(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 228 186 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
15.09.2010 Patentblatt 2010/37

(51) Int Cl.:
B28D 1/10 *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **10156251.0**

(22) Anmeldetag: **11.03.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA ME RS

(30) Priorität: **13.03.2009 DE 102009012679**

(71) Anmelder: **SCHOTT Solar AG**
55122 Mainz (DE)

(72) Erfinder:
- **Odenstein, Albrecht**
  07743 Jena (DE)
- **Taubert, Jochen**
  07749 Jena (DE)

(74) Vertreter: **2K Patentanwälte Blasberg Kewitz & Reichel**
Partnerschaft
Corneliusstraße 18
60325 Frankfurt am Main (DE)

(54) **Drahtsäge-Vorrichtung**

(57) Vorgeschlagen wird eine Drahtsäge-Vorrichtung zum Zerteilen eines kristallinen Barrens bzw. Ingots oder dergleichen. Die Drahtsäge-Vorrichtung kann z.B. als Squarer (100) ausgebildet sein, und weist einen über Drahtführungselemente (110) geführten und unter Zugspannung longitudinal bewegten Schneidedraht (140) auf, wobei die Drahtsäge-Vorrichtung (100) außerdem mindestens einen Sensor (135) aufweist, der in einem Umgebungsbereich (A) einer der Drahtführungselemente (110) angeordnet ist und der eine Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes (140) bezogen auf eine als optimale Position vorgegebene Position (P0) quer zur longitudinalen Achse des Schneiddrahtes (140) erkennt. Damit kann z.B. das Auftreten eines Drahtsprungs des jeweiligen Schneidedrahtes (140) aus einer Rille heraus erkannt werden. Auch können andere Zustandsänderungen am Schneidedraht und/oder den Drahtführungselementen, wie z.B. Verschleiß, Änderung der Zugspannung usw. zuverlässig erkannt werden.

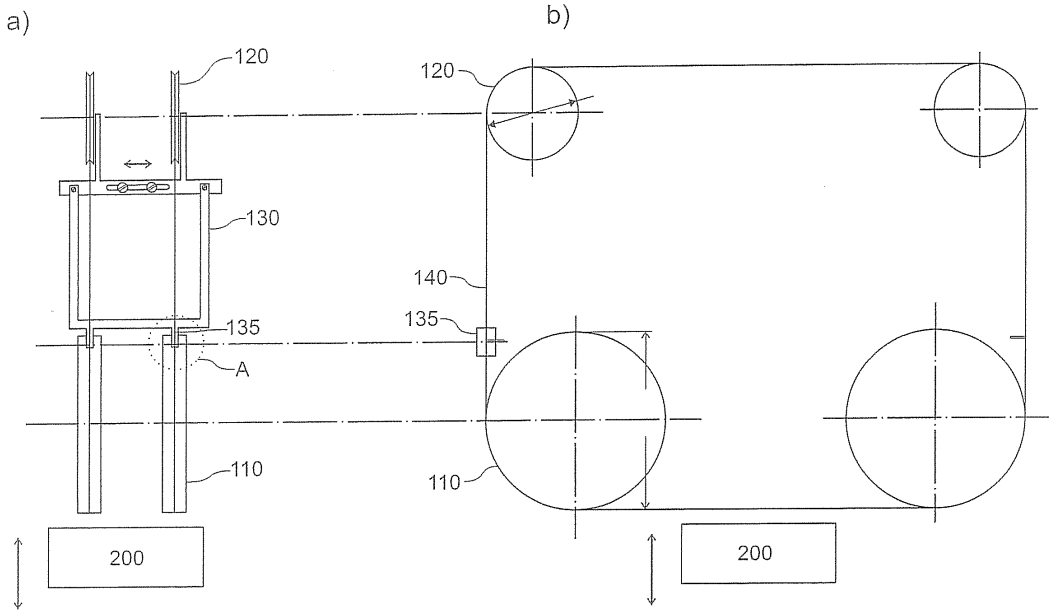


Fig. 1

EP 2 228 186 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Drahtsäge-Vorrichtung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Insbesondere betrifft die Erfindung Drahtsäge-Vorrichtungen, die in einem ersten Anwendungsfall zum Sägen oder Zerschneiden eines kristallinen Barrens oder Ingots in mehrere Blöcke bzw. Bricks oder in einem zweiten Anwendungsfall zum Sägen oder Zerschneiden von Blöcken oder Bricks in Wafer dienen. In dem ersten Anwendungsfall ist darunter auch eine Drahtsäge-Vorrichtung zu verstehen, die eine Quadrierung von zylindrischem monokristallinem Material, wie z. B. Silizium, in Blöcke vornimmt bzw. die multikristallines Silizium in Form von quaderförmigen Barren in Blöcke oder Bricks zerteilt und üblicherweise als Squarer bezeichnet wird.

[0002] Die zu sägenden kristallinen Barren oder Ingots sind zuvor im Rahmen eines Kristallzüchtungsverfahrens hergestellt worden. In früheren Quadrierungs-Verfahren wurden Außentrennsägen mit diamantbeschichteten Sägeblättern oder auch Bandsägen eingesetzt. In moderneren Verfahren erfolgt die Quadrierung durch Zerteilen mittels eines Sägedrahtes durch eine entsprechende Drahtsäge-Vorrichtung, auf die sich ein erster Anwendungsfall der Erfindung bezieht. Die Quadrierung macht aus einem ursprünglich runden monokristallinen Ingot einen quadratischen Block mit abgerundeten Ecken oder aus einem eckigen, multikristallinen Groß-Ingot mehrere Blöcke mit quadratischem Querschnitt. Ein zweiter Anwendungsfall bezieht sich auf eine Drahtsäge-Vorrichtung, die eingesetzt wird, um Wafer sowohl aus multikristallinem als auch monokristallinem Material, insbesondere Silizium, herzustellen. Dabei werden die beim Squaren entstehenden Blöcke oder Bricks in scheibenförmige Wafer zersägt.

[0003] Beim Sägen bzw. Zerschneiden gemäß beider Anwendungsfälle muss eine exakte Führung des Sägedrahtes erreicht werden und es muss eine Überbeanspruchung des Materials vermieden werden.

[0004] Der Sägedraht kann ein hochrissfester Stahldraht sein, der zusätzlich auf seiner Oberfläche, z.B. in eine Nikkellegierung eingebettete, Diamantkörner aufweisen kann. Es kann jedoch auch ein aus unzähligen Einzelfasern bestehender Kunststoffdraht sein, der auf seiner Oberfläche Abrasivkörner aufweist(siehe z.B. WO 2003/041899).

[0005] Bei der gegenwärtig am häufigsten eingesetzten Sägetechnologie kommt der Draht nicht direkt mit dem Material (Silizium) in Berührung. Denn die Sägestellen werden mit einem Gemisch aus Glykol oder Öl und Siliziumcarbid-Körnern besprüht, welches üblicherweise "Slurry" genannt wird. Das Siliziumcarbid wirkt als abrasives Medium, welches das eigentliche Durchsägen des Materials bewirkt. Somit handelt es sich im engeren Sinne nicht um ein Sägen, sondern um ein Drahttrennläppen.

[0006] Die Erfindung soll auch die Drahtführung bei den als Squarer bekannte Drahtsäge-Vorrichtungen verbessern, die zum Sägen oder Zerschneiden eines kristallinen Barrens in mehrere Blöcke ein vorzugsweise quadratförmiges Drahtfeld von sich vorzugsweise kreuzenden Schneidedrähten bzw. Schneidedrahtabschnitten ausbilden. Die Erfindung soll aber nicht beschränkt auf diese Art von Drahtsäge-Vorrichtungen sein. Bei diesen Squarern wird der Schneidedraht über mehrere Drahtführungsscheiben geführt und unter Zugspannung longitudinal bewegt, wobei jede Drahtführungsscheibe mehrere Rillen zur Führung des Schneidedrahtes aufweist. An den vier Seiten des Squarers sind jeweils mehrere Drahtführungsscheiben in einer Anordnung drehbeweglich montiert, die auch als Drahtführungsrolle bezeichnet wird. Die Drahtführungsscheiben sind dabei in definierten Abständen montiert, um die gewünschten Schnittbreiten zu erzielen. Diese Vorrichtungen sind insbesondere für die Fertigung von Blöcken geeignet, aus denen in dem nachfolgenden Fertigungsschritt "Wafersägen" typischerweise 130μm bis 200μm dicke Solarwafer hergestellt werden.

[0007] Ein anderer Typ von Drahtsäge-Vorrichtung ist z.B. aus der DE 100 03 240 A1 bekannt. Diese Drahtsäge-Vorrichtung ist eine Multi Wire Säge und dient insbesondere zum Zersägen eines Silizium-Ingots in mehrere Wafer bzw. Halbleiter-Scheiben. Die Vorrichtung weist dazu eine Drahtgruppe auf, bei der ein Schneidedraht über eine Mehrzahl von mit Nuten versehenen Walzen geführt ist, wobei die Nuten zueinander so beabstandet sind, wie es die Dicke der gewünschten Wafer erfordert. Somit wirken diese Walzen wie mit mehreren Nuten oder Rillen versehene walzen- oder zylinderförmige Drahtführungsrollen. Demnach ist aus der DE 100 03 240 A1 eine Drahtsäge-Vorrichtung bekannt, bei der über walzenförmige Drahtführungsrollen die Schneidedrähte geführt und unter Zugspannung longitudinal bewegt werden. Diese auch als Multi-Wire Säge bezeichnete Vorrichtung findet für den Prozess des Wafersägens Verwendung.

[0008] Aus der DE 10 2007 019 566 A1 ist bekannt, dass das Material, aus welchem der Belag der Drahtführungsrollen besteht, und die Kontur der Vielzahl von Rillen der Drahtführungsrollen dieser Drahtsäge-Vorrichtung angepasst werden müssen, um deren Verschleiß möglichst gering zu halten. Damit werden die Standzeit der Drahtführungsrollen erhöht, der Draht optimal geführt und Qualitätseigenschaften der in dieser Multi Wire Säge hergestellten Wafer, wie z. B. Bow und Warp, positiv beeinflusst.

[0009] Aus der EP 1 110 652 B1 ist eine Drahtsäge-Vorrichtung (Multi Wire Säge) bekannt, bei der ebenfalls Schneidedrähte über Drahtführungsrollen geführt werden. Damit beim Sägevorgang eine optimale Drahtspannung eingehalten wird, sind Zugspannungs-Sensoren (tension-sensor) vorgesehen, welche die Drahtspannung messen bzw. überwachen.

[0010] Neben der Einhaltung einer optimalen Drahtspannung muss in jedem Typ an Drahtsäge-Vorrichtung auch dafür Sorge getragen werden, dass der Schneidedraht in der jeweiligen Rille auf der Drahtführungsrolle (Multi Wire Säge) bzw. Drahtführungsscheibe (Squarer) verbleibt. Insbesondere muss vermieden werden, dass ein sogenannter Drahtsprung von einer Rille in eine andere auftritt. Im Prozess des Wafersägens ist jedoch jede benachbarte Rille der

Drahtführungsrolle bereits mit einem darin laufenden Draht belegt, wodurch in diesem Prozess ein Drahtsprung seltener vorkommt, lediglich zum Ausfall zweier benachbarter Wafer wegen Geometrietoleranzüberschreitung führt und ein Drahtsprung meist toleriert wird. Drahtsprünge beim Wafersägen haben meist ihre Ursache im Verschleiß der Rillen, wie sie z.B. die EP 1 110 652 B1 beschreibt.

