



(10) **DE 11 2022 006 865 T5** 2025.02.20

(12) **Veröffentlichung**

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2023/203612**
in der deutschen Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2
IntPatÜbkG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2022 006 865.5**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2022/018062**
(86) PCT-Anmeldetag: **18.04.2022**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **26.10.2023**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **20.02.2025**

(51) Int Cl.: **B23K 26/08 (2014.01)**

(71) Anmelder:
**YAMAHA HATSUDOKI KABUSHIKI KAISHA, Iwata-
shi, Shizuoka, JP**

(72) Erfinder:
Suzuki, Yoshikuni, Iwata-shi, Shizuoka, JP

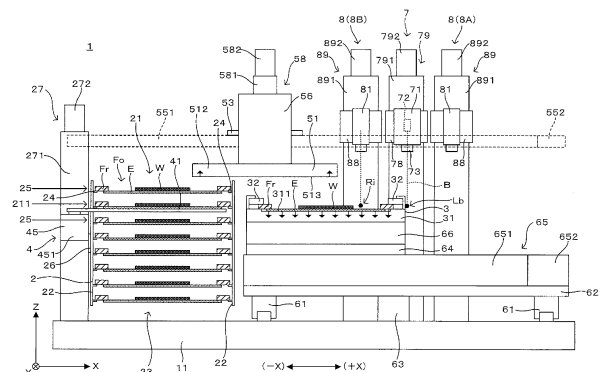
(74) Vertreter:
**Müller-Boré & Partner Patentanwälte PartG mbB,
80639 München, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Laserbearbeitungsvorrichtung, Laserbearbeitungsverfahren, Laserbearbeitungsprogramm, Aufzeichnungsmedium, Halbleiterchip-Herstellungsvorgang und Halbleiterchip**

(57) Zusammenfassung: Der Abbildungsteil 8A (erster Abbildungsteil) zum Abbilden des Abbildungsbereichs Ri (erster Abbildungsbereich), der sich in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb auf der (+X)-Seite (erste Seite) in X-Richtung (Bearbeitungsrichtung) befindet, und der Abbildungsteil 8B (zweiter Abbildungsteil) zum Abbilden des Abbildungsbereichs Ri (zweiter Abbildungsbereich), der sich auf der Seite (-X) (zweite Seite) in der X-Richtung (Bearbeitungsrichtung) in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb befindet, bereitgestellt. Die Abbildungsteile 8A und 8B bilden Teile des Halbleitersubstrats W ab, die die jeweiligen Abbildungsbereiche Ri überlappen (Schritt S1006, S1008 und S1104). Auf diese Weise kann der Zustand des Halbleitersubstrats W auf beiden Seiten der Laserbestrahlungsposition Lb in X-Richtung erkannt werden.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Diese Erfindung betrifft eine Technik zum Bearbeiten einer Bearbeitungslinie durch Bestrahlung der auf einem Bearbeitungsobjekt vorgesehenen Bearbeitungslinie mit einem Laserstrahl.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] In Patentliteratur 1 bis 3 wird eine Laserbearbeitungstechnik zum Bearbeiten einer geplanten Teilungslinie beschrieben, bei der ein Laserstrahl relativ zu einem Halbleitersubstrat bewegt wird, während der Laserstrahl auf die auf dem Halbleitersubstrat vorgesehene geplante Teilungslinie gestrahlt wird. Wie in der Patentliteratur 1 gezeigt, werden beispielsweise mehrere geplante Teilungslinien der Reihe nach bearbeitet, indem ein Laserstrahl hin- und herbewegt wird, während die geplante Teilungslinie, auf die der Laserstrahl gestrahlt wird, bei dieser Laserbearbeitungstechnik auf Vorwärts- und Rückwärtswegen verändert wird. Zu diesem Zeitpunkt kann der Laserstrahl präzise auf die geplante Teilungslinie gestrahlt werden, indem die Position des Laserstrahls entsprechend dem Ergebnis einer Ausrichtungsverarbeitung zur Erkennung der Position der geplanten Teilungslinie auf Grundlage eines Bildes, das durch die Abbildung eines vorgegebenen Teils des Halbleitersubstrats erlangt wurde, eingestellt wird (Patentliteratur 2). Wie in der Patentliteratur 3 dargelegt, kann eine Breite der geplanten Teilungslinie durch die Bearbeitung der geplanten Teilungslinie durch den Laserstrahl erweitert werden, und die Position der unbearbeiteten geplanten Teilungslinie kann in einer Vorschubrichtung orthogonal zu einer Bearbeitungsrichtung verschoben werden. Um einer solchen Positionsverschiebung der geplanten Teilungslinie zu begegnen, ist es zweckmäßig, das Halbleitersubstrat entsprechend abzubilden.

LISTE DER BEZUGNAHMEN

PATENTLITERATUR

Patentliteratur 1: Veröffentlichung des japanischen Patents Nr. 5804716

Patentliteratur 2: Veröffentlichung des japanischen Patents Nr. 5554593

Patentliteratur 3: Veröffentlichung des japanischen Patents Nr. 5037082

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

TECHNISCHES PROBLEM

[0003] In Patentliteratur 2 sind zwei Abbildungsteile in Vorschubrichtung angeordnet, um das Bearbei-

tungsobjekt (Halbleitersubstrat) bzw. einen Bearbeitungskopf abzubilden. Beim Bearbeiten des Bearbeitungsobjekts ist es jedoch bei einigen Szenen erforderlich, einen Zustand des Bearbeitungsobjekts in einem Bereich, der in Bezug auf eine Laserbestrahlungsposition, auf die der Laser aus dem Bearbeitungskopf aufgestrahlt wird, in der Bearbeitungsrichtung angeordnet ist, erkennbar zu machen. Genauer ist es bevorzugt, den Zustand des Bearbeitungsobjekts auf beiden Seiten der Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung erkennbar zu machen.

[0004] Diese Erfindung wurde in Anbetracht des obigen Problems entwickelt und zielt darauf ab, eine Technik bereitzustellen, um einen Zustand eines Bearbeitungsobjekts auf beiden Seiten einer Laserbestrahlungsposition in einer Bearbeitungsrichtung bei einer Laserbearbeitungstechnik zum Relativbewegen der Laserbestrahlungsposition in Bearbeitungsrichtung in Bezug auf das Laserbearbeitungsobjekt erkennbar zu machen, während aus einem Bearbeitungskopf ein Laserstrahl auf die Laserbestrahlungsposition aufgestrahlt wird.

LÖSUNG DES PROBLEMS

[0005] Eine erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung weist auf: ein Stützelement, das ein Bearbeitungsobjekt mit einer Vielzahl von parallel zueinander verlaufenden Bearbeitungslinien stützt, so dass die Bearbeitungslinien parallel zu einer vorgegebenen Bearbeitungsrichtung verlaufen; einen Bearbeitungskopf, der einen Laserstrahl auf eine vorgegebene Laserbestrahlungsposition strahlt; einen Bearbeitungsachsen-Antreiber, der die Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung relativ zu dem Bearbeitungsobjekt bewegt, indem er das Stützelement und/oder den Bearbeitungskopf in der Bearbeitungsrichtung antreibt; einen Vorschubachsen-Antreiber, der die Laserbestrahlungsposition in einer zur Bearbeitungsrichtung orthogonalen Vorschubrichtung relativ zu dem Bearbeitungsobjekt durch Antreiben des Stützelements und/oder des Bearbeitungskopfs in der Vorschubrichtung bewegt; einen ersten Abbildungsteil, der sich in der Bearbeitungsrichtung in Bezug auf den Bearbeitungskopf auf einer ersten Seite befindet und einen ersten Abbildungsbereich abbildet, der sich auf der ersten Seite der Laserbestrahlungsposition befindet; einen zweiten Abbildungsteil, der sich in der Bearbeitungsrichtung in Bezug auf den Bearbeitungskopf auf einer zweiten Seite gegenüberliegend der ersten Seite befindet und einen zweiten Abbildungsbereich abbildet, der sich auf der zweiten Seite der Laserbestrahlungsposition befindet; und eine Steuerungseinheit, um die Bearbeitungslinie zu bearbeiten, indem sie durch Bewegen der Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung in Bezug auf das Bearbeitungsobjekt durch den Bearbeitungsachsen-Antrei-

ber eine Linienbearbeitung durchführt, während der Laserstrahl vom Bearbeitungskopf auf die Laserbestrahlungsposition gestrahlt wird, wobei die Laserbestrahlungsposition durch den Vorschubachsen-Antreiber mit der Bearbeitungslinie ausgerichtet wird; und der erste Abbildungsbereich und der zweite Abbildungsbereich sich relativ zu dem Bearbeitungsobjekt integral mit der Laserbestrahlungsposition bewegen, sobald sich die Laserbestrahlungsposition bewegt, und die Steuerungseinheit den ersten Abbildungsteil veranlasst, einen Teil des Bearbeitungsobjekts abzubilden, der den ersten Abbildungsbereich überlappt, und den zweiten Abbildungsteil veranlasst, einen Teil des Bearbeitungsobjekts abzubilden, der den zweiten Abbildungsbereich überlappt.

[0006] Ein erfindungsgemäßes Laserbearbeitungsverfahren ist ein Laserbearbeitungsverfahren zum Bearbeiten einer Bearbeitungslinie eines Bearbeitungsobjekts mit einer Vielzahl von zueinander paralleler Bearbeitungslinien, umfassend: Stützen des Bearbeitungsobjekts durch ein Stützelement, so dass die Bearbeitungslinien parallel zu einer vorgegebenen Bearbeitungsrichtung verlaufen; Bewegen einer Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung in Bezug auf das Bearbeitungsobjekt durch einen Bearbeitungsachsen-Antreiber zum Antreiben eines Bearbeitungskopfes zum Aufstrahlen eines Laserstrahls auf eine vorgegebene Laserbestrahlungsposition und/oder des Stützelements in der Bearbeitungsrichtung, während der Laserstrahl von dem Bearbeitungskopf auf die Laserbestrahlungsposition aufgestrahlt wird, wobei die Laserbestrahlungsposition durch einen Vorschubachsen-Antreiber zum Antreiben des Bearbeitungskopfes und/oder des Stützelements in einer zur Bearbeitungsrichtung orthogonalen Vorschubrichtung in Fluchtung mit der Bearbeitungslinie gebracht wird; Abbilden eines ersten Abbildungsbereichs, der sich auf einer ersten Seite der Laserbestrahlungsposition befindet, durch einen ersten Abbildungsteil, der in Bezug auf den Bearbeitungskopf in Bearbeitungsrichtung auf der ersten Seite angeordnet ist; und Abbilden eines zweiten Abbildungsbereichs, der sich auf einer zweiten Seite der Laserbestrahlungsposition befindet, durch einen zweiten Abbildungsteil, der in Bezug auf den Bearbeitungskopf auf der zweiten Seite gegenüberliegend der ersten Seite in Bearbeitungsrichtung angeordnet ist, wobei sich der erste Abbildungsbereich und der zweite Abbildungsbereich relativ zu dem Bearbeitungsobjekt integral mit der Laserbestrahlungsposition bewegen, wenn sich die Laserbestrahlungsposition bewegt, wobei der erste Abbildungsteil einen Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den ersten Abbildungsbereich überlappt, und der zweite Abbildungsteil einen Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den ersten Abbildungsbereich überlappt.

[0007] Bei der so konfigurierten Erfindung (Laserbearbeitungsvorrichtung und Laserbearbeitungsverfahren) sind der erste Abbildungsteil zum Abbilden des ersten Abbildungsbereichs, der sich in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition in Bearbeitungsrichtung auf der ersten Seite befindet, und der zweite Abbildungsteil zum Abbilden des zweiten Abbildungsbereichs, der sich in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition in Bearbeitungsrichtung auf der zweiten Seite befindet, bereitgestellt. Der erste und der zweite Abbildungsteil bilden die Teile des Bearbeitungsobjekts ab, die den ersten und den zweiten Abbildungsbereich überlappen. Auf diese Weise kann ein Zustand des Bearbeitungsobjekts auf beiden Seiten der Laserbestrahlungsposition in Bearbeitungsrichtung erkannt werden.

[0008] Die Laserbearbeitungsvorrichtung kann so konfiguriert sein, dass die Steuerungseinheit der Reihe nach eine erste Linienbearbeitung zum Bearbeiten einer ersten Bearbeitungslinie aus der Vielzahl von Bearbeitungslinien durch die Linienbearbeitung des Bewegens der Laserbestrahlungsposition in Richtung der ersten Seite in der Bearbeitungsrichtung und eine zweite Linienbearbeitung zum Bearbeiten einer zweiten, sich von der ersten Bearbeitungslinie unterscheidenden Bearbeitungslinie, aus der Vielzahl von Bearbeitungslinien durch die Linienbearbeitung des Bewegens der Laserbestrahlungsposition in Richtung der zweiten Seite in der Bearbeitungsrichtung durchführt.

[0009] Die Laserbearbeitungsvorrichtung kann so konfiguriert sein, dass der Bearbeitungsachsen-Antreiber einen ersten Rückwärtsantrieb durchführt, um die Laserbestrahlungsposition zu der zweiten Bearbeitungslinie zu verbringen, indem er die Laserbestrahlungsposition in Richtung der zweiten Seite beschleunigt, nachdem die Laserbestrahlungsposition, die die erste Bearbeitungslinie in Richtung der ersten Seite durchlaufen hat, in Richtung der ersten Seite in der Bearbeitungsrichtung verlangsamt und angehalten wird, und der Vorschubachsen-Antreiber die Laserbestrahlungsposition in der Vorschubrichtung von einer ersten gedachten Geraden, die sich in der Bearbeitungsrichtung entlang der ersten Bearbeitungslinie nach außerhalb der ersten Bearbeitungslinie erstreckt, zu einer zweiten gedachten Geraden bewegt, die sich in der Bearbeitungsrichtung entlang der zweiten Bearbeitungslinie nach außerhalb der zweiten Bearbeitungslinie erstreckt, in einem ersten Umschaltzeitraum ab dem Ende der ersten Linienbearbeitung bis zum Beginn der zweiten Linienbearbeitung, und der zweite Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den zweiten Abbildungsbereich in dem erstem Umschaltzeitraum überlappt. In einer solchen Konfiguration kann von dem zweiten Abbildungsteil ein Bild aufgenommen werden, das den Zustand des Bearbeitungsobjekts auf der zweiten Seite der Laserbestrahlungsposition

sition zeigt, wobei der erste Umschaltzeitraum zum Bewegen der Laserbestrahlungsposition, die die erste Bestrahlungslinie in Richtung der zweiten Bearbeitungslinie durchlaufen hat, wirksam genutzt wird.

[0010] Die Laserbearbeitungsvorrichtung kann so konfiguriert sein, dass die Steuerungseinheit einen ersten Stoppzeitraum bereitstellt, während dem die Laserbestrahlungsposition sowohl in Bearbeitungsrichtung als auch in Vorschubrichtung stoppt, indem der Vorschubachsen-Antreiber veranlasst wird, die Laserbestrahlungsposition zu einem Zeitpunkt anzuhalten, zu dem der Bearbeitungsachsen-Antreiber die Laserbestrahlungsposition durch den ersten Rückwärtsantrieb im ersten Schaltzeitraum anhält, und der zweite Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den zweiten Abbildungsbereich im ersten Stoppzeitraum überlappt. In einer solchen Konfiguration kann von dem zweiten Abbildungsteil ein Bild erfasst werden, das den Zustand des Bearbeitungsobjekts auf der zweiten Seite der Laserbestrahlungsposition zeigt, wobei der erste Umschaltzeitraum der Bewegung der Laserbestrahlungsposition, die die erste Bearbeitungslinie in Richtung der zweiten Bearbeitungslinie durchlaufen hat, effektiv genutzt wird.

[0011] Die Laserbearbeitungsvorrichtung kann so konfiguriert sein, dass die Steuerungseinheit der Reihe nach eine dritte Linienbearbeitung der Bearbeitung einer dritten Bearbeitungslinie aus der Vielzahl von Bearbeitungslinien durchführt, indem die Laserbestrahlungsposition in Bearbeitungsrichtung zur zweiten Seite hin bewegt wird, und eine vierte Linienbearbeitung der Bearbeitung einer vierten Bearbeitungslinie aus der Vielzahl von Bearbeitungslinien, die sich von der dritten Bearbeitungslinie unterscheidet, durch die Linienbearbeitung, bei der die Laserbestrahlungsposition in Richtung der ersten Seite in der Bearbeitungsrichtung bewegt wird, der Bearbeitungsachsen-Antreiber einen zweiten Rückwärtsantrieb durchführt, um die Laserbestrahlungsposition zur vierten Bearbeitungslinie zu verbringen, indem die Laserbestrahlungsposition in Richtung der ersten Seite beschleunigt wird, nachdem die Laserbestrahlungsposition, die die dritte Bearbeitungslinie in Richtung der zweiten Seite durchlaufen hat, in Richtung der zweiten Seite in der Bearbeitungsrichtung verlangsamt und angehalten wurde, und der Vorschubachsen-Antreiber die Laserbestrahlungsposition in der Vorschubrichtung in einem zweiten Umschaltzeitraum ab dem Ende der dritten Linienbearbeitung bis zum Beginn der vierten Linienbearbeitung, von einer dritten gedachten Geraden, die sich in der Bearbeitungsrichtung entlang der dritten Bearbeitungslinie nach außerhalb der dritten Bearbeitungslinie erstreckt, zu einer vierten gedachten Geraden bewegt, die sich in der Bearbeitungsrichtung entlang der vierten Bearbeitungslinie nach außerhalb der vierten Bearbeitungslinie erstreckt,

und der erste Abbildungsteil einen Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den ersten Abbildungsbereich in dem zweiten Umschaltzeitraum überlappt. In einer solchen Konfiguration kann ein Bild, das den Zustand des Bearbeitungsobjekts auf der ersten Seite der Laserbestrahlungsposition zeigt, von dem ersten Abbildungsteil aufgenommen werden, wobei der zweite Umschaltzeitraum des Bewegens der Laserbestrahlungsposition, die die dritte Bearbeitungslinie in Richtung der vierten Bearbeitungslinie durchlaufen hat, effektiv genutzt wird.

[0012] Die Laserbearbeitungsvorrichtung kann so konfiguriert sein, dass die Steuerungseinheit einen zweiten Stoppzeitraum bereitstellt, während dem die Laserbestrahlungsposition sowohl in der Bearbeitungsrichtung als auch in der Vorschubrichtung stoppt, indem der Vorschubachsen-Antreiber veranlasst wird, die Laserbestrahlungsposition zu einem Zeitpunkt zu stoppen, zu dem der Bearbeitungsachsen-Antreiber die Laserbestrahlungsposition durch den zweiten Rückwärtsantrieb in dem zweiten Umschaltzeitraum stoppt, und der erste Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den ersten Abbildungsbereich in dem zweiten Stoppzeitraum überlappt. In einer solchen Konfiguration kann ein Bild, das den Zustand des Bearbeitungsobjekts auf der ersten Seite der Laserbestrahlungsposition zeigt, von dem ersten Abbildungsteil aufgenommen werden, wobei der zweite Umschaltzeitraum des Bewegens der Laserbestrahlungsposition, die die dritte Bearbeitungslinie in Richtung der vierten Bearbeitungslinie durchlaufen hat, effektiv genutzt wird.

[0013] Die Laserbearbeitungsvorrichtung kann so konfiguriert sein, dass der erste Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der während der Ausführung der ersten Linienbearbeitung den ersten Abbildungsbereich überlappt, und der zweite Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der während der Ausführung der zweiten Linienbearbeitung den zweiten Abbildungsbereich überlappt. In einer solchen Konfiguration kann ein Bild, das den Zustand des Bearbeitungsobjekts auf der ersten Seite der Laserbestrahlungsposition zeigt, von dem ersten Abbildungsteil aufgenommen werden, wobei ein Ausführungszeitraum der ersten Linienbearbeitung effektiv genutzt wird, und ein Bild, das den Zustand des Bearbeitungsobjekts auf der zweiten Seite der Laserbestrahlungsposition zeigt, von dem zweiten Abbildungsteil aufgenommen werden kann, wobei ein Ausführungszeitraum der zweiten Linienbearbeitung effektiv genutzt wird.

[0014] Ein erfindungsgemäßes Laserbearbeitungsprogramm veranlasst einen Computer, das oben beschriebene Laserbearbeitungsverfahren auszuführen.

[0015] Ein erfindungsgemäßes Aufzeichnungsmedium speichert das oben beschriebene Laserbearbeitungsprogramm computerlesbar.

[0016] Ein erfindungsgemäßes Halbleiterchip-Herstellungsverfahren umfasst: Bearbeiten eines Halbleitersubstrats, das eine Vielzahl von Halbleiterchips aufweist, die durch Bearbeitungslinien abgegrenzt und aufgereiht sind, durch das oben beschriebene Laserbearbeitungsverfahren; und Trennen eines jeden der Vielzahl von Halbleiterchips durch Aufdehnen eines Bandes, das das Halbleitersubstrat durch eine Klebekraft hält, bearbeitet durch das Laserbearbeitungsverfahren.

[0017] Ein erfindungsgemäßer Halbleiterchip wird hergestellt durch: Bearbeiten eines Halbleitersubstrats, das eine Vielzahl von Halbleiterchips aufweist, die durch Bearbeitungslinien abgegrenzt und aufgereiht sind, durch das oben beschriebene Laserbearbeitungsverfahren; und Trennen eines jeden der Vielzahl von Halbleiterchips durch Aufdehnen eines Bandes, das das Halbleitersubstrat durch eine Klebekraft hält, bearbeitet durch das Laserbearbeitungsverfahren.

WIRKUNG DER ERFINDUNG

[0018] Erfindungsgemäß ist es möglich, einen Zustand eines Bearbeitungsobjekts auf beiden Seiten einer Laserbestrahlungsposition in einer Bearbeitungsrichtung in einem Laserbearbeitungsverfahren, bei dem die Laserbestrahlungsposition relativ zu dem Bearbeitungsobjekt in der Bearbeitungsrichtung bewegt wird, erkennbar zu machen, während aus einem Bearbeitungskopf ein Laserstrahl auf die Laserbestrahlungsposition gestrahlt wird.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[Fig. 1] Vorderansicht, die schematisch ein Beispiel für eine erfindungsgemäße Laserbearbeitungsvorrichtung zeigt.

[Fig. 2] Draufsicht, die schematisch die Laserbearbeitungsvorrichtung der **Fig. 1** zeigt.

[Fig. 3] Blockdiagramm, das die elektrische Konfiguration der Laserbearbeitungsvorrichtung der **Fig. 1** zeigt.

[Fig. 4] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für ein Verfahren zur Herstellung eines laserbearbeiteten Substrats zeigt, bei dem die Laserbearbeitung bereits durchgeführt wurde.

[Fig. 5] Ablaufdiagramm das ein Beispiel für die Entnahme des Ringrahmens zeigt.

[Fig. 6] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Übertragung des Ringrahmens zeigt.

[Fig. 7A] Draufsicht, die schematisch ein Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß den Ablaufdiagrammen der **Fig. 5** und **6** durchgeführt wird.

[Fig. 7B] Draufsicht, die schematisch ein Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß den Ablaufdiagrammen der **Fig. 5** und **6** durchgeführt wird.

[Fig. 7C] Draufsicht, die schematisch ein Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß den Ablaufdiagrammen der **Fig. 5** und **6** durchgeführt wird.

[Fig. 7D] Draufsicht, die schematisch ein Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß den Ablaufdiagrammen der **Fig. 5** und **6** durchgeführt wird.

[Fig. 7E] Draufsicht, die schematisch ein Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß den Ablaufdiagrammen der **Fig. 5** und **6** durchgeführt wird.

[Fig. 8] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Aufbewahrung des Ringrahmens zeigt.

[Fig. 9] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Ringrahmenausrichtung zeigt.

[Fig. 10] Draufsicht, die schematisch ein Beispiel für einen bei der Ringrahmenausrichtung durchgeführten Vorgang zeigt.

[Fig. 11] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Substratbearbeitung zeigt.

[Fig. 12] Draufsicht, die schematisch ein Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß dem Ablaufdiagramm von **Fig. 11** durchgeführt wird.

[Fig. 13A] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Kalibrierung zeigt.

[Fig. 13B] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Bühnenebenenspezifikation zeigt, die bei der Kalibrierung von **Fig. 13A** durchgeführt wird.

[Fig. 13C] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Substratebenenspezifikation zeigt, die bei der Kalibrierung von **Fig. 13A** durchgeführt wird.

[Fig. 14] Ablaufdiagramm, das den grundlegenden Prozess der Linienbearbeitung für jede geplante Teilungslinie zeigt.

[Fig. 15A] Diagramm, das schematisch ein erstes Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß dem Ablaufdiagramm von **Fig. 14** durchgeführt wird.

[Fig. 15B] Diagramm, das schematisch ein zweites Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm von **Fig. 14** durchgeführten Vorgang zeigt.

[Fig. 15C] Diagramm, das schematisch ein drittes Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 durchgeführten Vorgang zeigt.

[Fig. 15D] Diagramm, das schematisch ein viertes Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 durchgeführten Vorgang zeigt

[Fig. 15E] Diagramm, das schematisch ein fünftes Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 durchgeführten Vorgang zeigt

[Fig. 15F] Diagramm, das schematisch ein sechstes Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 durchgeführten Vorgang zeigt.

[Fig. 15G] Diagramm, das schematisch ein siebtes Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 durchgeführten Vorgang zeigt.

[Fig. 16] Ablaufdiagramm, das ein erstes Anwendungsbeispiel der Linienbearbeitung für jede geplante Teilungslinie zeigt.

[Fig. 17] Diagramm, das schematisch ein Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 16 durchgeführt wird.

[Fig. 18] Ablaufdiagramm, das ein zweites Anwendungsbeispiel der Linienbearbeitung für jede geplante Teilungslinie zeigt.

[Fig. 19A] Diagramm, das schematisch ein erstes Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 18 durchgeführt wird.

[Fig. 19B] Diagramm, das schematisch ein zweites Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 18 durchgeführten Vorgang zeigt.

[Fig. 20] Diagramm, das schematisch ein Beispiel für ein Bild des Halbleitersubstrats zeigt, das in Schritt S1008 von Fig. 16 oder Schritt S1104 von Fig. 18 erlangt wurde.

[Fig. 21] Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für ein Verfahren zur Bestimmung der Laserbearbeitungsbedingungen bei der Linienbearbeitung zeigt.

[Fig. 22A] Diagramm mit Parametern, die sich auf die Bestimmung der Laserbearbeitungsbedingungen beziehen.

[Fig. 22B] Diagramm, das den zeitlichen Einfluss der Laserbearbeitungsbedingungen zeigt.

[Fig. 22C] Tabelle mit einem Beispiel für eine Tabelle, auf die bei der Bestimmung der Laser-

bearbeitungsbedingungen aus Fig. 21 Bezug genommen werden muss.

BESCHREIBUNG DER AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0019] Fig. 1 ist eine Vorderansicht, die schematisch ein Beispiel einer erfindungsgemäßen Laserbearbeitungsvorrichtung zeigt, und Fig. 2 ist eine Draufsicht, die schematisch die Laserbearbeitungsvorrichtung aus Fig. 1 zeigt. In beiden Figuren und den nachfolgenden Figuren sind entsprechend eine X-Richtung, die eine Horizontalrichtung ist, eine Y-Richtung, die eine Horizontalrichtung orthogonal zur X-Richtung ist, und eine Z-Richtung, die eine Vertikalrichtung ist, dargestellt. Ferner sind eine (+X)-Seite in der X-Richtung (rechte Seite in Fig. 2) und eine (-X)-Seite (linke Seite in Fig. 2), die der (+X)-Seite in der X-Richtung gegenüberliegt, entsprechend dargestellt, und eine (+Y)-Seite in der Y-Richtung (obere Seite in Fig. 2) und eine (-Y)-Seite (untere Seite in Fig. 2), die der (+Y)-Seite in der Y-Richtung gegenüberliegt, zweckmäßig dargestellt.

[0020] Die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 bearbeitet ein Halbleitersubstrat W, indem ein Laserstrahl auf das Halbleitersubstrat W (Bearbeitungsobjekt) gestrahlt wird. Dieses Halbleitersubstrat W wird von einem Ringrahmen Fr über ein Band E gehalten. Das Band E ist eine Sägefolie oder ein Bonding Tape, und die Vorderseite (Oberseite) des Bandes E ist klebend. Der Ringrahmen Fr hat eine äußere Form, die durch Schneiden von Teilen einer regelmäßigen Achteckform erlangt wird, um Schlitze Fs bereitzustellen, und eine kreisförmige Öffnung Fo ist in einer Mitte des Ringrahmens Fr vorgesehen. Die vordere Oberfläche des Bandes E ist dem Ringrahmen Fr von unten zugewandt, um die gesamte Öffnung Fo zu überlappen, und die Umfangskante der vorderen Oberfläche des Bandes E ist durch eine Klebekraft an die Bodenfläche des Ringrahmens Fr gebondet. Ferner wird das Halbleitersubstrat W durch eine Klebekraft an die vordere Oberfläche des Bandes E gebondet. Das Halbleitersubstrat W wird in der Laserbearbeitungsvorrichtung 1 transportiert, während es durch den Ringrahmen Fr über das Band E auf diese Weise gehalten wird. Es wird angemerkt, dass das Halbleitersubstrat W eine Vorderseite und eine der Vorderseite gegenüberliegende Rückseite hat, und dass auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats W eine elektronische Schaltung ausgebildet ist, während die Rückseite des Halbleitersubstrats W flach ist. Die nach unten weisende Vorderseite des Halbleitersubstrats W ist an die Vorderseite des Bandes E gebondet, d. h. das Halbleitersubstrat W wird mit der nach oben weisenden Rückseite des Halbleitersubstrats W gehalten.

[0021] Die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 ist mit einem Substrataufbewahrungsteil 2 zum Aufbewahren des Halbleitersubstrats W und einer Spannbühne

3 (Stützelement) zum Halten des aus dem Substrataufbewahrungsteil 2 herausgenommenen Halbleitersubstrats W versehen. Die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 ist mit einer Grundplatte 11 in Form einer flachen Platte versehen, und der Substrataufbewahrungsteil 2 und die Spann Bühne 3 werden von der Grundplatte 11 getragen. Die Spann Bühne 3 ist auf der (+X)-Seite des Substrataufbewahrungsteils 2 in der X-Richtung und auf der (-Y)-Seite des Substrataufbewahrungsteils 2 in der Y-Richtung angeordnet. Ein Raum auf der (-X)-Seite der Spann Bühne 3 in der X-Richtung und auf der (-Y)-Seite des Substrataufbewahrungsteils 2 in der Y-Richtung ist ein Substratransferbereich Aw.

[0022] Das Substrataufbewahrungsteil 2 weist eine Substrataufbewahrungskassette 21 auf. Die Substrataufbewahrungskassette 21 umfasst ein Paar von Seitenwänden 22, die auf beiden Seiten in der X-Richtung vorgesehen sind, und eine Öffnung 23, die zwischen den Seitenwänden 22 vorgesehen ist, und die Öffnung 23 ist zur (-Y)-Seite (d.h. zum Substratransferbereich Aw) gerichtet. Bei dem Paar von Seitenwänden 22 handelt es sich um flache Platten, die senkrecht zur X-Richtung verlaufen und einander in der X-Richtung gegenüberliegen. Ferner sind innerhalb eines jeden des Pairs von Seitenwänden 22 Stützvorsprünge 24 vorgesehen. Ein Paar von Stützvorsprüngen 24, die einander in der X-Richtung zugewandt sind, befinden sich auf der gleichen Höhe. Der Ringrahmen Fr, der das Halbleitersubstrat W hält, kann von der (-Y)-Seite über die Öffnung 23 in eine Position oberhalb des Pairs von Stützvorsprüngen 24 eingeführt werden. Beide Enden in der X-Richtung des auf diese Weise eingesetzten Ringrahmens Fr werden von unten durch das Paar von Stützvorsprüngen 24 gestützt. Das bedeutet, dass eine Seite oberhalb des Pairs von Stützvorsprüngen 24 als Steckplatz 25 zur Aufnahme des Ringrahmens Fr fungiert, und der Ringrahmen Fr, der von der (-Y)-Seite über die Öffnung 23 in den Steckplatz 25 eingeführt wird, durch das Paar von Stützvorsprüngen 24 entsprechend diesem Steckplatz 25 gestützt wird. Daher kann das Halbleitersubstrat W, das von dem Ringrahmen Fr getragen wird, in der Substrataufbewahrungskassette 21 gelagert werden, indem der Ringrahmen Fr in den Steckplatz 25 der Substrataufbewahrungskassette 21 eingesetzt wird, und das Halbleitersubstrat W kann aus der Substrataufbewahrungskassette 21 entnommen werden, indem der Ringrahmen Fr aus dem Steckplatz 25 der Substrataufbewahrungskassette 21 herausgezogen wird.

[0023] Die Substrataufbewahrungskassette 21 beinhaltet ferner einen Z-Achsen-Schieber 26 zum Stützen der Substrataufbewahrungskassette 21 und einen Z-Achsen-Antriebsmechanismus 27 zum Antreiben des Z-Achsen-Schiebers 26 in der Z-Richtung. Der Z-Achsen-Antriebsmechanismus 27 ist ein

einachsiger Roboter, der auf der Grundplatte 11 montiert ist und einen Z-Achsen-Antriebsübertrager 271 zum in der Z-Richtung bewegbaren Tragen des Z-Achsen-Schiebers 26 und einen Z-Achsen-Kassettenmotor 272 zum Antreiben des auf dem Z-Achsen-Antriebsübertrager 271 getragenen Z-Achsen-Schiebers 26 in der Z-Richtung aufweist. Der Z-Achsen-Antriebsübertrager 271 weist eine Kugelumlaufspindel auf, die von dem Z-Achsen-Kassettenmotor 272 angetrieben wird, und der Z-Achsen-Schieber 26 ist an einer Mutter der Kugelumlaufspindel befestigt. Eine bestimmte Konfiguration des Z-Achsen-Antriebsmechanismus 27 ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann ein Linearmotor sein. Ein solcher Z-Achsen-Antriebsmechanismus 27 bewegt die auf dem Z-Achsen-Schieber 26 gelagerte Substrataufbewahrungskassette 21 in der Z-Richtung, indem er den auf dem Z-Achsen-Antriebsübertrager 271 gelagerten Z-Achsen-Schieber 26 durch den Z-Achsen-Kassettenmotor 272 antreibt.

[0024] Für die Substrataufbewahrungskassette 21 wird eine Substrateinschubhöhe 211 festgelegt, und das Halbleitersubstrat W kann in den Steckplatz 25, der sich auf der Substrateinschubhöhe 211 befindet, eingeschoben und aus diesem herausgezogen werden. Daher kann der Steckplatz 25, in den das Halbleitersubstrat W eingeschoben und aus dem es entnommen wird, durch Bewegen der Substrataufbewahrungskassette 21 in der Z-Richtung durch den Z-Achsen-Antriebsmechanismus 27 geändert werden, um den Steckplatz 25, der sich auf der Substrateinschubhöhe 211 befindet, aus einer Vielzahl von Steckplätzen 25 zu ändern.

[0025] Im Gegensatz dazu ist die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 mit einem Y-Achsen-Fördermechanismus 4 zum Transportieren des Ringrahmens Fr in der Y-Richtung zwischen dem Steckplatz 25 auf der Substrateinschubhöhe 211 und dem Substratransferbereich Aw bereitgestellt. Der Y-Achsen-Fördermechanismus 4 weist eine Anhebeband 41, einen Y-Achsen-Schieber 43 zum Tragen der Anhebeband 41 und einen Y-Achsen-Antriebsmechanismus 45 zum Antreiben des Y-Achsen-Schiebers 43 in der Y-Richtung auf. Der Y-Achsen-Antriebsmechanismus 45 ist ein einachsiger Roboter, der durch einen nicht dargestellten Rahmen auf der Grundplatte 11 montiert ist und einen Y-Achsen-Antriebsübertrager 451 zur in der Y-Richtung bewegbaren Lagerung des Y-Achsen-Schiebers 43 und einen Y-Achsen-Anhebebandmotor 452 zum Antrieb des auf dem Y-Achsen-Antriebsübertrager 451 gelagerten Y-Achsen-Schiebers 43 in der Y-Richtung umfasst. Der Y-Achsen-Antriebsübertrager 451 weist eine Kugelumlaufspindel auf, die von dem Y-Achsen-Anhebebandmotor 452 angetrieben wird, und der Y-Achsen-Schieber 43 ist an einer Mutter der Kugelumlaufspindel befestigt. Eine bestimmte Konfiguration des Y-Achsen-Antriebsmechanismus

45 ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann ein Linearmotor sein. Ein solcher Y-Achsen-Antriebsmechanismus 45 bewegt die auf dem Y-Achsen-Schieber 43 gelagerte Anhebeband 41 in der Y-Richtung, indem er den auf dem Y-Achsen-Antriebsübertrager 451 gelagerten Y-Achsen-Schieber 43 durch den Y-Achsen-Anhebebandmotor 452 antreibt.

[0026] Die Anhebeband 41 weist ein Basisteil 411, das sich auf dem Y-Achsen-Schieber 43 abstützt, und eine Gabel 412 auf, die von dem Basisteil 411 zur (+Y)-Seite hin vorsteht. Die Gabel 412 befindet sich auf der Substrateinschubhöhe 211 und kann den Ringrahmen Fr von unten halten. Der Y-Achsen-Fördermechanismus 4 bewegt den von der Gabel 412 der Anhebeband 41 gehaltenen Ringrahmen Fr zwischen der Substrataufbewahrungskassette 21 und dem Substrattransferbereich Aw, indem er die Anhebeband 41 durch den Y-Achsen-Antriebsmechanismus 45, wie später beschrieben, in der Y-Richtung antreibt.

[0027] Ferner ist die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 mit einem XZ-Achsen-Fördermechanismus 5 zum Transportieren des Ringrahmens Fr in der X-Richtung zwischen der Anhebeband 41, die sich in dem Substrattransferbereich Aw befindet, und der Spannbühne 3 bereitgestellt. Der XZ-Achsen-Fördermechanismus 5 weist eine Saughand 51, einen X-Achsen-Schieber 53 zur Unterstützung der Saughand 51 und einen X-Achsen-Antrieber 55 zum Antrieb des X-Achsen-Schiebers 53 in der X-Richtung auf. Der X-Achsen-Antrieber 55 ist ein einachsiger Roboter, der durch einen nicht dargestellten Rahmen auf der Grundplatte 11 montiert ist und einen X-Achsen-Antriebsübertrager 551 zur in der X-Richtung bewegbaren Lagerung des X-Achsen-Schiebers 53 und einen X-Achsen-Saughandmotor 552 zum Antrieb des auf dem X-Achsen-Antriebsübertrager 551 gelagerten X-Achsen-Schiebers 53 in der X-Richtung aufweist. Der X-Achsen-Antriebsübertrager 551 weist eine Kugelumlaufspindel auf, die von dem X-Achsen-Saughandmotor 552 angetrieben wird, und der X-Achsen-Schieber 53 ist an einer Mutter der Kugelumlaufspindel befestigt. Eine bestimmte Konfiguration des X-Achsen-Antriebers 55 ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann ein Linearmotor sein. Ein solcher X-Achsen-Antrieber 55 bewegt die auf dem X-Achsen-Schieber 53 gelagerte Saughand 51 in der X-Richtung, indem er den auf dem X-Achsen-Antriebsübertrager 551 gelagerten X-Achsen-Schieber 53 durch den X-Achsen-Saughandmotor 552 antreibt.

