

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **88115074.2**

51 Int. Cl.<sup>4</sup>: **B28D 5/04 , B28D 7/04**

22 Anmeldetag: **15.09.88**

30 Priorität: **17.09.87 DE 3731169**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**22.03.89 Patentblatt 89/12**

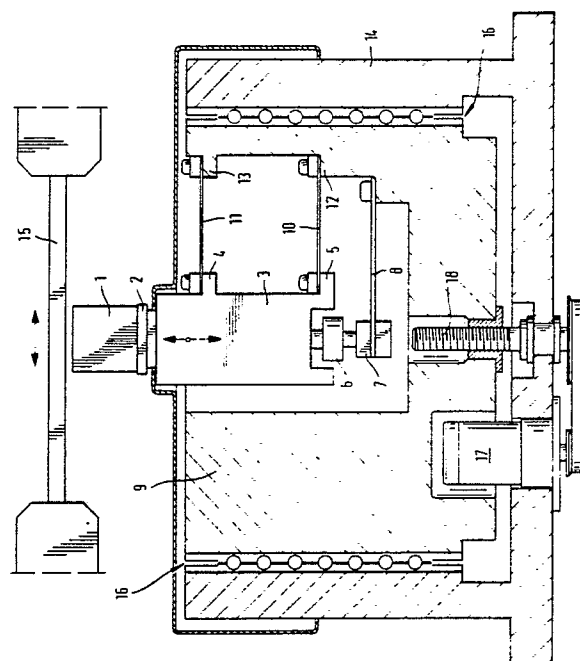
64 Benannte Vertragsstaaten:  
**CH DE FR IT LI**

71 Anmelder: **HELIOTRONIC Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft für Solarzellen-Grundstoffe mbH**  
**Johannes-Hess-Strasse 24**  
**D-8263 Burghausen(DE)**

72 Erfinder: **Egglihuber, Karl, Dipl.-Ing.**  
**Stock 23 1/4**  
**D-8333 Hebertsfelden(DE)**  
Erfinder: **Ermer, Wolfgang, Dipl.-Ing.**  
**Birkenstrasse 18**  
**D-8261 Kastl(DE)**

54 **Gattersäge zum multiplen Läpptrennen von stab- oder blockförmigen Werkstücken in Scheiben.**

57 Es wird eine Gattersäge zum multiplen Läpptrennen von stab- oder blockförmigen Werkstücken in Scheiben, insbesondere Siliciumscheiben als Grundmaterial für Solarzellen, angegeben. Erfindungsgemäß wird das Werkstückträgersystem über ein oder mehrere schwingungsfähige Systeme mit dem die eigentliche Vorschubbewegung ausführenden Vorschubblock verbunden. Durch diese Anordnung werden die beim Trennvorgang auftretenden Kraftstöße auf das Werkstück ausgeglichen. Dies bewirkt gegenüber herkömmlichen Gattersägen eine Verbesserung der Schneidleistung und Verlängerung der Sägestandzeit und ermöglicht die Herstellung von Scheiben mit geringer Dicke.



**EP 0 307 901 A2**

## Gattersäge zum multiplen Läpptrennen von stab- oder blockförmigen Werkstücken in Scheiben

Die Erfindung betrifft eine Gattersäge zum multiplen Läpptrennen von stab- oder blockförmigen Werkstücken, insbesondere aus Halbleitermaterial, in Scheiben, bei welcher das Werkstück mittels eines Vorschubsystems gegen ein unter Zufuhr einer Läppmittelsuspension hin- und herbewegtes, in einen Spannrahmen eingespanntes Klingenpaket gedrückt wird.

Für das Zersägen von stab- oder blockförmigen Werkstücken insbesondere aus Halbleitermaterialien wie z. B. Silicium, Germanium, Galliumarsenid oder Indiumphosphid, oder oxidischen Materialien wie z. B. Gallium-Gadolinium-Granat, Rubin, Spinell, Quarz oder Glas in Scheiben von typisch 0,1 bis 1 mm Dicke werden bekanntlich neben den Innenlochsägen auch Gattersägen eingesetzt. Diese arbeiten nach dem Prinzip des multiplen Läpptrennens, d.h. das zu zertrennende Werkstück wird mittels eines Vorschubsystems gegen ein hin- und herbewegtes, aus einem in einen Spannrahmen eingespannten Klingenpaket bestehendes Gatter gedrückt, wobei an die Trennstelle die den eigentlichen Materialabtrag bewirkende Läppmittelsuspension, meist eine Suspension von Schneidkörnern aus hartem Material, z.B. Siliciumcarbid, zugeführt wird. Solche Sägeverfahren bzw. die entsprechenden Gattersägen sind bekannt und werden beispielsweise in der DE-A-27 22 782 bzw. der entsprechenden US-A-41 87 827 oder der DE-A-32 47 826 bzw. der entsprechenden US-A-45 39 972 beschrieben.