[0011] Allen genannten Arten von Drahtsäge-Vorrichtungen ist gemeinsam, dass sie neben den genannten Drahtführungselementen , also den Drahtführungsrollen (Multi Wire Säge) bzw. den zu Drahtführungsrollen zusammengefügten Drahtführungsscheiben (Squarer) für die die Produktgeometrie bestimmende Präzisionsführung der im Eingriff am Werkstück befindlichen Drahtabschnitte, auch noch weitere Drahtführungselemente zum Zwecke der Festlegung des Drahtverlaufes besitzen, die im weiteren als Drahtführungsscheiben, Umlenkrollen, Führungsrollen oder Umlenkzylinderrollen konkreter genannt werden.

[0012] Deshalb ist es von generellem Interesse, den natürlichen Verschleiß der Kontaktflächen von Drahtführungselementen in Grenzen zu halten, also die Kontaktflächen, die mit dem Schneidedraht unmittelbar in Berührung treten, wie z.B. sämtliche in der Maschine vorhandenen Umlenkrollen, nicht zu sehr verschleißen zu lassen, damit der Schneidedraht auf den vorbestimmten Bahnen verläuft.

[0013] Weiterhin sollte sichergestellt werden, dass ein auf eine Vorratsrolle aufgewickelter und über eine quer zur Drahtbewegung ausgedehnte Führungsrolle laufender Draht den Wicklungen der Vorratsrolle oder seinen Querkräften folgt und dabei auf einer ausgedehnten Umlenkzylinderrolle frei wandert und nicht an den stets auftretenden Verschleißrillen der Umlenkzylinderrolle hängen bleibt.

[0014] Außerdem wäre es wünschenswert, die Zugspannung des Schneidedrahtes an möglichst vielen Stellen zwischen verschiedenen Drahtführungselementen bestimmen zu können.

[0015] Demnach ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Drahtsäge-Vorrichtung vorzuschlagen, bei der die oben genannten Nachteile und Anforderungen in vorteilhafter Weise überwunden bzw. gelöst werden. Insbesondere soll durch die Erfindung erreicht werden, dass

- Sprünge des Drahtes aus der vorbestimmten Rille einer Drahtführungsscheibe heraus detektiert werden,
- der Verschleiß von Umlenkrollen eines jeden Typs detektiert wird,
- detektiert wird, wenn das freie Wandern des Drahtes auf den Umlenkzylinderrollen nicht mehr gegeben ist
- die Zugspannung des Schneidedrahtes nicht nur in der Nähe von Aufwickel- oder Abwickelspule bestimmt werden kann.

[0016] Insbesondere soll in einer Drahtsäge-Vorrichtung in der Art eines sog. Squarers zur Quadrierung von Ingots sicher erkannt werden, wenn der Sägedraht aus der vorbestimmten Rille einer Drahtführungsscheibe springt.

[0017] Auch soll bei Drahtsäge-Vorrichtungen dieser oder anderer Art sichergestellt werden, dass der natürliche Verschleiß der Kontaktflächen von Drahtführungselementen frühzeitig und automatisch erkannt und verhindert werden kann, dass der Schneidedraht die vorgesehene Führungsbahn nicht verlässt und/oder nicht in einer sich ausbildenden Verschleißrille hängenbleibt.

[0018] Gelöst wird die Aufgabe durch eine Drahtsäge-Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

[0019] Demnach wird vorgeschlagen, dass die Drahtsäge-Vorrichtung mindestens einen Sensor aufweist, der in einem Umgebungsbereich von mindestens einem der Drahtführungselemente angeordnet ist und der eine Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes bezogen auf eine als optimale Position vorgegebene Position quer zur longitudinalen Achse des Schneiddrahtes erkennt.

[0020] Die Drahtsäge-Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung enthält demnach mindestens eine Sensoranordnung, die zur Überwachung der Position des geführten Drahtes in der Nähe von Drahtführungselementen dient und somit insbesondere die Drahtführung in der Vorrichtung und/oder den Verschleißzustand der Drahtführungselemente und/oder die Drahtspannung überwachen kann.

[0021] Als Drahtführungselemente werden jede Art von drahtführenden Elementen angesehen, insbesondere Drahtführungsscheiben, Umlenkrollen, Führungsrollen oder Umlenkzylinderrollen angesehen. Der jeweilige Sensor kann ein ortsauflösender Sensor oder Detektor sein, also so beschaffen sein, dass er eine ortsaufgelöste Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes detektiert. Eine ortsaufgelöste Änderung der Position des Schneidedrahtes in der Nähe einer Drahtführungsscheibe liefert den Hinweis auf einen Drahtsprung in eine der benachbarten Rillen, oder liefert den Hinweis auf einen nicht mehr tolerierbaren Verschleiß der Umlenkrolle oder auf einen nicht mehr tolerierbaren Verschleiß einer Umlenkzylinderrolle oder auf eine damit verbundene Zustandsänderung des Schneidedrahtes. Auch kann der jeweilige Sensor ein zeitauflösender Sensor oder Detektor sein, also so beschaffen sein, eine zeitaufgelöste Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes zu detektieren, um eine damit verbundene Zustandsänderung des Schneidedrahtes, insbesondere Verschleiß und/oder Änderung der Zugspannung, zu erkennen.

[0022] Die Drahtsäge-Vorrichtung kann beispielsweise als Multi Wire Säge ausgebildet sein, die blockartige Körper aus kristallinem Material, insbesondere Ingots aus Silizium, in mehrere Scheiben bzw. Wafer zerteilt, insbesondere durch Drahttrennläppen oder Drahttrennschleifen zerschneidet.

[0023] Auch kann die Drahtsäge-Vorrichtung beispielsweise als Squarer ausgebildet sein, die blockartige Körper aus kristallinem Material, insbesondere Barren aus Silizium, in mehrere Blöcke bzw. Bricks zerteilt, insbesondere durch Drahttrennläppen zerschneidet. Dabei wird in dem Umgebungsbereich einer oder mehrerer Drahtführungsscheibe(n) mindestens jeweils ein Sensor so angeordnet ist, dass der Sensor erfasst, ob der Schneidedraht in derjenigen Rille verbleibt, in der der Schneidedraht geführt ist oder in eine andere Rille gesprungen ist.

[0024] Typischerweise befindet sich an jeder der vier Seiten der als Squarer bezeichneten Drahtsäge-Vorrichtung eine Anordnung aus mehreren solcher Drahtführungsscheiben. Diese Anordnung kann auch als Drahtführungsrolle bzw. Verbund von Drahtführungsscheiben bezeichnet werden. Vorzugsweise befinden sich die Sensoren in einem Umgebungsbereich, der den Aufroll- und/oder Abrollbereich für den Schneidedraht auf die bzw. von der jeweiligen Drahtführungsscheibe umfasst. Insbesondere umfasst der jeweilige Sensor genau eine Rille der jeweiligen Drahtführungsscheibe.

[0025] Es wird hier eine Sensor-Einrichtung vorgeschlagen, die mindestens einen solchen Sensor aufweist und an einer Drahtsäge-Vorrichtung montierbar ist.

[0026] Somit wird die hier vorgestellte Drahtsäge-Vorrichtung mit vorzugsweise mehreren Sensoren versehen, die auf die in den Rillen geführten Schneidedrähte hin ausgerichtet sind und einen evtl. auftretenden Drahtsprung sicher und sofort erkennen. Da die Sensoren stets auf eine vorbestimmte Rille ausgerichtet sind, werden auch Bedienerfehler beim Einrichten des Drahtfeldes vermieden, da der verlegte Draht auch in der vorbestimmten Rille detektiert werden muss.

[0027] Im Falle einer Erkennung einer Positionsänderung, die eine nicht mehr tolerierbare Zustandsänderung, wie z.B. einen Drahtsprung anzeigt, kann der Trenn- bzw. Sägeprozess gestoppt werden. Durch eine Beseitigung des Drahtsprunges durch manuellen Eingriff besteht dann die Möglichkeit zu verhindern, dass im Falle des fortgesetzten Squarens eines Ingots ohne manuellen Eingriff im ungünstigsten Fall bis zu 8 Blöcke wegen Geometriefehler zu Ausschuss werden, wenn man z.B. von einem Ingot mit einer Grundfläche von 700mm x 700mm ausgeht, der in 16 Blöcke mit der Abmessung 156mm x 156mm zersägt werden soll. Neben der Erkennung ist zur Ausschussvermeidung insbesondere notwendig, dass ein Drahtsprung sofort erkannt und die Maschine zum Stillstand gebracht werden kann.

[0028] Vorzugsweise ist in dem Umgebungsbereich einer jeden Drahtführungsscheibe mindestens jeweils ein Sensor so angeordnet, dass der Sensor erfasst, ob der jeweilige Schneidedraht in derjenigen Rille verbleibt, in welcher der Schneidedraht geführt ist. Die Sensoren sind vorzugsweise an dem Rahmen, der auch die Drahtführungsrolle mit den jeweiligen Drahtführungsscheiben trägt, oder an einer daran befestigten Halterung montiert. Als Sensoren können beispielsweise induktive, magnetische und/oder optische Sensoren verwendet werden. Von Vorteil ist es auch, wenn der jeweilige Sensor als Näherungsgeber ausgebildet ist, d.h. als ein Sensor, der ohne physikalischen Kontakt Metallobjekte erfassen kann. Hierzu können verschiedene Sensortypen, wie z.B. ein mit elektromagnetischer Induktion arbeitender Hochfrequenzoszillationstyp, ein mit Magneten arbeitender Sensortyp oder ein kapazitiver Sensortyp, eingesetzt werden.

[0029] Vorzugsweise weist die Drahtsäge-Vorrichtung eine mit den Sensoren verbundene Steuerschaltung auf, welche ein von dem Sensor kommendes Sensorsignal verarbeitet und welche ein Anhalten der sich longitudinal bewegenden Schneidedrähte steuert, falls mindestens einer der Sensoren das Auftreten eines Drahtsprungs anzeigt. Vorzugsweise kann die Steuerschaltung auch in eine Motorsteuerung für mindestens einen Elektromotor-Antrieb zum Bewegen der Schneidedrähte integriert sein. Der Antrieb enthält vorzugsweise mehrere Motoren.

