



SCHWEIZERISCHE EidGENOSSENSCHAFT
EidGENÖSSISCHES Institut für GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 704 548 A2

(51) Int. Cl.: B28D 1/08 (2006.01)
H01L 21/304 (2006.01)

Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 00138/12

(71) Anmelder:
Deutsche Solar GmbH, Berthelsdorfer Strasse 111 A
09599 Freiberg (DE)

(22) Anmeldedatum: 01.02.2012

(72) Erfinder:
Jens Modler, 09557 Flöha (DE)
Valentin Brinster, 09599 Freiberg (DE)

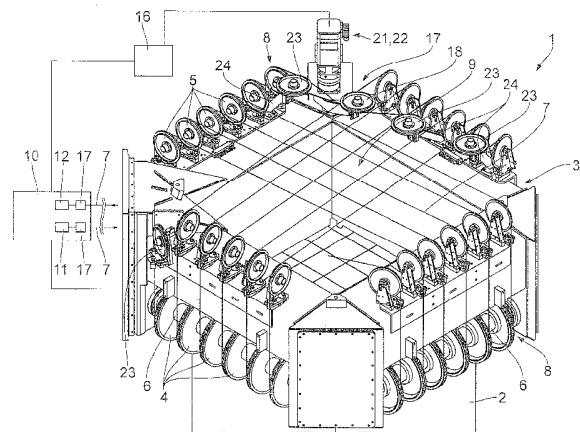
(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.08.2012

(30) Priorität: 17.02.2011
DE DE 10 2011 004 341.1

(74) Vertreter:
Peter Rutz c/o RUTZ & PARTNER, Postfach 4627
6304 Zug (CH)

(54) **Säge-Vorrichtung.**

(57) Säge-Vorrichtung (1) zum Sägen von Siliziumblöcken umfassend mindestens einen Sägedraht (7) zum Sägen von Siliziumblöcken, welcher sich im Grundzustand in einer Längsrichtung erstreckt, durch mindestens eine Führung-Einrichtung (8) in einem vorgegebenen, eine Vielzahl von Drahtschlaufen aufweisenden Drahtfeld (9) geführt ist und mittels einer Wickel-Spann-Einrichtung (10) in einer Bewegungsrichtung, welche abschnittsweise mit der Längsrichtung des Sägedrahtes (7) übereinstimmt, mit einer Drahtgeschwindigkeit (v_D) durch das Drahtfeld bewegbar ist, wobei das Drahtfeld (9) zwei Teilfelder umfasst, welche jeweils eine Vielzahl von Drahtschlaufen umfassen, wobei das erste Teilfeld durch einen ersten Abschnitt des Sägedrahtes (7) gebildet ist, und wobei das zweite Teilfeld durch einen zweiten Abschnitt des Sägedrahtes (7) gebildet ist, wobei die Abschnitte im Grundzustand in Längsrichtung jeweils einfach zusammenhängend und überlappungsfrei ausgebildet sind.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Säge-Vorrichtung zum Sägen von Siliziumblöcken. Die Erfindung betrifft ausserdem ein Verfahren zum Sägen eines Siliziumblocks.

[0002] Im Fertigungsprozess der Waferherstellung gibt es einen Prozessschritt, bei welchem aus Siliziumblöcken Säulen geschnitten werden müssen. Hierzu wird beispielsweise eine Drahtsäge eingesetzt. Beim Betrieb der Drahtsäge kommt es zu einem Verschleiss des Sägedrahtes, was von Zeit zu Zeit zu Drahttrissen führen kann. Es besteht daher fortwährender Bedarf, derartige Drahtsägen zu verbessern.

[0003] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Säge-Vorrichtung zum Sägen von Siliziumblöcken zu verbessern. Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0004] Der Kern der Erfindung besteht darin, das Drahtfeld der Drahtsäge in zwei hintereinander geschaltete Teilfelder aufzuteilen, wobei der Sägedraht jedes Teilfeldes einfach zusammenhängend und überlappungsfrei zum Sägedraht des jeweils anderen Teilfeldes ausgebildet ist.

[0005] Es wurde erkannt, dass sich hierdurch einerseits das Auflegen des Drahtfeldes vereinfachen lässt, andererseits unterschiedliche Drahtspannungen innerhalb des Drahtfeldes vermindert werden.

[0006] Dadurch, dass jeder der Teilfelder eine Vielzahl von Drahtschlaufen, insbesondere mindestens zwei, insbesondere mindestens drei, insbesondere mindestens vier, insbesondere mindestens fünf, insbesondere mindestens sechs, insbesondere mindestens sieben, insbesondere mindestens acht Drahtschlaufen umfasst, können mit der erfindungsgemässen Säge-Vorrichtung Siliziumblöcke effizient in eine grosse Anzahl von Säulen, insbesondere mit identischem Querschnitt, geschnitten werden.

[0007] Die Drahtschlaufen umfassen jeweils einen Schneid- und einen Umlenkbereich. Im Schneidbereich ist das erste Teilfeld abschnittsweise quer, insbesondere senkrecht zum zweiten Teilfeld ausgerichtet. Die einzelnen Schneid-Abschnitte jedes Teilfeldes verlaufen hierbei jeweils parallel zueinander. Hierdurch wird ein Sägen von Säulen mit einem quadratischen Querschnitt ermöglicht. Im Umlenkbereich ist das erste Teilfeld abschnittsweise quer, insbesondere senkrecht zum zweiten Teilfeld ausgerichtet. Die Drahtführung von einer Drahtschleife zur nächsten erfolgt mit einem minimal möglichen Auslenkungswinkel, welcher von den Achsabständen der Drahtführungsrollen und deren Abständen zur einander bestimmt wird.

[0008] Vorzugsweise weist die Säge-Vorrichtung eine Steuer-Einrichtung zur Steuerung der Spannung des Sägedrahtes auf. Alternativ oder zusätzlich kann mittels der Steuer-Einrichtung auch die Drahtgeschwindigkeit, insbesondere in den beiden Teilfeldern, gesteuert werden. Die Steuer-Einrichtung weist mindestens eine Spannungs-Steuer-Einheit auf. Diese wird auch als Tensor bezeichnet. Vorzugsweise weist die Steuer-Einrichtung mindestens zwei, insbesondere mindestens drei Tensoren auf. Vorzugsweise ist mindestens ein Tensor im Bereich zwischen den beiden Teilfeldern des Drahtfeldes angeordnet. Mit anderen Worten umfasst die Steuer-Einrichtung mindestens eine Spannungs-Steuer-Einheit, welche mit dem Sägedraht im Bereich zwischen den Teilfeldern in Wirkverbindung steht. Hierdurch ist es möglich, durch Steuerung der Drahtspannung im Bereich zwischen den beiden Teilfeldern und/oder durch Steuerung der Drahtgeschwindigkeit in einem oder beiden der Teilfelder, insbesondere in dem nachlaufenden Teilfeld, zu erreichen, dass der Sägedraht in beiden Teilfeldern, d. h. im gesamten Drahtfeld, mit einer vorgegebenen Spannung gespannt ist. Hierdurch lässt sich einerseits der Sägeprozess verbessern, andererseits wird die Haltbarkeit des Drahtes hierdurch erhöht.

