



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 041 815 A1** 2010.04.15

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 041 815.3**

(22) Anmeldetag: **04.09.2008**

(43) Offenlegungstag: **15.04.2010**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G01N 23/203** (2006.01)

**G01N 23/207** (2006.01)

**G01N 1/28** (2006.01)

**G01N 23/225** (2006.01)

**H01J 37/252** (2006.01)

**H01J 37/30** (2006.01)

(71) Anmelder:

**Carl Zeiss NTS GmbH, 73447 Oberkochen, DE**

(74) Vertreter:

**Patentanwälte Freischem, 50667 Köln**

(72) Erfinder:

**Zeile, Ulrike, 89522 Heidenheim, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

**EP 19 56 634 A1**

**EP 15 77 927 A2**

**DE 196 08 082 A1**

**US 2004/01 08 458 A1**

**EP 15 01 115 A2**

**WO 2004/0 27 684 A2**

**US 2006/02 19 953 A1**

**GB 22 25 156 A**

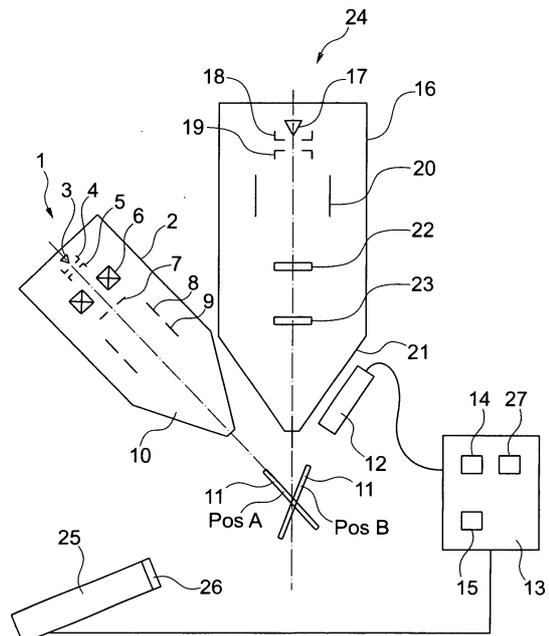
**DE 603 08 482 T2**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Analyse einer Probe**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Analyse einer Probe, insbesondere einer Probe, welche Materialien mit geringer Dichte aufweist. Ionen einer vorbestimmten Masse und/oder mit einer vorbestimmten Elementarladung werden aus einer Vielfalt von Ionen selektiert und auf die Probe zu Probenpräparation geführt. Anschließend wird ein Elektronenstrahl auf die präparierte Probe geführt und eine räumliche Verteilung von gestreuten Elektronen gemessen.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Analyse einer Probe, insbesondere einer Probe, welche Materialien mit geringer Dichte aufweist.

**[0002]** Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, zur Reparatur von Halbleitermasken eine Ionenstrahlsäule zu verwenden. Die Ionenstrahlsäule weist eine Ionenquelle auf, die eine Vielzahl Ionen unterschiedlicher geeigneter Elemente bereitstellt, welche eine unterschiedliche Ionenmasse aufweisen. Die Ionen werden in einem Ionenstrahl zusammengefasst und in Richtung einer zu reparierenden Halbleitermaske geführt. Mittels eines Filters, der sowohl ein elektrisches Feld als auch ein magnetisches Feld bereitstellt, wird eine gewünschte Art von Ionen anhand ihrer Masse selektiert. Nur diese selektierten Ionen werden dann letztendlich als Ionenstrahl auf die Halbleitermaske fokussiert. Aufgrund einer Wechselwirkung des auf die Halbleitermaske auftreffenden Ionenstrahls mit dem Material der Halbleitermaske entstehen Wechselwirkungsteilchen, insbesondere Sekundärelektronen oder Sekundärionen, die aus der Halbleitermaske emittiert werden. Ein Detektor detektiert die Wechselwirkungsteilchen. Hinsichtlich des vorstehenden Standes der Technik wird auf die US 5,035,787 sowie die WO 88/09049 verwiesen.

**[0003]** Wie allerdings erwähnt, betrifft das bekannte Verfahren nur die Reparatur von Halbleitermasken, nicht jedoch eine Analyse einer Probe.

**[0004]** Zur Analyse einer Kristallstruktur einer Probe ist es aus dem Stand der Technik bekannt, die Verteilung von Elektronen zu bestimmen, welche nach Einfall eines Elektronenstrahls auf eine Probe an der Probe zurückgestreut werden. Das vorstehende Verfahren ist unter seiner Bezeichnung EBSD („Electron Backscattered Diffraction“) bekannt. Es ist bekannt, dass vorgenannte Verfahren in einem Teilchenstrahlgerät einzusetzen, welches sowohl einen Ionenstrahl als auch einen Elektronenstrahl bereitstellt. Mittels des Ionenstrahls wird eine zu analysierende Probe zunächst präpariert. Anschließend wird ein Elektronenstrahl auf die Probe fokussiert. Aufgrund der Wechselwirkung der Elektronen des Elektronenstrahls mit dem Material der Probe werden Elektronen von der Oberfläche der Probe zurückgestreut. Die Verteilung der zurückgestreuten Elektronen wird bestimmt, um hierdurch Rückschlüsse auf die Kristallstruktur der Probe zu erhalten. Zur Bestimmung der Verteilung der zurückgestreuten Elektronen wird ein zweidimensionaler Detektor in Form einer CCD-Kamera verwendet.

**[0005]** Für Proben, welche Materialien mit geringer Dichte aufweisen und welche in dem vorgenannten Teilchenstrahlgerät untersucht werden, sind allerdings keine aussagekräftigen Messungen erhältlich.

Mit dem EBSD-Verfahren erzeugte Bilder der räumlichen Verteilung der zurückgestreuten Elektronen lassen keine klaren Aussagen über die Kristallstruktur der vorgenannten Probe zu. Überlegungen haben ergeben, dass der Grund hierfür wahrscheinlich die Art der Präparation der Probe ist. Für die Präparation der Probe werden in der Regel Gallium-Ionen verwendet, die in die Probe eindringen und die Kristallstruktur der Probe zerstören.

**[0006]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Analyse einer Probe anzugeben, mittels dem auch für Proben, welche aus Materialien mit geringer Dichte zusammengesetzt sind, klare Aussagen über deren Kristallstruktur gemacht werden können.

**[0007]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mittels eines Verfahrens gelöst, welches die Merkmale des Anspruchs 1 aufweist. Ein Teilchenstrahlgerät zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist durch die Merkmale des Anspruchs 17 gegeben. Weitere Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, den nachfolgenden Ansprüchen und/oder den beigefügten Figuren.

**[0008]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden zunächst erste Ionen und zweite Ionen erzeugt. Die ersten Ionen bzw. die zweiten Ionen können als ionisierte Atome bzw. als ionisierte Moleküle ausgebildet sein. Die ersten Ionen weisen eine erste vorgebbare Masse und/oder eine erste vorgebbare Anzahl an Elementarladungen auf, während die zweiten Ionen eine zweite vorgebbare Masse und/oder eine zweite Anzahl an Elementarladungen aufweisen. Die zweite vorgebbare Masse ist zur ersten vorgebbaren Masse unterschiedlich. Alternativ oder zusätzlich hierzu ist die zweite vorgebbare Anzahl an Elementarladungen unterschiedlich zur ersten vorgebbaren Anzahl an Elementarladungen. Aus den ersten Ionen und den zweiten Ionen wird ein Ionenstrahl erzeugt. Im Anschluß daran werden die ersten Ionen oder die zweiten Ionen im Ionenstrahl selektiert. Die selektierten ersten Ionen oder die selektierten zweiten Ionen werden zu einer Probe geführt. Mit anderen Worten ausgedrückt, verbleiben nur die selektierten ersten Ionen oder selektierten zweiten Ionen im Ionenstrahl, der zu der Probe geführt wird. Die nicht selektierte Ionenart (also entweder die ersten Ionen oder die zweiten Ionen) wird aus dem Ionenstrahl ausgeblendet und wird nicht zu der Probe geführt. Mittels der zu der Probe geführten selektierten ersten Ionen oder selektierten zweiten Ionen wird zumindest ein Teil der Probe präpariert. Beispielsweise wird die Oberfläche der Probe mittels der selektierten ersten Ionen oder der selektierten zweiten Ionen poliert. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist es ebenfalls vorgesehen, dass ein Elektronenstrahl erzeugt und auf den präparierten Teil der Probe geführt wird. Die Elektronen des Elektronenstrahls treten dabei in Wechsel-

wirkung mit der Probe, wobei insbesondere Elektronen von der Oberfläche der Probe gestreut werden. Beispielsweise werden diese Elektronen von der Probe zurückgestreut. Mit anderen Worten ausgedrückt werden diese Elektronen von der Oberfläche der Probe weg gestreut, also von der Oberfläche aus gesehen in Vorwärtsrichtung. Die gestreuten Elektronen, welche eine räumliche Verteilung aufweisen, werden detektiert. Die räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen wird anschließend analysiert. Es handelt sich hierbei also um das Verfahren EBSD, das bereits weiter oben erläutert wurde.