[0028] Der XZ-Achsen-Fördermechanismus 5 weist ferner einen Z-Achsen-Schieber 56, der an der Saughand 51 befestigt ist, und einen Z-Achsen-Antrieber 58 zum Antreiben des Z-Achsen-Schiebers 56 in der Z-Richtung in Bezug auf den X-Achsen-Schieber 53

auf. Das bedeutet, dass sich die Saughand 51 über den Z-Achsen-Schieber 56 und der Z-Achsen-Antrieber 58 auf dem X-Achsen-Schieber 53 abstützt. Der Z-Achsen-Antrieber 58 ist ein einachsiger Roboter, der auf dem X-Achsen-Schieber 53 montiert ist und einen Z-Achsen-Antriebsübertrager 581 zur in der Z-Richtung bewegbaren Lagerung des Z-Achsen-Schiebers 56 und einen Z-Achsen-Saughandmotor 582 zum Antrieb des auf dem Z-Achsen-Antriebsübertrager 581 gelagerten Z-Achsen-Schiebers 56 in der Z-Richtung aufweist. Der Z-Achsen-Antriebsübertrager 581 weist eine Kugelumlaufspindel auf, die von dem Z-Achsen-Saugmotor 582 angetrieben wird, und der Z-Achsen-Schieber 56 ist an einer Mutter der Kugelumlaufspindel befestigt. Eine konkrete Konfiguration des Z-Achsen-Antriebers 58 ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann ein Linearmotor sein. Der Z-Achsen-Schieber 56 erstreckt sich von dem Z-Achsen-Antrieber 58 bis zu einer Seite unterhalb des X-Achsen-Antriebsübertragers 551, und die Saughand 51 ist am unteren Ende des Z-Achsen-Schiebers 56 befestigt. Ein solcher Z-Achsen-Antrieber 58 bewegt die auf dem Z-Achsen-Schieber 56 gelagerte Saughand 51 in der Z-Richtung, indem er den auf dem Z-Achsen-Antriebsübertrager 581 gelagerten Z-Achsen-Schieber 56 durch den Z-Achsen-Saughandmotor 582 antreibt.

[0029] Die Saughand 51 weist ein Basisteil 511, das auf dem Z-Achsen-Schieber 56 gelagert ist, und ein ringförmiges Saugelement 512 auf, das in Richtung der (+Y)-Seite von dem Basisteil 511 vorsteht. Das ringförmige Saugelement 512 hat eine kreisförmige Ringform, und eine Vielzahl von Sauglöchern münden in einer Bodenfläche 513 des ringförmigen Saugelements 512. Der Ringrahmen Fr kann von oben von der Saughand 51 gehalten werden, indem der Ringrahmen Fr durch einen Unterdruck, der in jedem Saugloch der Bodenfläche 513 erzeugt wird, angesaugt wird, während die Bodenfläche 513 dieses ringförmigen Saugelements 512 von oben in Kontakt mit dem Ringrahmen Fr gebracht wird. Der XZ-Achsen-Fördermechanismus 5 bewegt den Ringrahmen Fr, der von dem ringförmigen Saugelement 512 der Saughand 51 gehalten wird, zwischen dem Substrattransferbereich Aw und der Spannbühne 3, indem die Saughand 51 wie später beschrieben in der X-Richtung durch den X-Achsen-Antrieber 55 und die Saughand 51 durch den Z-Achsen-Antrieber 58 in der Z-Richtung angetrieben wird.

[0030] Die Spannbühne 3 weist eine Saugplatte 31 auf, auf der der Ringrahmen Fr, der das Halbleitersubstrat W über das Band E trägt, platziert ist. Die Saugplatte 31 hat eine kreisförmige Form, und eine Vielzahl von Sauglöchern münden in einer oberen Fläche 311 der Saugplatte 31. Das Band E kann an der Saugplatte 31 befestigt werden, indem das Band E in Kontakt mit der oberen Fläche 311 durch einen

Unterdruck angesaugt wird, der in jedem Saugloch der oberen Fläche 311 der Saugplatte 31 erzeugt wird. Ferner weist die Spann Bühne 3 eine Vielzahl von Klammern 32 auf, die am Umfangsrand der Saugplatte 31 bereitgestellt sind. Diese Spann Bühne 3 fixiert den Ringrahmen Fr an der Saugplatte 31, indem sie bewirkt, dass die Klammern 32 dem Ringrahmen Fr gegenüberliegen, der von oben auf der Saugplatte 31 platziert wird, und den Ringrahmen Fr zwischen den Klammern 32 und der Saugplatte 31 einklemmt. Ferner löst die Spann Bühne 3 die Befestigung des Ringrahmens Fr an der Saugplatte 31, indem sie die Klammern 32 seitlich von dem Ringrahmen Fr zurückzieht.

[0031] Wie soeben beschrieben, hält die Spann Bühne 3 das Halbleitersubstrat W über das Band E auf dem Ringrahmen Fr, indem das Band E durch die Saugplatte 31 angesaugt und der Ringrahmen Fr durch die Klammern 32 fixiert wird. Durch die Verwendung der Klammern 32 in Kombination auf diese Weise kann das Band E mit einer schwachen Saugkraft an die Saugplatte 31 gesaugt werden, und ein Einfluss der Saugkraft des Bandes E auf das Halbleitersubstrat W kann verglichen mit dem Fall, in dem das Halbleitersubstrat W nur durch das Ansaugen des Bandes E an der Saugplatte 31 gehalten wird, abgeschwächt werden.

[0032] Ferner ist die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 mit einem XY θ -Antriebstisch 6 zur Aufnahme der Spann Bühne 3 ausgestattet. Der XY θ -Antriebstisch 6 ist auf der Grundplatte 11 angeordnet und treibt die Spann Bühne 3 in der X-Richtung, der Y-Richtung und einer θ -Richtung in Bezug auf die Grundplatte 11 an. Dabei ist die θ -Richtung eine Drehrichtung um eine zur Z-Richtung parallele Drehachse. Das bedeutet, dass der XY θ -Antriebstisch 6 eine Y-Achsenführung 61, die parallel zur Y-Richtung auf der Grundplatte 11 montiert ist, einen Y-Achsenchieber 62, der durch die Y-Achsenführung 61 in der Y-Richtung bewegbar gelagert ist, und einen Y-Achsen-Antrieber 63 zum Antrieb des Y-Achsenchiebers 62 in der Y-Richtung aufweist. Der Y-Achsen-Antrieber 63 ist ein einachsiger Roboter, der auf der Grundplatte 11 montiert ist und einen Y-Achsen-Antriebsübertrager 631 zur in der Y-Richtung bewegbaren Lagerung des Y-Achsen-Schiebers 62 und einen Y-Achsen-Tischmotor 632 zum Antrieb des auf dem Y-Achsen-Antriebsübertrager 631 gelagerten Y-Achsen-Schiebers 62 in der Y-Richtung aufweist. Der Y-Achsen-Antriebsübertrager 631 weist eine Kugelumlaufspindel auf, die von dem Y-Achsen-Tischmotor 632 angetrieben wird, und der Y-Achsen-Schieber 62 ist an einer Mutter der Kugelumlaufspindel befestigt. Die konkrete Konfiguration des Y-Achsen-Antriebers 63 ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann auch ein Linearmotor sein.

[0033] Der XY θ -Antriebstisch 6 weist ferner einen X-Achsen-Schieber 64 und einen X-Achsen-Antrieber 65 zum Antrieb des X-Achsen-Schiebers 64 in der X-Richtung in Bezug auf den Y-Achsen-Schieber 62 auf. Der X-Achsen-Antrieber 65 ist ein einachsiger Roboter, der auf dem Y-Achsen-Schieber 62 montiert ist und einen X-Achsen-Antriebsübertrager 651 zur in der X-Richtung bewegbaren Lagerung des X-Achsen-Schiebers 64 und einen X-Achsen-Tischmotor 652 zum Antrieb des auf dem X-Achsen-Antriebsübertrager 651 gelagerten X-Achsen-Schiebers 64 in der X-Richtung aufweist. Der X-Achsen-Antriebsübertrager 651 weist eine Kugelumlaufspindel auf, die von dem X-Achsen-Tischmotor 652 angetrieben wird, und der X-Achsen-Schieber 64 ist an einer Mutter der Kugelumlaufspindel befestigt. Die konkrete Konfiguration des X-Achsen-Antriebers 65 ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann auch ein Linearmotor sein.

[0034] Der XY θ -Antriebstisch 6 weist ferner einen θ -Achsen-Tischmotor 66 auf, der auf dem X-Achsen-Schieber 64 montiert ist. Dieser θ -Achsen-Tischmotor 66 treibt die Spann Bühne 3 in der θ -Richtung in Bezug auf den X-Achsen-Schieber 64 an.

[0035] Ein solcher XY θ -Antriebstisch 6 kann die Spann Bühne 3 in der Y-Richtung durch den Y-Achsen-Tischmotor 632 antreiben, kann die Spann Bühne 3 in der X-Richtung durch den X-Achsen-Tischmotor 652 antreiben und kann die Spann Bühne 3 in θ -Richtung durch den θ -Achsen-Tischmotor 66 antreiben.

[0036] Die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 ist ferner mit einem Laserbearbeitungsteil 7 zum Durchführen einer Laserbearbeitung für das auf der Spann Bühne 3 gehaltene Halbleitersubstrat W bereitgestellt. Der Laserbearbeitungsteil 7 weist einen Bearbeitungskopf 71 auf, der dem auf der Spann Bühne 3 gehaltenen Halbleitersubstrat W von oben zugewandt ist. Der Bearbeitungskopf 71 weist eine Laserlichtquelle 72 zum Erzeugen eines Laserstrahls B mit einer vorgegebenen Frequenz und ein optisches System 73 (eine Linse, eine Blende und dergleichen) zum Aufstrahlen des von der Laserlichtquelle 72 emittierten Laserstrahls B auf das Halbleitersubstrat W auf. Dieser Bearbeitungskopf 71 weist eine vorgegebene Laserbestrahlungsposition Lb auf und ist der Laserbestrahlungsposition Lb von oben in der Z-Richtung zugewandt. Der Bearbeitungskopf 71 bündelt den aus der Laserlichtquelle 72 auf die Laserbestrahlungsposition Lb emittierten Laserstrahl B durch das optische System 73, wodurch in einem Teil des Halbleitersubstrats W, der die Laserbestrahlungsposition Lb überlappt, eine modifizierte Schicht gebildet wird.

[0037] Der Laserbearbeitungsteil 7 weist ferner einen Z-Achsen-Schieber 78 zum Tragen des Bearbeitungskopfes 71 und einen Z-Achsen-Antrieber 79

zum Antreiben des Z-Achsen-Schiebers 78 in der Z-Richtung auf. Der Z-Achsen-Antrieber 79 ist ein auf der Grundplatte montierter einachsiger Roboter und weist einen Z-Achsen-Antriebsübertrager 791 zur in der Z-Richtung bewegbaren Lagerung des Z-Achsen-Schiebers 78 und einen Z-Achsen-Kopfmotor 792 zum Antrieb des auf dem Z-Achsen-Antriebsübertrager 791 gelagerten Z-Achsen-Schiebers 78 in der Z-Richtung auf. Der Z-Achsen-Antriebsübertrager 791 weist eine Kugelumlaufspindel, die von dem Z-Achsen-Kopfmotor 792 angetrieben wird, und der Z-Achsen-Schieber 78 ist an einer Mutter der Kugelumlaufspindel befestigt. Eine bestimmte Konfiguration des Z-Achsen-Antriebers 79 ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann ein Linearmotor sein. Ein solcher Z-Achsen-Antrieber 79 bewegt die Laserbestrahlungsposition Lb einer Infrarotkamera 81 in der Z-Richtung, indem er den Z-Achsen-Schieber 78, der auf dem Z-Achsen-Antriebsübertrager 791 gelagert ist, durch den Z-Achsen-Kopfmotor 792 antreibt, um den auf dem Z-Achsen-Schieber 78 gelagerten Bearbeitungskopf 71 in der Z-Richtung zu bewegen.

[0038] Die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 ist ferner mit Abbildungsteilen 8 zum Abbilden des Halbleitersubstrats W bereitgestellt, das auf der Spannbühne 3 gehalten wird. Genauer sind zwei Abbildungsteile 8 quer zum Laserbearbeitungsteil 7 in der X-Richtung angeordnet. Zur Unterscheidung dieser beiden Abbildungsteile 8 wird der Abbildungsteil 8 auf der (+X)-Seite des Laserbearbeitungsteils 7 als Abbildungsteil 8A und der Abbildungsteil 8 auf der (-X)-Seite des Laserbearbeitungsteils 7 als Abbildungsteil 8B bezeichnet. Auf diese Weise sind der Abbildungsteil 8A, der Laserbearbeitungsteil 7 und der Abbildungsteil 8B in der X-Richtung aufgereiht. Es wird angemerkt, dass jeder der Abbildungsteile 8A, 8B eine gemeinsame Grundkonfiguration hat. Daher werden die Komponenten, die den Abbildungsteilen 8A, 8B gemeinsam sind, ohne Unterscheidung beschrieben.

[0039] Der Abbildungsteil 8 weist die Infrarotkamera 81 auf, die dem auf der Spannbühne 3 gehaltenen Halbleitersubstrat W von oben zugewandt ist. Diese Infrarotkamera 81 hat einen vorgegebenen Abbildungsbereich Ri (mit anderen Worten ein Sichtfeld) und ist diesem Abbildungsbereich Ri von oben in der Z-Richtung zugewandt. Die Infrarotkamera 81 bildet den Abbildungsbereich Ri ab, indem sie die aus dem Abbildungsbereich Ri emittierten Infrarotstrahlen detektiert und ein Bild des Abbildungsbereichs Ri erlangt.

[0040] Der Abbildungsteil 8 weist ferner einen Z-Achsen-Schieber 88 zum Tragen der Infrarotkamera 81 und einen Z-Achsen-Antrieber 89 zum Antreiben des Z-Achsen-Schiebers 88 in der Z-Richtung auf. Der Z-Achsen-Antrieber 89 ist ein einachsiger Robo-

ter, der auf der Grundplatte montiert ist und einen Z-Achsen-Antriebsübertrager 891 zur in der Z-Richtung bewegbaren Lagerung des Z-Achsen-Antriebers 88 und einen Z-Achsen-Kameramotor 892 zum Antrieb des auf dem Z-Achsen-Antriebsübertrager 891 gelagerten Z-Achsen-Schiebers 88 in der Z-Richtung aufweist. Der Z-Achsen-Antriebsübertrager 891 weist eine Kugelumlaufspindel auf, die von dem Z-Achsen-Kameramotor 892 angetrieben wird, und der Z-Achsen-Schieber 88 ist an einer Mutter der Kugelumlaufspindel befestigt. Eine konkrete Konfiguration des Z-Achsen-Antriebers 89 ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann ein Linearmotor sein. Ein solcher Z-Achsen-Antrieber 89 bewegt den Abbildungsbereich Ri der Infrarotkamera 81 in der Z-Richtung, indem er den Z-Achsen-Schieber 88, der von dem Z-Achsen-Kameramotor 892 auf dem Z-Achsen-Antriebsübertrager 891 gelagert wird, antreibt, um die auf dem Z-Achsen-Schieber 88 gelagerte Infrarotkamera 81 in der Z-Richtung zu bewegen.

[0041] Es wird angemerkt, dass die Infrarotkamera 81 des Abbildungsteils 8A und die Infrarotkamera 81 des Abbildungsteils 8B unterschiedliche Auflösungen haben. Insbesondere hat die Infrarotkamera 81 des Abbildungsteils 8A eine höhere Auflösung, d. h. ein schmaleres Sichtfeld, als die Infrarotkamera 81 des Abbildungsteils 8B. Die Auflösungen der Infrarotkameras 81 müssen jedoch nicht zwischen den Abbildungsteilen 8A und 8B unterschiedlich sein, und diese Infrarotkameras 81 können die gleiche Auflösung haben. Ferner sind in diesem Beispiel die Mittelpunkte des Abbildungsbereichs Ri des Abbildungsteils 8A, der Laserbestrahlungsposition Lb des Bearbeitungskopfs 71 und des Abbildungsbereichs Ri des Abbildungsteils 8B parallel zur X-Richtung angeordnet. Diese müssen jedoch nicht unbedingt parallel zur X-Richtung sein, und der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A muss nur auf der (+X)-Seite und der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B muss nur auf der (-X)-Seite in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb des Bearbeitungskopfes 71 liegen.

[0042] Fig. 3 ist ein Blockdiagramm, das die elektrische Konfiguration der Laserbearbeitungsvorrichtung aus Fig. 1 zeigt. Wie in Fig. 3 dargestellt, ist die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 mit einer Steuerungseinheit 100 zum Steuern der in Fig. 1 und 2 gezeigten Komponenten bereitgestellt. Die Steuerungseinheit 100 weist einen Handhabungssteuerungsrechner 110, der für die Steuerung eines Substrattransportsystems (Substrataufbewahrungsteil 2, Y-Achsen-Fördermechanismus 4 und XZ-Achsen-Fördermechanismus 5) in Bezug auf den Transport des Halbleitersubstrats W in der Laserbearbeitungsvorrichtung 1 zuständig ist, und einen Laserbearbeitungssteuerungsrechner 120 auf, der zum Steuern eines Laserbearbeitungssystems (Spannbühne 3,

XY θ -Antriebstisch 6, Laserbearbeitungsteil 7 und Abbildungsteile 8) in Bezug auf die Laserbearbeitung des Halbleitersubstrats W zuständig ist.

[0043] Die Steuerungseinheit 100 weist ferner einen Kassettencontroller 111 auf, um in Reaktion auf einen Befehl des Handhabungssteuerungsrechners 110 das Einsetzen und Entnehmen des Halbleitersubstrats W in die und aus der Substrataufbewahrungskassette 21 zu steuern. Dieser Kassettencontroller 111 stellt durch Steuern des Z-Achsen-Kassettenmotors 272 die Position in der Z-Richtung der Substrataufbewahrungskassette 21 ein und stellt durch Steuern des Y-Achsen-Anhebehadmotors 452 die Position in der Y-Richtung der Anhebeband 41 ein.

[0044] Die Steuerungseinheit 100 weist ferner einen Handcontroller 112 auf, um in Reaktion auf einen Befehl aus dem Handhabungssteuerungsrechner 110 einen Fördervorgang des Halbleitersubstrats W durch die Saughand 51 zu steuern. Der Handcontroller 112 stellt durch Steuern des X-Achsen-Saughandmotors 552 die Position in der X-Richtung der Saughand 51 ein und stellt durch Steuern des Z-Achsen-Saughandmotors 582 die Position in der Z-Richtung der Saughand 51 ein. Ferner steuert der Handcontroller 112 eine Saugpumpe 591 zum Ansaugen der Sauglöcher in der Bodenfläche 513 des ringförmigen Saugelements 512 der Saughand 51. Das bedeutet, dass der Handcontroller 112 saugt den Ringrahmen Fr durch die Saughand 51 ansaugt, indem er den Sauglöchern durch die Saugpumpe 591 einen Unterdruck zuführt, und den Ringrahmen Fr von der Saughand 51 trennt, indem er die Zufuhr des Unterdrucks zu den Sauglöchern durch die Saugpumpe 591 stoppt.

[0045] Die Steuerungseinheit 100 weist ferner einen Bühnencontroller 121 auf, um in Reaktion auf einen Befehl des Laserbearbeitungssteuerungsrechners 120 einen Substratfixiervorgang durch die Spannbühne 3 und den Antrieb der Spannbühne 3 zu steuern. Der Bühnencontroller 121 stellt die Positionen in der X-Richtung, der Y-Richtung und der θ -Richtung der Spannbühne 3 ein, indem er den X-Achsen-Tischmotor 652, den Y-Achsen-Tischmotor 632 und den θ -Achsen-Tischmotor 66 steuert. Des Weiteren steuert der Bühnencontroller 121 die Fixierung des Ringrahmens Fr an der Saugplatte 31 und das Lösen der Fixierung durch einen Klammerantrieb 691, indem er den Klammerantrieb 691 zum Antrieb der Klammern 32 steuert. Des Weiteren steuert der Bühnencontroller 121 eine Saugpumpe 692 zum Ansaugen der Sauglöcher in der Oberseite 311 der Saugplatte 31. Das bedeutet, dass der Bühnencontroller 121 das Band E durch die Saugplatte 31 ansaugt, indem er den Sauglöchern durch die Saugpumpe 692 einen Unterdruck zuführt, und das Ansaugen des Bandes E durch die Saugplatte 31

löst, indem er die Zufuhr des Unterdrucks an die Sauglöcher durch die Saugpumpe 692 stoppt.

[0046] Die Steuerungseinheit 100 weist ferner einen Kameracontroller 122A zum Steuern des Abbildungsteils 8A und einen Kameracontroller 122B zum Steuern des Abbildungsteils 8B auf. Diese Handcontroller 112A, 112B führen für die Infrarotkameras 81 und die Z-Achsen-Kameramotoren 892 der Abbildungsteile 8A, 8B, die jeweils diese Ziele sind die nachstehenden Steuerungen aus. Das bedeutet, dass jeder der Kameracontroller 122A, 122B die Infrarotkamera 81 veranlasst, das Halbleitersubstrat W abzubilden, um ein Bild des Halbleitersubstrats W zu erlangen, und die Infrarotkamera 81 in der Z-Richtung durch den Z-Achsen-Kameramotor 892 antreibt, um einen Abstand in der Z-Richtung von der Infrarotkamera 81 zu dem Halbleitersubstrat W einzustellen.

[0047] Die Steuerungseinheit 100 weist ferner einen Bearbeitungskopfcontroller 123 zum Steuern des Laserbearbeitungsteils 7 auf. Der Bearbeitungskopfcontroller 123 treibt die Laserlichtquelle 72 an, um aus der Laserlichtquelle 72 einen Laserstrahl B zu emittieren, und treibt den Bearbeitungskopf 71 in der Z-Richtung durch den Z-Achsen-Kopfmotor 792 an, um einen Abstand in der Z-Richtung von dem Bearbeitungskopf 71 zu dem Halbleitersubstrat W einzustellen. Der Bearbeitungskopf 71 weist ferner einen Höhendetektor 74 zum Detektieren einer Höhe (Abstand in der Z-Richtung) von dem Halbleitersubstrat W auf. Dieser Höhendetektor 74 ist ein sogenannter Abstandssensor. Das optische System 73 des Bearbeitungskopfes 71 weist ferner einen Fokussiermechanismus 75 auf. Der Fokussiermechanismus 75 stellt eine Position ein, auf die der Laserstrahl B gebündelt wird, indem er einen Fokus des optischen Systems 73 in der Z-Richtung verschiebt. Insbesondere bündelt der Bearbeitungskopfcontroller 123 den Laserstrahl B an einer vorgegebenen Position innerhalb des Halbleitersubstrats W, indem er den Fokussiermechanismus 75 auf Grundlage der Höhe des Bearbeitungskopfes 71 von dem Halbleitersubstrat W steuert, die von dem Höhendetektor 74 detektiert wird.

[0048] Es wird angemerkt, dass jede Funktion der eingangs beschriebenen Steuerungseinheit 100 durch einen Prozessor wie etwa eine CPU (Central Processing Unit), ein FPGA (Field Programmable Gate Array) etc. verwirklicht werden kann.

[0049] Die Steuerungseinheit 100 weist ferner einen Speicher 190 auf, bei dem es sich um eine Speichervorrichtung wie eine HDD (Hard Disk Drive) oder eine SDD (Solid State Drive) handelt. In diesem Speicher 190 ist ein Laserbearbeitungsprogramm 191 zum Spezifizieren später beschriebener Operationen gespeichert, die in der Laserbearbeitungsvorrichtung 1 zur Laserbearbeitung des Halbleitersubst-

rats W durchgeführt werden. Das bedeutet, die Steuerungseinheit 100 führt jede Steuerung, die später anhand der Fig. 4 bis 22C beschrieben wird, durch Implementierung des Laserbearbeitungsprogramms 191 aus. Es wird angemerkt, dass das Laserbearbeitungsprogramm 191 von einem Aufzeichnungsmedium 192 außerhalb der Laserbearbeitungsvorrichtung 1 bereitgestellt wird, und die Steuerungseinheit 100 (Computer) das auf dem Aufzeichnungsmedium 192 aufgezeichnete Laserbearbeitungsprogramm 191 ausliest und das Laserbearbeitungsprogramm 191 in dem Speicher 190 speichert. Beispiele für ein solches Aufzeichnungsmedium 192 sind ein USB-Speicher (Universal Serial Bus), eine Speichervorrichtung eines externen Computers und dergleichen.

[0050] Fig. 4 ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für ein Verfahren zur Herstellung eines laserbearbeiteten Substrats zeigt, für das die Laserbearbeitung bereits durchgeführt wurde. Das Ablaufdiagramm von Fig. 4 wird gemäß einer Steuerung der Steuerungseinheit 100 auf Grundlage des Laserbearbeitungsprogramms 191 ausgeführt. In Schritt S101 entnimmt die Anhebeband 41 den Ringrahmen Fr aus der Substrataufbewahrungskassette 21 in den Substrattransferbereich Aw. In Schritt S102 übergibt die Saughand 51 in dem Substrattransferbereich Aw den Ringrahmen Fr von der Anhebeband 41 an die Spannbühne 3. Auf diese Weise wird das von dem Ringrahmen Fr gehaltene Halbleitersubstrat W aus der Substrataufbewahrungskassette 21 in den Substrattransferbereich Aw entnommen und dann aus dem Substrattransferbereich Aw in die Spannbühne 3 überführt. Konkret wird die Entnahme des Ringrahmens aus Fig. 5 in Schritt S101 durchgeführt und der Transfer des Ringrahmens aus Fig. 6 in Schritt S102 durchgeführt.

[0051] Fig. 5 ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Entnahme des Ringrahmens zeigt, Fig. 6 ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für den Transfer des Ringrahmens zeigt, und Fig. 7A bis 7E sind Draufsichten, die schematisch ein Beispiel für einen Vorgang zeigen, der gemäß den Ablaufdiagrammen der Fig. 5 und 6 durchgeführt wird.

[0052] In Schritt S201 der Fig. 5 bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob die Anhebeband 41 leer ist oder nicht, d.h. ob der Ringrahmen Fr nicht auf der Anhebeband 41 platziert ist oder nicht. Ob die Anhebeband 41 leer ist oder nicht, kann auf Grundlage eines Verlaufs oder dergleichen von Operationen, die von der Anhebeband 41 durchgeführt wurden, bestätigt werden. Das Ablaufdiagramm aus Fig. 5 wird beendet, wenn die Anhebeband 41 nicht leer ist („NEIN“ in Schritt S201), wohingegen zu Schritt S201 vorangeschritten wird, wenn die Anhebeband 41 leer ist („JA“ in Schritt S201).

[0053] In Schritt S202 bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob sich zumindest ein Teil der Anhebeband 41 in der Substrataufbewahrungskassette 21 befindet oder nicht, also sich auf der Innenseite (d.h. (+Y)-Seite) der Substrataufbewahrungskassette 21 als die Öffnung 23 der Substrataufbewahrungskassette 21 befindet. Ob sich zumindest ein Teil der Anhebeband 41 in der Substrataufbewahrungskassette 21 befindet oder nicht, kann beispielsweise anhand der Position der Anhebeband 41 bestätigt werden, die durch eine Ausgabe eines Encoders des Y-Achsen-Anhebebandmotors 452 für den Antrieb der Anhebeband 41 in der Y-Richtung angezeigt wird. Es erfolgt ein Voranschreiten zu S204, ohne Schritt S203 auszuführen, wenn die Anhebeband 41 zur (-Y)-Seite von der Substrataufbewahrungskassette 21 zurückgezogen ist („NEIN“ in Schritt S202), während zu Schritt S203 vorangeschritten wird, wenn sich ein Teil der Anhebeband 41 in der Substrataufbewahrungskassette 21 befindet („JA“ in Schritt S202). In Schritt S203 zieht die Steuerungseinheit 100 die Anhebeband 41 aus der Substrataufbewahrungskassette 21 in Richtung der (-Y)-Seite heraus und zieht die Anhebeband 41 in Richtung der (-Y)-Seite der Substrataufbewahrungskassette 21 zurück, indem die Anhebeband 41 von dem Y-Achsen-Anhebebandmotor 452 in Richtung der (-Y)-Seite angetrieben wird.

[0054] In Schritt S204 positioniert die Steuerungseinheit 100 den Steckplatz 25, in dem der Ringrahmen Fr aufbewahrt wird, an einer Position, die um eine vorgegebene Höhe höher ist als die Substrateinschubhöhe 211, indem die Substrataufbewahrungskassette 21 in der Z-Richtung durch den Z-Achsen-Kassettenmotor 272 angetrieben wird. Diese vorgegebene Höhe ist kürzer als ein Abstand zwischen den in der Z-Richtung benachbarten Steckplätzen 25. Auf diese Weise wird die Bodenfläche des herauszunehmenden Ringrahmens Fr auf eine Position eingestellt, die um die vorgegebene Höhe höher liegt als die Anhebeband 41.

[0055] In Schritt S205 setzt die Steuerungseinheit 100 wie in Fig. 7A dargestellt, die Anhebeband 41 in die Substrataufbewahrungskassette 21 ein, indem sie die Anhebeband 41 durch den Y-Achsen-Anhebebandmotor 452 in Richtung der (+Y)-Seite antreibt. Auf diese Weise ist die Anhebeband 41 dem Ringrahmen Fr zugewandt und kann über einen Spalt von unten her entnommen werden.

[0056] In Schritt S206 senkt die Steuerungseinheit 100 die Substrataufbewahrungskassette 21 in der Z-Richtung mit Hilfe des Z-Achsen-Kassettenmotor 272 ab. Daher wird der zu entnehmende Ringrahmen Fr auf die Anhebeband 41 aufgesetzt und in Bezug auf den Steckplatz 25 (d. h. das Paar von Stützvorsprüngen 24, die den Steckplatz 25 definieren) nach oben bewegt.

[0057] In Schritt S207 zieht die Steuerungseinheit 100 die Anhebehand 41 in den außerhalb der Substrataufbewahrungskassette 21 bereitgestellten Substrattransferbereich Aw zurück, indem sie die Anhebehand 41 durch den Y-Achsen-Anhebehandmotor 452 zur (-Y)-Seite hin antreibt. Auf diese Weise befindet sich, wie in **Fig. 7B** gezeigt, der Ringrahmen Fr, der auf der Anhebehand 41 platziert ist, in dem Substrattransferbereich Aw.

[0058] In Schritt S301 der **Fig. 6** veranlasst die Steuerungseinheit 100, dass die Saughand 51 dem Ringrahmen Fr zugewandt ist, der in dem Substrattransferbereich Aw auf der Anhebehand 41 von oben gestützt wird, indem wie in **Fig. 7C** gezeigt die Position in der X-Richtung der Saughand 51 durch den X-Achsen-Saughandmotor 552 eingestellt wird. Zu diesem Zeitpunkt stellt die Steuerungseinheit 100 die Saughand 51 auf eine Position ein, die höher liegt als der Ringrahmen Fr, indem die Höhe der Saughand 51 durch den Z-Achsen-Saughandmotor 582 eingestellt wird. Daher ist die Saughand 51 dem Ringrahmen Fr über einen Spalt hinweg zugewandt.

[0059] In Schritt S302 bringt die Steuerungseinheit 100 die Bodenfläche 513 der Saughand 51 mit der oberen Fläche des Ringrahmens Fr in Kontakt, indem sie die Saughand 51 durch den Z-Achsen-Antriebsübertrager 581 bezüglich des Ringrahmens Fr absenkt. In Schritt S303 veranlasst die Steuerungseinheit 100 die Saugpumpe 591, einen Unterdruck in den in der Bodenfläche 513 der Saughand 51 vorgesehenen Sauglöchern zu erzeugen, und die Saughand 51 saugt den Ringrahmen Fr durch diesen Unterdruck an. Auf diese Weise wird der Ringrahmen Fr von der Saughand 51 gehalten. In Schritt S304 hebt die Steuerungseinheit 100 die Saughand 51 durch den Z-Achsen-Saughandmotor 582 an. Auf diese Weise hebt die Saughand 51 den Ringrahmen Fr von der Anhebehand 41 ab.

[0060] In Schritt S305 veranlasst die Steuerungseinheit 100, dass die Saughand 51 von oberhalb der Spannbühne 3 als Transferziel des Ringrahmens Fr weist, indem die Saughand 51 durch den X-Achsen-Saughandmotor 552 in Richtung der (+X)-Seite angetrieben wird, wie in **Fig. 7D** gezeigt. Zu diesem Zeitpunkt stellt die Steuerungseinheit 100 den Ringrahmen Fr, der von der Saughand 51 gehalten wird, auf eine Position ein, die höher ist als die Spannbühne 3, indem die Höhe der Saughand 51 durch den Z-Achsen-Saughandmotor 582 eingestellt wird. Daher ist der von der Saughand 51 gehaltene Ringrahmen Fr über einen Spalt hinweg der Spannbühne 3 zugewandt.

[0061] In Schritt S306 platziert die Steuerungseinheit 100 den von der Saughand 51 gehaltenen Ringrahmen Fr (und das Band E) auf der Saugplatte 31 der Spannbühne 3, indem die Saughand 51 durch

den Z-Achsen-Saughandmotor 582 abgesenkt wird. In Schritt S307 löst die Steuerungseinheit 100 das Ansaugen des Ringrahmens Fr durch die Saughand 51, indem sie die Saugpumpe 591 stoppt.

[0062] In Schritt S308 bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob es sich bei dem Transferziel des Ringrahmens Fr um die Spannbühne 3 handelt oder nicht. Wenn es sich bei dem Transferziel des Ringrahmens Fr beispielsweise um die Anhebehand 41 handelt, wie in Schritt S104, der später beschrieben wird, wird in Schritt S308 „NEIN“ bestimmt und das Ablaufdiagramm von **Fig. 6** ist beendet. Da es sich hier bei dem Transferziel des Ringrahmens Fr um die Spannbühne 3 handelt, wird in Schritt S308 „JA“ bestimmt, und es erfolgt ein Voranschreiten zu S309.

[0063] In Schritt S309 klemmt die Steuerungseinheit 100 den Ringrahmen Fr, der auf der Saugplatte 31 der Spannbühne 3 platziert ist, zwischen den Klammern 32 und der Saugplatte 31 ein, um den Ringrahmen Fr zu klemmen, indem die Klammern 32 von dem Klammerantrieb 691 angetrieben werden. Ferner veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S310 die Saugpumpe 591, einen Unterdruck in den in der oberen Fläche 311 der Saugplatte 31 vorgesehenen Sauglöchern zu erzeugen, und die Saugplatte 31 saugt das mit dem Ringrahmen Fr verbundene Band E durch diesen Unterdruck an. Auf diese Weise wird der Ringrahmen Fr von der Spannbühne 3 gehalten. In Schritt S311 hebt die Steuerungseinheit 100 die Saughand 51 durch den Z-Achsen-Saughandmotor 582 an. Dies bewirkt, dass sich die Saughand 51 nach oben von dem auf der Spannbühne 3 gehaltenen Ringrahmen Fr zurückzieht. Auf diese Weise wird, wie in **Fig. 7E** gezeigt, der Transfer des Ringrahmens Fr von der Substrataufbewahrungskassette 21 an die Spannbühne 3 abgeschlossen (Schritte S101, S102 von **Fig. 4**).

[0064] In Schritt S103 der **Fig. 4** wird eine Substratbearbeitung durchgeführt, um das Halbleitersubstrat W, das auf der Spannbühne 3 gehalten wird, durch den Laserstrahl B zu bearbeiten, und der Laserstrahl B wird auf die Vielzahl der geplanten Teilungslinien, die auf dem Halbleitersubstrat W bereitgestellt sind, gestrahlt. Diese Substratbearbeitung wird an späterer Stelle ausführlich beschrieben.

[0065] Wenn die Substratbearbeitung abgeschlossen ist, werden die Schritte S104, S105 durchgeführt. In Schritt S104 übergibt die Saughand 51 den Ringrahmen Fr von der Spannbühne 3 an die Anhebehand 41 in dem Substrattransferbereich Aw. In Schritt S105 legt die Anhebehand 41 den Ringrahmen Fr aus dem Substrattransferbereich Aw in der Substrataufbewahrungskassette 21 ab. Auf diese Weise wird das Halbleitersubstrat W, das auf dem Ringrahmen Fr gehalten wird, in der Substrataufbewahrungskassette 21 aus dem Substrattransferbe-

reich Aw aufbewahrt, nachdem es von der Spannbühne 3 zum Substrattransferbereich Aw transferiert wurde. Insbesondere wird der Transfer des Ringrahmens von **Fig. 6** in Schritt S104 durchgeführt, die Aufbewahrung des Ringrahmens von **Fig. 8** wird in Schritt S105 durchgeführt, und ein Vorgang, der dem in **Fig. 7A bis 7E** gezeigten Vorgang entgegengesetzt ist, wird durchgeführt. **Fig. 8** ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Aufbewahrung des Ringrahmens zeigt.

[0066] Da der in Schritt S104 durchgeführte Vorgang von **Fig. 6** dem in Schritt S102 ausgeführten Vorgang von **Fig. 6** ähnlich ist, konzentriert sich die Beschreibung auf die Unterschiede zum obigen Vorgang, und die Beschreibung gemeinsamer Vorgangsteile entfällt gegebenenfalls. In Schritt S301 von **Fig. 6** veranlasst die Steuerungseinheit 100, dass die Saughand 51 dem Ringrahmen Fr, der auf der Spannbühne 3 platziert ist, von oben zugewandt ist, indem die Position in der X-Richtung der Saughand 51 durch den X-Achsen-Saughandmotor 552 eingestellt wird. Dann senkt die Steuerungseinheit 100 die Saughand 51 auf den Ringrahmen Fr ab (Schritt S302) und veranlasst die Saughand 51, den Ringrahmen Fr anzusaugen (Schritt S303). Anschließend hebt die Steuerungseinheit 100 die Saughand 51 an (Schritt S304). Auf diese Weise hebt die Saughand 51 den Ringrahmen Fr von der Spannbühne 3 ab.

[0067] In Schritt S305 treibt die Steuerungseinheit 100 die Saughand 51 durch den X-Achsen-Saughandmotor 552 in Richtung der (-X)-Seite. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich die Anhebehand 41 in dem Substrattransferbereich Aw in Wartestellung. Auf diese Weise weist die Saughand 51 von oberhalb der Anhebehand 41 in den Substrattransferbereich Aw als Transferziel des Ringrahmens Fr. Dann platziert die Steuerungseinheit 100 den von der Saughand 51 gehaltenen Ringrahmen Fr auf der Anhebehand 41 durch Absenken der Saughand 51 durch den Z-Achsen-Saughandmotor 582 (Schritt S306). Dann löst die Steuerungseinheit 100 das Ansaugen des Ringrahmens Fr durch die Saughand 51, indem sie die Saugpumpe 591 stoppt (Schritt S307). In Schritt S308 bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob das Transferziel des Ringrahmens Fr die Spannbühne 3 ist oder nicht. Da das Transferziel des Ringrahmens Fr hier nicht die Spannbühne 3, sondern die Anhebehand 41 ist, wird in Schritt S308 „NEIN“ festgestellt, und das Ablaufdiagramm von **Fig. 6** ist beendet.

[0068] In Schritt S401 von **Fig. 8** bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob der Ringrahmen Fr auf der Anhebehand 41 platziert wurde oder nicht. Die Platzierung des Ringrahmens Fr auf der Anhebehand 41 kann beispielsweise auf Grundlage eines Verlaufs von Operationen der Saughand 51 zur Plat-

zierung des Ringrahmens Fr bestätigt werden. Wenn die Platzierung des Ringrahmens Fr auf der Anhebehand 41 bestätigt wird („JA“ in Schritt S401), bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob sich zumindest ein Teil der Anhebehand 41 in der Substrataufbewahrungskassette 21 befindet oder nicht (Schritt S402), wie in Schritt S202 oben beschrieben. Es erfolgt ein Voranschreiten zu Schritt S404, ohne Schritt S403 durchzuführen, wenn die Anhebehand 41 zur (-Y)-Seite von der Substrataufbewahrungskassette 21 zurückgezogen ist („NEIN“ in Schritt S402), während zu Schritt S403 vorangeschritten wird, wenn sich ein Teil der Anhebehand 41 in der Substrataufbewahrungskassette 21 befindet („JA“ in Schritt S402). In Schritt S403 zieht die Steuerungseinheit 100 die Anhebehand 41 in Richtung der (-Y)-Seite der Substrataufbewahrungskassette 21 zurück und zieht die Anhebehand 41 in Richtung der (-Y)-Seite aus der Substrataufbewahrungskassette 21 zurück, indem sie die Anhebehand 41 in Richtung der (-Y)-Seite durch den Y-Achsen-Anhebehandmotor 452 antreibt.

