



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 667 418 A5

⑤① Int. Cl.⁴: B 26 D 1/11
B 28 D 5/04

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTSCHRIFT** A5

②① Gesuchsnummer: 2147/85

②② Anmeldungsdatum: 20.05.1985

③⑩ Priorität(en): 22.05.1984 DE 3419046

②④ Patent erteilt: 14.10.1988

④⑤ Patentschrift
veröffentlicht: 14.10.1988

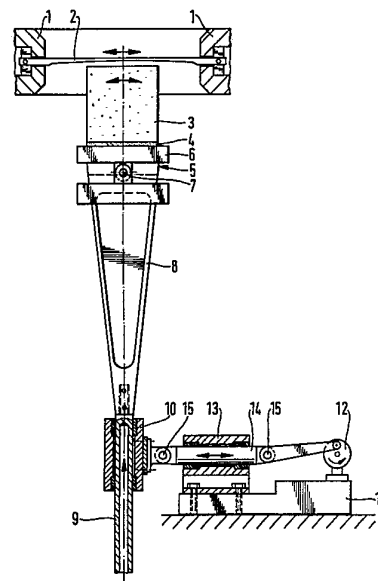
⑦③ Inhaber:
Heliotronic Forschungs- und
Entwicklungsgesellschaft für
Solarzellen-Grundstoffe mbH, Burghausen (DE)

⑦② Erfinder:
Regler, Dieter, Dr., Burghausen (DE)
Moritz, Alfred, Burghausen (DE)
Mühlbauer, Klemens, Burgkirchen (DE)

⑦④ Vertreter:
Bovard AG, Bern 25

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zum multiplen Läpptrennen von Feststoffen.**

⑤⑦ Das läppzutrennende Werkstück (3), beispielsweise ein Block aus Silizium oder Germanium, wird nach oben gegen das Klingenpaket (2) gedrückt. Unter Zuführung eines Läppmittels arbeitet sich das Klingenpaket (2) von oben nach unten in das Werkstück (3) ein. Das Werkstück (3) ist mit einem Werkstückträger (5) verbunden. Im Inneren des Werkstückträgers (5) befindet sich eine Drehachse (7), welche in der Vertikalen unterhalb des Schwerpunktes des Werkstückes (3) liegt. Während des Trennvorganges wird das Werkstück (3) mittels eines Schwenkantriebes (11), der mit dem Träger (5) in Verbindung steht, einer Schwenkbewegung unterworfen. Die Schwenkbewegung nach beiden Seiten erfolgt aus der Ruhelage um einen Winkel von vorzugsweise 0,7 bis 2°. Dadurch wird die Qualität der aus dem Werkstück (3) getrennten Scheiben verbessert und die Trennleistung gesteigert.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum multiplen Läpptrennen von Feststoffen, bei welchem ein hin- und herbewegtes Klingenpaket unter Druck einen von oben nach unten durch das Werkstück fortschreitenden Trennvorgang bewirkt, während von der Oberseite der Klingen her die Trennstelle mit einer Aufschlammung eines Läppmittels versorgt wird, dadurch gekennzeichnet, dass das Werkstück einer Schwenkbewegung um eine unterhalb seines untersten Randes gelegene, zur Trennebene senkrechte Drehachse unterworfen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Schwenkbewegung das Werkstück um einen Winkel von je 0,1 bis 3° aus der Ruhelage ausgelenkt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Auslenkwinkel der Schwenkbewegung des Werkstückes mit fortschreitendem Trennvorgang verringert wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenkbewegung des Schwerpunktes des Werkstückes Spiegelsymmetrie aufweist.

5. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach den Ansprüchen 1 bis 4, bestehend aus einem hin- und herbewegten Klingenpaket (1), einem von unten an das Klingenpaket heranführbaren Werkstückträger (5) und einer oberhalb des Klingenpaketes angeordneten Läppmittelzuführung, dadurch gekennzeichnet, dass der Werkstückträger (5) um eine unterhalb des Werkstückes gelegene Drehachse (7) schwenkbar angeordnet und mit einem die Schwenkbewegung bewirkenden Schwenkantrieb (11) verbunden ist.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum multiplen Läpptrennen von Feststoffen, bei welchem ein hin- und herbewegtes Klingenpaket unter Druck einen von oben nach unten durch das Werkstück fortschreitenden Trennvorgang bewirkt, während von der Oberseite der Klingen her die Trennstelle mit einer Aufschlammung eines Läppmittels versorgt wird, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Die Energieerzeugung mit Hilfe der Photovoltaik kann nur dann einen nennenswerten Beitrag zum Ersatz der konventionellen, in vieler Hinsicht nachteiligen Energieträger leisten, wenn es gelingt, die Herstellungskosten von Solarzellen deutlich zu senken. Es ist daher unerlässlich, jeden einzelnen Herstellungsabschnitt von der Bereitstellung des Grundmaterials bis zur fertigen Solarzelle möglichst kostengünstig zu gestalten. Das gilt auch für den Verfahrensschritt, bei welchem das meist in Stab- oder Blockform vorliegende Grundmaterial in Scheiben zersägt wird, aus denen dann die Solarzellen gefertigt werden.