[0009] Die Tensoren weisen jeweils ein bewegliches Element zur Auslenkung des Sägedrahtes quer zur Bewegungsrichtung auf. Dieses Element ist vorzugsweise als drehbar gelagerte Andruckrolle oder Umlenkrolle ausgebildet. Mit Hilfe dieses Elements lässt sich die Spannung im Sägedraht auf einfache Weise sehr flexibel steuern. Zur Erzeugung der Vorspannung ist insbesondere ein Motor, insbesondere ein Elektromotor, vorgesehen, welcher mit einem vorbestimmten Drehmoment auf einen Hebelarm, auf welchem die Andruckrolle oder Umlenkrolle angeordnet ist, wirkt. Vorzugsweise ist das von dem Elektromotor erzeugbare Drehmoment einstellbar.

[0010] Das Spannungs-Steuer-Element kann selbst mit einer einstellbaren Vorspannung federnd gelagert sein. Dies erleichtert es, den Sägedraht in den beiden Teilfeldern beim Betrieb der Vorrichtung jeweils unter einer vorgegebenen Spannung zu halten. Zur Erzeugung der Vorspannung ist insbesondere ein Motor, insbesondere ein Elektromotor, vorgesehen, welcher mit einem vorbestimmten Drehmoment auf einen Hebelarm, auf welchem die Andruckrolle oder Umlenkrolle angeordnet ist, wirkt. Vorzugsweise ist das von dem Elektromotor erzeugbare Drehmoment einstellbar.

[0011] Ausserdem ist in einer vorteilhaften Ausführungsform vorgesehen, Verdrehungen des Sägedrahtes beim Auflegen des Drahtfeldes zu verringern. Dies wird vorzugsweise dadurch erreicht, dass der Sägedraht beim Betrieb der Säge-Vorrichtung im Bereich zwischen zwei benachbarten Drahtschlaufen, bei dem Übergang vom Schneidabschnitt zum Umlenkabschnitt um weniger als 45°, insbesondere weniger als 30°, insbesondere weniger als 15° verdreht wird.

[0012] Eine Verminderung der Drahtverdrehung wird auch dadurch erreicht, dass der Sägedraht in den Drahtschlaufen jeweils im Gleichschlag aufgelegt ist.

[0013] Vorzugsweise umfasst die Säge-Vorrichtung eine Geschwindigkeits-Steuerungs-Einheit zur Steuerung der Drahtgeschwindigkeit in den beiden Teilfeldern, wobei die Drahtgeschwindigkeit in den beiden Teilfeldern insbesondere unab-

hängig voneinander steuerbar ist. Die Geschwindigkeits-Steuer-Einheit ist insbesondere in datenübertragender Weise mit mindestens einer der Spannungs-Steuer-Einheiten verbunden. Sie ist Teil der Steuer-Einrichtung.

[0014] Vorzugsweise ist die Wickel-Spann-Einrichtung derart ausgebildet, dass die Bewegungsrichtung des Sägedrahts umkehrbar ist.

[0015] Eine Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zum Sägen eines Siliziumblocks zu verbessern.

[0016] Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 14 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, die Drahtgeschwindigkeit in den beiden Teilfeldern mittels der Steuer-Einrichtung derart zu steuern, dass die Drahtspannung in den beiden Teilfeldern weitgehend identisch ist. Erfindungsgemäss ist vorgesehen, dass die Drahtspannung in den beiden Teilfeldern insbesondere um höchstens 10 % voneinander abweicht.

[0017] Es ist vorzugsweise vorgesehen, die Drahtgeschwindigkeit in den beiden Teilfeldern in Abhängigkeit von der Drahtspannung im Sägedraht im Bereich zwischen den Teilfeldern derart zu steuern, dass die Drahtgeschwindigkeit im jeweils nachlaufenden Teilfeld an die Drahtgeschwindigkeit im jeweils vorlaufenden Teilfeld angepasst, insbesondere synchronisiert wird. Der Tensor im Bereich zwischen den beiden Teilfeldern ist mit einem konstanten Moment beaufschlagt. Ändert sich die Drahtspannung so verändert die Andruckrolle ihre Position. Dies wird von einem Aufnehmer am Tensormotor erfasst. Um die Position der Andruckrolle und somit die korrekte Drahtspannung wieder herzustellen muss das nachlaufende Teilfeld gedrosselt oder beschleunigt werden. Es ist somit ein Regelkreis ausgebildet. Vorzugsweise werden die Drahtgeschwindigkeiten in den beiden Teilfeldern derart gesteuert, dass sie um höchstens 10 % voneinander abweichen.

[0018] Weitere Vorteile und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

Fig. 1 Eine perspektivische Ansicht der Säge-Vorrichtung,

Fig. 2 eine Seitenansicht der Säge-Vorrichtung gemäss Fig. 1,

Fig. 3 eine Ansicht der Säge-Vorrichtung gemäss Fig. 1 von oben,

Fig. 4 eine schematisierte Darstellung der Ansicht gemäss Fig. 3,

Fig. 5 eine schematische Darstellung des Verlaufs des Sägedrahts im Drahtfeld und

Fig. 6 eine weitere schematische Darstellung des Drahtfelds zur Verdeutlichung der Wickel-Spann-Einrichtung und der Spannungsverhältnisse im Sägedraht.

[0019] Eine Säge-Einrichtung 1 zum Sägen von auch als Ingots 2 bezeichneten Siliziumblöcken weist einen Rahmen 3 auf, an welchem eine Vielzahl von Drahtführungsrollen 4 und Umlenkrollen 5 gelagert sind. Die Anzahl der Umlenkrollen 5 entspricht gerade der Anzahl der Drahtführungsrollen 4. Es ist insbesondere jeder Umlenkrolle 5 gerade eine Drahtführungsrolle 4 zugeordnet. Hierbei ist die Position der Umlenkrolle 5 jeweils an die der zugehörigen Drahtführungsrolle 4 angepasst. Die Umlenkrollen 5 sind insbesondere derart angeordnet, dass sie beim Betrieb der Säge-Vorrichtung 1 vertikal über den zugehörigen Drahtführungsrollen 4 angeordnet sind. Zusammenfassend werden die Drahtführungsrollen 4 und die Umlenkrollen 5 im Folgenden als Führungs-Rollen- 4, 5 bezeichnet.

[0020] Der Rahmen 3 hat eine viereckigen, insbesondere einen quadratischen Querschnitt. Hierbei ist auf jeder Seite des Rahmens 3 eine drehbare, insbesondere drehantreibbare Antriebs-Welle 6 angeordnet. Die Antriebswellen 6 können insbesondere jeweils paarweise synchronisiert dreh-antriebbar sein. Hierbei sind jeweils zwei einander gegenüberliegend angeordnete Antriebs-Wellen 6 miteinander synchronisiert. Benachbarte Antriebswelle-Wellen 6 können unabhängig voneinander drehantreibbar sein. Es ist insbesondere möglich, eine Geschwindigkeit benachbarter Antriebs-Wellen 6 unabhängig voneinander zu steuern. Auf der Antriebs-Welle 6 sind jeweils mehrere Drahtführungsrollen 4 angeordnet. Es sind insbesondere jeweils mindestens zwei, insbesondere jeweils mindestens drei, insbesondere jeweils mindestens vier, insbesondere jeweils mindestens fünf, vorzugsweise mindestens sechs, vorzugsweise mindestens sieben, vorzugsweise mindestens acht, Drahtführungsrollen 4 auf jeder Antriebs-Welle 6 angeordnet.