Im Verlauf des Sägevorganges entstehen Verschleißkonturen an den Klingen und an den Werkstücken, welche insbesondere in den Umkehrpunkten nahezu stoßartig starke Kräfte zwischen Klingen und Werkstück hervorrufen. Nicht zuletzt wegen dieser Kraftstöße kommt es immer wieder zu Rissen und Ausbrüchen in den erhaltenen Scheiben. Insbesondere beim Zersägen von multikristallinen Siliciumblöcken mit quadratischem Querschnitt (Seitenlänge typisch ca. 10 cm) in dünne Scheiben als Grundmaterial für Solarzellen scheitert eine an sich schon wegen der Ausbeuteverbesserung wünschenswerte Verringerung der Scheibendicke auf Werte unterhalb der derzeit üblichen Standarddicke von etwa 350-550  $\mu$  m an den rasch steigenden Verlusten beim Sägevorgang.

Die Aufgabe der Erfindung lag also darin, eine Gattersäge anzugeben, mit deren Hilfe sich nach dem multiplen Läpptrennverfahren bei geringen Verlusten und hoher Sägeleistung dünne Scheiben, insbesondere von weniger als 350  $\mu$  m Scheibendicke, erhalten lassen, die frei von Rissen und Ausbrüchen sind.

Gelöst wird die Aufgabe durch eine Gattersäge, welche dadurch gekennzeichnet ist, daß im Vorschubsystem das die Werkstücke aufnehmende Werkstückträgersystem über ein oder mehrere in Vorschubrichtung schwingungsfähige Systeme mit dem die eigentliche Vorschubbewegung ausführenden Vorschubblock verbunden ist.

Da die Werkstücke somit in vertikaler Richtung schwingungsfähig gelagert sind, können sie den beim Sägevorgang durch die Klingenkontur verursachten Kraftstößen nachgeben. Letztendlich werden diese also durch eine Ausweichbewegung des Werkstückes abgefangen, wodurch sich die einwirkenden Belastungen und gleichzeitig auch die Schwankungen der Schnittkraft deutlich verringern lassen.

Als schwingungsfähige Systeme werden mit besonderem Vorteil Federsysteme eingesetzt, beispielsweise in Form von Spiralfedern, Tellerfedern oder insbesondere Blattfedern. Gleichfalls möglich ist die Verwendung von hydraulischen Systemen, z.B. Ölpolstern, pneumatischen Systemen oder magnetischen Systemen.

Zweckmäßig wird die Eigenfrequenz der schwingungsfähigen Systeme so gewählt, daß sie höher liegt als die Frequenz der Hin- und Herbewegung des Klingenpaketes, um eine genügend rasche Nachführung des Werkstückes und somit stetigen Kontakt zu den Klingen zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang hat es sich auch bewährt, Systeme vorzusehen, bei denen die Eigenfrequenz einstellbar ist, beispielsweise durch Veränderung der freien Länge im Falle von Blattfedern, um das Gerät ggf. an Änderungen der Betriebsparameter anpassen zu können.

Gegebenenfalls kann der letztlich durch die Bewegung des Klingenpaketes erzwungenen Bewegung des Werkstückträgersystems eine zusätzliche vertikale Schwingung überlagert werden, beispielsweise indem dieses über einen Vibrator in Vibrationen versetzt wird. Die Amplitude dieser Vibrationen wird dabei zweckmäßig auf etwa 1/2 bis 1/1000 der durch das Klingenpaket verursachten Auf- und Abbewegung des Werkstückträgersystems eingestellt. Die Frequenz entspricht günstig dem 2 bis 10-fachen der Hin- und Herbewegung des Klingenpaketes.

In der Figur ist schematisch eine mögliche Ausführungsform eines erfindungsgemäß gestalteten Vorschubsystems dargestellt, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Darstellung der vollständigen Gattersäge verzichtet wurde.