**[0009]** Die Erfindung geht von der Überlegung aus, dass in Abhängigkeit des Materials der Probe stets eine Ionenart bestimmt wird, die sowohl eine ausreichende Präparation der Probe ermöglicht als auch die Probe nicht derart schädigt, dass keine räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen ausreichend gut analysierbar ist. Insbesondere ist es gemäß der Erfindung vorgesehen, relativ schwere oder höher geladene Ionen zu verwenden, da diese aufgrund ihrer Größe und Ladung in der Regel nicht in eine Probe eindringen und diese schädigen. Bei der Erfindung ist es vorgesehen, eine Vielfalt an Ionen unterschiedlicher Masse und/oder Anzahl an Elementarladungen zu erzeugen. Mittels einer Selektion werden Ionen einer ganz bestimmten Masse und/oder mit einer ganz bestimmten Anzahl an Elementarladungen selektiert und auf die zu untersuchende Probe fokussiert. Zur Selektion der ersten Ionen oder zweiten Ionen wird beispielsweise ein Filter verwendet, der sowohl ein elektrisches Feld als auch ein magnetisches Feld zur Verfügung stellt (Wien-Filter).

**[0010]** Bei einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es vorgesehen, dass die ersten Ionen und/oder die zweiten Ionen mindestens eines der folgenden Elemente sind oder enthalten: Silizium (Si), Chrom (Cr), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Germanium (Ge), Indium (In), Zinn (Sn), Gold (Au), Silber (Ag), Blei (Pb), Wismut (Bi), Neodym (Nd), Cäsium (Cs) und Arsen (As). Die Ionen sind als ionisierte Atome oder als ionisierte Moleküle (beispielsweise  $\text{AuSi}^+$  oder  $\text{AuSi}^{2+}$ ) ausgebildet. Bei einer wiederum weiteren Ausführungsform ist es vorgesehen, dass eine Vielfalt von Ionen (ionisierte Atome oder ionisierte Moleküle) unterschiedlicher Elemente erzeugt wird, beispielsweise von mindestens zwei oder mindestens drei der vorgenannten Elemente. Man erzeugt somit praktisch ein „Gemisch“ aus unterschiedlichen Ionen, die dann anhand ihrer Ionenmasse selektiert werden, wie oben erläutert.

**[0011]** Alternativ oder zusätzlich hierzu ist es vorgesehen, dass die ersten Ionen und/oder die zweiten Ionen eine Ionenart enthalten, deren Masse größer als die Masse von Gallium ist. Die Verwendung von Gallium kann bei einigen Anwendungen von Nachteil

sein. Gallium hat aufgrund seiner relativ kleinen Masse die Eigenschaft, tief in eine Probe einzudringen. Hierdurch kann es bei einigen Proben dazu kommen, dass diese aufgrund des tiefen Eindringens des Galliums geschädigt werden. Deshalb ist es bei diesen Anwendungen von Vorteil, eine Ionenart zu wählen, deren Masse größer als die Masse von Gallium ist.

**[0012]** Ferner ist es bei einer weiteren Ausführungsform vorgesehen, dass die ersten Ionen und/oder die zweiten Ionen eine Masse von größer als 100 atomare Masseneinheiten aufweisen. Überlegungen haben ergeben, dass derartige Ionen sich für das erfindungsgemäße Verfahren besonders gut eignen.

**[0013]** Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens weist die Probe ein vorgebares Material auf. Es werden dann erste Ionen und/oder zweite Ionen ausgewählt, welche eine geringe chemische und/oder geringe physiko-chemische Affinität zum Material der Probe aufweisen. Dies gewährleistet, dass die Probe durch die selektierten ersten Ionen oder selektierten zweiten Ionen nicht geschädigt wird.

**[0014]** Bei einer weiteren Ausführungsform ist es vorgesehen, dass die zu analysierende Probe Al, Mg oder Legierungen aus Al und/oder Mg aufweist. Das erfindungsgemäße Verfahren ist beispielsweise bei Proben einsetzbar, welche aus Materialien mit einer geringen Dichte zusammengesetzt sind.

**[0015]** Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das erfindungsgemäße Verfahren mit weiteren Meßverfahren kombiniert. Insbesondere ist es vorgesehen, dass zusätzlich bei Einfall des Elektronenstrahls auf die Probe aus der Probe austretendes Kathodolumineszenzlicht detektiert wird. Alternativ oder zusätzlich hierzu wird die Probe mittels energiedispersiver Röntgenspektroskopie (EDX) untersucht, und/oder die Probe wird mittels wellenlängen-dispersiver Röntgenspektroskopie (WDX) untersucht. Eine weitere alternative Ausführungsform sieht vor, dass zusätzlich oder alternativ zu den vorgenannten Meßverfahren die Probe mittels Sekundärionen-Massenspektroskopie (SIMS) untersucht wird. Darüberhinaus ist es alternativ oder zusätzlich vorgesehen, die Probe mittels einer Analyse von Sekundärelektronen (also von der Probe emittierter Elektronen – auch unter der Abkürzung SE bekannt) und/oder an der Probe zurückgestreuter Elektronen (Rückstreuielektronen, auch unter der Abkürzung BSE bekannt) zu untersuchen. Die Kombination mindestens eines der vorgenannten Meßverfahren mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ist deshalb von Vorteil, weil hierdurch weitere Eigenschaften der zu analysierenden Probe ermittelt werden können.

**[0016]** Bei einer weiteren Ausführungsform des er-

findungsgemäßen Verfahrens wird der Ionenstrahl fokussiert auf die Probe zugeführt. Dies erfolgt beispielsweise mit einer geeigneten Ionenstrahlsäule. Somit ist es möglich, an ganz bestimmten Orten der Probe eine Analyse der Zusammensetzung der Probe durchzuführen. Es ist insbesondere vorgesehen, zunächst mittels des Ionenstrahls die Oberfläche einer zu untersuchenden Probe zu präparieren. Bei dieser Präparation wird insbesondere Material von der zu untersuchenden Probe abgetragen und/oder die zu untersuchende Probe poliert. Dieser Schritt kann beispielsweise durch eine Abbildung beobachtet werden, welche durch den auf die zu untersuchende Probe einfallenden Elektronenstrahl erzeugt wird. Erst nach Abschluß der Präparation der Probe wird dann die räumliche Verteilung von an der Probe gestreuter Elektronen durch Detektion der gestreuten Elektronen bestimmt.

**[0017]** Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es vorgesehen, vor der anfänglichen Präparation zunächst eine räumliche Verteilung von an der Probe gestreuter Elektronen durch Detektion der gestreuten Elektronen zu bestimmen. Erst anschließend erfolgt – wie zuvor beschrieben – die Präparation. Daran wiederum anschließend erfolgt eine erneute Bestimmung der räumlichen Verteilung von an der Probe gestreuter Elektronen.