[0069] In Schritt S404 positioniert die Steuerungseinheit 100 den Steckplatz 25 (mit anderen Worten, das Paar von Stützvorsprüngen 24, die den Steckplatz 25 spezifizieren), in dem der Ringrahmen Fr gelagert werden soll, in einer Position, die um eine vorgegebene Höhe niedriger ist als die Substrateinsetzhöhe 211, indem die Substrataufbewahrungskassette 21 in der Z-Richtung durch den Z-Achsen-Kassettenmotor 272 angetrieben wird. Auf diese Weise wird der Steckplatz 25 für die Aufbewahrung auf eine Position eingestellt, die um die vorgegebene Höhe niedriger ist als die Bodenfläche des Ringrahmens Fr, der von der Anhebehand 41 gestützt wird.

[0070] In Schritt S405 führt die Steuerungseinheit 100 die Anhebehand 41 in die Substrataufbewahrungskassette 21 ein, indem sie die Anhebehand 41 durch den Y-Achsen-Anhebehandmotor 452 zur (+Y)-Seite hin bewegt. Auf diese Weise ist das Paar von Stützvorsprüngen 24, die den Steckplatz 25 für die Aufbewahrung vorgeben, von unten über einen Spalt hinweg und auf der Anhebehand gestützt dem Ringrahmen Fr zugewandt.

[0071] In Schritt S406 hebt die Steuerungseinheit 100 die Substrataufbewahrungskassette 21 in der Z-Richtung durch den Z-Achsen-Kassettenmotor 272 an. Auf diese Weise wird der Ringrahmen Fr auf dem Paar von Stützvorsprüngen 24, die den Steckplatz 25 für die Aufbewahrung vorgeben, platziert und in Bezug auf die Anhebehand 41 angehoben. In Schritt S407 zieht die Steuerungseinheit 100 die Anhebehand 41 zur Außenseite der Substrataufbewahrungskassette 21 zurück, indem sie die Anhebehand 41 durch den Y-Achsen-Anhebehandmotor 452 zur (-Y)-Seite hin antreibt.

[0072] Es wird angemerkt, dass beim Herausnehmen oder Aufbewahren des Ringrahmens Fr aus der oder in die Substrataufbewahrungskassette 21 eine Ringrahmenausrichtung Fr in Bezug auf die Anhebeband 41 durchgeführt werden kann. **Fig. 9** ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Ringrahmenausrichtung zeigt, und **Fig. 10** zeigt Draufsichten, die schematisch ein Beispiel für einen Vorgang zeigen, der bei der Ringrahmenausrichtung durchgeführt wird. Es wird angemerkt, dass das Ablaufdiagramm in **Fig. 9** durch eine Steuerung der Steuerungseinheit 100 durchgeführt wird.

[0073] In **Fig. 10** sind Elemente (Ausrichtungsvorsprünge 413 und dergleichen) unterhalb der Saughand 51 durch die Saughand 51 hindurch dargestellt. Das bedeutet, dass die Anhebeband 41 in diesem Beispiel eine Vielzahl von Ausrichtungsvorsprüngen 413 aufweist, die von dem Basisteil 41 nach oben ragen. Die Vielzahl dieser Ausrichtungsvorsprünge 413 entspricht der Vielzahl von Schlitzen Fs des Ringrahmens Fr. Die Ringrahmenausrichtung wird mit Hilfe der Ausrichtungsvorsprünge 413 und der Schlitze Fs durchgeführt.

[0074] Bei dieser Ringrahmenausrichtung wird der Ringrahmen Fr an der Anhebeband 41 von der Saughand 51 angesaugt (Schritt S501). Dann wird die Saughand 51, die den Ringrahmen Fr hält, angehoben, um den Ringrahmen Fr nach oben von der Anhebeband 41 zu trennen (Schritt S502). Zu diesem Zeitpunkt wird eine Trennhöhe des Ringrahmens Fr von der Anhebeband 41 so eingestellt, dass sich der Ringrahmen Fr in der Z-Richtung auf einer Höhe zwischen den unteren und oberen Enden der Ausrichtungsvorsprünge 413 befindet.

[0075] In Schritt S503 wird ein XY θ -Schwebemechanismus 561, der in den Z-Achsen-Schieber 56 eingebaut ist, eingeschaltet. Dieser XY θ -Schwebemechanismus 561 nimmt selektiv einen Schwebezustand zur schwebenden Abstützung der Saughand 51 und einen Sperrzustand zur festen Abstützung der Saughand 51 ein. Dabei bedeutet die schwebend Abstützung die Abstützung der Saughand 51 in einem Zustand, in dem sich die Saughand 51 in der X-Richtung, der Y-Richtung und der θ -Richtung in Bezug auf den XY θ - Schwebemechanismus 561 bewegen kann, und die feste Abstützung meint die Abstützung der Saughand 51 in einem Zustand, in dem die Saughand 51 an dem XY θ -Schwebemechanismus 561 befestigt ist. Wenn der XY θ -Schwebemechanismus 561 in Schritt S503 eingeschaltet wird, stützt der XY θ -Schwebemechanismus 561 schwebend die Saughand 51 und die Saughand 51 wird in der X-Richtung, der Y-Richtung und der θ -Richtung in Bezug auf den XY θ -Schwebemechanismus 561 bewegbar.

[0076] In Schritt S504 bewegt sich die Anhebeband 41 in der Y-Richtung und die Ausrichtungsvorsprünge 413 der Anhebeband 41 werden in Kontakt mit dem Umfangsrand des Ringrahmens Fr gebracht, der von der Saughand 51 gehalten wird. Zu diesem Zeitpunkt bewegt sich die Saughand 51 in Bezug auf den XY θ -Schwebemechanismus 561, so dass die Ausrichtungsvorsprünge 413 dem Umfangsrand des Ringrahmens Fr folgen. Im Ergebnis werden, wie in Feld von Schritt S504 von **Fig. 10** gezeigt, die jeweiligen Ausrichtungsvorsprünge 413 der Anhebeband 41 mit den jeweiligen Schlitzen Fs des Ringrahmens Fr in Eingriff gebracht und der Ringrahmen Fr wird in Bezug auf die Anhebeband 41 positioniert.

[0077] In Schritt S505 wird der XY θ -Schwebemechanismus 561 verriegelt. Auf diese Weise wird die Saughand 51 durch den XY θ -Schwebemechanismus 561 fest gehalten. In Schritt S506 wird dann die Ansaugung des Ringrahmens Fr durch die Saughand 51 gelöst und der Ringrahmen Fr wird auf die Anhebeband 41 gesetzt. In Schritt S507 wird der XY θ -Schwebemechanismus 561 ausgeschaltet, und die Saughand 51 wird durch den Z-Achsen-Schieber 56 gestützt, während sie am Z-Achsen-Schieber 56 befestigt ist. Auf diese Weise kann der Ringrahmen Fr in Bezug auf die Anhebeband 41 positioniert werden (Ringrahmenausrichtung).

[0078] Als nächstes wird die Substratbearbeitung ausführlich beschrieben. **Fig. 11** ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Substratbearbeitung zeigt, und **Fig. 12** zeigt Draufsichten, die schematisch ein Beispiel für einen Vorgang zeigen, der gemäß dem Ablaufdiagramm der **Fig. 11** durchgeführt wird. Das Ablaufdiagramm der **Fig. 11** wird durch eine Steuerung der Steuerungseinheit 100 durchgeführt.

[0079] In Schritt S601 der Substratbearbeitung von **Fig. 11** wird eine Kalibrierung durchgeführt, um eine Ebene der oberen Fläche (Rückfläche) des zu bearbeitenden Halbleitersubstrats W zu erlangen. **Fig. 13A** ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Kalibrierung zeigt, **Fig. 13B** ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Bühnenebenenspezifikation zeigt, die bei der Kalibrierung von **Fig. 13A** durchgeführt wird, und **Fig. 13C** ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel für die Substratebenenspezifikation zeigt, die bei der Kalibrierung von **Fig. 13A** durchgeführt wird. Es wird angemerkt, dass bei der Kalibrierung von **Fig. 13A** die Saugplatte 31 oder das Halbleitersubstrat W je nach Bedarf abgebildet wird. In dieser Beschreibung wird davon ausgegangen, dass die Bildgebung durch den Abbildungsteil 8B durchgeführt wird. Der folgende Vorgang kann jedoch in ähnlicher Weise durchgeführt werden, auch wenn die Bildgebung durch den Abbildungsteil 8A durchgeführt wird.

[0080] In Schritt S701 der Kalibrierung von **Fig. 13A** wird die Bühnenebenenspezifikation (**Fig. 13B**) durchgeführt. Wie in **Fig. 13B** gezeigt, wird bei der Bühnenebenenspezifikation ein Zählwert I zur Unterscheidung einer Vielzahl von (drei) Abbildungspunkten $Ps(I)$, die auf der oberen Fläche 311 der Saugeplatte 31 der Spannbühne 3 vorgesehen sind, auf Null zurückgesetzt (Schritt S801), und der Zählwert I wird um 1 erhöht (Schritt S802). Der Abbildungspunkt $Ps(I)$ ist zum Beispiel eine Markierung mit einem vorgegebenen Muster.

[0081] In Schritt S803 veranlasst die Steuerungseinheit 100, dass der Abbildungspunkt $Ps(I)$ der Infrarotkamera 81 von unten zugewandt ist, indem sie die Position der Spannbühne 3 durch den $XY\theta$ -Antriebsstisch 6 verstellt. Auf diese Weise fällt der Abbildungspunkt $Ps(I)$ in ein Sichtfeld der Infrarotkamera 81. In Schritt S803 bildet die Infrarotkamera 81 diesen Abbildungspunkt $Ps(I)$ ab und erlangt ein Bild, das den Abbildungspunkt $Ps(I)$ zeigt. In Schritt S804 bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob das vorgegebene Muster des Abbildungspunktes $Ps(I)$ durch eine Bildverarbeitung wie zum Beispiel Mustererkennung aus dem Bild detektiert werden kann oder nicht.

[0082] Wenn ein Fokus der Infrarotkamera 81 von dem Abbildungspunkt $Ps(I)$ abweicht und das vorgegebene Muster nicht aus dem Bild heraus detektiert werden kann („NEIN“ in Schritt S804), ändert die Steuerungseinheit 100 einen Abstand der Infrarotkamera 81 zu dem Abbildungspunkt $Ps(I)$ in der Z-Richtung, indem sie die Infrarotkamera 81 durch den Z-Achsen-Kameramotor 892 in der Z-Richtung antreibt (Schritt S805). Auf diese Weise wird der Fokus der Infrarotkamera 81 in der Z-Richtung geändert. Die Schritte S803 bis S805 werden wiederholt, bis der Fokus der Infrarotkamera 81 mit dem Abbildungspunkt $Ps(I)$ übereinstimmt und das vorgegebene Muster detektiert wird („JA“ in Schritt S804).

[0083] In Schritt S806 berechnet die Steuerungseinheit 100 die Position (X, Y, Z) des Abbildungspunktes $Ps(I)$ auf Grundlage des vorgegebenen Musters, das aus dem durch Abbildung des Abbildungspunktes $Ps(I)$ erlangten Bild detektiert wurde. Die X- und Y-Koordinaten des Abbildungspunktes $Ps(I)$ werden auf Grundlage der Position des in dem Bild enthaltenen vorgegebenen Musters berechnet. Eine Z-Koordinate des Abbildungspunktes $Ps(I)$ wird auf Grundlage der Position der Infrarotkamera 81 in der Z-Richtung berechnet, wenn das Bild, aus dem das vorgegebene Muster detektiert werden konnte, abgebildet wurde.

[0084] In Schritt S807 wird bestätigt, ob der Zählwert I den Wert 2 erreicht hat oder nicht, d.h. die Positionen (X, Y, Z) zweier Bildpunkte $Ps(1)$, $Ps(2)$ wurden erlangt. Ist der Zählwert I kleiner als 2 („NEIN“ in Schritt S807), erfolgt eine Rückkehr zu Schritt

S802 und es werden die Schritte S802 bis S806 durchgeführt. Wenn der Zählwert I gleich 2 ist („JA“ in Schritt S807), erfolgt ein Voranschreiten zu Schritt S808.

[0085] In Schritt S808 wird ein Drehwinkel θ_a für die Drehung der Spannbühne 3 in der θ -Richtung so berechnet, dass eine durch die beiden Abbildungspunkte $Ps(1)$ und $Ps(2)$ verlaufende Gerade horizontal ist. Wenn eine Differenz zum aktuellen Drehwinkel der Saugebene 31 (Differenz zwischen einem aktuellen Drehwinkel und dem Drehwinkel θ_a) nicht Null ist („NEIN“ in Schritt S809), wird die Spannbühne 3 um den Drehwinkel θ_a gedreht (Schritt S810) und es erfolgt eine Rückkehr zu Schritt S801. Auf diese Weise werden die Schritte S801 bis S809 durchgeführt.

[0086] Wenn die Differenz zum aktuellen Drehwinkel der Saugebene 31 (Differenz zwischen dem aktuellen Drehwinkel und dem Drehwinkel θ_a) Null ist („JA“ in Schritt S809), erfolgt ein Voranschreiten zu Schritt S811. In Schritt S811 bildet die Steuerungseinheit 100 den Abbildungspunkt $Ps(3)$ durch die Infrarotkamera 81 ab und erlangt ein Bild, das den Abbildungspunkt $Ps(3)$ in der gleichen Weise wie in Schritt S803 zeigt. In Schritt S812 bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob ein vorgegebenes Muster, das in dem Abbildungspunkt $Ps(3)$ enthalten ist, aus diesem Bild durch eine Bildverarbeitung, wie zum Beispiel Mustererkennung, detektiert werden kann oder nicht.

[0087] Wenn das vorgegebene Muster nicht aus dem Bild detektiert werden kann („NEIN“ in Schritt S812), ändert die Steuerungseinheit 100 einen Abstand der Infrarotkamera 81 zum Abbildungspunkt $Ps(3)$ in der Z-Richtung, indem sie die Infrarotkamera 81 mit dem Z-Achsen-Kameramotor 892 in der Z-Richtung antreibt (Schritt S813). Die Schritte S811 bis S813 werden so lange wiederholt, bis das vorgegebene Muster detektiert wird („JA“ in Schritt S812).

[0088] Wenn das vorgegebene Muster in Schritt S812 (JA) detektiert werden kann, berechnet die Steuerungseinheit 100 die Position (X, Y, Z) des Abbildungspunktes $Ps(3)$ auf Grundlage des vorgegebenen Musters, das aus dem Bild detektiert wurde, das durch Abbilden des Abbildungspunktes $Ps(3)$ erlangt wurde (Schritt S814). Auf diese Weise wird die Position (X, Y, Z) von jedem der drei Abbildungspunkte $Ps(1)$, $Ps(2)$ und $Ps(3)$ erlangt. In Schritt S815 wird eine Ebene, die durch diese drei Positionen (X, Y, Z) verläuft, als eine Ebene festgelegt, die die Ebene der Spannbühne 3, insbesondere die obere Fläche 311 der Saugebene 31, darstellt.

[0089] In Schritt S702 der Kalibrierung von **Fig. 13A** wird die Substratebenenspezifikation (**Fig. 13C**) durchgeführt. Wie in **Fig. 13C** gezeigt, wird bei der

Substratebenenspezifikation ein Zählwert I zur Unterscheidung einer Vielzahl von (drei) Abbildungspunkten $Pw(I)$ des Halbleitersubstrats W auf Null zurückgesetzt (Schritt S901), und der Zählwert I wird um 1 erhöht (Schritt S902). Die Abbildungspunkte $Pw(I)$ sind zum Beispiel ein Bereich mit einem vorgegebenen Muster.

[0090] Konkret ist das Halbleitersubstrat W , wie in **Fig. 12** gezeigt, in Form eines Gitters durch geplante Teilungslinien S (S_a , S_b) orthogonal zueinander abgegrenzt. Das bedeutet, das Halbleitersubstrat W ist mit einer Vielzahl der geplanten Teilungslinien S_a parallel zueinander und einer Vielzahl der geplanten Teilungslinien S_b parallel zueinander versehen, und die geplanten Teilungslinien S_a und die geplanten Teilungslinien S_b sind orthogonal zueinander. Auf diese Weise wird eine Vielzahl von Halbleiterchips C in einem Gitter über die geplanten Teilungslinien S_a , S_b aufgereiht. Im Gegensatz dazu wird ein Bereich, der einen Schnittpunkt der geplanten Teilungslinie S_a und der geplanten Teilungslinie S_b beinhaltet (mit anderen Worten, ein Punkt, der von den an vier Ecken angeordneten Halbleiterchips C umgeben ist), als Abbildungspunkt $Pw(I)$ festgelegt. Da die Rückseite des Halbleitersubstrats W wie oben beschrieben nach oben weist, bildet die Infrarotkamera 81 die geplanten Teilungslinien S_a , S_b und die Halbleiterchips C , die auf der Vorderseite des Halbleitersubstrats W gebildet sind, durch die Rückseite des Halbleitersubstrats W mit Infrarotstrahlen ab.

[0091] In Schritt S903 veranlasst die Steuerungseinheit 100, dass der Abbildungspunkt $Pw(I)$ der Infrarotkamera 81 von unten zugewandt ist, indem sie die Position der Spannbühne 3 durch den $XY\theta$ -Antriebs-tisch 6 verstellt. Auf diese Weise fällt der Abbildungspunkt $Pw(I)$ in das Sichtfeld der Infrarotkamera 81. In Schritt S903 bildet die Infrarotkamera 81 diesen Abbildungspunkt $Pw(I)$ ab und erlangt ein Bild, das den Abbildungspunkt $Pw(I)$ zeigt. In Schritt S904 bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob ein vorgegebenes Muster (zum Beispiel ein Schnittmuster der geplanten Teilungslinien S_a , S_b), das in dem Abbildungspunkt $Pw(I)$ enthalten ist, aus diesem Bild durch eine Bildverarbeitung, wie zum Beispiel Mustererkennung, detektiert werden kann oder nicht.

[0092] Wenn der Fokus der Infrarotkamera 81 vom Abbildungspunkt $Pw(I)$ abweicht und das vorgegebene Muster nicht aus dem Bild detektiert werden kann („NEIN“ in Schritt S904), ändert die Steuerungseinheit 100 einen Abstand der Infrarotkamera 81 zum Abbildungspunkt $Pw(I)$ in der Z -Richtung, indem sie die Infrarotkamera 81 durch den Z -Achsen-Kameramotor 892 in der Z -Richtung antreibt (Schritt S905). Auf diese Weise wird der Fokus der Infrarotkamera 81 in der Z -Richtung geändert. Die Schritte S903 bis S905 werden wiederholt, bis der Fokus der Infrarotkamera 81 mit dem Abbildungs-

punkt $Pw(I)$ übereinstimmt und das vorgegebene Muster detektiert wird („JA“ in Schritt S904).

[0093] Es wird angemerkt, dass die Ebene (Bühnenebene), die die obere Fläche 311 der Saugebene 31 darstellt, durch die zuvor durchgeführte Bühnenebenenspezifikation (**Fig. 13B**) festgelegt wird. Dementsprechend kann ein Höhenbereich, in dem der Abbildungspunkt $Pw(I)$ des Halbleitersubstrats W , das auf der Saugebene 31 angeordnet ist, vorhanden ist, auf Grundlage dieser Bühnenebene geschätzt werden. Daher wird in Schritt S805 die Höhe der Infrarotkamera 81 so verändert, dass der Fokus der Infrarotkamera 81 in einen Bereich fällt, in dem der aus der Bühnenebene geschätzte Abbildungspunkt $Pw(I)$ vorhanden ist.

[0094] In Schritt S906 berechnet die Steuerungseinheit 100 die Position (X , Y , Z) des Abbildungspunkts $Pw(I)$ auf Grundlage des vorgegebenen Musters, das aus dem durch Abbildung des Abbildungspunkts $Pw(I)$ erlangten Bild detektiert wurde. Die X - und Y -Koordinaten des Abbildungspunktes $Pw(I)$ werden auf Grundlage der Position des in dem Bild enthaltenen vorgegebenen Musters berechnet. Eine Z -Koordinate des Abbildungspunktes $Pw(I)$ wird auf Grundlage der Position der Infrarotkamera 81 in der Z -Richtung berechnet, als das Bild, aus dem das vorgegebene Muster detektiert werden konnte, abgebildet wurde.

[0095] In Schritt S907 wird bestätigt, ob der Zählwert I den Wert 2 erreicht hat oder nicht, d.h. die Positionen (X , Y , Z) zweier Bildpunkte $Ps(1)$, $Ps(2)$ wurden erlangt. Ist der Zählwert I kleiner als 2 („NEIN“ in Schritt S907), erfolgt eine Rückkehr zu Schritt S902 und es werden die Schritte S902 bis S906 durchgeführt. Wenn der Zählwert I gleich 2 ist („JA“ in Schritt S902), erfolgt ein Voranschreiten zu Schritt S908.

[0096] In Schritt S908 wird anhand der beiden Abbildungspunkte $Pw(1)$, $Pw(2)$ ein Drehwinkel Ob für die Drehung der Spannbühne 3 in der θ -Richtung so berechnet, dass die geplanten Teilungslinien S_a parallel zur X -Richtung (Bearbeitungsrichtung) verlaufen. Ist eine Differenz zum aktuellen Drehwinkel der Saugebene 31 (Differenz zwischen einem aktuellen Drehwinkel und dem Drehwinkel θ_b) ungleich Null („NEIN“ in Schritt S909), wird die Spannbühne 3 um den Drehwinkel θ_b gedreht (Schritt S910) und es erfolgt eine Rückkehr zu Schritt S901. Auf diese Weise werden die Schritte S901 bis S909 durchgeführt.

[0097] Wenn die Differenz zum aktuellen Drehwinkel der Saugebene 31 (Differenz zwischen dem aktuellen Drehwinkel und dem Drehwinkel Ob) Null ist („JA“ in Schritt S909), erfolgt ein Voranschreiten zu Schritt S911. In Schritt S911 nimmt die Steuerungseinheit 100 den Abbildungspunkt $Pw(3)$ mit der

Infrarotkamera 81 auf und erlangt ein Bild, das den Abbildungspunkt Pw(3) auf die gleiche Weise wie in Schritt S903 zeigt. In Schritt S912 bestätigt die Steuerungseinheit 100, ob ein vorgegebenes Muster, das in dem Abbildungspunkt Pw(3) enthalten ist, aus diesem Bild durch eine Bildverarbeitung, wie zum Beispiel Mustererkennung, detektiert werden kann oder nicht.

[0098] Wenn das vorgegebene Muster nicht aus dem Bild detektiert werden kann („NEIN“ in Schritt S912), ändert die Steuerungseinheit 100 den Abstand der Infrarotkamera 81 zum Abbildungspunkt Pw(3) in der Z-Richtung, indem sie die Infrarotkamera 81 durch den Z-Achsen-Kameramotor 892 in der Z-Richtung antreibt (Schritt S913). Die Schritte S911 bis S913 werden wiederholt, bis das vorgegebene Muster detektiert wird („JA“ in Schritt S912). Zu diesem Zeitpunkt wird ein Bereich zum Ändern der Höhe der Infrarotkamera 81 auf Grundlage der Bühnenebene wie in dem vorgenannten Fall eingestellt.

[0099] Wenn das vorgegebene Muster in Schritt S912 detektiert werden kann (JA), berechnet die Steuerungseinheit 100 die Position (X, Y, Z) des Abbildungspunktes Pw(3) auf Grundlage des vorgegebenen Musters, das aus dem Bild detektiert wurde, das durch Abbildung des Abbildungspunktes Pw(3) erlangt wurde (Schritt S914). Auf diese Weise wird die Position (X, Y, Z) von jedem der drei Abbildungspunkte Pw(1), Pw(2) und Pw(3) erlangt. In Schritt S915 wird eine Ebene, die durch diese drei Positionen (X, Y, Z) verläuft, als eine Ebene festgelegt, die das Halbleitersubstrat W repräsentiert.

[0100] Unter Rückbezug auf **Fig. 11** wird die Beschreibung fortgesetzt. Wenn das Halbleitersubstrat W so positioniert ist, dass die geplanten Teilungslinien Sa parallel zur X-Richtung verlaufen und die Ebene, die das Halbleitersubstrat W darstellt, durch Ausführen der oben beschriebenen Kalibrierung festgelegt wird (Schritt S601), wird die Linienbearbeitung (Schritt S602) für jede geplante Teilungslinie Sa durchgeführt. Das bedeutet, dass jede der Vielzahl geplanter Teilungslinien Sa durch den Laserstrahl B bearbeitet wird, indem die Linienbearbeitung zum Aufstrahlen des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition Lb durchgeführt wird, während die Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung entlang der geplanten Ziel-Teilungslinie Sa bewegt wird, während die geplante Ziel-Teilungslinie Sa aus der Vielzahl geplanter Teilungslinien Sa geändert wird. Insbesondere, wie im Feld von Schritt S602 von **Fig. 12** gezeigt, werden die Linienbearbeitung des Bewegers der Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X) in der X-Richtung und die Linienbearbeitung des Bewegers der Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (-X) Seite in der X-Richtung abwechselnd durchgeführt.

[0101] Zu diesem Zeitpunkt wird eine Bewegung des Laserstrahls B in Richtung der (+X)-Seite in Bezug auf die geplante Teilungslinie Sa durchgeführt, indem die das Halbleitersubstrat W haltende Spann Bühne 3 in Richtung der (-X)-Seite durch den X-Achsen-Antreiber 65 angetrieben wird, und es wird eine Bewegung des Laserstrahls B in Richtung der (-X)-Seite in Bezug auf die geplante Teilungslinie Sa durchgeführt, indem die das Halbleitersubstrat W haltende Spann Bühne 3 in Richtung der (+X)-Seite von dem X-Achsen-Antreiber 65 angetrieben wird. Ferner wird die geplante Teilungslinie Sa der Linienbearbeitung geändert, indem die das Halbleitersubstrat W haltende Spann Bühne 3 von dem Y-Achsen-Antreiber 63 in die Y-Richtung angetrieben wird. Die Steuerungseinheit 100 führt ferner eine Steuerung zum Einstellen der Position in der Z-Richtung des Bearbeitungskopfes 71 durch den Z-Achsen-Kopfmotor 792 auf Grundlage der Ebene aus, die das Halbleitersubstrat W darstellt, das durch die Kalibrierung von Schritt S601 spezifiziert wurde. Auf diese Weise wird eine Bündelungsposition des Laserstrahls B nach innerhalb des Halbleitersubstrats W justiert und innerhalb des Halbleitersubstrats W entlang der geplanten Teilungslinien Sa wird eine modifizierte Schicht gebildet.

[0102] Wenn die Linienbearbeitung für jede der Vielzahl von geplanten Teilungslinien Sa auf diese Weise abgeschlossen ist (Schritt S602), wird die das Halbleitersubstrat W haltende Spann Bühne 3 durch den θ -Achsen-Tischmotor 66 um 90° in die θ -Richtung gedreht. Auf diese Weise wird ein Wechsel von einem Zustand, in dem die Vielzahl von geplanten Teilungslinien Sa, an denen die Linienbearbeitung durchgeführt wurde, parallel zur X-Richtung positioniert sind (Feld „S602_e“ von **Fig. 12**), zu einem Zustand durchgeführt, in dem die Vielzahl von geplanten Teilungslinien Sb parallel zur X-Richtung positioniert sind (Feld „S603“ der **Fig. 12**).

[0103] In Schritt S604 wird die Kalibrierung wie in dem oben beschriebenen Schritt S601 durchgeführt. Ferner wird in Schritt S605 die Linienbearbeitung für jede der Vielzahl von geplanten Teilungslinien Sb wie in dem eingangs beschriebenen Schritt S602 durchgeführt.

[0104] **Fig. 14** ist ein Ablaufdiagramm, das einen grundlegenden Prozess der Linienbearbeitung für jede geplante Teilungslinie zeigt, und **Fig. 15A** zeigt Diagramme, die schematisch ein erstes Beispiel eines Vorgangs zeigen, der gemäß dem Ablaufdiagramm von **Fig. 14** durchgeführt wird. In **Fig. 15A** ist eine Spur der Laserbestrahlungsposition Lb, die sich relativ zu dem Halbleitersubstrat W bewegt, durch eine gepunktete Linie dargestellt, und gedachte Geraden Sv1, Sv2, Sv3, die sich parallel zur X-Richtung entlang der geplanten Teilungslinien S1, S2, S3 zwischen den beiden äußeren Seiten der

geplanten Teilungslinien S1, S2, S3 erstrecken, sind durch eine Einpunkt-Kettenlinie dargestellt. Es wird angemerkt, dass die gepunkteten Linien, die die Spur der Laserbestrahlungsposition Lb darstellen, bevorzugt in den Teilen gezeigt werden, in denen sich die Spur der Laserbestrahlungsposition Lb und die gedachten Geraden Sv1, Sv2, Sv3 überschneiden.

[0105] In dem in **Fig. 15A** gezeigten Beispiel wird das Ablaufdiagramm von **Fig. 14** von einem Zustand aus gestartet, in dem die Laserbestrahlungsposition Lb an einer Position Pb1 auf der (-X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung gestoppt ist. Diese Position Pb1 ist eine Position, die auf der gedachten Geraden Sv1 entlang der geplanten Teilungslinie S1 vorgesehen ist, mit anderen Worten, die der geplanten Teilungslinie S1 aus der X-Richtung zugewandt ist. Die Position der Laserbestrahlungsposition Lb beim Start des Ablaufdiagramms von **Fig. 14** ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann zweckmäßig geändert werden.

[0106] In Schritt S1001 beginnt die an der Position Pb1 gestoppte Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung auf die (+X)-Seite zu beschleunigen und bewegt sich parallel zur X-Richtung. Dabei bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb entlang der gedachten Geraden Sv1 in Richtung der (+X)-Seite. Wenn eine Geschwindigkeit Vx der Laserbestrahlungsposition Lb bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Laserbestrahlungsposition Lb ein Ende des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite erreicht, auf eine Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd ansteigt, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung (Schritt S1002).

[0107] Ferner wird die Laserlichtquelle 72 eingeschaltet und die Bestrahlung des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition Lb vom Bearbeitungskopf 71 wird entsprechend einem Zeitpunkt gestartet, zu dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite erreicht (Schritt S1003). Ferner wird die Laserlichtquelle 72 ausgeschaltet und die Bestrahlung des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition Lb vom Bearbeitungskopf 71 wird entsprechend einem Zeitpunkt beendet, an dem die Laserbestrahlungsposition Lb ein Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht (Schritt S1004). Auf diese Weise wird während eines Zeitraums von Schritt S1003 bis Schritt S1004 die Laserbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1 durchgeführt, indem der Laserstrahl B auf die Laserbestrahlungsposition Lb gestrahlt wird, während die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S1 bewegt wird (Linienbearbeitung).

[0108] Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S1 in Richtung der (+X)-Seite durchläuft, beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung zu verlangsamen (Schritt S1005) und hält an einer Position Pb2 auf der (+X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung an (Schritt S1006). Diese Position Pb2 ist eine Position, die auf der gedachten Geraden Sv2 vorgesehen ist, die an die gedachte Gerade Sv1 in der Y-Richtung angrenzt, mit anderen Worten, die der geplanten Teilungslinie S2 aus der X-Richtung zugewandt ist. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb in den Schritten S1005 bis S1006 in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der gedachten Geraden Sv2 parallel zur Verzögerung in der X-Richtung bewegt.

[0109] Eine Positionsbeziehung zwischen den Abbildungsbereichen Ri (**Fig. 1**) der Abbildungsteile 8A, 8B und der Laserbestrahlungsposition Lb des Bearbeitungskopfes 71 ist festgelegt. Daher bewegen sich in den Schritten S1001 bis S1006 die Abbildungsbereiche Ri auch relativ in Bezug auf das Halbleitersubstrat W, wenn sich die Laserbestrahlungsposition Lb relativ zu dem Halbleitersubstrat W bewegt. Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb an der Position Pb2 gestoppt wird, stoppt der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B an einer Position, die mindestens einen Abbildungspunkt Pw(S2) beinhaltet. Dieser Abbildungspunkt Pw(S2) ist ein Schnittpunkt, an dem sich die geplante Teilungslinie S2 und die geplante Teilungslinie S orthogonal zu der Linie S2 in dem Halbleitersubstrat W schneiden. Dementsprechend veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S1006 den Abbildungsteil 8B, den Abbildungsbereich Ri abzubilden und ein Bild zu erlangen, das den Abbildungspunkt Pw(S2) beinhaltet. Dadurch kann die Steuerungseinheit 100 ein Bild erlangen, das die Position der unbearbeiteten geplanten Teilungslinie S2 zeigt.

[0110] In Schritt S1007 wird bestätigt, ob die Laserbearbeitung für die Vielzahl geplanter Teilungslinien S parallel zur X-Richtung abgeschlossen ist oder nicht. Wenn es unter diesen geplanten Teilungslinien S eine beliebige, unbearbeitete geplante Teilungslinie S gibt („NEIN“ in Schritt S1007), erfolgt eine Rückkehr zu Schritt S1001.

[0111] In dem Beispiel von **Fig. 15A** beginnt die an der Position Pb2 gestoppte Laserbestrahlungsposition Lb in Schritt S1001 in der X-Richtung zur (-X)-Seite hin zu beschleunigen und bewegt sich parallel zur X-Richtung. Dabei bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb entlang der gedachten Geraden Sv2 in Richtung der (-X)-Seite. Wenn die Geschwindigkeit Vx der Laserbestrahlungsposition Lb bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht, auf die Bearbeitungsgeschwin-

digkeit V_{xd} ansteigt, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition L_b mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung (Schritt S1002).

[0112] Dabei fallen eine Position, an der die Laserbestrahlungsposition L_b , die die geplante Teilungslinie S_1 in Richtung der (+X)-Seite durchlaufen hat, beginnt, sich zu verzögern (mit anderen Worten, eine X-Koordinate, an der die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in Richtung der (+X)-Seite beendet ist), und eine Position, an der die Laserbestrahlungsposition L_b , die in Richtung der (-X)-Seite in Richtung der geplanten Teilungslinie S beschleunigt, die Beschleunigung beendet (mit anderen Worten, eine X-Koordinate, an der die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit in Richtung der (-X)-Seite beginnt), zusammen. Das bedeutet, die X-Koordinate, bei der die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit der Laserbestrahlungsposition L_b , die die geplante Teilungslinie S_n , zu der die Linienbearbeitung in der n^{ten} Umdrehung durchgeführt werden soll, durchlaufen hat, beendet und die Verzögerung gestartet wird, und die X-Richtung, bei der die Laserbestrahlungsposition L_b , die sich zur geplanten Teilungslinie S_{n+1} , zu der die Linienbearbeitung in der $(n+1)^{\text{ten}}$ Umdrehung durchgeführt werden soll, bewegt, die Beschleunigung beendet und die Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit startet, fallen zusammen.

[0113] Ferner wird die Laserlichtquelle 72 eingeschaltet und das Aufstrahlen des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition L_b vom Bearbeitungskopf 71 wird gemäß einem Zeitpunkt gestartet, zu dem die Laserbestrahlungsposition L_b das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht (Schritt S1003). Ferner wird die Laserlichtquelle 72 ausgeschaltet und die Bestrahlung des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition L_b vom Bearbeitungskopf 71 wird gemäß einem Zeitablauf beendet, bei dem die Laserbestrahlungsposition L_b das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite erreicht (Schritt S1004). Auf diese Weise wird während eines Zeitraums von Schritt S1003 bis Schritt S1004 die Laserbearbeitung für die geplante Teilungslinie S_2 durchgeführt, indem der Laserstrahl B auf die Laserbestrahlungsposition L_b gestrahlt wird, während die Laserbestrahlungsposition L_b in Richtung der (-X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S_2 bewegt wird (Linienbearbeitung).

[0114] Wenn die Laserbestrahlungsposition L_b die geplante Teilungslinie S_2 in Richtung der (-X)-Seite durchläuft, beginnt die Laserbestrahlungsposition L_b in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung zu verlangsamen (Schritt S1005) und hält an einer Position Pb_3 auf der (-X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung an (Schritt S1006). Diese Position Pb_3 ist eine Position, die auf der gedachten Geraden

Sv_3 neben der gedachten Geraden Sv_2 in der Y-Richtung vorgesehen ist, mit anderen Worten, die der geplanten Teilungslinie S_3 aus der X-Richtung gegenüberliegt. Das bedeutet, dass sich in den Schritten S1005 bis S1006 die Laserbestrahlungsposition L_b in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv_2 zu der gedachten Geraden Sv_3 parallel zur Verzögerung in der X-Richtung bewegt.

[0115] Wenn die Laserbestrahlungsposition L_b an der Position Pb_3 gestoppt wird, stoppt der Abbildungsbereich R_i des Abbildungsteils 8A an einer Position, die mindestens einen Abbildungspunkt P_w (S_3) beinhaltet. Dieser Abbildungspunkt $P_w(S_3)$ ist ein Schnittpunkt der geplanten Teilungslinie S_3 und der geplanten Teilungslinie S orthogonal zu dieser Linie S_3 in dem Halbleitersubstrat W . Dementsprechend veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S1006 den Abbildungsteil 8A, den Abbildungsbereich R_i abzubilden und ein Bild zu erlangen, das den Abbildungspunkt $P_w(S_3)$ beinhaltet. Auf diese Weise kann die Steuerungseinheit 100 ein Bild erlangen, das die Position der unbearbeiteten geplanten Teilungslinie S_3 zeigt.

[0116] Die Schritte S1001 bis S1007 werden so lange wiederholt, bis bestätigt wird, dass die Linienbearbeitung für die Vielzahl geplanter Teilungslinien S (S_1, S_2, S_3, \dots) parallel zur X-Richtung abgeschlossen ist („JA“ in Schritt S1007).

[0117] Als nächstes wird eine Geschwindigkeitsänderung der Laserbestrahlungsposition L_b unter Bezugnahme auf eine „Geschwindigkeitsänderung in X-Richtung“ und eine „Geschwindigkeitsänderung in der Y-Richtung“ in Fig. 15A beschrieben. Hier gibt die Geschwindigkeit V_x eine Geschwindigkeit an, mit der die Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung in Bezug auf das Halbleitersubstrat W bewegt wird, und die Geschwindigkeit V_y gibt eine Geschwindigkeit an, mit der die Laserbestrahlungsposition L_b in der Y-Richtung in Bezug auf das Halbleitersubstrat W bewegt wird. Ferner gibt die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} eine Geschwindigkeit an, mit der die Laserbestrahlungsposition L_b mit einer konstanten Geschwindigkeit in der X-Richtung entlang der geplanten Teilungslinie S (d.h. der Geschwindigkeit V_x) bewegt wird, und wird durch einen absoluten Wert unabhängig von der Bewegung zur (+X)-Seite oder der Bewegung zur (-X)-Seite dargestellt.

[0118] In einem Linienbearbeitungszeitraum Ts_1 (Schritte S1002 bis S1004), während dem die Linienbearbeitung der Bewegung des Laserstrahls B in Richtung der (+X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S_1 durchgeführt wird, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition L_b nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in der X-Richtung bewegt.

Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition L_b in einem Linienbearbeitungszeitraum T_{s2} (Schritte S1002 bis S1004), während dem die Linienbearbeitung des Bewegens des Laserstrahls B in Richtung der (-X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S_2 durchgeführt wird, nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in der X-Richtung bewegt.

[0119] In einem Umschaltzeitraum T_c (Schritte S1005, S1006 und S1001), in dem von dem Linienbearbeitungszeitraum T_{s1} auf den Linienbearbeitungszeitraum T_{s2} umgeschaltet wird, wird der nachstehende Vorgang durchgeführt. Das bedeutet, der X-Achsen-Antrieber 65 (Bearbeitungsachsen-Antrieber) führt einen Rückwärtsantrieb durch, um die Laserbestrahlungsposition L_b zu der geplanten Teilungslinie S_2 (zweite Bearbeitungslinie) zu verbringen, indem er die Laserbestrahlungsposition L_b zur (-X)-Seite hin beschleunigt (Schritt S1001), nachdem er die Laserbestrahlungsposition L_b verlangsamt und angehalten hat, die die vorgesehene Teilungslinie S_1 (erste Bearbeitungslinie) in Richtung der (+X)-Seite (erste Seite) durchlaufen hat, in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung (Bearbeitungsrichtung) (Schritt S1005). Parallel zu diesem Rückwärtsantrieb bewegt der Y-Achsen-Antrieber 63 (Vorschubachsen-Antrieber) die Laserbestrahlungsposition L_b in der Y-Richtung (Vorschubrichtung) von der in der X-Richtung nach außen der geplanten Teilungslinie S_1 verlängerten gedachten Geraden S_{v1} (erste gedachte Gerade) entlang der geplanten Teilungslinie S_1 zu der in der X-Richtung nach außerhalb der geplanten Teilungslinie S_2 verlängerten gedachten Geraden S_{v2} (zweite gedachte Gerade) entlang der geplanten Teilungslinie S_2 (zweite Bearbeitungslinie).

