括：

- 可安装样品的样品台；

- 一组致动器，它可使样品台沿以下方向平动：基本平行于垂直参考平面的 X-轴线，平行于参考平面的 Y-轴线，和平行于参考平面的 Z-轴线，此 X-轴线，Y-轴线和 Z-轴线相互垂直且通过该参考点。

本发明还涉及到粒子光学设备，它包括：

- 第一源，用来沿第一轴线产生第一照射束；

- 第二源，用来沿第二轴线产生第二照射束，第二轴线在束交叉点与第一轴线相交，第一和第二轴线确定一个束平面；

- 如开头一段所述的工作台组件，

其中参考点是束交叉点，参考平面是束平面。

上节所说的第一和第二照射束可包括离子束，电子束，激光束等。

### 背景技术

欧洲专利申请 EP 1 443 541 A 介绍了上面第一和第二节提到的工作台组件和粒子光学设备。在这类通称为双束设备的设备中，可以用电子束对安装在样品台上的样品进行电子显微学分析，而用离子束对该样品作某些处理，如加工（即从样品上除掉材料表面层）等。利用双束可以在一台设备上对样品作现场处理（使用离子束），且可以对这种处理结果作现场检查（使用电子束），若检查结果不满意可以很容易地对样品作进一步处理。这样可以避免在分离的电子显微镜和离子束装置之间将样品运来运去，从而节省时间和精力，并降低样品暴露于设备外大气而被污染的风险。

举例来说，对于透射电镜（TEM）或扫描透射电镜（STEM）的情况，可能是开始安装在样品台上的样品的平均厚度  $T_0$ （在基本垂直于样品主面 S 的方向）过大，以致无法被电子束满意地成象。这时可以利用双束 TEM 或 STEM 中已有的离子束将样品减薄，这只要让样品的一部

分相对于离子束在 X, Y 方向扫描, 以去掉一定的材料厚度  $\Delta T$ 。然后用电子束对具有新厚度  $T_1 = T_0 - \Delta T$  的样品部分进行检测, 确定能否满意成象。如果不能则用离子束将样品进一步减薄, 如此等等。

可用于此类设备的样品类型的例子是一块在晶片(或其它衬底如 GaAs 晶体)上制造出的半导体器件, 为了研究此器件内的层厚度、栅极结构、主连线、线宽、绝缘的牢固性等, 从晶片上该器件中切出一小片, 此小片代表通过构成该器件各层的纵向截面。为了满意地成象, 在 TEM 或 STEM 样品台上看到的该小片应该有约  $1\text{nm} - 1\mu\text{m}$  的厚度(在平行于电子束轴线方向), 但在垂直电子束轴线方向一般具有尺寸大得多(如约  $30 \times 30\mu\text{m}^2$ )的主表面 S。除了此类半导体样品外, 样品还可以是一块生物组织, 一块晶体, 等等。

在许多以前的上述类型设备中, 电子束是沿第一轴线产生, 而 Z-轴线固定为与此第一轴线重合, 沿 Z-轴线平动样品可以让电子束严格地聚焦在样品上, 而平行 X-轴线和/或 Y-轴线平动样品可以让样品表面上不同的点横向处在电子束的焦点上。同样的这些自由度也可以让样品上的给定点处在第二照射束(例如离子束)内, 而且如果这第二照射束是聚焦束(如 FIB), 也可以让该点处在第二照射束的焦点上。通常把样品台做成具有垂直于 Z-轴线的安装平面, 并将样品安装成使主表面 S 基本平行于此安装平面。但是, 虽然在这种装置中电子束将垂直打到 S, 但沿第二轴线传播的第二照射束将以与 S 的法线成  $\Phi$  角打到样品上(因为第一和第二轴线不平行)。 $\Phi$  的典型值在  $40 - 60$  度左右。例如对于离子铣削而言, 较大的  $\Phi$  值有利, 因为离子束在较小  $\Phi$  值时可能在样品中打出孔, 而在较大  $\Phi$  值时(即最好近似切线入射)将在样品上抹去一片, 故有利于铣削而非钻孔。

因为在上述装置中离子不垂直打到样品上, 离子对样品的作用必定是各向异性的。因此, 当用电子束来观察样品时, 这类离子的各向异性照射可能产生很不均匀的处理结果。例如, 在一种加工处理中, 样品面对离子束的一面将比相反的一面减薄更多。当采用其它类型的第二照射束(如激光束或电子束)时, 情况也相似。