[0030] Die Steuerschaltung ist vorzugsweise so gestaltet, dass sie zumindest einen Vergleicher aufweist, der das Sensorsignal mit einem vorgebbaren Schwellwert vergleicht. Auch kann die Steuerschaltung zumindest eine erste Schaltungsstufe aufweisen, welche prüft, ob ein Masseschluß des Schneidedrahtes vorliegt. Denn in einer kostengünstigen Variante befindet sich der Sensor in einem Metallgehäuse, das wiederum leitend mit der Vorrichtung verbunden ist. Somit kann sofort eine evtl. auftretende Berührung des Sensors durch den Schneidedraht erkannt und können Schutzmaßnahmen ausgelöst werden. Außerdem kann die Steuerschaltung zusätzlich noch mindestens eine zweite Schaltungsstufe aufweisen, welche fortlaufend die Funktion des jeweiligen Sensors überprüft. Vorzugsweise wird ein Sensor mit (im Sensorgehäuse oder im Kabel) integriertem Verstärker verwendet, so dass die Sensor-Funktion bzw. die Verkabelung zwischen Sensor und Verstärker über einen separaten Ausgang geprüft werden kann. Ebenfalls kann die Steuerschaltung mindestens eine Verknüpfungsstufe aufweisen, welche mehrere Sensorsignale miteinander verknüpft. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine logische ODER-Schaltung handeln.

[0031] Die Erfindung und die sich daraus ergebenden Vorteile werden nachfolgend näher im Detail und anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben, wobei auf die beiliegenden Zeichnungen Bezug genommen wird

Figur 1 a) und b) zeigen in einer Frontansicht bzw. in einer Seitenansicht b) schematische Darstellungen einer Drahtsäge-Vorrichtung nach einem ersten Ausführungsbeispiel in Form eines Squarers, wobei exemplarisch anhand von zwei Drahtführungsscheiben die Anordnung der Scheiben sowie des Sensors und die Führung des Drahtes dargestellt sind.

Figur 2 zeigt schematisch in einer dreidimensionalen Ansicht den Aufbau der Drahtsäge-Vorrichtung nach dem ersten Ausführungsbeispiel.

Figur 3 zeigt zu den Fig. 1 und 2 im Detail einen Ausschnitt einer mit mehreren Rillen versehenen Drahtführungsscheibe, sowie den nahe dazu angeordneten Sensor zur Detektion von Drahtsprüngen

Figur 4 zeigt in einer ersten Ausführungsform eine erfindungsgemäße Steuerschaltung für die in Fig. 1 bis 3 dargestellten Sensoren.

Figur 5 zeigt eine Variante der erfindungsgemäßen Steuerschaltung für die in Fig. 1 bis 3 dargestellten Sensoren.

Figur 6 a) zeigt in schematischer Darstellung einen anderen Teilbereich einer Drahtsäge-Vorrichtung(vorkommend sowohl in einem Squarer als auch einer Multi Wire Säge) und repräsentiert einem zweiten Anwendungsfall, wobei ein Sensor die Position des Schneidedrahtes bei seiner Auf- oder Abwicklung detektiert.

Figur 6 b) den Teilbereich der Drahtsäge-Vorrichtung nach Fig. 6b) zeigt, wobei die Auf- oder Abwicklung des Schneidedrahtes weiter fortgeschritten ist.

Figur 7 den Teilbereich der Drahtsäge-Vorrichtung nach Fig. 6a) und 6b) zeigt, wobei eine durch Verschleiß an einer Umlenkzylinderrolle hervorgerufene fehlerhafte Drahtführung bzw. Drahtwanderung erkannt wird.

Figur 8 zeigt in schematischer Darstellung einen Teilbereich einer Drahtsäge-Vorrichtung nach einem dritten Anwendungsfall, wobei ein Sensor die Position des Schneidedrahtes an einer Umlenkrolle detektiert, um den mechanischen Verschleiß der Umlenkrolle zu überwachen.

[0032] Die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele veranschaulichen die vielseitige Anwendung der Erfindung. Der unter dem Begriff "Drahtsäge- Vorrichtung" definierte Erfindungsgegenstand ist sehr allgemein zu verstehen und umfasst alle Vorrichtungen zum Zerteilen kristallinen Materials, wie z.B. Drahtsägen zum Zerschneiden von Blöcken, Bricks oder Säulen in Wafer, Squarer zum Zerteilen von kristallinen Barren in sogenannte Blöcke, Bricks oder Säulen usw.. Als "sägen" wird hier jede Arte des Zerteilens von Material mittels eines oder mehrerer Schneidedrähte verstanden, insbesondere auch das sogenannte Drahttrennläppen, bei dem nicht der Draht selbst das Material zerteilt, sondern im Wesentlichen ein an der oder den Kontakstelle(n) zwischen Material und Draht eingebrachtes Gemisch aus Glykol oder Öl und mit Abrasivkörnern (sog. Slurry). Der Draht bewegt die Slurry an bzw. in den Kontaktzonen, so dass das Material mittels Drahttrennläppen abgetragen wird. Zur Führung des mindestens einen Schneidedrahtes werden Drahtführungselemente eingesetzt, die verschiedenen Ausgestaltungen haben können, wie z.B. Drahtführungsscheiben, Umlenkwalzen bzw. Umlenkzylinderrollen, Führungsrollen, angetriebene oder antriebslose Umlenkrollen usw..

[0033] Auf der Drahtsäge-Vorrichtung kann anstelle des Zerteilens von kristallinen Barren in sogenannte Blöcke, Bricks oder Säulen usw. durch Drahttrennläppen auch der Prozess des Drahttrennschleifens zur Anwendung kommen. Beim Drahttrennschleifen wird ein Draht verwendet, bei dem die Abrasivteilchen(z.B. Diamantpartikel) metallisch an die Oberfläche des Drahtes gebunden sind.

[0034] Die Figuren 1 bis 5 beziehen sich auf Anwendungsbeispiele, die die Drahtführung im Drahtfeld eines Squarers betreffen, wobei die Sensoren in der Umgebung des Drahtfeldes angeordnet sind, um insbesondere das Auftreten von Drahtsprüngen an Drahtführungsscheiben zu vermeiden. Die Figuren 6, 7 und 8 beschreiben weitere Anwendungsfälle der Sensoranordnung, bei der insbesondere eine unbehinderte Wanderung des Drahtes auf Umlenkzylinderrolle sicher gestellt werden soll oder der Verschleiß von Drahtführungsscheiben überwacht werden soll. Die Sensoranordnung zur Erkennung der Position eines Sägedrahtes ist also nicht bloß auf die Erkennung eines Drahtsprunges an Drahtführungsscheiben bzw. den Verschleiß von Drahtführungsscheiben begrenzt. Diese Sensoranordnung kann an allen Typen von Drahtsäge-Vorrichtungen wie Squarer oder Multi Wire Sägen Anwendung finden. Stets ist der Sensor im Umgebungsbereich einer Drahtführungsscheibe bzw. einer analogen Position in der Umgebung einer Umlenkrolle, einer Führungsrolle oder eines Umlenkzylinderrolle oder dergl. angeordnet und detektiert die Abweichung der IST-Position des Drahtes von seiner SOLL-position. Diese zahlreichen Anwendungsfälle werden nachfolgend mit Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 8 detailliert beschrieben.

[0035] Als ein erstes Ausführungsbespiel wird hier zunächst anhand der Figuren 1 bis 3 eine Drahtsäge-Vorrichtung in Form eines Squarers beschrieben, an dem eine erfindungsgemäße Sensorik montiert ist. Die Sensorik ist mit einer Steuerschaltung verbunden, die anhand der Fig. 4 und 5 in zwei Ausführungsbeispielen beschrieben wird.

[0036] Die Figuren 1a) und 1b) sowie 2 zeigen in verschiedenen Ansichten eine erfindungsgemäße Drahtsäge-Vorrichtung in Gestalt eines Squarers 100, der mittels eines Schneidedrahtes 140, einen monokristallinen Ingot 200 bzw. multikristallinen Barren 200 aus einem kristallinen Material, wie z.B. Silizium, in Blöcke bzw. Bricks zerteilt.

[0037] Die die Figur 1 zeigt anhand der Ansichten a) und b) exemplarisch die Führung des Schneidedrahtes 140 über Drahtführungselemente in Form von Umlenkrollen 120 und Drahtführungsscheiben 110 sowie die Anordnung mindestens eines Sensors 135 zum Detektieren der aktuellen Draht-Position und sicheren Erkennen eines Drahtsprunges. Bevor

hierauf näher eingegangen wird, soll hier zunächst anhand der Figur 2 der allgemeine Aufbau des Squarers beschrieben werden.

[0038] Die Figur 2 zeigt dazu in einer dreidimensionalen Ansicht den Squarer 100, der einen Rahmen bzw. eine Halterung 130 für mehrere Drahtführungselemente in Form von Drahtführungsscheiben 110 sowie Umlenkrollen 120 (alle eine Art von vorher bereits aufgezählten Drahtführungselementen) aufweist. Der über die Drahtführungsscheiben geführte Schneidedraht 140 kreuzt sich im Schneidebereich und spannt dort ein Drahtfeld 145 auf, das zum Zersägen von multi- oder monokristallinen Blöcken bzw. Ingots geeignet ist. Der Schneidedraht 140 wird über die Umlenkrollen 120, welche sich im oberen Bereich der Halterung 130 befinden, auf die jeweiligen Drahtführungsscheiben 110 geführt, welche sich im unteren Bereich der Halterung 130 befinden und für die Umlenkung des Schneidedrahtes in die horizontale Schneidrichtung sowie für eine exakte Drahtführung sorgen.

[0039] In der näheren Umgebung einer jeden Drahtführungsscheibe 110 ist ein Sensor 135 vorgesehen, der auf die Führung bzw. die aktuelle Position des Schneidedrahtes ausgerichtet ist, um evtl. auftretende Drahtsprünge sofort zu erkennen. Denn durch den Bearbeitungsprozess ist festgelegt, in welcher Rille sich der Schneidedraht befinden soll. Sollte der Schneidedraht, aus welchem Grund auch immer, diese Rille bzw. optimale Position verlassen, wird dies durch die hier vorgeschlagene Erfindung sofort erkannt und angezeigt bzw. ausgewertet.

[0040] Der hier verwendete Säge- bzw. Schneidedraht 140 ist mit etwa 250 μm nur unwesentlich dicker als ein menschliches Haar. Das Zerschneiden eines Ingots 200 (siehe auch Fig. 1) mit einem hauchdünnen messingbeschichteten Stahldrahtes dauert in der Regel 5 bis 7 Stunden. Dabei vollzieht der Draht eine Pendelbewegung, indem der Draht vorwärts und rückwärts mit einer Geschwindigkeit von bis zu 15 m/s durch das Material bewegt wird. Das dargestellte Rollensystem sorgt dafür, dass der Sägedraht nacheinander alle Sägekanäle durchläuft. Zum Zerschneiden des Ingots 200 in beispielsweise sechzehn Blöcke wird eine Drahtrolle mit etwa 400 km Draht benötigt.

