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

(11) **EP 2 001 607 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
22.07.2009 Patentblatt 2009/30

(21) Anmeldenummer: **07727441.3**

(22) Anmeldetag: **28.03.2007**

(51) Int Cl.:
B07B 1/00 *(2006.01)* ***B07B 13/00*** *(2006.01)*
B07B 13/04 *(2006.01)*

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/EP2007/052969

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2007/115937 (18.10.2007 Gazette 2007/42)

(54) **VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUM FLEXIBLEN KLASSIEREN VON POLYKRISTALLINEN SILICIUM-BRUCHSTÜCKEN**

DEVICE AND METHOD FOR THE FLEXIBLE CLASSIFICATION OF POLYCRYSTALLINE SILICON FRAGMENTS

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF DE CLASSIFICATION SOUPLE DE FRAGMENTS DE SILICIUM POLYCRISTALLIN

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **06.04.2006 DE 102006016324**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
17.12.2008 Patentblatt 2008/51

(73) Patentinhaber: **Wacker Chemie AG**
81737 München (DE)

(72) Erfinder:
- **SCHÄFER, Marcus**
  83278 Traunstein (DE)
- **PECH, Reiner**
  84524 Neuötting (DE)

(74) Vertreter: **Potten, Holger et al**
Wacker Chemie AG
Intellectual Property
Hanns-Seidel-Platz 4
D-81737 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A1- 0 876 851
EP-A1- 1 043 249
DE-A1- 4 113 093

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 001 607 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum flexiblen Klassieren von polykristallinen Silicium-Bruchstücken.

[0002] Silicium hoher Reinheit wird durch chemische Gasphasenabscheidung eines hochreinen Chlorsilangases auf einem aufgeheizten Substrat erzeugt. Das Silicium fällt dabei polykristallin in Form von Stäben an. Diese Stäbe müssen für die weitere Verwendung zerkleinert werden. Als Brechwerkzeuge werden beispielsweise aus Metall gefertigte Backen- oder Walzenbrecher, Hämmer oder Meißel verwendet. Die so erhaltenen Bruchstücke von polykristallinem Silicium, nachfolgend als Polybruch bezeichnet, werden anschließend nach definierten Bruchgrößen klassiert.

[0003] Es sind verschiedene mechanische Siebverfahren, z. B. aus EP 1391252 A1, US 6,874,713 B2, EP 1338682 A2, oder EP 1553214 A2 zum Klassieren von Polybruch bekannt. Ferner ist aus EP 1043249 B1 ein Schwingförderer mit Klassierung bekannt. Derartige Siebanlagen ermöglichen aufgrund ihres mechanischen Funktionsprinzips nur eine Trennung nach der Kornform, jedoch keine genaue Trennung nach einer jeweils erwünschten Länge und/oder Fläche. Sie erlauben keine flexible Einstellung der Fraktionsgrenzen ohne mechanische Umbauten.

[0004] Eine gezielte Trennung nach Länge und/oder Fläche kann durch optoelektronische Sortierverfahren erreicht werden. Solche Verfahren sind für Polysilicium z. B. aus US 6,265,683 B1, EP-A-0876851 und US 6,040,544 bekannt. Die hierin beschriebenen Verfahren sind jedoch immer auf die Trennung bestimmter und vorher bekannter Aufgabeströme limitiert. Eine optoelektronische Trennung von Polysilicium-Bruchstücken ist allerdings dann problematisch, wenn ein hoher Feinanteil (> 1 Gew. % Bruchstücke < 20mm) im Aufgabegut vorhanden ist, da hierdurch die Bilderkennung größerer Bruchstücke erheblich gestört wird. Es ist mit den bekannten Vorrichtungen somit nicht möglich, flexibel unterschiedlichste Eingangsfraktionen in mehrere Kornklassen in hoher Genauigkeit nach z. B. Länge- und/oder Fläche zu trennen. Zudem ist keine Regelung beschrieben, die zu einem noch genaueren Sortierergebnis führt.

[0005] Aufgabe der Erfindung war es, eine Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, die eine flexible Klassierung von gebrochenem polykristallinem Silicium (Polysilicium) vorzugsweise nach Länge-und/oder Fläche des Polybruchs ermöglicht. Die Länge eines Bruchstücks ist dabei definiert als die längste gerade Linie zwischen zwei Punkten auf der Oberfläche eines Bruchstücks. Die Fläche eines Bruchstücks ist dabei definiert als die größte in eine Ebene projizierte Schattenfläche des Bruchstücks.

[0006] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie eine mechanische Siebanlage und eine optoelektronische Sortieranlage umfasst, wobei der Polybruch durch die mechanische Siebanlage in einen Silicium-Feinanteil und einen Silicium-Restanteil getrennt wird und der Silicium-Restanteil über eine optoelektronische Sortieranlage in weitere Fraktionen aufgetrennt wird.

[0007] Die Vorrichtung erlaubt eine Sortierung des Polybruchs nach Länge, Fläche, Form, Morphologie, Farbe und Gewicht in beliebigen Kombinationen.

[0008] Bevorzugt besteht die Sortieranlage aus einer mehrstufigen mechanischen Siebanlage und einer mehrstufigen optoelektronischen Sortieranlage.

[0009] Vorzugsweise sind die mechanischen und/oder optoelektronischen Trennvorrichtungen in einer Baumstruktur angeordnet (Siehe Fig. 1). Die Anordnung der Siebanlagen und optoelektonischen Sortieranlage in einer Baumstruktur erlaubt im Vergleich zu einer seriellen Anordnung eine genauere Sortierung, da weniger Trennstufen durchlaufen werden müssen und bei jedem Trennmodul die abzuweisende Menge geringer ist. Zudem weist die Baumstruktur kürzere Wege auf, wodurch der Verschleiß der Anlage und die Nachzerkleinerung von großen Bruchstücken geringer sind und es zu einer geringeren Kontamination des Polybruchs kommt. Dies alles erhöht die Wirtschaftlichkeit der Vorrichtung und des zugehörigen Verfahrens.

[0010] Vorzugsweise wird der Feinanteil des zu klassierenden Polybruchs zunächst durch eine mechanische Siebanlage vom Silicium-Restanteil getrennt und anschließend durch mehrere, mechanische Siebanlagen in weitere Fraktionen aufgetrennt.

[0011] Als mechanische Siebanlage kann jede bekannte mechanische Siebmaschine eingesetzt werden. Bevorzugt werden Schwingsiebmaschinen, die über einen Unwuchtmotor angetrieben werden, eingesetzt. Als Siebbelag sind Maschen- und Lochsiebe bevorzugt. Die mechanische Siebanlage dient zur Abtrennung von Feinanteilen im Produktstrom. Der Feinanteil enthält Korngrößen bis zu einer maximalen Korngröße von bis zu 25 mm, bevorzugt von bis zu 10 mm. Die mechanische Siebanlage hat daher vorzugsweise eine Maschenweite die die genannten Korngrößen abtrennt. Da die mechanischen Siebe daher am Anfang nur kleine Löcher haben, um nur die kleinen Bruchsorten (≤ BG1) abzutrennen, kommt es seltener zu einer Verstopfung des Siebes, was die Produktivität der Anlage erhöht. Die problematischen großen Poly-Bruchstücke können sich in den kleinen Siebmaschenweiten nicht festsetzen.

[0012] Durch eine mehrstufige mechanische Siebanlage kann der Feinanteil noch in weitere Fraktionen aufgetrennt werden.

[0013] Die Siebanlagen (Siebstufen) können hintereinander oder auch in einer anderen Struktur, wie z. B. einer Baumstruktur, angeordnet sein. Bevorzugt sind die Siebe in mehr als einer Stufe, besonders bevorzugt in drei Stufen in einer Baumstruktur angeordnet. So werden beispielsweise bei einer beabsichtigten Aufteilung des Poly-Bruchs in vier Kornfraktionen (z. B. Fraktion 1, 2, 3, 4) in einer ersten Stufe Fraktion 1 und 2 von Fraktion 3 und 4 getrennt. In einer zweiten Stufe werden dann Frak-

tion 1 von Fraktion 2 und einer parallel angeordneten dritten Stufe Fraktion 3 von Fraktion 4 getrennt.