Bei diesem Sägeschnitt werden derzeit hauptsächlich zwei Verfahren eingesetzt: das Innenlochsägen, bei dem der Stab Scheibe für Scheibe zersägt wird, oder das multiple Läpptrennen, bei welchem man den Stab gleichzeitig in eine Vielzahl von Scheiben zertrennt.

Solche multiplen Läpptrennverfahren sind, insbesondere zum Zertrennen von Silicium- oder Germaniumblöcken, aus der DE-OS 2 039 699 und der DE-OS 2 722 782 bekannt. Dabei werden die Blöcke unter Druck mit Hilfe eines mit einer bestimmten lateralen Geschwindigkeit hin- und herbewegten Sägegatters von oben nach unten zertrennt. Während des Trennvorganges wird von der Oberseite der Klingen eine Aufschlammung eines Läppmittels, welches beispielsweise gemäss der DE-OS 2 722 780 zubereitet sein kann, zugeführt, dringt in den Trennsplatt ein, gelangt an die Trennstel-

le und fliesst schliesslich angereichert mit abgetragenen Material nach unten ab. Die nach diesen an sich leistungsfähigen Verfahren erhaltenen Scheiben weisen jedoch in manchen Fällen feine Risse auf und kommen damit für eine Weiterverwendung nicht mehr infrage. Zusätzliche Schwierigkeiten bereitet, insbesondere bei Werkstücken mit rechtwinkligem Querschnitt, der auf den ungleichmässigen Verschleiss der Klingen zurückzuführende Kraftstoss, der jeweils in den Umkehrpunkten des Sägegatters auf das Werkstück einwirkt und Schäden wie z.B. Randausbrüche zur Folge haben kann (vgl. hierzu z.B. die deutsche Patentanmeldung mit Aktenzeichen P 3 247 826.7). Auch in diesem Fall ist eine Weiterverarbeitung der beschädigten Scheiben ausgeschlossen.

Aus dem DDR-Wirtschaftspatent 67 331, Ausgabetag 05. 06. 1969, ist bekannt, beim Läpptrennen die Oberflächengüte der abzutrennenden Scheiben zu erhöhen, indem dem von oben in eine mit Läppmittelemulsion gefüllte Wanne eintauchenden und über den darin befindlichen Trennklingen hin- und herbewegten Werkstück eine zusätzliche Schwenkbewegung aufgezwungen wird. Dadurch wird ein Stau der die Trennklingen bedeckenden Läppmittelemulsion an der Trennstelle des Halbleiterkristallstabes erreicht, durch den die Verbesserung der Schnittqualität zustande kommt.

Aufgabe der Erfindung war es demgegenüber, anzugeben, wie es beim Verfahren gemäss dem Oberbegriff des Anspruches 1 gelingt, beim Trennen von Feststoffen, insbesondere mono- oder polykristallinen Blöcken aus Halbleitermaterial wie Silicium oder Germanium, Ausbeuteverluste infolge von mechanischen Beschädigungen der Scheiben während des Trennvorganges zu vermeiden.

Gelöst wird die Aufgabe erfindungsgemäss durch ein Verfahren, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass das Werkstück einer Schwenkbewegung um eine unterhalb seines untersten Randes gelegene, zur Trennebene senkrechte Drehachse unterworfen wird.

Überraschend wurde nämlich bei diesem Verfahren eine deutliche Verringerung mechanischer Beschädigungen an den erhaltenen Scheiben gefunden, obwohl der Trennvorgang im Gegensatz zu dem zitierten DDR-Wirtschaftspatent durch die Bewegung des Klingenpaketes bewirkt wird, von oben nach unten durch den zu trennenden Feststoff fortschreitet, und die an der Unterseite der Klingen liegende Trennstelle von der Oberseite der Klingen her mit Läppmittel versorgt wird. Das Schwenken des Werkstückes sollte daher keinen Stau der Läppmittelemulsion an der Trennstelle, sondern sogar einen verstärkten Läppmittelabfluss und damit eigentlich ein schlechteres Trennergebnis erwarten lassen.