[0120] Insbesondere beinhaltet der Umschaltzeitraum T_c einen Verzögerungszeitraum T_d (Schritt S1005) zum Verzögern der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung und einen Beschleunigungszeitraum T_a (Schritt S1001) zum Beschleunigen der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung, und eine Bewegung der Laserbestrahlungsposition L_b in der Y-Richtung wird während dem Verzögerungszeitraum T_d außerhalb dem Verzögerungszeitraum T_d und des Beschleunigungszeitraums T_a durchgeführt. Insbesondere wird die Bewegung der Laserbestrahlungsposition L_b in der Y-Richtung nach dem Beginn des Verzögerungszeitraums T_d begonnen und die Bewegung der Laserbestrahlungsposition L_b in der Y-Richtung vor dem Ende des Verzögerungszeitraums T_d beendet. Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition L_b während des Beschleunigungszeitraums T_a nicht in der Y-Richtung.

[0121] Dabei gibt ein Startpunkt dem Verzögerungszeitraum T_d einen Zeitpunkt an, an dem die Verzöge-

rung der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung begonnen wird (d.h. es beginnt eine Verringerung des Absolutwerts der Geschwindigkeit V_x von der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd}), und ein Endpunkt dem Verzögerungszeitraum T_d gibt einen Zeitpunkt an, an dem die Geschwindigkeit der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung (d.h. die Geschwindigkeit V_x) Null wird. Ein Startpunkt des Beschleunigungszeitraums T_a zeigt einen Zeitpunkt an, an dem die Beschleunigung der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung begonnen wird (mit anderen Worten, es beginnt eine Erhöhung des Absolutwerts der Geschwindigkeit V_x von Null), und ein Endpunkt des Beschleunigungszeitraums T_a zeigt einen Zeitpunkt an, an dem die Beschleunigung der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung beendet ist (mit anderen Worten, ein Zeitpunkt, an dem der Absolutwert der Geschwindigkeit V_x zur Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} wird).

[0122] Ferner werden in einem Stoppzeitraum T_t , der unterwegs während eines Übergangs von dem Beschleunigungszeitraum T_a zum Verzögerungszeitraum T_d vorgesehen ist, sowohl die Geschwindigkeit V_x der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung als auch deren Geschwindigkeit V_y in der Y-Richtung Null, und die Laserbestrahlungsposition L_b wird an der Position P_{b2} in Bezug auf das Halbleitersubstrat W gestoppt. In diesem Stoppzeitraum T_t werden auch die Abbildungsbereiche R_i der Abbildungsteile 8A, 8B in Bezug auf das Halbleitersubstrat W gestoppt. Insbesondere befindet sich der Abbildungsbereich R_i des Abbildungsteils 8B auf der (-X)-Seite der Laserbestrahlungsposition L_b , die sich auf der (+X)-Seite des Halbleitersubstrats W befindet, und überlappt das Halbleitersubstrat W . Dementsprechend bildet die Infrarotkamera 81 des Abbildungsteils 8B einen Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich R_i in dem Stoppzeitraum T_t überlappt (Schritt S1006).

[0123] Fig. 15B zeigt Diagramme, die schematisch ein zweites Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm der Fig. 14 durchgeführten Vorgang darstellen. Die Notation in Fig. 15B ist ähnlich wie die in Fig. 15A. Auch in Fig. 15B wird die Laserbearbeitung der Reihe nach für die geplanten Teilungslinien S_1 , S_2 , S_3 gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 wie in Fig. 15A durchgeführt. Fig. 15B unterscheidet sich jedoch von Fig. 15A durch den Vorgang in dem Umschaltzeitraum T_c zum Wechsel der geplanten Teilungslinie S , laserbearbeitet werden soll. Dementsprechend konzentriert sich die nachstehende Beschreibung auf die Unterschiede zu Fig. 15A, und gemeinsame Betriebsteile sind durch entsprechende Bezugszeichen gekennzeichnet, und die Beschreibung wird gegebenenfalls weggelassen.

[0124] Wenn die Laserbestrahlungsposition L_b die geplante Teilungslinie S_1 in Richtung der (+X)-Seite

durchläuft, sobald die Laserbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1 beendet ist, beginnt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung zu verlangsamen (Schritt S1005) und hält an einer Position Pb2 auf der (+X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung an (Schritt S1006). Diese Position Pb2 ist eine Position, die auf der gedachten Geraden Sv1 vorgesehen ist. Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb an der Position Pb2 gestoppt ist, stoppt der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B an einer Position, die mindestens einen Abbildungspunkt Pw (S2) beinhaltet. Dementsprechend veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S1006 den Abbildungsteil 8B, den Abbildungsbereich Ri abzubilden und ein Bild zu erlangen, das den Abbildungspunkt Pw(S2) beinhaltet. Auf diese Weise kann die Steuerungseinheit 100 das Bild erlangen, das die Position der unbearbeiteten geplanten Teilungslinie S2 zeigt.

[0125] Anschließend beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb, die an der Position Pb2 angehalten wurde, in der X-Richtung zur (-X)-Seite zu beschleunigen (Schritt S1001). Wenn die Geschwindigkeit Vx der Laserbestrahlungsposition Lb bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht, auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd zunimmt, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung (Schritt S1002). Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in einem Zeitraum zwischen dem Beginn der Beschleunigung und dem Beginn der Konstantbewegung mit der Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der gedachten Geraden Sv2. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb in den Schritten S1001 bis S1002 in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der gedachten Geraden Sv2 parallel zur Beschleunigung in der X-Richtung bewegt. Auf diese Weise erreicht die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S2 und die Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 kann gestartet werden.

[0126] Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S2 in Richtung der (-X)-Seite durchläuft, sobald die Laserbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 beendet ist, beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung abzubremsen (Schritt S1005) und stoppt an einer Position Pb3 auf der (-X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung (Schritt S1006). Diese Position Pb3 ist eine Position, die auf der gedachten Geraden Sv2 vorgesehen ist. Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb an der Position Pb3 gestoppt wird, stoppt der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A an einer Position, die mindestens einen Abbildungspunkt Pw

(S3) beinhaltet. Dementsprechend veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S1006 den Abbildungsteil 8A, den Abbildungsbereich Ri abzubilden und ein Bild zu erlangen, das den Abbildungspunkt Pw(S3) beinhaltet. Auf diese Weise kann die Steuerungseinheit 100 das Bild erlangen, das die Position der unbearbeiteten geplanten Teilungslinie S3 zeigt.

[0127] Als nächstes wird eine Geschwindigkeitsänderung der Laserbestrahlungsposition Lb unter Bezugnahme auf eine „Geschwindigkeitsänderung in der X-Richtung“ und eine „Geschwindigkeitsänderung in der Y-Richtung“ in **Fig. 15B** beschrieben. In einem Linienbearbeitungszeitraum Ts1 (Schritte S1002 bis S1004), während dem die Linienbearbeitung der Bewegung des Laserstrahls B in Richtung der (+X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S1 durchgeführt wird, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in der X-Richtung bewegt. Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in einem Linienbearbeitungszeitraum Ts2 (Schritte S1002 bis S1004), während dem die Linienbearbeitung des Bewegens des Laserstrahls B in Richtung der (-X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S2 durchgeführt wird, nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in der X-Richtung bewegt.

[0128] Ferner wird in einem Umschaltzeitraum Tc (Schritte S1005, S1006 und S1001), während dem von dem Linienbearbeitungszeitraum Ts1 auf den Linienbearbeitungszeitraum Ts2 umgeschaltet wird, die Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung (Vorschubrichtung) von der gedachten Geraden Sv1 zu der gedachten Geraden Sv2 bewegt, und zwar parallel zum Durchführen des Rückwärtsantriebs in der X-Richtung wie in dem vorgenannten Fall. Insbesondere wird eine Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung während eines Beschleunigungszeitraums Ta durchgeführt, die aus einem Verzögerungszeitraum Td und dem in dem Umschaltzeitraum Tc enthaltenen Beschleunigungszeitraum Ta besteht. Insbesondere wird die Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung nach dem Beginn des Beschleunigungszeitraums Ta gestartet, und die Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung wird vor dem Ende des Beschleunigungszeitraums Ta beendet. Außerdem bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in dem Verzögerungszeitraum Td nicht in der Y-Richtung.

[0129] Ferner werden in einem Stoppzeitraum Tt, der unterwegs während eines Übergangs von dem Beschleunigungszeitraum Ta zu dem Verzögerungszeitraum Td vorgesehen ist, sowohl die Geschwindigkeit Vx der Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung als auch deren Geschwindigkeit Vy in

der Y-Richtung Null, und die Laserbestrahlungsposition Lb wird an der Position Pb2 in Bezug auf das Halbleitersubstrat W gestoppt. In diesem Stoppzeitraum Tt werden auch die Abbildungsbereiche Ri der Abbildungsteile 8A, 8B in Bezug auf das Halbleitersubstrat W gestoppt. Insbesondere befindet sich der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B auf der (-X)-Seite der Laserbestrahlungsposition Lb, die sich auf der (+X)-Seite des Halbleitersubstrats W befindet, und überlappt das Halbleitersubstrat W. Dementsprechend bildet die Infrarotkamera 81 des Abbildungsteils 8B einen Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich Ri in dem Stoppzeitraum Tt überlappt (Schritt S1006).

[0130] Fig. 15C zeigt schematisch ein drittes Beispiel für einen Vorgang, der gemäß dem Ablaufdiagramm aus Fig. 14 durchgeführt wird. Die Notation in Fig. 15C ist ähnlich wie die in Fig. 15A. Auch in Fig. 15C wird die Laserbearbeitung der Reihe nach für die geplanten Teilungslinien S1, S2, S3 gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 wie in Fig. 15A durchgeführt. Fig. 15C unterscheidet sich jedoch von Fig. 15A durch den Vorgang in dem Umschaltzeitraum Tc zum Umschalten der geplanten Teilungslinie S, die mit dem Laser bearbeitet werden soll. Dementsprechend konzentriert sich die nachstehende Beschreibung auf die Unterschiede zu Fig. 15A, und gemeinsame Betriebsteile sind durch entsprechende Bezugszeichen gekennzeichnet, und die Beschreibung wird gegebenenfalls weggelassen.

[0131] Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S1 in Richtung der (+X)-Seite durchläuft, sobald die Laserbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1 beendet ist, beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung abzubremsen (Schritt S1005) und stoppt an einer Position Pb2 auf der (+X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung (Schritt S1006). Diese Position Pb2 ist zwischen den gedachten Geraden Sv1 und Sv2 in der Y-Richtung vorgesehen. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb in den Schritten S1005 bis S1006 in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 parallel zur Verzögerung in der X-Richtung bewegt. Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb an der Position Pb2 gestoppt wird, stoppt der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B an einer Position, die mindestens einen Abbildungspunkt Pw (S2) beinhaltet. Dementsprechend veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S1006 den Abbildungsteil 8B, den Abbildungsbereich Ri abzubilden und ein Bild zu erlangen, das den Abbildungspunkt Pw (S2) beinhaltet. Auf diese Weise kann die Steuerungseinheit 100 das Bild erlangen, das die Position der unbearbeiteten geplanten Teilungslinie S2 zeigt.

[0132] Anschließend beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb, die an der Position Pb2 angehalten wurde, in der X-Richtung zur (-X)-Seite zu beschleunigen (Schritt S1001). Wenn die Geschwindigkeit Vx der Laserbestrahlungsposition Lb bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht, auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd ansteigt, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung (Schritt S1002). Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in einem Zeitraum zwischen dem Beginn der Beschleunigung und dem Beginn der Konstantbewegung mit der Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb in den Schritten S1001 bis S1002 in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 parallel zur Beschleunigung in der X-Richtung bewegt. Auf diese Weise erreicht die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S2 und die Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 kann gestartet werden.

[0133] Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S2 in Richtung der (-X)-Seite durchläuft, sobald die Laserbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 beendet ist, beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung abzubremsen (Schritt S1005) und stoppt an einer Position Pb3 auf der (-X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung (Schritt S1006). Diese Position Pb3 ist zwischen der gedachten Geraden Sv2 und der gedachten Geraden Sv3 vorgesehen. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb in den Schritten S1005 bis S1006 in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv2 zu der Position Pb3 parallel zur Verzögerung in der X-Richtung bewegt. Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb an der Position Pb3 gestoppt wird, stoppt der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A an einer Position, die zumindest den Abbildungspunkt Pw (S3) beinhaltet. Dementsprechend veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S1006 den Abbildungsteil 8A, den Abbildungsbereich Ri abzubilden und ein Bild zu erlangen, das den Abbildungspunkt Pw (S3) beinhaltet. Auf diese Weise kann die Steuerungseinheit 100 das Bild erlangen, das die Position der unbearbeiteten geplanten Teilungslinie S3 zeigt.

[0134] Als nächstes wird eine Geschwindigkeitsänderung der Laserbestrahlungsposition Lb unter Bezugnahme auf eine „Geschwindigkeitsänderung in der X-Richtung“ und eine „Geschwindigkeitsänderung in der Y-Richtung“ in Fig. 15C beschrieben. In einem Linienbearbeitungszeitraum Ts1 (Schritte S1002 bis S1004), während dem die Linienbearbei-

tung der Bewegung des Laserstrahls B in Richtung der (+X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S1 durchgeführt wird, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in der X-Richtung bewegt. Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in einem Linienbearbeitungszeitraum Ts2 (Schritte S1002 bis S1004), während dem die Linienbearbeitung des Bewegens des Laserstrahls B in Richtung der (-X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S2 durchgeführt wird, nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in der X-Richtung bewegt.

[0135] Ferner wird in einem Umschaltzeitraum Tc (Schritte S1005, S1006 und S1001), in dem von dem Linienbearbeitungszeitraum Ts1 auf den Linienbearbeitungszeitraum Ts2 umgeschaltet wird, die Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung (Vorschubrichtung) von der gedachten Geraden Sv1 auf die gedachte Gerade Sv2 bewegt, parallel zum Durchführen des Rückwärtsantriebs in der X-Richtung wie in dem vorgenannten Fall. Diese Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb wird insbesondere über die Position Pb2 durchgeführt. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb sich in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 bewegt, in einem Verzögerungszeitraum Td, unter dem Verzögerungszeitraum Td und einem Beschleunigungszeitraum Ta, der in dem Umschaltzeitraum Tc enthalten ist, und sich in dem Beschleunigungszeitraum Ta in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 bewegt. Insbesondere beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb, sich von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 zeitgleich mit dem Beginn des Verzögerungszeitraums Td zu bewegen, und erreicht die Position Pb2 zeitgleich mit dem Ende des Verzögerungszeitraums Td. Ferner beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb zeitgleich mit dem Beginn des Beschleunigungszeitraums Ta, sich von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 zu bewegen, und erreicht zeitgleich mit dem Ende des Beschleunigungszeitraums Ta die gedachte Gerade Sv2.

[0136] Ferner werden in einem Stoppzeitraum Tt, der unterwegs während eines Übergangs von dem Beschleunigungszeitraum Ta zum Verzögerungszeitraum Td vorgesehen ist, sowohl die Geschwindigkeit V_x der Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung als auch deren Geschwindigkeit V_y in der Y-Richtung null, und die Laserbestrahlungsposition Lb wird an der Position Pb2 in Bezug auf das Halbleitersubstrat W gestoppt. In diesem Stoppzeitraum Tt werden auch die Abbildungsbereiche Ri der Abbildungsteile 8A, 8B in Bezug auf das Halbleitersubstrat W gestoppt. Insbesondere befindet sich der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B auf der

(-X)-Seite der Laserbestrahlungsposition Lb, die sich auf der (+X)-Seite des Halbleitersubstrats W befindet, und überlappt das Halbleitersubstrat W. Dementsprechend bildet die Infrarotkamera 81 des Abbildungsteils 8B einen Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich Ri in dem Stoppzeitraum Tt überlappt (Schritt S1006).

[0137] Es wird angemerkt, dass die konkrete Art und Weise des Bewegens der Laserbestrahlungsposition Lb von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 in der Y-Richtung nach dem Bewegen der Laserbestrahlungsposition Lb von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 in der Y-Richtung in dem Umschaltzeitraum Tc nicht auf das Beispiel der Fig. 15C beschränkt ist, und die Bewegung auf die in Fig. 15D, Fig. 15E und Fig. 15F gezeigten Weisen durchgeführt werden kann.

[0138] Fig. 15D zeigt Diagramme, die schematisch ein viertes Beispiel des Vorgangs zeigen, der gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 durchgeführt wird, Fig. 15E zeigt Diagramme, die schematisch ein fünftes Beispiel des Vorgangs zeigen, der gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 durchgeführt wird und Fig. 15F zeigt Diagramme, die schematisch ein sechstes Beispiel des Vorgangs zeigen, der gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 14 durchgeführt wird. Die Bezeichnungen in den Fig. 15D bis 15F sind ähnlich wie die in Fig. 15C. Fig. 15D bis 15F unterscheiden sich von Fig. 15C durch einen Bewegungsmodus der Laserbestrahlungsposition Lb in dem Umschaltzeitraum Tc. Dementsprechend konzentriert sich die nachstehende Beschreibung auf die Unterschiede zu Fig. 15C, und gemeinsame Betriebsteile sind durch entsprechende Bezugszeichen gekennzeichnet, und die Beschreibung wird gegebenenfalls weggelassen.

[0139] In dem in Fig. 15D gezeigten vierten Beispiel beginnt sich die Laserbestrahlungsposition Lb zeitgleich mit dem Beginn des Verzögerungszeitraums Td in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 zu bewegen, erreicht die Position Pb2 und hält an der Position Pb2 in der Y-Richtung (d.h. die Geschwindigkeit V_y ist Null) vor dem Ende des Verzögerungszeitraums Td an. Nachdem die Laserbestrahlungsposition Lb jedoch die Position Pb2 in der Y-Richtung erreicht hat, wird der Verzögerungszeitraum Td fortgesetzt und die Laserbestrahlungsposition Lb bewegt sich weiter in der X-Richtung. Ferner beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb nach dem Beginn des Beschleunigungszeitraums Ta, sich in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 zu bewegen und erreicht die gedachte Gerade Sv2 zeitgleich mit dem Ende des Beschleunigungszeitraums Ta. Das bedeutet, dass in einem Zeitraum ΔT_y von der Mitte dem Verzögerungszeitraum Td bis zur Mitte des Beschleunigungszeitraums Ta die Laserbestrahl-

lungsposition Lb in der Y-Richtung angehalten wird (d.h. die Geschwindigkeit V_y ist Null).

[0140] In dem fünften, in **Fig. 15E** gezeigten Beispiel beginnt sich die Laserbestrahlungsposition Lb zeitgleich mit dem Beginn des Verzögerungszeitraums Td in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 zu bewegen, erreicht die Position Pb2 und hält vor dem Ende des Verzögerungszeitraums Td an der Position Pb2 in der Y-Richtung (d.h. die Geschwindigkeit V_y ist Null) an. Nachdem die Laserbestrahlungsposition Lb jedoch die Position Pb2 in der Y-Richtung erreicht hat, wird der Verzögerungszeitraum Td fortgesetzt und die Laserbestrahlungsposition Lb bewegt sich weiter in der X-Richtung. Außerdem beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb zeitgleich mit dem Beginn des Beschleunigungszeitraums Ta, sich in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 zu bewegen, und erreicht zeitgleich mit dem Ende des Beschleunigungszeitraums Ta die gedachte Gerade Sv2. Das bedeutet, dass die Laserbestrahlungsposition Lb in einem Zeitraum ΔT_y von der Mitte des Verzögerungszeitraums Td bis zum Beginn des Beschleunigungszeitraums Ta in der Y-Richtung angehalten wird (d.h. die Geschwindigkeit V_y ist Null).

[0141] In dem fünften, in **Fig. 15F** gezeigten Beispiel beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb zeitgleich mit dem Beginn des Verzögerungszeitraums Td, sich in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 zu bewegen. Die Laserbestrahlungsposition Lb hat jedoch die Position Pb2 in der Y-Richtung am Endpunkt der Verzögerungszeit Td noch nicht erreicht. Es wird angemerkt, dass am Endpunkt des Verzögerungszeitraums Td die Position (d.h. X-Koordinate) der Laserbestrahlungsposition Lb und die Position (d.h. X-Koordinate) der Position Pb2 in der X-Richtung übereinstimmen. Dementsprechend bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb auch nach dem Ende des Verzögerungszeitraums Ta weiter in der Y-Richtung auf die Position Pb2 zu. Außerdem wird die Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung angehalten (d. h. die Geschwindigkeit V_x ist Null), während sich die Laserbestrahlungsposition Lb nach dem Ende des Verzögerungszeitraums Td in der Y-Richtung auf die Position Pb2 zu bewegt. Der Beschleunigungszeitraum Ta wird gestartet, und die Laserbestrahlungsposition Lb beginnt, sich in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 zu bewegen, sobald die Laserbestrahlungsposition Lb die Position Pb2 erreicht. Ferner erreicht die Laserbestrahlungsposition Lb die gedachte Gerade Sv2 zeitgleich mit dem Ende des Beschleunigungszeitraums Ta.

[0142] **Fig. 15G** zeigt schematisch ein siebtes Beispiel eines Vorgangs, der gemäß dem Ablaufdia-

gramm von **Fig. 14** durchgeführt wird. Die Notation in **Fig. 15G** ist ähnlich wie die in **Fig. 15A**. Auch in **Fig. 15G** wird die Laserbearbeitung der Reihe nach für die geplanten Teilungslinien S1, S2, S3 gemäß dem Ablaufdiagramm von **Fig. 14** wie in **Fig. 15A** durchgeführt. Allerdings unterscheidet sich **Fig. 15G** von **Fig. 15A** durch den Vorgang in dem Umschaltzeitraum Tc zum Wechseln der geplanten Teilungslinie S, die laserbearbeitet werden soll. Dementsprechend konzentriert sich die nachstehende Beschreibung auf die Unterschiede zu **Fig. 15A**, und gemeinsame Betriebsteile sind durch entsprechende Bezugszeichen gekennzeichnet, und die Beschreibung wird gegebenenfalls weggelassen.

[0143] Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S1 in Richtung der (+X)-Seite durchläuft, sobald die Laserbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1 beendet ist, beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung abzubremsen (Schritt S1005) und hält an einer Position Pb2 auf der (+X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung an (Schritt S1006). Diese Position Pb2 befindet sich außerhalb einer Zone zwischen der gedachten Geraden Sv1 und der gedachten Geraden Sv2 (auf einer Seite gegenüber der gedachten Geraden Sv1 in Bezug auf die gedachte Gerade Sv2) in der Y-Richtung. Das bedeutet, in den Schritten S1005 bis S1006 bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 über die gedachte Gerade Sv2 hinaus, parallel zur Verzögerung in der X-Richtung. Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb an der Position Pb2 gestoppt wird, stoppt der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B an einer Position, die mindestens einen Abbildungspunkt Pw(S3) beinhaltet. Dementsprechend veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S1006 den Abbildungsteil 8B, den Abbildungsbereich Ri abzubilden und ein Bild zu erlangen, das den Abbildungspunkt Pw(S3) beinhaltet. Auf diese Weise kann die Steuerungseinheit 100 das Bild erlangen, das die Position der unbearbeiteten geplanten Teilungslinie S3 zeigt.

[0144] Anschließend beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb, die an der Position Pb2 angehalten wurde, in der X-Richtung zur (-X)-Seite zu beschleunigen (Schritt S1001). Wenn die Geschwindigkeit V_x der Laserbestrahlungsposition Lb bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht, auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} ansteigt, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung (Schritt S1002). Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in einem Zeitraum zwischen dem Beginn der Beschleunigung und dem Beginn der Konstantbewegung mit der Bearbei-

tungsgeschwindigkeit V_{xd} in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb in den Schritten S1001 bis S1002 in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 parallel zur Beschleunigung in der X-Richtung bewegt. Auf diese Weise erreicht die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S2 und die Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 kann gestartet werden.

[0145] Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S2 in Richtung der (-X)-Seite durchläuft, sobald die Laserbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 beendet ist, beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung abzubremsen (Schritt S1005) und hält an einer Position Pb3 auf der (-X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung an (Schritt S1006). Diese Position Pb3 ist außerhalb einer Zone zwischen der gedachten Geraden Sv2 und der gedachten Geraden Sv3 (auf einer Seite, die der gedachten Geraden Sv2 in Bezug auf die gedachte Gerade Sv3 gegenüberliegt) in der Y-Richtung bereitgestellt. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb in den Schritten S1005 bis S1006 in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv2 zu der Position Pb2 jenseits der gedachten Geraden Sv3 bewegt, parallel zur Verzögerung in der X-Richtung. Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb an der Position Pb3 gestoppt wird, stoppt der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A an einer Position, die mindestens einen Abbildungspunkt Pw(S4) beinhaltet. Dementsprechend veranlasst die Steuerungseinheit 100 in Schritt S1006 den Abbildungsteil 8A, den Abbildungsbereich Ri abzubilden und ein Bild zu erlangen, das den Abbildungspunkt Pw(S4) beinhaltet. Auf diese Weise kann die Steuerungseinheit 100 das Bild erlangen, das die Position einer unbearbeiteten geplanten Teilungslinie S4 zeigt.

[0146] Als nächstes wird eine Geschwindigkeitsänderung der Laserbestrahlungsposition Lb unter Bezugnahme auf eine „Geschwindigkeitsänderung in der X-Richtung“ und „Geschwindigkeitsänderung in der Y-Richtung“ in **Fig. 15G** beschrieben. In einem Linienbearbeitungszeitraum Ts1 (Schritte S1002 bis S1004), während dem die Linienbearbeitung der Bewegung des Laserstrahls B in Richtung der (+X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S1 durchgeführt wird, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in der X-Richtung bewegt. Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in einem Linienbearbeitungszeitraum Ts2 (Schritte S1002 bis S1004), während dem die Linienbearbeitung des Bewegens des Laserstrahls B in Richtung der (-X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S2 durch-

geführt wird, nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in der X-Richtung bewegt.

[0147] Ferner wird in einem Umschaltzeitraum Tc (Schritte S1005, S1006 und S1001), in dem von dem Linienbearbeitungszeitraum Ts1 auf den Linienbearbeitungszeitraum Ts2 umgeschaltet wird, die Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung (Vorschubrichtung) von der gedachten Geraden Sv1 auf die gedachte Gerade Sv2 bewegt, parallel zum Durchführen des Rückwärtsantriebs in der X-Richtung wie in dem vorgenannten Fall. Insbesondere erfolgt diese Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb über die Position Pb2, die außerhalb der Zone zwischen der gedachten Geraden Sv1 und der gedachten Geraden Sv2 in der Y-Richtung liegt. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 jenseits der gedachten Geraden Sv2 bewegt, in einem Verzögerungszeitraum Td, außerhalb des Verzögerungszeitraums Td und eines Beschleunigungszeitraums Ta, die in dem Umschaltzeitraum Tc enthalten ist, und sich in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 in des Beschleunigungszeitraums Ta bewegt. Konkret beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb, sich zeitgleich mit dem Beginn des Verzögerungszeitraums Td von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 zu bewegen, und erreicht die Position Pb2 zeitgleich mit dem Ende dem Verzögerungszeitraum Td. Ferner beginnt die Laserbestrahlungsposition Lb zeitgleich mit dem Beginn des Beschleunigungszeitraums Ta, sich von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 zu bewegen, und erreicht die gedachte Gerade Sv2 zeitgleich mit dem Ende des Beschleunigungszeitraums Ta.

[0148] Ferner werden in einem Stoppzeitraum Tt, der unterwegs während eines Übergangs von dem Beschleunigungszeitraum Ta zum Verzögerungszeitraum Td vorgesehen ist, sowohl die Geschwindigkeit V_x der Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung als auch deren Geschwindigkeit V_y in der Y-Richtung null, und die Laserbestrahlungsposition Lb wird in Bezug auf das Halbleitersubstrat W an der Position Pb2 gestoppt. In diesem Stoppzeitraum Tt werden auch die Abbildungsbereiche Ri der Abbildungsteile 8A, 8B in Bezug auf das Halbleitersubstrat W gestoppt. Insbesondere befindet sich der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B auf der (-X)-Seite der Laserbestrahlungsposition Lb, die sich auf der (+X)-Seite des Halbleitersubstrats W befindet, und überlappt das Halbleitersubstrat W. Dementsprechend bildet die Infrarotkamera 81 des Abbildungsteils 8B einen Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich Ri in dem Stoppzeitraum Tt überlappt (Schritt S1006).

[0149] Im obigen Beispiel ist die Position Pb2 auf der Seite vorgesehen, die der gedachten Geraden Sv1 in Bezug auf die gedachte Gerade Sv2 in der Y-Richtung gegenüberliegt. Die Position Pb2 kann jedoch auch auf einer Seite vorgesehen sein, die der gedachten Geraden Sv2 in Bezug auf die gedachte Gerade Sv1 in der Y-Richtung gegenüberliegt. In diesem Fall bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in dem Verzögerungszeitraum Td in der Y-Richtung von der gedachten Geraden Sv1 zu der Position Pb2 und in des Beschleunigungszeitraums Ta in der Y-Richtung von der Position Pb2 zu der gedachten Geraden Sv2 jenseits der gedachten Geraden Sv1. Eine ähnliche Änderung kann auch für die Position Pb3 vorgenommen werden.

[0150] Fig. 16 ist ein Ablaufdiagramm, das ein erstes Anwendungsbeispiel der Linienbearbeitung für jede geplante Teilungslinie zeigt, und Fig. 17 ist ein Diagramm, das schematisch ein Beispiel eines Vorgangs zeigt, der gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 16 durchgeführt wird. Die Bezeichnungen in Fig. 17 sind ähnlich wie in den Fig. 15A bis 15G. Das Beispiel von Fig. 16 unterscheidet sich von dem Beispiel von Fig. 14 durch das Vorhandensein des Schrittes S1008 der Abbildung des Halbleitersubstrats W während der Linienbearbeitung, aber die anderen Schritte S1001 bis S1007 sind gleich. Dementsprechend wird in dem Beispiel von Fig. 16 jeder der in Fig. 15A bis 15G gezeigten Vorgänge (erstes Beispiel bis siebtes Beispiel) durchgeführt. Es wird angemerkt, dass, obwohl eine Spur der Laserbestrahlungsposition Lb in dem Umschaltzeitraum Tc in Fig. 17 nicht dargestellt ist, sich die Laserbestrahlungsposition Lb entlang der in einer der Fig. 15A bis 15G dargestellten Spur bewegen kann.

[0151] Der Schritt S1008 von Fig. 16 wird wie folgt durchgeführt. Das bedeutet, dass das Halbleitersubstrat W während einer Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb entlang der geplanten Teilungslinie S1 abgebildet wird (Schritt S1008). Konkret wird der Abbildungsbereich Ri (d.h. der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A), der sich auf einer sich bewegenden Seite (d.h. der (+X)-Seite) befindet, auf die sich die Laserbestrahlungsposition Lb zubewegt, in Bezug auf die sich zur (+X)-Seite bewegende Laserbestrahlungsposition Lb abgebildet. Auf diese Weise wird ein Bild erlangt, das auf der sich bewegenden Seite der Laserbestrahlungsposition Lb einen Abbildungspunkt Pw(S11) in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb beinhaltet. Auf diese Weise kann ein Bild erlangt werden, das die Position eines unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie S1, die gerade linienbearbeitet wird, zeigt.

[0152] Das bedeutet, dass in einem Zeitraum, in dem die Schritte S1003, S1108 und S1104 durchgeführt werden, das Bild des unbearbeiteten Teils der

geplanten Teilungslinie S1, der linienbearbeitet werden soll, parallel zum Durchführen der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1 aufgenommen wird.

[0153] Ferner wird das Halbleitersubstrat W während einer Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb entlang der geplanten Teilungslinie S2 abgebildet (Schritt S1008). Konkret wird der Abbildungsbereich Ri (d.h. der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B), der sich auf einer sich bewegenden Seite (d.h. der (-X)-Seite) befindet, auf die sich die Laserbestrahlungsposition Lb zubewegt, in Bezug auf die sich zur (-X)-Seite bewegende Laserbestrahlungsposition Lb abgebildet. Auf diese Weise wird ein Bild erlangt, das auf der sich bewegenden Seite der Laserbestrahlungsposition Lb einen Abbildungspunkt Pw(S21) in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb beinhaltet. Auf diese Weise kann ein Bild erlangt werden, das die Position eines unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie S2, die gerade linienbearbeitet wird, zeigt.

[0154] Das bedeutet, dass in dem Zeitraum, in dem die Schritte S1003, S1108 und S1104 durchgeführt werden, das Bild des unbearbeiteten Teils der geplanten Teilungslinie S2, der linienbearbeitet werden soll, parallel zum Durchführen der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 aufgenommen wird.

[0155] Ferner wird das Halbleitersubstrat W während einer Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb entlang der geplanten Teilungslinie S3 abgebildet (Schritt S1008). Konkret wird der Abbildungsbereich Ri (d.h. der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A), der sich auf einer sich bewegenden Seite (d.h. der (+X)-Seite) befindet, auf die sich die Laserbestrahlungsposition Lb zubewegt, in Bezug auf die sich zur (+X)-Seite bewegende Laserbestrahlungsposition Lb abgebildet. Auf diese Weise wird ein Bild erlangt, das auf der sich bewegenden Seite der Laserbestrahlungsposition Lb einen Abbildungspunkt Pw(S31) in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb beinhaltet. Auf diese Weise kann ein Bild erlangt werden, das die Position eines unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie S3, die gerade linienbearbeitet wird, zeigt.

[0156] Das bedeutet, dass in dem Zeitraum, in dem die Schritte S1003, S1108 und S1104 durchgeführt werden, das Bild des unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie S3, die linienbearbeitet werden soll, parallel zum Durchführen der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S3 aufgenommen wird.

[0157] Die Schritte S1001 bis S1007 werden so lange wiederholt, bis bestätigt wird, dass die Linienbearbeitung für die Vielzahl geplanter Teilungslinien

S (S1, S2, S3, ...) parallel zur X-Richtung abgeschlossen ist („JA“ in Schritt S1007).

[0158] Fig. 18 ist ein Ablaufdiagramm, das ein zweites Anwendungsbeispiel der Linienbearbeitung für jede geplante Teilungslinie zeigt, und Fig. 19A zeigt Diagramme, die schematisch ein erstes Beispiel eines Vorgangs zeigen, der gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 18 durchgeführt wird. In Fig. 19A ist eine Spur der Laserbestrahlungsposition Lb, die sich relativ zum Halbleitersubstrat W bewegt, durch eine gepunktete Linie dargestellt, und die gedachten Geraden Sv1, Sv2, Sv3, die sich parallel zur X-Richtung entlang der geplanten Teilungslinien S1, S2, S3 zwischen beiden äußeren Seiten der geplanten Teilungslinien S1, S2, S3 erstrecken, sind durch eine Einpunkt-Kettenlinie dargestellt. Es wird angemerkt, dass gepunktete Linien, die die Spur der Laserbestrahlungsposition Lb darstellen, bevorzugt in Teilen gezeigt werden, in denen sich die Spur der Laserbestrahlungsposition Lb und die gedachten Geraden Sv1, Sv2, Sv3 überschneiden.

[0159] In dem in Fig. 19A gezeigten Beispiel wird das Ablaufdiagramm von Fig. 18 von einem Zustand aus gestartet, in dem die Laserbestrahlungsposition Lb an einer Position Pb1 auf der (-X)-Seite des Halbleitersubstrats W in der X-Richtung gestoppt ist. Diese Position Pb1 ist eine Position, die auf der gedachten Geraden Sv1 entlang der geplanten Teilungslinie S1 vorgesehen ist, mit anderen Worten, die der geplanten Teilungslinie S1 aus der X-Richtung zugewandt ist. Die Position der Laserbestrahlungsposition Lb, wenn das Ablaufdiagramm von Fig. 18 gestartet wird, ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt und kann zweckmäßig geändert werden.

[0160] In Schritt S1101 beginnt die an der Position Pb1 gestoppte Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung zur (+X)-Seite zu beschleunigen und bewegt sich parallel zur X-Richtung. Auf diese Weise bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb entlang der gedachten Geraden Sv1 in Richtung der (+X)-Seite. Wenn die Geschwindigkeit Vx der Laserbestrahlungsposition Lb bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite erreicht, auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd ansteigt, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in der X-Richtung (Schritt S1102) in Richtung der (+X)-Seite.

[0161] Ferner wird die Laserlichtquelle 72 eingeschaltet und die Bestrahlung des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition Lb vom Bearbeitungskopf 71 gemäß einem Zeitpunkt gestartet, zu dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (-X) Seite erreicht (Schritt

S1103). Auf diese Weise wird der Laserstrahl B auf die Laserbestrahlungsposition Lb gestrahlt, die sich in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung entlang der geplanten Teilungslinie S1 bewegt, wodurch die geplante Teilungslinie S1 bearbeitet wird (Linienbearbeitung).

[0162] Ferner wird in diesem Beispiel das Halbleitersubstrat W während der Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb entlang der geplanten Teilungslinie S1 abgebildet (Schritt S1104). Insbesondere wird der Abbildungsbereich Ri (d.h. der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A), der sich auf einer sich bewegenden Seite (d.h. der (+X)-Seite) befindet, auf die sich die Laserbestrahlungsposition Lb zubewegt, in Bezug auf die sich zur (+X)-Seite bewegende Laserbestrahlungsposition Lb abgebildet. Auf diese Weise wird ein Bild erlangt, das auf der sich bewegenden Seite der Laserbestrahlungsposition Lb in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb einen Abbildungspunkt Pw(S11) beinhaltet. Auf diese Weise kann ein Bild erlangt werden, das die Position eines unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie S1, die gerade linienbearbeitet wird, zeigt.

[0163] Dann wird die Laserlichtquelle 72 ausgeschaltet und das Einstrahlen des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition Lb vom Bearbeitungskopf 71 wird gemäß einem Zeitpunkt beendet, zu dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht (Schritt S1105). Auf diese Weise wird in einem Zeitraum von Schritt S1103 bis Schritt S1105 das Bild des unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie S1, die bearbeitet werden soll, aufgenommen, parallel zum Durchführen der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1.

[0164] Wenn die Laserbestrahlungsposition Lb die geplante Teilungslinie S1 in Richtung der (+X)-Seite durchläuft, beginnt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung zu verlangsamen (Schritt S1106). In Schritt S 1107 wird bestätigt, ob die Laserbearbeitung für die Vielzahl geplanter Teilungslinien S parallel zur X-Richtung abgeschlossen ist oder nicht. Wenn es unter diesen geplanten Teilungslinien S eine unbearbeitete geplante Teilungslinie S gibt („NEIN“ in Schritt S1107), erfolgt eine Rückkehr zu Schritt S1101.

[0165] Im Ergebnis wird die Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung zur (-X)-Seite hin beschleunigt (Schritt S1101), nachdem die Geschwindigkeit Vx in der X-Richtung der zur (+X)-Seite hin verlangsamten Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung Null geworden ist. Wenn die Geschwindigkeit Vx der Laserbestrahlungsposition Lb bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite

erreicht, auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} ansteigt, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition L_b mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung (Schritt S1102).

[0166] Wie soeben beschrieben, erfolgt auch in dem Beispiel der Fig. 18 und 19A der Rückwärtsantrieb in der X-Richtung wie in dem vorgenannten Fall. Parallel zu diesem Rückwärtsantrieb bewegt sich die Laserbestrahlungsposition L_b in der Y-Richtung von der gedachten Geraden $Sv1$ zu der gedachten Geraden $Sv2$. Auf diese Weise erreicht die Laserbestrahlungsposition L_b die geplante Teilungslinie $S2$, indem sie sich in der Y-Richtung zu der gedachten Geraden $Sv2$ bewegt, sobald die Geschwindigkeit V_x in der X-Richtung der Laserbestrahlungsposition L_b auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} ansteigt.