[0014] Die Sortierung des Polysilicium-Restanteils kann nach allen Kriterien, die Stand der Technik in der Bild- und Sensortechnik sind, erfolgen. Bevorzugt wird eine optoelektronische Sortierung eingesetzt. Sie erfolgt vorzugsweise nach einem oder mehreren, besonders bevorzugt ein bis drei, der Kriterien ausgewählt aus der Gruppe Länge, Fläche, Form, Morphologie, Farbe und Gewicht der Polysilicium-Bruchstücke. Besonders bevorzugt erfolgt sie nach Länge und Fläche der Polysilicium-Bruchstücke. Vorzugsweise wird der Silicium-Restanteil durch eine oder mehrere optoelektronische Sortieranlagen in weitere Fraktionen aufgetrennt. Vorzugsweise werden 2, 3 oder mehr optoelektronische Sortieranlagen, die in einer Baumstruktur angeordnet sind, eingesetzt. Die optische Bilderkennung der optoelektronischen Sortieranlage hat den Vorteil, dass "wirkliche" Längen oder Flächen gemessen werden. Dies erlaubt eine gegenüber herkömmlichen mechanischen Siebverfahren genauere Trennung der Bruchstücke nach den jeweils erwünschten Parametern. Als optoelektronische Sortieranlage wird vorzugsweise eine Vorrichtung, wie sie in US 6,265,683 B1 oder in US 6,040,544 A beschrieben ist, verwendet. Auf diese Schriften wird bezüglich der Einzelheiten der optoelektronischen Sortieranlage daher verwiesen. Diese optoelektronische Sortieranlage umfasst eine Vorrichtung zum Vereinzeln des Polybruches und eine Gleitfläche für den Polybruch, wobei der Winkel der Gleitfläche zur Horizontalen verstellbar ist, sowie eine Strahlenquelle durch deren Strahlengang der Polybruch fällt und eine Formerfassungsvorrichtung, die die Form des Klassierguts an eine Kontrolleinheit weiterleitet, die eine Ablenkvorrichtung steuert.

[0015] Vorzugsweise wird in jeder optoelektronischen Sortierstufe der Produktstrom über eine integrierte Schwingförderrinne vereinzelt und passiert über eine Rutsche im freien Fall eine oder mehrere CCD-Farzeilenkameras, die eine Klassifizierung nach einem oder mehreern Sortierparametern ausgewählt aus der Gruppe Länge, Fläche, Volumen (Gewicht), Form, Morphologie und Farbe vornimmt. Für die Parametererkennung der Bruchstücke können alternativ alle dem Stand der Technik bekannten elektronischen Sensortechniken eingesetzt werden. Die Messwerte werden an die übergeordnete Steuer- und Regeleinrichtung übermittelt und z. B. mittels Mikroprozessor ausgewertet. Dabei wird durch Vergleich mit dem im Rezept hinterlegten Sortierkriterium entschieden, ob ein Bruchstück aus dem Produktstrom ausgeschleust oder durchgelassen wird. Die Ausschleusung erfolgt vorzugsweise über Düsen durch Druckluftimpulse, wobei der Druck über das Rezept in der übergeordneten Steuerung einstellbar ist. Dabei werden beispielsweise über eine unter der Bilderkennung angeordnete Ventilleiste Trennkanäle (Druckluftleisten) angesteuert und mit dosierten Druckluftimpulsen, die von der Korngröße abhängig sind, beaufschlagt.

[0016] Vorzugsweise ist die erfindungsgemäße Vorrichtung daher mit einer übergeordneten Steuerung versehen, welche es ermöglicht, die Sortierparameter, nach denen der Polybruch sortiert wird und/oder die Anlagenparameter, die die Förderung des Polybruchs beeinflussen (z. B. die Fördergeschwindigkeit), flexibel an den einzelnen Teilen der Vorrichtungen einzustellen. Die Sortierparameter, nach denen der Polybruch sortiert wird sind vorzugsweise die o. g. Parameter, besonders bevorzugt ausgewählt aus der Gruppe Länge, Fläche, Morphologie, Farbe oder Form der Bruchstücke.

[0017] Die übergeordnete Steuerung variiert vorzugsweise einen oder mehrere der im Folgenden genannten Teile der Vorrichtung:

- den Durchsatz der Förderrinnen (z. B. über Variation der Frequenz der Umwuchtmotoren)
- Schwingfrequenz der mechanischen Siebe
- Parameter der Sortierung (Grenzen für Fläche, Länge, Farbe oder Morphologie, bevorzugt Länge und/ oder Fläche der Bruchstücke)
- Vordruck an den Ausblaseeinheiten

[0018] Die Größen der Sortierparameter, nach denen der Polybruch sortiert wird, sind vorzugsweise in Form von Rezepten in der übergeordneten Steuerung gespeichert und eine Variation der Selektionskriterien in der mechanischen Siebvorrichtung und /oder der optoelektronischen Sortierung erfolgt über die Auswahl eines Rezeptes, welches dann die Anwahl der zugehörigen Sortierparameter in den einzelnen Teilen der erfindungsgemäßen Vorrichtung bewirkt.

[0019] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung nach der Sortieranlage Waagen zur Bestimmung der Gewichtsausbeuten der klassierten Fraktionen. Vorzugsweise umfasst die Vorrichtung nach der Sortieranlage eine vollautomatische Kistenabfüll- und Kistentransportvorrichtung.

[0020] Eine bevorzugte Ausführungsform der Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass die mechanische Siebanlage und/oder die optoelektronische Sortieranlage mit einer Messeinrichtung für definierte Parameter des klassierten Polysilicium-Bruchs versehen ist und diese Messeinrichtung mit einer übergeordneten Steuer- und Regeleinrichtung verbunden ist, welche die gemessenen Parameter statistisch auswertet und mit vorgegebenen Parametern vergleicht und bei einer Abweichung zwischen gemessenen Parameter und vorgegebenen Parameter die Einstellung der Sortierparameter der optoelektronischen Sortieranlage bzw. der gesamten Sortieranlage (z. B. Frequenz der mechanischen Siebanlage oder Fördergeschwindigkeiten der Polybruchstücke) oder die Auswahl der Rezepte derart verändern kann, dass sich der dann gemessene Parameter dem vorgegebenen Parameter angleicht.

[0021] Vorzugsweise wird ein Parameter aus der

Gruppe Länge, Fläche, Form, Morphologie, Farbe und Gewicht der Polysilicium-Bruchstücke gemessen. Besonders bevorzugt wird die Länge oder die Fläche der Polysilicium-Bruchstücke innerhalb der jeweiligen Fraktion gemessen und in Form von Längen oder Flächenverteilungen ausgewertet (z. B. 5 %, 50 % oder 95 % Quantil). Alternativ werden die Gewichtsausbeuten der einzelnen SiebFraktionen von den Waagen an den Siebausgängen bestimmt. Ein weiterer Messparameter ist der an den einzelnen optoelektronischen Sortieranlagen ermittelte Massen- und Teilchendurchsatz.

[0022] Zur Stabilisierung der gewünschten Ausbeuten, können entweder die mit einer Waage erfassten Gewichte der einzelnen Fraktionen, oder die in der optoelektronischen Trennanlage gemessenen Längenverteilungen der einzelnen Bruchfraktionen herangezogen werden. Ist z. B. der Mengenanfall an großen Bruchstükken zu groß oder der an einer optischen Trennstufe ermittelte Längenmittelwert (Ist-Wert) der Bruchverteilung größer als der Soll-Wert, so können Trenngrenzen entsprechend einer im Rezept festgelegten Logik verschoben werden, so dass sich die Bruchverteilung zum Ziel hin verschiebt.