Die Figur zeigt das Werkstück 1, beispielsweise einen Block aus Solarzellengrundmaterial auf Basis von multikristallinem Silicium, welcher z.B.

auf eine Schneidunterlage 2 aufgeklippt ist, die z.B. mittels Schrauben in den Werkstücktisch 3 eingespannt ist. Am Werkstücktisch 3 sind eine obere und eine untere Federhalterung 4 und 5 angebracht. Gemäß einer zweckmäßigen Ausführungsform schließt sich an den Werkstücktisch 3 ein Kraftmesser 6, beispielsweise in Form eines Kraftaufnehmers an, mit dessen Hilfe die beim Sägevorgang auftretenden Schnittkräfte überwacht werden können. Die Werkstückhalterung endet mit einem Halteblock 7, der über eine Blattfeder 8 mit dem die eigentliche Vorschubbewegung ausführenden Vorschubblock 9 verbunden ist.

Zur Führung dieses gesamten Werkstückträgersystems innerhalb des Vorschubblocks und zur Gewährleistung einer einwandfreien Schwingungsmöglichkeit in Vorschubrichtung dienen die untere Führungsfeder 10 und die obere Führungsfeder 11, welche einerseits mit der unteren und oberen Federhalterung 5 und 4 des Trägersystems verbunden sind und andererseits von der unteren Federaufhängung 12 und der oberen Federaufhängung 13 gehalten werden. Anstelle eines solchen gefederten Führungssystems, welches den Vorteil eines nahezu verschleißfreien Betriebes hat, kommen jedoch auch andere Führungen in Frage, wie z.B. Gleit- oder Rollführungen oder Führungen über Luft- oder hydraulische Lager.

Anstelle der hier dargestellten Variante mit einem einzelnen Werkstück 1 haben sich insbesondere auch solche Anordnungen bewährt, bei denen die Werkstücke jeweils paarweise gesägt werden. Die weiteren Ausführungen sollen jedoch aus Gründen der Vereinfachung nur auf ein Werkstück bezogen werden, obwohl sie sich sinngemäß auch auf mehrere Werkstücke, insbesondere Werkstückpaare, übertragen lassen.

Der Vorschubblock 9 kann innerhalb des Vorschubrahmens 14 auf- und abwärts bewegt werden, so daß sich das Werkstück 1 gegen das hier nur schematisch dargestellte, hin- und herbewegte Klingenpaket 15 drücken läßt, und zwar mit der jeweils vorgesehenen Anpreßkraft bzw. der vorgesehenen Vorschubgeschwindigkeit. Zur Führung dieser Vorschubbewegung innerhalb des Vorschubrahmens 14, die ein möglichst geringes seitliches Spiel aufweisen soll, kann beispielsweise eine Prismenführung 16 vorgesehen werden.

Gemäß der hier dargestellten Variante ist der Vorschubblock 9 mit einer über einen Motor 17, beispielsweise einen stufenlos regelbaren Elektromotor, angetriebenen Spindel 18 verbunden, durch welche seine Auf- bzw. Abwärtsbewegung innerhalb des Vorschubrahmens 14 bewirkt wird. Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird diese Vorschubbewegung nach Maßgabe des durch den Kraftmesser 6 erfaßten Verlaufes der in vertikaler Richtung auf das Werkstück 1

wirkenden Schnittkräfte gesteuert, beispielsweise über einen Rechner. Beim Verlassen eines zweckmäßig in Vorversuchen ermittelten Sollwertbereiches kann dann die Vorschubgeschwindigkeit erhöht werden, wenn eine stärkere Anpreßkraft des Werkstückes 1 gegen das Klingenpaket erforderlich ist, während sich diese Kraft durch Verlangsamen der Vorschubgeschwindigkeit nötigenfalls auch verringern läßt.

Grundsätzlich sind jedoch auch Ausführungsformen denkbar, bei denen mit festeingestelltem konstantem oder vorprogrammiertem variablem Vorschub gearbeitet wird.

Für die Übertragung der durch die Spindel 18 und den Vorschubblock 9 bestimmten Vorschubbewegung auf das Werkstückträgersystem kommen neben der hier beispielhaft vorgestellten und bevorzugten Blattfeder 8 auch andere schwingungsfähige Systeme in Betracht. So ist beispielsweise der Einsatz einer Hydraulikaufhängung denkbar, obwohl solche Systeme im allgemeinen eine geringere Lebensdauer als mechanische Federsysteme besitzen.

