



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 03 131 T2** 2004.05.13

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 085 559 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 03 131.4**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 119 919.9**

(96) Europäischer Anmeldetag: **13.09.2000**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **21.03.2001**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **04.06.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **13.05.2004**

(51) Int Cl.⁷: **C30B 30/00**

C30B 28/10, C22C 38/28

(30) Unionspriorität:

26074299 14.09.1999 JP

2000254017 24.08.2000 JP

(73) Patentinhaber:

Sharp K.K., Osaka, JP

(74) Vertreter:

**Müller - Hoffmann & Partner Patentanwälte, 81667
München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB

(72) Erfinder:

Yoshida, Koji, Minamiwachi-gun, Osaka 583-0992, JP; Yano, Kozaburo, Nabari-shi, Mie 518-0740, JP; Igarashi, Kazuto, Kitakatsuragi-gun, JP; Tsukuda, Yoshihiro, Fujidera-shi, Osaka 583-0023, JP; Mitsuyasu, Hidemi, Kitakatsuragi-gun, Nara 639-2122, JP

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung für die Herstellung polykristalliner Siliziumfolien und Herstellungsverfahren das sie benutzt**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen, bei denen es sich um Materialien für Solarzellen und Anderes verwendbare Siliciumwafer handelt, und sie betrifft ein Herstellungsverfahren unter Verwendung der Vorrichtung.

2. Beschreibung der einschlägigen Technik

[0002] Wafer aus polykristallinem Silicium, wie sie für Solarzellen und dergleichen zu verwenden sind, werden z. B. dadurch hergestellt, dass ein Siliciummaterial hoher Reinheit, zu dem ein Dotierstoff wie Phosphor, Bor oder dergleichen zugesetzt wird, durch Wärme in einer Inertatmosphäre in einem Tiegel geschmolzen wird, die sich ergebende Siliciumschmelze (die nachfolgend der Kürze halber als Schmelze bezeichnet wird) in eine Form gegossen wird, die Schmelze allmählich abgekühlt wird, um einen polykristallinen Barren zu erhalten, und der Barren mit einer Drahtsäge oder einem Innendurchmesserblatt in Scheiben zerschnitten wird, um dadurch gewünschte Wafer zu erhalten (siehe die Veröffentlichung HEI 6(1994)-64913 zu einem ungeprüften japanischen Patent). Da dieses Verfahren einen Scheibenschneidprozess erfordert, tritt ein Schneidverlust entsprechend der Dicke eines Drahts oder einer Innendurchmesserscheibe auf. Dies verringert die Ausbeute der Wafer, und im Ergebnis ist es unmöglich, Wafer billig zu liefern.

[0003] Es wurde auch ein Verfahren zum Herstellen von Siliciumlagen, ohne dass es erforderlich ist, einen Barren in Scheiben zu schneiden, offenbart (siehe die Veröffentlichung Nr. HEI 7(1995)-256624 zu einem ungeprüften japanischen Patent). Gemäß diesem Verfahren wird eine Siliciumschmelze in eine erwärmende, horizontale Form eingespeist. Eine Kohlenstoffplatte wird in horizontaler Richtung bewegt und direkt mit der Schmelze in Kontakt gebracht. Wenn die Schmelze an der Platte anhaftet, wird sie horizontal abgezogen und durch ein Kühlgas gekühlt, das durch einen Gasblasabschnitt eines Kühlsystems ausgeblasen wird. So werden Siliciumlagen kontinuierlich erhalten. Gemäß diesem Verfahren ist es unmöglich, da die Dicke der Siliciumlagen durch eine Dickensteuersplatte kontrolliert wird, die Dicke auf 400 µm oder weniger, wie für Solarzellen benötigt, zu kontrollieren.

[0004] Die Veröffentlichung Nr. HEI 10(1998)-29895 zu einem ungeprüften japanischen Patent offenbart eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen, bei denen eine durch Schmelzen eines Siliciummaterials in einem Heizer in einem Tiegel erhaltene Siliciumschmelze mit einem

rotierenden Kühlelement aus einem wärmebeständigen Material mit einer rotierenden Welle parallel zur Oberfläche der Schmelze in Kontakt gebracht wird, während das rotierende Kühlelement mit flüssigem Stickstoff gekühlt wird, um an der Oberfläche des rotierenden Kühlelements Siliciumkristalle zu züchten, wobei die Siliciumkristalle vom rotierenden Kühlelement abgezogen werden, um eine polykristalline Siliciumlage zu ergeben.

[0005] Kristalle polykristalliner Siliciumlagen, wie sie durch die Vorrichtung und das Verfahren hergestellt wurden, die durch die oben genannte Veröffentlichung Nr. HEI 10(1998)-29895 zu einem ungeprüften japanischen Patent offenbart sind, wachsen mit Säulenform, jedoch ist die Größe der Kristalle nicht genau kontrolliert. Daher ist es erforderlich, der Steuerung der Temperaturverteilung der Schmelze, der Drehzahl des rotierenden Kühlelements und anderen Größen stärkste Aufmerksamkeit zu schenken, um eine hohe Qualität. polykristalliner Siliciumlagen für Solarzellen aufrechtzuerhalten. Wenn sich diese Bedingungen nur geringfügig ändern, zeigen die auf der Oberfläche des Kühlelements wachsenden Kristalle eine Dendritenstruktur mit baumzweigähnlichen, länglichen Kristallen, die für Solarzellen nicht geeignet sind.

[0006] Die oben genannte Veröffentlichung Nr. HEI 10(1998)-29895 zu einem ungeprüften japanischen Patent offenbart in ihrem Anspruch 3 eine Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen, die polykristalline Siliciumlagen auf der Oberfläche eines rotierenden Kühlelements, das mit einer Keramiklage wie einer solchen aus Bornitrid beschichtet ist, dadurch herstellt, dass das rotierende Kühlelement mit einer Siliciumschmelze in Kontakt gebracht wird. Da jedoch die Oberfläche des rotierenden Kühlelements dieser Vorrichtung vollständig mit dem Keramikfilm beschichtet ist, dient die gesamte Oberfläche des rotierenden Kühlelements als Keim für das Kristallwachstum. Demgemäß kann die polykristalline Siliciumlage nicht einfach von der Oberfläche des rotierenden Kühlelements abgezogen werden, d.h., es können keine ausreichenden Abzieheigenschaften erzielt werden, wenn die Lagen kontinuierlich von der Oberfläche des rotierenden Kühlelements abgenommen werden.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0007] Angesichts der oben genannten Probleme ist es eine Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen zu schaffen, die es erlauben, Siliciumkristalle mit guter Form zu züchten, und die auch einfaches Abziehen der polykristallinen Siliciumlagen von der Oberfläche eines Kühlelements erlauben.

[0008] Durch die Erfindung ist eine Vorrichtung zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage mit Folgendem geschaffen: einem Tiegel; einer Heizeinheit zum Erwärmen eines Ausgangsmaterials aus Silici-

um, das in den Tiegel gefüllt wurde; und einer Kühleinheit, die dazu dient, eine Schmelze des Ausgangsmaterials, das durch Erwärmung geschmolzen wurde, mit einer Kühlfläche eines Kühlelements in Kontakt zu bringen, um dadurch eine polykristalline Siliciumlage zu erhalten, in der Siliciumkristalle gewachsen sind; wobei die Kühlfläche des Kühlelements einen Lagenanhaftabschnitt, der als Startpunkt für die Kristallisation von Silicium (d.h. Kristallisations-Züchtungspunkt) dient und das Anhaften der polykristallinen Siliciumlage in Form gezüchteter Kristalle erlaubt, und einen Lagenabziehabschnitt aufweist, um einfaches Abziehen der polykristallinen Siliciumlage zu ermöglichen.

[0009] Der auf der Kühlfläche ausgebildete Lagenanhaftabschnitt dient als Startpunkt für die Kristallisation, um das Wachstum von Siliciumkristallen und das Anhaften der polykristallinen Siliciumlage zu ermöglichen, während die polykristalline Siliciumlage nur schwach oder im Wesentlichen gar nicht am im Rest der Kühlfläche vorhandenen Lagenabziehabschnitt anhaftet. Dadurch ist es möglich, sowohl Anhaftungseigenschaften als auch die Eigenschaft einfaches Abziehen für die sich beim Wachsen von Kristallen bildende polykristalline Lage zu erzielen.

[0010] Anders gesagt, ist es durch Anbringen des Lagenabziehabschnitts, der so schwache Anhaftungskraft zur Lage aufweist, dass er selbst kein wesentliches Lagenanhaftungselement bilden kann, und des Lagenanhaftabschnitts, der über starke Anhaftungskraft zur Lage verfügt und die schwache Anhaftungsfestigkeit des Lagenabziehabschnitts zur Lage kompensieren kann, oder der für die Haftkraft zur Lage verantwortlich ist, in geeigneter Beziehung möglich, eine polykristalline Siliciumlage mit gewünschter Kristallform zu erzielen, die ausgehend vom Lagenanhaftabschnitt als Startpunkt der Kristallisation wächst und auch die erhaltene Lage abzuziehen, ohne dass es erforderlich ist, ein Abziehagens, wie herkömmlich verwendet, zu verwenden.

[0011] Der Unterschied der Haftungskräfte zur polykristalline Siliciumlage zwischen dem Lagenanhaftabschnitt und dem Lagenabziehabschnitt beruht auf ihren verschiedenen Formen und/oder Materialien. Ein optimaler Unterschied der Haftungskräfte kann, um sowohl gutes Haftvermögen als auch einfaches Abziehens der Lage dadurch erzielt werden, dass Bedingungen wie die Temperatur der Ausgangsmaterialschmelze, wenn die Schmelze mit der Kühlfläche in Kontakt gebracht wird, um Siliciumkristalle zu züchten, die Temperatur der Kühlfläche, die Kontaktzeit und dergleichen gesteuert werden.

[0012] Bei einer durch die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen hergestellten polykristallinen Siliciumlage wachsen die Siliciumkristalle in Säulenform ausgehend vom Lagenanhaftabschnitt als Startpunkt der Kristallisation. So ist es möglich, polykristalline Siliciumlagen zu erhalten, wie sie für Solarzellen und dergleichen geeignet sind.

[0013] Ferner ist es möglich, da die sich ergebende polykristalline Siliciumlage leicht von der Kühlfläche abgezogen werden kann, ohne dass ein Abziehagens zu verwenden wäre, polykristalline Siliciumlagen kontinuierlich herzustellen.