[0041] Die Drahtführung wird nun anhand der Figur 1 näher beschrieben:

[0042] Die Figur 1 zeigt anhand der Ansichten a) und b) exemplarisch die Führung eines Schneidedrahtes 140 über die Umlenkrollen 120 und Drahtführungsscheiben 110 sowie die Anordnung des Sensors 135 zum sicheren Erkennen eines Drahtsprunges. Der über die Rollen geführte Draht 140 wird durch die Drahtführungsscheiben 110 in die horizontale Schneidposition gebracht und somit zum Zersägen des Ingots 200 exakt positioniert. Die jeweiligen Drahtführungsscheiben 110 weisen dazu mehrere Rillen auf (siehe auch Figur 3). Ein an der Halterung 130 jeweils in unmittelbarer Umgebung der Drahtführungsscheibe 110 montierter Sensor 135 überprüft die exakte Position des Schneidedrahtes 140 und meldet einen gegebenenfalls auftretenden Drahtsprung. Die von dem Sensor erfasste Umgebung A entspricht einem engeren Bereich in Nähe der Rillen der Drahtführungsscheibe 110. Der gezeigte Sensor 135 ist hier als ein Näherungsgeber in Gestalt eines Hochfrequenzoszillationstyps ausgestaltet, der eine Messspule einen Schwingungsschaltkreis einen Amplitudenerfassungskreis sowie einen Ausgabeschaltkreis aufweist. Alle Schaltungselemente können in einem Gehäuse integriert sein. Alternativ dazu kann die Messspule aus in einem separaten Messkopf eingebaut sein und über ein Kabel mit dem Schwingungsschaltkreis verbunden sein, der mit den restlichen Schaltungselementen in einem anderen Gehäuse montiert ist. Dazwischen befindet sich ein Kabel (Koaxialkabel), in dem auch ein Verstärker integriert sein kann, wenn es eine gewisse Länge aufweist. Mittels des Schwingungsschaltkreis und der Messspule wird ein Hochfrequenzmagnetfeld erzeugt, das in dem sich in der Nähe befindlichen Metallobjekt (hier im Schneidedraht) einen Induktionsstrom (Wirbelstrom) erzeugt. Je geringer der Abstand zwischen Sensor und Metallobjekt ist, desto größer ist der Induktionsstrom und desto größer wird die Last im Schwingungsschaltkreis. Diese Änderungen werden im Sensor durch die darin befindliche Amplitudenerfassungsschaltung erkannt und über den Ausgabeschaltkreis als Messsignal bzw. Sensorsignal (s. Signal S Fig. 1) ausgegeben.

[0043] Es sind verschiedene Ausführungen des Näherungsgebers denkbar, wie z.B. als schaltender Sensor mit interner oder externer Elektronik bzw. Verstärker, oder z.B. bevorzugt als schaltender Sensor mit externem einstellbaren Verstärker. Somit befindet sich im Sensor selbst bevorzugt immer ein Teil der Elektronik oder sogar die gesamte Elektronik. Die nicht im Sensor befindliche Elektronik bzw. der Verstärker kann z.B. sich im Kabel, in einem Steckverbinder befinden oder als separater Verstärker ausgebildet sein.

[0044] Die Figur 3 zeigt dazu im Detail den oberen Bereich der Drahtführungsscheibe 110 mit den darin vorgesehenen Rillen. Hier sind beispielsweise 10 äquidistante Rillen vorhanden, von denen hier exemplarisch die Rillen R1, R5 und R10 mit einem Bezugszeichen versehen sind. Die mittlere Rille R5 soll die aktuelle und gewünschte Ideallage bzw. Soll-Position P0 des Schneidedrahtes 140 definieren. Der in unmittelbarer Umgebung montierte Sensor 135, welcher beispielsweise einen Näherungsschalter mit integriertem Verstärker darstellt, erfasst die aktuelle und optimale Position des Schneidedrahtes. Sobald nun ein Drahtsprung aus der aktuellen Rille R5 in eine andere Rille hinein auftreten sollte, wird dies durch den Sensor 135 sofort erkannt. Der Sensor ist mit einer später noch beschriebenen Schaltung verbunden, die eine Auswertung des Sensorsignales vornimmt und bei einem Drahtsprung die Antriebseinrichtung (nicht dargestellt) der Drahtsäge-Vorrichtung anhält.

[0045] Die Figuren 4 und 5 zeigen in weiteren Details Beispiele zum Aufbau der erfindungsgemäßen Sensor-Einrichtung mit zugehöriger Steuerschaltung.

[0046] In der Figur 4 ist beispielsweise eine erste Steuerschaltung 150 dargestellt, die mit dem Sensor 135 verbunden

ist. Der Sensor liefert ein Sensorsignal S, das am Eingang der Steuerschaltung 150 anliegt. Die Steuerschaltung 150 weist insbesondere einen Vergleicher bzw. Differenzverstärker 151 auf, der anhand einer Schwellwertdetektion erkennt, ob das Sensorsignal S einen Drahtsprung anzeigt oder nicht. Dem Differenzverstärker 151 ist eine Triggerstufe 152 nachgeschaltet, welche ein rechteckförmiges Triggersignal ausbildet und dieses auf eine Verknüpfungsstufe 153 führt. Die Verknüpfungsstufe, welche hier als logisches ODER-Gatter ausgebildet ist, verknüpft mehrere Sensorsignale und bewirkt somit, dass am Ausgang der Steuerschaltung ein Steuersignal ST erzeugt wird, sobald zumindest einer der Sensoren einen Drahtsprung detektiert. Der Verknüpfungsstufe 153 ist ein Schaltkreis zur Ausgangsimpulsformung nachgeschaltet, der ein potentialfreies Steuersignal ST erzeugt, welches beispielsweise auf die eigentliche Antriebssteuerung (Maschinensteuerung) für Elektromotoren geführt wird, welche die Drahtsäge-Vorrichtung antreiben.

[0047] Die Steuerschaltung 150 kann zusätzlich noch mit einer ersten Schaltstufe 155 versehen werden, welche prüft, ob ein Masseschluss des jeweiligen Drahtes vorliegt. Somit wird eine zusätzliche Sicherheitsfunktion eingebaut. Außerdem kann die Schaltung auch noch zusätzlich eine zweite Schaltungsstufe 156 aufweisen, welche eine automatische Sicherheits-/Funktionskontrolle des Sensors bewirkt.

[0048] Die von der Schaltung 150 verarbeiteten Sensorsignale können nicht nur von den Drahtsprung-Sensoren, wie z.B. dem Sensor 135, sondern auch von weiteren Sensoren stammen, die beispielsweise die Drahtspannung messen oder detektieren. Somit können in der Steuerschaltung 150 verschiedene Sensor-Signale zusammengeführt und verarbeitet werden. Der Antrieb der Drahtsäge-Vorrichtung wird beispielsweise auch dann gestoppt, wenn die Drahtspannung außerhalb eines vorgebbaren Toleranzbereiches liegen sollte.

[0049] Die Figur 5 zeigt eine andere Ausführungsform der Steuerschaltung 160, welche einer vereinfachten Ausführungsform der zuvor beschriebenen Schaltung 150 entspricht. Das von dem Sensor 135' kommende Signal S wird auf einem Differenzverstärker 161 geführt, der hier ebenfalls als Vergleicher wirkt. Der Differenzverstärker 161 sorgt für eine Signalvorverarbeitung, indem er das analoge Sensorsignal in einen Schaltpegel mit definiertem Spannungshub von z.B. 0 oder 15 Volt wandelt. Eine nachgeschaltete Triggerstufe 162 dient der Impulsbildung und zur zusätzlichen Sicherheit, das normgerechte Flankensteilheiten für die nachfolgende Stufe erzeugt werden. Hierzu kann z.B. ein Monoflop eingesetzt werden. Im gezeigten Beispiel folgt dann eine Verknüpfungsstufe 163, die ebenfalls als Odergatter ausgeführt ist und mehrere Sensorsignale bzw. Signale von mehreren Sensoren 135' und 136' zusammenführt. Danach folgt die Ausgangsimpulsformung in einer entsprechenden Stufe 164, so dass schließlich ein Steuersignal ST' erzeugt wird, welches die Anhalte-Funktion in der Maschinensteuerung bewirkt. Die erfindungsgemäße Steuerschaltung 150 bzw. 160 kann auch in die Maschinensteuerung integriert werden.

[0050] Die hier anhand der Figuren 1 bis 5 zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiele der Erfindung sind insbesondere dazu geeignet, an dem jeweiligen Drahtführungselement (Drahtführungsscheibe, Umlenkrolle, Führungsrolle, Umlenkzylinderrolle etc.) zuverlässig eine Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes zu erkennen. Mittels einer Steuerschaltung bzw. einer darin realisierten Auswerteelektronik wird im Fall eines Drahtsprunges ein Steuersignal bzw. einen Ausschaltimpuls für den Antrieb der Drahtsäge-Vorrichtung erzeugt. Im Fall andersgearteter Positionsveränderungen des Schneidedrahtes, wie z. B. in Fig. 6, Fig. 7 und Fig.8 dargestellt, muss das Steuersignal nicht zwangsläufig zu einer Abschaltung des Antriebs führen sondern kann zu einer Meldung führen, am Ende des laufenden Sägeprozesses, das überwachte Element zu prüfen und ggf. auszutauschen.

[0051] Die Erfindung hat unter anderem den Vorteil, dass ein Drahtsprung sicher und sofort erkannt wird und somit die Maschine bzw. der Antrieb sofort gestoppt wird. Zudem entfällt bei einem Neueinrichten des Drahtfeldes eine zusätzliche Kontrolle der Lage des jeweiligen Drahtes in der vorgesehenen Rille.

[0052] Die erfindungsgemäße Steuerschaltung zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass sie nach einer Triggerung einer beliebigen Eingangsflanke am Sensorausgang einen Setzimpuls für eine Speicherzelle D-Flip-Flop ausgibt. Es handelt sich hier also um einen schaltenden Sensor, der mit einem D-Latch ausgerüstet ist. Somit wird im Ereignisfall, der auch sehr kurz sein kann, eine Signalisierung (z.B. optische Alarmanzeige) gesetzt und vermieden werden, dass Ereignisse nicht von bedienenden Personal erkannt werden (Abwesenheit, zu kurzer temporärer Ereignisfall usw.). Die Triggerung dient insbesondere der Erhöhung der Störfestigkeit und Variabilität. Für die Elektronik kann vorzugsweise die Hälfte der Sensor-Speisespannung verwendet werden. Dies trägt zu einer ausreichenden Störspannungsfestigkeit bei. Für die logische Verknüpfung mehrerer Sensoreingangs-Signale kann auf eine übliche Logikschaltung zurückgegriffen werden, wobei vorzugsweise besonders verlustleistungsarme Bauteile verwendet werden. Als Sensortyp eignet sich beispielsweise ein Gleichstrom-Näherungsschalter mit Verstärker.

[0053] Die obigen anhand der Figuren 1 bis 5 beschriebenen Ausführungsbeispiele beziehen sich auf eine erfindungsgemäß ausgestaltete Drahtsäge-Vorrichtung in Form eines Squarers, der einen über Drahtführungsscheiben geführten und unter Zugspannung longitudinal bewegten Schneidedraht aufweist, wobei jede Drahtführungsscheibe mehrere Rillen zur Führung des Schneidedrahtes aufweist. Es versteht sich, dass die Erfindung auch auf jede andere Art von Drahtsäge-Vorrichtungen angewendet werden kann, bei der mindestens ein Schneidedraht in einer Rille geführt wird, wobei es dabei unerheblich ist, ob die Führung mittels einer Drahtführungsscheibe im engeren Sinne erfolgt. Deshalb soll der Begriff "Drahtführungsscheibe" auch nicht eng verstanden werden, sondern jede Art von Drahtführungselementen umfassen, die mit Rillen versehen sein können, wie z.B. Rollen, Räder, Walzen, Zylinder und dergleichen.