Die erfindungsgemäß gestalteten Gattersägen zeichnen sich gegenüber den mit herkömmlichen Vorschubsystemen ausgestatteten Gattersägen durch eine Reihe von Vorteilen aus. Da das Vorschubsystem mit seinen Lagern nahezu schwingungsfrei ist, erhöht sich deren Lebensdauer deutlich. Wegen des Ausgleichs der während des Sägevorganges auftretenden Kraftspitzen und -stöße nehmen auch die daraus resultierenden mechanischen Belastungen des Werkstückes beim Sägevorgang ab, so daß sich die erzielbaren Scheibendicken deutlich senken lassen. Beispielsweise können mit herkömmlichen Gattersägen aus Siliciumblöcken mit einer Kolumnarstruktur aus Bereichen mit kristallographischer Vorzugsorientierung Scheiben als Solarzellengrundmaterial erfahrungsgemäß nur bis zu einer Dicke von etwa 350 bis 400  $\mu$  m in befriedigender Qualität, d.h. frei von Rissen, Riefen und Ausbrüchen, und in befriedigender d.h. über 90% liegender Ausbeute gesägt werden. Mit den erfindungsgemäßen Gattersägen konnte, bei ausgezeichneter Qualität und über 90% liegender Ausbeute, die Dicke bis in den Bereich von 100  $\mu$  m reduziert werden. Dies bedeutet gleichzeitig mehr als eine Verdoppelung der Anzahl der pro Block erhaltenen Siliciumscheiben. Des weiteren konnte bei den derzeit üblichen Standardscheibendicken durch den Einsatz der erfindungsgemäßen Gattersäge die Schnittrate, also die in der Zeiteinheit gesägte Fläche (bezogen jeweils auf Siliciumscheiben) von dem bisher üblichen Wert von ca. 1.4  $\text{cm}^2/\text{min}$  auf ca. 1.8 bis 2.0  $\text{cm}^2/\text{min}$  gesteigert werden. Daraus ergeben sich deutlich kürzere Sägezeiten, die jeweils zum Zertrennen eines Blocks in Scheiben erforderlich sind. Darüber hinaus kann

die Masse der Vorschubsysteme gegenüber herkömmlichen deutlich gesenkt werden, wobei insbesondere eine geringe Masse des Trägersystems bewirkt, daß das Werkstück der Verschleißkontur besser folgen kann und somit die Schneidkraft geringeren Schwankungen unterliegt.

5

10. Verwendung nach den Ansprüchen 8 oder 9, wobei Scheiben mit einer Dicke von weniger als 350  $\mu$  m gesägt werden.

## Ansprüche

10

1. Gattersäge zum multiplen Läpptrennen von stab- oder blockförmigen Werkstücken in Scheiben, bei welcher die Werkstücke mittels eines Vorschubsystems gegen ein unter Zufuhr einer Läppmittelsuspension hin- und herbewegtes, in einen Spannrahmen eingespanntes Klingenpaket gedrückt werden, dadurch gekennzeichnet, daß im Vorschubsystem das die Werkstücke aufnehmende Werkstückträgersystem über ein oder mehrere in Vorschubrichtung schwingungsfähige Systeme mit dem die eigentliche Vorschubbewegung ausführenden Vorschubblock verbunden ist.

15

2. Gattersäge nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß schwingungsfähige Systeme ausgewählt werden, deren Eigenfrequenz höher liegt als die Frequenz der Hin- und Herbewegung des Klingenpaketes.

25

3. Gattersäge nach den Ansprüchen 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als schwingungsfähige Systeme Federsysteme vorgesehen sind.

30

4. Gattersäge nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkstücke jeweils paarweise auf dem Werkstückträgersystem befestigt sind.

5. Gattersäge nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Bewegung des Werkstückträgersystems zusätzlich eine vertikale Vibration überlagert wird.

35

6. Gattersäge nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die zusätzliche vertikale Vibration eine Frequenz besitzt, die dem 2 bis 10-fachen der Frequenz der Hin- und Herbewegung des Klingenpaketes entspricht.

40

7. Gattersäge nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die eigentliche Vorschubbewegung nach Maßgabe der beim Drücken der Werkstücke gegen das Klingenpaket auftretenden vertikalen Kräfte gesteuert wird.

45

8. Verwendung einer Gattersäge nach den Ansprüchen 1 bis 7 zum Zersägen von Siliciumblöcken in Scheiben.

50

9. Verwendung nach Anspruch 8, wobei die Siliciumblöcke eine Kolumnarstruktur aus Bereichen mit kristallographischer Vorzugsorientierung aufweisen.

55