[0014] Der Lagenabziehabschnitt bei der Erfindung besteht aus einem Material, das selbst eine relativ schwache Haftkraft zu den polykristallinen Siliciumlagen aufweist. Ein derartiges Material ist vorzugsweise Kohlenstoff, da es wärmebeständig ist und die Kristallisation von Silicium nicht behindert.

[0015] Der Lagenanhaftabschnitt bei der Erfindung weist eine andere Form und/oder ein anderes Material als der Lagenabziehabschnitt auf. Hinsichtlich der Form kann der Lagenabziehabschnitt über Punkte verfügen, die regelmäßig oder zuverlässig auf der Kühlfläche angeordnet sind. Zu Beispielen derartiger Punkte gehören mehrere säulenförmige oder polygonale Warzen mit ebenen oder gewölbten Köpfen oder Seiten, um kleine Flächen für das Wachstum von Kristallen an Oberflächen der Warzen als Startpunkte für die Kristallisation zu bilden.

[0016] Die Köpfe oder die Seiten der in Punkten angeordneten Warzen dienen als Startpunkte für die Kristallisation, und sie erlauben ein Anhaften der erzeugten polykristallinen Siliciumlage.

[0017] Der Lagenanhaftabschnitt kann über eine Oberfläche verfügen, die vorzugsweise 0,1 bis 25%, bevorzugter 1 bis 10% der Kühlfläche belegt. Die Oberfläche der oben genannten Warze kann die Oberfläche ihres Kopfs bedeuten, d.h. die Fläche des auf die Kühlfläche projizierten Bilds der Warze, da die Oberfläche der Seiten der Warze im Vergleich zu der ihres Kopfs vernachlässigbar ist. Wenn die Oberfläche des Lagenanhaftabschnitts kleiner als 0,1% ist, reicht die Haftkraft der polykristallinen Siliciumlage nicht aus, und wenn die Fläche größer als 25% ist, kann die polykristalline Siliciumlage beschädigt werden, wenn sie vom Lagenanhaftabschnitt abgezogen wird.

[0018] Die oben genannten Punkte des Lagenanhaftabschnitts können z. B. einen Durchmesser von 1 bis 500 µm und eine Höhe von 4 bis 100 µm aufweisen, wenn sie über Säulenform verfügen.

[0019] Für das Material der Punkte besteht keine spezielle Beschränkung solange es möglich ist, dass es Wärmebeständigkeit bei Temperaturen über dem Schmelzpunkt von Silicium zeigt und es auf der Kühlfläche leicht in Punkten hergestellt werden kann, jedoch ist es vorzugsweise eine Keramik, da Keramik auf Kohlenstoff leicht geformt werden kann. Für die Kühlfläche wird typischerweise Kohlenstoff verwendet. Die Keramik kann z. B. Siliciumcarbid, Siliciumnitrid und/oder Bornitrid enthalten.

[0020] Bei der Erfindung besteht der Lagenanhaftabschnitt vorzugsweise aus auf der Kühlfläche angeordneten Keramikpunkten. Dies, da davon ausgegangen wird, dass Keramiken Startpunkte für die Kristallisationsvorgänge, die für das Wachstum von Siliciumkristallen geeignet sind, bilden können.

[0021] Die Kühleinheit kann in einem Teil ihrer ebenen Fläche über die Kühlfläche verfügen, oder sie kann ein rotierender Zylinder mit der Kühlfläche am Umfang sein. Wenn die Kühleinheit das Letztere, d.h. ein rotierender Zylinder, ist, können polykristalline Siliciumlagen, kontinuierlich hergestellt werden.

[0022] Gemäß einer anderen Erscheinungsform der Erfindung kann das Kühlelement über mehrere Kühlelementteile mit jeweils einer flachen Kühlfläche verfügen, wobei die Kühlelementteile raupenförmig miteinander verbunden sind und in der Auf-ab-Richtung in Bezug auf den Tiegel auf solche Weise umlaufen, dass eine bis 50 der Kühlflächen der umlaufenden Kühlelemente sequenziell mit der Schmelze in Kontakt treten. Durch diese Konstruktion ist die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Massenherstellung geeigneter, da polykristalline Siliciumlagen kontinuierlich hergestellt werden können. Die Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen mit diesem Typ einer Kühleinheit kann ferner über einen Lagenabziehmechanismus verfügen, der mit mindestens einem Sauggehäuse, das an einem distalen Ende eine poröse Fläche aufweist, die so angeordnet ist, dass sie den Kühlflächen der umlaufenden Kühlelemente zugewandt ist, und einer Vakuumpumpe versehen ist, um dann, wenn das Sauggehäuse der Kühlfläche des Kühlelementteils zugewandt ist, an dem die polykristalline Siliciumlage anhaftet, das Innere des Sauggehäuses von einer proximalen Seite aus absaugt, um die polykristalline Siliciumlage durch Saugkraft auf die poröse Fläche zu übernehmen. Durch diese Konstruktion kann eine effizientere Massenherstellung realisiert werden.

[0023] Diese und andere Aufgaben der Erfindung werden aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung leichter erkennbar.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0024] **Fig. 1** ist eine schematische, geschnittene Seitenansicht zum Veranschaulichen einer Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen;

[0025] **Fig. 2** ist eine Unteransicht einer Kühlfläche eines in der **Fig. 1** dargestellten Kühlelements;

[0026] **Fig. 3** ist eine vergrößerte, geschnittene Teilansicht der Kühlfläche des Kühlelements der **Fig. 2** entlang einer Linie C-C in der **Fig. 2**;

[0027] **Fig. 4** ist eine schematische, geschnittene Seitenansicht zum Veranschaulichen einer anderen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen;

[0028] **Fig. 5** ist eine vergrößerte, geschnittene Seitenansicht eines in der **Fig. 4** dargestellten Kühlelements;

[0029] **Fig. 6** ist eine vergrößerte Seitenansicht des in der **Fig. 4** dargestellten Kühlelements;

[0030] **Fig. 7** ist eine vergrößerte Schnittansicht eines Abschnitts B in der **Fig. 5** zum Veranschaulichen eines Lagenanhaftabschnitts auf der Kühlfläche des

Kühlelements sowie eines Zustands, in dem eine polykristalline Siliciumlage gewachsen ist;

[0031] **Fig. 8** ist eine schematische, geschnittene Seitenansicht zum Veranschaulichen noch einer anderen Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen; und

[0032] **Fig. 9** ist eine perspektivische Teilansicht von in der **Fig. 8** dargestellten Kühlelementteilen.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0033] Nun werden unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **7** Ausführungsformen der Vorrichtungen des Verfahrens zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen gemäß der Erfindung erläutert. Jedoch sind diese Ausführungsformen nicht so auszulegen, dass sie den Schutzbereich der Erfindung beschränken würden.

Erste Ausführungsform

[0034] Die **Fig. 1** zeigt eine Grundstruktur einer Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen gemäß der Erfindung. In der **Fig. 1** verfügt eine Vorrichtung **10** zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen über eine Kammer **7**, einen im Wesentlichen im Zentrum derselben platzierten Tiegel **1** zum Aufnehmen einer Siliciummasse als Ausgangsmaterial, eine Leitung **3** aus rostfreiem Stahl zum Einleiten eines Kühlmittels **2**, eine Kühleinheit **4**, in der die Leitung **3** angeordnet ist und die über dem Tiegel **1** liegt, und einen Heizer **5** als Heizeinheit.

[0035] Die Kammer **5** ist mit einer Quelle (nicht dargestellt) zum Zuführen eines Inertgases wie Helium, Stickstoff und Argon sowie einer Vakuumpumpe (nicht dargestellt) verbunden. Der Tiegel **1** besteht aus Kohlenstoff, und der Heizer **5** ist entlang dem Umfang desselben vorhanden. Der Heizer **5** verfügt über ein Widerstandsheizelement aus Kohlenstoff zum Aufschmelzen der im Tiegel **1** aufgenommenen Siliciummasse durch Wärme, damit sich eine Siliciumschmelze **S1** auf gewünschter Temperatur ergibt, und er verfügt auch über einen Temperaturregelmechanismus.

[0036] Um die Temperatur der Schmelze **S1** streng zu regeln und um mit guter Reproduzierbarkeit eine polykristalline Siliciumlage **S2** zu erhalten, sind vorzugsweise mehrere Heizer **5** installiert. Die Temperatur der Schmelze **S1** entspricht ungefähr 1420°C, das der Schmelzpunkt von Silicium ist, oder sie ist höher. Wenn sich jedoch die Temperatur der Schmelze **S1** nahe am Schmelzpunkt von Silicium befindet, kann die Schmelze **S1** möglicherweise an ihrer Oberfläche erstarren, wenn sie mit der Kühleinheit **4** in Kontakt gelangt. Daher beträgt die Temperatur der Schmelze **S1** vorzugsweise ungefähr 1430°C oder mehr. Die Kühleinheit **4** ist in einem Kohlenstoffzylinder mit einer Kühlfläche **4a** eines Kühlelements an der Unter-

seite ausgebildet. Die Kühlfläche **4a** ist an der Bodenfläche einer Kohlenstoffplatte **8** mit einer rechteckigen Ebene ausgebildet.

[0037] Die Kühleinheit **4** ist mit einer Hubeinrichtung (nicht dargestellt) verbunden, die eine Auf-Ab-Bewegung derselben in der Richtung eines Pfeils A in der Figur ermöglicht.

[0038] Die Leitung **3** gibt ein aus einem Kühlkreislauf (nicht dargestellt) geliefertes Kühlmittel **2** an einer porösen Düse am distalen Ende **3a** zur Kohlenstoffplatte **8** mit der Kühlfläche **4a** aus. Das Kühlmittel **2** läuft zwischen der Außenwand der Leitung **3** und der Innenwand des Zylinders der Kühleinheit **4** durch, und es wird zum Kühlkreislauf herausgeführt.

[0039] Wie es in der Unteransicht der **Fig. 2** und der vergrößerten Schnittansicht der **Fig. 3** entlang einer Linie C-C in der **Fig. 2** dargestellt ist, besteht die Kühlfläche **4a** aus einem Lagenanhaftabschnitt **41**, der als Startpunkt für die Kristallisation von Silicium dient und die Anhaftung einer Lage gezüchteter Kristalle erlaubt, und einem Lagenabziehabschnitt **42** mit einer Fläche, die das Abziehen der Lage erleichtert. Der Lagenanhaftabschnitt **41** besteht aus Punkten eines Keramikmaterials wie Siliciumcarbid, Siliciumnitrid oder Bornitrid mit gleichmäßiger Punktdichte, die durch Anbringen einer Kohlenstoffmaske oder dergleichen am Boden der Kohlenstoffplatte **8** und anschließender Verwendung von thermischem CVD erzeugt wird.