Das erfindungsgemässe Verfahren eignet sich nach den erforderlichen Umbauten zum Einsatz in Läpptrennmaschinen bzw. Gattersägen, wie sie z.B. in der DE-OS 2 039 699 oder der DE-OS 2 722 782 beschrieben sind. Es erbringt besonders gute Resultate beim Zertrennen von Feststoffen in Blockform mit rechteckigem oder quadratischem Querschnitt, obwohl es grundsätzlich auch bei Werkstücken mit anderen Querschnitten, z.B. Rundstäben, zur Anwendung kommen kann.

Es hat sich als zweckmässig erwiesen, das Werkstück bei der Schwenkbewegung nach beiden Seiten um einen Winkel von je 0,1 bis 3°, vorzugsweise 0,7 bis 2°, aus der Ruhelage auszulenken. Grundsätzlich mögliche grössere Schwenkbereiche vergrössern in der Regel nur die Materialbeanspruchung und den erforderlichen apparativen Aufwand, ohne bessere Resultate zu erbringen, während bei kleineren Schwenkbereichen häufig eine rasche Verschlechterung des Schnittergebnisses zu beobachten ist. Während des Trenn-

vorganges kann der Schwenkbereich konstant gehalten oder vorteilhaft verkleinert werden.

Die Frequenz der Schwenkbewegung ist mit der Frequenz des Klingenpaketes so abzustimmen, dass das Auftreten von Resonanzen vermieden wird. Da die zum multiplen Läpptrennen verwendeten Gattersägen im allgemeinen äusserst komplizierte Schwingungssysteme darstellen, kann das Auftreten von Resonanzen als jeweils maschinenspezifischer Parameter meist nur schwer abgeschätzt werden. Zweckmässig wird daher die Frequenz der Schwenkbewegung empirisch nach Massgabe der jeweils gewählten Betriebsfrequenz der Gattersäge eingestellt. Vorzugsweise wird man dabei für den Schwenkvorgang gegenüber der Gatterbewegung niedrigere Frequenzen auswählen, obwohl grundsätzlich auch ein gleich- oder gegensinnig synchroner Betrieb oder sogar höhere Frequenzen möglich sind. Während des Trennvorganges kann die Schwenkfrequenz geändert oder, was meist günstiger ist, konstant gehalten werden. Im allgemeinen hat sich ein Betrieb bei etwa dem 0,2- bis 0,4-fachen Wert der Gatterfrequenz bewährt.

Die Drehachse, um welche die Schwenkbewegung des Werkstückes ausgeführt wird, muss zwei Voraussetzungen erfüllen. Sie ist möglichst exakt senkrecht zu der Trennebene, d. h. der Ebene, in welcher der Schnitt durch das Werkstück fortschreitet, anzuordnen, um eine verkantungsfreie Relativbewegung zwischen Klingenpaket und Werkstück zu ermöglichen und die Schnittverluste gering zu halten. Sie ist ferner unterhalb des untersten Randes des Werkstückes anzuordnen, um auszuschliessen, dass während des Trennvorganges die Drehachse die Trennkante der Klingen durchläuft. Die vom Werkstück während des Schwenkvorganges beschriebene Raumform entspricht damit einem Ausschnitt aus einem Hohlzylinder, dessen Aussenradius durch die maximale Entfernung zwischen dem Aussenrand des Werkstückes und der Drehachse, und dessen Innenradius durch die Entfernung zwischen dem untersten Rand des Werkstückes und der Drehachse bestimmt ist.

Günstig wird dieser Innenradius klein gehalten, d. h. die Drehachse in geringem Abstand vom untersten Rand des Werkstückes angeordnet, beispielsweise innerhalb oder knapp unterhalb des Werkstückträgers, auf welchem das Werkstück in der Regel durch Aufkitten oder Aufkleben befestigt wird. Dadurch lässt sich insbesondere im Fall von Werkstücken in Blockform mit rechteckigem oder quadratischem Querschnitt mit fortschreitendem Trennvorgang eine besonders ausgeprägte Verkürzung der Arbeitslänge der Klingen erreichen, verbunden mit einer deutlichen Verringerung des Klingenstosses in den Umkehrpunkten. Als vorteilhaft hat es sich auch erwiesen, die Drehachse so zu legen, dass die Schwenkbewegung des Schwerpunktes des Werkstückes Spiegelsymmetrie aufweist. Dies lässt sich dadurch erreichen, dass die Drehachse in der Vertikalen unterhalb des Schwerpunktes des Werkstückes zu liegen kommt. Werden mehrere Werkstücke, beispielsweise zwei nebeneinander angeordnete Siliciumblöcke, in einem Arbeitsgang in Scheiben zerschnitten, sollte deren Gesamtschwerpunkt eine Position in der Vertikalen oberhalb der Drehachse erhalten.