[0023] Ist umgekehrt der Anteil an kleinen Bruchstükken zu groß, kann zum Beispiel anhand der gemessenen Teilchenanzahl die Fördergeschwindigkeit angepasst werden, um die Anlage nicht zu überlasten und/oder ein anderes Sortierrezept ausgewählt werden.

[0024] Die beispielsweise in der optoelektronischen Sortieranlage im Rahmen des On-Line Monitorings gemäß den Sortierkriterien (z. B. Längenverteilung, Gewichtsverteilung) bestimmten Sortierparameter (z. B. Längenmittelwert einer Fraktion) des klassierten Polysilicium-Bruchs werden an die übergeordnete Steuer-und Regeleinrichtung übermittelt und dort mit vorgegebenen Sollwerten verglichen. Bei einer Abweichung zwischen gemessenen und vorgegebenen Parametern werden die variablen Sortierparameter (z. B. die Trenngrenzen zwischen zwei Fraktionen oder die Fahrweise durch die Module) durch die Steuer- und Regeleinrichtung derart verändert, dass sich der gemessene Parameter dem vorgegebenen Parameter angleicht.

[0025] Vorzugsweise regelt die Regeleinrichtung die Trenngrenzen zwischen den Fraktionen, den Durchsatz über die Förderrinnen oder den Druck an den Ausblasdüsen.

[0026] In einer Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind zwischen den einzelnen Sortierstufen Magnetabscheider (z. B. Plattenmagneten, Trommelmagneten oder Bandmagneten) angeordnet, um metallische Fremdkörper aus dem Polysilicium-Bruch zu entfernen und die Metallkontamination des Polysilicium-Bruchs zu reduzieren.

[0027] Die Steuer- und Regelvorrichtung besteht vorzugsweise aus einem Leitsystem in Form einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) über die die Steuerungen aller Teilanlagen (z. B. mechanische und optoelektronische Sortieranlage, automatisiertes Kistenhandling mit Rezeptverwaltung und Verwaltung der Regellogik) verwaltet und geregelt werden. Die teilanlagenübergreifende Visualisierung und Bedienung erfolgt von einem übergeordneten Leitsystem. Die Stör- und Betriebsmeldungen aller Teilanlagen werden in einer Stör- bzw. Betriebsmeldungs-Datenbank zusammenkopiert ausgewertet und visualisiert.

[0028] Durch die Kombination der Einzelanlagen zur erfindungsgemäßen Vorrichtung und die logische Verknüpfung mittels einer übergeordneten Steuerung wird es erstmals möglich, verschiedene Sortierprozesse, d. h. Sortierprozesse nach verschiedenen Sortierparametern, durchzuführen, ohne dass mechanische Umbauten an der Vorrichtung notwendig sind.

[0029] Insbesondere erlaubt die erfindungsgemäße Vorrichtung eine flexible Trennung bei unterschiedlicher Korngrößenverteilung des Aufgabegutes. Sowohl sehr kleiner (Länge < 45 mm) als auch sehr großer kubischer Bruch (Länge > 45 - 250 mm) kann ohne mechanische Umbauten durch einfache Softwareansteuerung klassiert werden.

[0030] Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wurde festgestellt, dass die Funktion der optoelektronischen Sortierung bei einem beliebigen Polysilicumbruch erst durch Vorschaltung einer mechanischen Siebung zur Abtrennung des Feinanteils in der erforderlichen Genauigkeit ermöglicht wird. Ein hoher Feinanteil im Aufgabematerial, welches auf die optoelektronische Sortieranlage aufgegeben wird, beeinträchtigt die Genauigkeit der Sortierung sehr stark und stellt im Extremfall sogar die optoelektronische Sortierung in Frage.

[0031] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht eine höhere Trenngenauigkeit bezüglich Länge und/oder Fläche der Bruchstücke im Vergleich zu einer rein mechanischen Siebanlage. Die Vorrichtung ist regelbar über Rückmeldung der Sortierparameter (z. B. Mittelwert der Kornfraktion (BG) gemessen in der optoelektronischen Siebanlage) als Führungsgrößen für die Sortieranlagen (z. B. Trenngrenzen an den einzelnen optoelektronischen Sortierstufen). Anhand der gemessenen Gewichtsausbeuten kann auch die Steuerung und Regelung über die Rezepte angepasst werden.

[0032] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglicht ein On-Line Monitoring der Qualität des Aufgabematerials (z. B. über die statistische Auswertung der Korngrößenverteilung nach dem Brechen) gemäß den Sortierkriterien (z. B. Längenverteilung, Gewichtsverteilung).

[0033] Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren, bei dem ein Polybruch mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung klassiert wird.

[0034] Vorzugsweise wird dazu der Polybruch durch eine mechanische Siebanlage in eine abgesiebte Fein- und eine Rest-Fraktion getrennt, wobei die abgesiebte Feinfraktion mittels einer weiteren mechanische Siebanlage in eine Zielfraktion 1 und in eine Zielfraktion 2 getrennt wird und die Rest-Fraktion mittels einer optoelektronischen Sortierung in zwei Fraktionen getrennt wird, wobei diese zwei Fraktionen mittels jeweils einer weite-

ren optoelektronischen Sortierung in 4 weitere Zielfraktionen (Zielfraktionen 3 bis 6) unterteilt werden.

[0035] Das erfindungsgemäße Verfahren weist eine hohe Produktivität auf, da die Rüstzeiten geringer sind als bei bekannten Klassiervorrichtungen und es seltener zu einer Verstopfung kommt wie bei mechanischen Sieben.

[0036] Vorzugsweise weist die abgesiebte Feinfraktion eine Korngröße von kleiner 20 mm auf, die Rest-Fraktion eine Korngröße von größer 5 mm auf, die Zielfraktion 1 eine Korngröße von kleiner 10 mm auf, die Zielfraktion 2 eine Korngröße von 2 mm bis 20 mm auf, die Zielfraktion 3 eine Korngröße von 5 mm bis 50 mm auf, die Zielfraktion 4 eine Korngröße von 15 mm bis 70 mm auf, die Zielfraktion 5 eine Korngröße von 30 mm bis 120 mm auf und die Zielfraktion 6 eine Korngröße von größer 60 mm auf.

[0037] Vorzugsweise erfolgt die Eingabe der Sortierparameter der gewünschten Zielfraktionen in eine übergeordnete Steuer- und Regelvorrichtung, welche eine entsprechende Einstellung der Parameter der Sortieranlagen zur Erzielung der gewünschten Zielfraktionen des Polybruchs bewirkt. Die Einstellung der Parameter der Sortieranlagen erfolgt wie für die erfindungsgemäße Vorrichtung beschrieben.

[0038] Vorzugsweise wird in der optoelektronischen Sortierung die Fraktion mit der bezüglich des jeweiligen Sortierparameters größeren Teilchenanzahl jeweils abgewiesen bzw. ausgeblasen.