#### 发明内容

本发明的目的是使这一问题得到缓解。更明确地说, 本发明的目的是提供一种能在双束粒子光学设备中对样品作较均匀处理的工作台

组件。

这些和其它一些目的可利用开头一节所述的工作台组件来达到，其特征是这组致动器安装成可实现：

- 样品台围绕基本平行于 Z-轴线的旋转轴线旋转，和
- 样品台围绕基本垂直于 Z-轴线的翻转轴线旋转，其中翻转轴线本身可以绕旋转轴线旋转。

本文中“旋转”一词是指主要是旋转而不是非常小的倾斜等。任何情况下每个旋转的可能范围都大于约 1 度，且通常还要更大（例如大于 10 度，直至 360 度的整转）。

因而，本发明的粒子光学设备具有如上面开头第二节所述的结构，并包括如上面倒数第二节所述的本发明的工作台组件。

样品绕上述旋转轴线的旋转可以使样品处理（如离子处理）的效果成为旋转对称的（围绕该旋转轴线），从而消除或至少是降低上面提到的各向异性/不均匀性。有了这个围绕旋转轴线的角向自由度（DOF），再加上围绕翻转轴线的角向 DOF，可以让样品中的大范围特定结晶方位沿着第一和/或第二照射束的方向。按照电子显微学领域人员熟悉的术语，这种围绕旋转轴线和翻转轴线的联合 DOF 可以让样品作  $\alpha$ -倾斜和  $\beta$ -倾斜。

类似地，按开头第四节所述的方法具有以下特征：在用离子束照射过程中，样品围绕基本平行于束平面的旋转轴线作角向移动。

在本发明的一个工作台组件和粒子光学设备具体实施例中，这组致动器还可以实现围绕与 X-轴线重合的主轴线的 Y-轴线和 Z-轴线旋转。

围绕这个主轴线的 Y-轴线和 Z-轴线旋转可以对第一和/或第二照射束在样品上的入射角进行调节。具体地说，现在可以调整第二照射束（如离子束）在主表面 S 上的入射角  $\Phi$ ，使由该束所作的处理达到最佳。另外，围绕主轴线的旋转 DOF 可以产生同心（eucentric）坐标系统，在这个系统中样品台各个 DOF 较少简并（degenerate）。在非同心系统中，样品台在特定 DOF 内所希望的净运动通常由整组分量 DOF 组成，这使得样品的致动和定位变得复杂；这个组可由表示各种 DOF 相互关系（简并）的矩阵等来确定（所谓的 compu-centric 系统）。

上节所述的工作台组件的具体实施例包括：

- 可沿平行于 X-轴方向平动的子工作台；
- 安装在此子工作台上的主旋转部件，用来使机架围绕主轴线旋转；
- 由机架支承的 Y 部件，用来使滑板沿平行于 Y-轴线的方向相对机架平动；
- 由滑板支承的 Z 部件，用来使平台围绕旋转轴线相对于机架旋转，以及该平台沿旋转轴线的平动；
- 由平台支承的翻转部件，用来使样品台围绕翻转轴线相对于机架旋转。

本发明人发现，这种装置可以使本发明提供的附加 DOF 有效而精确地实现。

上节及贯穿本说明书类似段落中用到的词“相对于”所指的情况是，其中一条轴线或一组轴线（由它们确定一个坐标系）相对于内框架（如上面所说的机架）是固定的，即使内框架本身相对于外框架（例如上面提到的子工作台和主旋转部件）是活动的。因而在总的外框架坐标系内，内框架有它自己的本地坐标系。

对于许多应用而言，样品台围绕旋转轴线的角向行程只需要大约例如 90 度或 180 度。在本发明的工作台组件和粒子光学设备的一个具体实施例中，样品台围绕旋转轴线的角向行程基本为 360 度或更大。这个大的旋转可以让样品所有各面任意地呈现在第二照射束（如离子束）下，使由该束的处理结果能达到最大的自由度。达到此角向行程的一个途径是让上节提到的 Z 部件能围绕旋转轴线按指定方向连续旋转平台；在这种装置中，需要的话，在离子处理过程中，样品可围绕旋转轴线旋转好几转（按同一方向）。在另一种情况下，样品围绕旋转轴线的角向行程不足 360 度；在这种装置中，样品可以按一个方向旋转至其行程终点，接着可按相反方向转回到其行程的开始，并按需要在离子处理（或在不同的第二照射束的情况下的其它处理）过程中重复这种来回旋转。