[0021] Die Drahtführungsrollen 4 sind vorzugsweise äquidistant auf den Antriebs-Wellen 6 angeordnet. Sie können verteilt auf den Antriebs-Wellen 6 angeordnet sein. Für weitere Details der Drahtführungsrollen 4 und deren Anordnung am Rahmen 3 sei auf die DE 10 2008 044 845 A1 verwiesen.

[0022] Weiterhin umfasst die Säge-Vorrichtung 1 einen Sägedraht 7 zum Sägen von Siliziumblöcken. Als Sägen wird hier jede Art des Zerteilens von Material mittels der Säge-Vorrichtung 1 verstanden, insbesondere auch das sogenannte Drahttrennlappen insbesondere auch das Trennen mittels Diamantdraht. Der Sägedraht 7 ist durchgehend ausgebildet und erstreckt sich im Grundzustand in einer Längsrichtung. Er ist durch eine Antriebs/Führungs-Einrichtung 8 in einem vorgegebenen, eine Vielzahl von Drahtschlaufen aufweisenden Drahtfeld 9 geführt. Er ist mittels einer nur schematisch dargestellten Wickel-Spann-Einrichtung 10 in einer Bewegungsrichtung mit einer Drahtgeschwindigkeit v_D bewegbar.

[0023] Die Wickel-Spann-Einrichtung 10 umfasst eine Abwickel-Spule 11, eine Aufwickel-Spule 12 und zwei Tensoren 17 zum Abwickeln, Aufwickeln, sowie Spannen des Sägedrahts 7.

[0024] Der Sägedraht 7 hat einen Durchmesser von höchstens 0,5 mm, insbesondere von höchstens 0,25 mm.

[0025] Der Sägedraht 7 ist antreibbar auf den Drahtführungsrollen 4 und mitlaufend auf den Umlenkrollen 5 gelagert. Hierbei sind insbesondere die Antriebs-Wellen 6 antreibbar. Die Führungs-Rollen bilden zusammen mit der Wickel-Spann-Einrichtung 10 einen Treibscheibenantrieb zum Antrieb des Sägedrahts 7. Die Drahtführungsrollen 4 sind ebenso wie die Umlenkrollen 5 Teil der Antriebs/Führungs-Einrichtung 8.

[0026] Eine Drahtschleife des Sägedrahts 7 im Drahtfeld 9 ist jeweils von einem Abschnitt des Sägedrahts 7 gebildet, welcher von einer ersten Umlenkrolle 5 zu einer ersten Drahtführungsrolle 4, von der ersten Drahtführungsrolle 4 zu einer dieser gegenüber liegenden zweiten Drahtführungsrolle 4, von dieser zu einer zugehörigen Umlenkrolle 5 und von dieser zu einer gegenüber liegenden Umlenkrolle, welche benachbart zur ersten Umlenkrolle angeordnet ist, verläuft. Der Abschnitt des Sägedrahts 7 zwischen zwei einander gegenüberliegenden Drahtführungsrollen 4 bildet hierbei jeweils einen Schneid-Abschnitt. Der restliche Abschnitt jeder Drahtschleife, insbesondere der Abschnitt des Sägedrahts 7 zwischen zwei gegenüberliegenden Umlenkrollen 5, bildet jeweils einen Umlenk-Abschnitt. Aufgrund der Vielzahl der Drahtführungsrollen 4 weist das Drahtfeld eine Vielzahl von Schneid-Abschnitten auf. Diese bilden zusammen einen Schneid-Bereich. Hierbei dient jeder einzelne Schneid-Abschnitt zum Sägen eines Siliziumblocks entlang einer vorgegebenen Richtung, der Bewegungsrichtung des Sägedrahts 7.

[0027] Die einzelnen Drahtschleifen sind im Wesentlichen identisch ausgebildet. Insbesondere weisen die Abschnitte des Sägedrahts 7 zwischen zwei aufeinander folgenden Umlenkrollen 5 jeder der Drahtschleifen dieselbe Länge auf. Hierdurch wird eine ungleiche Drahtdehnung in den unterschiedlichen Drahtschleifen vermieden. Dies ermöglicht es, den Verlauf der Drahtspannung in den einzelnen Drahtschleifen im Wesentlichen identisch zu halten.

[0028] In einer vorteilhaften Ausführungsform kann vorgesehen sein, die Säge-Vorrichtung 1 mit einer Überwachungs-Einrichtung zum Überwachen der Position und des Verlaufs des Sägedrahts 7 zu versehen. Für Details der Überwachungs-Einrichtung sei auf die DE 10 2008 044 805 A1 verwiesen.

[0029] Erfindungsgemäss umfasst das Drahtfeld 9 zwei Teilfelder 13, 14, wobei das erste Teilfeld 13 durch einen ersten Abschnitt des Sägedrahts 7 gebildet ist, und das zweite Teilfeld 14 durch einen zweiten Abschnitt des Sägedrahts 7 gebildet ist. Die Abschnitte des Sägedrahts 7, welche die beiden Teilfelder 13, 14 bilden, sind jeweils einfach zusammenhängend ausgebildet. Sie sind im Grundzustand des Sägedrahts 7 überlappungsfrei.

[0030] Jedes der beiden Teilfelder 13, 14 umfasst eine Vielzahl von Drahtschleifen. Diese sind innerhalb eines der Teilfelder 13, 14 jeweils im Wesentlichen parallel zueinander ausgerichtet. Sie weisen jedoch jeweils einen schräg von einer der Umlenkrollen 5 zu der gegenüber liegenden, benachbarten Umlenkrolle 5 verlaufenden Drahtabschnitt auf. Die Drahtschleifen des ersten Teilfelds 13 sind im Wesentlichen senkrecht zu den Drahtschleifen des zweiten Teilfelds 14 ausgerichtet. Insbesondere die Schneid-Abschnitte des Sägedrahts 7 im ersten Teilfeld 13 sind quer, insbesondere senkrecht, zu den Schneid-Abschnitten des Sägedrahts 7 im zweiten Teilfeld 14 ausgerichtet. Im Umlenkbereich ist der Sägedraht 7 im ersten Teilfeld 13 abschnittsweise quer, insbesondere senkrecht, zum Sägedraht 7 im zweiten Teilfeld 14 ausgerichtet. Die Schneid-Abschnitte des Sägedrahts 7 in den beiden Teilfeldern 13, 14 sind berührungsfrei zueinander angeordnet. Sie sind insbesondere in einer Vertikalrichtung voneinander beabstandet. Die Vertikalrichtung ist hierbei senkrecht zur Bewegungsrichtung des Sägedrahts 7. Sie ist insbesondere parallel zu einer Längsachse eines zu zersägenden Ingots 2. Sie bildet die Richtung entlang welcher der Ingot 2 zersägt werden soll. Im Umlenkbereich ist der Sägedraht 7 in den beiden Teilfeldern 13, 14 berührungsfrei zueinander angeordnet.

[0031] Der Sägedraht 7 ist zunächst vollständig durch das erste Teilfeld 13 geführt und wird nach dem Austritt aus dem ersten Teilfeld 13 über einen Zwischen-Abschnitt 15 zum zweiten Teilfeld 14 geführt, welches er dann vollständig durchläuft. Jedes der beiden Teilfelder 13, 14 dient der Einbringung von Sägeschnitten in den Ingot 2 insbesondere parallel zu einer Seite des Rahmens 3 der Säge-Vorrichtung 1, welche beim Zersägen eines Ingots 2 mit quadratischem Querschnitt üblicherweise parallel zu einer der Seitenflächen des Ingots 2 ausgerichtet wird.