[0167] In diesem Beispiel unterscheidet sich jedoch ein Bewegungsmodus in der Y-Richtung der Laserbestrahlungsposition L_b von dem eingangs genannten. Das bedeutet, dass sich die Laserbestrahlungsposition L_b kontinuierlich in der Y-Richtung von einer geplanten Teilungslinie $Sb1$ zu einer geplanten Teilungslinie $Sb2$ (kontinuierlicher Vorschubantrieb) bewegt, parallel mit dem Rückwärtsantrieb zum Verzögern, Anhalten und Beschleunigen der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung. Insbesondere wird der kontinuierliche Vorschubantrieb der Laserbestrahlungsposition L_b in der Y-Richtung während der gesamten Zeit vor und nach dem Zeitpunkt durchgeführt, zu dem die Geschwindigkeit V_x der Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung aufgrund des Rückwärtsantriebs Null wird. Daher gibt es in diesem Beispiel keinen Zeitpunkt, an dem sowohl die Geschwindigkeit V_x in der X-Richtung der Laserbestrahlungsposition L_b als auch deren Geschwindigkeit V_y in der Y-Richtung null wird.

[0168] Die Laserlichtquelle 72 wird eingeschaltet und die Bestrahlung des Laserstrahls B zur Laserbestrahlungsposition L_b vom Bearbeitungskopf 71 wird gemäß einem Zeitpunkt gestartet, zu dem die Laserbestrahlungsposition L_b das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht (Schritt S1103). Auf diese Weise wird der Laserstrahl B auf die Laserbestrahlungsposition L_b gestrahlt, die sich in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung entlang der geplanten Teilungslinie $S2$ bewegt, und die geplante Teilungslinie $S2$ wird bearbeitet (Linienbearbeitung).

[0169] Ferner wird in diesem Beispiel das Halbleitersubstrat W während der Bewegung der Laserbestrahlungsposition L_b entlang der geplanten Teilungslinie $S2$ abgebildet (Schritt S1104). Insbesondere wird der Abbildungsbereich R_i (d.h. der Abbildungsbereich R_i des Abbildungsteils 8B), der sich auf einer

sich bewegenden Seite (d.h. der (-X)-Seite) befindet, auf die sich die Laserbestrahlungsposition L_b zubewegt, in Bezug auf die sich zur (-X)-Seite bewegenden Laserbestrahlungsposition L_b abgebildet. Auf diese Weise wird ein Bild erlangt, das auf der sich bewegenden Seite der Laserbestrahlungsposition L_b in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition L_b einen Abbildungspunkt P_w ($S21$) beinhaltet. Auf diese Weise kann ein Bild erlangt werden, das die Position eines unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie $S2$, die gerade linienbearbeitet wird, zeigt.

[0170] Die Laserlichtquelle 72 wird ausgeschaltet und die Einstrahlung des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition L_b vom Bearbeitungskopf 71 wird gemäß einem Zeitpunkt beendet, zu dem die Laserbestrahlungsposition L_b das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite erreicht (Schritt S1105). Auf diese Weise wird in einem Zeitraum von Schritt S1103 bis Schritt S1105 das Bild des unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie $S2$, die linienbearbeitet werden soll, parallel zum Durchführen der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie $S2$ aufgenommen.

[0171] Wenn die Laserbestrahlungsposition L_b die geplante Teilungslinie $S2$ in Richtung der (-X)-Seite durchläuft, beginnt die Laserbestrahlungsposition L_b in Richtung der (-X)-Seite in der X-Richtung zu verzögern (Schritt S1106). In Schritt S 1107 wird bestätigt, ob die Linienbearbeitung für die Vielzahl geplanter Teilungslinien S parallel zur X-Richtung abgeschlossen ist oder nicht. Wenn es unter diesen geplanten Teilungslinien S irgendeine unbearbeitete geplante Teilungslinie S gibt („NEIN“ in Schritt S1107), erfolgt eine Rückkehr zu Schritt S1101.

[0172] Im Ergebnis beschleunigt die Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung zur (+X)-Seite hin (Schritt S1101), nachdem die Geschwindigkeit V_x in der X-Richtung der zur (-X)-Seite hin verlangsamten Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung Null geworden ist. Wenn die Geschwindigkeit V_x der Laserbestrahlungsposition L_b bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Laserbestrahlungsposition L_b das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite erreicht, auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} ansteigt, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition L_b mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung (Schritt S1102).

[0173] Zu diesem Zeitpunkt wird, wie in dem vorgenannten Fall, der kontinuierliche Vorschubantrieb in der Y-Richtung für die Laserbestrahlungsposition L_b parallel zum Rückwärtsantrieb in der X-Richtung durchgeführt. Auf diese Weise erreicht die Laserbestrahlungsposition L_b die geplante Teilungslinie $S3$, indem sie sich in der Y-Richtung auf die gedachte

Gerade Sv3 bewegt, wenn die Geschwindigkeit Vx in der X-Richtung der Laserbestrahlungsposition Lb auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd ansteigt.

[0174] Die Laserlichtquelle 72 wird eingeschaltet und die Bestrahlung des Laserstrahls B zur Laserbestrahlungsposition Lb aus dem Bearbeitungskopf 71 wird gemäß einem Zeitpunkt gestartet, zu dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite erreicht (Schritt S1103). Auf diese Weise wird der Laserstrahl B auf die Laserbestrahlungsposition Lb gestrahlt, die sich in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung entlang der geplanten Teilungslinie S3 bewegt, und die geplante Teilungslinie S3 wird bearbeitet (Linienbearbeitung).

[0175] Ferner wird in diesem Beispiel das Halbleitersubstrat W während der Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb entlang der geplanten Teilungslinie S3 abgebildet (Schritt S1104). Insbesondere wird der Abbildungsbereich Ri (d.h. der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A), der sich auf einer sich bewegendem Seite (d.h. der (+X)-Seite) befindet, auf die sich die Laserbestrahlungsposition Lb zubewegt, in Bezug auf die sich zur (+X)-Seite bewegendem Laserbestrahlungsposition Lb abgebildet. Auf diese Weise wird ein Bild erlangt, das auf der sich bewegendem Seite der Laserbestrahlungsposition Lb in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb einen Abbildungspunkt Pw (S31) beinhaltet. Auf diese Weise kann ein Bild erlangt werden, das die Position eines unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie S3, die gerade linienbearbeitet wird, zeigt.

[0176] Dann wird die Laserlichtquelle 72 ausgeschaltet und die Einstrahlung des Laserstrahls B auf die Laserbestrahlungsposition Lb aus dem Bearbeitungskopf 71 wird gemäß einem Zeitpunkt beendet, zu dem die Laserbestrahlungsposition Lb das Ende des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite erreicht (Schritt S1105). Auf diese Weise wird in einem Zeitraum von Schritt S1103 bis Schritt S1105 das Bild des unbearbeiteten Teils aus der geplanten Teilungslinie S3, die bearbeitet werden soll, parallel zum Durchführen der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S3 aufgenommen.

[0177] Als nächstes wird eine Geschwindigkeitsänderung der Laserbestrahlungsposition Lb unter Bezugnahme auf eine „Geschwindigkeitsänderung in der X-Richtung“ und eine „Geschwindigkeitsänderung in der Y-Richtung“ in Fig. 19A beschrieben. In einem Linienbearbeitungszeitraum Ts1 (Schritte S1103 bis S1105), während dem die Linienbearbeitung der Bewegung des Laserstrahls B in Richtung der (+X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S1 durchgeführt wird, bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb nicht in der Y-Richtung, während sie

sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in der X-Richtung bewegt. Ferner bewegt sich die Laserbestrahlungsposition Lb in einem Linienbearbeitungszeitraum Ts2 (Schritte S 1103 bis S1105), während dem die Linienbearbeitung des Bewegens des Laserstrahls B in Richtung der (-X)-Seite entlang der geplanten Teilungslinie S2 durchgeführt wird, nicht in der Y-Richtung, während sie sich mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit Vxd in der X-Richtung bewegt.

[0178] Ferner wird in einem Umschaltzeitraum Tc (Schritte S1106, S1101), während dem ein Umschalten von dem Linienbearbeitungszeitraum Ts1 auf den Linienbearbeitungszeitraum Ts2 erfolgt, der nachstehende Vorgang durchgeführt. Das bedeutet, dass der X-Achsen-Antreiber 65 (Bearbeitungsachsen-Antreiber) den Rückwärtsantrieb durchführt, um die Laserbestrahlungsposition Lb zu der geplanten Teilungslinie S2 (zweite Bearbeitungslinie) zu verbringen, indem er die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (-X)-Seite (Schritt S1101), nachdem er die Laserbestrahlungsposition Lb verlangsamt und angehalten hat, die die vorgesehene Teilungslinie S1 (erste Bearbeitungslinie) in Richtung der (+X)-Seite (erste Seite) durchlaufen hat, in Richtung der (+X)-Seite in der X-Richtung (Bearbeitungsrichtung) (Schritt S1106), beschleunigt. Parallel zu diesem Rückwärtsantrieb führt der Y-Achsen-Antreiber 63 (Vorschubachsen-Antreiber) den kontinuierlichen Vorschubantrieb aus, um die Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung (Vorschubrichtung) von der gedachten Geraden Sv1 (erste gedachte Gerade), die sich in der X-Richtung nach außerhalb der geplanten Teilungslinie S1 erstreckt, entlang der geplanten Teilungslinie S1 zu der gedachten Geraden Sv2 (zweite gedachte Gerade), die sich in der X-Richtung nach außerhalb der geplanten Teilungslinie S2 erstreckt, kontinuierlich entlang der geplanten Teilungslinie S2 zu bewegen.

[0179] Insbesondere steuert die Steuerungseinheit 100 den X-Achsen-Antreiber 65 und den Y-Achsen-Antreiber 63 so, dass der Y-Achsen-Antreiber 63 den kontinuierlichen Vorschubantrieb beginnt, bevor der X-Achsen-Antreiber 65 die Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung durch den Rückwärtsantrieb stoppt, und der Y-Achsen-Antreiber 63 den kontinuierlichen Vorschubantrieb beendet, nachdem der X-Achsen-Antreiber 65 die Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung durch den Rückwärtsantrieb stoppt. Auf diese Weise bewegt der Y-Achsen-Antreiber 63 die Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung in einem Zeitraum, in dem der X-Achsen-Antreiber 65 die Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung durch den Rückwärtsantrieb stoppt.

[0180] Mit anderen Worten beinhaltet der Umschaltzeitraum Tc einen Verzögerungszeitraum Td (Schritt S1006) zum Verzögern der Laserbestrahlungsposi-

tion Lb in der X-Richtung und einen Beschleunigungszeitraum Ta (Schritt S1001) zum Beschleunigen der Laserbestrahlungsposition Lb in der X-Richtung. Im Gegensatz dazu führt der Y-Achsen-Antreiber 63 die Bewegung der Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung kontinuierlich durch (d.h. er führt die Bewegung durch, ohne die Laserbestrahlungsposition Lb in der Y-Richtung anzuhalten), und zwar während der gesamten Zeit vor und nach der Zeit, in der ein Übergangszeitraum Tx von dem Verzögerungszeitraum Td zu dem Beschleunigungszeitraum Ta stattfindet. Es wird angemerkt, dass die Laserbestrahlungsposition Lb während des Übergangszeitraums Tx in der X-Richtung angehalten wird (d. h. die Geschwindigkeit Vx ist Null).

[0181] Fig. 19B zeigt Diagramme, die schematisch ein zweites Beispiel für den gemäß dem Ablaufdiagramm von Fig. 18 durchgeführten Vorgang darstellen. Fig. 19B unterscheidet sich von Fig. 19A durch die Anzahl der Abbildungsvorgänge des Halbleitersubstrats W parallel zur Linienbearbeitung. Das bedeutet, dass in dem Beispiel der Fig. 19B der Abbildungsbereich Ri (d.h. der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A), der sich auf einer sich bewegenden Seite (d.h. der (+X)-Seite) befindet, auf die sich die Laserbestrahlungsposition Lb zubewegt, in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb, die sich auf die (+X)-Seite zubewegt, um die Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1 durchzuführen, mehrmals (in diesem Beispiel zweimal) abgebildet wird (Schritt S1104). Auf diese Weise erlangt man zwei Bilder mit jeweils zwei Bildpunkten Pw(S11), Pw(S12) auf der sich bewegenden Seite der Laserbestrahlungsposition Lb in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb. Auf diese Weise können Bilder erlangt werden, die die Positionen der unbearbeiteten Teile aus der geplanten Teilungslinie S1 zeigen, die gerade linienbearbeitet wird.

[0182] Auf ähnliche Weise wird der Abbildungsbereich Ri (d.h. der Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B), der sich auf einer sich bewegenden Seite (d.h. der (-X)-Seite) befindet, auf die sich die Laserbestrahlungsposition Lb zubewegt, in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb, die sich auf die (-X)-Seite zubewegt, um die Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 durchzuführen, mehrmals (in diesem Beispiel zweimal) abgebildet (Schritt S1104). Auf diese Weise erlangt man zwei Bilder mit jeweils zwei Bildpunkten Pw(S21), Pw(S22) auf der sich bewegenden Seite der Laserbestrahlungsposition Lb in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb. Auf diese Weise können Bilder erlangt werden, die die Positionen der unbearbeiteten Teile aus der geplanten Teilungslinie S2, die gerade linienbearbeitet wird, zeigen. Ferner wird die Bildgebung auch bei der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S3 mehrmals durchgeführt (Schritt S1104).

[0183] Fig. 20 ist ein Diagramm, das schematisch ein Beispiel für ein Bild des Halbleitersubstrats zeigt, das in Schritt S1008 der Fig. 16 oder Schritt S1104 der Fig. 18 erlangt wird. In den obigen Beispielen wird ein Bereich, der einen Schnittpunkt zweier geplanter, zueinander orthogonaler Teilungslinien S beinhaltet, abgebildet, um ein Bild IM zu erlangen. Da das Bild IM erlangt wird, während der Abbildungsbereich Ri in Bezug auf das Halbleitersubstrat W in der X-Richtung bewegt wird, wird im Bild IM eine Leuchtdichte in der X-Richtung gemittelt. Im Ergebnis erscheinen ein Bereich mit hoher Leuchtdichte, der sich parallel zur X-Richtung gemäß der geplanten Teilungslinie S erstreckt, und Bereiche mit niedriger Leuchtdichte, die eine geringere Leuchtdichte als der Bereich mit hoher Leuchtdichte aufweisen und sich parallel zur X-Richtung gemäß den Halbleiterchips C erstrecken. Insbesondere in der Y-Richtung wird der Bereich mit hoher Leuchtdichte von zwei Bereichen mit niedriger Leuchtdichte eingeschlossen. Daher kann die Steuerungseinheit 100 die Position der geplanten Teilungslinie S in der Y-Richtung auf Grundlage des Bereichs mit hoher Leuchtdichte, der der geplanten Teilungslinie S entspricht, bestätigen.

[0184] In der eingangs beschriebenen Ausführungsform sind der Abbildungsteil 8A (erster Abbildungsteil) zur Abbildung des Abbildungsbereichs Ri (erster Abbildungsbereich), der sich in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb auf der (+X)-Seite (ersten Seite) in X-Richtung (Bearbeitungsrichtung) befindet und der Abbildungsteil 8B (zweiter Abbildungsteil) zum Abbilden des Abbildungsbereichs Ri (zweiter Abbildungsbereich), der sich in Bezug auf die Laserbestrahlungsposition Lb auf der Seite (-X) (zweite Seite) in der X-Richtung (Bearbeitungsrichtung) befindet, bereitgestellt. Die Abbildungsteile 8A und 8B bilden Teile des Halbleitersubstrats W ab, die die jeweiligen Abbildungsbereiche Ri überlappen (Schritte S1006, S1008 und S1104). Auf diese Weise kann der Zustand des Halbleitersubstrats W auf beiden Seiten der Laserbestrahlungsposition Lb in X-Richtung erkannt werden.

[0185] Ferner führt die Steuerungseinheit 100 wiederum die Linienbearbeitung (erste Linienbearbeitung) der Bearbeitung der geplanten Teilungslinie S1 (erste Bearbeitungslinie) durch Bewegen der Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X)-Seite in X-Richtung und die Linienbearbeitung (zweite Linienbearbeitung) der Bearbeitung der geplanten Teilungslinie S2 (zweite Bearbeitungslinie) durch Bewegen der Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (-X)-Seite in X-Richtung durch.

[0186] Ferner führt der X-Achsen-Antreiber 65 in dem Umschaltzeitraum Tc (erster Umschaltzeitraum) ab dem Ende der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1 bis zum Beginn der Linienbearbei-

tung für die geplante Teilungslinie S2 den Rückwärtsantrieb (ersten Rückwärtsantrieb) aus, um die Laserbestrahlungsposition Lb zur geplanten Teilungslinie S2 zu verbringen, indem die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (-X)-Seite beschleunigt wird, nachdem die Laserbestrahlungsposition Lb, die die geplante Teilungslinie S1 in Richtung der (+X)-Seite durchlaufen hat, in Richtung der (+X)-Seite in X-Richtung abgebremst und angehalten wurde (Schritte S1005, S1001). Ferner bewegt der Y-Achsen-Antrieber 63 in diesem Umschaltzeitraum Tc die Laserbestrahlungsposition Lb in Y-Richtung (Vorschubrichtung) von der virtuellen Geraden Sv1 (erste gedachte Gerade), die in X-Richtung bis außerhalb der geplanten Teilungslinie S1 entlang der geplanten Teilungslinie S1 zur virtuellen geraden Linie Sv2 (zweite gedachte Gerade) bewegt, die in der X-Richtung nach außerhalb der geplanten Teilungslinie S2 verlängert wird. Außerdem bildet der Abbildungsteil 8B in diesem Umschaltzeitraum Tc den Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B überlappt (Schritt S1006). In einer solchen Konfiguration kann ein Bild, das den Zustand des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite der Laserbestrahlungsposition Lb zeigt, von dem Abbildungsteil 8B aufgenommen werden, wobei der Umschaltzeitraum Tc effektiv genutzt wird, um die Laserbestrahlungsposition Lb, die die geplante Teilungslinie S1 durchlaufen hat, in Richtung der geplanten Teilungslinie S2 zu bewegen.

[0187] Ferner stellt die Steuerungseinheit 100 die Stoppperiode Tt (erste Stoppperiode) bereit, während der die Laserbestrahlungsposition Lb sowohl in der X- als auch in der Y-Richtung stoppt, indem der Y-Achsen-Antrieber 63 veranlasst wird, die Laserbestrahlungsposition Lb zu einem Zeitpunkt anhält, zu dem der X-Achsen-Antrieber 65 die Laserbestrahlungsposition Lb durch den Rückwärtsantrieb in dem Umschaltzeitraum Tc von der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S1 zur Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 anhält. Dann bildet der Abbildungsteil 8B den Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8B in diesem Stoppzeitraum Tt überlappt. In einer solchen Konfiguration kann ein Standbild, das den Zustand des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite der Laserbestrahlungsposition Lb zeigt, von dem Abbildungsteil 8B erfasst werden, wobei der Umschaltzeitraum Tc effektiv genutzt wird, um die Laserbestrahlungsposition Lb, die die geplante Teilungslinie S1 durchlaufen hat, in Richtung der geplanten Teilungslinie S2 zu bewegen.

[0188] Ferner führt die Steuerungseinheit 100 wiederum die Linienbearbeitung (dritte Linienbearbeitung) der Bearbeitung der geplanten Teilungslinie S2 (dritte Bearbeitungslinie) durch, indem die Laserbestrahlungsposition Lb in X-Richtung zur (-X)-Seite

bewegt wird, und die Linienbearbeitung (vierte Linienbearbeitung) der Bearbeitung der geplanten Teilungslinie S3 (vierte Bearbeitungslinie), indem die Laserbestrahlungsposition Lb in X-Richtung zur (+X)-Seite bewegt wird. In dem Umschaltzeitraum Tc (zweiter Umschaltzeitraum) ab dem Ende der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 bis zum Beginn der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S3 führt der X-Achsen-Antrieber 65 den Rückwärtsantrieb (zweiten Rückwärtsantrieb) durch, um die Laserbestrahlungsposition Lb zu der geplanten Teilungslinie S3 zu verbringen, indem die Laserbestrahlungsposition Lb in Richtung der (+X)-Seite beschleunigt wird, nachdem die Laserbestrahlungsposition Lb, die die geplante Teilungslinie S2 in Richtung der (-X)-Seite durchlaufen hat, in Richtung der (-X)-Seite in X-Richtung abgebremst und angehalten wurde (Schritte S1005, S1001). Ferner bewegt der Y-Achsen-Antrieber 63 in diesem Umschaltzeitraum Tc die Laserbestrahlungsposition Lb in Y-Richtung von der virtuellen geraden Linie Sv2 (dritte gedachte Gerade) verlängert in X-Richtung zur Außenseite der geplanten Teilungslinie S2 entlang der geplanten Teilungslinie S2 zur virtuellen geraden Linie Sv3 (vierte gedachte Gerade) verlängert in X-Richtung zur Außenseite der geplanten Teilungslinie S3 entlang der geplanten Teilungslinie S3. Ferner bildet der Abbildungsteil 8A in diesem Umschaltzeitraum Tc den Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A überlappt (Schritt S1006). In einer solchen Konfiguration kann ein Bild, das den Zustand des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite der Laserbestrahlungsposition Lb zeigt, von dem Abbildungsteil 8A aufgenommen werden, wobei der Umschaltzeitraum Tc effektiv genutzt wird, um die Laserbestrahlungsposition Lb, die die geplante Teilungslinie S2 durchlaufen hat, in Richtung der geplanten Teilungslinie S3 zu bewegen.

[0189] Ferner stellt die Steuerungseinheit 100 den Stoppzeitraum Tt (zweiter Stoppzeitraum) bereit, während dem die Laserbestrahlungsposition Lb sowohl in der X- als auch in der Y-Richtung stoppt, indem der Y-Achsen-Antrieber 63 veranlasst wird, die Laserbestrahlungsposition Lb zu einem Zeitpunkt zu stoppen, zu dem der X-Achsen-Antrieber 65 die Laserbestrahlungsposition Lb durch den Rückwärtsantrieb in dem Umschaltzeitraum Tc ab der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S2 bis zu der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S3 stoppt. Dann bildet der Abbildungsteil 8A den Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich Ri des Abbildungsteils 8A in dem Stoppzeitraum Tt überlappt (Schritt S1006). In einer solchen Konfiguration kann ein Standbild, das den Zustand des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite der Laserbestrahlungsposition Lb zeigt, durch den Abbildungsteil 8A aufgenommen werden, wobei der Umschaltzeitraum Tc effektiv genutzt wird, um die

Laserbestrahlungsposition L_b , die die geplante Teilungslinie S_2 durchlaufen hat, in Richtung der geplanten Teilungslinie S_3 zu bewegen.

[0190] Ferner bildet der Abbildungsteil 8A den Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich R_i des Abbildungsteils 8A während der Ausführung der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S_1 (Schritte S_{1008} , S_{1104}) überlappt, und der Abbildungsteil 8B bildet den Teil des Halbleitersubstrats W ab, der den Abbildungsbereich R_i des Abbildungsteils 8B während der Ausführung der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S_2 (Schritte S_{1008} , S_{1104}) überlappt. In einer solchen Konfiguration kann ein Bild, das den Zustand des Halbleitersubstrats W auf der (+X)-Seite der Laserbestrahlungsposition L_b zeigt, durch den Abbildungsteil 8A erfasst werden, wobei ein Ausführungszeitraum der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S_1 , und ein Bild, das den Zustand des Halbleitersubstrats W auf der (-X)-Seite der Laserbestrahlungsposition L_b zeigt, kann durch den Abbildungsteil 8B erfasst werden, wobei ein Ausführungszeitraum der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S_2 verwendet wird.

[0191] Fig. 21 ist ein Ablaufdiagramm, das ein Beispiel eines Bestimmungsverfahrens von Laserbearbeitungsbedingungen bei der Linienbearbeitung zeigt, Fig. 22A zeigt Diagramme, die Parameter in Bezug auf die Bestimmung von Laserbearbeitungsbedingungen zeigen, Fig. 22B ist ein Diagramm, das einen zeitlichen Einfluss der Laserbearbeitungsbedingung zeigt, und Fig. 22C ist eine Tabelle, die ein Beispiel einer Tabelle zeigt, auf die bei der Bestimmung der Laserbearbeitungsbedingungen von Fig. 21 Bezug genommen wird. Diese Tabelle wird vorab in dem Speicher 190 gespeichert.

[0192] Fig. 22A zeigt ein oberes Diagramm, das die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit V_x der sich in der X-Richtung bewegenden Laserbestrahlungsposition L_b und der Zeit darstellt, und ein unteres Diagramm, das die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit V_x der sich in der X-Richtung bewegenden Laserbestrahlungsposition L_b und der Position in der X-Richtung (d.h. der X-Koordinate) der Laserbestrahlungsposition L_b bei einer Linienbearbeitung darstellt.

[0193] Wie im unteren Diagramm dargestellt, wird zum Durchführen der Linienbearbeitung für die geplante Teilungslinie S eine Bestrahlungspositionsabtastung durchgeführt, um den Laserstrahl B auf die Laserbestrahlungsposition L_b zu strahlen, die die geplante Teilungslinie S überlappt, während die Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung von einem Startpunkt X_s auf einer Seite der geplanten Teilungslinie S zu einem Endpunkt X_e auf der anderen Seite (der der einen Seite gegenüberliegenden

Seite) der geplanten Teilungslinie S bewegt wird. Das bedeutet, dass bei der Bestrahlungspositionsabtastung der Laserstrahl B vom Bearbeitungskopf 71 auf die Laserbestrahlungsposition L_b gestrahlt wird, die die geplante Teilungslinie S überlappt, während die Laserbestrahlungsposition L_b von dem X-Achsen-Antreiber 65 in der X-Richtung von dem Startpunkt X_s zu dem Endpunkt X_e bewegt wird. Auf diese Weise wird gemäß der Bestrahlungspositionsabtastung die eingangs erwähnte Linienbearbeitung durchgeführt.

[0194] Bei dieser Bestrahlungspositionsabtastung wird für die geplante Teilungslinie S eine Zone konstanter Geschwindigkeit SC festgelegt. Diese Zone konstanter Geschwindigkeit SC befindet sich zwischen dem Startpunkt X_s und dem Endpunkt X_e in der X-Richtung und wird so festgelegt, dass sie die geplante Teilungslinie S beinhaltet. In diesem Beispiel fallen beide Enden der Zone konstanter Geschwindigkeit SC mit beiden Enden der geplanten Teilungslinie S in der X-Richtung zusammen, mit anderen Worten fällt die Zone konstanter Geschwindigkeit SC mit der geplanten Teilungslinie S zusammen. Ein Einstellmodus der Zone konstanter Geschwindigkeit SC ist jedoch nicht auf dieses Beispiel beschränkt, und die Zone konstanter Geschwindigkeit SC kann durch Hinzufügen von Versätzen außerhalb der beiden Enden der geplanten Teilungslinie S eingestellt werden. In diesem Fall wird die Zone konstanter Geschwindigkeit SC länger als die geplante Teilungslinie S . Eine Länge des Versatzes kann ein vorgegebener fester Wert sein oder ein Wert, der durch Multiplizieren einer Länge der geplanten Teilungslinie S mit einem vorgegebenen Skalenfaktor (zum Beispiel 1 %) erlangt wird. Die Länge einer solchen Zone konstanter Geschwindigkeit SC wird entsprechend der Länge der geplanten Teilungslinie S festgelegt. Je länger die geplante Teilungslinie S ist, desto länger ist die Zone konstanter Geschwindigkeit SC (mit anderen Worten: je kürzer die geplante Teilungslinie S ist, desto kürzer ist die Zone konstanter Geschwindigkeit SC).

[0195] Bei dieser Bestrahlungspositionsabtastung bewegt sich die Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung von dem Startpunkt X_s , der sich auf einer Seite der Zone konstanter Geschwindigkeit SC befindet, zu dem Endpunkt X_3 , der sich auf der anderen Seite der Zone konstanter Geschwindigkeit SC befindet. Ferner wird in dem Beschleunigungszeitraum T_a , während dem sich die Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung von dem Startpunkt X_s zu einem Endpunkt X_{ss} auf der einen Seite der Zone konstanter Geschwindigkeit SC in der X-Richtung bewegt, die Laserbestrahlungsposition L_b mit einer Beschleunigung A in der X-Richtung beschleunigt, und die Geschwindigkeit V_x in der X-Richtung der Laserbestrahlungsposition L_b steigt von Null auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} an. Ferner bewegt

sich die Laserbestrahlungsposition L_b in einem Konstantgeschwindigkeitszeitraum T_{sc} (der in diesem Beispiel mit dem Linienbearbeitungszeitraum T_s zusammenfällt) in der X-Richtung von dem Ende X_{ss} auf der einen Seite der Zone konstanter Geschwindigkeit SC zu einem Ende X_{se} auf der anderen Seite der Zone konstanter Geschwindigkeit SC mit der konstanten Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} in der X-Richtung. Ferner wird die Laserbestrahlungsposition L_b in dem Verzögerungszeitraum T_b , während dem sich die Laserbestrahlungsposition L_b in der X-Richtung von dem Ende X_{se} auf der anderen Seite der Zone konstanter Geschwindigkeit SC zu dem Endpunkt X_e bewegt, mit der Beschleunigung A in der X-Richtung verlangsamt und die Geschwindigkeit V_x in der X-Richtung der Laserbestrahlungsposition L_b nimmt von der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} auf Null ab.

[0196] Zu diesem Zeitpunkt ist der Beschleunigungszeitraum T_a ein Zeitraum (V_{xd}/A), der erforderlich ist, um bei der Beschleunigung A die Geschwindigkeit V_x von Null auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} zu erhöhen, der Konstantgeschwindigkeitszeitraum T_{sc} ist ein Zeitraum (L_{sc}/V_{xd}), der erforderlich ist, um sich mit der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} um eine Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} zu bewegen, die die Länge der Zone konstanter Geschwindigkeit SC ist, und der Verzögerungszeitraum T_d ist ein Zeitraum (V_{xd}/A), der erforderlich ist, um die Geschwindigkeit V_x von der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} bei der Beschleunigung A auf Null zu verringern. Daher beträgt die für die Bestrahlungspositionsabastung erforderliche Abastzeit t :

$$t = 2 \times V_{xd} / A + L_{sc} / V_{xd}.$$

Somit ist die in **Fig. 22B** gezeigte Beziehung zwischen der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} und der Abastzeit t erfüllt. Das bedeutet, die Abastzeit t hat einen Minimalwert, wenn die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} V_{xd_min} ($= (L_{sc} \times A/2)^{1/2}$) ist. Daher kann die Linienbearbeitung effizient durchgeführt werden, indem die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} entsprechend der Länge (Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc}) der Zone konstanter Geschwindigkeit SC eingestellt wird.

[0197] Bei einer Änderung der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} muss jedoch auch die Frequenz des aus der Laserlichtquelle 72 emittierten Laserstrahls B geändert werden. Insbesondere muss bei einer Erhöhung der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} die Frequenz des Laserstrahls B erhöht werden. Im Gegensatz dazu kann die Frequenz des Laserstrahls B nur schrittweise und nicht kontinuierlich geändert werden. Dementsprechend wird die Tabelle aus **Fig. 22C** verwendet. Diese Tabelle spezifiziert eine Beziehung zwischen der Strecke konstanter

Geschwindigkeit L_{sc} (Länge der geplanten Teilungslinie S in diesem Beispiel), der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} und der Frequenz f_c des Laserstrahls B . Im Einzelnen sind in der Tabelle die folgenden Laserbearbeitungsbedingungen festgelegt. Wenn die Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} kleiner oder gleich $L_{sc}(1)$ ist, wird die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} auf $V_{xd}(1)$ und die Frequenz des Laserstrahls B auf $f_c(1)$ eingestellt. Wenn die Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} größer als $L_{sc}(1)$ und kleiner oder gleich $L_{sc}(2)$ ist, wird die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} auf $V_{xd}(2)$ und die Frequenz des Laserstrahls B auf $f_c(2)$ eingestellt.

[0198] Das bedeutet, dass in der Laserbearbeitungsbedingungenbestimmung von **Fig. 21** die Länge (Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc}) der Zone konstanter Geschwindigkeit SC , die für die geplante Teilungslinie S , die bearbeitet werden soll, festgelegt wurde, erlangt wird (Schritt S 1201). Dann wird die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} bestimmt (Schritt S 1202) und die Frequenz f_c des Laserstrahls B wird bestimmt (Schritt S 1203), basierend auf der in Schritt S 1201 erlangten Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} und der Tabelle von **Fig. 22C**. Die Bestrahlungspositionsabastung wird gemäß den durch **Fig. 21** auf diese Weise bestimmten Laserbearbeitungsbedingungen (Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} und Frequenz f_c) durchgeführt.

[0199] Die Bestrahlungspositionsabastung wird der Reihe nach für die Vielzahl von geplanten Teilungslinien S parallel zur X-Richtung durchgeführt. Mit anderen Worten werden für die geplanten Teilungslinien S eine Vielzahl von Bestrahlungspositionsabastungen durchgeführt, die sich voneinander unterscheiden. Im Gegensatz dazu wird die Laserbearbeitungsbedingungenbestimmung von **Fig. 21** für jede der Vielzahl von Bestrahlungspositionsabastungen durchgeführt. Bei jeder Bestrahlungspositionsabastung wird die Laserbestrahlungsposition L_b bewegt und gemäß den für jede Bestrahlungspositionsabastung bestimmten Laserbearbeitungsbedingungen der Laserstrahl B aufgestrahlt.

[0200] Insbesondere wenn das Halbleitersubstrat W , das mit einer Vielzahl von geplanten Teilungslinien S parallel zur X-Richtung gebildet wird, wie im obigen Beispiel kreisförmig ist, wird die geplante Teilungslinie S umso kürzer, je weiter sie von einem Kreismittelpunkt in der Y-Richtung entfernt liegt, und die für die geplante Teilungslinie S festgelegte Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} wird ebenfalls kürzer. Das bedeutet, dass sich die für die Bestrahlungspositionsabastung eingestellte Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} unterscheidet in Abhängigkeit von der Position der geplanten Teilungslinie S in der Y-Richtung, für die die Bestrahlungspositions-

abtastung durchgeführt wird, unterscheidet. Dementsprechend ist es zweckmäßig, die Laserbearbeitungsbedingungsbestimmung für jede Bestrahlungspositionsabtastung durchzuführen, die nacheinander für mehrere geplante Teilungslinien S durchgeführt wird.

[0201] Es wird angemerkt, dass die Laserbearbeitungsbedingungsbestimmung zu einem beliebigen Zeitpunkt vor dem Beginn der Bestrahlungspositionsabtastung durchgeführt werden kann, die ein Ziel der Laserbearbeitungsbedingungsbestimmung ist. Beispielsweise kann die Laserbearbeitungsbedingungsbestimmung für alle der Vielzahl von Bestrahlungspositionsabtastungen durchgeführt werden, bevor die Vielzahl von Bestrahlungspositionsabtastungen, die jeweils den Vielzahl von geplanten Teilungslinien S parallel zur X-Richtung entsprechen, gestartet werden. Alternativ kann im Falle der Durchführung der nächsten Bestrahlungspositionsabtastung im Anschluss an eine Bestrahlungspositionsabtastung die Laserbearbeitungsbedingungsbestimmung für die nächste Bestrahlungspositionsabtastung während der Ausführung der einen Bestrahlungspositionsabtastung durchgeführt werden.

[0202] Es wird angemerkt, dass, wie in **Fig. 22C** gezeigt, die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} durch Auswählen von einer aus einer Vielzahl von diskreten Bearbeitungsgeschwindigkeiten $V_{xd}(1)$, $V_{xd}(2)$, $V_{xd}(3)$ und $V_{xd}(4)$ angepasst wird, und die Oszillationsfrequenz f_c durch Auswählen von einer aus einer Vielzahl von diskreten Oszillationsfrequenzen $f_c(1)$, $f_c(2)$, $f_c(3)$ und $f_c(4)$ angepasst wird. Das bedeutet, dass bei der Laserbearbeitungsbedingungsbestimmung die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} und die Oszillationsfrequenz f_c basierend darauf ausgewählt werden, zu welchem der in **Fig. 22C** dargestellten (vier) Bereiche die Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} gehört. Wenn zu diesem Zeitpunkt die Bereiche, zu denen die Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} gehört, zwischen zwei aufeinanderfolgenden Laserbestrahlungspositionsabtastungen gleich sind, die durchgeführt werden, wenn die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} und die Oszillationsfrequenz f_c durch Ausführen der Laserbearbeitungsbedingungsbestimmung für jede der Vielzahl von Bestrahlungspositionsabtastungen eingestellt werden, werden die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} und die Oszillationsfrequenz f_c beibehalten. Andererseits werden die Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} und die Oszillationsfrequenz f_c geändert (d.h. umgeschaltet), wenn die Bereiche, zu denen die Strecke konstanter Geschwindigkeit L_{sc} gehört, zwischen zwei aufeinanderfolgenden Laserbestrahlungspositionsabtastungen unterschiedlich sind. Das bedeutet, dass das Einstellen der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} das Beibehalten der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} und das Verändern

(Umschalten) der Bearbeitungsgeschwindigkeit V_{xd} umfasst, und das Einstellen der Oszillationsfrequenz f_c das Beibehalten der Oszillationsfrequenz f_c und das Verändern (Umschalten) der Oszillationsfrequenz f_c umfasst.

[0203] Wie gerade beschrieben, entspricht in der obigen Ausführungsform die Laserbearbeitungsvorrichtung 1 einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „Laserbearbeitungsvorrichtung“, die Spannbühne 3 einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „Stützelements“, der Y-Achsen-Antreiber 63 einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „Vorschubachsen-Antreibers“, der X-Achsen-Antreiber 65 einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „Bearbeitungsachsen-Antreibers“, der Bearbeitungskopf 71 entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „Bearbeitungskopfes“, der Abbildungsteil 8A entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „ersten Abbildungsteils“, der Abbildungsbereich R_i des Abbildungsteils 8A entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „ersten Abbildungsbereichs“, der Abbildungsteil 8B entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „zweiten Abbildungsteils“, der Abbildungsbereich R_i des Abbildungsteils 8B entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „zweiten Abbildungsbereichs“, die Steuerungseinheit 100 entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „Steuerungseinheit“, die Steuerungseinheit 100 entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „Computers“, das Laserbearbeitungsprogramm 191 entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „Laserbearbeitungsprogramms“, das Aufzeichnungsmedium 192 entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „Aufzeichnungsmediums“, der Laserstrahl B entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen „Laserstrahls“, die Laserbestrahlungsposition L_b entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „Laserbestrahlungsposition“, die geplante Teilungslinie S entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „Bearbeitungslinie“, die geplante Teilungslinie S1 entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „ersten Bearbeitungslinie“, die geplante Teilungslinie S2 entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „zweiten Bearbeitungslinie“, die gedachte Gerade S_{v1} entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „ersten gedachten Geraden“, die gedachte Gerade S_{v2} entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „zweiten gedachten Geraden“, die geplante Teilungslinie S2 entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „dritten Bearbeitungslinie“, die geplante Teilungslinie S3 entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „vierten Bearbeitungslinie“, die gedachte Gerade S_{v2} entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „dritten gedachten Geraden“, die gedachte Gerade S_{v3} entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „vierten gedachten Geraden“, das Halbleitersubstrat W entspricht einem Beispiel eines erfindungsgemäßen

„Bearbeitungsobjekts“, die X-Richtung entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „Bearbeitungsrichtung“, die Y-Richtung entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „Vorschubrichtung“, die (+X)-Seite entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „ersten Seite“ und die (-X)-Seite entspricht einem Beispiel einer erfindungsgemäßen „zweiten Seite“.

[0204] Es wird angemerkt, dass die Erfindung nicht auf die obige Ausführungsform beschränkt ist und dass verschiedene andere als die oben beschriebenen Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Geist der Erfindung abzuweichen. Zum Beispiel ist die Verwendung des aufgenommenen Bildes in der obigen Ausführungsform nicht gesondert beschrieben. Ein solches Bild kann jedoch für verschiedene Zwecke verwendet werden. Dementsprechend kann die Steuerungseinheit 100 auf Grundlage des aufgenommenen Bildes des Halbleitersubstrats W einen Verschiebungsbetrag der un bearbeiteten geplanten Teilungslinie S in der Y-Richtung berechnen und die zu bearbeitende, geplante Teilungslinie S sowie die Laserbestrahlungsposition Lb auf Grundlage dieses Verschiebungsbetrags ausrichten.