[0040] Der Lagenabziehabschnitt **42** entspricht dem Rest der Kühlfläche **4a**, wo der Lagenanhaftabschnitt **41** nicht ausgebildet ist. Im Lagenabziehabschnitt **42** liegt die Kohlenstoffplatte **8** frei, da sie nicht bedeckt ist, und sie ermöglicht kein leichtes Anhaften der sich ergebenden polykristallinen Siliciumlage.

[0041] Bei dieser Vorrichtung **10** zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen wird die Kühlfläche **4a** für eine bestimmte Zeit in die Schmelze S1 eingetaucht und dann aus dieser herausgezogen, während sie beinahe parallel zur Oberfläche der Schmelze S1 gehalten wird. Demgemäß wird auf der Kühlfläche **4a** eine polykristalline Siliciumlage S2 erhalten. Das Anhaften der polykristallinen Siliciumlage S2 an der Kühlfläche **4a** beruht hauptsächlich auf Punktkontakt, der durch die Punkte des Lagenanhaftabschnitts **41** als Anhaftungspunkten geschaffen wird. Im anderen Teil der Kühlfläche **4a**, d.h. im Lagenabziehabschnitt **42**, ist die Anhaftung der polykristallinen Siliciumlage S2 so schwach, dass die Lage leicht von der Kühlfläche **4a** abgezogen werden kann.

[0042] Dabei zeigen die als Lagenanhaftabschnitt **41** auf der Kohlenstoffplatte **8** ausgebildeten Keramikpunkte eine stärkere Haftungskraft zur Oberfläche derselben, wobei diese Kraft erzeugt wurde, als die Keramikpunkte durch CVD auf der Kohlenstoffplatte **8** hergestellt wurden, auf, als es der Anhaftkraft an die polykristalline Siliciumlage S2 entspricht. Daher löst sich, wenn die polykristalline Siliciumlage S2 von der Kühlfläche **4a** abgezogen wird, der Lagenanhaftabschnitt **41** nicht von der Oberfläche der Kohlen-

stoffplatte **8** ab, und er kann wiederholt genutzt werden.

[0043] Um die polykristalline Siliciumlage S2 von der Kühlfläche **4a** abziehen, wird ein Abziehmechanismus durch Saugkraft mittels einer Vakuumpumpe verwendet, wie es bei einer später beschriebenen Ausführungsform angegeben ist.

[0044] Die erhaltene polykristalline Siliciumlage S2 bildet säulenförmige Kristalle, die ausgehend von den Punkten des Lagenanhaftabschnitts **41** als Startpunkte der Kristallisation wachsen, und ihre Spitzen liegen dort. Demgemäß ist die sich ergebende Lage S2 für Solarzellen und dergleichen geeignet.

[0045] Die Dicke der auf der Kühlfläche **4a** erzeugten polykristallinen Siliciumlage S2 hängt von der Temperatur der Heizers **5**, dem Typ und der Strömungsrate des durch die Leitung **3** fließenden Kühlmittels **2**, der Tiefe, mit der die Kohlenstoffplatte **8** eingetaucht wird und dergleichen ab. Durch geeignetes Kombinieren dieser Bedingungen ist es möglich, eine polykristalline Siliciumlage S2 mit gewünschter Dicke zu erhalten.

Zweite Ausführungsform

[0046] Die **Fig. 4** bis **7** zeigen eine andere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen. Bei der oben genannten ersten Ausführungsform verfügt die Kühleinheit über eine ebene Kühlfläche, jedoch zeigt diese Ausführungsform ein Beispiel für eine Konstruktion, bei der die Kühleinheit ein rotierender Zylinder mit einer Kühlfläche an seinem Umfang ist. Diese Konstruktion ist zur Massenherstellung polykristalliner Siliciumlagen besser geeignet.

[0047] Gemäß der **Fig. 4** verfügt eine Vorrichtung **20** zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen über einen Tiegel **25**, der im Wesentlichen im Zentrum der oben genannten Kammer **7** (nicht dargestellt) zum Aufnehmen einer Schmelze S1 angeordnet ist, eine Kühleinheit **24** mit einem über dem Tiegel **1** angeordneten rotierenden Zylinder **31**, einem Heizer **21** als Heizeinheit, einem Tiegelhubabschnitt **26** zum Anheben und Absenken des Tiegels **25** in Bezug auf die Kühleinheit **24** und einem Aufnahmeabschnitt **27** zum Aufnehmen einer erzeugten polykristallinen Siliciumlage S2. Hier werden hauptsächlich die Kühleinheit **24**, der Tiegelhubabschnitt **26** und der Aufnahmeabschnitt **27** zum Aufnehmen der polykristallinen Siliciumlage S2 erläutert, die andere Konstruktionen als bei der ersten Ausführungsform aufweisen.

[0048] Die **Fig. 5** ist eine Schnittansicht der Kühleinheit **24**. Die Kühleinheit **24** besteht aus einem Halteschaft **33** für ein Kühlelement sowie einem walzenförmigen, rotierenden Zylinder **31**, der am Kühlelement-Halteschaft **33** angebracht ist. Der Kühlelement-Halteschaft **33** ist innerhalb der Kammer **7** (nicht dargestellt) gelagert, und er ist mit einem Motor (nicht dargestellt) für seine Drehung in der Richtung eines Pfeils in der **Fig. 4** verbunden.

[0049] Der rotierende Zylinder **31** besteht aus Kohlenstoff hoher Reinheit, der billig und hinsichtlich der Bearbeitbarkeit hervorragend ist und der an einem Teil größeren Durchmessers des Kühlelement-Halteschafts **33**, der nicht drehbar in Bezug auf diesen ist, angebracht ist. Zu anderen Materialien, wie sie für den rotierenden Zylinder **31** verwendbar sind, gehören wärmebeständige Materialien wie feuerbeständige Keramiken, Siliciumnitrid, Bornitrid und dergleichen.

[0050] Innerhalb des rotierenden Zylinders **31** ist eine Düse **32** zum Auslassen des Kühlmittels mit einer Anzahl von Kühlmittelauslässen **34** vorhanden. Das proximale Ende der Düse **32** ist über eine Kühlmittelleitung **35**, die durch das Innere des Kühlelement-Halteschafts **33** verläuft, mit einem Kühlmittelkreislauf (nicht dargestellt) verbunden.

[0051] Die Düse **32** ist nicht drehbar auf solche Weise am rotierenden Zylinder **31** befestigt, dass das Kühlmittel gleichmäßig mit der gesamten Rückseite der Kühlfläche **24a** in Kontakt gelangt. Die Kühlmittelauslässe **34** sind vorzugsweise radial entlang der axialen Linie der Düse **32** so angeordnet, dass das Kühlmittel gleichmäßig mit der gesamten Rückseite des rotierenden Zylinders **31** in Kontakt gelangt. Wenn jedoch die Kühlmittelauslässe **34** innerhalb eines Teils der in die Schmelze **S1** eingetauchten Kühlfläche **24a** und an einer Position angeordnet sind, die einem Teil unmittelbar vor diesem Teil gegenübersteht, muss das Kühlvermögen des Kühlmittelkreises nicht vergrößert werden.

[0052] Die Kühlfläche **24a** am rotierenden Zylinder **31** besteht aus einem Lagenanhaftabschnitt **41**, der als Startpunkt für die Kristallisation von Silicium dient und das Anhaften einer Lage gewachsener Kristalle erlaubt, und einem Lagenabziehabschnitt **42** mit einer Oberfläche, die das Abziehen der Lage erleichtert, wie es in der Vorderansicht der **Fig. 6** dargestellt ist.

[0053] Die **Fig. 7** ist eine vergrößerte Schnittdansicht eines Teils **B** in der **Fig. 5**. Der Lagenanhaftabschnitt **41** wird in Form von Punkten aus einer Keramik wie Siliciumcarbid, Siliciumnitrid oder Bornitrid mit gleichmäßige Punktdichte dadurch hergestellt, dass eine Kohlenstoffmaske oder dergleichen am Umfang des rotierenden Zylinders **8** aus Kohlenstoff angebracht wird und dann thermische CVD verwendet wird.

[0054] Der Lagenabziehabschnitt **42** bildet den Rest der Kühlfläche **24a**, wo der Lagenanhaftabschnitt **41** nicht ausgebildet ist. Im Lagenabziehabschnitt **42** liegt der rotierende Zylinder **31** aus Kohlenstoff nicht abgedeckt frei, und er erlaubt kein einfaches Anhaften der sich ergebenden polykristallinen Siliciumlage.

[0055] Die Dicke der auf der Kühlfläche **24a** ausgebildeten polykristallinen Siliciumlage **S2** hängt von der Temperatur des Heizers **21**, dem Typ und der Strömungsrate des innerhalb des rotierenden Zylinders **31** fließenden Kühlmittels, der Drehzahl des rotierenden Zylinders **31** und dergleichen ab. Durch geeignete Kombination dieser Bedingungen ist es mög-

lich, eine polykristalline Siliciumlage **S2** mit gewünschter Dicke zu erhalten.

[0056] Die Tiefe, bis zu der der rotierende Zylinder **31** in die Schmelze **S1** eingetaucht wird, wird durch den Tiegelhubabschnitt **26** zum Anheben und Absenken des Tiegels **25** (siehe die **Fig. 4**) eingestellt. Die Dicke der auf der Kühlfläche **24a** erzeugten polykristallinen Siliciumlage **S2** wird auch durch Einstellen dieser Eintauchtiefe kontrolliert.

[0057] Ein Beispiel für eine Hubeinrichtung des Tiegelhubabschnitts **26** kann ein Mechanismus aus einer Kugelspindel und einem Verstellelement sein, das mit der Kugelspindel in Eingriff steht und eine Haltewelle **29** und einen Motor zum Antreiben und Verdrehen der Kugelspindel drehbar lagert.

[0058] Das Zuführen eines zusätzlichen Barrens aus polykristallinem Silicium oder aus Siliciumpulver in sequenzieller Weise kann als Maßnahme zum Aufrechterhalten des Oberflächenpegels der Schmelze **S1** genannt werden.

[0059] Die polykristalline Siliciumlage **S2** aus auf der Kühlfläche **24a** der Kühleinheit **24** gewachsenen Kristallen wird durch Führungsrollen des Aufnahmeabschnitts **27**, in dem mehrere Rollenpaare seriell in der Richtung des Aufnehmens der polykristallinen Siliciumlage **S2** vorhanden sind, aus dem Tiegel **25** entnommen und dann aus der Kammer (nicht dargestellt) heraus transportiert.