**[0018]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es auch vorgesehen, dass das erfindungsgemäße Verfahren mehrfach hintereinander ausgeführt wird, um so verschiedene Datensätze der Probe zu ermitteln. Man führt also beispielsweise die Schritte der oben genannten Präparation und die Bestimmung der Verteilung der gestreuten Elektronen mehrmals nacheinander aus. Auf diese Weise ist es möglich, für jede bei der Präparation hergestellte Ebene der Probe jeweils einen Datensatz hinsichtlich der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen zu erhalten. Die einzelnen Datensätze werden dann zu einem dreidimensionalen Datensatz der Probe zusammengesetzt. Zur Bestimmung des Datensatzes einer Ebene ist es bei diesem Ausführungsbeispiel vorgesehen, dass nach dem Schritt der Präparation die räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen an verschiedenen Orten der Ebene bestimmt wird. Beispielsweise wird zunächst die räumliche Verteilung an mindestens einem ersten Ort der Probe bestimmt. Informationen über den ersten Ort sowie über die an dem ersten Ort bestimmte räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen werden als ein erster Datensatz abgespeichert. Ferner wird die räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen an mindestens einem zweiten Ort der Probe bestimmt. Informationen über den zweiten Ort sowie über die an dem zweiten Ort bestimmte räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen werden als ein zweiter Datensatz abgespeichert. Durch Ermittlung

mehrerer der vorgenannten Datensätze ist es möglich, einen zweidimensionalen Datensatz über die bei der Präparation hergestellte Ebene zu erhalten.

**[0019]** Bei einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist es vorgesehen, dass das Detektieren der gestreuten Elektronen mittels eines Szintillationsdetektors erfolgt, der eine ortssensitive Szintillationsfläche aufweist. Auf diese Weise ist es möglich, die räumliche Verteilung der Elektronen besonders gut zu bestimmen.

**[0020]** Bei einer wiederum weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein Bild der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen erzeugt und angezeigt. Desweiteren ist es beispielsweise vorgesehen, mittels der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen eine Kristallstruktur mindestens eines Kristallits der Probe sowie eine räumliche Ausrichtung des Kristallits in der Probe zu bestimmen. Auch ist es vorgesehen, die räumliche Verteilung aller Kristallite sowie die räumliche Ausrichtung der Kristallite zu bestimmen. Bei einer weiteren Ausführungsform ist es vorgesehen, ein Ergebnis der Detektion des Kathodolumineszenzlichts und/oder von Röntgenstrahlen und/oder von Sekundärionen und/oder von Sekundärelektronen und/oder von Rückstreuelektronen anzuzeigen, um weitere Rückschlüsse auf die Probe ziehen zu können.

**[0021]** Die Erfindung betrifft auch ein Teilchenstrahlgerät zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit einem der obengenannten Merkmale oder mit einer Kombination der oben genannten Merkmale. Das Teilchenstrahlgerät weist mindestens ein Mittel zum Erzeugen von ersten Ionen und zweiten Ionen auf, wobei die ersten Ionen eine erste vorgebbare Masse und/oder eine erste vorgebbare Anzahl an Elementarladungen aufweisen und wobei die zweiten Ionen eine zweite vorgebbare Masse und/oder eine zweite Anzahl an Elementarladungen aufweisen. Die zweite vorgebbare Masse ist zur ersten vorgebbaren Masse unterschiedlich. Alternativ oder zusätzlich hierzu ist die zweite vorgebbare Anzahl an Elementarladungen unterschiedlich zur ersten vorgebbaren Anzahl an Elementarladungen. Ferner weist das Teilchenstrahlgerät mindestens ein Mittel zum Erzeugen eines Ionenstrahls aus den ersten Ionen und den zweiten Ionen sowie mindestens ein Mittel zum Selektieren der ersten Ionen oder zweiten Ionen aus dem Ionenstrahl auf. Darüber hinaus ist das Teilchenstrahlgerät mit mindestens einem Mittel zum Zuführen der selektierten ersten Ionen oder selektierten zweiten Ionen zu einer Probe versehen, wobei zumindest ein Teil der Probe mittels der selektierten ersten Ionen oder der selektierten zweiten Ionen präpariert wird. Ferner sind mindestens ein Mittel zum Erzeugen eines Elektronenstrahls, mindestens ein Mittel zum Zuführen des Elektronenstrahls auf den präparierten Teil der Probe, mindestens ein Mittel

zum Detektieren von an der Probe gestreuten Elektronen, die räumlich verteilt sind, sowie mindestens ein Mittel zum Analysieren der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen vorgesehen.

**[0022]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels mittels Figuren näher erläutert. Dabei zeigen

**[0023]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Teilchenstrahlgeräts zur Durchführung eines Verfahrens zur Analyse einer Probe;

**[0024]** [Fig. 2](#) eine weitere schematische Darstellung des Teilchenstrahlgeräts nach [Fig. 1](#);

**[0025]** [Fig. 3](#) eine noch weitere schematische Darstellung des Teilchenstrahlgeräts nach [Fig. 1](#);

**[0026]** [Fig. 4](#) ein Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels des Verfahrens;

**[0027]** [Fig. 5](#) weitere Verfahrensschritte des Verfahrens nach [Fig. 4](#); sowie

**[0028]** [Fig. 6](#) eine schematische Darstellung eines Teilchenstrahlgeräts zur Durchführung eines Verfahrens mit einem oberhalb der Probe angeordneten Detektor.

**[0029]** [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Darstellung eines Teilchenstrahlgeräts, welches ein Ionenstrahlgerät **1** und ein Elektronenstrahlgerät **24** aufweist. Mit dem dargestellten Teilchenstrahlgerät wird das erfindungsgemäße Verfahren durchgeführt, welches weiter unten noch näher erläutert wird.

**[0030]** Das Ionenstrahlgerät **1** weist eine Ionenstrahlsäule **2** auf, in welcher zahlreiche Einheiten des Ionenstrahlgeräts **1** angeordnet sind. Insbesondere ist in der Ionenstrahlsäule **2** eine Ionenquelle **3** angeordnet. Mit der Ionenquelle **3** werden Ionen erzeugt, die in der Ionenstrahlsäule **2** einen Ionenstrahl bilden. Dabei wird mit der Ionenquelle **3** eine Vielfalt von Ionen unterschiedlicher Masse und/oder unterschiedlicher Anzahl an Elementarladungen erzeugt. Bei der in [Fig. 1](#) dargestellten Ausführungsform ist es beispielsweise vorgesehen, dass die Vielfalt an Ionen Ionen von mehreren der nachfolgenden Elemente aufweist oder enthält: Silizium (Si), Chrom (Cr), Eisen (Fe), Kobalt (Co), Nickel (Ni), Germanium (Ge), Indium (In), Zinn (Sn), Gold (Au), Silber (Ag), Blei (Pb), Wismut (Bi), Neodym (Nd), Cäsium (Cs) und Arsen (As). Die Ionen sind als ionisierte Atome oder als ionisierte Moleküle (beispielsweise  $\text{AuSi}^+$  oder  $\text{AuSi}^{2+}$ ) ausgebildet. Beispielsweise ist es auch vorgesehen, dass die Vielfalt an Ionen Ionenarten enthält, deren Masse größer als die Masse von Gallium ist. Ferner ist es insbesondere vorgesehen, wenn die Vielfalt an Ionen Ionen aufweist, deren Masse größer als 100

atomare Masseneinheiten ist, wie oben bereits erläutert.

**[0031]** Die Vielfalt an Ionen wird mittels einer Ionenstrahl-Elektrode **4** auf ein vorgebbares Potential beschleunigt und anschließend durch eine erste Kondensorlinse **5** geführt. Der ersten Kondensorlinse **5** nachgeschaltet ist ein Wien-Filter **6**. Der Wien-Filter **6** stellt sowohl ein elektrisches Feld als auch ein magnetisches Feld derart zur Verfügung, dass aus der Vielfalt an Ionen, welche den Ionenstrahl bilden, Ionen mit einer ganz bestimmten Masse und/oder mit einer ganz bestimmten Anzahl an Elementarladungen selektiert werden können. Nur diese selektierten Ionen verbleiben im Ionenstrahl und werden dann in Richtung einer zu untersuchenden Probe **11** geführt. Die nicht selektierten Ionen werden demnach aus dem Ionenstrahl ausgeblendet.