In der einzigen Figur ist modellhaft eine mögliche Anordnung vorgestellt, die die Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens gestattet.

Das in den Spannrahmen 1 eingesetzte Klingenpaket 2 vollführt während des Trennvorganges eine Hin- und Herbewegung. Von unten wird das Werkstück 3, beispielsweise ein Block aus Silicium oder Germanium, nach oben gegen das Klingenpaket 2 gedrückt, welches sich somit von oben nach unten in das Werkstück 3 einarbeitet. Nicht dargestellt ist die Läppmittelführung, welche beispielsweise als oszillierende Düse ausgebildet sein kann und mit deren Hilfe von

der Oberseite des Klingenpaketes 2 her die Trennstelle mit Läppmittel versorgt wird.

Zweckmässig wird das Werkstück 3 auf eine beispielsweise aus Glas oder Keramik bestehende Schneidunterlage 4 aufgekittet, welche ihrerseits mit dem eigentlichen Werkstückträger 5 verbunden ist. Die Dicke der Schneidunterlage 4 wird im allgemeinen so gewählt, dass auch gegen Ende des Trennvorganges, wenn bereits teilweise in die Unterlage geschnitten wird, ein Kontakt der Klingen zum Werkstückträger 5 ausgeschlossen ist.

Im Inneren des Werkstückträgers 5, unterhalb der Werkstückaufnahme 6, befindet sich eine Drehachse 7, welche in der Vertikalen unterhalb des Schwerpunktes des Werkstückes 3 liegt und somit eine spiegelsymmetrische Schwenkbewegung gestattet.

An seiner Unterseite ist der Werkstückträger 5 mit einer Verbindungsgabel 8 verbunden, die an ihrem unteren Ende in die Vorschubstange 9 übergeht, welche über ein Lager 10, z. B. ein Gleitlager, mit dem Schwenkantrieb 11 in Verbindung steht.

Dieser besteht aus dem eigentlichen Antriebsaggregat, beispielsweise einem Elektromotor mit einer, günstig einstellbaren, Exzentrerscheibe 12. Grundsätzlich können jedoch auch andere, z. B. hydraulische, pneumatische oder elektromagnetische Antriebe ausgewählt werden. Zur Kraftübertragung dient ein z. B. mittels Gleitlager 13 gelagertes Pleuelgestänge 14, das über ein Gelenk 15 mit dem Gleitlager 10 verbunden ist.

Die Hin- und Her-Bewegung des Pleuelgestänges 14 bewirkt eine Schwenkbewegung der Vorschubstange 9 und damit letztlich auch des Werkstückes 3. Der Vorteil einer derartigen Anordnung liegt darin, dass durch den Vorschub des Werkstückes nach oben die Entfernung zwischen der Drehachse und dem Ansatzpunkt des Schwenkantriebes an der Vorschubstange sich mit fortschreitendem Trennvorgang ständig vergrössert. Entsprechend verkleinert sich der Winkel, um den das Werkstück beim Schwenkvorgang aus der Ruhelage ausgelenkt wird, und damit auch die Arbeitslänge des Klingenpaketes. Daraus ergibt sich jeweils im Endbereich der Trennkante ein gleichmässiger Übergang in den unbeanspruchten Bereich der Klingenunterkante. Dadurch wird der Klingenstoss in den Umkehrpunkten, der die Folge einer durch die ungleichmässige Beanspruchung der Klingen entstehenden treppenartigen Struktur am Ende der Trennkante ist und viele Beschädigungen an den abgetrennten Scheiben verursacht, deutlich vermindert.

Zweckmässig wird zu Beginn des erfindungsgemässen Trennverfahrens zunächst das zumeist nicht direkt, sondern über eine Schneidunterlage auf dem Werkstückträger befestigte Werkstück in eine Schwenkbewegung, in der Regel von Beginn an mit der gewünschten Frequenz und Auslenkung, versetzt. Dann wird das Werkstück unter geringem Druck und stetiger Zufuhr von Läppmittelsuspension mit dem bereits mit der Arbeitsfrequenz hin- und herbewegten Klingenpaket in Kontakt gebracht. Wenn die Schneidkanten vollständig ausgebildet sind, d. h. dass während des gesamten Schwenkvorganges alle Klingen mit der Oberfläche des zu zerteilenden Werkstoffes in einen Abtrag verursachenden Kontakt gebracht sind, wird der Druck schliesslich auf den vorgesehenen Arbeitsdruck, der im allgemeinen apparativ vorgegeben ist, gesteigert. Es ist jedoch gleichfalls möglich, zu Beginn des Trennvorganges das Werkstück ruhigzustellen und erst gegen Ende der Anfahraphase allmählich den Schwenkvorgang zu beginnen und auf die gewählte Arbeitsfrequenz und Auslenkung zu steigern. Danach kann der Trennvorgang unter den üblichen und bekannten, in der Regel apparatbedingten Verfahrensparametern, z. B. im Hinblick auf Anpressdruck, Klingenhub, Gatterfrequenz oder