[0032] Durch die Aufteilung des Drahtfelds 9 in zwei Teilfelder 13, 14 ist es möglich, eine Verdrehung des Sägedrahts 7, d.h. eine Torsion desselben, zu verringern. Hierzu sind die Führungs-Rollen 4, 5 derart angeordnet, dass der Sägedraht 7 im Bereich zwischen zwei aufeinander folgenden Drahtschleifen, insbesondere beim Übergang vom Schneidabschnitt zum Umlenkabschnitt und im Bereich des Umlenkabschnitts, und im Bereich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Führungs-Rollen 4, 5 um weniger als 45°, insbesondere weniger als 30°, insbesondere weniger als 15° verdreht ist. Unter Verdrehung sei hierbei und im Folgenden stets eine Torsion um eine Achse parallel zur Längsrichtung des Sägedrahts 7 verstanden.

[0033] Ausserdem ist der Sägedraht 7 jeweils derart auf die Führungs-Rollen aufgelegt, dass er, insbesondere beim Betrieb der Säge-Vorrichtung 1, im Bereich jeder der Drahtschleifen, insbesondere bei deren Übergang vom Schneidabschnitt zum Umlenkabschnitt jeweils um weniger als 45°, insbesondere weniger als 30°, insbesondere weniger als 15° verdreht ist.

[0034] Schliesslich wird eine Verdrehung des Sägedrahts 7 dadurch vermieden, dass er in jedem der Teilfelder 13, 14 im Gleichschlag auf die Führungs-Rollen 4, 5 aufgelegt ist. Der Sägedraht 7 ist insbesondere in jedem der Teilfelder 13, 14 im Gleichschlag auf aufeinanderfolgende Führungs-Rollen 4, 5 aufgelegt.

[0035] Ausserdem umfasst die Säge-Vorrichtung 1 eine Steuer-Einrichtung 16 zur Steuerung der Spannung des Sägedrahts 7. Alternativ oder zusätzlich kann die Steuer-Einrichtung 16 auch zur Steuerung der Drahtgeschwindigkeit v_D des Sägedrahts 7 ausgebildet sein. Die Steuer-Einrichtung 16 weist drei als Tensor 17 bezeichnete Spannungs-Steuer-Einheiten auf. Sie weist insbesondere mindestens eine, insbesondere mindestens zwei, insbesondere mindestens drei Spannungs-Steuer-Einheiten auf.

[0036] Erfindungsgemäss ist vorgesehen, mindestens einen der Tensoren 17 derart anzuordnen, dass er mit dem Sägedraht 7 im Zwischen-Abschnitt 15, das heisst zwischen den Teilfeldern 13, 14 in Wirkverbindung steht. Weitere Tensoren 17 können in Bewegungsrichtung hinter der Abwickel-Spule 11 und/oder vor der Aufwickel-Spule 12 vorgesehen sein.

[0037] Im Folgenden wird der Tensor 17, welcher zwischen den Teilfeldern 13, 14 angeordnet ist, näher beschrieben. Der Tensor 17 umfasst ein als Anpress-Rolle 18 ausgebildetes Spannungs-Steuer-Element. Mittels der Anpress-Rolle 18 kann der Sägedraht 7 zur Steuerung der Spannung in Richtung quer zur Bewegungsrichtung ausgelenkt werden. Die Anpress-Rolle 18 ist hierzu über einen Hebelarm 19 um eine Vertikalachse 20 im Bereich einer Ecke des Rahmens 3 verschwenkbar gelagert. Zur Verschwenkung der Anpress-Rolle 18 mittels des Hebelarms 19 dient ein Motor 21. Beim Motor 21 handelt es sich insbesondere um einen Elektromotor, welcher ein vorgebbares Drehmoment erzeugen kann. Das vom Motor 21 erzeugbare Drehmoment ist einstellbar. Durch das vom Motor 21 erzeugte Drehmoment wird die Anpresskraft, mit welcher die Anpress-Rolle 18 quer zur Bewegungsrichtung auf den Sägedraht 7 drückt, bestimmt. Je nach Spannung im Sägedraht 7 wird dieser hierbei mehr oder weniger aus seiner Bewegungsrichtung ausgelenkt. Der Sägedraht 7 wird mittels der Anpress-Rolle 18 insbesondere aus einem geradlinigen Verlauf zwischen zwei drehbar gelagerten Hilfs-Führungs-Rollen 23 ausgelenkt. Die Hilfs-Führungs-Rollen 23 sind drehbar auf fest mit dem Rahmen 3 verbundenen Hilfs-Armen 24 gelagert. Die Hilfs-Führungs-Rollen 23 dienen der Führung des Sägedrahts 7 im Zwischen-Abschnitt 15, das heisst im Bereich zwischen den Teilfeldern 13, 14.

[0038] Die Auslenkung des Sägedrahts 7 aus seiner Bewegungsrichtung, das heisst insbesondere die Spannung im Sägedraht 7, kann über einen mit dem Hebelarm 19 verbundenen Sensor 22 gemessen werden. Der Sensor 22 steht in datenübertragender Weise mit der Steuer-Einrichtung 16 in Verbindung. Die Steuer-Einrichtung 16 steht ihrerseits in datenübertragender Weise mit der Wickel-Spann-Einrichtung 10 in Verbindung. Je nach Spannung des Sägedrahts 7, welche über den Tensor 17 bestimmbar ist, kann beim Betrieb der Säge-Vorrichtung 1 die Drahtgeschwindigkeit v_D des Sägedrahts 7 im ersten und zweiten Teilfeld 13, 14 unabhängig voneinander gesteuert, insbesondere aneinander angepasst werden. Hierdurch ist es insbesondere möglich, den Sägedraht 7 in den beiden Teilfeldern 13, 14 beim Betrieb der Säge-Vorrichtung 1 jeweils unter einer vorgegebenen Spannung zu halten.

[0039] Die Wickel-Spann-Einrichtung 10 ist derart ausgebildet, dass die Bewegungsrichtung des Sägedrahts 7 umkehrbar ist.

[0040] Im Folgenden wird der Betrieb der Säge-Vorrichtung, d. h. das erfindungsgemässe Verfahren zum Sägen eines Siliziumblocks, beschrieben. Zunächst wird die erfindungsgemässe Säge-Vorrichtung 1 bereitgestellt. Gegebenenfalls werden die Positionen der Drahtführungsrollen 4 und der zugehörigen Umlenkrollen 5 eingestellt.

[0041] Beim Betrieb der Säge-Vorrichtung 1 wird der Sägedraht 7 von der Abwickel-Spule 11 abgewickelt. Er verläuft von der Abwickel-Spule 11 mit einer vorgegebenen Spannung, welche mittels des Tensors 17 steuerbar ist, zu einer ersten Umlenkrolle 5 des ersten Teilfelds 13. Von dieser durchläuft der Sägedraht 7 das erste Teilfeld 13, sodann über den Zwischen-Abschnitt 15 zum zweiten Teilfeld 14, durch dieses und von dort über einen weiteren Tensor 17 zur Aufwickel-Spule 12. Im Bereich des Zwischen-Abschnitts 15 ist der Tensor 17 mit dem Sägedraht 7 in Eingriff. Zum Antreiben des Sägedrahts 7 werden die Antriebs-Wellen 6 mit den Drahtführungsrollen 4 von der Wickel-Spann-Einrichtung 10 angetrieben. Hierbei ist insbesondere jeweils die Antriebs-Welle 6 welche in Bewegungsrichtung am Ende eines Schneid-Abschnitts des Drahtfelds 9 angeordnet ist, angetrieben. Die jeweils gegenüberliegende Antriebs-Welle 6 kann ebenfalls angetrieben sein. Sie kann insbesondere synchronisiert zur gegenüber liegenden Antriebs-Welle 6 angetrieben sein. Sie kann auch passiv, das heisst nicht angetrieben, sondern lediglich drehbar gelagert sein.