**[0032]** Der aus den selektierten Ionen gebildete Ionenstrahl wird durch eine Blende **7** geführt und gelangt dann zu einer ersten Elektrodenanordnung **8** und zu einer zweiten Elektrodenanordnung **9**, welche als Rasterelektroden ausgebildet sind. Mittels der ersten Elektrodenanordnung **8** und der zweiten Elektrodenanordnung **9** wird der aus den selektierten Ionen bestehende Ionenstrahl über die Probe **11** gerastert. Zuvor wird der Ionenstrahl mittels einer Objektivlinse **10** auf die Probe **11** fokussiert. Die Probe **11** ist bei diesem Ausführungsbeispiel aus Al, Mg oder Legierungen aus Al und/oder Mg gebildet. Mittels des auf die Probe **11** zugeführten Ionenstrahls wird die Oberfläche der Probe **11** präpariert, insbesondere Material abgetragen, um eine Untersuchung mittels eines EBSD-Verfahrens zu ermöglichen. Dies wird weiter unten noch näher erläutert.

**[0033]** Das Elektronenstrahlgerät **24** ist als Rasterelektronenmikroskop ausgebildet. Es weist eine Elektronensäule **16** auf, in der die Einheiten des Elektronenstrahlgeräts **24** angeordnet sind. So ist eine Elektronenquelle **17** vorgesehen, die Elektronen erzeugt, welche mittels einer ersten Elektrode **18** extrahiert werden. Mittels einer zweiten Elektrode **19** werden die Elektronen auf ein vorgebbares Potential beschleunigt. Die Elektronen werden anschließend durch eine zweite Kondensorlinse **20** geführt, wodurch ein Elektronenstrahl geformt wird. Dieser wird mittels einer Objektivlinse **21** auf die zu analysierende Probe **11** fokussiert. An der Objektivlinse **21** angeordnete Rasterelektroden (nicht dargestellt) stellen sicher, dass der Elektronenstrahl über die Probe **11** gerastert werden kann. Beim Auftreffen des Elektronenstrahls auf der Probe **11** entstehen Wechselwirkungsteilchen, insbesondere Sekundärelektronen und Rückstreuerelektronen. Diese werden mittels eines ersten Detektors **22** und mittels eines zweiten Detektors **23** detektiert und zur Bildgebung verwendet. Es ist somit möglich, die Oberfläche der Probe **11** abzubilden.

**[0034]** Das Teilchenstrahlgerät weist ferner einen Szintillationsdetektor **25** auf, der mit einer ortsensitiven Szintillationsfläche **26** versehen ist. Der Szintillationsdetektor **25** dient der Durchführung des EBSD-Verfahrens und detektiert Elektronen, die bei Auftreffen des Elektronenstrahls auf der Probe **11** von der Oberfläche der Probe **11** zurückgestreut werden. Mittels der ortsensitiven Szintillationsfläche **26** läßt sich die räumliche Verteilung der von der Oberfläche der Probe **11** zurückgestreuten Elektronen bestimmen. Hierzu ist der Szintillationsdetektor **25** mit einer Kontrolleinheit **13** verbunden, welche einen Prozessor **15** aufweist. Der Prozessor **15** bestimmt die räumliche Verteilung und gibt entsprechende Signale an eine Anzeigevorrichtung **27**, mittels der die räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen sichtbar gemacht wird. Auf diese Weise wird die räumliche Verteilung der Kristallite sowie die räumliche Ausrichtung der Kristallite bestimmt.

**[0035]** Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel sind zwei Probenpositionen vorgesehen, nämlich eine erste Probenposition A und eine zweite Probenposition B. Diese sind schematisch in [Fig. 1](#) dargestellt und werden nachfolgend nochmals näher erläutert.

**[0036]** [Fig. 2](#) zeigt eine Darstellung des Teilchenstrahlgeräts gemäß der [Fig. 1](#), bei dem die Probe **11** in der ersten Probenposition A angeordnet ist. Die Probe **11** ist mittels eines beweglich angeordneten Probenhalters **11A** in die erste Probenposition A bringbar. In der ersten Probenposition A trifft der Ionenstrahl der selektierten Ionen im wesentlichen parallel auf die Probe **11** und ermöglicht eine Präparation der Probe **11** in Form einer Materialabtragung und Polierung der Probe **11** entlang der Oberfläche der Probe **11**, welche in [Fig. 2](#) parallel zum Ionenstrahl ausgerichtet ist. Die Präparation der Probe **11** ist mittels einer Abbildung, welche durch den Elektronenstrahl erzeugt wird, beobachtbar.

**[0037]** [Fig. 3](#) zeigt eine weitere Darstellung des Teilchenstrahlgeräts gemäß der [Fig. 1](#), bei dem die Probe **11** in der zweiten Probenposition B angeordnet ist. Die Probe **11** ist dabei durch einfaches Rotieren des Probenhalters **11A** um dessen in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) dargestellte Rotationsachse in die erste bzw. zweite Probenposition A bzw. B bringbar. Eine weitere Bewegung des Probenhalters **11A** ist nicht mehr zwingend notwendig. Vielmehr reicht die Drehung um die Rotationsachse zum Positionswechsel aus. In der zweiten Probenposition B steht die Oberfläche der Probe **11** gekippt zur Vertikalen. In dieser Position wird die räumliche Verteilung der zurückgestreuten Elektronen bestimmt, wie weiter unten noch eingehender erläutert wird.

**[0038]** [Fig. 4](#) zeigt ein Ablaufdiagramm einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfah-

rens, welches mit dem beschriebenen Teilchenstrahlgerät durchgeführt wird. Zunächst wird die zu analysierende Probe **11** in die in [Fig. 2](#) dargestellte erste Probenposition A gebracht (Verfahrensschritt S1), in der die Oberfläche der Probe **11** präpariert wird. Hierzu wird zunächst die Vielfalt an Ionen unterschiedlicher Masse und/oder unterschiedlicher Anzahl an Elementarladungen erzeugt (Verfahrensschritt S2), wie sie bereits weiter oben beschrieben wurde. Im Anschluss daran wird aus den erzeugten Ionen ein Ionenstrahl gebildet (Verfahrensschritt S3). Mittels des Wien-Filters **6** werden nun Ionen mit einer ganz bestimmten Masse und/oder mit einer ganz bestimmten Anzahl an Elementarladungen selektiert (Verfahrensschritt S4). Nur diese selektierten Ionen verbleiben im Ionenstrahl und werden dann in Richtung der Probe **11** geführt. Die nicht selektierten Ionen werden demnach aus dem Ionenstrahl ausgeblendet. Die selektierten Ionen werden in Abhängigkeit des Materials der Probe **11** bestimmt. Dabei wird eine Ionenart selektiert, die sowohl eine ausreichende Präparation der Probe **11** ermöglicht als auch die Probe **11** nicht derart schädigt, dass eine Untersuchung mittels EBSD nicht mehr möglich ist. Insbesondere werden Ionen selektiert, welche eine geringe chemische und/oder geringe physiko-chemische Affinität zum Material der Probe **11** aufweisen sowie nicht sehr tief in das Material der Probe **11** eindringen.

**[0039]** In einem weiteren Verfahrensschritt S5 werden nun die selektierten Ionen auf die Probe **11** fokussiert und über die Oberfläche der Probe **11** gerastert. Dabei wird die Oberfläche der Probe **11** präpariert (Verfahrensschritt S6). Die Präparation ist mittels einer Abbildung der Oberfläche der Probe **11** beobachtbar. Hierzu wird ein Elektronenstrahl erzeugt, mit dem Bilder der Oberfläche der Probe **11** erzeugt werden, wie bereits oben erwähnt (Verfahrensschritt S7).

**[0040]** Nach der Präparation der Probe **11** wird die Probe **11** in die zweite Probenposition B gebracht (Verfahrensschritt S8), die in [Fig. 3](#) näher dargestellt ist. In dieser Position wird der Elektronenstrahl auf die präparierte Probe **11** auf eine vorgebbare Stelle (Ort) auf der Probe **11** fokussiert, wodurch es zu Wechselwirkungen der Elektronen des Elektronenstrahls mit der Probe **11** an dem vorgebbaren Ort kommt. Hierbei werden Elektronen von der Probe **11** zurückgestreut. Diese zurückgestreuten Elektronen werden mittels des Szintillationsdetektors **25** detektiert (Verfahrensschritt S10). Im Anschluss daran wird die räumliche Verteilung der zurückgestreuten Elektronen bestimmt (Verfahrensschritt S11). Dies erfolgt mittels der oben genannten Kontrolleinheit **13**. Die räumliche Verteilung der detektierten Elektronen kann dabei auf der Anzeigevorrichtung **27** angezeigt werden.