[0054] Anhand der Figur 6a), 6b) und 7 wird nun ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung beschrieben, nämlich eine Sensorik zur Überwachung einer nicht durch Rollenverschleiß beeinträchtigten Drahtführung während eines Auf- oder Abwicklungsvorgangs:

[0055] Die Figur 6a) zeigt einen Teilbereich einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, bei der der Schneidedraht 140 über mehrere Drahtführungselemente in Form verschiedener Umlenkrollen 121 und 122 (auch Führungsrolle genannt) sowie einer ausgedehnten Umlenkzylinderrolle 124 auf eine Drahtvorratsspule 125 geführt wird, um dort aufgewickelt zu werden. Als Gegenstück zu der gezeigten Drahtvorratsspule 125 ist eine (nicht dargestellte) weitere Drahtvorratsspule vorgesehen, von der der Schneidedraht 140 abgewickelt wird, in Zugrichtung Z durch das Material geführt wird und anschließend, wie in Figur 6 a) dargestellt, über die Umlenkrolle 121 und Führungsrolle 122 und die Umlenkzylinderrolle 124 auf die Drahtvorratsspule 125 geführt und dort aufgewickelt wird.

[0056] Das sukzessive Ab- und wieder Aufwickeln des Drahtes ist ein wesentliches Funktionsmerkmal einer Drahtsägemaschine, da es von Vorteil ist, den Draht im sogenannten Pendelschnitt zu bewegen. Dabei wird von der den unbenutzten Draht bevorratenden Spule eine gewissen Länge Draht abgewickelt und nach Durchlauf durch das zu sägende Objekt auf eine Sammelspule für benutzten Draht aufgewickelt, die Drahtbewegung dann zum Stillstand gebracht und anschließend mittels einer Rückwärtsbewegung des Drahtes eine etwas geringere Länge Draht von der Altdrahtspule geholt und wieder auf die Vorratsspule zurückgewickelt. Und so weiter. Typische Längen sind dabei 300 m in der Vorwärtsrichtung und 280 m in der Rückwärtsrichtung. Das Aufwickeln des benutzten Drahtes geschieht dabei mit einer Steigung von einigen mm je Spulenumdrehung bei einer genutzten Spulenlänge von 100 mm bis 200 mm.

[0057] Der Schneidedraht 140 muss möglichst gleichverteilt auf die Drahtvorratsspule 125 aufgewickelt werden. Dazu wird die Führungsrolle 122 vertikal aufwärts und abwärts bewegt, wobei der Schneidedraht 140 über die Umlenkzylinderrolle 124 gleitet bzw. wandert. Diese Umlenkzylinderrolle 124 hat eine längliche, walzenartige Form und besteht aus einem Kunststoff, vorzugsweise einem Material geringer Dichte, hoher Verschleißfestigkeit und möglichst großer Haftreibung gegenüber dem Draht.

[0058] Die Figur 6a) zeigt den Schneidedraht 140 in der oberen Position, also am oberen Ende der Umlenkzylinderrolle 124, und die Figur 6b) zeigt den Schneidedraht 140 an der unteren Position, also am unteren Ende der Umlenkzylinderrolle 124. Wie zu sehen ist, ändert sich entsprechend die vertikale Position des Schneidedrahtes 140 auf der Umlenkzylinderrolle 124. Wegen des Auslenkwinkels des Drahtes an der Umlenkrolle 121 und der sich daraus ergebenden, im Bild nach unten gerichteten Schubkraft auf den Draht folgt der Drahtverlauf der Abwärtsbewegung der Rolle 122 freiwillig. Dieses freiwillige Folgen ist nur behindert, wenn sich durch Verschleiß entstandene Umfangsrillen auf der Umlenkzylinderrolle 124 befinden. Mittels eines Sensors 135, der starr mit der Führungsrolle 122 verbunden ist, wird die Position des Schneidedrahtes 140 zu dieser Führungsrolle 122 überwacht. Sofern kein Verschleiß an den Rollen 122 bzw. 124 auftritt bzw. sich bemerkbar macht, bleibt diese Position unverändert und befindet sich immer auf der oberen Abrollebene der Umlenkrolle 122.

[0059] Die Figur 7 zeigt die Situation, bei der auf der Umlenkzylinderrolle 124 sich aufgrund von Materialverschleiß störende Rillen ausgebildet haben, von denen zumindest eine Verschleißrille V so tief ausgebildet ist, dass der Schneidedraht 140 bei seiner Abwärtsbewegung (Wandern) in dieser Verschleißrille V hängen bleibt. In einem solchen Fall wird der Schneidedraht 140 nicht mehr gleichverteilt auf die Drahtvorratsspule aufgewickelt werden. Durch den Sensor 135 wird aber dieser Fall sofort detektiert, da die IST-Position P# des Schneidedrahtes 140 kurzzeitig von der relativ zur Führungsrolle 122 vorgegebenen Soll-Position P0 nach oben bzw. unten (je nach Auf- bzw. Abwickelrichtung) abweicht und der Sensor 135 dieses erkennt. In diesem Fall, so wie in Figur 6c dargestellt, hebt der Schneidedraht 140 von der Führungsrolle 122 entweder ab und es entsteht eine Vergrößerung des Abstandes zwischen Schneidedraht 140 und oberer Laufebene der Führungsrolle 122 (bei dem hier gezeichneten Fall erfolgt keine Drahtumlenkung an der Führungsrolle 122) oder der Schneidedraht wird weit stärker als vorgesehen an der Führungsrolle 122 umgelenkt (nicht gezeichneter Fall).

[0060] Der Sensor 135 ist z.B. ein induktiver Näherungsgeber mit integriertem Vorverstärker, der diese Positionsänderung sofort erkennt und an die Steuerschaltung (s. Fig. 4 oder 5) weitergibt, welche die Vorrichtung bzw. Maschine sofort abstellen kann. Der Sensor 135 überwacht also die optimale Position bei der Abwärtsbewegung des Schneidedrahtes 140.

[0061] Als Sensoren für die Erfassung von analogen Signalen eignen sich sowohl induktive Sensoren ohne Fremdenergieversorgung als auch Sensoren mit Fremdenergieversorgung. Durch erstgenannte Sensoren werden Signalamplituden von nur einigen wenigen 100 mV erzeugt. Zur Erhöhung der Störsicherheit, d.h. Vergrößerung des Signal-Störspannungsabstandes, sollte das Signal verstärkt werden. Geeignete Verstärker sind z.B. Differenzverstärker, Elektrometerverstärker, Instrumentationsverstärker. Der Einsatz eines Bandpasses mit gleichzeitiger Signalverstärkung ist vorteilhaft.

[0062] Sensoren mit Fremdenergieversorgung und integrierter Signalverstärkung weisen Signalamplituden von mehreren Volt auf. Das bedeutet höhere Störsicherheit. Die Filterung der Signale erfolgt wie vor beschrieben. Für die Auswertung schneller Signaländerungen kommen z. B. Sensoren mit einer Signalverarbeitungsfrequenz von mehreren KHz zum Einsatz.

[0063] Die in den Figuren 6a), 6b) und 7 gezeigte Anordnung kann also eine sichere Überwachung des Verschleißes an der Umlenkzylinderrolle 124 erzielen.

[0064] Die in Fig. 6a), 6b) und 7 gezeigte Anordnung gestattet auch, den Verschleiß der Führungsrolle 122 zu überwachen, da im Falle eines Verschleißes dieser sich der Schneidedraht 140 tiefer in die Rolle einschneidet und die IST-Position P# des Scheidedrahtes dadurch im Unterschied zu dem zuvor beschriebenen Fall permanent tiefer liegt als die Soll-Position P0.

[0065] Um den Rollenverschleiß an den anderen Rollen, wie z.B. den Umlenkrollen 120, 121 oder 121* zu detektieren, kann die Anordnung nach Figur 8 eingesetzt werden.

[0066] Dazu wird in der Nähe der Umlenkrolle 121* ein Sensor 135* angebracht, der die Position des Schneidedrahtes 140 erfasst. Tritt an der Rolle 121* mit der Zeit ein Verschleiß auf, so äußert sich das insbesondere darin, dass der Schneidedraht 140 sich in das Rollenmaterial hinein frisst. Das tritt insbesondere bei Rollen auf, die einen hohen Schlupf mit dem Draht haben, wie z.B. Antriebsrollen oder abbremsende Rollen. Durch den Materialabrieb und das Eingraben des Drahtes 140 verringert sich der effektive Durchmesser der Rolle 121*. Der Draht 140 liegt dann in einer Position, die deutlich tiefer als die Normalposition ist und die insbesondere dann kritisch wird, wenn zwei entlang des Drahtweges aufeinanderfolgende Umlenkrollen nicht in einer Ebene liegen sondern ihre Achsen gegeneinander geneigt sind um den Drahtweg damit komplexe Konturen zu geben. Die Standzeit einer Umlenkrolle beträgt je nach bestimmten Prozeßparametern zwischen 10 und 50 Stunden Schnittzeit. Wird bei der derzeit visuell und manuell ausgeführten Verschleißkontrolle der kritische Verschleiß einer Umlenkrolle übersehen, so kann das zum Abspringen des Drahtes von der Rolle während des Schnittes und im weiteren zum Riss des Drahtes führen.

[0067] Durch den Sensor 135* wird auch in diesem Fall eine PositionsÄnderung des Drahtes 140 erkannt. Sowohl in dem hier gezeigten Beispiel nach Fig. 8 wie auch in dem Beispiel nach Fig. 7 ändert sich die Position des Drahtes quer zu seiner Längsachse. Die Position des Drahtes in Längsrichtung ändert sich bei den vorliegenden Beispielen (Fig. 6 bis 8) nicht, da man von einer Invarianz der geometrischen Verhältnisse gegenüber der natürlichen Bewegung des Drahtes längs seiner Achse ausgehen kann.

[0068] Mit Hilfe der beschriebenen Erfindung kann auch die Drahtspannung des Schneidedrahtes detektiert und/oder überwacht werden. Dazu wird in direkter Umgebung des Drahtes 140 an einer oder mehreren Stellen jeweils ein Sensor montiert, der vorzugsweise als induktiver Sensor ausgebildet ist, der minimale Querschwingungen des Drahtes messen kann ,sofern der Draht zur Schwingung (mechanisch und/oder elektromagnetisch) angeregt wird.

[0069] Zum Beispiel kann eine elektromagnetische Anregung durch Anregung eines sich in einem bestimmten Zeitintervall wiederholenden kurzeitigen Impulses bzw. durch eine "durchstimmbare" Sinusfrequenz (Wobbeln) erfolgen.

[0070] Die aktuelle Zugspannung des Drahtes lässt sich dann angesichts der gegebenen Parameter Drahtdurchmesser, Drahtdichte und freitragende Länge zwischen zwei Umlenk- oder Führungspunkten bestimmen. Bedeutsam ist das insbesondere für Drahtabschnitte zwischen Austritt aus dem gesägtem Objekt und der in Drahtbewegungsrichtung folgenden Drahtführungsrolle, da an dieser Stelle die wirkliche Zugspannung des Drahtes sehr undefiniert ist, und zwar wegen nicht exakt vorhersagbarer Reibungskraft des Drahtes im gesägten Objekt einerseits und nicht exakt vorhersagbarer Zugspanungsübertragung durch die Drahtführungsrolle andererseits.