[0039] Vorzugsweise wird ein voreingestelltes Rezept an der übergeordneten Steuerung der erfindungsgemäßen Vorrichtung ausgewählt. In den Rezepten sind alle Parameter der Sortieranlage und die Stellgrößen der Regelung hinterlegt. Die Messung der Produktparameter sowie der Klassierung des Polysilicium-Bruchs erfolgt vorzugsweise wie im Folgenden beschrieben:

[0040] Das Überkorn der ersten mechanischen Siebstufe wird einer mehrstufigen optoelektronischen Trennanlage zugeführt. In jeder optoelektronischen Sortierstufe wird der Produktstrom über eine integrierte Schwingförderrinne vereinzelt und passiert über eine Rutsche im freien Fall eine (oder mehrere) CCD-Farbzeilenkamera(s), die eine Klassifizierung nach einem oder mehreren der Parameter Länge, Fläche, Volumen, Form, Morphologie und Farbe in beliebiger Kombination vornimmt. Für die Parametererkennung der Bruchstücke können alternativ alle dem Stand der Technik bekannten elektronischen Sensortechniken eingesetzt werden. Die Messwerte werden an die übergeordnete Steuer- und Regeleinrichtung übermittelt und z. B. mittels Mikroprozessor ausgewertet. Dabei wird durch Vergleich mit dem im Rezept hinterlegten Sortierkriterium entschieden, ob ein Bruchstück aus dem Produktstrom ausgeschleust oder durchgelassen wird. Die Ausschleusung erfolgt vorzugsweise durch Druckluftimpulse, wobei der Druck über das Rezept in der übergeordneten Steuerung einstellbar ist. Dabei werden beispielsweise über eine unter der Bilderkennung angeordnete Ventilleiste Trennkanäle (Druckluftleisten) angesteuert und mit dosierten Druckluftimpulsen, die von der Korngröße abhängig sind, beaufschlagt. Der Durchlassstrom und der Abweisstrom werden danach getrennt abgeführt und der nächsten optoelektronischen Sortierstufe zugeführt. Alternativ kann die Ausschleusung auch hydraulisch oder mechanisch erfolgen. Überraschenderweise wurde festgestellt, dass eine höhere Sortiergenauigkeit erzielt wird, wenn die bezüglich Länge jeweils kleinere Fraktion ausgeblasen wird, obwohl diese Fraktion eine höhere Teilchenanzahl besitzt. Es ist nämlich aus dem Stand der Technik zu erwarten, dass die Sortiergenauigkeit mit zunehmendem Abweisanteil sinkt, d. h., dass das Ausblasen (hydraulische/mechanische Entfernen) auf die bzgl. Teilchenanzahl "kleinere" Fraktion eine genauere Trennung der Bruchstücke bewirken sollte. Überraschenderweise wird allerdings bzgl. Längen, oder Flächentrennung der Bruchstücke mit der umgekehrten Fahrweise eine genauere Trennung der Bruchstücke erreicht.

[0041] Die Erkennung mittels eines Sensors, bevorzugt mittels einer optischen Bilderkennung, hat den Vorteil, dass "wirkliche" Längen, Flächen oder Formen der Bruchstücke gemessen werden. Dies erlaubt zum einen eine gegenüber herkömmlichen mechanischen Siebverfahren genauere Trennung, z. B. bzgl. der Länge der Bruchstücke. Der Überlapp zwischen zwei zu trennenden Fraktionen ist geringer. Zum anderen können die Trenngrenzen beliebig über die vorgegebenen Parameter (das Rezept) der übergeordneten Steuerung eingestellt werden, ohne dass Änderungen an der Maschine selber vorzunehmen sind (wie z. B. Wechsel der Siebbeläge). Durch die erfindungsgemäße Kombination von mechanischem Sieb und optoelektronischer Sortieranlage ist erstmals eine Trennung im kleinen wie im großen Bruchgrößenbereich, unabhängig von der Zusammensetzung des Aufgabegutes, möglich.

[0042] Darüber hinaus kann über die "on-line-Messung" die Gesamtanlage geregelt werden, in dem zum Beispiel die Trenngrenzen dem Aufgabegut entsprechend unmittelbar korrigiert werden.

[0043] Des Weiteren bietet die optoelektronische Sortierung in der erfindungsgemäßen Vorrichtung den Vorteil, dass durch die Kombination aus Fläche und Länge eine genauere Trennung der Bruchstücke nach den jeweiligen Anforderungen (z. B. hohe Kubizität der Bruchstücke) möglich ist.

[0044] Die mittels der erfindungsgemäßen Vorrichtung klassierten Fraktionen des Siliciumbruchs werden gesammelt und bevorzugt in Kisten abgefüllt. Vorzugsweise ist die Abfüllung automatisiert, wie beispielsweise in EP 1 334 907 B beschrieben.

Fig. 1 zeigt das Verfahrensprinzip der in den Beispielen verwendeten erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 2 zeigt das Ergebnis der Sortierung aus Bsp. 1 im Vergleich zu einer optopneumatischen Tennung

mit der gleichen optopneumatischen Trennvorrichtung ohne vorherige Siebung (Stand der Technik)

Fig. 3 zeigt den Einfluss der bei der optoelektronischen Trennanlage eingestellten Sortiergrenzen (hier Länge eines Bruchstückes) auf die Bruchgrößenverteilung der so gewonnenen Fraktionen, wie in Bsp. 2 beschrieben.

[0045] Die folgenden Beispiele dienen der weiteren Erläuterung der Erfindung.

[0046] In den Beispielen wurden folgende Bruchgrößen des Polybruches hergestellt:

BG 0: Bruchgrößen mit einer Verteilung von kleiner 5 mm
BG 1: Bruchgrößen mit einer Verteilung von ca. 2 mm bis 12 mm
BG 2: Bruchgrößen mit einer Verteilung von ca. 8 mm bis 40 mm
BG 3: Bruchgrößen mit einer Verteilung von ca. 25 mm bis 65 mm
BG 4: Bruchgrößen mit einer Verteilung von ca. 50 mm bis 110 mm
BG 5: Bruchgrößen mit einer Verteilung von ca. 90 mm bis 250 mm.

[0047] Die Längenangaben beziehen sich auf die maximale Länge der Bruchstücke, wobei 85 Gew-% der Bruchstücke eine maximale Länge innerhalb der angegebenen Grenzen haben.

Beispiel 1:

[0048] Polysilicum wurde durch das Siemensverfahren in Form von Stangen abgeschieden. Die Stangen wurden aus dem Siemensreaktor ausgebaut und nach Stand der Technik bekannten Methoden (z. B. durch händische Zerkleinerung) zu Polysilicium-Grobbruch gebrochen. Dieser Grobbruch mit Bruchstücken einer Kantenlänge von 0 bis 250 mm wurde über eine Aufgabevorrichtung, vorzugsweise einen Trichter, auf eine Förderrinne entleert, die das Material zur erfindungsgemäßen Vorrichtung fördert. In die übergeordnete Mess- und Steuervorrichtung wurden die Parameter für die herzustellenden Fraktionen eingegeben. Da durch die jeweilige Weiterverwendung des herzustellenden Bruchs eine jeweils gewünschte Korngrößenverteilung in den verschiedenen Fraktionen jeweils vorgegeben wird, sind die Fraktionen in der Regel als Rezepte in der übergeordneten Mess- und Steuervorrichtung hinterlegt und werden dementsprechend ausgewählt. Im vorliegenden Beispiel wurde die Vorrichtung für die Herstellung von 6 verschiedenen Fraktionen (BG 0, 1, 2, 3, 4 und 5) eingesetzt. In den Rezepten sind jeweils alle Parameter der optoelektronischen und mechanischen Sortieranlage und der Fördertechnik hinterlegt.

[0049] Für die Sortierung eines Polybruchs mit Anteilen an großen Stücken (BG 5) wurden folgende Parameter im Rezept hinterlegt:

[0050] Der Feinanteil (BG 0 und 1) des Polybruchs wurde am mechanischen Sieb mit einer Maschenweite von etwa 10 mm abgetrennt und anschließend der abgetrennte Anteil mit einer weiteren mechanischen Siebanlage, bzw. einem weiteren Sieb mit ca. 4 mm Maschenweite in die BG 0 und 1 getrennt.

[0051] Der Grobanteil (BG 2,3,4 und 5) wurde über eine Förderrinne, deren Fördercharakteristiken, wie z. B. Frequenz, ebenfalls im Rezept hinterlegt sind, der optischen Sortieranlage zugeführt und über zwei Baumebenen, bzw. drei optische Stufen wie folgt getrennt: In der ersten Stufe wurde BG 3&2 von BG 4&5 getrennt. Als Trenngrenze wurde im Rezept eine maximale Länge von 55 mm hinterlegt. Die BG 3&2 wurde in einer zweiten Stufe, bzw. einer im Rezept hinterlegten Trenngrenze von 27 mm in die BG 3 und 2 getrennt. Die BG 4&5 in einer dritten Stufe und einer Trenngrenze von 100 mm in die BG 4 und 5.