[0060] Die polykristalline Siliciumlage **S2** wird unter Verwendung einer Mikroschneideinrichtung, eines YAG-Lasers oder dergleichen auf eine gewünschte Größe (Länge) zugeschnitten. So wird ein Siliciumwafer fertiggestellt.

Dritte Ausführungsform

[0061] Die **Fig. 8** bis **9** zeigen noch eine andere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen. Bei der oben genannten zweiten Ausführungsform ist die Kühleinheit der rotierende Zylinder mit der Kühlfläche an seinem Umfang, jedoch zeigt diese dritte Ausführungsform ein Konstruktionsbeispiel, bei dem die Kühleinheit über Kühlteile mit ebenen Flächen verfügt, die raupenförmig miteinander verbunden sind. Diese Konstruktion ist zur Massenherstellung polykristalliner Siliciumlagen besser geeignet.

[0062] In der **Fig. 8** verfügt eine Vorrichtung **80** zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen über eine Kammer **82**, einen im Wesentlichen im Zentrum derselben platzierten Tiegel **85** zum Aufnehmen einer Schmelze **S1**, eine Kühleinheit **84**, die über dem Tiegel **85** angeordnet ist, einen Heizer **81** als Heizeinheit, einen Tiegelhubabschnitt **86** zum Anheben und Absenken des Tiegels **85**, einen Materialzufuhrabschnitt **87** zum Zuführen eines Ausgangsmaterials für Siliciumkristalle zum Tiegel **85** sowie einen Abziehmechanismus **88** zum Abziehen der sich ergebenden polykristallinen Siliciumlage **S2** von der Kühleinheit **84**. Hierbei werden hauptsächlich die Kühleinheit **84**

und der Abziehabschnitt **88** mit anderen Konstruktionen als bei der ersten und der zweiten Ausführungsform erläutert.

[0063] Wie es in der **Fig. 8** dargestellt ist, besteht die Kühleinheit **84** aus einem Kühlelementband **82** mit mehreren Kühlplatten (Kühlelementteilen) **91**, die raupenförmig miteinander verbunden sind, und einem Paar Kettenräder **23a** und **23b** zum Mitnehmen des Kühlelementbands **72** auf in Auf-Ab-Richtung umlaufende Weise.

[0064] Die **Fig. 9** zeigt die Kühlplatten **91** des Kühlelementbands **92** sowie ihren Verbindungsmechanismus.

[0065] Eine Kühlfläche **91a** auf der Kühlplatte **91** mit im Wesentlichen ebener Fläche besteht aus einem Lagenanhaftabschnitt **95**, der als Startpunkt für die Kristallisation von Silicium dient und das Anhaften einer Lage gewachsener Kristalle erlaubt, und einem Lagenabziehabschnitt **96** mit einer das Abziehen der Lage erleichternden Oberfläche. Der Lagenanhaftabschnitt **95** wird mit Punkten einer Keramik wie Siliciumcarbid, Siliciumnitrid oder Bornitrid mit gleichzeitiger Punktdichte dadurch hergestellt, dass eine Kohlenstoffmaske oder dergleichen auf der Oberfläche der Kühlplatte **91** aus Kohlenstoff angebracht wird und dann thermisches CVD verwendet wird.

[0066] Der Lagenabziehabschnitt **96** bildet den Rest der Oberfläche der Kühlplatte **91**, wo der Lagenanhaftabschnitt **95** nicht ausgebildet ist. Im Lagenabziehabschnitt **96** liegt die Oberfläche der Kühlplatte **91** aus Kohlenstoff nicht bedeckt frei, und sie erlaubt kein einfaches Anhaften der sich ergebenden polykristallinen Siliciumlage.

[0067] Die Kühlplatten **91** sind mittels eines Verbindungselements **97** miteinander verbunden, um das Kühlmittelband **92** in Raupenform zu bilden. Jede der Kühlplatten **91** ist schwenkbar mit Schrauben **98** und Muttern **99** am Verbindungselement **97** befestigt.

[0068] Die in der **Fig. 8** dargestellten Kettenräder **93a** und **93b** können mit dem Kühlelementband **92** in Eingriff treten, und sie bestehen aus Kohlenstoff hoher Reinheit, der billig und hervorragend bearbeitbar ist. Zu anderen Materialien, die für die Kettenräder verwendbar sind, können wärmebeständige Materialien gehören wie feuerbeständige Keramik, Siliciumnitrid, Bornitrid und dergleichen.

[0069] In der Figur ist das obere Kettenrad **93a** mit einem Motor (nicht dargestellt) zum Drehen einer Haltewelle verbunden. Das untere Kettenrad **93b** ist einer Düse zum Auslassen eines Kühlmittels versehen, die über mehrere Kühlmittelauslässe verfügen, wie es bei der zweiten Ausführungsform dargestellt ist. Wenn das Kettenrad **93a** gedreht wird, dreht sich das Kühlmittelband **92** in der Richtung der Pfeile in der Figur, und das Kettenrad **93b** folgt der Drehung des Bands **92**.

[0070] Oberhalb der Kühleinheit **84** ist ein Abziehmechanismus **88** vorhanden. Der Abziehmechanismus **88** besteht aus einem Sauggehäuse **89**, das an seinem distalen Ende über eine poröse Fläche mit ei-

ner Anzahl feiner Unterdrucköffnungen verfügt, und es steht der Oberfläche der Kühlplatte **93** mit einem bestimmten Abstand gegenüber, und mit dem proximalen Ende des Sauggehäuses **89** ist eine Vakuumpumpe (nicht dargestellt) verbunden. Wenn die Vakuumpumpe betrieben wird, nimmt der Abziehmechanismus eine auf der Kühlfläche **91a** der Kühlplatte **91** erzeugte polykristalline Siliciumlage durch Saugkraft mittels des distalen Endes des Sauggehäuses **89** auf.

[0071] Wenn sich bei der Vorrichtung **80** zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage das Kühlmittelband **92** in der Richtung der Pfeile in der Figur dreht, steigt der Tiegelhubabschnitt **86** an und es ist nur die unterste Kühlplatte **91** in der Figur in die Schmelze **S1** eingetaucht, wobei die Kühlfläche **91a** beinahe parallel zur Oberfläche der Schmelze **S1** gehalten wird. Nachdem die Kühlfläche **91a** der Kühlplatte **91** für eine bestimmte Zeit in die Schmelze **S1** eingetaucht wurde, wird die Kühlplatte **91** durch kontinuierliche oder intermittierende Drehung des Kühlmittelbands **92** hoch gezogen. Wenn die Kühlfläche **91a** der Kühlplatte **91** die Position erreicht, an der sie dem distalen Ende des Sauggehäuses **89** des Abziehmechanismus **88** gegenübersteht, wird die Vakuumpumpe angesteuert, und die auf der Kühlfläche **91a** der Kühlplatte **91** hergestellte polykristalline Siliciumlage **S2** wird durch Saugkraft auf das distale Ende des Sauggehäuses **89** übernommen.

[0072] Bei der Vorrichtung **80** zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage kann eine Kühleinheit **84** mit mehreren Kühlelementbändern **92** in der Kammer **82** vorhanden sein. Zum Beispiel kann die Vorrichtung so aufgebaut sein, dass die Kühlmittelbänder **92** von den Kettenrädern **93a** und **93b** parallel in der Richtung der Wellen derselben mitgenommen werden und ein einzelner Tiegel **85** und ein einzelner Abziehmechanismus **88** gemeinsam verwendet werden.

[0073] Die folgenden Bedingungen sind den oben beschriebenen Ausführungsformen 1 bis 3 gemeinsam.

[0074] Die Fläche zum Erzeugen von Punkten, d.h. die Oberfläche der Punkte in Bezug auf die gesamte Fläche der Kühlfläche **4a**, **94a** oder **91a** belegt vorzugsweise 0,1 bis 25% der Gesamtfläche der Kühlfläche **4a**, **24a** oder **91a**, und zwar angesichts ihrer Funktion als Kerne für das Kristallwachstum und die Abzieheigenschaft betreffend die polykristalline Siliciumlage von der Kühlfläche. Die Punkte als Lagenanhaftabschnitt **41** können z. B. einen Durchmesser von 1 bis 500 µm und eine Höhe von 4 bis 100 µm aufweisen.

[0075] Für das an die Kühleinheit **4**, **24** oder **84** gelieferte Kühlmittel **2** besteht keine spezielle Beschränkung auf irgendeinen Typ, jedoch sind Inertgase wie Stickstoff, Helium, Argon und dergleichen bevorzugt. Helium oder ein Gemisch von Helium und Stickstoff kann aus dem Gesichtspunkt des Kühlvermögens bevorzugt sein, während Stickstoff aus dem

Kostengesichtspunkt bevorzugt ist.

[0076] Es ist bevorzugter, dieselbe Art von Gas gemeinsam als in die Kammer **7** eingeleitetes Inertgas und als der Kühleinheit **4**, **24** oder **84** zugeführtes Kühlmittel zu verwenden, da die Atmosphäre in der Kammer **7** nicht verschmutzt wird.

[0077] Die Temperatur der Kühlfläche **4a**, **24a** oder **91a** während der Züchtung von Kristallen wird auf Grundlage der Temperatur der Schmelze **S1** bestimmt, jedoch ist sie vorzugsweise ungefähr 100°C niedriger als der Schmelzpunkt des Ausgangsmaterials für die Siliciumkristalle.

[0078] Nun werden Beispiele für Verfahren zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage unter Verwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen erläutert.

Beispiel 1

[0079] Unter Bezugnahme auf die **Fig. 1** bis **3** wird nun ein Beispiel eines Verfahrens zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage **S1** unter Verwendung der Vorrichtung **10** zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen beschrieben.

[0080] Bevor eine polykristalline Siliciumlage **S2** hergestellt wurde, wurde der Lagenanhaftabschnitt **41** auf der Kühlfläche **4a** hergestellt. Als Erstes wurde eine Maske aus einem Kohlenstofftuch mit einem Öffnungsverhältnis von 5% in Bezug auf die Hauptfläche der die Kühlfläche **4a** bildenden Kohlenstoffplatte hergestellt, und Punkte aus Siliciumcarbid wurden durch thermisches CVD mit gleichmäßiger Punktdichte hergestellt. Die als Lagenanhaftabschnitt **41** hergestellten Punkte wiesen einen Durchmesser von 200 µm und eine Höhe von 30 µm auf.