[0071] Die optimale Zugspannung entspricht dann einer bestimmten Schwingungsfrequenz, die von dem Sensor genau erfasst werden kann. Eine zu geringe Zugspannung führt zu einer tieferen Frequenz; eine zu hohe Zugspannung zu einer höheren Frequenz. Um die von der Sensorik erzeugten Signale auszuwerten, ist eine mit den Sensoren verbundene Steuerungsschaltung vorgesehen. Im Unterschied zur digitalen Signalverarbeitung(siehe Fig. 4 und 5), wie sie zur Detektion eines Drahtsprunges notwendig ist, wird zur Bestimmung der Drahtspannung die Auswertung analoger Signale erforderlich.

[0072] Generell werden die für die verschiedenen Überwachungsaufgaben ausgenutzten Sensorsignale, wie z. B

- Detektion von Drahtsprüngen aus einer vorgegebenen Rille heraus
- Detektion von Lageveränderungen des Drahtes auf einem Drahtführungselement
- Detektion des Verschleißes eines Drahtführungselementes
- Detektion der Drahtspannung

[0073] Genutzt, um den Sägeprozess sofort zu stoppen im Falle, dass mindestens einer der Sensoren das Ändern der Position des Schneidedrahtes auf einer Drahtführungsscheibe anzeigt, den Sägeprozess zu Ende zu führen und verschlissene Drahtführungselemente vor dem Start eines neuen Sägeprozesses zu wechseln oder lediglich das Detektionsergebnis im Rahmen der Prozessparameterüberwachung an der Drahtsäge-Vorrichtung zu registrieren und auszuwerten.

[0074] Die Sensorik kann auch in eine oder mehrere Sensor-Einrichtung implementiert werden, um an der Drahtsäge-Vorrichtung montiert zu werden.

Bezugszeichenliste

[0075]

100	Drahtsäge-Vorrichtung (Squarer)
110	Drahtführungselement in Form einer Drahtführungscheibe (Anordnung mehrerer Drahtführungsscheiben auf einer Achse bildet eine Drahtführungsrolle)
R1 bis R10	Rillen in Drahtführungsscheibe
120	Drahtführungselemente in Form einer Umlenkrolle
121,121*	Drahtführungselemente in Form von Umlenkrollen
122	Drahtführungselement in Form einer führenden Umlenkrolle, auch Führungsrolle genannt
124	Drahtführungselement in Form einer zylinderförmigen Umlenkrolle, auch Umlenkzylinderrolle genannt
125	Drahtvorratspule
130	Halterung für Drahtführungsscheiben
135, 135*	Sensor (an Halterung montiert)
140	Schneidedraht
145	Drahtfeld
Z	Zugrichtung des Schneidedrahts
V	Verschleißrille
P0	optimale Position (Soll) für den Schneidedraht
P#	Fehlposition
150, 160	Steuerschaltung (verschiedene Varianten)
200	Körper aus kristallinem Material, wie z.B. Barren oder Ingots

Patentansprüche

1. Drahtsäge-Vorrichtung zum Zerteilen von Körpern (200) aus kristallinem Material, wobei die Drahtsäge-Vorrichtung einen über ein oder mehrere Drahtführungselemente(110, 120, 121, 122, 124) geführten und unter Zugspannung longitudinal bewegten Schneidedraht (140) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Drahtsäge-Vorrichtung mindestens einen Sensor (135, 135*) aufweist, der in einem Umgebungsbereich (A) von mindestens einem der Drahtführungselemente (110, 120, 121, 121*, 122, 124) angeordnet ist und der eine Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes (140) bezogen auf eine als optimale Position vorgegebene Position (P0) quer zur longitudinalen Achse des Schneiddrahtes (140) erkennt.

2. Drahtsäge-Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der jeweilige Sensor (135) ein induktiver bzw. magnetischer und/oder optischer Sensor ist.

3. Drahtsäge-Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der jeweilige Sensor (135) als ein Näherungsgeber mit integriertem Vorverstärker ausgebildet ist.

4. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drahtführungselemente Umlenkrollen (120; 121, 122; 124) und/oder Drahtführungsscheiben (110) sind.

5. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der jeweilige Sensor (135; 135*) beschaffen ist, eine ortsaufgelöste Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes (140) zu detektieren, um eine damit verbundene Zustandsänderung des Schneidedrahtes (140) und/oder der Drahtführungselemente (120, 121, 122, 124), insbesondere Verschleiß, zu erkennen.

6. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der jeweilige Sensor (135; 135*) beschaffen ist, eine zeitaufgelöste Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes (140) zu detektieren, um eine damit verbundene Zustandsänderung des Schneidedrahtes (140), insbesondere Verschleiß und/oder Änderung der Zugspannung, zu erkennen.

7. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drahtsäge-Vorrichtung als Squarer (100) ausgebildet ist, die blockartige Körper aus kristallinem Material, insbesondere Barren (200) aus Silizium, in mehrere Blöcke bzw. Bricks zerteilt, insbesondere durch Trennläppen zerschneidet.

8. Drahtsäge-Vorrichtung als Squarer (100) ausgebildet nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Umgebungsbereich (A) einer jeden Drahtführungsscheibe (110) mindestens jeweils einer der Sensoren (135) so angeordnet ist, dass der Sensor (135) erfasst, ob der Schneidedraht (140) in derjenigen Rille (R5) verbleibt, in der der Schneidedraht (140) geführt ist oder in eine andere Rille gesprungen ist.

9. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drahtsäge-Vorrichtung als Wafer-Säge ausgebildet ist, die blockartige Körper aus kristallinem Material, insbesondere Blöcke, Bricks oder Säulen aus Silizium, in mehrere Scheiben bzw. Wafer zerteilt, insbesondere durch Drahttrennläppen oder Drahttrennschleifen zerschneidet.

10. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Umgebungsbereich (A) den für den Schneidedraht (140) bestimmten Aufroll- und/oder Abrollbereich auf die bzw. von der Umlenkrolle (120; 121, 122; 124) und/oder Drahtführungsscheibe (110) umfasst.

11. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Umgebungsbereich (A) alle Rillen (R1, R5, R10) der jeweiligen Drahtführungsscheibe (110) umfasst.

12. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** der jeweilige Sensor (135) auf den in einer der Rillen (R5) geführten Schneidedraht (140) ausgerichtet ist.

13. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensoren (135) an einem Rahmen (130) der Drahtsäge-Vorrichtung (100) oder an einer daran befestigten Halterung montiert sind.

14. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Drahtsäge-Vorrichtung eine mit den Sensoren (135) verbundene Steuerungsschaltung (150) aufweist, die ein von dem Sensor (135) kommendes Sensorsignal (S) verarbeitet und ein Anhalten der sich longitudinal bewegenden Schneidedrähte (140) steuert, falls mindestens einer der Sensoren (135) das Ändern der Position des Schneidedrahtes (140) anzeigt, um eine damit verbundene Zustandsänderung des Schneidedrahtes (140) und/oder der Drahtführungselemente (110; 120; 121; 122; 124) zu erkennen.

15. Drahtsäge-Vorrichtung nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungsschaltung (150) in eine Motorsteuerung für mindestens einen Elektromotor-Antrieb zum Bewegen der Schneidedrähte integriert ist.

16. Drahtsäge-Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungsschaltung (150; 160) zumindest einen Vergleicher (151, 161) aufweist, der das Sensorsignal (S, S') mit einem vorgebbaren Schwellwert vergleicht.

17. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungsschaltung (150) zumindest eine erste Schaltungsstufe (155) aufweist, die prüft, ob ein Masseschluss des jeweiligen Schneidedrahtes auftritt.

18. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungsschaltung (150) zumindest eine zweite Schaltungsstufe (156) aufweist, die fortlaufend die Funktion des jeweiligen Sensors (135) überprüft.

19. Drahtsäge-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Steuerungsschaltung (150, 160) zumindest eine Verknüpfungsstufe (153, 163) aufweist, die mehrere Sensorsignale miteinander verknüpft.

20. Sensor-Einrichtung für eine Drahtsäge-Vorrichtung , die einen über ein oder mehrere Drahtführungselemente(110, 120, 121, 122, 124) geführten und unter Zugspannung longitudinal bewegten Schneidedraht (140) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Sensor-Einrichtung mindestens einen Sensor (135, 135*) aufweist, der in einem Umgebungsbereich (A) von

mindestens einem der Drahtführungselemente(110, 120, 121, 121*, 122, 124) angeordnet ist und der eine Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes (140) bezogen auf eine als optimale Position vorgegebene Position (P0) quer zur longitudinalen Achse des Schneiddrahtes (140) erkennt.

21. Sensor-Einrichtung nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Sensor-Einrichtung eine mit dem mindestens einen Sensor (135) verbundene Steuerungsschaltung (150) aufweist, die ein von dem Sensor (135) kommendes Sensorsignal (S) verarbeitet und ein Anhalten der sich longitudinal bewegenden Schneidedrähte (140) steuert, falls der mindestens eine Sensor (135) das Ändern der Position des Schneidedrahtes (140) anzeigt, um eine damit verbundene Zustandsänderung des Schneidedrahtes (140) und/oder der Drahtführungselemente (120; 122; 124) zu erkennen.

22. Verwendung einer Drahtsäge-Vorrichtung zum Zerteilen von Körpern (200) aus kristallinem Material, wobei die Drahtsäge-Vorrichtung einen über ein oder mehrere Drahtführungselemente(110, 120, 121, 122, 124) geführten und unter Zugspannung longitudinal bewegten Schneidedraht (140) aufweist,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Drahtsäge-Vorrichtung mindestens einen Sensor (135, 135*) aufweist, der in einem Umgebungsbereich (A) von mindestens einem der Drahtführungselemente (110, 120, 121, 121*, 122, 124) angeordnet ist und der eine Änderung der aktuellen Position des Schneidedrahtes (140) bezogen auf eine als optimale Position vorgegebene Position (P0) quer zur longitudinalen Achse des Schneiddrahtes (140) erkennt.