[0042] Erfindungsgemäss ist vorgesehen, die Drahtgeschwindigkeit v_D in den beiden Teilfeldern 13, 14 mittels der Steuer-Einrichtung 16 derart zu steuern, dass die Drahtspannung in den beiden Teilfeldern 13, 14 im Wesentlichen identisch ist. Die mittlere Drahtspannung in den beiden Teilfeldern 13, 14 weicht insbesondere um höchstens 10 % voneinander ab. Die Drahtspannung des Sägedrahts 7 im Drahtfeld 9 ist schematisch in Fig. 6 dargestellt. Sie steigt jeweils im Bereich der in Bewegungsrichtung am Ende eines Schneid-Abschnitts angeordneten Drahtführungsrolle 4 an, nimmt im Schneid-Abschnitt, in welchem der Sägedraht 7 mit dem Ingot 2 in Berührung steht aufgrund der beim Sägen des Ingots 2 auftretenden Reibung ab und bleibt im Wesentlichen im Bereich zwischen der in Bewegungsrichtung am Anfang eines Schneid-Abschnitts angeordneten Drahtführungsrolle 4 und der zur benachbarten Drahtschleife gehörigen in Bewegungsrichtung am Ende eines Schneid-Abschnitts angeordneten Drahtführungsrolle 4 konstant. Das ist bei dieser Art von Maschine immer so (auch ohne unser Dual-Drahtfeld) Da die Drahtführungsrollen 4 jeweils gruppenweise auf den Antriebs-Wellen 6 angeordnet sind und somit die Drahtführungsrollen 4 und von diesen der Sägedraht 7 in einem der Teilfelder 13, 14

insbesondere in den Schneid-Abschnitten, synchronisiert angetrieben werden, ist der Verlauf der Drahtspannung in den einzelnen Drahtschlaufen der Teilfelder 13, 14 im Wesentlichen identisch.

[0043] Damit es zu einer schlupffreien Drahtmitnahme durch die Drahtführungsrollen 4 kommt, ist eine Mindestdrahtspannung vorgesehen.

[0044] Mittels des Tensors 17, welcher zwischen den beiden Teilfeldern 13, 14 angeordnet ist und im Bereich des Zwischen-Abschnitts 15 mit dem Sägedraht 7 in Eingriff steht, lässt sich die Drahtspannung, insbesondere ein Unterschied der Drahtspannung, in den beiden Teilfeldern 13, 14 überwachen. Sofern der Unterschied der Drahtspannung in den beiden Teilfeldern 13, 14 einen vorgegebenen Grenzwert übersteigt, wird die Antriebsgeschwindigkeit der Antriebs-Wellen 6 mindestens eines der Teilfelder 13, 14 geeignet gesteuert, um eine Verringerung des Unterschieds der Drahtspannung in den Teilfeldern 13, 14 zu erreichen. Es wird insbesondere die Drahtgeschwindigkeit v_D im jeweils nachlaufenden Teilfeld 13, 14 gesteuert.

[0045] Je grösser die Drahtspannung im Zwischen-Abschnitt 15, insbesondere im Bereich zwischen den Hilfs-Führungsrollen 23, um so weniger wird der Sägedraht 7 bei einem vorgegebenen Drehmoment des Motors 21 von der Anpressrolle 18 des Tensors 17 in Richtung quer zur Bewegungsrichtung ausgelenkt. Das Mass der Auslenkung, welches mittels des Sensors 22 feststellbar ist, ist somit direkt abhängig von der Drahtspannung im Sägedraht 7. Durch Erhöhen der Drahtgeschwindigkeit v_D im nachlaufenden Teilfeld 13, 14 kann die Drahtspannung im Sägedraht 7, insbesondere im Zwischen-Abschnitt 15, verringert werden. Entsprechend kann die Drahtspannung des Sägedrahts 7, insbesondere im Zwischen-Abschnitt 15, durch Verringerung der Drahtgeschwindigkeit v_D im nachlaufenden Teilfeld 13, 14 erhöht werden. Da die Bewegungsrichtung des Sägedrahts 7 mittels der Wickel-Spann-Einrichtung 10 umkehrbar ist, kann sowohl das erste Teilfeld 13 als auch das zweite Teilfeld 14 das nachlaufende Teilfeld bilden.

[0046] Es ist mit anderen Worten vorgesehen, die Drahtspannung des Sägedrahts 7 im Zwischen-Abschnitt 15 zwischen den beiden Teilfeldern 13, 14 mittels des Tensors 17-, insbesondere mittels des Sensors 22 zu überprüfen und in Abhängigkeit von der gemessenen Drahtspannung die Geschwindigkeit des Antriebs der Drahtführungsrollen 4 des nachlaufenden Teilfelds 13, 14 mittels der Steuer-Einrichtung 16 zu regeln. Somit kann die Drahtspannung in den beiden Teilfeldern 13, 14 aneinander angeglichen werden.

[0047] Erfindungsgemäss ist vorgesehen, die Drahtgeschwindigkeit v_D in den beiden Teilfeldern 13, 14 in Abhängigkeit von der Drahtspannung im Sägedraht 7 im Bereich zwischen den Teilfeldern 13, 14 derart zu steuern, dass die Drahtgeschwindigkeit v_D im jeweils nachlaufenden Teilfeld 13, 14 um höchstens 10 % von der Drahtgeschwindigkeit v_D im jeweils vorlaufenden Teilfeld 13, 14 abweicht. Die Drahtgeschwindigkeit v_D im jeweils nachlaufenden Teilfeld 13, 14 wird insbesondere an die Drahtgeschwindigkeit v_D im jeweils vorlaufenden Teilfeld 13, 14 angeglichen.

[0048] Prinzipiell kann vorgesehen sein, den Betrieb der Säge-Vorrichtung 1 zu unterbrechen, insbesondere automatisch zu unterbrechen, sofern die Drahtspannung, insbesondere im Zwischen-Abschnitt 15 einen vorgegebenen Grenzwert überschreitet.

[0049] Zum Sägen der Siliziumblöcke wird der Sägedraht 7 im Bereich der Schneid-Abschnitte mit dem Siliziumblock in Eingriff gebracht.