在上述工作台组件和粒子光学设备的具体实施例中，样品台围绕翻转轴线的角向行程基本为 360 度或更大。若把翻转轴线安置成平行于主轴线（通过围绕旋转轴线适当角向调节工作台组件），且第二照射束是离子束，这个角向行程可使该工作台组件用作一种类型的“离

子车床”。在这种装置中，我们可以制造各种精密元件，例如针尖和探针，它们要求围绕翻转轴线具有特殊的圆柱/圆锥轮廓。按同样方法，用激光束作第二照射束可实现“激光车床”。这时所述的基本为360度或更大的角向行程可按上节所述的类似方法实现（不过现在涉及的是翻转部件而不是Z部件）。

必须指出，除了上面所讲的样品台外，本发明的工作台组件还可包括一个或几个附加的样品承载器（不同于样品台）。例如，除了上述用来支承/定位/操纵一部分大块样品（如一块晶片的断面部分）的工作台组件（下面会进一步讨论）之外，工作台组件可以有一个样品承载器用来支承/定位/操纵大的样品（如一整块半导体晶片或其大部分，GaAs晶体，用作薄膜磁头衬底的铁氧体块，等）。举例来说，可以把工作台组件和样品承载器安装在一个交换机构（如滑板或旋转板）上，后者可以让其中每一个安置在靠近参考点（第一和第二轴线的束交叉点）的位置。当用于本发明的粒子光学设备时，需要的话可利用设备中已有的第二照射束（如离子束或激光束）从大块样品中切出在样品台上研究过的那部分大块样品。

上面各节提到了使用离子束的一些情况。值得指出，本文中除了离子束用于材料切除外，我们还可以设想将离子束用于材料的添加，例如通过离子束和（特意引入的）存在于离子束和样品界面上的气相物质之间的相互作用将物质沉积在样品上。在这种情况下，本发明提供的围绕旋转轴线的角向DOF有助于防止在样品外的表面上产生厚度不均匀的材料沉积。

按类似的方法可利用激光束从样品上除掉材料（如通过激光剥离），或进行材料在样品上的激光辅助沉积。

#### 附图说明

现在根据一些实施例和附图进一步说明本发明及其优点，附图中：

图1是本发明的工作台组件和粒子光学设备一个实施例的部分正视图；

图2表示沿图1中箭头2的方向看去的图1物体的端视图；

图3是图2的一种变型，突出附加样品承载器。

各图中用相应的参考符号标示相应的零件。

具体实施方式



### 实施例 1

图 1 表示本发明的粒子光学设备 1 和工作台组件 3 一个实施例的部分正视图。图中工作台组件 3 由以下元件组成：

- 可沿平行于 X-轴线方向 dx 来回平动的子工作台 5；
- 安装在此子工作台 5 上的主旋转部件 7，用来使机架 9 围绕平行于 X-轴线的主轴线 PA 旋转；
- 由机架 9 支承的部件 11，用来使滑板 13 沿平行于 Y-轴线的方向 dy 相对于机架 9 来回平动；
- 由滑板 13 支承的 Z 部件 15，用来使平台 17 围绕旋转轴线 RA 旋转，并使平台 17 沿该旋转轴线 RA 平动。以机架 9 为参照物，旋转轴线 RA 平行于 Z-轴线。

- 由平台 17 支承的翻转部件 19，用来使样品台 21 围绕翻转轴线 FA 旋转。以机架 9 为参照物，此翻转轴线 FA 垂直于 Z-轴线，且由于 Z 部件 15 的旋转功能，此翻转轴线本身可围绕旋转轴线 RA 旋转。

上节所说的 X-轴线，Y-轴线，Z-轴线是相互正交的，并有一个位于参考点 c 的公共原点。在所示实施例中，X-轴线与主轴线 PA 重合，而且是固定的。另一方面，Y-轴线和 Z-轴线以机架 9 为参照物，因而当机架 9 被主旋转部件 7 围绕主轴线 PA 角向位移时，它们也和机架 9 一起旋转。举例来说，若机架 9 包括一个带平面 9b 的平台 9a，后者平行于 X-轴线伸展并支承 Y 部件 11，则 Y-轴线将平行于此平面 9b 伸展，同时 Z-轴线将垂直于此平面 9b 伸展，而与平台 9a 围绕主轴线 PA 的旋转方向无关。这样一个能围绕主轴线 PA 旋转的坐标系统在本专业内称为同心坐标系统。