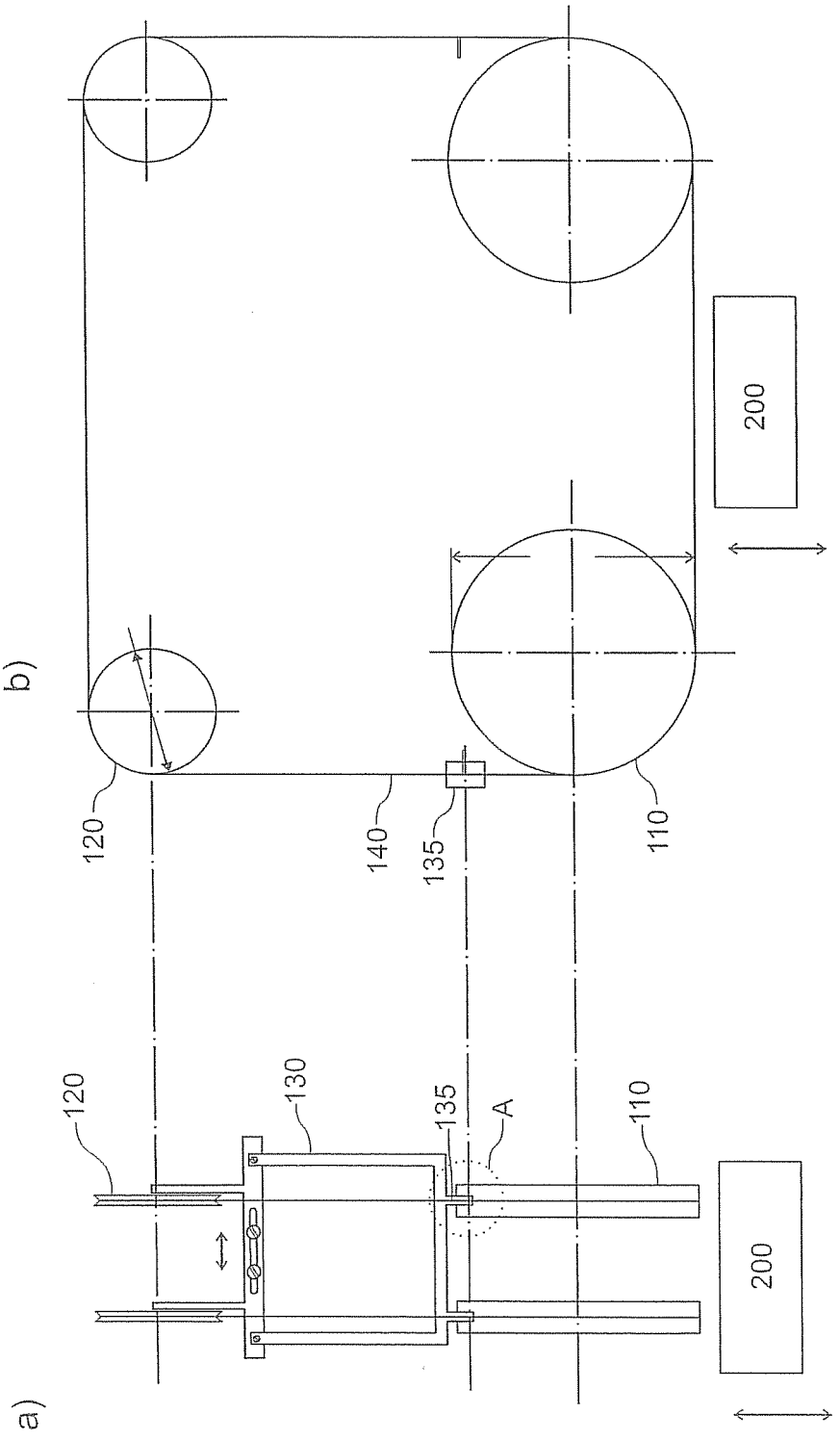


Fig. 1

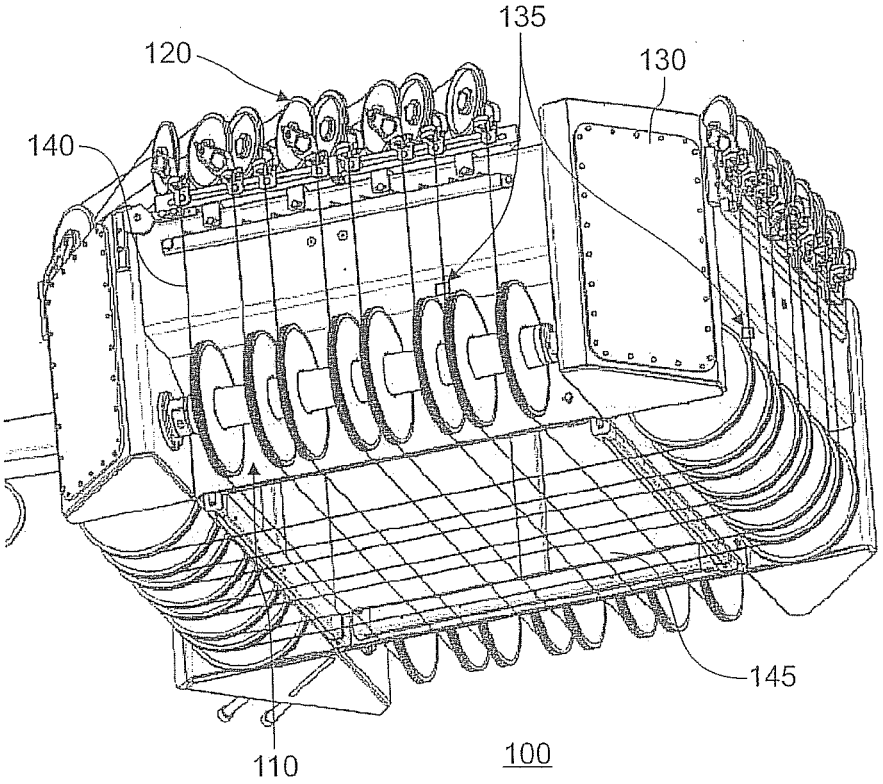


Fig. 2

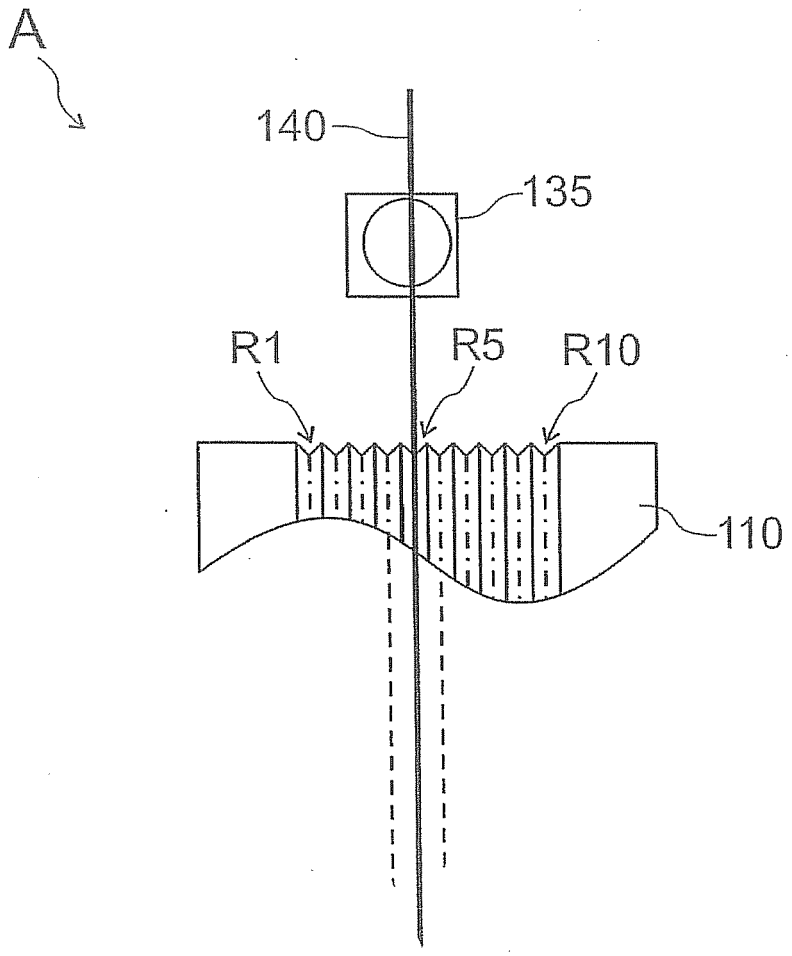


Fig. 3

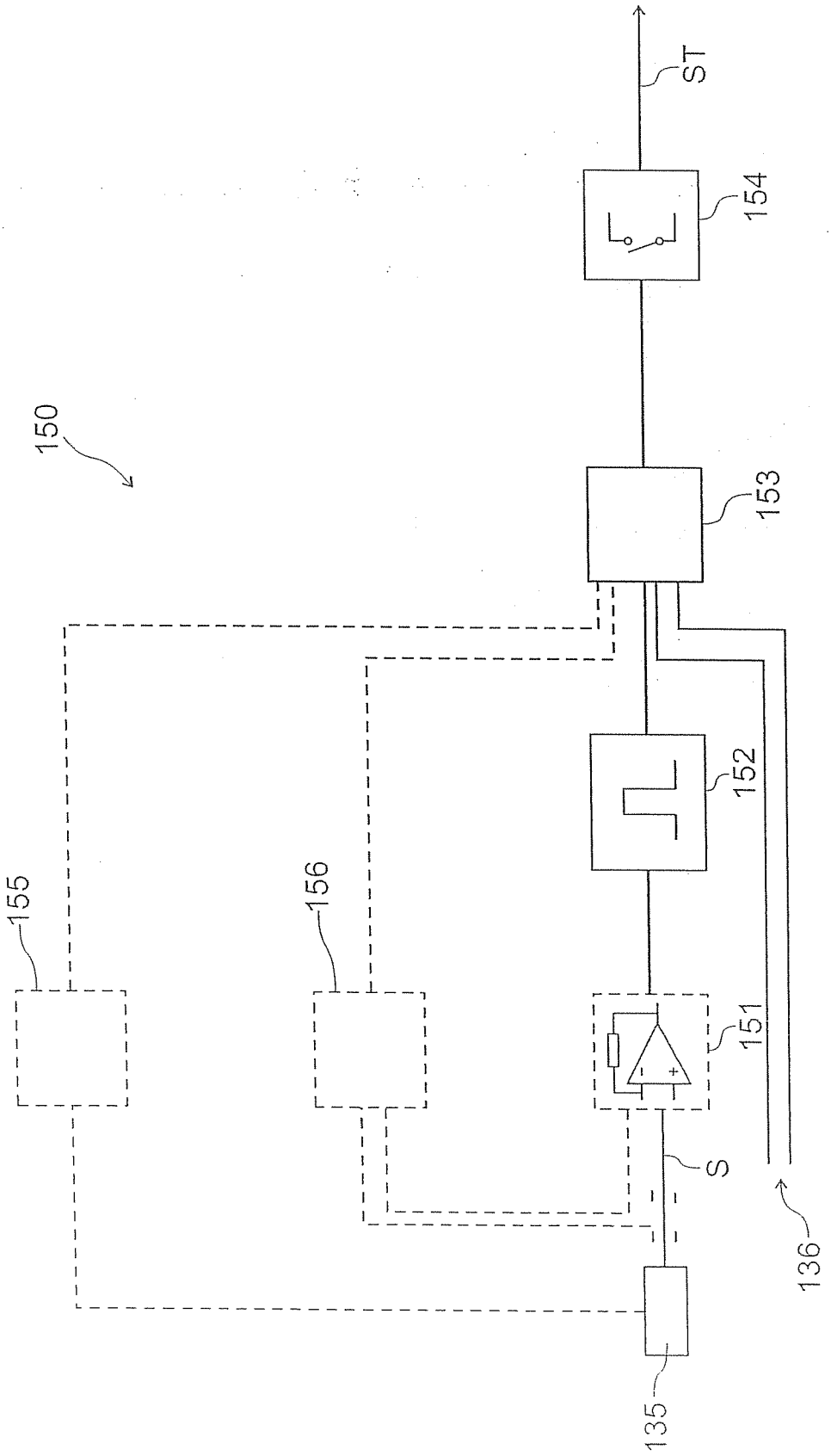


Fig. 4

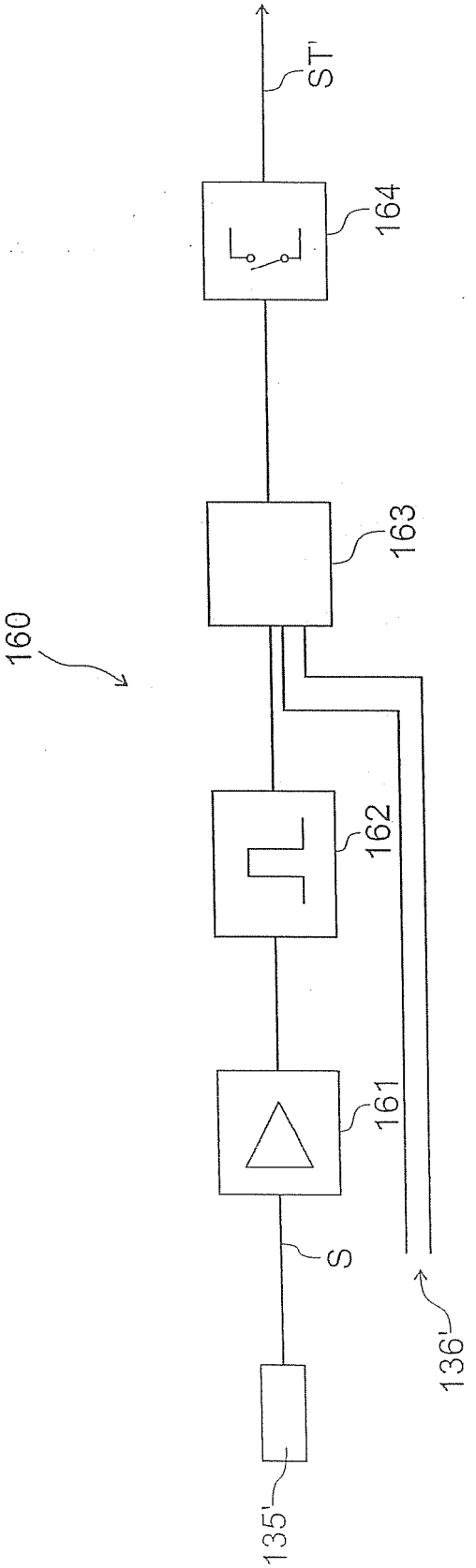


Fig. 5

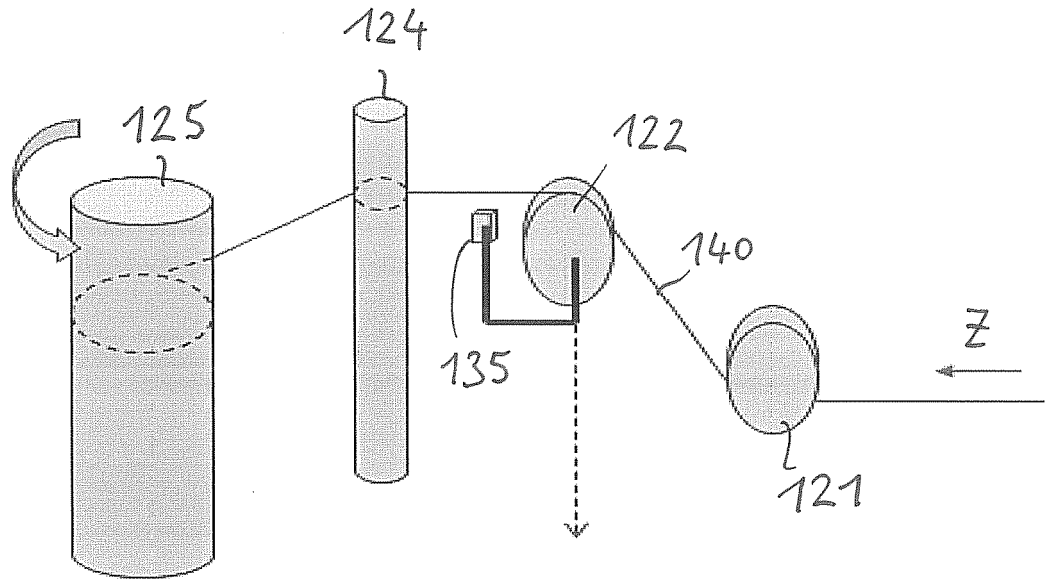


Fig. 6a