Patentansprüche

1. Säge-Vorrichtung (1) zum Sägen von Siliziumblöcken umfassend
 - a) mindestens einen Sägedraht (7) zum Sägen von Siliziumblöcken, welcher
 - i. sich im Grundzustand in einer Längsrichtung erstreckt,
 - ii. durch mindestens eine Führungs-Einrichtung (8) in einem vorgegebenen, eine Vielzahl von Drahtschlaufen aufweisenden Drahtfeld (9) geführt ist und
 - iii. mittels einer Wickel-Spann-Einrichtung (10) in einer Bewegungsrichtung, welche abschnittsweise mit der Längsrichtung des Sägedrahtes (7) übereinstimmt, mit einer Drahtgeschwindigkeit (v_D) bewegbar ist,
 - b) wobei das Drahtfeld (9) zwei Teilfelder (13, 14) umfasst,
 - i. wobei das erste Teilfeld (13) durch einen ersten Abschnitt des Sägedrahts (7) gebildet ist, und
 - ii. wobei das zweite Teilfeld (14) durch einen zweiten Abschnitt des Sägedrahts (7) gebildet ist,
 - iii. wobei die Abschnitte in Längsrichtung jeweils einfach zusammenhängend und im Grundzustand überlappungsfrei ausgebildet sind.
2. Säge-Vorrichtung (1) gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilfelder (13, 14) jeweils eine Vielzahl von Drahtschlaufen umfassen.
3. Säge-Vorrichtung (1) gemäss Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Teilfeld (13) mittels der mindestens einen Führungs-Einrichtung (8) abschnittsweise quer zum zweiten Teilfeld (14) geführt ist.
4. Säge-Vorrichtung (1) gemäss Anspruch 1, 2 oder 3, gekennzeichnet durch eine Steuer-Einrichtung (16) zur Steuerung der Spannung und/oder der Drahtgeschwindigkeit (v_D) des Sägedrahts (7).
5. Säge-Vorrichtung (1) gemäss Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer-Einrichtung (16) mindestens eine, insbesondere mindestens zwei, insbesondere mindestens drei Spannungs-Steuer-Einheiten (17) aufweist.

CH 704 548 A2

6. Säge-Vorrichtung (1) gemäss Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine der Spannungs-Steuer-Einheiten (17) mit dem Sägedraht (7) im Bereich zwischen den Teilfeldern (13, 14) in Wirkverbindung steht.
7. Säge-Vorrichtung (1) gemäss Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Spannungs-Steuer-Einheiten (17) jeweils ein Spannungs-Steuer-Element (18) aufweisen, mittels welchem der Sägedraht (7) zur Steuerung -der Spannung in Richtung quer zur Bewegungsrichtung ausgelenkt werden kann.
8. Säge-Vorrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuer-Einrichtung (16) derart ausgebildet ist, dass die Drahtgeschwindigkeit (v_D) in den beiden Teilfeldern (13, 14) unabhängig voneinander steuerbar ist.
9. Säge-Vorrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass mittels der Steuer-Einrichtung (16) der Sägedraht (7) in den beiden Teilfeldern (13, 14) beim Betrieb der Säge-Vorrichtung (1) jeweils unter einer vorgegebenen Spannung gehalten werden kann.
10. Säge-Vorrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungs-Einrichtung (8) eine Vielzahl von Führungs-Rollen (4, 5) umfasst, welche derart angeordnet sind, dass der Sägedraht (7) im Bereich zwischen zwei aufeinanderfolgenden Drahtschlaufen um weniger als 45° , insbesondere weniger als 30° , insbesondere weniger als 15° bezüglich einer Achse parallel zu seiner Längsrichtung verdreht ist.
11. Säge-Vorrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungs-Einrichtung (8) eine Vielzahl von Führungs-Rollen (4, 5) umfasst, wobei der Sägedraht (7) jeweils derart auf die Führungs-Rollen (4, 5) aufgelegt ist, dass er im Bereich jeder der Drahtschlaufen jeweils um weniger als 45° , insbesondere weniger als 30° , insbesondere weniger als 15° bezüglich einer Achse parallel zu seiner Längsrichtung verdreht ist.
12. Säge-Vorrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Führungs-Einrichtung (8) eine Vielzahl von Führungs-Rollen (4, 5) umfasst, wobei der Sägedraht (7) in den Drahtschlaufen in jedem der Teilfelder (13, 14) jeweils im Gleichschlag auf die Führungs-Rollen (4, 5) aufgelegt ist.
13. Säge-Vorrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Bewegungsrichtung des Sägedrahts (7) umkehrbar ist.
14. Verfahren zum Sägen eines Siliziumblocks (2) umfassend die folgenden Schritte:
 - a. Bereitstellen einer Säge-Vorrichtung (1) zum Sägen von Siliziumblöcken mit
 - i. einem Sägedraht (7), welcher mittels mindestens einer Führungs-Einrichtung (8) in einem vorgegebenen Drahtfeld (9) geführt ist, wobei das Drahtfeld (9) zwei Teilfelder (13, 14) umfasst,
 - ii. einer Wickel-Spann-Einrichtung (10), mittels welcher der Sägedraht (7) in einer Bewegungsrichtung, mit einer Drahtgeschwindigkeit (v_D) durch das Drahtfeld (9) bewegbar ist, und
 - iii. einer Steuer-Einrichtung (16) zur Steuerung der Drahtgeschwindigkeit (v_D) des Sägedrahts (7),
 - b. Antreiben des Sägedrahts (7) mittels der Wickel-Spann-Einrichtung (10),
 - c. Ineingriffbringen des Sägedrahts (7) mit dem Siliziumblock (2),
 - d. Steuern der Drahtgeschwindigkeit (v_D) in den beiden Teilfeldern (13, 14) mittels der Steuer-Einrichtung (16) derart, dass sich unterschiedliche Drahtspannungen in den beiden Teilfeldern (13, 14) angleichen.
15. Verfahren gemäss Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Drahtgeschwindigkeit (v_D) in den beiden Teilfeldern (13, 14) in Abhängigkeit von der Drahtspannung im Sägedraht (7) im Bereich zwischen den Teilfeldern (13, 14) derart gesteuert wird, dass die Drahtgeschwindigkeit (v_D) im jeweils nachlaufenden Teilfeld (13, 14) an die Drahtgeschwindigkeit (v_D) im jeweils vorlaufenden Teilfeld (13, 14) angeglichen wird.