[0205] Obgleich der Abbildungsteil 8 in den obigen Beispielen den Schnittpunkt der beiden geplanten Teilungslinien S orthogonal zueinander abbildet, ist ein durch den Abbildungsteil 8 abzubildendes Objekt nicht darauf beschränkt und kann zum Beispiel eine Ausrichtungsmarkierung oder dergleichen sein, die am Halbleiterchip C angebracht ist.

[0206] Darüber hinaus ist die konkrete Konfiguration für die Relativbewegung der Laserbestrahlungsposition Lb in Bezug auf das Halbleitersubstrat W nicht auf den XY θ -Antriebstisch 6 beschränkt und kann beispielsweise ein Antriebsmechanismus zum Antreiben des Bearbeitungskopfes 71 in X- und Y-Richtung sein.

[0207] Ferner können die einzeln getrennten Halbleiterchips C durch das oben beschriebene Laserbearbeitungsverfahren (Substratbearbeitung von **Fig. 11** oder dergleichen) hergestellt werden (Halbleiterchip-Herstellungsverfahren). In diesem Halbleiterchip-Herstellungsverfahren wird eine modifizierte Schicht gebildet, indem die Linienbearbeitung für die geplanten Teilungslinien S des Halbleitersubstrats W durch das oben beschriebene Laserbearbeitungsverfahren durchgeführt wird (Laserbearbeitungsschritt). Anschließend wird jeder der Vielzahl von Halbleiterchips C durch Dehnen und Expandieren des Bandes E, das das Halbleitersubstrat W hält, getrennt (Expansionschritt).

BEZUGSZEICHENLISTE

1	Laserbearbeitungsvorrichtung
3	die Spann Bühne (Stützelement)
63	Y-Achsen-Antreiber (Vorschubachsen-Antreiber)
65	der X-Achsen-Antreiber (Bearbeitungsachsen-Antreiber)
71	Bearbeitungskopf
8A	Abbildungsteil (erster Abbildungsteil)
8B	Abbildungsteil (zweiter Abbildungsteil)
100	Steuerungseinheit (Computer)
191	Laserbearbeitungsprogramm
192	Aufzeichnungsmedium

ZITATE ENHALTEN 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

- JP 5804716 [0002]
- JP 5554593 [0002]
- JP 5037082 [0002]

Patentansprüche

1. Laserbearbeitungsvorrichtung, aufweisend:
 ein Stützelement, das ein Bearbeitungsobjekt mit einer Vielzahl von parallel zueinander verlaufenden Bearbeitungslinien stützt, so dass die Bearbeitungslinien parallel zu einer vorgegebenen Bearbeitungsrichtung verlaufen;
 einen Bearbeitungskopf, der einen Laserstrahl auf eine vorgegebene Laserbestrahlungsposition strahlt;
 einen Bearbeitungsachsen-Antreiber, der die Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung relativ zu dem Bearbeitungsobjekt bewegt, indem er das Stützelement und/oder den Bearbeitungskopf in der Bearbeitungsrichtung antreibt;
 einen Vorschubachsen-Antreiber, der die Laserbestrahlungsposition in einer zur Bearbeitungsrichtung orthogonalen Vorschubrichtung relativ zu dem Bearbeitungsobjekt durch Antreiben des Stützelements und/oder des Bearbeitungskopfs in der Vorschubrichtung bewegt;
 einen ersten Abbildungsteil, der sich in der Bearbeitungsrichtung in Bezug auf den Bearbeitungskopf auf einer ersten Seite befindet und einen ersten Abbildungsbereich abbildet, der sich auf der ersten Seite der Laserbestrahlungsposition befindet;
 einen zweiten Abbildungsteil, der sich in der Bearbeitungsrichtung in Bezug auf den Bearbeitungskopf auf einer zweiten Seite gegenüberliegend bzw. entgegengesetzt zu der ersten Seite befindet und einen zweiten Abbildungsbereich abbildet, der sich auf der zweiten Seite der Laserbestrahlungsposition befindet; und
 eine Steuerungseinheit, um die Bearbeitungslinie zu bearbeiten, indem sie durch Bewegen der Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung in Bezug auf das Bearbeitungsobjekt durch den Bearbeitungsachsen-Antreiber eine Linienbearbeitung durchführt, während der Laserstrahl vom Bearbeitungskopf auf die Laserbestrahlungsposition gestrahlt wird, wobei die Laserbestrahlungsposition durch den Vorschubachsen-Antreiber mit der Bearbeitungslinie ausgerichtet wird; und
 wobei der erste Abbildungsbereich und der zweite Abbildungsbereich sich relativ zu dem Bearbeitungsobjekt integral mit der Laserbestrahlungsposition bewegen, sobald sich die Laserbestrahlungsposition bewegt, und
 wobei die Steuerungseinheit den ersten Abbildungsteil veranlasst, einen Teil des Bearbeitungsobjekts abzubilden, der den ersten Abbildungsbereich überlappt, und den zweiten Abbildungsteil veranlasst, einen Teil des Bearbeitungsobjekts abzubilden, der den zweiten Abbildungsbereich überlappt.

2. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 1, wobei:
 die Steuerungseinheit nacheinander eine erste Linienbearbeitung der Bearbeitung einer ersten

Bearbeitungslinie aus der Vielzahl von Bearbeitungslinien durchführt, indem die Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung zur ersten Seite hin bewegt wird, und eine zweite Linienbearbeitung der Bearbeitung einer zweiten, sich von der ersten Bearbeitungslinie unterscheidenden Bearbeitungslinie, aus der Vielzahl von Bearbeitungslinien durchführt, indem die Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung zur zweiten Seite hin bewegt wird.

3. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 2, wobei:
 der Bearbeitungsachsen-Antreiber einen ersten Rückwärtsantrieb durchführt, um die Laserbestrahlungsposition zu der zweiten Bearbeitungslinie zu verbringen, indem er die Laserbestrahlungsposition in Richtung der zweiten Seite beschleunigt, nachdem er die Laserbestrahlungsposition, die die erste Bearbeitungslinie in Richtung der ersten Seite durchlaufen hat, in Bearbeitungsrichtung zur ersten Seite hin abgebremst und angehalten hat, und
 der Vorschubachsen-Antreiber die Laserbestrahlungsposition in der Vorschubrichtung von einer ersten gedachten Geraden, die sich in der Bearbeitungsrichtung bis nach außerhalb der ersten Bearbeitungslinie entlang der ersten Bearbeitungslinie erstreckt, zu einer zweiten gedachten Geraden bewegt, die in der Bearbeitungsrichtung bis nach außerhalb der zweiten Bearbeitungslinie entlang der zweiten Bearbeitungslinie verläuft, in einem ersten Umschaltzeitraum ab dem Ende der ersten Linienbearbeitung bis zum Beginn der zweiten Linienbearbeitung, und
 der zweite Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den zweiten Abbildungsbereich in dem ersten Umschaltzeitraum überlappt.

4. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 3, wobei
 die Steuerungseinheit einen ersten Stoppzeitraum bereitstellt, während dem die Laserbestrahlungsposition sowohl in Bearbeitungsrichtung als auch in Vorschubrichtung stoppt, indem der Vorschubachsen-Antreiber veranlasst wird, die Laserbestrahlungsposition zu einem Zeitpunkt anzuhalten, zu dem der Bearbeitungsachsen-Antreiber die Laserbestrahlungsposition durch den ersten Rückwärtsantrieb im ersten Umschaltzeitraum anhält, und
 der zweite Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den zweiten Abbildungsbereich im ersten Stoppzeitraum überlappt.

5. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, wobei:
 die Steuerungseinheit der Reihe nach eine dritte Linienbearbeitung der Bearbeitung einer dritten Bearbeitungslinie aus der Vielzahl von Bearbeitungslinien, indem die Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung zur zweiten Seite hin

bewegt wird, und eine vierte Linienbearbeitung der Bearbeitung einer vierten Bearbeitungslinie aus der Vielzahl von Bearbeitungslinien, die sich von der dritten Bearbeitungslinie unterscheidet, durch die Linienbearbeitung des Bewegens der Laserbestrahlungsposition in Richtung der ersten Seite in der Bearbeitungsrichtung, durchführt, der Bearbeitungsachsen-Antreiber einen zweiten Rückwärtsantrieb durchführt, um die Laserbestrahlungsposition zur vierten Bearbeitungslinie zu verbringen, indem die Laserbestrahlungsposition in Richtung der ersten Seite beschleunigt wird, nachdem die Laserbestrahlungsposition, die die dritte Bearbeitungslinie in Richtung der zweiten Seite durchlaufen hat, in Richtung der zweiten Seite in der Bearbeitungsrichtung verlangsamt und angehalten wurde, und der Vorschubachsen-Antreiber die Laserbestrahlungsposition in der Vorschubrichtung in einem zweiten Umschaltzeitraum ab dem Ende der dritten Linienbearbeitung bis zum Beginn der vierten Linienbearbeitung, von einer dritten gedachten Geraden, die sich in der Bearbeitungsrichtung entlang der dritten Bearbeitungslinie nach außerhalb der dritten Bearbeitungslinie erstreckt, zu einer vierten gedachten Geraden bewegt, die sich in der Bearbeitungsrichtung entlang der vierten Bearbeitungslinie nach außerhalb der vierten Bearbeitungslinie erstreckt, und der erste Abbildungsteil einen Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den ersten Abbildungsbereich in dem zweiten Umschaltzeitraum überlappt.

6. Laserbearbeitungsvorrichtung nach Anspruch 5, wobei:

die Steuerungseinheit einen zweiten Stoppzeitraum bereitstellt, während dem die Laserbestrahlungsposition sowohl in der Bearbeitungsrichtung als auch in der Vorschubrichtung stoppt, indem der Vorschubachsen-Antreiber veranlasst wird, die Laserbestrahlungsposition zu einem Zeitpunkt zu stoppen, zu dem der Bearbeitungsachsen-Antreiber die Laserbestrahlungsposition durch den zweiten Rückwärtsantrieb in dem zweiten Umschaltzeitraum stoppt, und der erste Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den ersten Abbildungsbereich in dem zweiten Stoppzeitraum überlappt.

7. Laserbearbeitungsvorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, wobei:

der erste Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der während der Ausführung der ersten Linienbearbeitung den ersten Abbildungsbereich überlappt, und der zweite Abbildungsteil den Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der während der Ausführung der zweiten Linienbearbeitung den zweiten Abbildungsbereich überlappt.

8. Laserbearbeitungsverfahren zum Bearbeiten einer Bearbeitungslinie eines Bearbeitungsobjekts mit einer Vielzahl von zueinander paralleler Bearbeitungslinien, umfassend:

Stützen des Bearbeitungsobjekts durch ein Stützelement, so dass die Bearbeitungslinien parallel zu einer vorgegebenen Bearbeitungsrichtung verlaufen;

Bewegen einer Laserbestrahlungsposition in der Bearbeitungsrichtung in Bezug auf das Bearbeitungsobjekt durch einen Bearbeitungsachsen-Antreiber zum Antreiben eines Bearbeitungskopfes zum Aufstrahlen eines Laserstrahls auf eine vorgegebene Laserbestrahlungsposition und/oder des Stützelements in der Bearbeitungsrichtung, während der Laserstrahl von dem Bearbeitungskopf auf die Laserbestrahlungsposition aufgestrahlt wird, wobei die Laserbestrahlungsposition durch einen Vorschubachsen-Antreiber zum Antreiben des Bearbeitungskopfes und/oder des Stützelements in einer zur Bearbeitungsrichtung orthogonalen Vorschubrichtung in Fluchtung mit der Bearbeitungslinie gebracht wird;

Abilden eines ersten Abbildungsbereichs, der sich auf einer ersten Seite der Laserbestrahlungsposition befindet, durch einen ersten Abbildungsteil, der in Bezug auf den Bearbeitungskopf in Bearbeitungsrichtung auf der ersten Seite angeordnet ist; und

Abilden eines zweiten Abbildungsbereichs, der sich auf einer zweiten Seite der Laserbestrahlungsposition befindet, durch einen zweiten Abbildungsteil, der in Bezug auf den Bearbeitungskopf auf der zweiten Seite gegenüberliegend der ersten Seite in Bearbeitungsrichtung angeordnet ist,

wobei sich der erste Abbildungsbereich und der zweite Abbildungsbereich relativ zu dem Bearbeitungsobjekt integral mit der Laserbestrahlungsposition bewegen, wenn sich die Laserbestrahlungsposition bewegt,

wobei der erste Abbildungsteil einen Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den ersten Abbildungsbereich überlappt, und

wobei der zweite Abbildungsteil einen Teil des Bearbeitungsobjekts abbildet, der den ersten Abbildungsbereich überlappt.

9. Laserbearbeitungsprogramm, um einen Computer zu veranlassen, das Laserbearbeitungsverfahren nach Anspruch 8 auszuführen.

10. Aufzeichnungsmedium zum computerlesbaren Speichern des Laserbearbeitungsprogramms nach Anspruch 9.

11. Halbleiterchip-Herstellungsverfahren, umfassend:

Bearbeiten eines Halbleitersubstrats, das eine Vielzahl von Halbleiterchips aufweist, die durch Bearbeitungslinien abgegrenzt und in dem Halbleitersubstrat aufgereiht sind, durch das

Laserbearbeitungsverfahren nach Anspruch 9; und Trennen eines jeden der Vielzahl von Halbleiterchips durch Aufdehnen eines Bandes, das das Halbleitersubstrat durch eine Klebekraft hält, bearbeitet durch das Laserbearbeitungsverfahren.

12. Halbleiterchip, hergestellt durch:

Bearbeiten eines Halbleitersubstrats, das eine Vielzahl von Halbleiterchips aufweist, die durch Bearbeitungslinien abgegrenzt und in dem Halbleitersubstrat aufgereiht sind, durch das Laserbearbeitungsverfahren nach Anspruch 9; und Trennen eines jeden der Vielzahl von Halbleiterchips durch Aufdehnen eines Bandes, das das Halbleitersubstrat durch eine Klebekraft hält, bearbeitet durch das Laserbearbeitungsverfahren.