Art und Menge des zugeführten Läppmittels zu Ende geführt werden. Durch das zusätzliche Schwenken des Werkstückes kann gegenüber ansonsten gleichen Bedingungen durchgeführten Läpptrennverfahren die Schneidleistung erhöht und die Qualität der erhaltenen Scheiben verbessert werden.

Das erfindungsgemässe Verfahren eignet sich insbesondere für das Zerteilen von Halbleitermaterialien wie Silicium, Germanium, III – V-Verbindungen, wie z. B. Galliumarsenid oder Indiumphosphid, oxidischen Materialien, wie Saphir, Spinell oder Rubin, aber auch für relativ weiche Stoffe, wie beispielsweise hexagonales Bornitrid. Es wird mit besonderem Vorteil bei Werkstücken mit rechteckigem oder quadratischem Querschnitt eingesetzt.

In einer handelsüblichen, mit einer der Figur entsprechenden Vorrichtung zum Schwenken des Werkstückes umgerüsteten Gattersäge (Fa. Meyer & Burger, Steffisburg, Typ GS2), war ein Block aus polykristallinem Silicium mit Kolumnarstruktur (Masse $100 \times 100 \times 160$ mm) auf eine etwa 9 mm dicke Schneidunterlage aus Glas aufgekittet. Der Schwerpunkt des Werkstückes lag in der Vertikalen oberhalb der Drehachse, und diese senkrecht zu der durch das Klingenspaket vorgegebenen Trennebene. Der Abstand zwischen dem Drehachsenmittelpunkt und dem untersten Rand des Werkstückes betrug etwa 50 mm. Das solchermassen orientierte Werkstück führte eine Schwenkbewegung aus, wobei die Auslenkung aus der Ruhelage je $0,4^\circ$, insgesamt also $0,8^\circ$ betrug und mit einer Frequenz von etwa 250 Doppelhuben pro Minute erfolgte.

4

Das Klingenspaket bestand aus 185 Klingen (Stärke 0,20 mm, Höhe 6,3 mm, Klingenabstand 0,6 mm, Klingenlänge 262 mm) und bewegte sich mit 750 Doppelhuben pro Minute und einem Klingenhub von 72,5 mm hin und her.

5 Nun wurde das geschwenkte Werkstück nach oben geschoben und mit leichter Druckkraft von etwa 0,1 N/Klinge gegen das oszillierende Klingenspaket gepresst. Nachdem alle Klingen in dem Siliciumblock zu greifen begonnen hatten, wurde die Druckkraft allmählich gesteigert und betrug 10 schliesslich 2,1 N/Klinge. Während des gesamten Trennvorganges wurde als Läpptrennmittel Borcarbid (Korngrössenverteilung 20 bis 40 μm), aufgeschlämmt in einer Mineralölfraction mit einer Viskosität von 2 mPa s (jeweils 1 Gewichtsteil Mineralöl : 1 Gewichtsteil Borcarbid) von der 15 Oberseite des Klingenspaketes mittels einer oszillierenden Düse zugegeben.

Nach dem vollständigen Durchtrennen des Siliciumblockes wurde dessen Schwenkbewegung und die Hin- und Herbewegung des Klingenspaketes gestoppt. Die erhaltenen 184 20 Scheiben waren völlig rissfrei; der gesamte Trennvorgang war nach 2 Stunden beendet. Dies entspricht einer Schneidleistung von $0,9 \text{ cm}^2/\text{Minute}$ und Klinge.

Zum Vergleich wurde in der selben Vorrichtung unter ansonsten gleichen Bedingungen, jedoch ohne Schwenkbewegung, ein gleich grosser Siliciumblock in Scheiben zersägt. 25 Von den erhaltenen 184 Scheiben waren über 50% nicht rissfrei. Der gesamte Trennvorgang dauerte 3,5 Stunden; die Schneidleistung betrug damit nur $0,5 \text{ cm}^2/\text{Minute}$ und Klinge.

30

35

40

45

50

55

60

65