[0052] Es wurde eine höhere Sortiergenauigkeit erzielt, wenn die bezüglich Länge jeweils kleinere Fraktion ausgeblasen wurde, obwohl diese Fraktion eine höhere Teilchenanzahl besaß. Bei der Trennung von einem Aufgabematerial mit einem überwiegenden Gewichtsanteil an BG 5 und BG4 wurde im ersten Modul die bzgl. Teilchenanzahl größte Fraktion "BG2 + BG3" aus der Gesamtfraktion ausgeblasen und nicht die Fraktion "BG4 + BG5". Analog wurde aus dem Gemisch "BG2 + BG3", der bzgl. Teilchenanzahl größere Anteil "BG2" ausgeblasen und nicht "BG3".

[0053] Zwischen den verschiedenen Anlagenteilen, wie z. B. Förderrinnen sind Magneten zur Abscheidung von metallischen Kontaminationen eingebaut.

[0054] Fig. 2 zeigt das Ergebnis dieser Klassierung im Vergleich zu einer optopneumatischen Trennung mit der gleichen optopneumatischen Trennvorrichtung ohne vorherige Siebung. Es ist gut ersichtlich, dass das Aufgabegut in die gewählten Längenklassen sortiert werden konnte. Die gegenüber herkömmlichen Siebverfahren genauere Trennung (Beispiel Länge) ist sichtbar. So ist z. B. beim BG2/BG3-Überlapp beim herkömmlichen Trennen ersichtlich, dass die BG2er Verteilung erst bei etwa 45 mm endet, während die BG3er Verteilung aber bereits bei 20 mm startet. Der Überlapp ist also 25 mm. Beim erfindungsgemäßen Verfahren endet die BG2er Verteilung bereits bei etwa 40 mm während die BG3er Verteilung gleichzeitig erst bei 25 mm startet. Der Überlapp ist somit nur 15mm und damit 40 % geringer als beim Stand der Technik.

Beispiel 2:

[0055] Zur Stabilisierung der gewünschten Ausbeuten, wurden die Softwareparameter bzgl. Trenngrenzen der einzelnen Fraktionen leicht variiert. Im Rezept zur Steuerung der optoelektronischen Trennanlage wurden die Werte bzgl. maximal oder minimal erlaubter Länge

der Bruchstücke in den einzelnen Fraktionen um wenige Millimeter geändert (siehe Fig. 3). So wurde die Trenngrenze für das Ausblasen zwischen den BG 2 und 3 von 27 mm auf 31 mm und zwischen den BG 3 und 4 von 55 mm auf 57 mm verändert. Diese Programm-Parameter-Änderung von nur wenigen Millimetern ist bereits in den Produkt-Eigenschaften (z. B. Längenverteilung) ersichtlich, d. h. die Trenngrenzen zwischen den einzelnen Fraktionen können mit hoher Genauigkeit durch einfache Rezeptwahl flexibel an die jeweilige Spezifikation angepasst werden, oder im Rahmen der online Regelung zur Erzielung gewünschter Soll-Werte herangezogen werden.

Beispiel 3:

[0056] Klassieren unterschiedlicher Korngrößenverteilung des Poly-bruchs mittels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

a) Sortierung eines Polybruchs mit einer Hauptfraktion > 100 mm in 6 Fraktionen (z. B. BG0 bis BG5). Zuerst wurde mittels eines mechanischen Siebes der Feinanteil (< 12 mm bzw. BG0 + BG1) vom Grobanteil abgetrennt. Diese abgetrennte Fraktion wurde durch ein nachfolgendes zweites mechanisches Sieb weiter in die Fraktionen BG0 und BG1 getrennt. Der Grobanteil (≥BG2) wurde der optoelektronischen Sortieranlage zugeführt und an einer ersten Trennstufe (Modul 1, bzw. erste Baumebene) in eine größere (≥BG4) und in eine kleinere (≤BG3) Fraktion getrennt (Trenngrenze BG3/BG4 zw. ~50 bis 70 mm). Diese beiden Fraktionen wurden in einer zweiten Baumebene jeweils einer weiteren Trennstufe (Modul 2 und Modul 3) zugeführt und wiederum in je zwei Fraktionen getrennt. (Trenngrenze BG2/BG3 ca. 25 bis 45 mm und BG4/BG5 ca. 85 bis 120 mm). So wurden die Fraktionen BG2, BG3, BG4 und BG5 erhalten. Weitere Trennstufen (bzw. Module) in dritter oder höherer Baumebene können folgen, wenn eine Aufteilung in mehr oder engere Fraktionen gewünscht wird.

b) Sortierung eines Polybruchs mit einer Hauptfraktion ~80 mm durch Teilung in 5 Fraktionen (BG0 bis BG4).

α) Das Verfahren entsprach Beispiel 3a) mit dem Unterschied, dass in der zweiten Baumebene das Modul für die größere Fraktion deaktiviert war und daher die Fraktion ≥BG4 nicht weiter aufgetrennt (ausgeblasen) wurde.
β) Alternativ wurde im ersten Modul das Gemisch BG2 bis BG4 in eine Fraktion ≥BG3 und eine Fraktion BG2 aufgetrennt. BG2 wurde dann in zweiter Baumebene nicht weiter getrennt, während die Fraktion ≥BG3 in zweiter Ebene in die Fraktionen BG3 und BG4 aufgetrennt werden.

c) Sortierung eines Polybruchs mit einer Hauptfraktion ~45 mm durch Teilung in 4 Fraktionen (BG0 bis BG3).

α) Die Abtrennung des Feinanteils (BG0 + BG1) erfolgte analog Bsp. 3a). Anschließend wurde der Rest, d. h. das Gemisch aus BG2 + BG3, bereits im ersten optischen Modul in BG2 und BG3 getrennt und die folgenden, deaktivierten Module in zweiter Baumebene werden nur passiert.
β) Alternativ wurde die erste Ebene (Modul) deaktiviert und die Trennung BG2 - BG3 wurde erst in der zweiten Baumebene durchgeführt.

d) Sortierung eines Polybruchs mit einer Hauptfraktion ~25 mm durch Teilung in 3 Fraktionen (BG0 bis BG2).
Die Abtrennung des Feinanteils (BG0 + BG1) erfolgte analog Bsp. 3a). Anschließend wurde der Rest, d. h. z. B. BG2 durch die deaktivierten Module 1 und 2 durchgeleitet, bzw. in keiner Baumebene ausgeblasen.

e) Sortierung eines Polybruchs mit einer Hauptfraktion < 25 mm durch Teilung in 2 Fraktionen (BG0 und BG1).
Die Abtrennung des Feinanteils (BG0 + BG1) erfolgte analog Bsp. 3a). Kein Material gelangt zur optischen Sortieranlage.

[0057] Die Klassierungen a) bis e) sind mit ein- und derselben erfindungsgemäßen Vorrichtung möglich, ohne dass Umbauten an der Vorrichtung notwendig sind.

Patentansprüche

1. Vorrichtung, die eine flexible Klassierung von gebrochenem polykristallinem Silicium ermöglicht, wobei sie eine mechanische Siebanlage und eine optoelektronische Sortieranlage umfasst, wobei der Polybruch durch die mechanische Siebanlage in einen Silicium-Feinanteil und einen Silicium-Restanteil getrennt wird und der Silicium-Restanteil über eine optoelektronische Sortieranlagen in weitere Fraktionen aufgetrennt wird.

2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine mehrstufige mechanische Siebanlage und eine mehrstufige optoelektronische Sortieranlage umfasst.