参考点 c 也形成第一轴线  $A_1$  和第二轴线  $A_2$  的交叉点（见图 2），这两条轴线都位于束平面 BP（图 2 的纸平面）内，该束平面垂直于主轴线 PA。第一轴线  $A_1$  和第二轴线  $A_2$  围绕点 c 相互错开一个角度  $\theta$ 。例如，电子束 E（第一照射束）可沿第一轴线  $A_1$  方向，离子束 I（第二照射束）可沿第二轴线  $A_2$  方向。这些束 E 和 I 是利用业内熟知的粒子源和粒子光学装置产生的（因而此处不作说明）。束 E 和 I 两者都可以聚焦在点 c。可以利用 Z 部件 15 将样品台 21 移入和移出束的焦点 c。

作为例子，在工作台组件 3 的一个具体实施例中，子工作台 5 和

Y 部件 11 的直线行程在约 100mm 量级（即相对于第一轴线  $A_1$  为  $\pm 50\text{mm}$ ），Z 部件 15 的直线行程约为 10mm 量级（样品台 21 可以相对主轴 PA 的高度位移  $\pm 5\text{mm}$ ），主旋转部件 7 的旋转范围至少是  $\theta$ （包含  $A_1$  和  $A_2$ ），Z 部件 15 的角向行程是 180 度（围绕旋转轴线 RA），翻转轴线 19 的角向行程也是 180 度（围绕翻转轴线 FA）。但是，当然也可以将这些范围选择为不同的值。

上述同心系统的优点是，在样品安装在样品台 21 上且主表面 S 基本平行于样品台 21 的一个平面的情况下，可以将样品台操纵成（利用主旋转部件 7）能调整第一轴线  $A_1$  或第二轴线  $A_2$  在 S 上所对的角度。

如图 1 和 2 所示，翻转轴线 FA 与主轴 PA 重合。但这纯粹是巧合，如果希望的话，可通过围绕旋转轴线 RA 适当旋转平台 17（利用 Z 部件 15），让翻转轴线 FA 对主轴 PA 成一个角度。另外，通过沿轴线 RA（利用 Z 部件 15）和/或沿 dy 方向（利用 Y 部件 11）适当移动平台 17，可将翻转轴线 FA 移离主轴 PA。

如图 1 和 2 所示，旋转轴线 RA 也与第一轴线  $A_1$  重合。但这也纯粹是巧合，如果希望的话，可通过围绕主轴 PA 适当旋转机架 9（利用主旋转部件 7），让旋转轴线 RA 对第一轴线  $A_1$  成一个角度。另外，通过沿方向 dx（利用子工作台 5）和/或沿 dy 方向（利用 Y 部件 11）适当移动机架 9，可将旋转轴线 RA 移离第一轴线  $A_1$ 。

按照本发明，在离子束 I 照射过程中，样品台 21 可围绕旋转轴线 RA 旋转；这样可实现样品台 21 上的样品较均匀/各向同性的处理。另外，连同这个围绕旋转轴线 RA 的角向 DOF，所提供的另外的围绕翻转轴线 FA 的 DOF 可以让样品内大范围的特定结晶取向沿着第一轴线  $A_1$  和/或第二轴线  $A_2$ ，从而实现/调节样品的  $\alpha$ -倾斜和  $\beta$ -倾斜。

### 实施例 2

本发明的粒子光学设备和工作台组件的另一个实施例和上述实施例 1 相同，只是机架 9 不能围绕主轴 PA 旋转。在这种非同心装置中，旋转轴线 RA 是永久平行于例如第一轴线  $A_1$ 。

### 实施例 3

本发明的粒子光学设备和工作台组件的另一个实施例和上述实施例 1 相同，只不过工作台组件 3 在滑板 13 上装了一个附加机构 3'。图 1 和 2 中的样品台 21 是用来支承很小的微观尺寸（例如  $30 \times 30 \times 0.1$