Es folgen 36 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

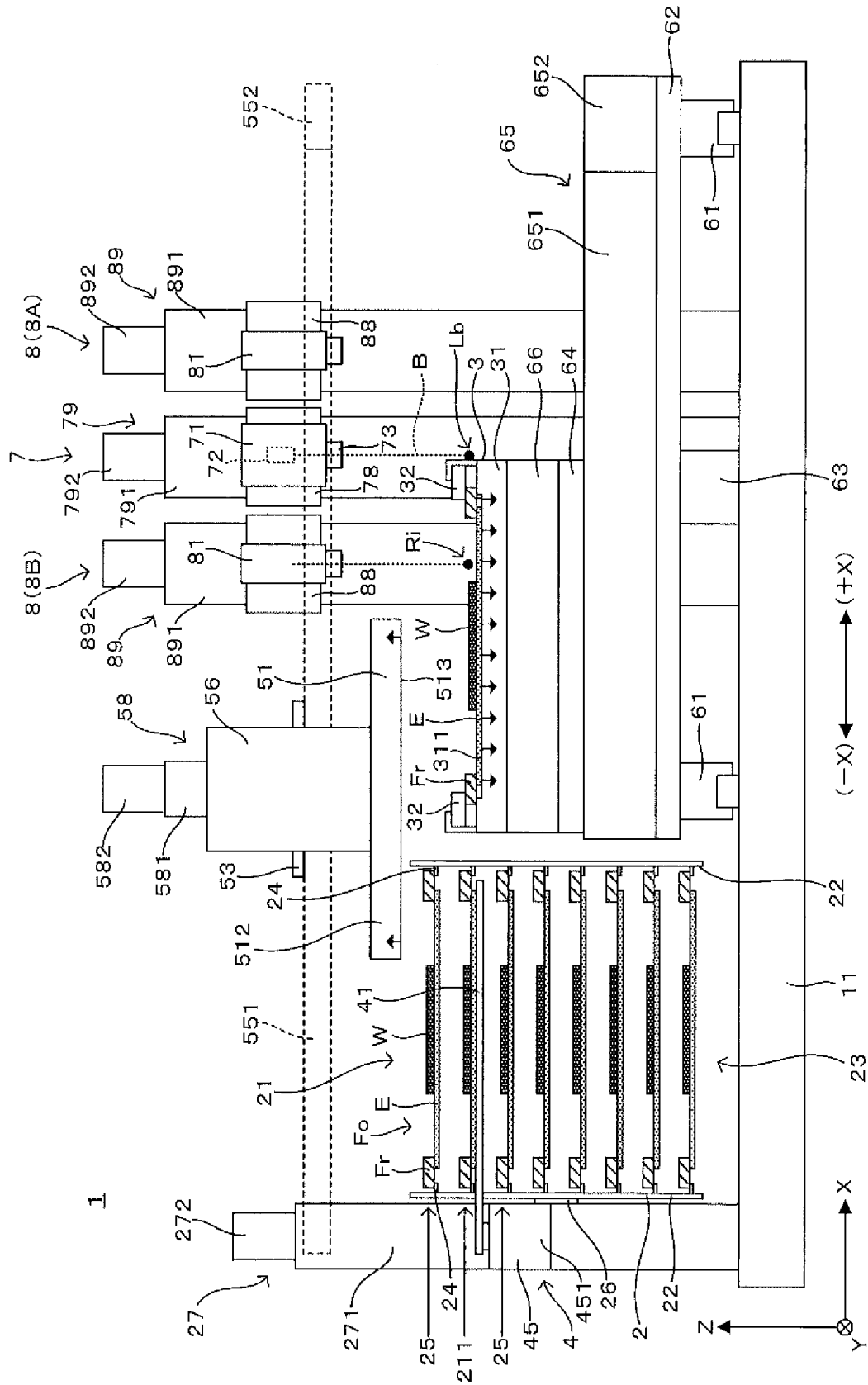


FIG. 1

FIG. 3

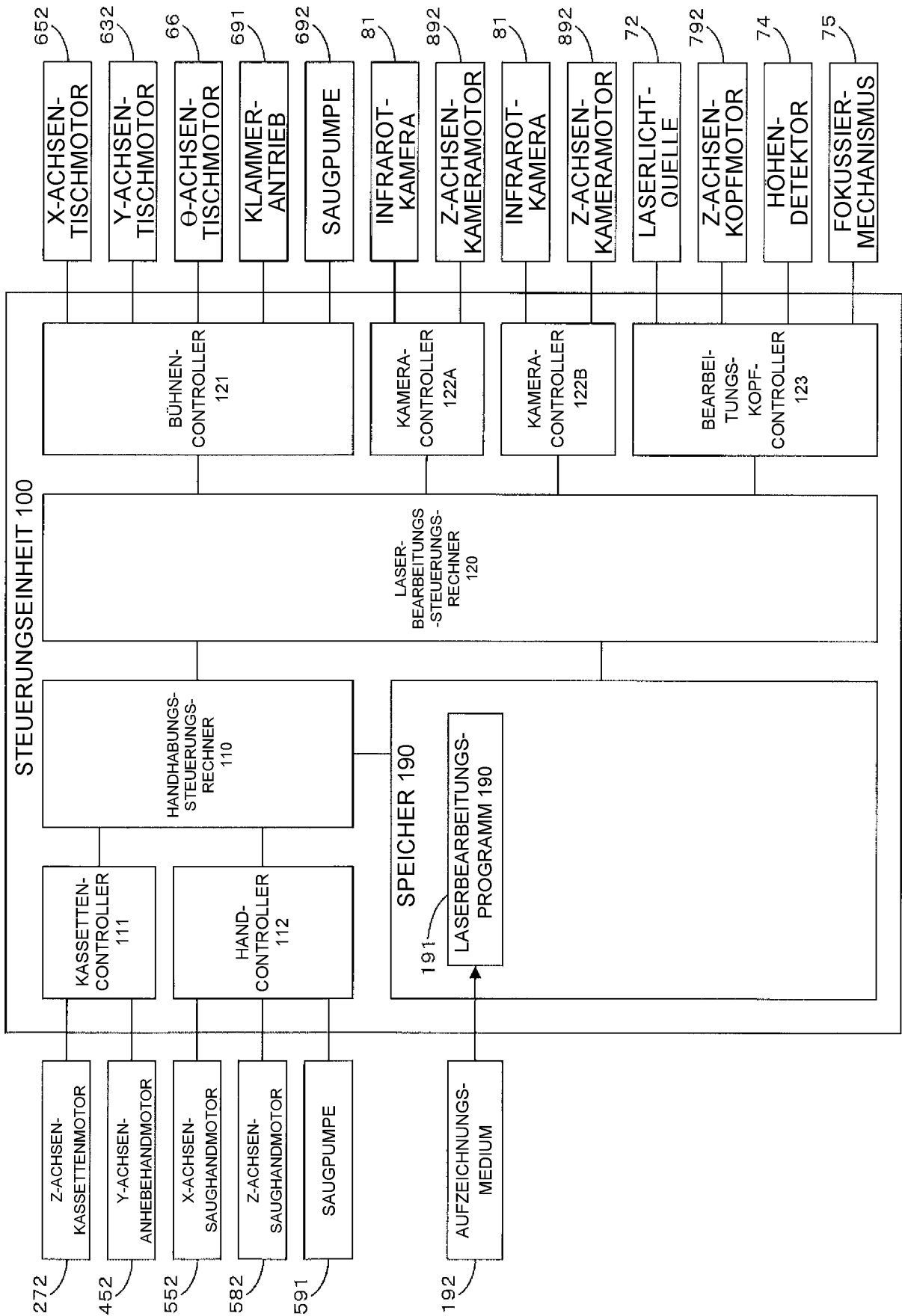


FIG. 4

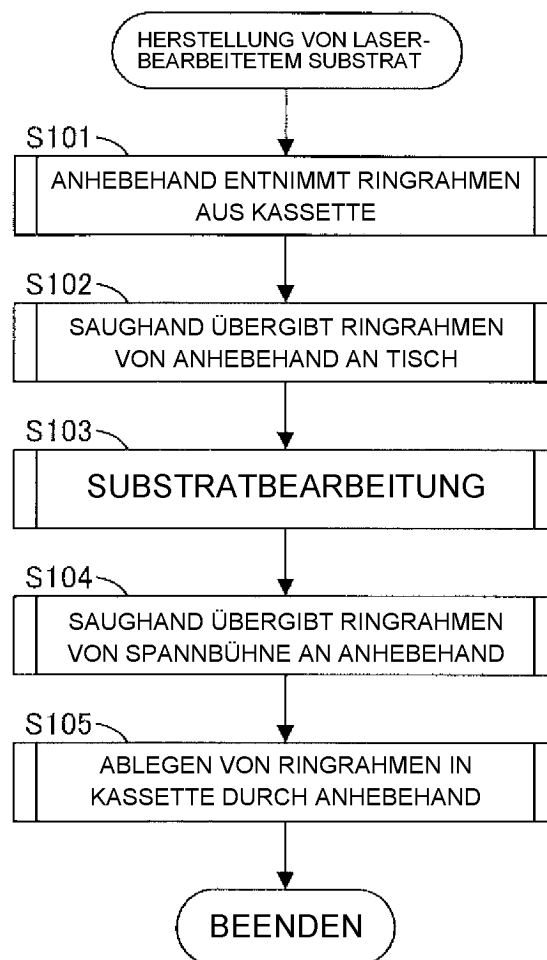


FIG. 5

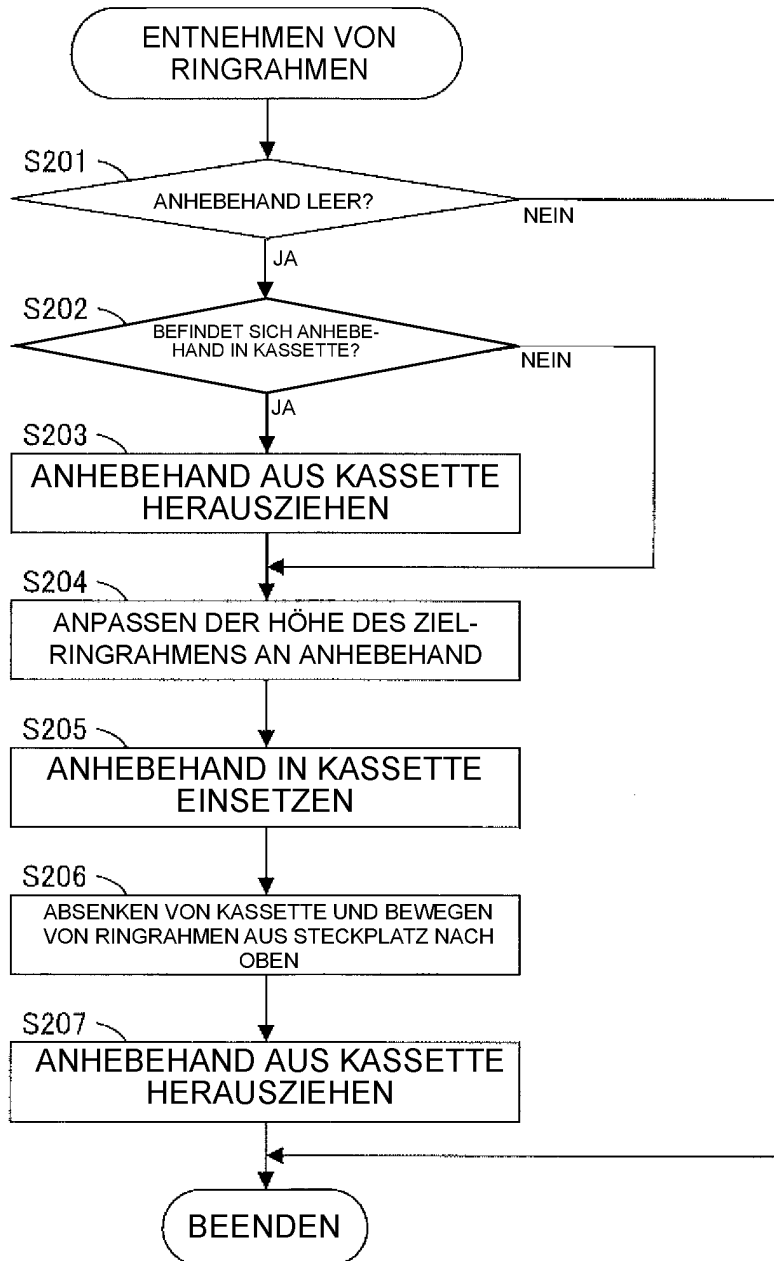


FIG. 6

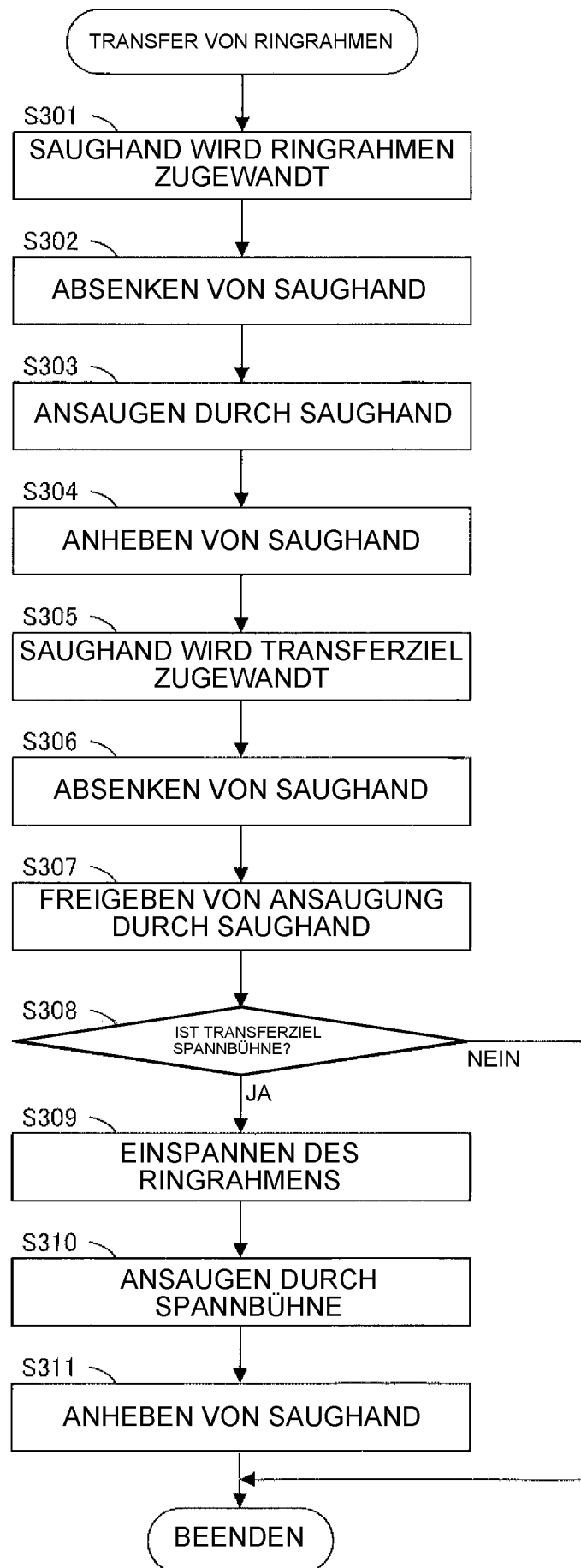


FIG. 7A

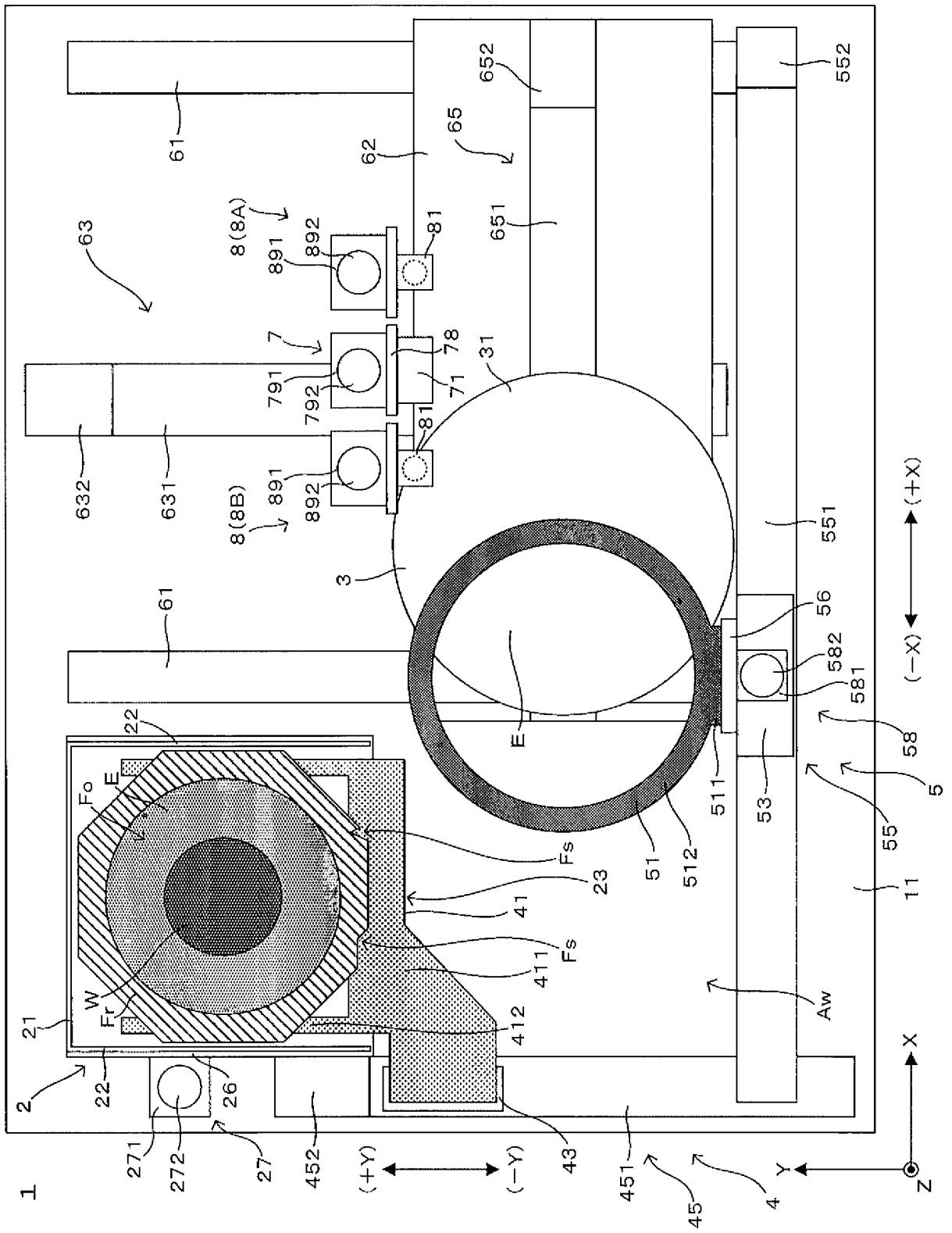


FIG. 7B

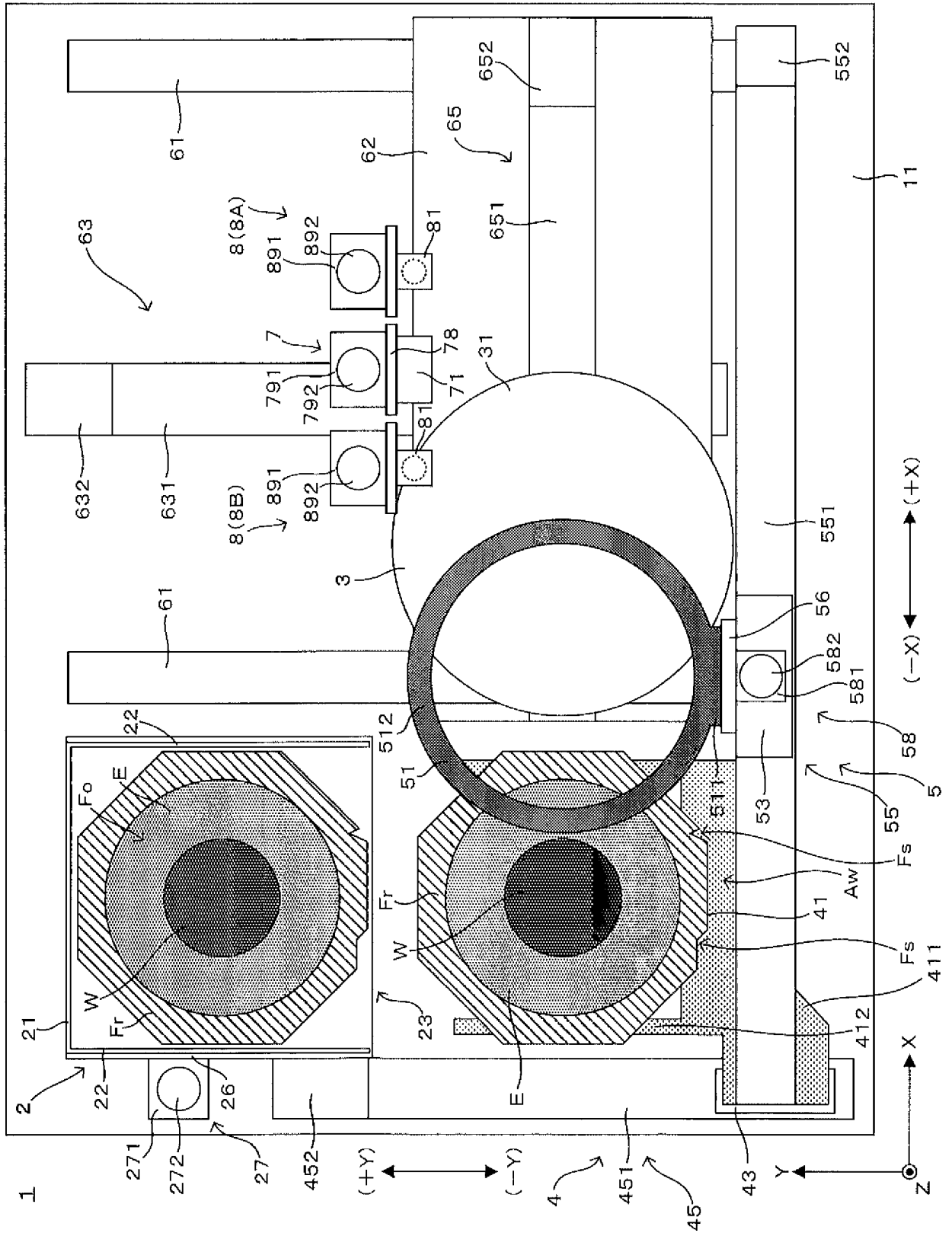


FIG. 7C

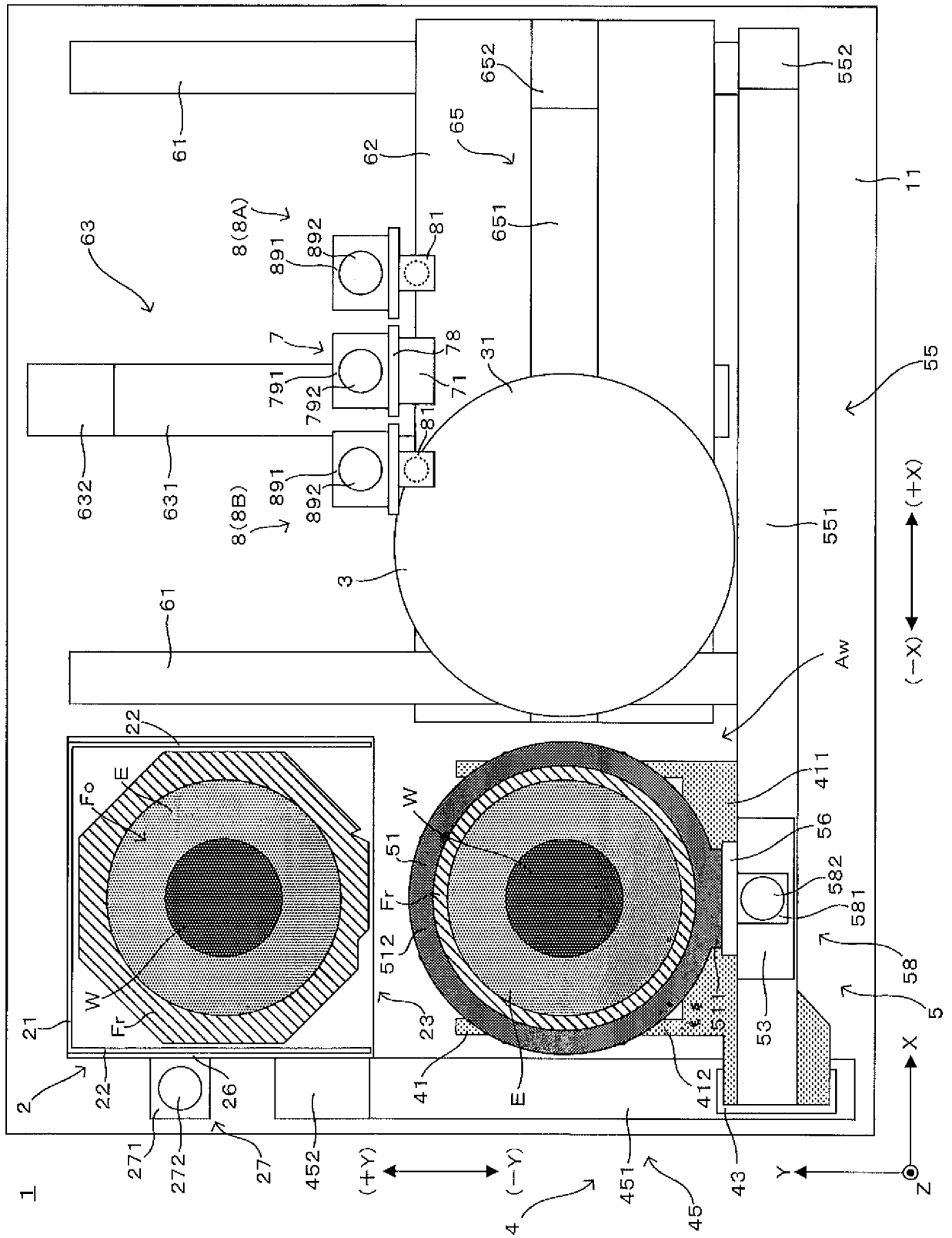


FIG. 8

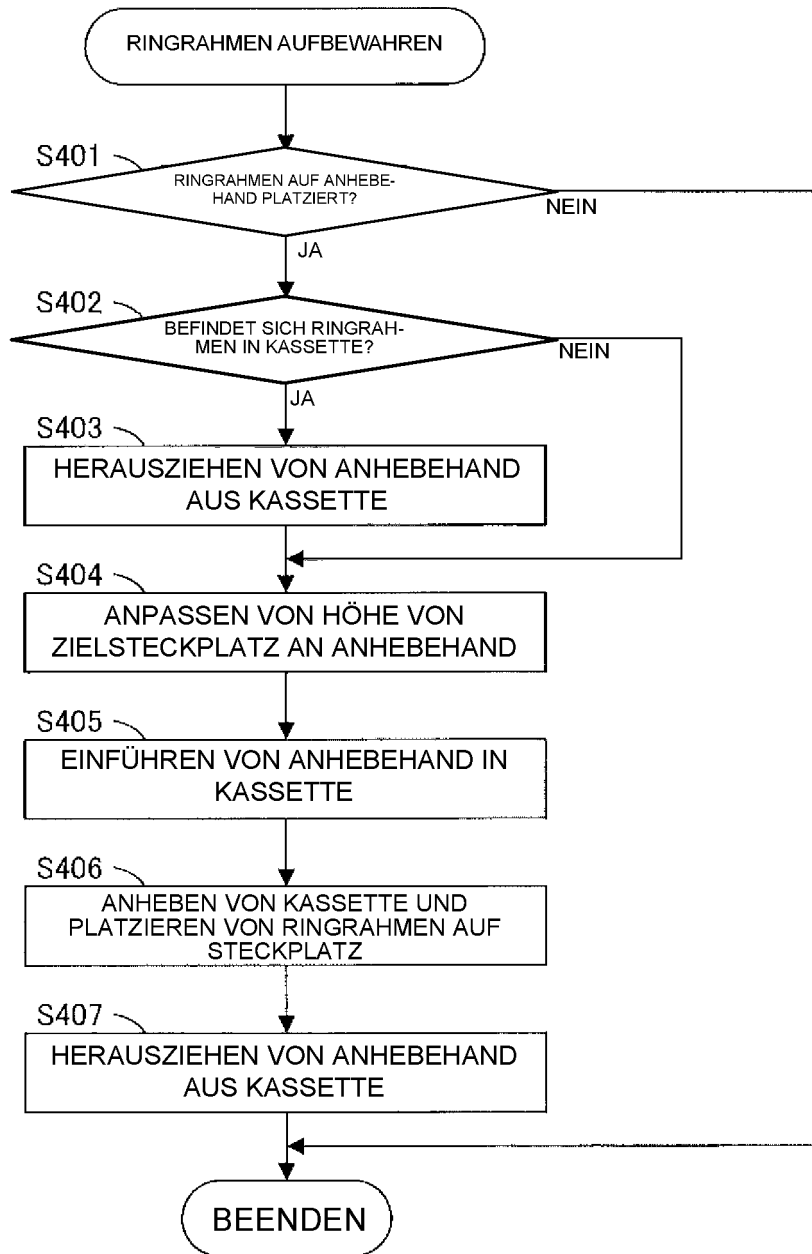


FIG. 9

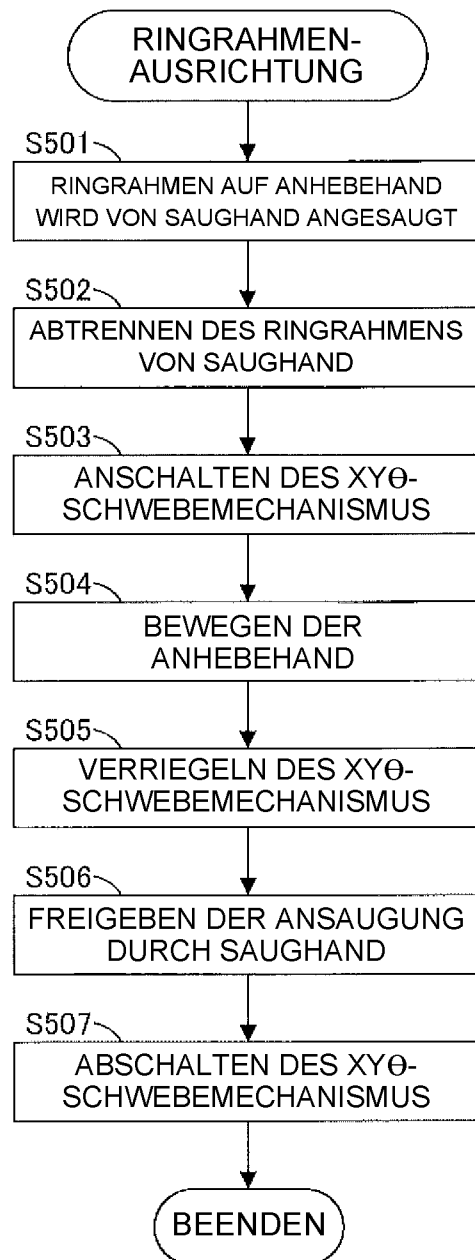


FIG. 10

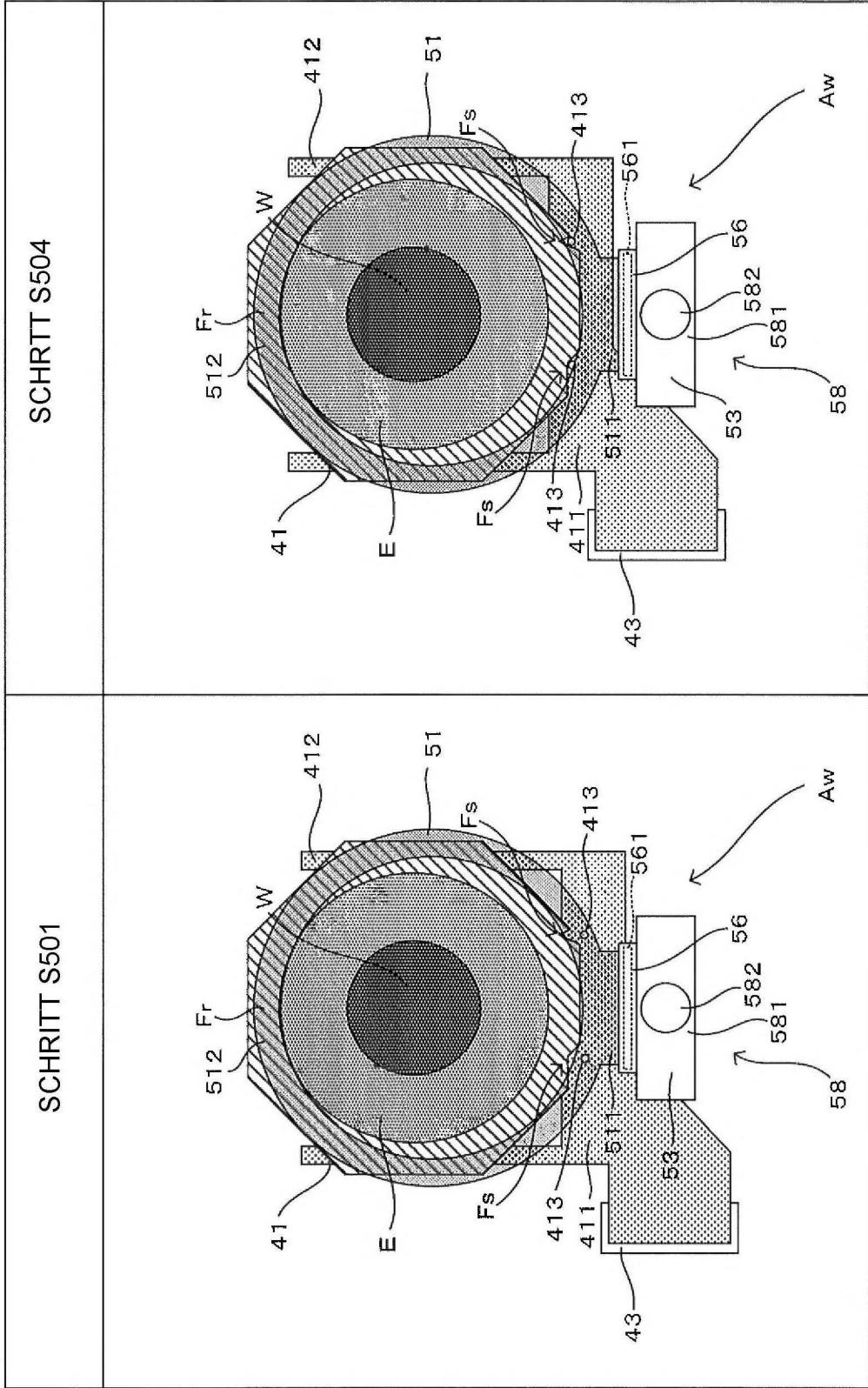


FIG. 11

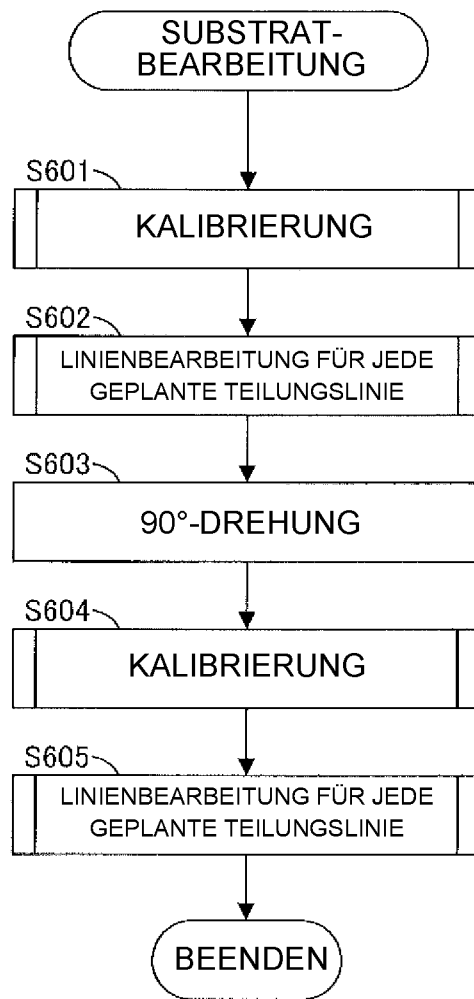


FIG. 12

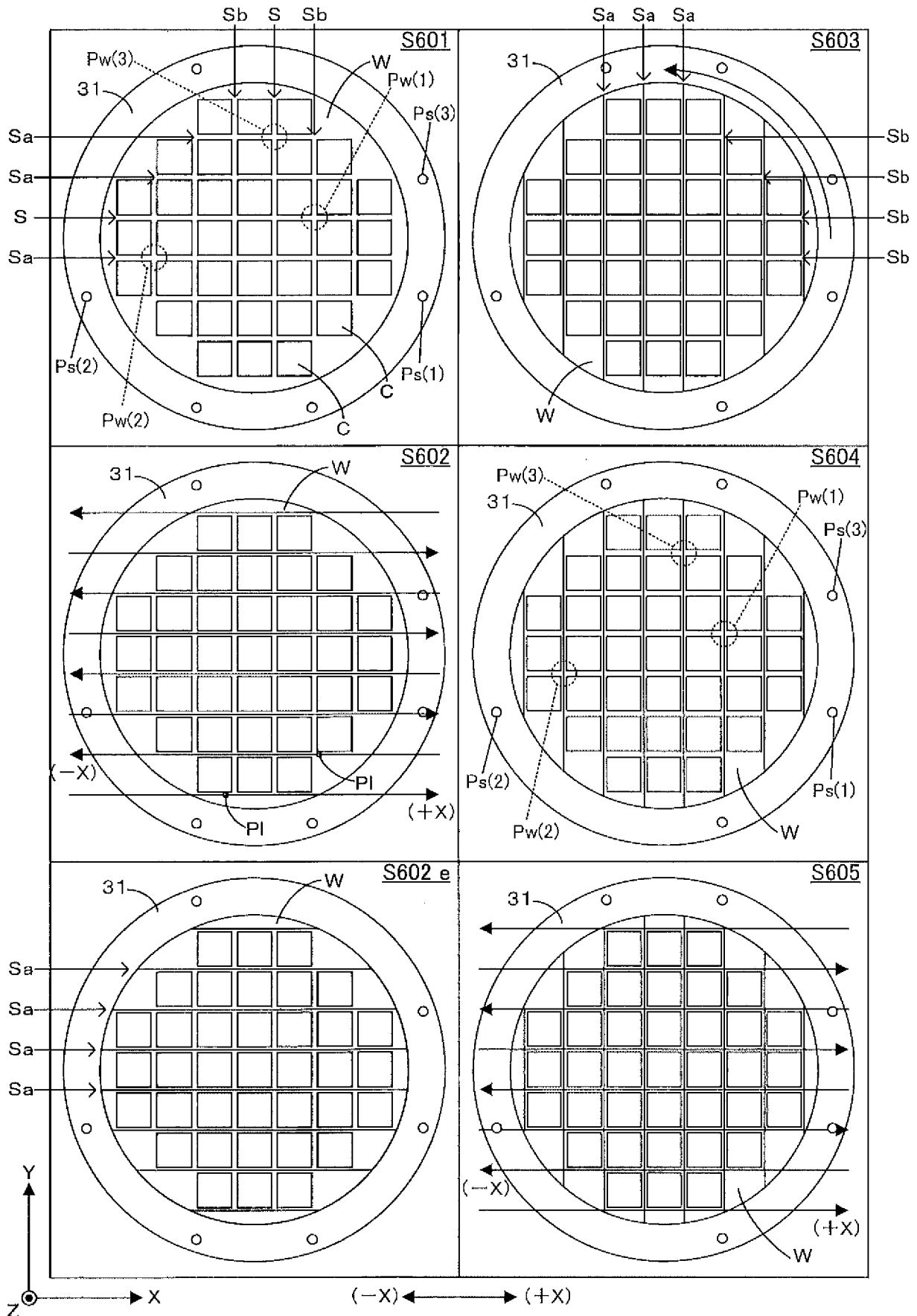


FIG. 13A

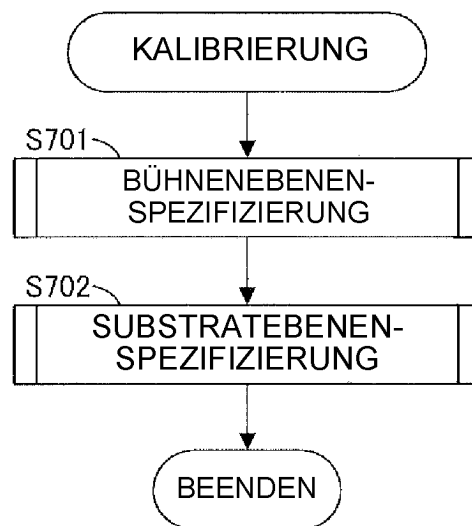


FIG. 13B

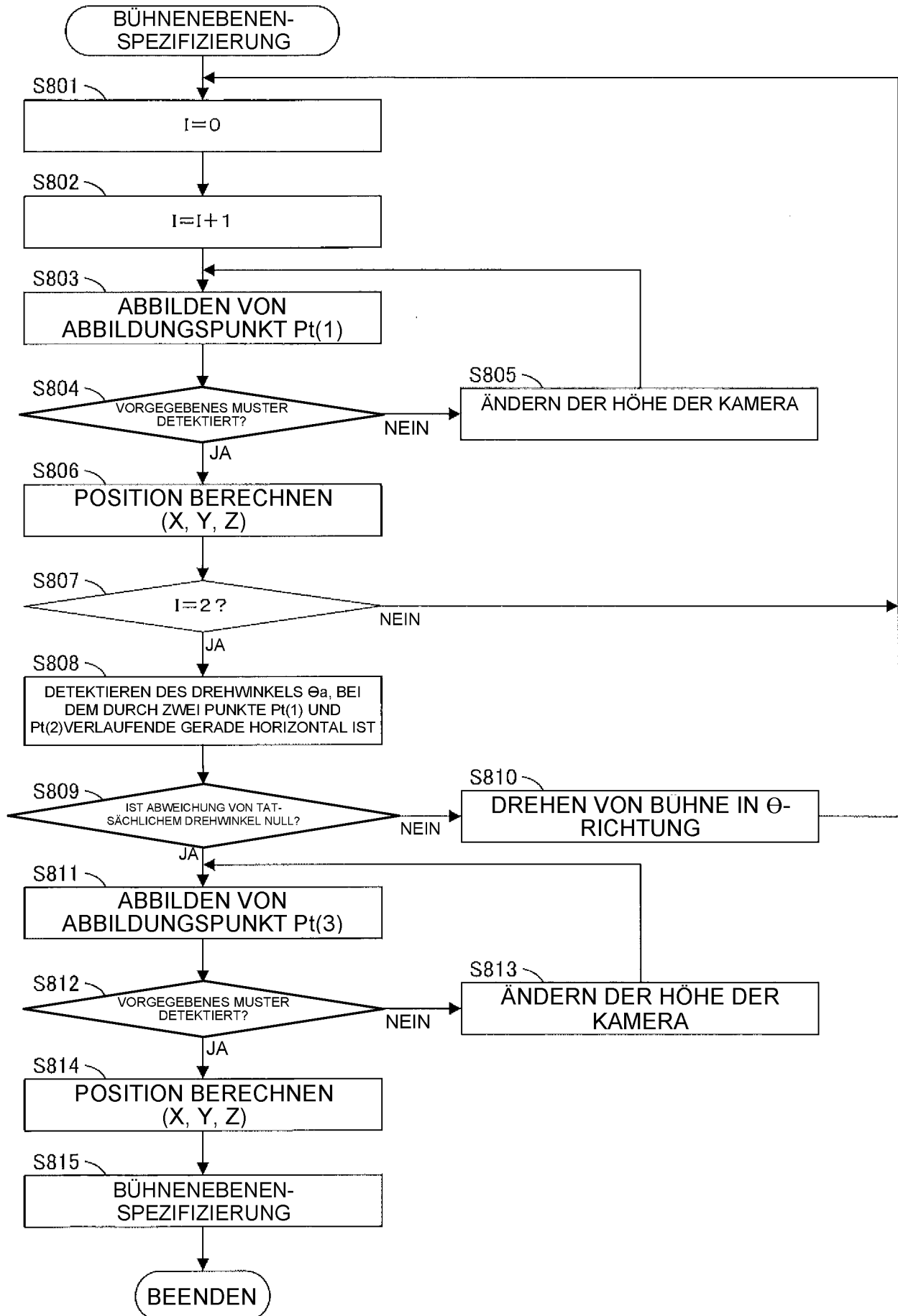


FIG. 13C

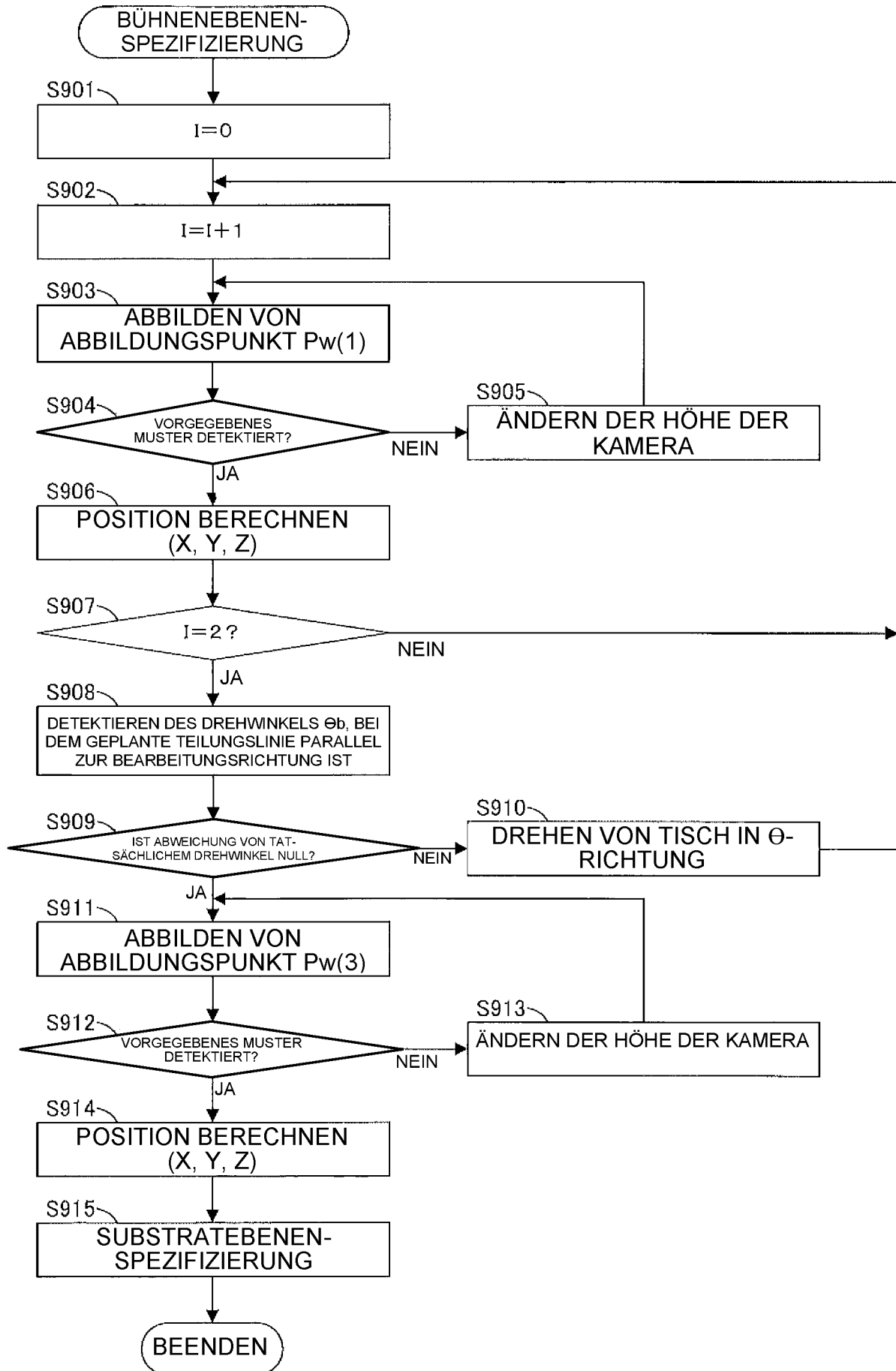


FIG. 14

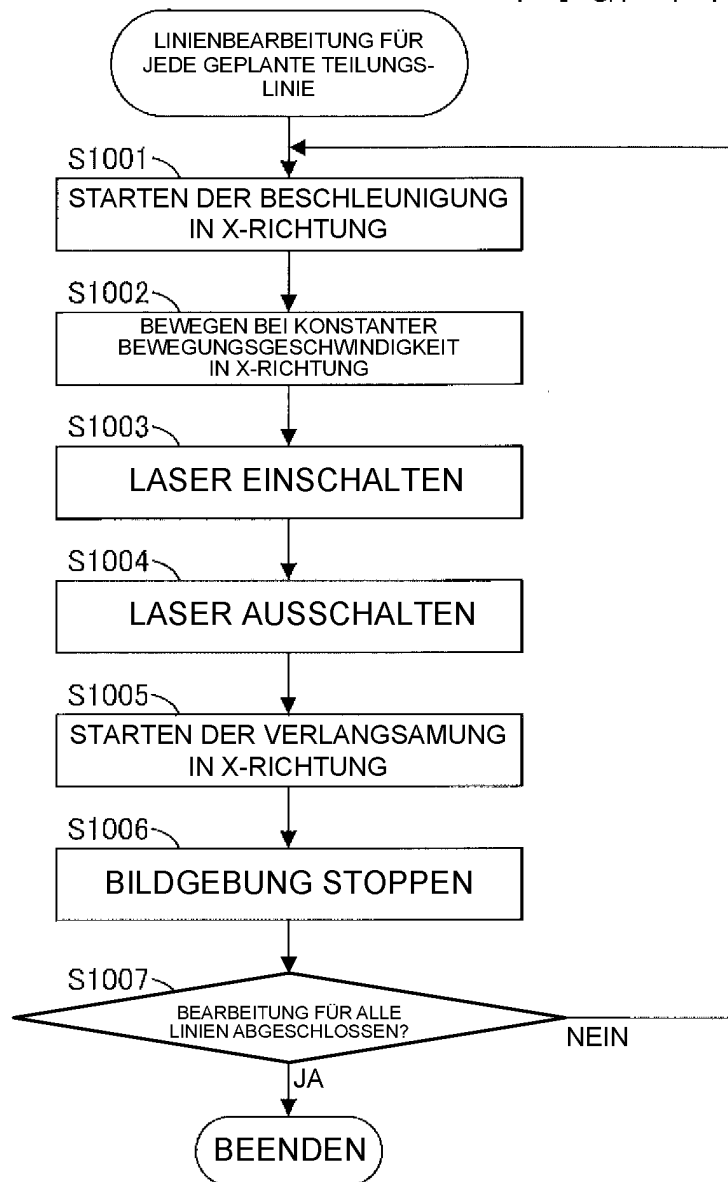
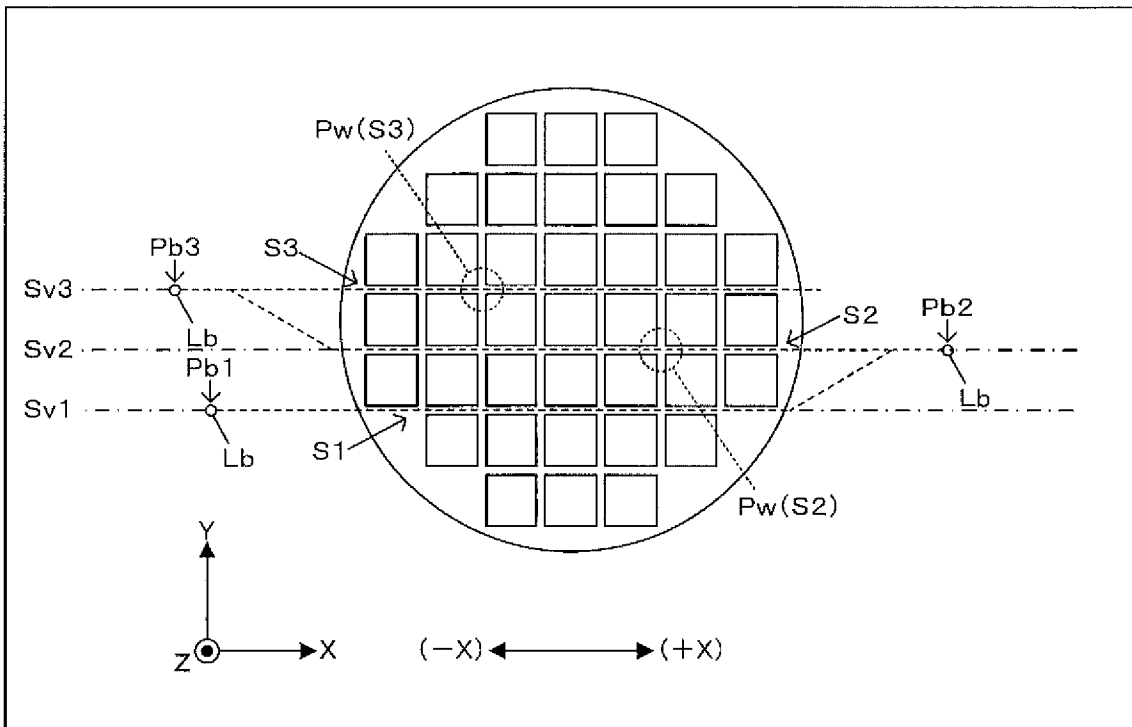
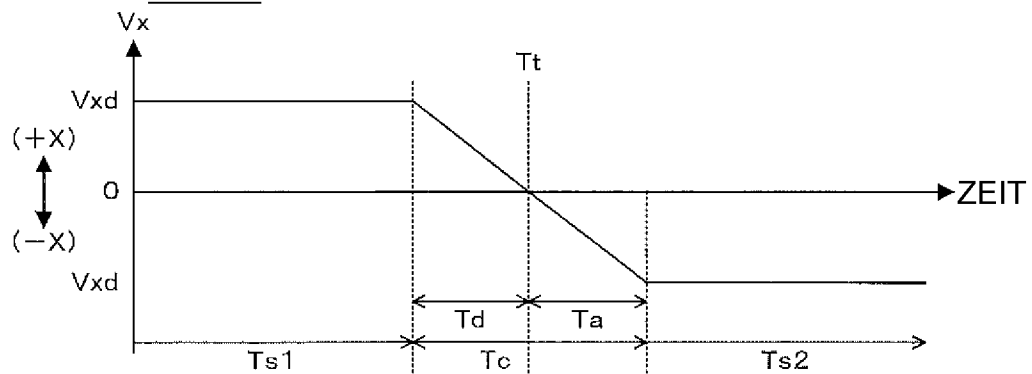


FIG. 15 A



GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG IN X-
RICHTUNG



GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG IN Y-
RICHTUNG

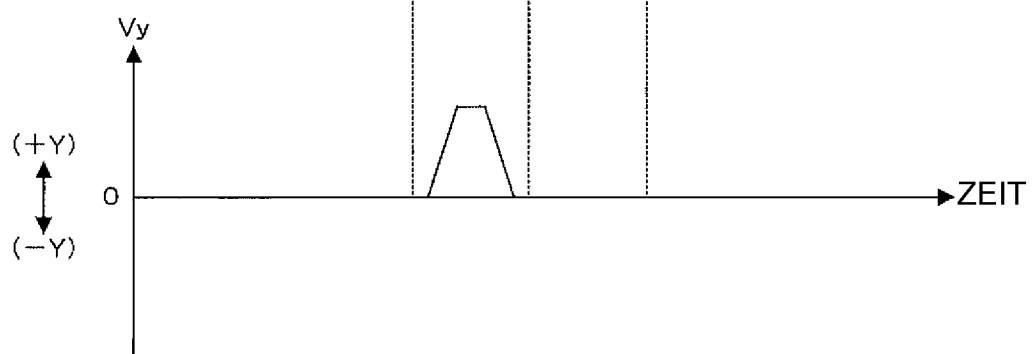
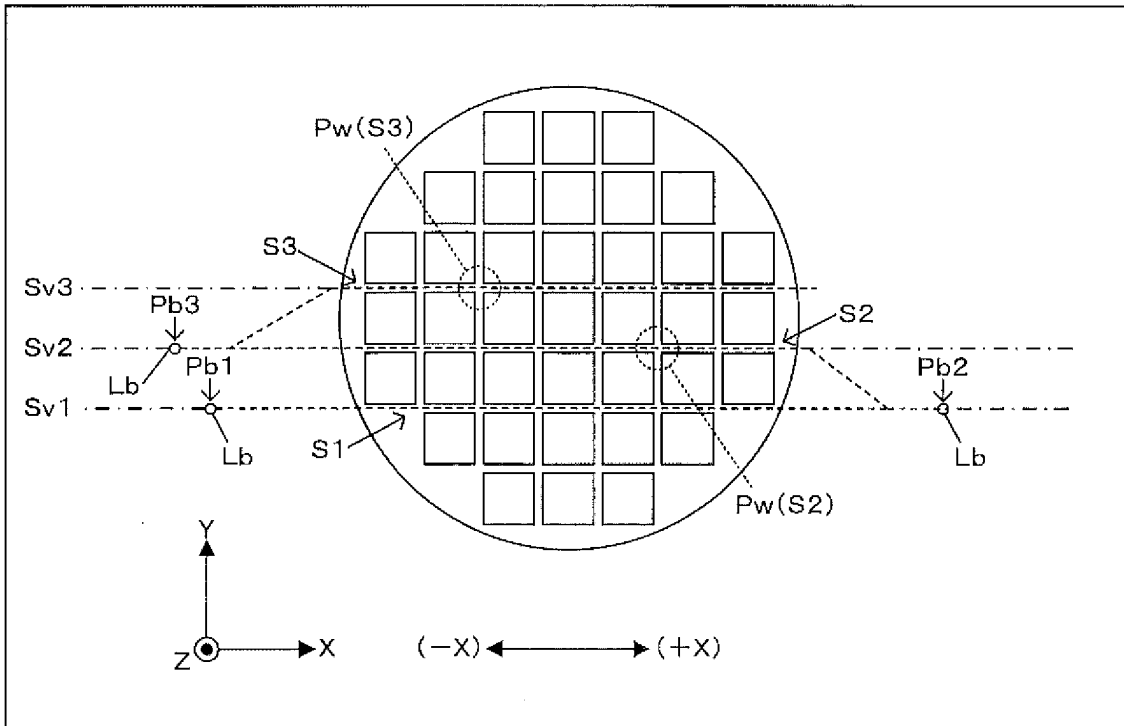
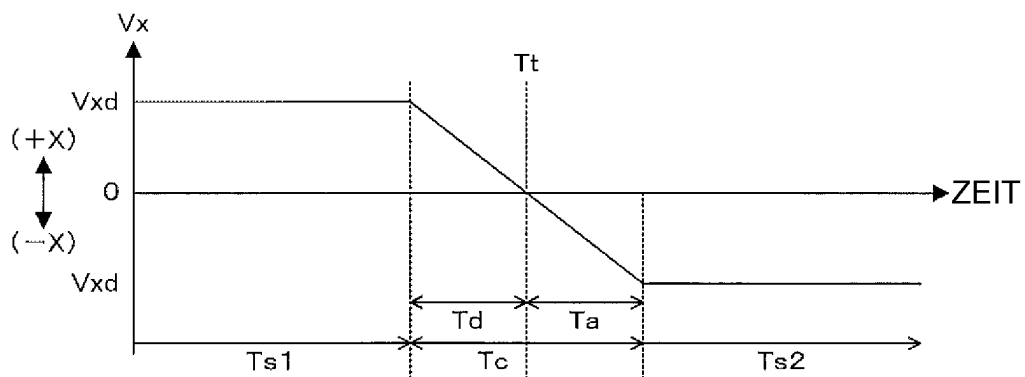


FIG. 15 B



GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG IN X-
RICHTUNG



GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG IN Y-
RICHTUNG

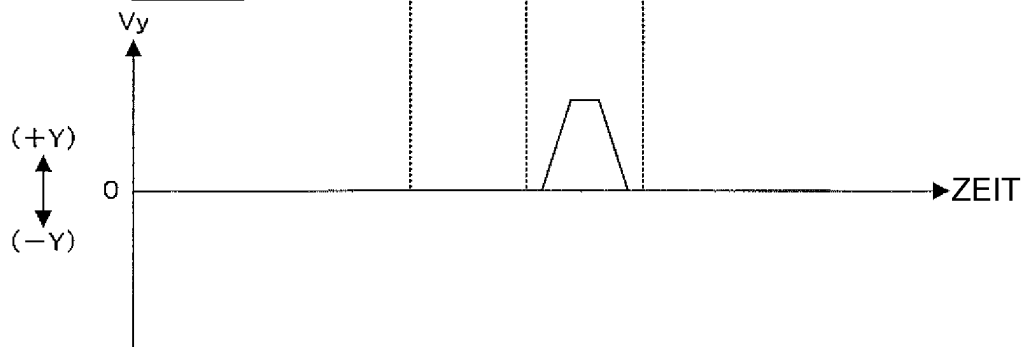
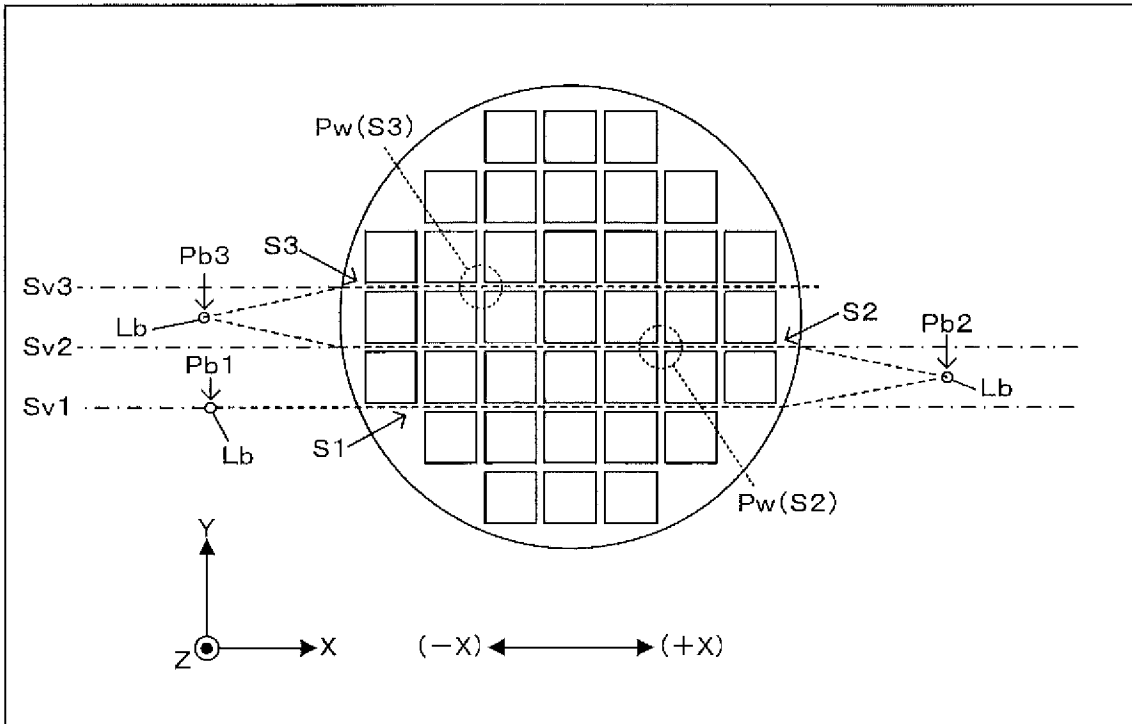
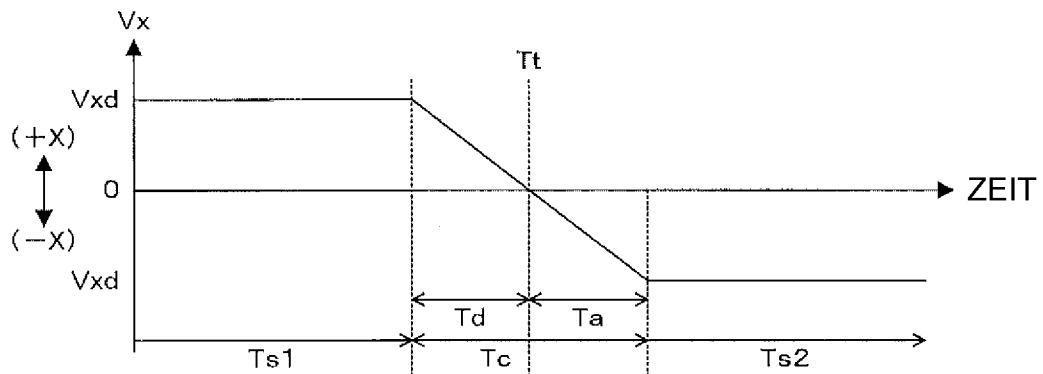