[0081] Der Lagenabziehabschnitt **42** bildete den Rest der Kühlfläche **4a**, wo der Lagenanhaftabschnitt **41** nicht ausgebildet war und die Kohlenstoffplatte in unbedecktem Zustand frei lag.

[0082] Dann wurde das Innere der Kammer **7** auf eine Inertatmosphäre aus Argon geändert. Bor wurde zu 6,0 kg eines Silicium-Ausgangsmaterials mit einer Reinheit von sechs Neunern, das zum Herstellen von Solarzellen geeignet war, so zugegeben, dass die Borkonzentration $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ betrug, um einen speziellen p-Widerstand zu erzielen, um ein Material für Siliciumkristalle zu erhalten. Dieses Material wurde im Tiegel **1** aus Kohlenstoff untergebracht und durch Erwärmen durch den Heizer **5** in solcher Weise, dass die Temperatur des Tiegels **1** auf 1550°C gehalten wurde, geschmolzen, so dass die Schmelze **S1** erhalten wurde.

[0083] Anschließend wurde, während Stickstoffgas als Kühlmittel **2** durch die Leitung **3** umgewälzt wurde (540 l/Min.) die Kühleinheit **4** aus Kohlenstoff so abgesenkt, dass die Kühlfläche **4a** für drei Sekunden in die Schmelze **S1** eingetaucht wurde, während die Kühlfläche auf einer Tiefe von 4 mm ausgehend von der Oberfläche der Schmelze **S1** gehalten wurde.

[0084] Nach dem Eintauchen wurde die Kühlfläche **4** hochgezogen und aus der Schmelze **S1** herausgenommen. Auf der Kühlfläche **4a** war eine polykristalline Siliciumlage **S2** mit einer Dicke von 600 µm erzeugt. Fünf Sekunden nach der Herausnahme konnte die Lage **S2** leicht abgezogen werden.

[0085] Die erhaltene polykristalline Siliciumlage **S2** wurde unter Verwendung eines üblichen Prozesses zum Herstellen polykristalliner Solarzellen zu einer Solarzelle ausgebildet. Es wurden eine Leerlaufspannung von über 560 mV und ein Füllungsfaktor von über 0,73 gemessen.

Beispiel 2

[0086] Unter Bezugnahme auf die **Fig. 4** bis **7** wird nun ein Beispiel für ein Verfahren zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage **S2** unter Verwendung der Vorrichtung **20** zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen beschrieben.

[0087] Bevor die polykristalline Siliciumlage **S2** hergestellt wurde, wurde der Lagenanhaftabschnitt **41** auf der Kühlfläche **24a** hergestellt. Als Erstes wurde eine Maske aus einem Kohlenstofftuch mit einem Öffnungsverhältnis von 3% in Bezug auf den Umfang des die Kühlfläche **24a** bildenden Kohlenstoffzylinders hergestellt, und Punkte wurden aus Siliciumcarbid durch thermisches CVD mit gleichmäßiger Punktdichte hergestellt. Die als Lagenanhaftabschnitt **41** hergestellten Punkte wiesen einen Durchmesser von 200 µm und eine Höhe von 30 µm auf.

[0088] Der Lagenabziehabschnitt **42** entsprach dem Rest der Kühlfläche **24a**, wo der Lagenanhaftabschnitt **41** nicht ausgebildet war und die Oberfläche des Kohlenstoffzylinders **41** als nicht bedeckt frei lag.

[0089] Dann wurde das Innere der Kammer **7** auf eine Inertatmosphäre von Argon geändert. Bor wurde zu 6 kg eines Silicium-Ausgangsmaterials mit einer Reinheit von sechs Neunern, das zum Herstellen von Solarzellen geeignet war, so zugegeben, dass die Borkonzentration $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ betrug, um einen speziellen p-Widerstand zu erhalten, so dass sich ein Material für Siliciumkristalle ergab. Dieses Material wurde in einem Quarztiegel **25** untergebracht, der durch einen Tiegel aus Kohlenstoff hoher Reinheit geschützt war. Anschließend wurde das Innere der Kammer **7** abgepumpt, und der Druck in der Kammer **7** wurde auf 6,7 mPa (5×10^{-5} Torr) oder niedriger gesenkt. In die Kammer **7** wurde Argongas eingeleitet, um den Atmosphärendruck in der Kammer wiederherzustellen. Danach wurde Argongas mit 10 l/Min. vom oberen Teil der Kammer **7** her eingeleitet.

[0090] Als Nächstes wurde die Temperatur des Heizers **21** auf 1500°C eingestellt. Es wurde eine Schmelze **S1** ohne Feststoffanteil erhalten. Siliciummaterial wurde erneut zugeführt, um den Oberflächenpegel der Schmelze **S1** einzustellen. Die Temperatur des Heizers **21** wurde auf 1430°C eingestellt und für 30 Minuten darauf gehalten, um die Temperatur zu stabilisieren. Dann wurde Stickstoffgas als

Kühlmittel **2** mit einer Strömungsrate von 200 l/Min. in das Innere des rotierenden Zylinders **31** geblasen, um ihn zu kühlen. Der Tiegel wurde vom Tiegelhubabschnitt **26** so angehoben, dass die Kühlfläche **24a** mit einer Tiefe von 4 mm ausgehend von der Oberfläche der Schmelze eingetaucht war. Dann wurde der rotierende Zylinder **31** mit fünf U/Min. gedreht, während die Kühlfläche **24a** für drei Sekunden in die Schmelze S1 eingetaucht war. Die erhaltene polykristalline Siliciumlage S2 wurde durch den Aufnahmeabschnitt **27** entnommen.

[0091] Die erhaltene polykristalline Siliciumlage S2 wies eine Dicke von 400 µm auf, und sie konnte leicht abgezogen werden.

[0092] Die polykristalline Siliciumlage S2 wurde unter Verwendung eines üblichen Prozesses zum Herstellen polykristalline Solarzellen zu einer Solarzelle ausgebildet. Es wurden eine Leerlaufspannung über 562 mV und ein Füllungsfaktor über 0,75 gemessen.

[0093] Beispiel **3** Unter Bezugnahme auf die Fig. 8 bis 9 wird nun ein Beispiel für ein Verfahren zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage S2 unter Verwendung der Vorrichtung 80 zum Herstellen polykristalliner Siliciumlagen beschrieben.

[0094] Bevor die polykristalline Siliciumlage S2 hergestellt wurde, wurde der Lagenanhaftabschnitt **95** auf der Kühlfläche **91a** hergestellt. Als Erstes wurde eine Maske aus einem Kohlenstofftuch mit einem Öffnungsverhältnis von 10% in Bezug auf die Hauptfläche der die Kühlfläche **91a** bildenden Kohlenstoffplatte, und Punkte wurden aus Siliciumcarbid durch thermisches CVD mit gleichmäßiger Punktdichte hergestellt. Die als Lagenanhaftabschnitt **95** hergestellten Punkte wiesen einen Durchmesser von 200 µm und eine Höhe von 30 µm auf.

[0095] Der Lagenabziehabschnitt **96** entsprach dem Rest der Kühlfläche **91a**, wo der Lagenanhaftabschnitt **95** nicht ausgebildet war und die Kohlenstoffplatte als nicht bedeckt frei lag.

[0096] Dann wurde das Innere der Kammer **82** auf eine Inertatmosphäre von Argon geändert. Bor wurde zu 13 kg eines Silicium-Ausgangsmaterials mit einer Reinheit von sechs Neunern, das zum Herstellen von Solarzellen geeignet war, so zugegeben, dass die Borkonzentration $2 \times 10^{16}/\text{cm}^3$ betrug, um einen speziellen p-Widerstand zu erhalten, so dass sich ein Material für Siliciumkristalle ergab. Dieses Material wurde im Tiegel **85** aus Kohlenstoff hoher Reinheit untergebracht. Anschließend wurde das Innere der Kammer **82** abgepumpt, und der Druck in der Kammer **82** wurde auf 4 mPa (3×10^{-4} Torr) oder niedriger gesenkt. In die Kammer **82** wurde Argongas eingeleitet, um den Atmosphärendruck in der Kammer wiederherzustellen. Danach wurde Argongas mit 10 l/Min. vom Seitenteil der Kammer her eingeleitet.

[0097] Als Nächstes wurde die Temperatur des Heizers **81** auf 1500°C eingestellt. Es wurde eine Schmelze S1 ohne Feststoffanteil erhalten. Siliciummaterial wurde erneut zugeführt, um den Oberflächenpegel der Schmelze S1 einzustellen. Die Tem-

peratur des Heizers **81** wurde auf 1430°C eingestellt und für 30 Minuten darauf gehalten, um die Temperatur zu stabilisieren. Dann wurde Stickstoffgas als Kühlmittel **91** mit einer Strömungsrate von 500 l/Min. in das Innere des Kettenrads **93b** geblasen, um ihn zu kühlen. Der Tiegel **85** wurde vom Tiegelhubabschnitt **86** so angehoben, dass die unterste Kühlfläche **91a** mit einer Tiefe von 5 mm ausgehend von der Oberfläche der Schmelze eingetaucht war. In diesem Zustand wurde das Kühlelementband **92** mit einer Drehzahl von 50 cm/Min. in der Richtung der Pfeile der Fig. 8 gedreht. Die auf der Kühlfläche **91a** gewachsene polykristalline Siliciumlage S2 stieg an, als sich das Kühlelementband drehte. Wenn die Kühlfläche **91a** der Kühlplatte **91** die Position erreichte, die dem distalen Ende des Sauggehäuses **89** des Abziehmechanismus **88** gegenüberstand, wurde die Vakuumpumpe angetrieben, damit die polykristalline S2 durch Saugkraft auf das distale Ende des Sauggehäuses **89** übernommen wurde. Danach wurde der Betreiber Vakuumpumpe angehalten und es wurde die polykristalline Siliciumlage S2 entnommen.

[0098] Die erhaltene polykristalline Siliciumlage S2 wies eine Dicke von 350 µm auf, und sie konnte leicht abgezogen werden.