$\mu\text{m}^3$ ) 样品, 而附加机构 3' 内的样品承载器 21B 是用来支承大块样品, 如整块半导体晶片 (如直径 100mm 和厚度 1.2mm) 的大部分。为此, 机构 3' 包括一个由滑块 3 支承的大尺寸 Z 部件 15B, 用来使样品承载器 21B 围绕大块体旋转轴线 25 旋转, 并使样品承载器 21B 沿大块体旋转轴线 25 平动。此大块体旋转轴线 25 平行于旋转轴线 RA, 且离开它一个固定距离。在这种情况下, Y 部件的行程足以让大块体旋转轴线 25 与第一轴线  $A_1$  相重合。在同心系统中大块体旋转轴线 25 也可以倾斜 (在纸平面之内) 而达到与第二轴线  $A_2$  平行。

可以把半导体晶片 (的大部分) 等大块样品 23 安装在样品承载器 21B 上。因为样品承载器 21B 可以在角向围绕大块体旋转轴线 25 调节, 因而大块样品 23 的方位可以调整; 这在用来将大块样品与样品承载器 21B 交换的操纵机械手具有固有定位误差等情况下有其优点。在将大块样品 23 装到样品承载器 21B 上之后, 可以把 Y 部件调节到使大块样品 23 移到电子束 E 下面来观察。一旦用电子束 E 找出样品承载器 21B 上具体感兴趣的区域 (在适当调整子工作台 5, Y 部件 11 和/或大尺寸 Z 部件 15B 之后), 可现场将这块大块样品 23 取出并转移到样品台 21 上, 在那儿用离子束 I (如需要的话) 进行处理并用电子束 E 作进一步研究。业内已熟悉适合于这类现场取出和转移的技术; 例如可参看上面提到的 EP 1 443 541 A。

#### 实施例 4

本发明的粒子光学设备和工作台组件的另一个实施例和上述实施例 1-3 中任一个相同, 只不过样品台 21 围绕翻转轴线 FA 的角向行程基本为 360 度或更大。若此翻转轴线 FA 被安置成平行于主轴线 PA (通过适当调节样品台 21 围绕旋转轴线 RA 的角度), 这个角向行程可使样品台 21 用作一种类型的“离子车床”, 这时样品台 21 在离子束 I 处理期间围绕翻转轴线 FA 旋转 (而且如果需要还可借助于子工作台 5 沿翻转轴线 FA 平动)。

#### 实施例 5

本发明的粒子光学设备和工作台组件的另一个实施例与上述实施例 1-4 中任一个相同, 除了用激光束替代离子束 I (第二照射束)。或者, 电子束 E (第一照射束) 可以用离子束或激光束代替。