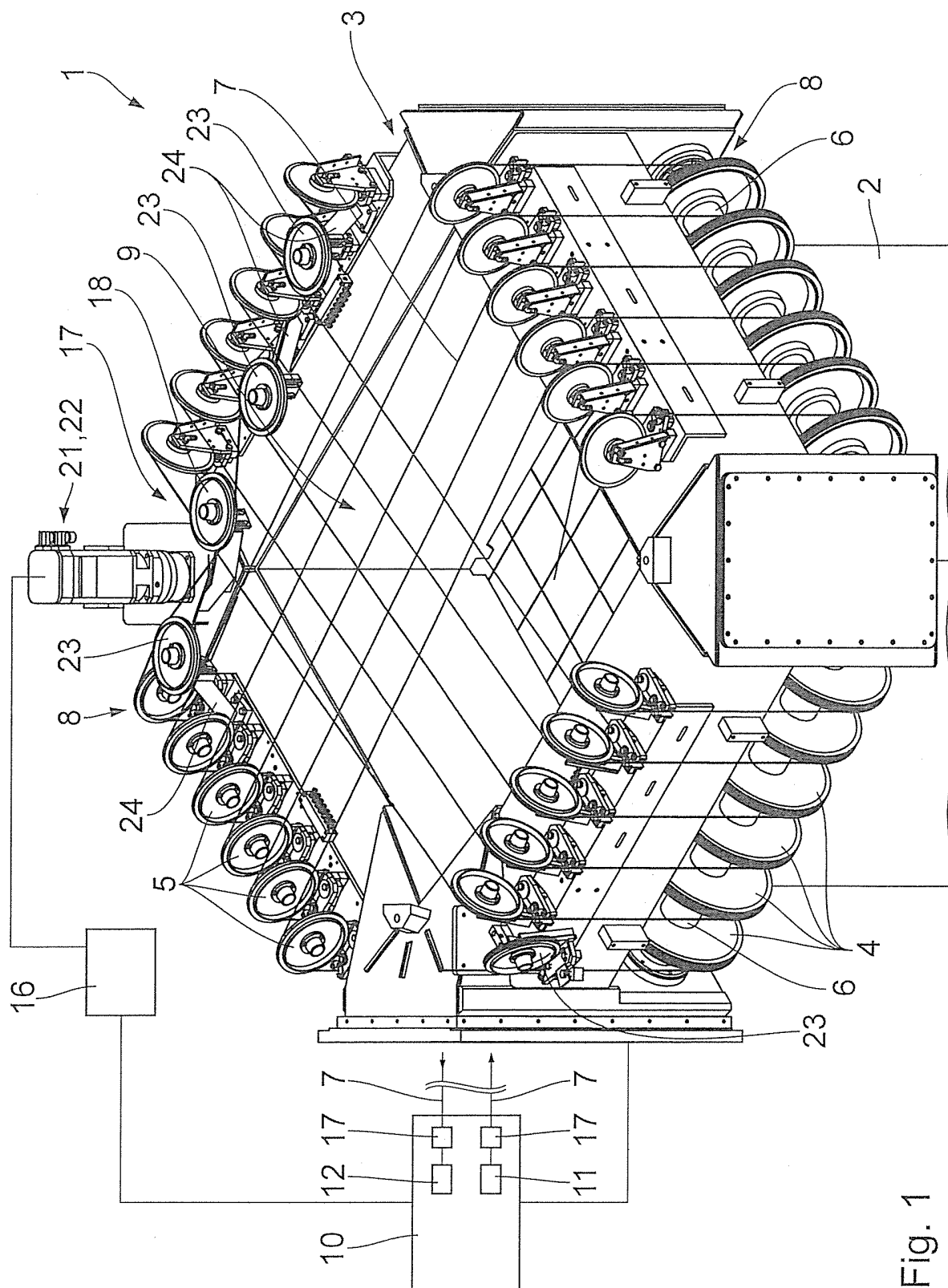


Fig. 1

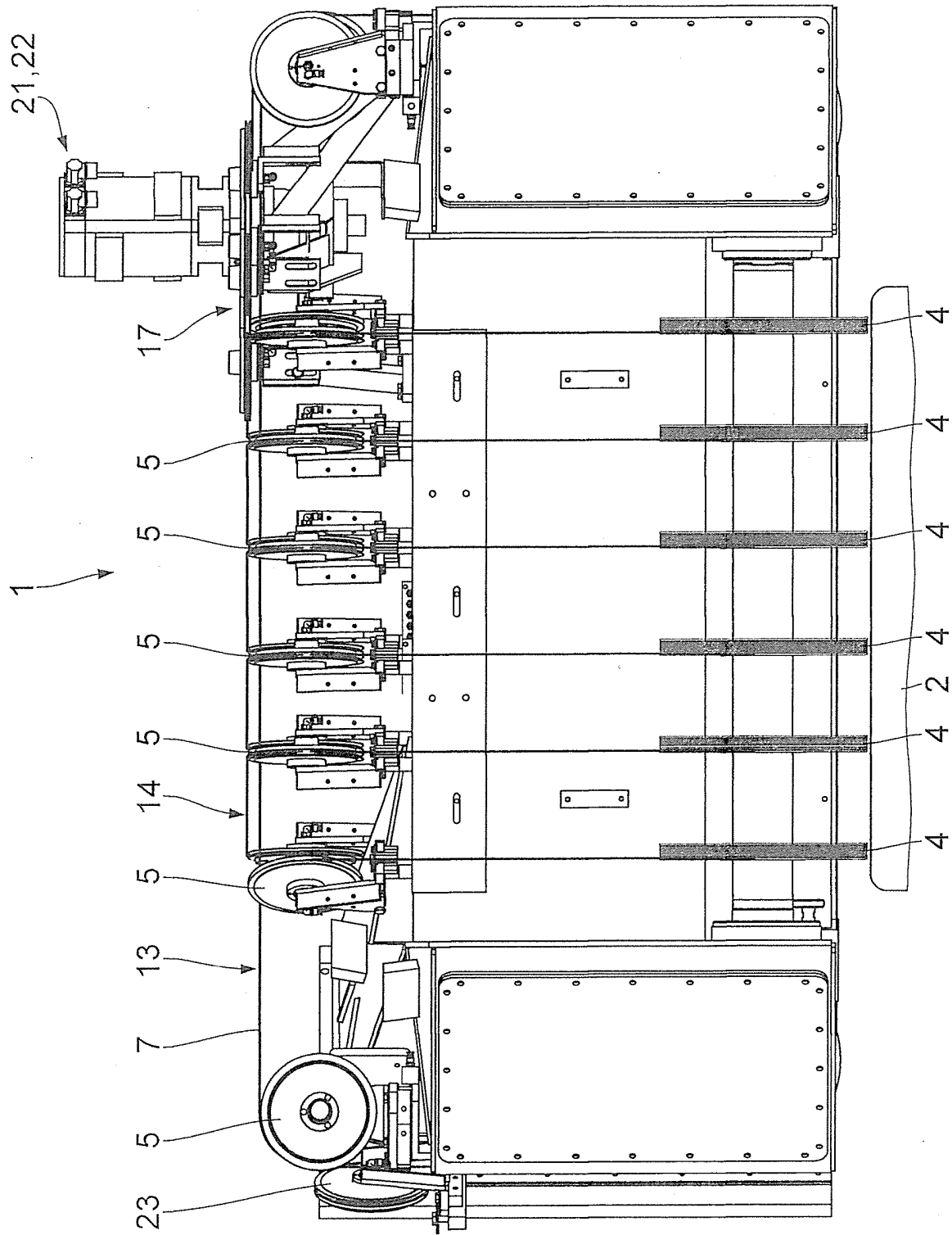


Fig. 2

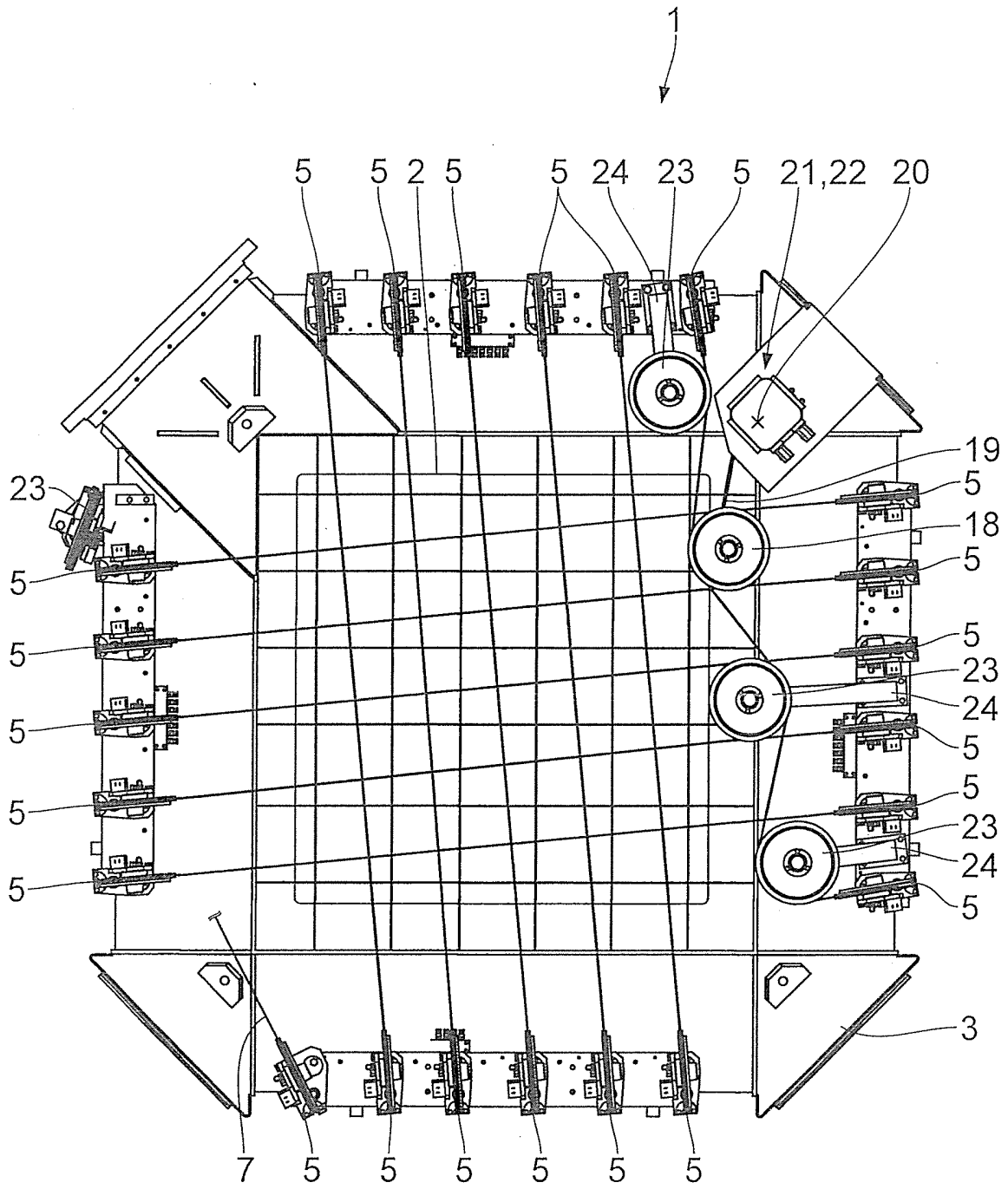