3. Vorrichtung gemäß Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mechanischen und/oder optoelektronischen Trennvorrichtungen in einer

Baumstruktur angeordnet sind.

4. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mechanische Siebanlage eine Schwingsiebmaschine ist, die über einen Unwuchtmotor angetrieben wird.

5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Siebe der mechanischen Siebanlage in mehr als einer Stufe angeordnet sind.

6. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei optoelektronische Sortieranlagen eingesetzt werden.

7. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** drei oder mehr optoelektronische Sortieranlagen eingesetzt werden.

8. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie mit einer übergeordneten Steuerung versehen ist, welche es ermöglicht, Sortierparameter, nach denen der Polybruch sortiert wird, und/oder Anlagenparameter, die die Förderung des Polybruchs beeinflussen, flexibel an den einzelnen Teilen der Vorrichtung einzustellen.

9. Vorrichtung gemäß Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Parameter nach denen der Polybruch sortiert wird ausgewählt sind aus der Gruppe Länge, Fläche, Morphologie, Farbe oder Form.

10. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie einen oder mehrere der im Folgenden genannten Teile der Vorrichtung mittels Steuerung variiert:

    - den Durchsatz der Förderrinnen
    - die Schwingfrequenz der mechanischen Siebe
    - die Parameter der Sortierung
    - Druck an den Ausblasdüsen

11. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 8, 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mechanische Siebanlage und/oder die optoelektronische Sortieranlage mit einer Messeinrichtung für definierte Parameter des klassierten Polysilicium-Bruchs versehen sind , wobei diese Messeinrichtung mit der Steuerung zu einer Steuer- und Regeleinrichtung verbunden ist, welche die gemessenen Parameter statistisch auswertet und mit vorgegebenen Parametern vergleicht und bei einer Abweichung zwischen gemessenen Parameter und vorgegebenen Parameter die Einstellung der Sortierparameter der optoelektronischen Sortieranlage bzw. der gesamten Sortieranlage derart verändern kann, dass sich der dann gemessene Parameter dem vorgegebenen Parameter angleicht.

12. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen den einzelnen Sortierstufen Magnetabscheider (z. B. Plattenmagneten, Trommelmagneten oder Bandmagneten) angeordnet sind.

13. Verfahren zur flexiblen Klassierung von gebrochenem polykristallinem Silicium (Polybruch), **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 bis 12 eingesetzt wird.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Polybruch mittels einer mechanische Siebanlage in eine abgesiebte Feinfraktion und in eine Rest-Fraktion getrennt wird, wobei die abgesiebte Feinfraktion mittels einer weiteren mechanische Siebanlage in eine Fraktion 1 und in eine Fraktion 2 getrennt wird und die Rest-Fraktion mittels einer optoelektronischen Sortierung in zwei Fraktionen getrennt wird, wobei diese zwei Fraktionen mittels jeweils einer weiteren optoelektronischen Sortierung in 4 weitere Fraktionen (Fraktionen 3 bis 6) unterteilt werden.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, welches **dadurch gekennzeichnet ist, dass** die abgesiebte Feinfraktion eine Korngröße kleiner 20 mm aufweist, und die Rest-Fraktion eine Korngröße von größer 5 mm aufweist und die Fraktion 1 eine Korngröße von kleiner 10 mm aufweist und die Fraktion 2 eine Korngröße von 2 mm bis 20 mm aufweist und die Fraktion 3 eine Korngröße von 5 mm bis 50 mm aufweist und die Fraktion 4 eine Korngröße von 15 mm bis 70 mm aufweist und die Fraktion 5 eine Korngröße von 30 mm bis 120 mm aufweist und die Fraktion 6 eine Korngröße von größer 60 mm aufweist.

16. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 13 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der optoelektronischen Sortierung die Fraktion mit der bezüglich des jeweiligen Sortierparameters größeren Teilchenanzahl jeweils ausgeblasen wird.

Claims

1. Device which permits flexible classification of crushed polycrystalline silicon, wherein it comprises a mechanical screening system and an optoelectronic sorting system, the poly fragments being separated into a fine silicon component and a residual silicon component by the mechanical screening system and the residual silicon component being separated into further fractions by means of an optoelectronic sorting system.

2. Device according to Claim 1, **characterized in that** it comprises a multistage mechanical screening system and a multistage optoelectronic sorting system.

3. Device according to Claim 1 or 2, **characterized in that** the mechanical and/or optoelectronic separating devices are arranged in a tree structure.

4. Device according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that** the mechanical screening system is an oscillatory screening machine which is driven by an unbalance motor.

5. Device according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the screens of the mechanical screening system are arranged in more than one stage.

6. Device according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** two optoelectronic sorting systems are used.

7. Device according to one of Claims 1 to 5, **characterized in that** three or more optoelectronic sorting systems are used.

8. Device according to one of Claims 1 to 7, **characterized in that** it is provided with a superordinate controller that makes it possible for sorting parameters according to which the poly fragments are sorted, and/or system parameters which affect the delivery of the poly fragments, to be adapted flexibly for the individual parts of the device.

9. Device according to Claim 8, **characterized in that** the parameters according to which the poly fragments are sorted are selected from the group length, area, morphology, color or shape.

10. Device according to one of Claims 8 and 9, **characterized in that** it varies one or more of the below-mentioned parts of the device by means of the controller:

    - the throughput of the delivery troughs
    - the oscillating frequency of the mechanical screens
    - the parameters of the sorting
    - pressure at the ejection blower nozzles.

11. Device according to one of Claims 8, 9 and 10, **characterized in that** the mechanical screening system and/or the optoelectronic sorting system are provided with a measuring instrument for defined parameters of the classified polysilicon fragments, this measuring instrument being connected by the controller to a control and regulating instrument which statistically evaluates the measured parameters and compares them with predetermined parameters, and which in the event of a discrepancy between a measured parameter and a predetermined parameter can modify the setting of the sorting parameters of the optoelectronic sorting system or the entire sorting system so that the parameter then measured approximates the predetermined parameter.

12. Device according to one of Claims 1 to 11, **characterized in that** magnetic extractors (for example plate magnets, drum magnets or strip magnets) are arranged between the individual sorting stages.

13. Method for the flexible classification of crushed polycrystalline silicon (poly fragments), **characterized in that** a device according to Claim 1 to 12 is used.

14. Method according to Claim 13, **characterized in that** the poly fragments are separated into a screened fine fraction and a residual fraction by a mechanical screening system, the screened fine fraction being separated into a fraction 1 and a fraction 2 by means of a further mechanical screening system and the residual fraction being separated into two fractions by means of optoelectronic sorting, these two fractions respectively being subdivided into 4 further fractions (fractions 3 to 6) by means of further optoelectronic sorting.

15. Method according to Claim 14, **characterized in that** the screened fine fraction has a particle size of less than 20 mm, the residual fraction has a particle size of more than 5 mm, fraction 1 has a particle size of less than 10 mm, fraction 2 has a particle size of from 2 mm to 20 mm, fraction 3 has a particle size of from 5 mm to 50 mm, fraction 4 has a particle size of from 15 mm to 70 mm, fraction 5 has a particle size of from 30 mm to 120 mm and fraction 6 has a particle size of more than 60 mm.

16. Method according to one of Claims 13 to 15, **characterized in that** the fraction with the larger particle number in relation to the respective sorting parameter is in each case blown out in the optoelectronic sorting.

Revendications

1. Dispositif permettant de trier de manière souple du silicium polycristallin rompu,
comprenant une installation mécanique de tamisage et une installation opto-électronique de tri,
les fragments de polysilicium étant séparés par l'installation mécanique de tamisage en une fraction fine de silicium et une fraction résiduelle de silicium et
la fraction résiduelle de silicium étant séparée en

d'autres fractions par une installation opto-électronique de tri.