**[0041]** Um Informationen einer einzelnen, durch den Ionenstrahl präparierten Ebene der Probe **11** zu

erhalten und um zweidimensionale Darstellungen einer einzelnen Ebene zu ermöglichen, ist es bei dieser Ausführungsform des Verfahrens vorgesehen, dass die Verfahrensschritte S9 bis S11 mehrfach hintereinander für jeweils unterschiedliche Orte auf der Probe **11** durchgeführt werden. Falls das Verfahren mehrfach hintereinander ausgeführt wird, werden in einem Verfahrensschritt S12 Informationen über den Ort der Probe **11**, auf den der Ionenstrahl bzw. Elektronenstrahl fokussiert wurde, sowie über die dort herrschende Verteilung der zurückgestreuten Elektronen abgespeichert. Anschließend wird in einem Verfahrensschritt S13 entschieden, ob die Verfahrensschritte S9 bis S11 für einen weiteren Ort auf der bereits präparierten Probe **11** angewandt werden. Wenn dies bejaht wird, dann werden die Verfahrensschritte S9 bis S11 für einen weiteren Ort, der aber unterschiedlich zum dem vorherigen Ort ist, angewandt. Auf diese Weise kann zunächst für eine präparierte Ebene der Probe **11** eine zweidimensionale Darstellung erstellt werden. Wird im Verfahrensschritt S13 festgelegt, dass kein weiterer Ort auf der bereits präparierten Probe **11** ausgemessen werden soll, so wird in einem Verfahrensschritt S14 entschieden, ob das Verfahren noch weiter ausgeführt wird. Soll das Verfahren weiter ausgeführt werden, so kann die Probe **11** durch Wiederholung der Verfahrensschritte S1 bis S7 weiter präpariert werden. Beispielsweise wird eine weitere Ebene der Probe **11** freigelegt, die dann anschließend mittels der Verfahrensschritte S8 bis S11 an mindestens einem Ort auf der freigelegten weiteren Ebene weiter ausgemessen wird. Aus den einzelnen zweidimensionalen Darstellungen der einzelnen Ebenen lässt sich dann eine dreidimensionale Darstellung der Probe **11** berechnen.

**[0042]** Mittels des oben beschriebenen Verfahrens ist es möglich, die räumliche Verteilung aller Kristallite sowie die räumliche Ausrichtung aller Kristallite zu bestimmen und dreidimensional darzustellen.

**[0043]** [Fig. 5](#) zeigt eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß [Fig. 4](#). Bei diesem Ausführungsbeispiel wird zwischen den Verfahrensschritten S11 und S12 ein weiterer Verfahrensschritt S11A eingeführt. Im Verfahrensschritt S11A können weitere Methoden zur Untersuchung der Probe **11** an dem Ort durchgeführt werden, auf den der Elektronenstrahl im Verfahrensschritt S9 fokussiert wurde. Beispielsweise ist es vorgesehen, zusätzlich durch Auftreffen des Elektronenstrahls auf die Probe **11** aus der Probe **11** austretendes Kathodolumineszenzlicht zu detektieren, um hieraus weitere Schlüsse auf die Zusammensetzung der Probe **11** zu ziehen. Beispielsweise erfolgt dies mit einem dritten Detektor **28**, welcher oberhalb der Probe **11** in Richtung des Elektronenstrahlgeräts **24** angeordnet ist (vgl. [Fig. 6](#)). Zusätzlich oder alternativ hierzu ist es vorgesehen, Röntgenstrahlen zu detektieren, um die Probe **11** mittels energiedispersiver Röntgenspektrosko-

pie (EDX) und mittels wellenlängen-dispersiver Röntgenspektroskopie (WDX) zu untersuchen. Dies kann ebenfalls mittels eines Detektors erfolgen, der oberhalb der Probe **11** in Richtung des Ionenstrahlgeräts **1** angeordnet ist (beispielsweise in der Nähe des dritten Detektors **28**). Wiederum zusätzlich oder alternativ hierzu ist es vorgesehen, Sekundärelektronen und/oder Rückstreuелеktronen zu detektieren. Ferner ist es zusätzlich oder alternativ vorgesehen, Sekundärionen zu detektieren, um die Probe **11** mittels der Sekundärionen-Massenspektroskopie (SIMS) zu untersuchen. Hierzu wird die Probe **11** wieder in die erste Probenposition A gebracht. Beim Auftreffen des Ionenstrahls auf der Oberfläche der Probe **11** werden Sekundärionen erzeugt, welche massenspektrometrisch untersucht werden. Hierfür ist ein Ionenmassenanalysator **12** vorgesehen, der ein Massenspektrum erzeugt. Das erzeugte Massenspektrum wird dann mit einer Vielzahl von Massenspektren verglichen, welche in einer Speichereinheit **14** der Kontrolleinheit **13** gespeichert sind. Der Vergleich des erzeugten Massenspektrums mit den gespeicherten Massenspektren wird mittels des Prozessors **15** der Kontrolleinheit **13** durchgeführt. Auf diese Weise ist es möglich, das Material, aus dem die Probe **11** zusammengesetzt ist, zu bestimmen. Anstelle des Ionenmassenanalysators **12** kann an dieser Stelle auch ein anderer Detektor angeordnet sein, der in der Lage ist, Wechselwirkungsteilchen oder Wechselwirkungsstrahlung von der Probe **11** zu empfangen und zur Auswertung weiterzuleiten.

**[0044]** Die Verfahrensschritte S10, S11 und S11A bzw. die einzelnen oder mehreren der Teilschritte des Verfahrensschritts S11A (das heißt, die unterschiedlichen Detektionen) können nacheinander oder auch gleichzeitig durchgeführt werden. Das Ergebnis der unterschiedlichen Detektionen des Verfahrensschritts S11A kann auf der Anzeigevorrichtung **27** angezeigt werden (Verfahrensschritt S11B).

#### Bezugszeichenliste

<b>1</b>	Ionenstrahlgerät
<b>2</b>	Ionenstrahlsäule
<b>3</b>	Ionenquelle
<b>4</b>	Ionenstrahl-Elektrode
<b>5</b>	Kondensorlinse
<b>6</b>	Wien-Filter
<b>7</b>	Blende
<b>8</b>	erste Elektrodenanordnung
<b>9</b>	zweite Elektrodenanordnung
<b>10</b>	Objektivlinse
<b>11</b>	Probe
<b>11A</b>	Probenhalter
<b>12</b>	Ionenmassenanalysator
<b>13</b>	Kontrolleinheit
<b>14</b>	Speichereinheit
<b>15</b>	Prozessor
<b>16</b>	Elektronensäule

- 17** Elektronenquelle
- 18** erste Elektrode
- 19** zweite Elektrode
- 20** Kondensorlinse
- 21** Objektivlinse
- 22** erster Detektor
- 23** zweiter Detektor
- 24** Elektronenstrahlgerät
- 25** Szintillationsdetektor
- 26** Szintillationsfläche
- 27** Anzeigevorrichtung
- 28** dritter Detektor
- A** erste Probenposition
- B** zweite Probenposition

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- US 5035787 [\[0002\]](#)
- WO 88/09049 [\[0002\]](#)