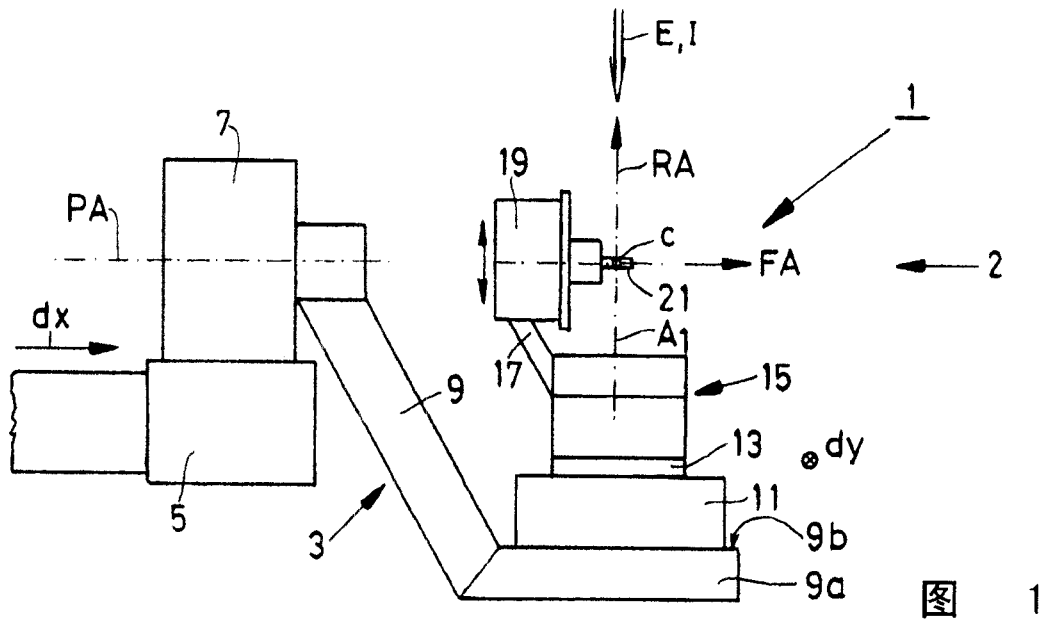


图 1

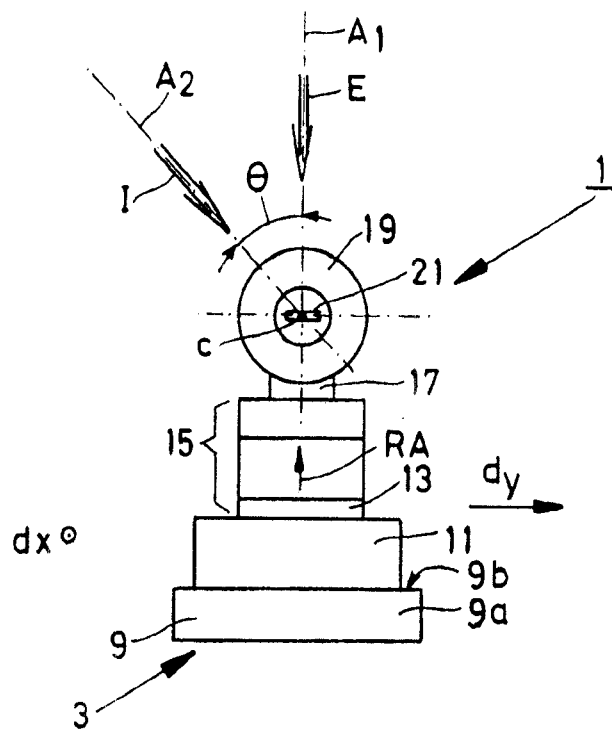


图 2

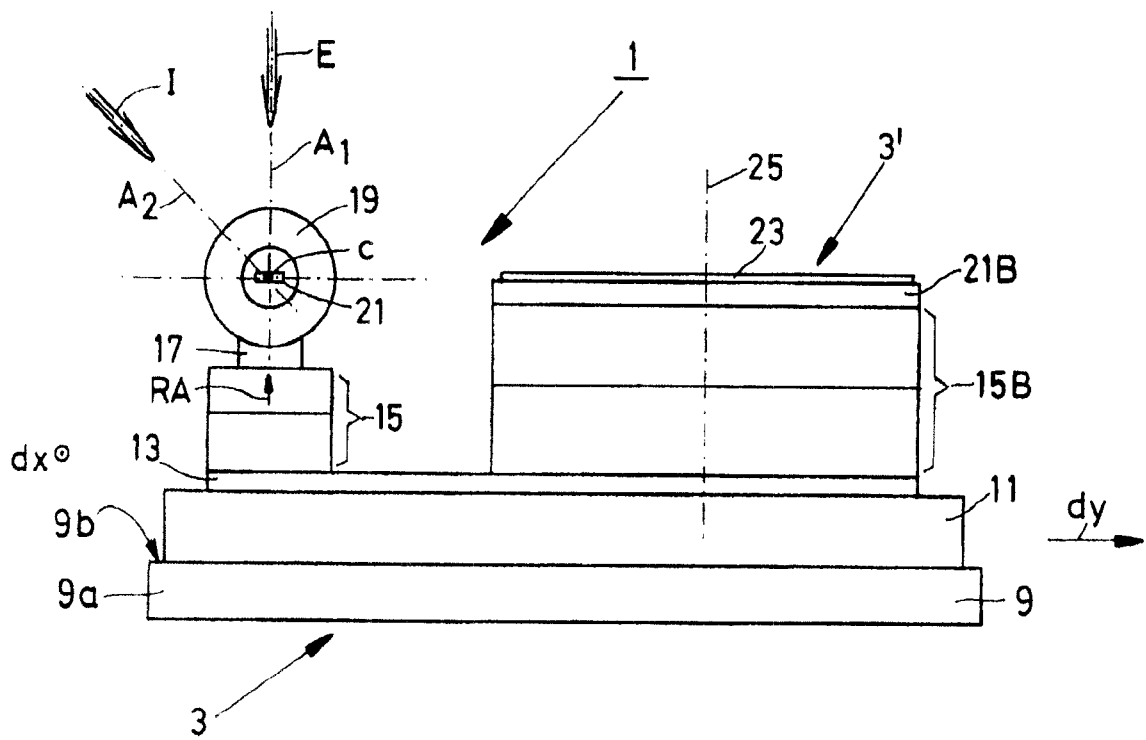


图 3