[0099] Die polykristalline Siliciumlage S2 wurde unter Verwendung eines üblichen Prozesses zum Herstellen polykristalline Solarzellen zu einer Solarzelle ausgebildet. Es wurden eine Leerlaufspannung über 570 mV und ein Füllungsfaktor über 0,75 gemessen. [0100] Gemäß der Erfindung dient der auf der Kühlfläche ausgebildete Lagenanhaftabschnitt als Startpunkt für die Kristallisation zur Züchtung von Kristallen, und er erlaubt das Anhaften der gezüchteten polykristallinen Siliciumlage. Auch ist im restlichen Teil der Kühlfläche der Lagenabziehabschnitt vorhanden, an dem das gezüchtete polykristalline Silicium nur schwach oder gar nicht anhaftet. Dadurch ist es möglich, sowohl ein Anhaften der Lage, die sich aus der Züchtung von Kristallen ergab, und ein einfaches Abziehen derselben zu realisieren.

[0101] Demgemäß ist es möglich, eine Lage mit gewünschter Kristallform zu erhalten, die ausgehend vom Lagenanhaftabschnitt als Startpunkt für die Kristallisation wuchs, und das Abziehen der Lage zu erleichtern, ohne dass ein Abziehmittel erforderlich wäre, wie es herkömmlicherweise verwendet wurde.

[0102] Die Kristallform der polykristallinen Siliciumlage entspricht säulenförmigen Kristallen, die ausgehend vom Lagenanhaftabschnitt als Startpunkt für die Kristallisation wachsen, und sie verfügen über Spitzen am Lagenanhaftabschnitt. So ist es möglich, eine polykristalline Siliciumlage zu erhalten, die für Solarzellen und dergleichen geeignet ist.

[0103] Auch kann das Wachstum von Kristallen stabilisiert werden, und polykristalline Siliciumlagen für Solarzellen können in Massen billiger aus einer kleineren Menge von als Ausgangsmaterial verwendetem Silicium, als beim herkömmlichen Gießverfahren verwendet, hergestellt werden.

[0104] Ferner können polykristalline Siliciumlagen hoher Qualität hergestellt werden, da sie ohne die Verwendung von Abziehmitteln von einem Kühlelement abgezogen werden können.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage, mit:

- einem Tiegel (**1**, **25**, **85**);
- einer Heizeinheit (**5**, **21**, **81**) zum Erwärmen eines Ausgangsmaterials aus Silicium (S1), das in den Tiegel gefüllt wurde; und
- einer Kühleinheit (**4**, **24**, **84**), die dazu dient, eine Schmelze des Ausgangsmaterials, das durch Erwärmung geschmolzen wurde, mit einer Kühlfläche eines Kühlelements in Kontakt zu bringen, um dadurch eine polykristalline Siliciumlage (S2) zu erhalten, in der Siliciumkristalle gewachsen sind;

dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlfläche des Kühlelements einen Lagenanhaftabschnitt (**41**), der als Startpunkt für die Kristallisation von Silicium dient und das Anhaften der polykristallinen Siliciumlage in Form gezüchteter Kristalle erlaubt, und einen Lagenabziehabschnitt (**42**) aufweist, um einfaches Abziehen der polykristallinen Siliciumlage zu ermöglichen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, bei der der Lagenanhaftabschnitt (**41**) auf der Kühlfläche angeordnete Punkte aus einer Keramik aufweist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, bei der die Keramik aus Siliciumcarbid, Siliciumnitrid oder Bornitrid besteht.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der der Lagenanhaftabschnitt (**41**) 0,1 bis 25% der Kühlfläche belegt.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Kühleinheit (**24**) einen rotierenden Zylinder (**31**) mit der Kühlfläche an seinem Umfang aufweist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der das Kühlelement mehrere Kühlelementteile mit jeweils einer ebenen Kühlfläche aufweist, die auf Raupenform miteinander verbunden sind, wobei die raupenförmigen Kühlelementteile in der Auf-Ab-Richtung in Bezug auf den Tiegel in solcher Weise umlaufen, dass 1 bis 50 der Kühlelementteile aufeinanderfolgend mit der Schmelze in Kontakt treten.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, ferner mit einem Lagenabziehmechanismus, der mindestens mit einem Sauggehäuse, das an einem distalen Ende eine poröse Fläche aufweist, die so angeordnet ist, dass sie den Kühlflächen der umlaufenden Kühlelementteile zugewandt ist und einer Vakuumpumpe versehen ist, um, wenn das Sauggehäuse der Kühlfläche

zugewandt ist, an der die polykristalline Siliciumlage anhaftet, das Innere des Sauggehäuses von der proximalen Seite her auszusaugen, um die polykristalline Siliciumlage durch Saugkraft auf die poröse Fläche zu übernehmen.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der der Lagenabziehabschnitt (**42**) aus Kohlenstoff besteht.

9. Verfahren zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage (S2) unter Verwendung einer Vorrichtung zum Herstellen einer polykristallinen Siliciumlage, wie sie in einem der Ansprüche 1 bis 8 dargelegt ist.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