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Analyse einer Probe **(11)**, wobei das Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- Erzeugen von ersten Ionen und zweiten Ionen, wobei die ersten Ionen eine erste vorgebbare Masse und/oder eine erste vorgebbare Anzahl an Elementarladungen aufweisen und wobei die zweiten Ionen eine zweite vorgebbare Masse und/oder eine zweite Anzahl an Elementarladungen aufweisen, wobei die zweite vorgebbare Masse zur ersten vorgebbaren Masse unterschiedlich ist und/oder wobei die zweite vorgebbare Anzahl an Elementarladungen unterschiedlich zur ersten vorgebbaren Anzahl an Elementarladungen ist;
- Erzeugen eines Ionenstrahls aus den ersten Ionen und den zweiten Ionen;
- Selektieren der ersten Ionen oder zweiten Ionen im Ionenstrahl;
- Zuführen der selektierten ersten Ionen oder selektierten zweiten Ionen zu einer Probe **(11)**, wobei zumindest ein Teil der Probe **(11)** mittels der selektierten ersten Ionen oder der selektierten zweiten Ionen präpariert wird;
- Erzeugen eines Elektronenstrahls;
- Zuführen des Elektronenstrahls auf den präparierten Teil der Probe **(11)**;
- Detektieren von an der Probe **(11)** gestreuter Elektronen, die räumlich verteilt sind; sowie
- Analysieren der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem zurückgestreute Elektronen detektiert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die ersten Ionen und/oder die zweiten Ionen Ionen mindestens eines der folgenden Elemente sind oder enthalten: Si, Cr, Fe, Co, Ni, Ge, In, Sn, Au, Ag, Pb, Bi, Nd, Cs und As.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die ersten Ionen und/oder die zweiten Ionen eine Ionenart aufweisen, deren Masse größer als die von Gallium ist.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die ersten Ionen und/oder die zweiten Ionen eine Masse von größer als 100 atomare Masseneinheiten aufweisen.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Probe **(11)** ein vorgebbares Material aufweist und bei dem als erste Ionen und/oder zweite Ionen Ionen ausgewählt werden, welche eine geringe chemische und/oder geringe physiko-chemische Affinität zum vorgebbaren Material der Probe aufweisen.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Probe

**(11)** Al, Mg oder Legierungen aus Al und/oder Mg aufweist.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem zusätzlich

- bei Einfall des Elektronenstrahls aus der Probe **(11)** austretendes Kathodolumineszenzlicht detektiert wird; und/oder
- die Probe **(11)** mittels energiedispersiver Röntgenspektroskopie untersucht wird; und/oder
- die Probe **(11)** mittels wellenlängen-dispersiver Röntgenspektroskopie untersucht wird; und/oder
- die Probe **(11)** mittels Sekundärionen-Massenspektroskopie untersucht wird; und/oder
- die Probe **(11)** mittels Analyse von Sekundärelektronen und/oder Rückstreuielektronen untersucht wird.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem der Ionenstrahl fokussiert auf die Probe **(11)** zugeführt wird.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem

- das Verfahren an mindestens einem ersten Ort der Probe **(11)** durchgeführt wird, und bei dem Information über den ersten Ort sowie über die an dem ersten Ort herrschende räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen als ein erster Datensatz abgespeichert wird, und bei dem
- das Verfahren an mindestens einem zweiten Ort der Probe **(11)** durchgeführt wird, und bei dem Information über den zweiten Ort sowie über die an dem zweiten Ort herrschende räumliche Verteilung der gestreuten Elektronen als ein zweiter Datensatz abgespeichert wird.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Detektieren der gestreuten Elektronen mittels eines Szintillationsdetektors **(25)** erfolgt, der eine ortsensitive Szintillationsfläche **(26)** aufweist.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem das Selektieren der ersten Ionen oder zweiten Ionen mittels eines Wien-Filters **(6)** erfolgt.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem ein Bild der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen erzeugt und angezeigt wird.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, aber stets in Verbindung mit Anspruch 8, bei dem das Ergebnis der Detektion des Kathodolumineszenzlichts und/oder von Röntgenstrahlen und/oder von Sekundärionen und/oder von Sekundärelektronen und/oder von Rückstreuielektronen angezeigt wird.

15. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem mittels der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen eine Kristallstruktur mindestens eines Kristallits der Probe (**11**) sowie eine räumliche Ausrichtung des Kristallits in der Probe (**11**) bestimmt werden.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem mittels der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen die räumliche Verteilung von Kristalliten und die räumliche Ausrichtung der Kristallite in der Probe (**11**) bestimmt werden.

17. Teilchenstrahlgerät zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorangehenden Ansprüche, mit

- mindestens einem Mittel (**3**) zum Erzeugen von ersten Ionen und zweiten Ionen, wobei die ersten Ionen eine erste vorgebbare Masse und/oder eine erste vorgebbare Anzahl an Elementarladungen aufweisen und wobei die zweiten Ionen eine zweite vorgebbare Masse und/oder eine zweite Anzahl an Elementarladungen aufweisen, wobei die zweite vorgebbare Masse zur ersten vorgebbaren Masse unterschiedlich ist und/oder wobei die zweite vorgebbare Anzahl an Elementarladungen unterschiedlich zur ersten vorgebbaren Anzahl an Elementarladungen ist;
- mindestens einem Mittel (**4, 5**) zum Erzeugen eines Ionenstrahls aus den ersten Ionen und den zweiten Ionen;
- mindestens einem Mittel (**6**) zum Selektieren der ersten Ionen oder zweiten Ionen im Ionenstrahl;
- mindestens einem Mittel (**7, 8, 9**) zum Zuführen der selektierten ersten Ionen oder selektierten zweiten Ionen zu einer Probe (**11**), wobei zumindest ein Teil der Probe (**11**) mittels der selektierten ersten Ionen oder der selektierten zweiten Ionen präpariert wird;
- mindestens einem Mittel (**17**) zum Erzeugen eines Elektronenstrahls;
- mindestens einem Mittel (**20, 21**) zum Zuführen des Elektronenstrahls auf den präparierten Teil der Probe (**11**);
- mindestens einem Mittel (**25, 26**) zum Detektieren von an der Probe (**11**) gestreuten Elektronen, die räumlich verteilt sind; sowie
- mindestens einem Mittel (**13**) zum Analysieren der räumlichen Verteilung der gestreuten Elektronen.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