2. Dispositif selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'**il comprend une installation mécanique de tamisage à plusieurs étages et une installation opto-électronique de tri à plusieurs étages.

3. Dispositif selon les revendications 1 ou 2, **caractérisé en ce que** les dispositifs mécaniques et/ou opto-électroniques de séparation sont agencés en une structure arborescente.

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'installation mécanique de tamisage est une machine de tamisage vibrante entraînée par un moteur à balourd.

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les tamis de l'installation mécanique de tamisage sont agencés en plus d'un étage.

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**il utilise deux installations opto-électroniques de tri.

7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce qu'**il utilise trois ou plusieurs installations opto-électroniques de tri.

8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'**il est doté d'une commande d'ordre hiérarchique supérieur qui permet de régler de manière souple sur les différentes parties du dispositif les paramètres de tri selon lesquels les fragments de polysilicium sont triés et/ou les paramètres de l'installation qui influencent le transport des fragments de polysilicium.

9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** les paramètres selon lesquels les fragments de polysilicium sont triés sont sélectionnés dans l'ensemble longueur, surface, morphologie, couleur et forme.

10. Dispositif selon l'une des revendications 8 ou 9, **caractérisé en ce qu'**il modifie au moyen de la commande une ou plusieurs des parties du dispositif citées ci-dessous :

    - le débit des goulottes de transport,
    - la fréquence d'oscillation du tamis mécanique,
    - les paramètres du tri et
    - la pression appliquée aux tuyères de soufflage.

11. Dispositif selon l'une des revendications 8, 9 ou 10, **caractérisé en ce que** l'installation mécanique de tamisage et/ou l'installation opto-électronique de tri sont dotées d'un dispositif de mesure de paramètres définis des fragments triés de polysilicium, ce dispositif de mesure étant relié à la commande pour former un dispositif de commande et de régulation qui évalue statistiquement les paramètres mesurés, les compare à des paramètres prédéterminés et, en cas d'écart entre les paramètres mesurés et les paramètres prédéterminés, peut modifier le réglage des paramètres de tri de l'installation opto-électronique de tri ou de l'ensemble de l'installation de tri de telle sorte que le paramètre mesuré alors soit égal au paramètre prédéterminé.

12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, **caractérisé en ce que** des séparateurs magnétiques (par exemple des aimants en plaque, des aimants en tambour ou des aimants en ruban) sont disposés entre les différents étages de tri.

13. Procédé pour tirer de manière flexible du silicium polycristallin rompu (fragments de polysilicium), **caractérisé en ce qu'**il utilise un dispositif selon les revendications 1 à 12.

14. Procédé selon la revendication 13, **caractérisé en ce que** les fragments de polysilicium sont séparés au moyen d'une installation mécanique de tamisage en une fraction fine passante et une fraction résiduelle,
la fraction fine passante étant séparée au moyen d'une autre installation mécanique de tamisage en une fraction 1 et une fraction 2,
la fraction résiduelle étant séparée en deux fractions au moyen d'un tri opto-électronique,
ces deux fractions étant divisées au moyen d'un autre tri opto-électronique respectif en 4 autres fractions (fractions 3 à 6).

15. Procédé selon la revendication 14, **caractérisé en ce que** la fraction fine passante présente des grains d'une taille inférieure à 20 mm, la fraction résiduelle des grains d'une taille supérieure à 5 mm, la fraction 1 des grains d'une taille inférieure à 10 mm, la fraction 2 des grains d'une taille de 2 mm à 20 mm, la fraction 3 des grains d'une taille de 5 mm à 50 mm, la fraction 4 des grains d'une taille de 15 mm à 70 mm, la fraction 5 des grains d'une taille de 30 mm à 120 mm et la fraction 6 des grains d'une taille supérieure à 60 mm.

16. Procédé selon l'une des revendications 13 à 15, **caractérisé en ce que** la fraction qui présente le plus grand nombre de particules pour le paramètre du tri opto-électronique concerné est expulsée par soufflage.

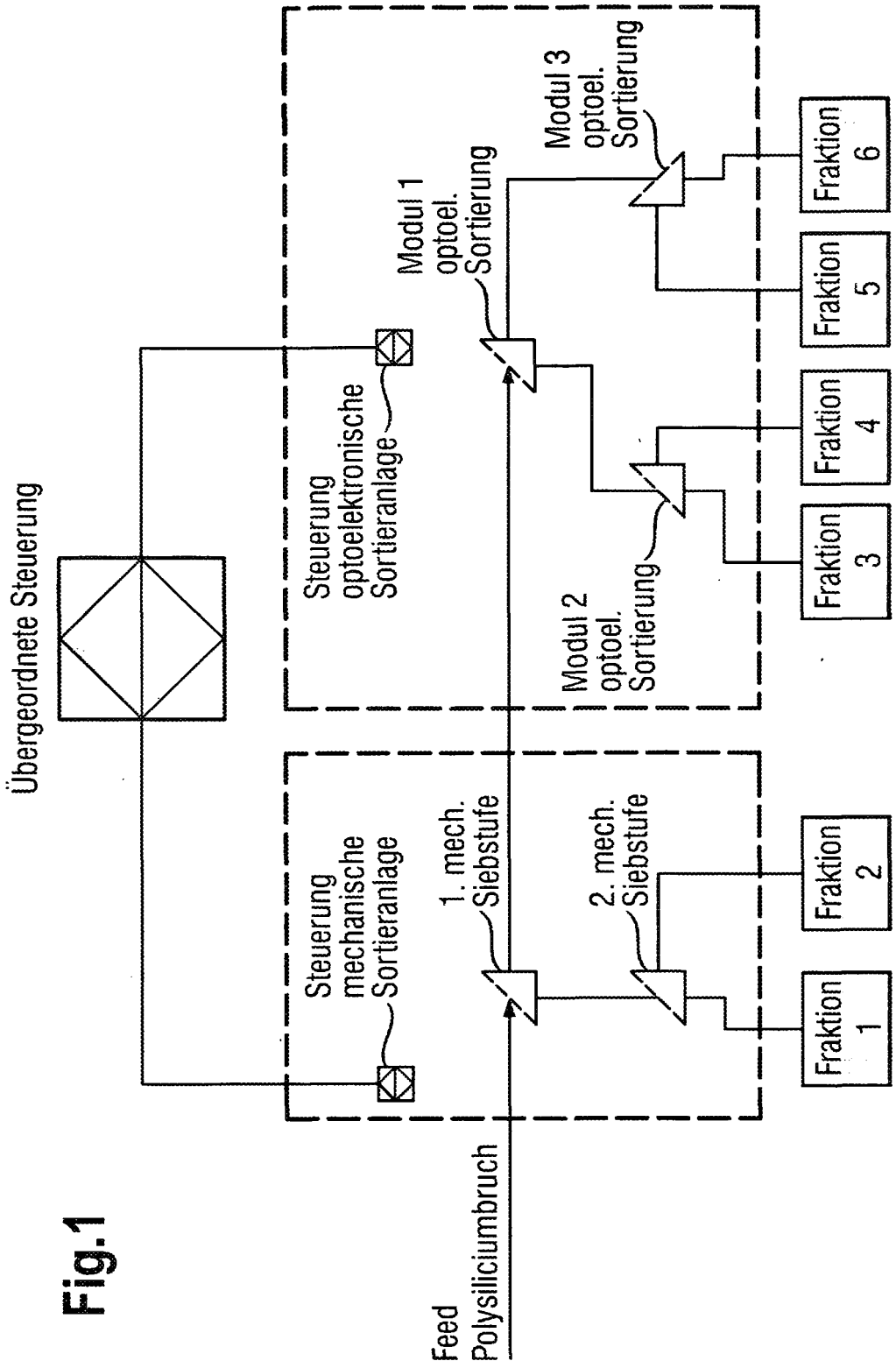

Übergeordnete Steuerung
Steuerung mechanische Sortieranlage
Steuerung optoelektronische Sortieranlage
1. mech. Siebstufe
2. mech. Siebstufe
Modul 1 optoel. Sortierung
Modul 2 optoel. Sortierung
Modul 3 optoel. Sortierung
Feed Polysiliciumbruch
Fraktion 1
Fraktion 2
Fraktion 3
Fraktion 4
Fraktion 5
Fraktion 6