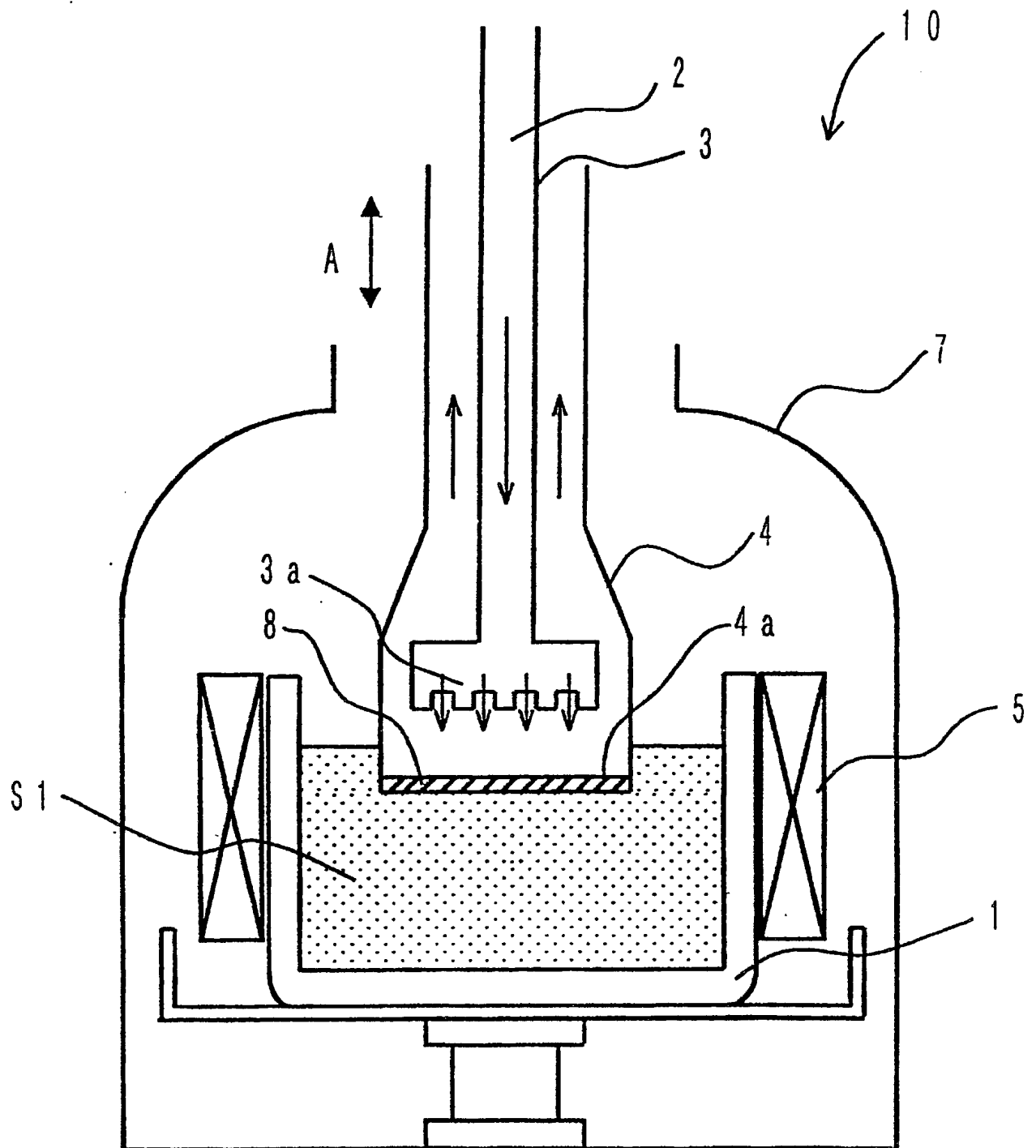


FIG. 2

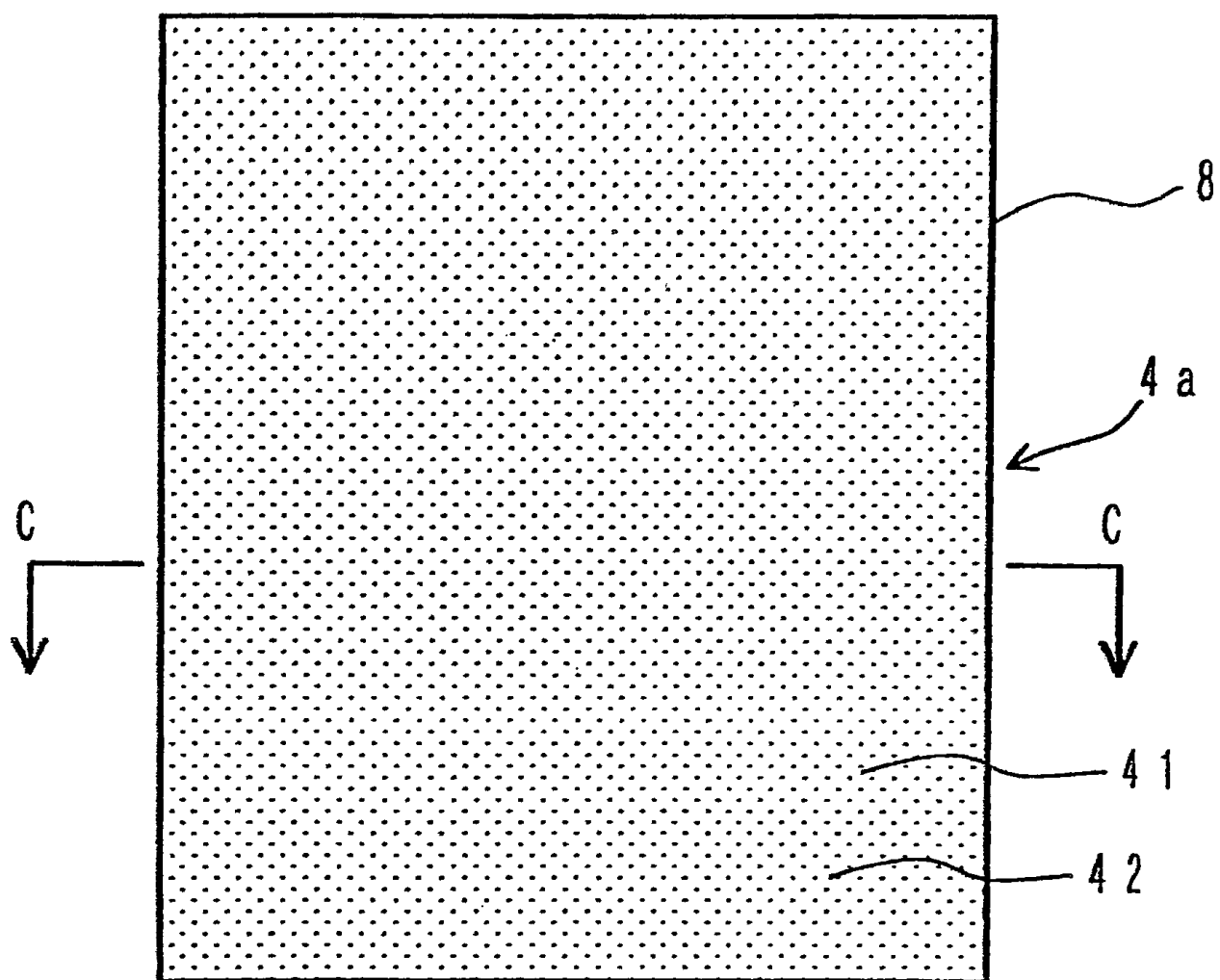


FIG. 3

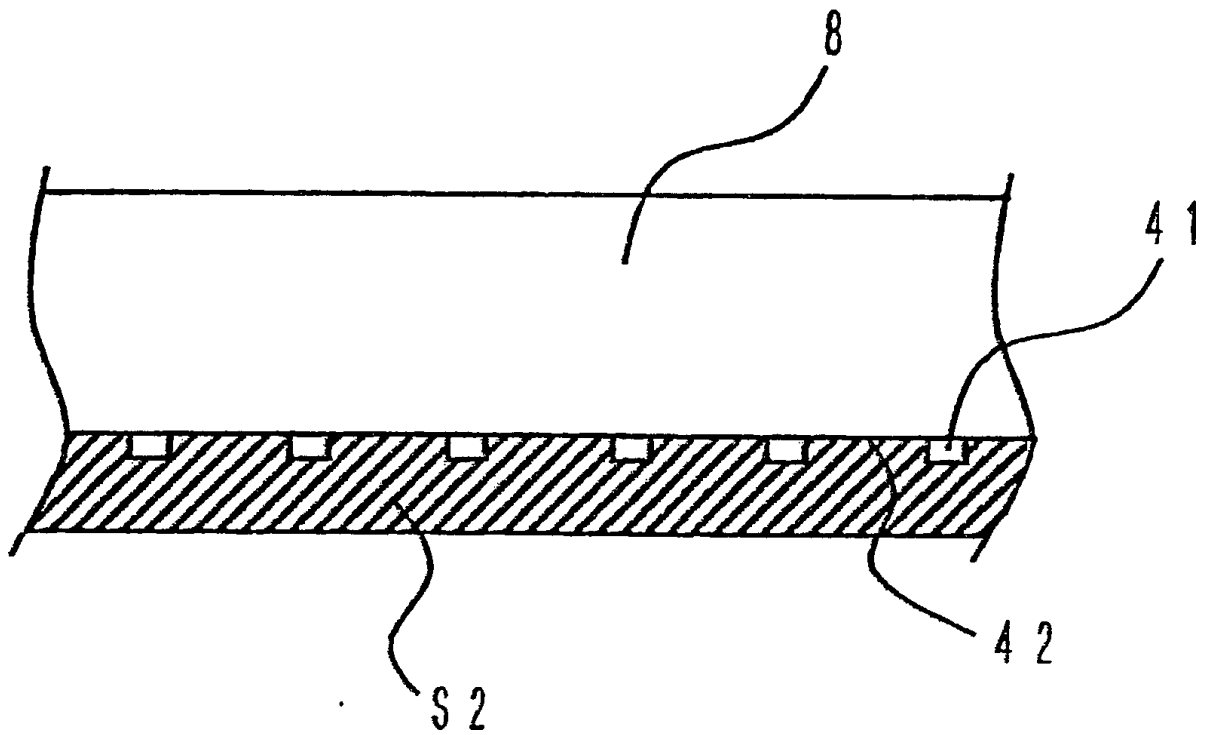


FIG. 4

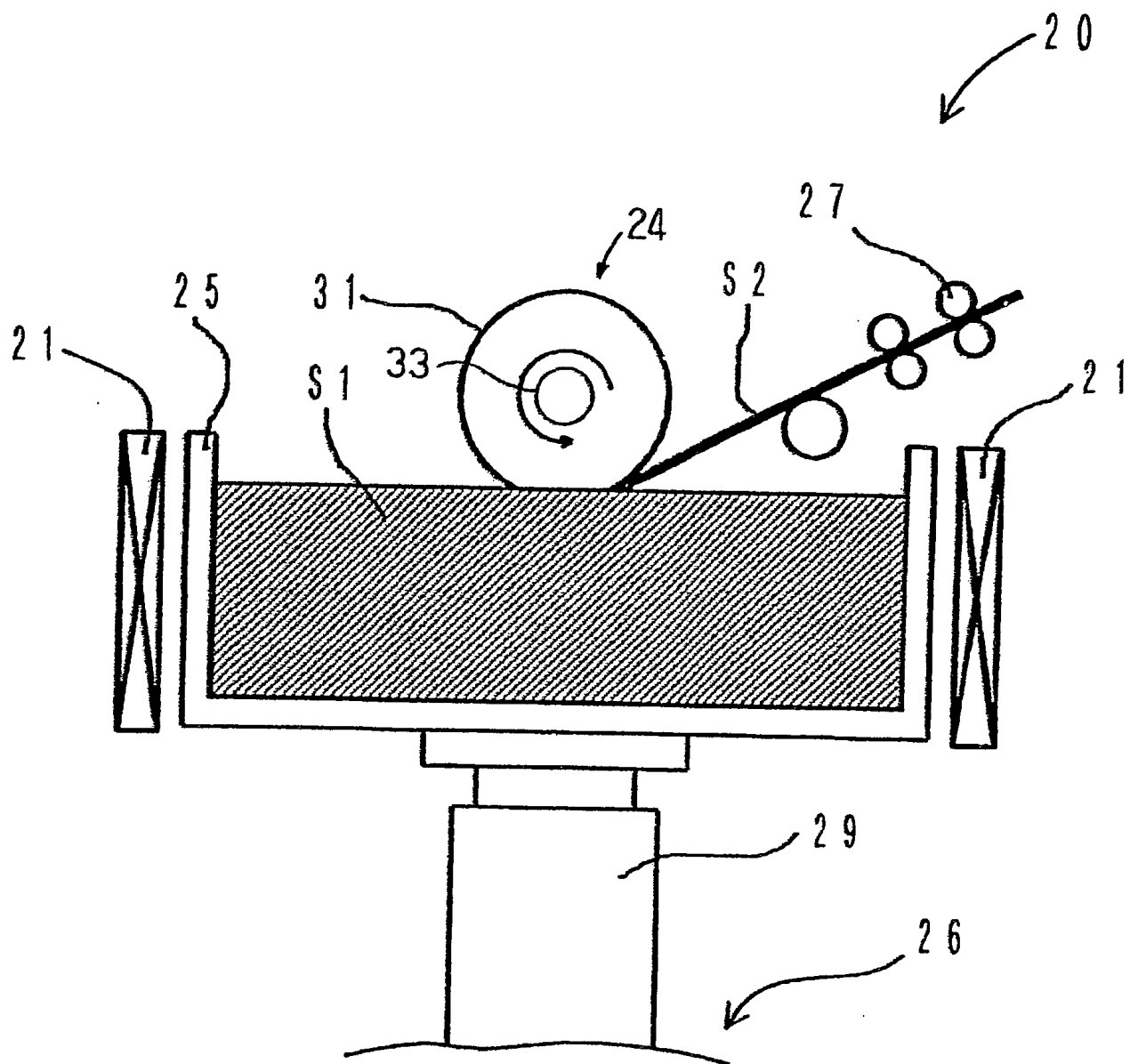


FIG. 5