Fig. 3

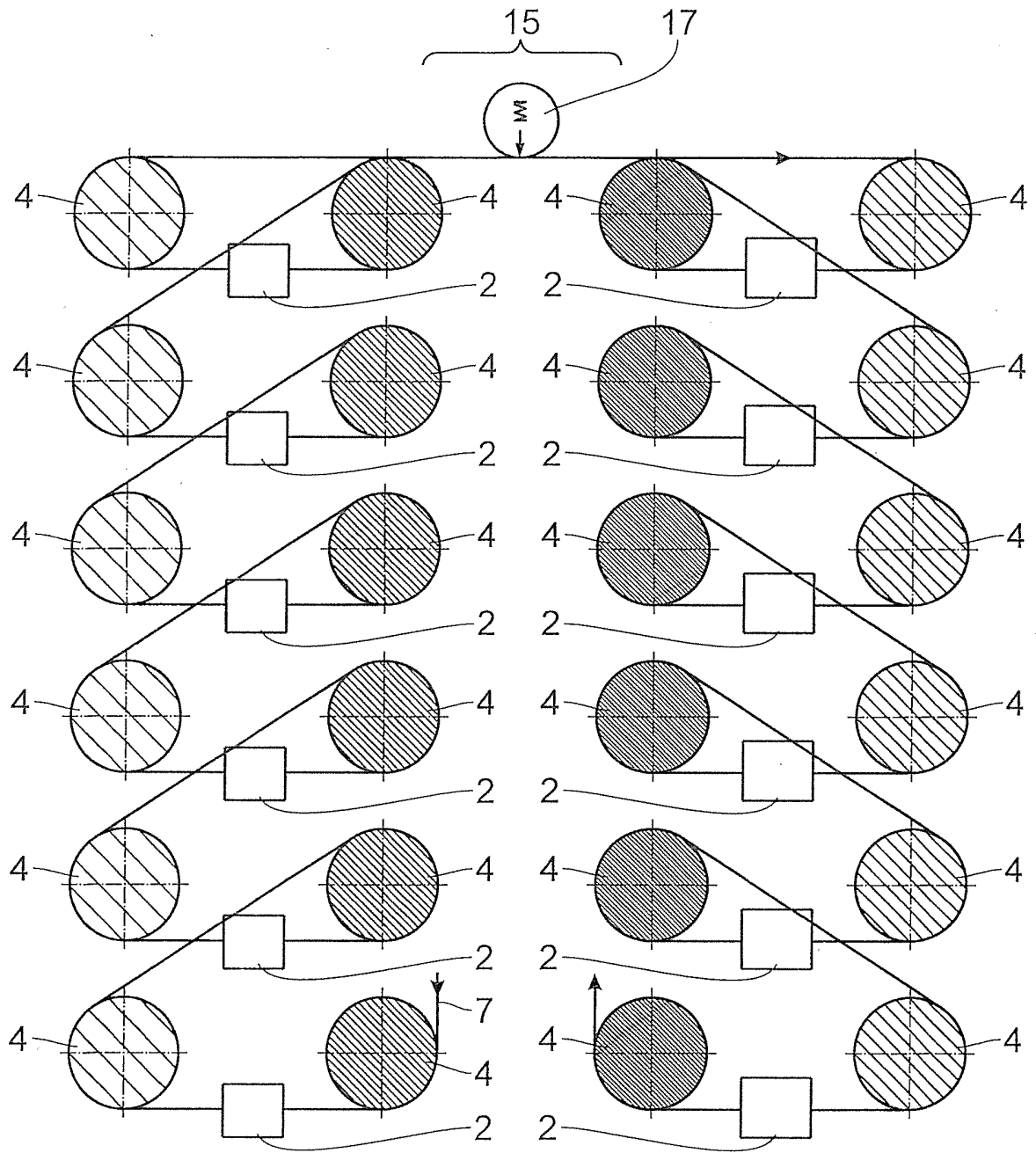


Fig. 5

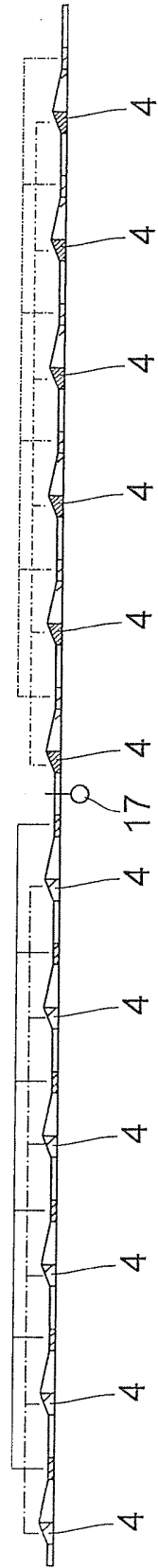


Fig. 6