Fig.1

Fig. 2

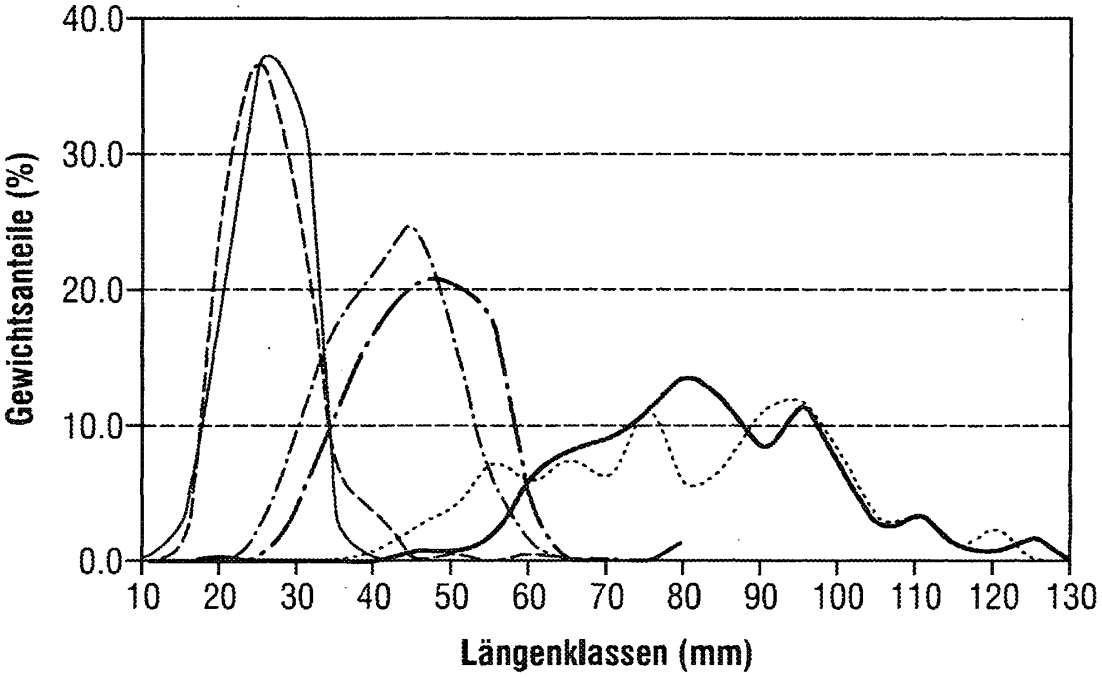
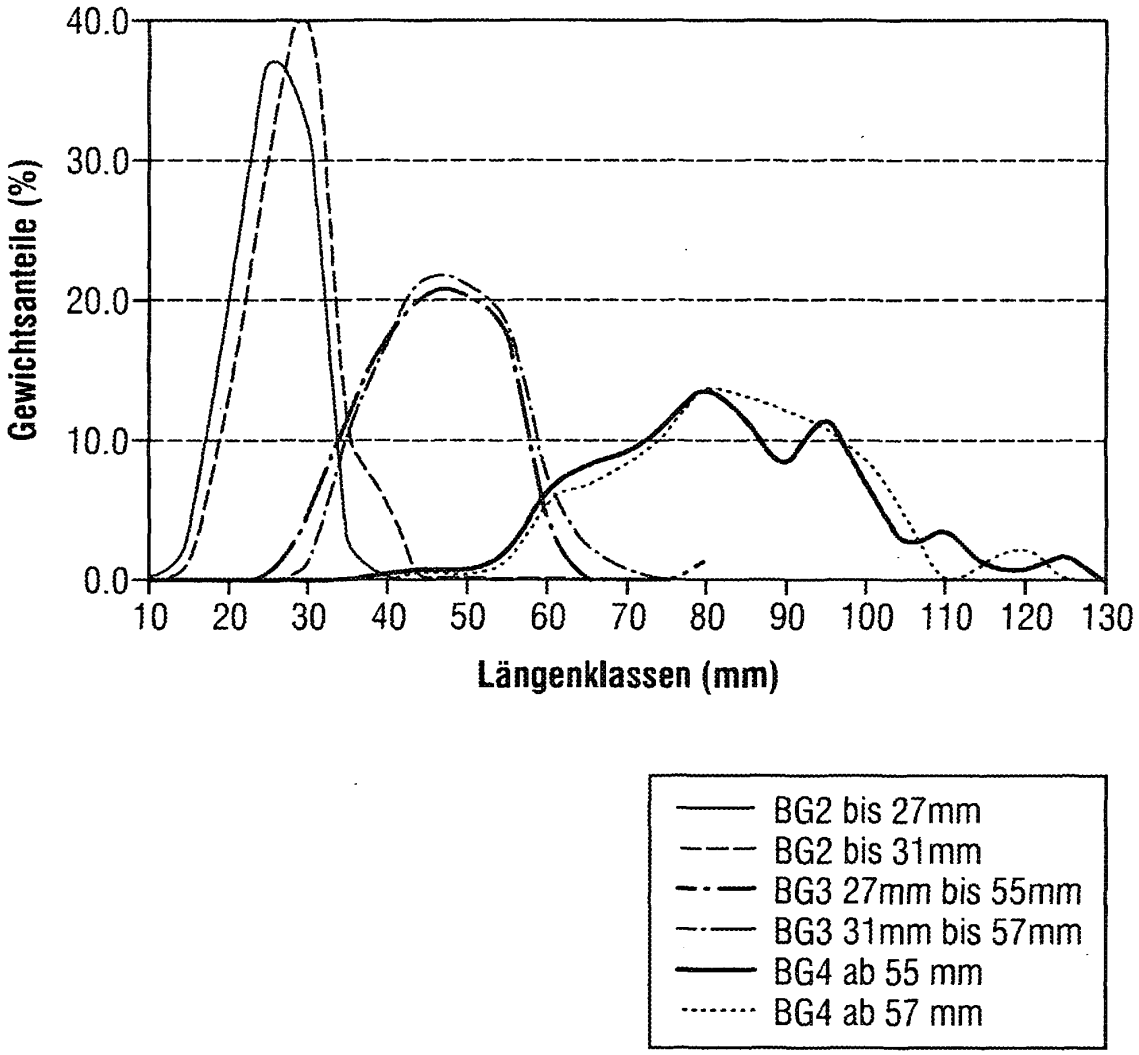

40.0
30.0
20.0
10.0
0.0
Gewichtsanteile (%)
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
Längenklassen (mm)
BG2 bisheriges Verfahren
BG2 Verfahren gemäß Erfindung
BG3 bisheriges Verfahren
BG3 Verfahren gemäß Erfindung
BG4 bisheriges Verfahren
BG4 Verfahren gemäß Erfindung

Fig. 3


40.0
30.0
20.0
10.0
0.0
Gewichtsanteile (%)
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
Längenklassen (mm)
BG2 bis 27mm
BG2 bis 31mm
BG3 27mm bis 55mm
BG3 31mm bis 57mm
BG4 ab 55 mm
BG4 ab 57 mm

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

- EP 1391252 A1 **[0003]**
- US 6874713 B2 **[0003]**
- EP 1338682 A2 **[0003]**
- EP 1553214 A2 **[0003]**
- EP 1043249 B1 **[0003]**
- US 6265683 B1 **[0004] [0014]**
- EP 0876851 A **[0004]**
- US 6040544 A **[0004] [0014]**
- EP 1334907 B **[0044]**