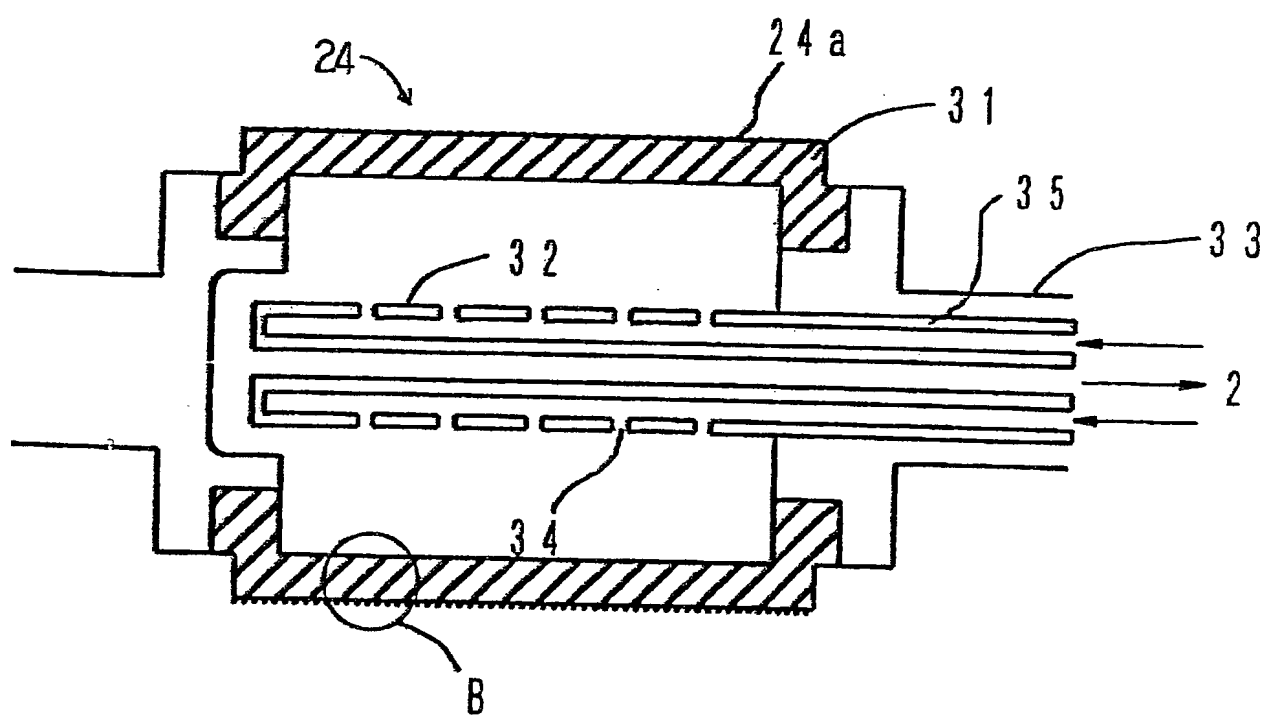


FIG. 6

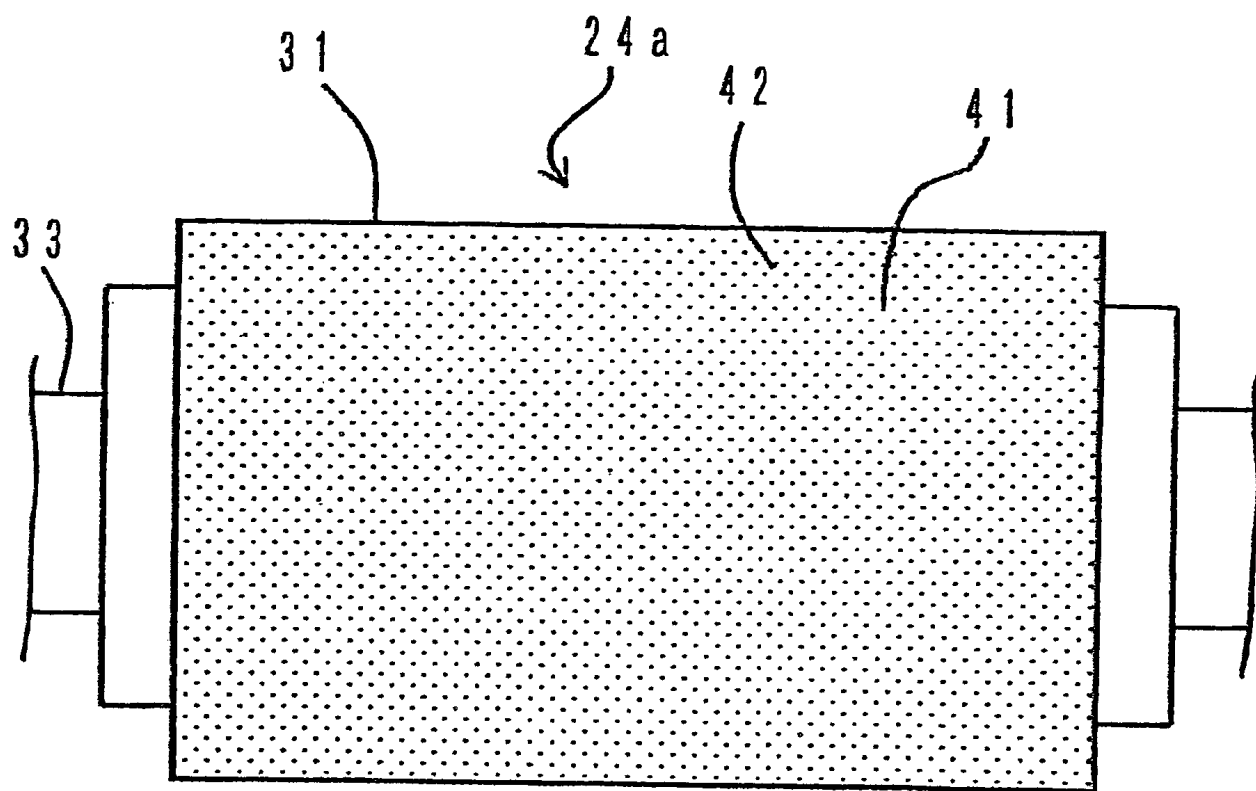


FIG. 7

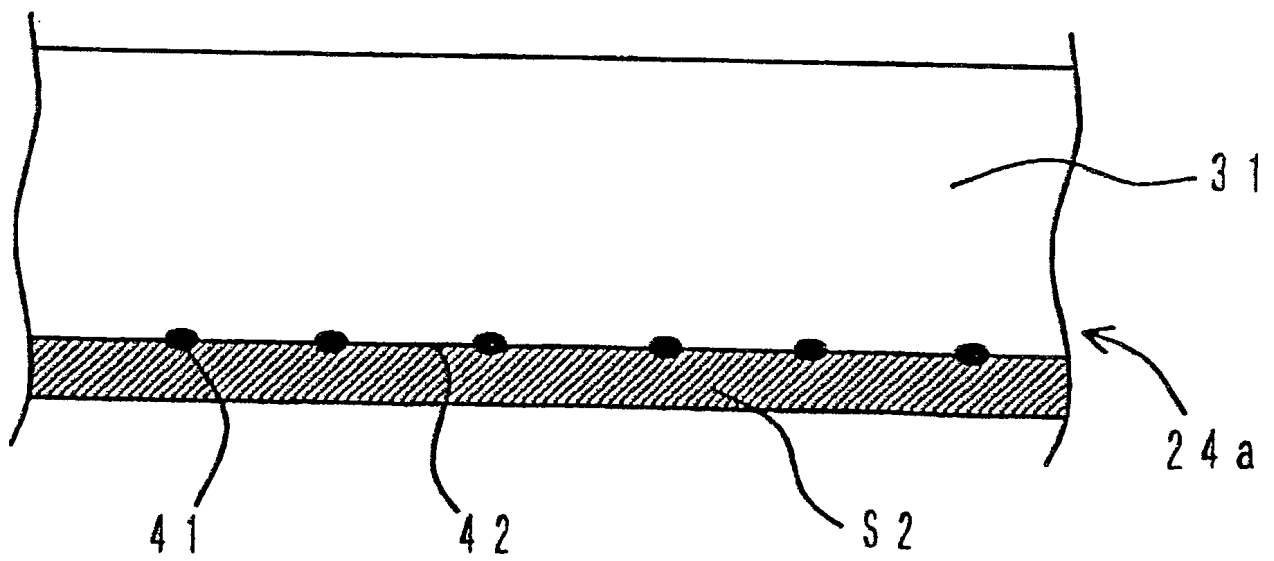


FIG. 8

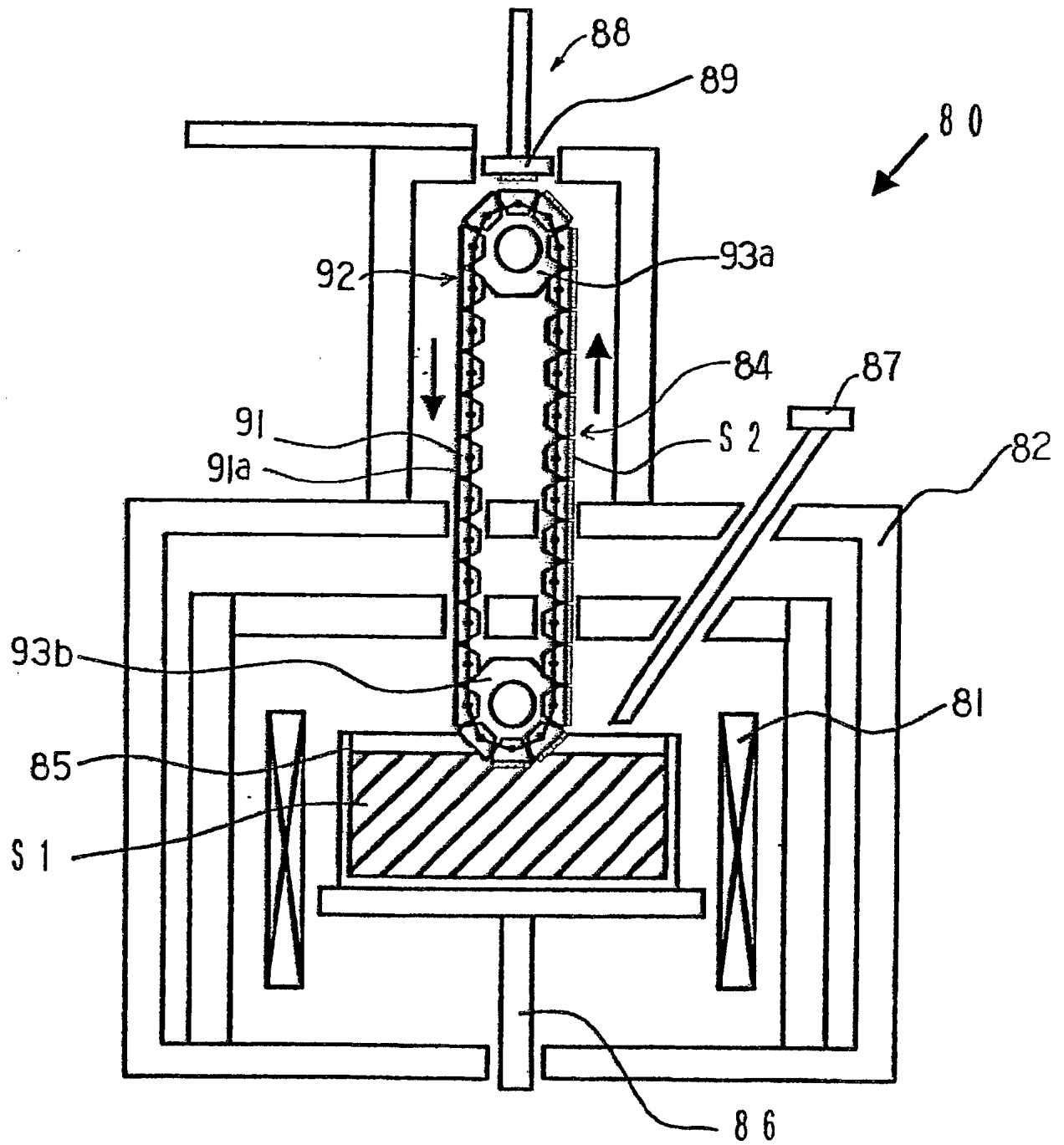


FIG. 9