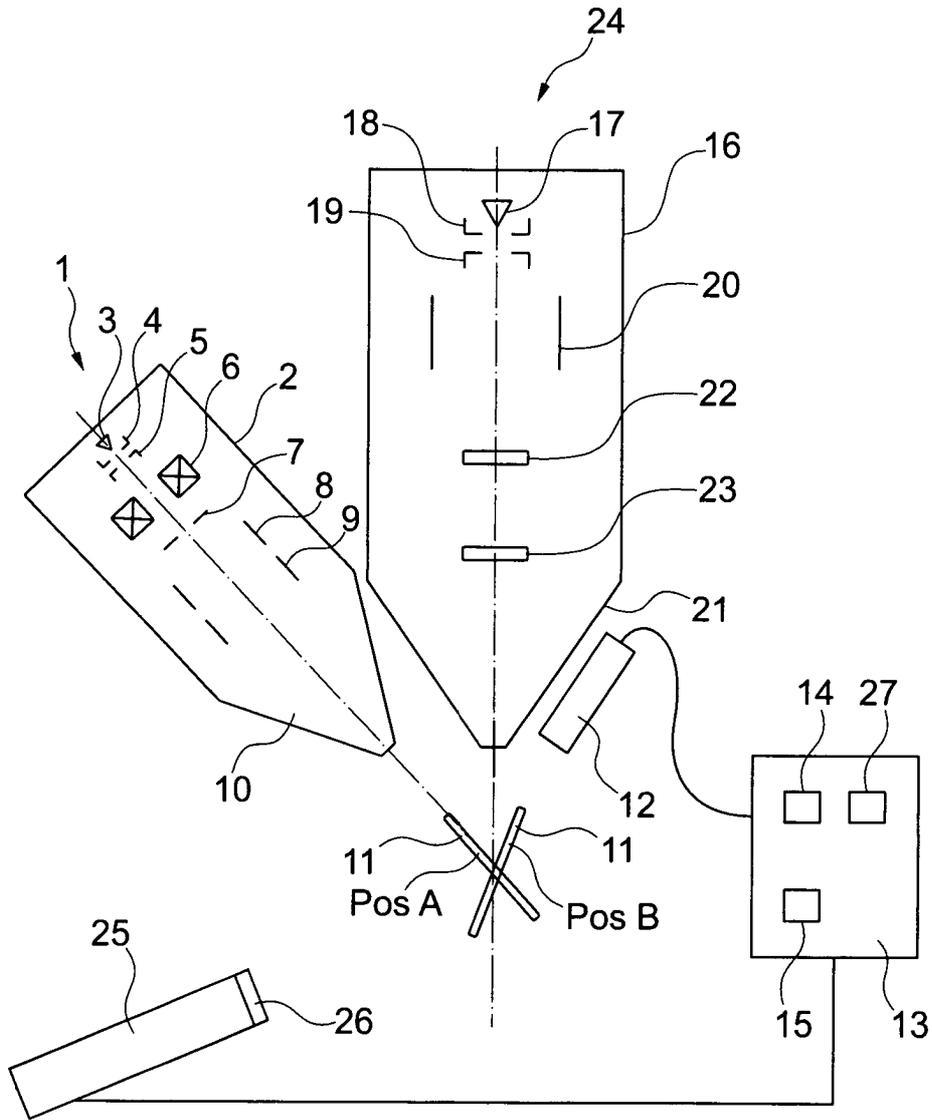


Fig. 1

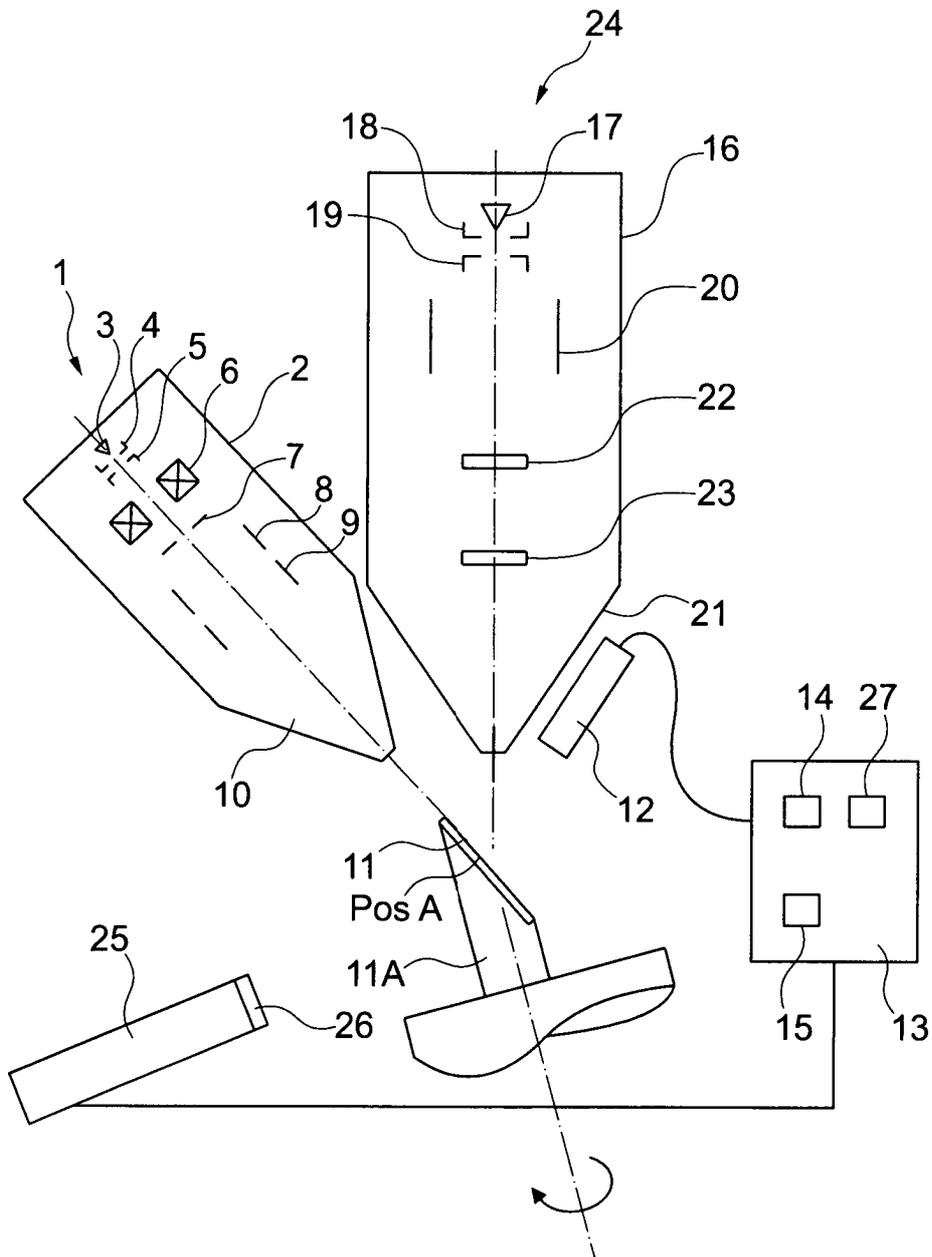


Fig. 2

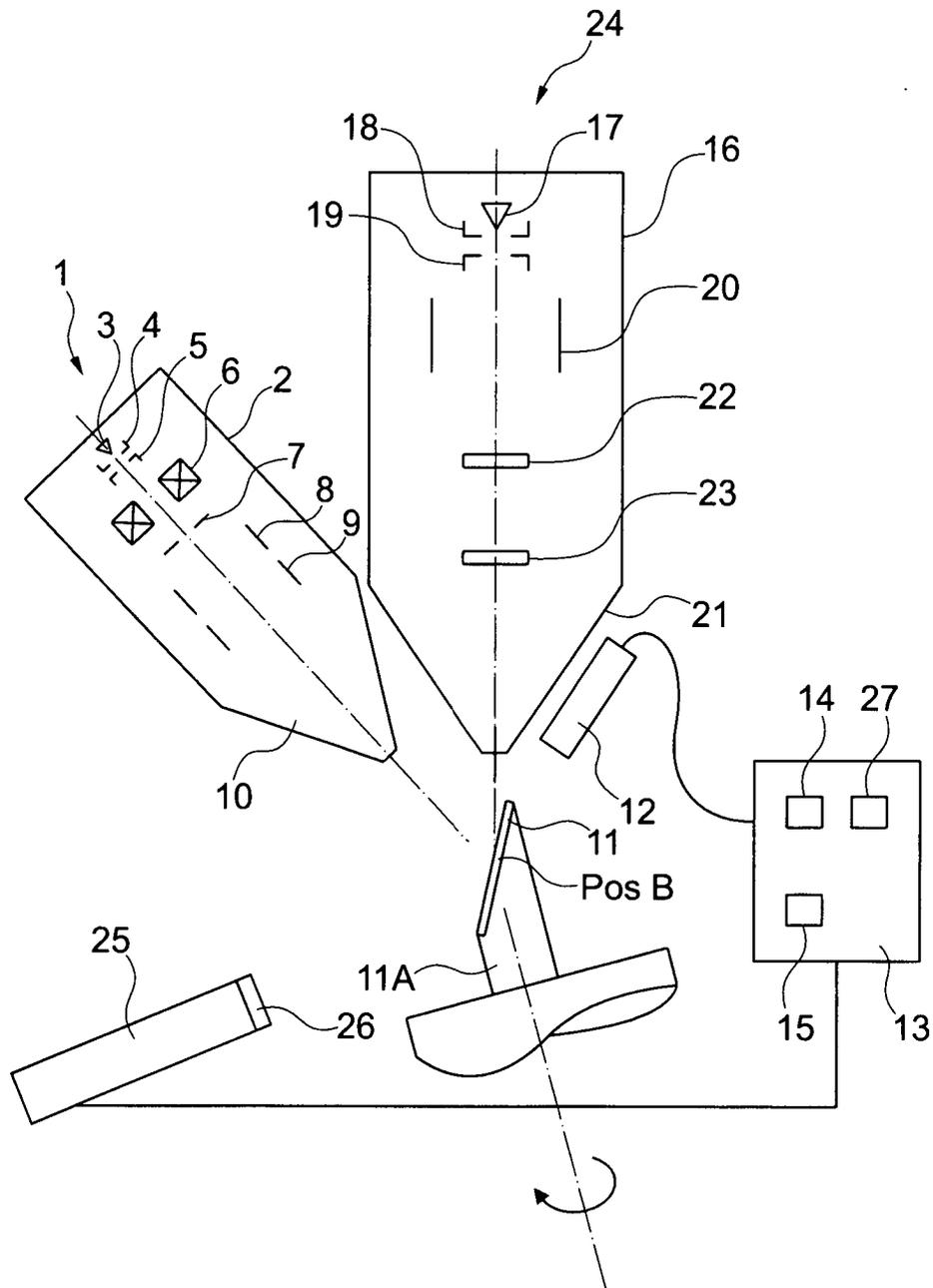


Fig. 3