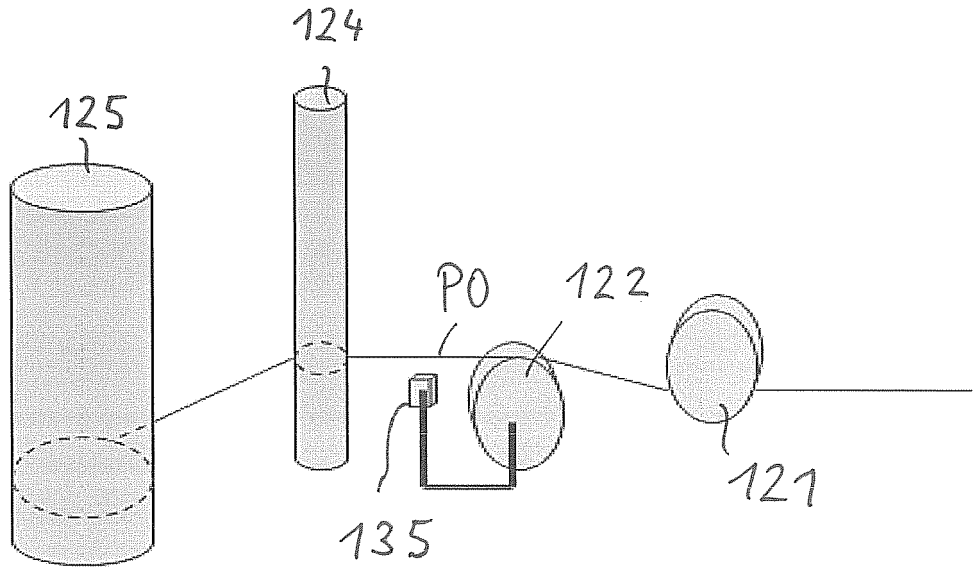


Fig. 6b

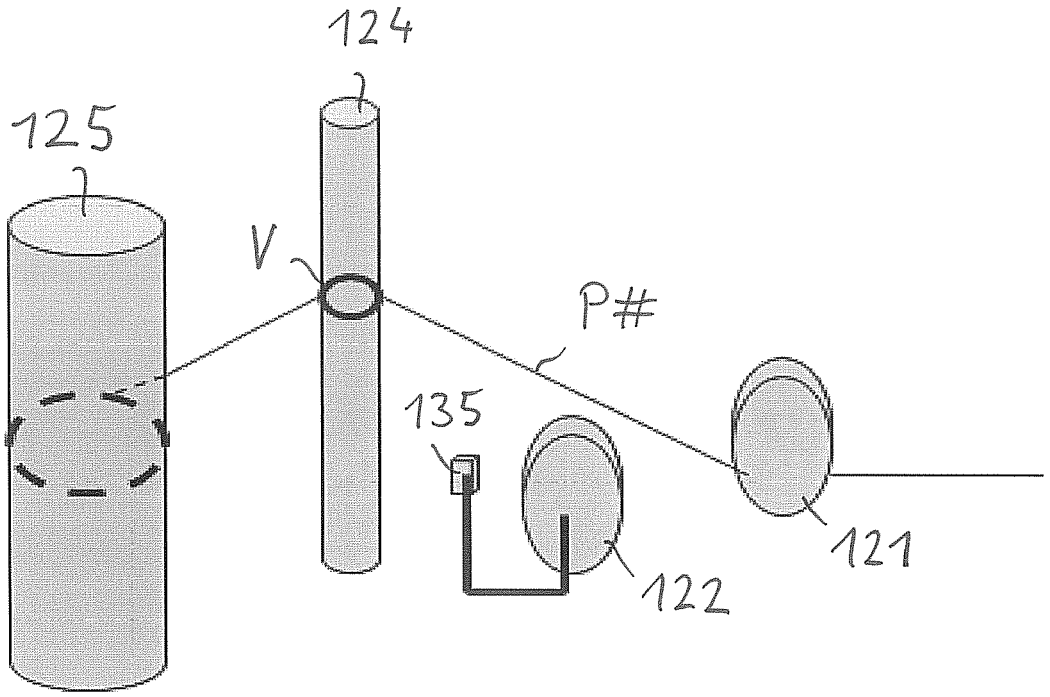


Fig. 7

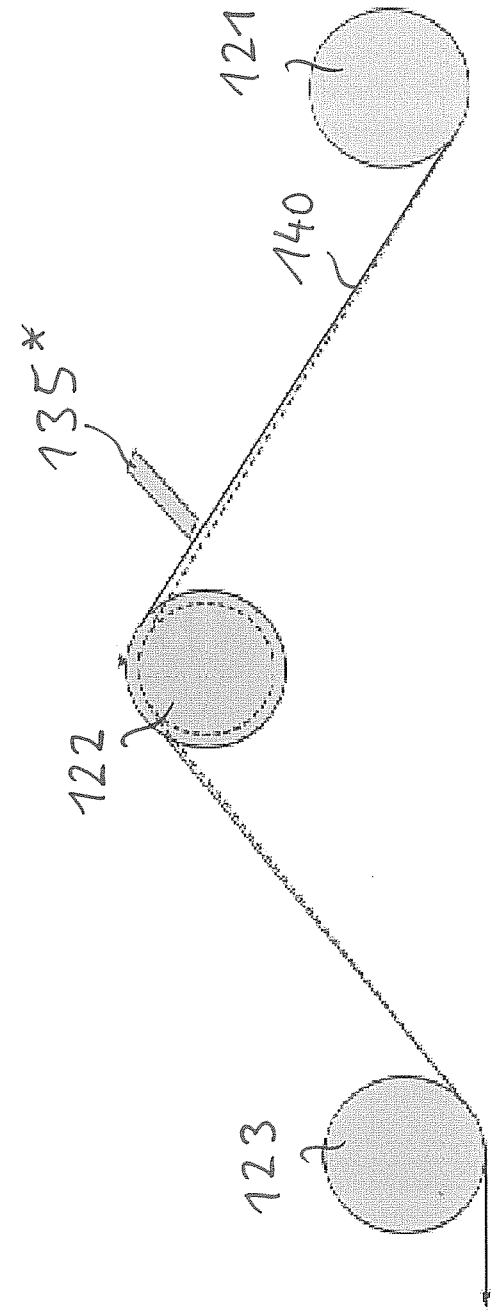


Fig. 8

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2003041899 A **[0004]**
- DE 10003240 A1 **[0007]**
- DE 102007019566 A1 **[0008]**
- EP 1110652 B1 **[0009] [0010]**