FIG. 15 C



GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG IN X-
RICHTUNG



GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG IN Y-
RICHTUNG

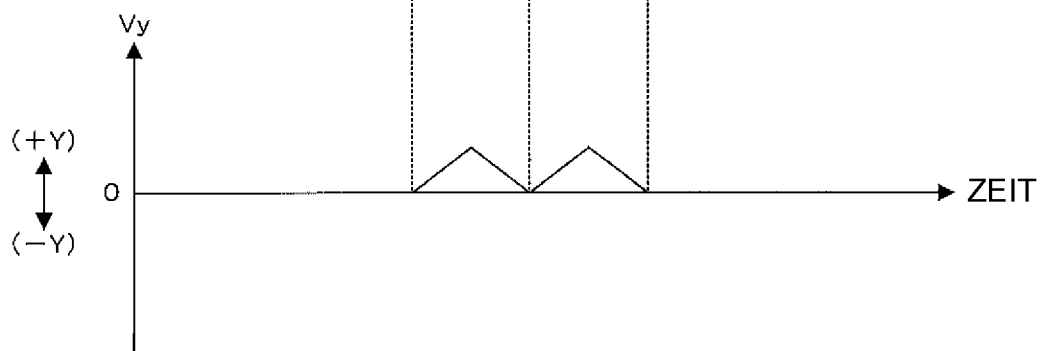


FIG. 15 D

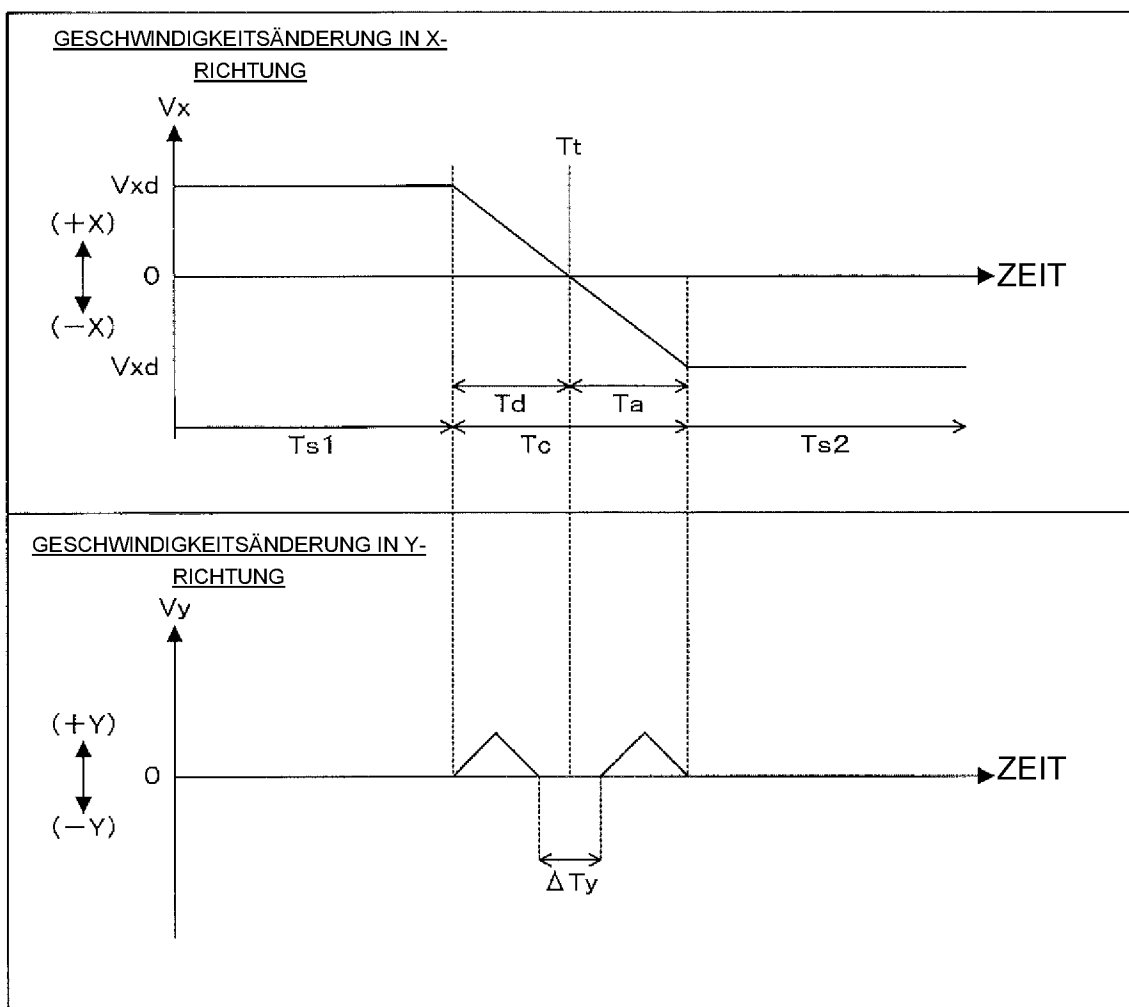


FIG. 15 E

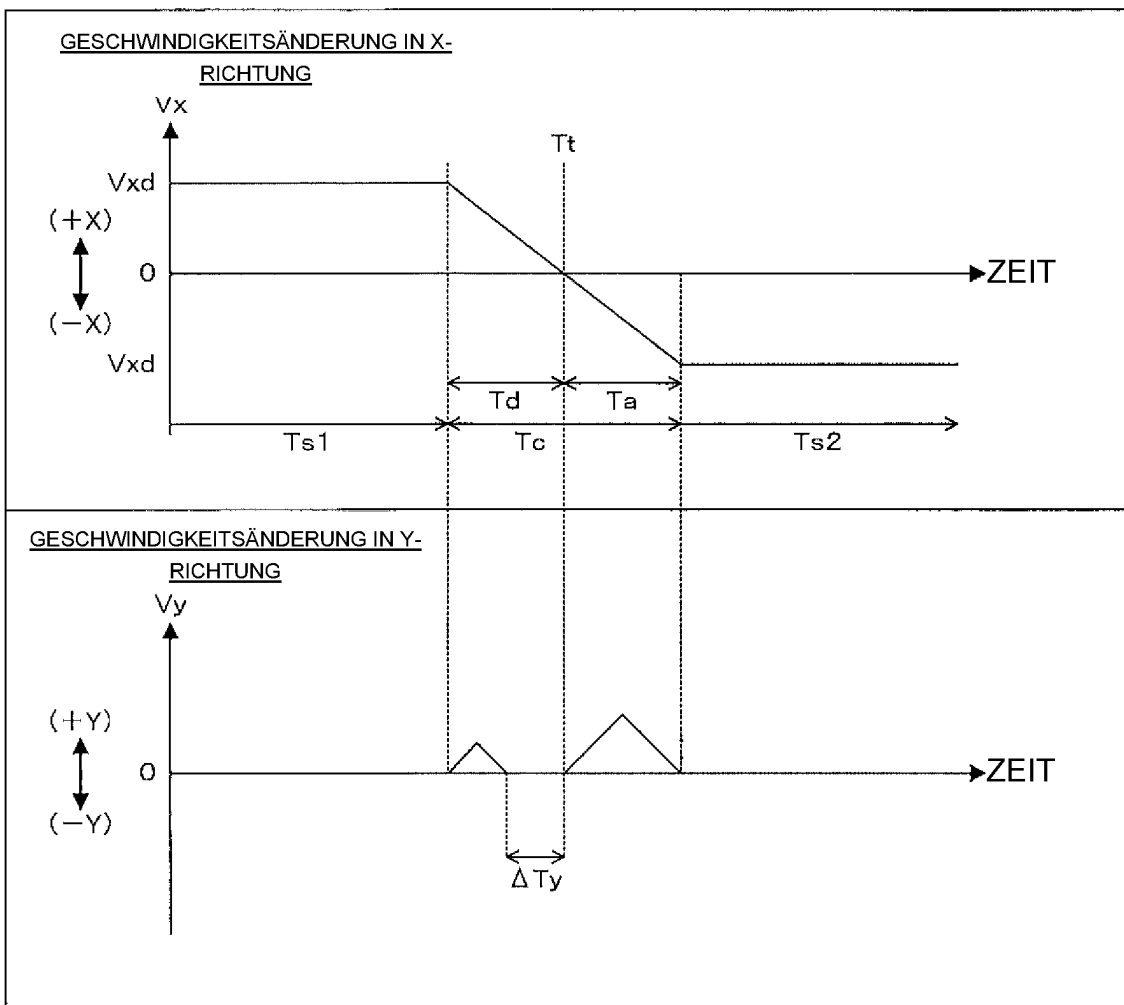


FIG. 15 F

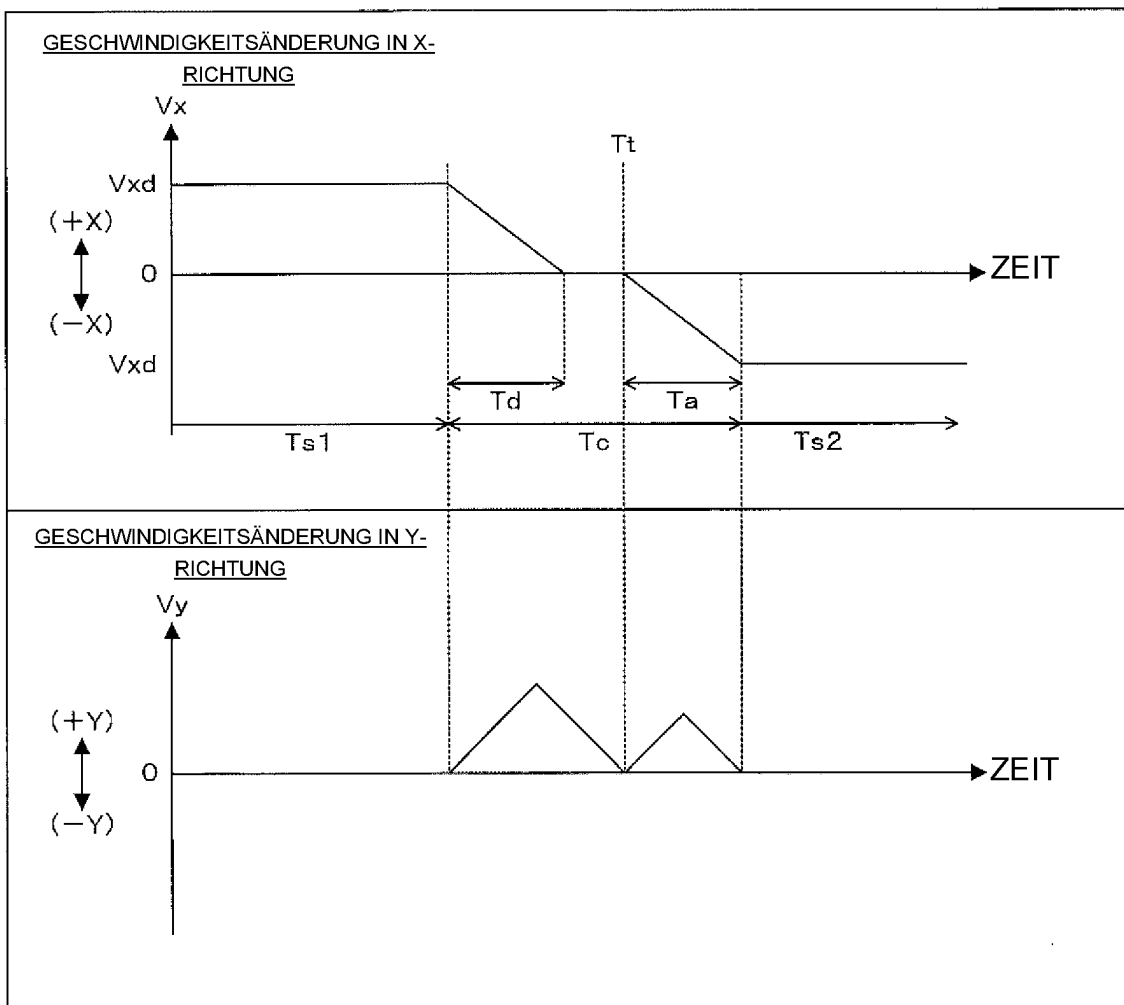
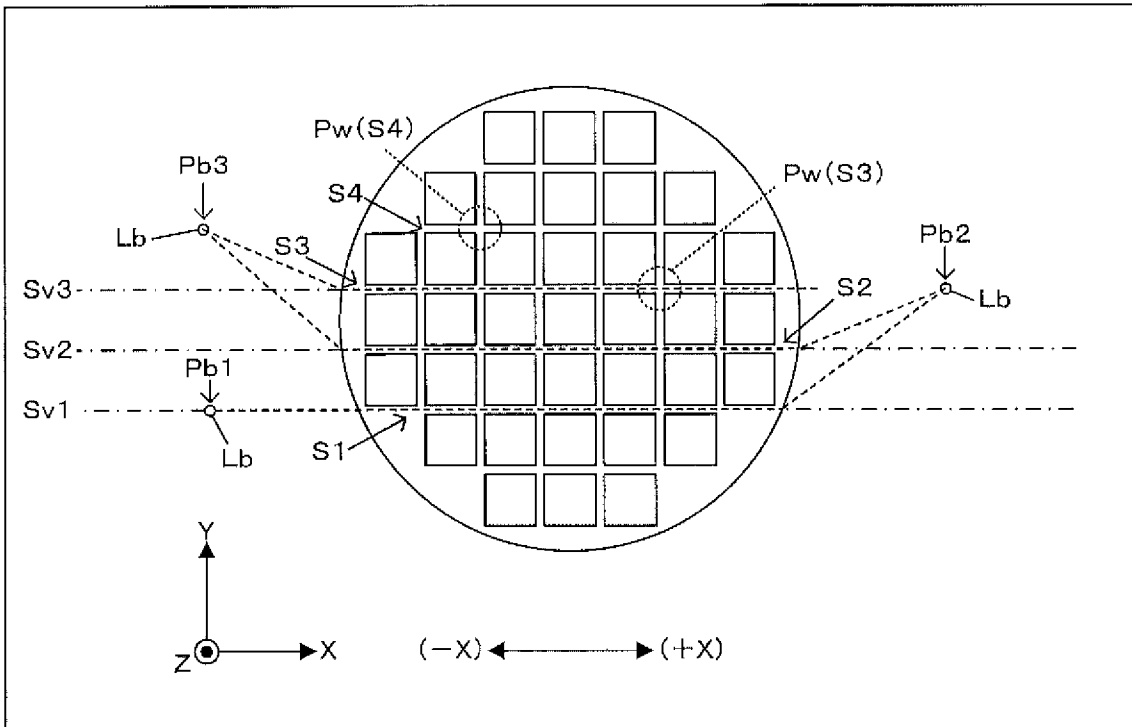
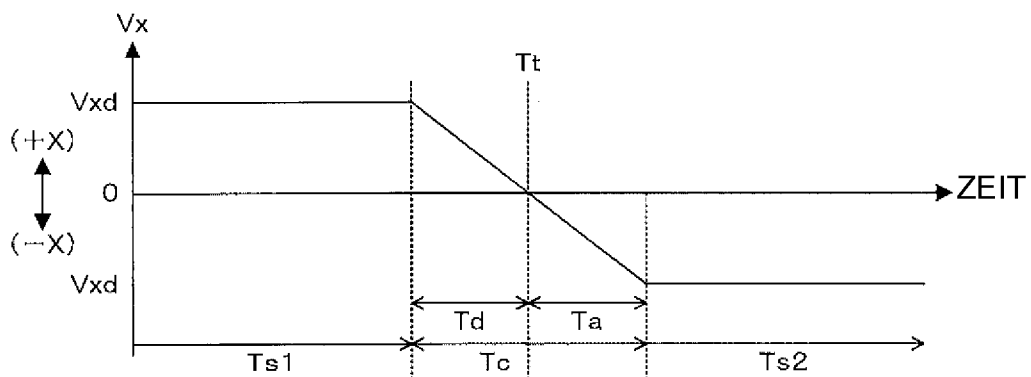


FIG. 15 G



GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG IN X-RICHTUNG



GESCHWINDIGKEITSÄNDERUNG IN Y-RICHTUNG

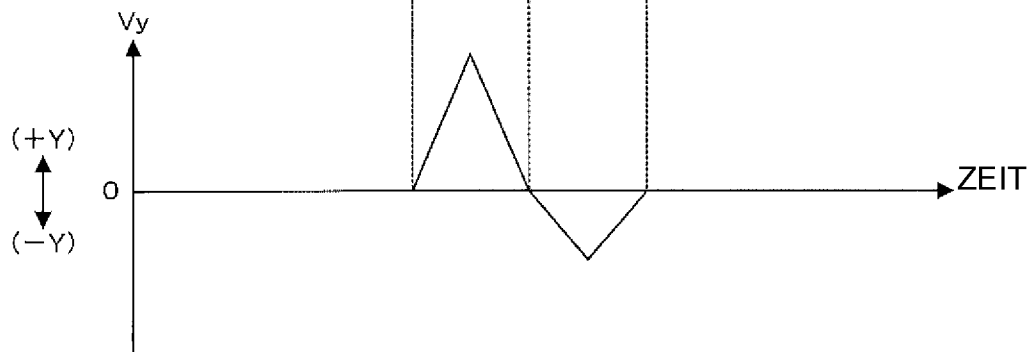


FIG. 16

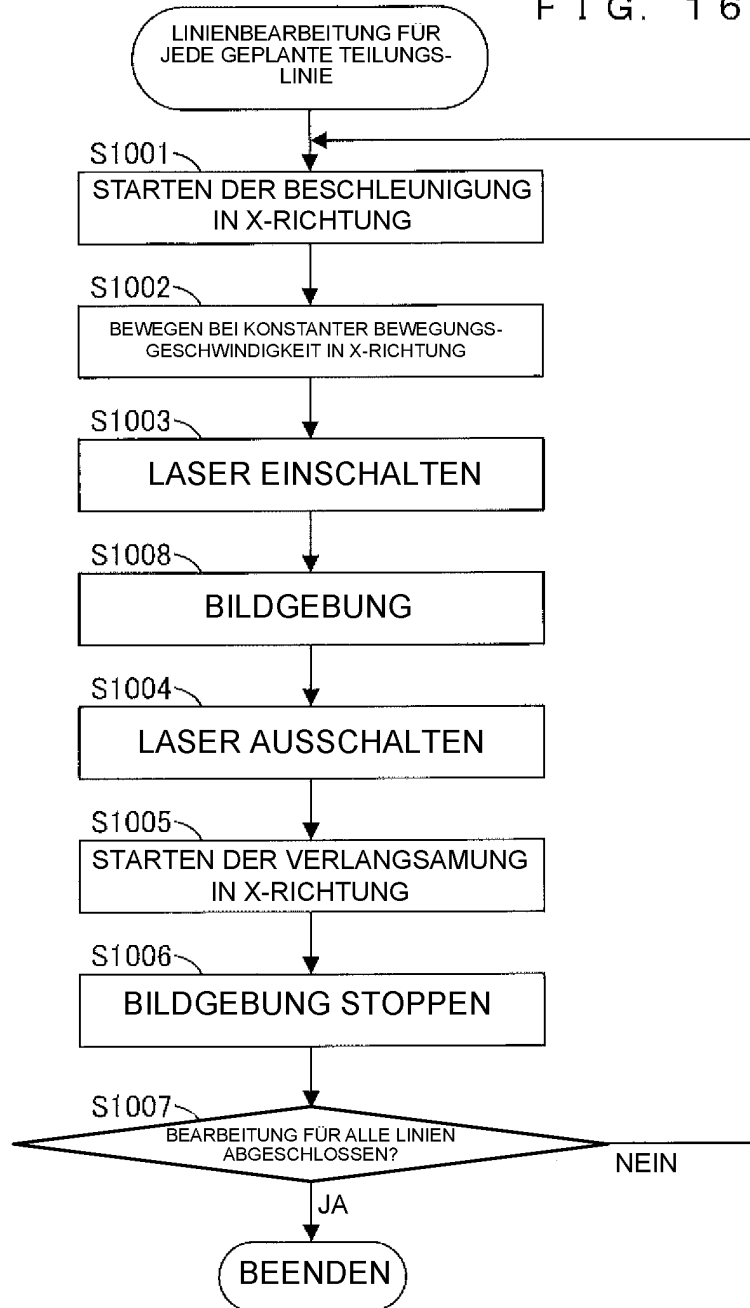


FIG. 17

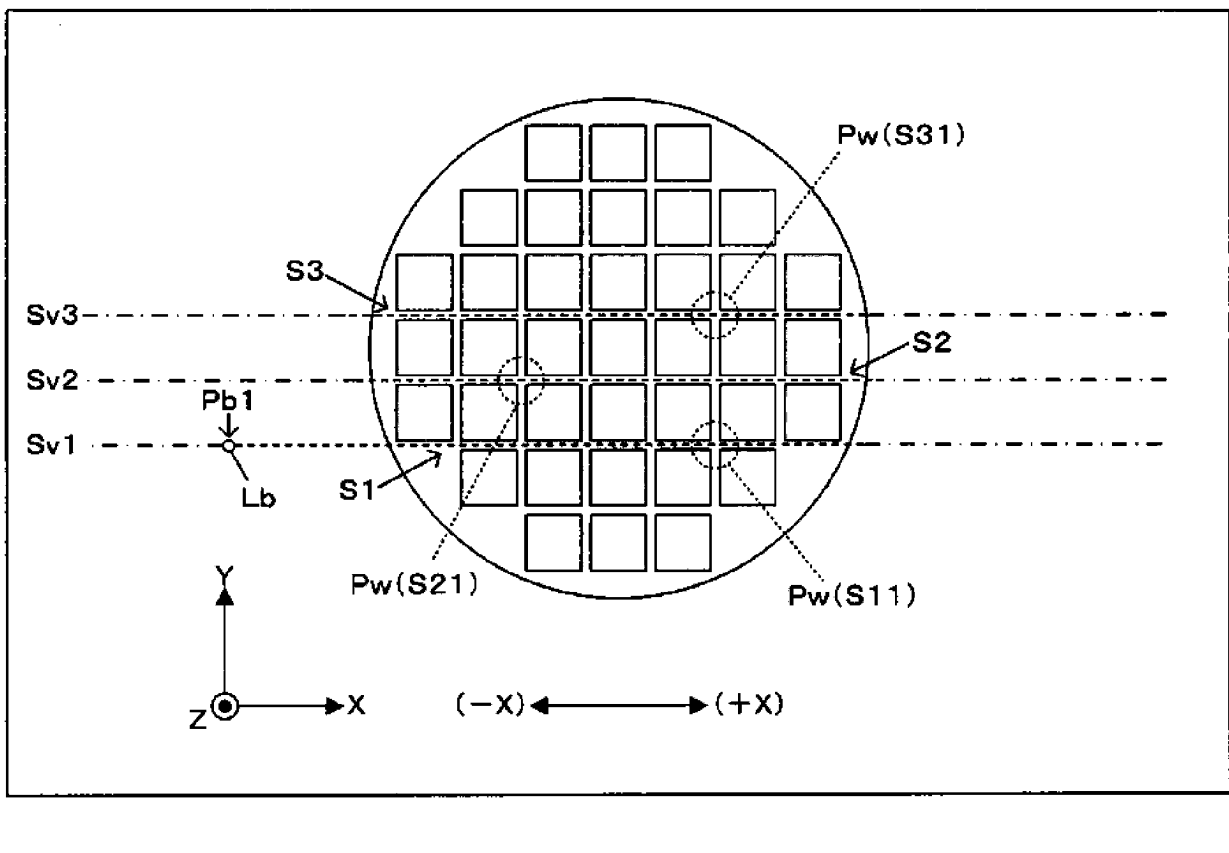


FIG. 18

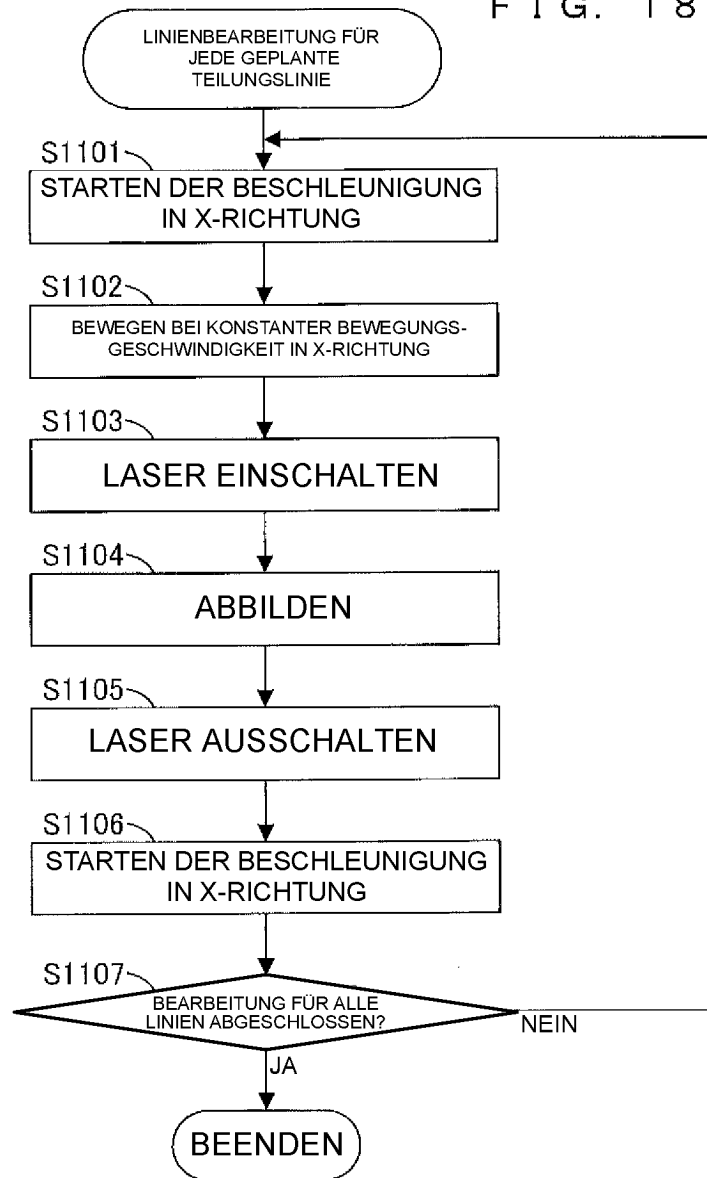


FIG. 19 A

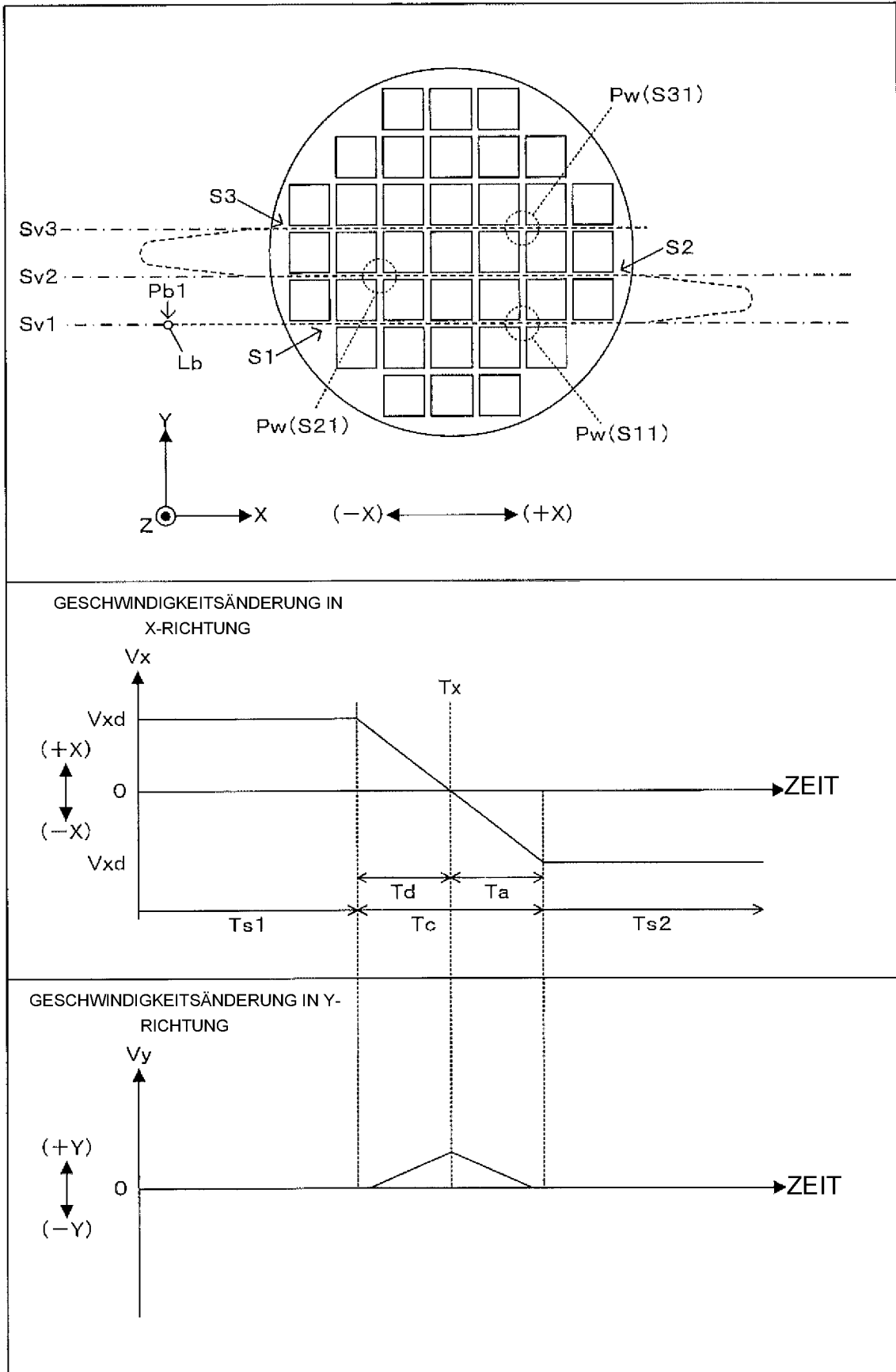


FIG. 19B

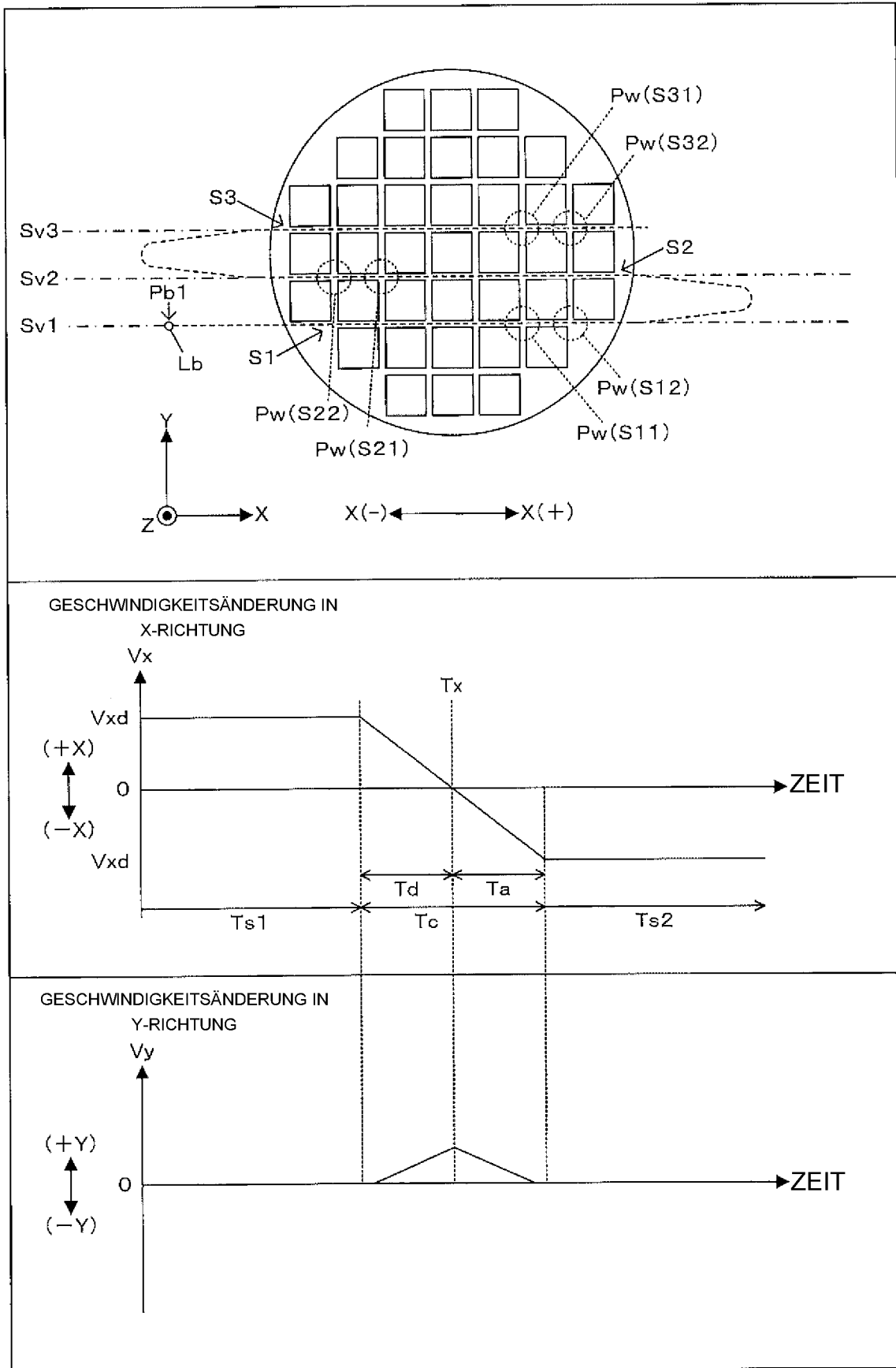


FIG. 20

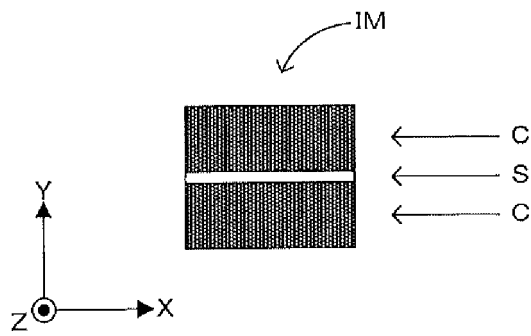


FIG. 21

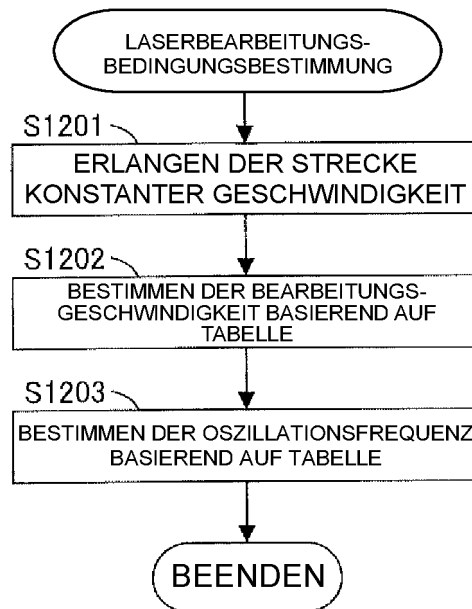


FIG. 22A

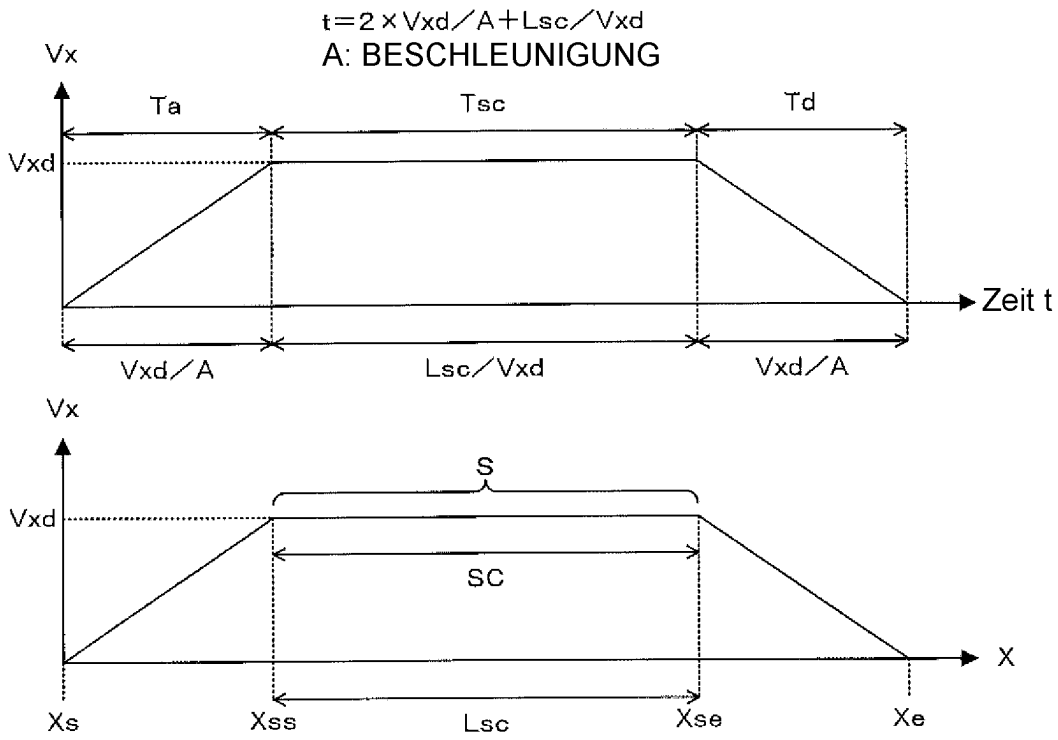
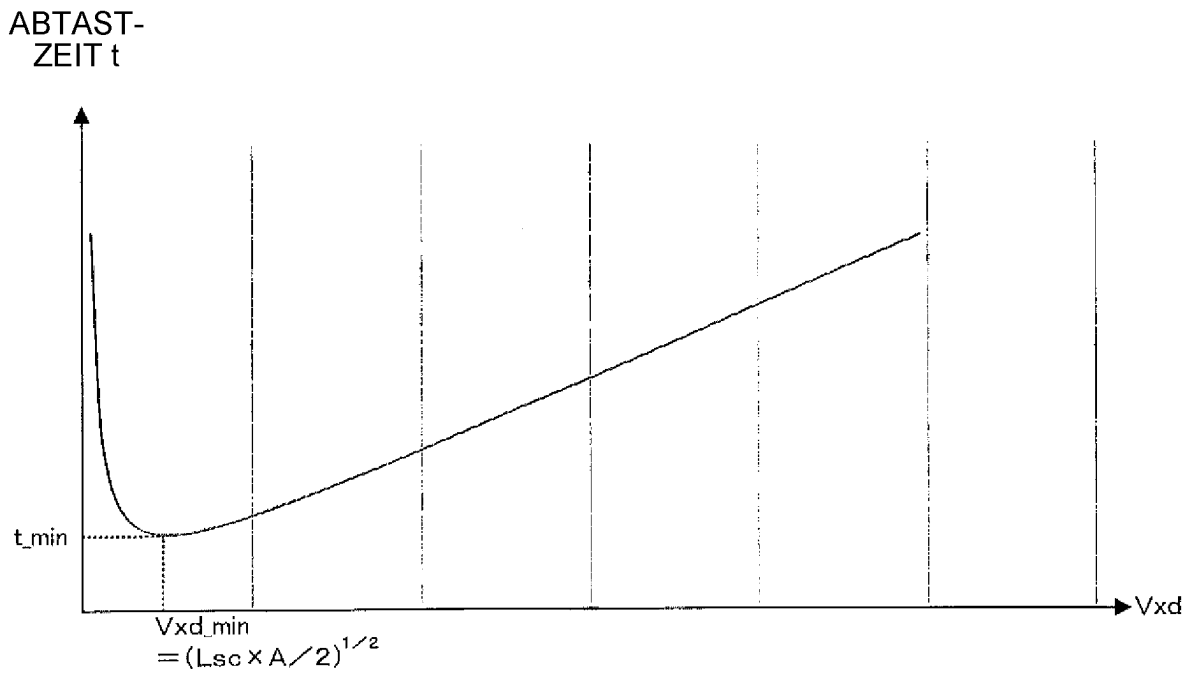


FIG. 22B



F I G. 2 2 C

STRECKE KONSTANTER GESCHWINDIGKEIT $L_{sc}[m]$	BEARBEITUNGS- GESCHWINDIGKEIT ($v_{xd}[m/s]$)	OSZILLATIONS- FREQUENZ $f_c[kHz]$
$L_{sc} \leq L_{sc}(1)$	$V_{xd}(1)$	$f_c(1)$
$L_{sc}(1) < L_{sc} \leq L_{sc}(2)$	$V_{xd}(2)$	$f_c(2)$
$L_{sc}(2) < L_{sc} \leq L_{sc}(3)$	$V_{xd}(3)$	$f_c(3)$
$L_{sc}(3) < L_{sc}$	$V_{xd}(4)$	$f_c(4)$