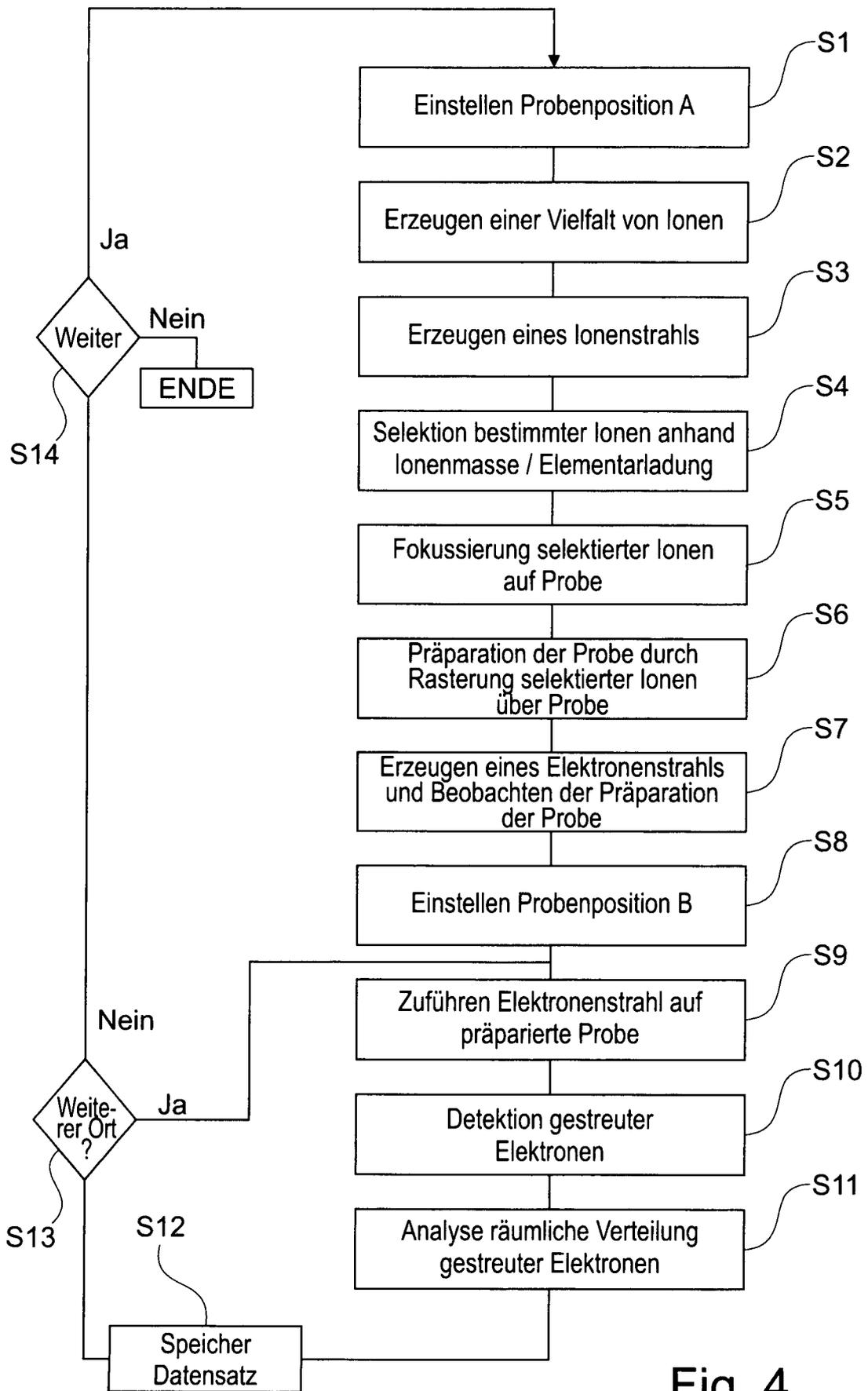


Fig. 4

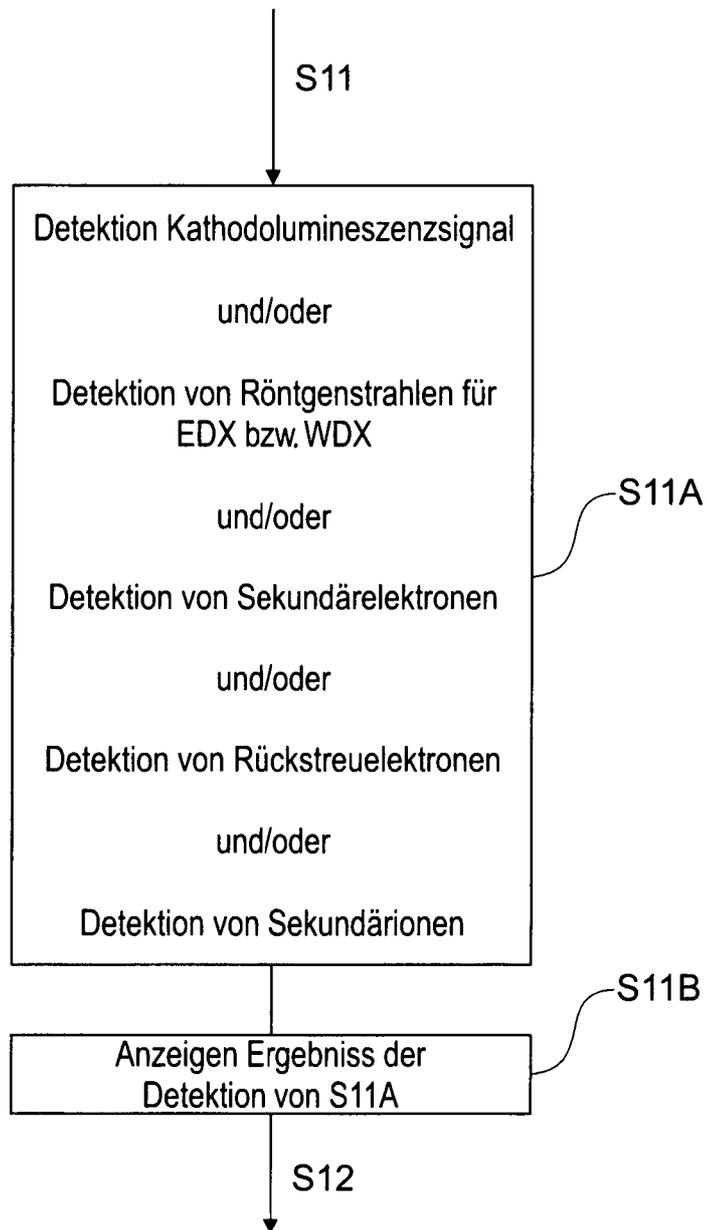


Fig. 5

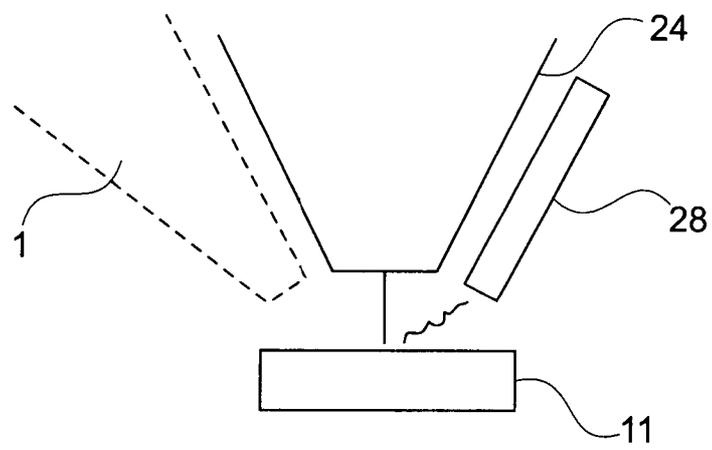


Fig. 6