

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 51147/2020
(22) Anmeldetag: 29.12.2020
(45) Veröffentlicht am: 15.01.2025

(51) Int. Cl.: **C30B 11/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP S61158888 A
Barber P G et al. "A procedure to visualize the melt-solid interface in Bridgman grown germanium and lead tin telluride" Journal of Crystal Growth 74 (1986) 228-230. [online] [abgerufen am 25.11.2021, abgerufen aus EPOQUE: Datenbank XPESP / ELSEVIER]
KR 20140044544 A
US 2009116019 A1
DE 102016006453 A1
EP 2507416 A1
US 2014123891 A1

(73) Patentinhaber:
FAMETEC GmbH
4060 Leonding (AT)

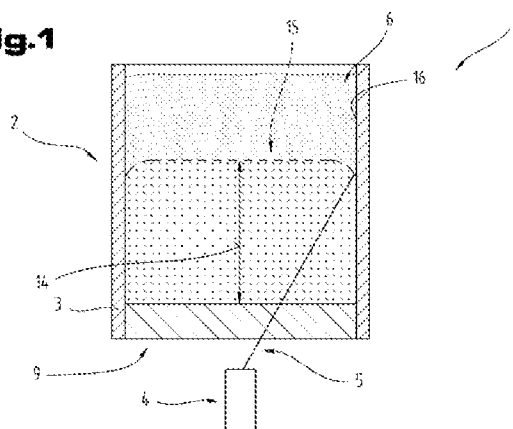
(72) Erfinder:
Barbar Ghassan DI
57290 Neunkirchen (DE)
Ebner Robert Mag.
4060 Leonding (AT)
Park Jong Kwan
4060 Leonding (AT)
Sen Gourav
4060 Leonding (AT)

(74) Vertreter:
Anwälte Burger und Partner Rechtsanwalt
GmbH
4580 Windischgarsten (AT)

(54) Verfahren zur Mitverfolgung des Kristallwachstums eines Einkristalls

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Mitverfolgung des Kristallwachstums eines Einkristalls in einer Vorrichtung (1) zur Herstellung des Einkristalls, wobei der Einkristall durch Aufschmelzen einer Tiegelfüllung (6) aus einem Rohmaterial in einem Tiegel (2) und anschließendes Abkühlen der Schmelze hergestellt wird, wobei mit einem Laserstrahl eine Eigenschaft der Tiegelfüllung (6) bestimmt wird, und wobei der Laserstrahl durch den Boden (9) in die Tiegelfüllung (6) eingestrahlt wird. Der herzustellende Einkristall wird mit einem Außendurchmesser bzw. einer Querschnittsfläche hergestellt wird, der dem Innendurchmesser bzw. der Innengeometrie eines Tiegelmantels (3) entspricht. Als Boden (9) des Tiegels (2) wird zumindest teilweise ein Impfkristall verwendet.

Fig.1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Mitverfolgung des Kristallwachstums eines Einkristalls in einer Vorrichtung zur Herstellung des Einkristalls, wobei der Einkristall durch Aufschmelzen einer Tiegelfüllung aus einem Rohmaterial in einem Tiegel und anschließendes Abkühlen der Schmelze hergestellt wird, und mit einem Strahl eine Eigenschaft der Tiegelfüllung bestimmt wird, und als Strahl elektromagnetische Strahlung eines Laserstrahls durch einen Boden des Tiegels in die Tiegelfüllung eingestrahlt wird.

[0002] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung des Wachstums eines Einkristalls aus einer Tiegelfüllung, die in einem Tiegel enthalten ist.

[0003] Zudem betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Herstellung eines Einkristalls umfassend einen Tiegel zur Aufnahme eines Rohmaterials, aus dem der Einkristall hergestellt wird, und zumindest eine Einrichtung zur Abstrahlung eines Strahls, wobei die Einrichtung zur Abstrahlung des Strahls aus einer elektromagnetischen Strahlung eines Laserstrahls so angeordnet ist, dass der Strahl durch einen Boden des Tiegels in die Tiegelfüllung eingestrahlt wird.

[0004] Die Herstellung von großen Einkristallen, wie sie z.B. zur Herstellung von Wafern eingesetzt werden, ist aus dem Stand der Technik, beispielsweise der KR 10 2017-0026734 A, bekannt.

[0005] Da die Qualitätsanforderungen an diese Kristalle sehr hoch sind, ist es wünschenswert, den Wachstumsprozess mitverfolgen zu können. Um dem Nachzukommen beschreibt z.B. die DE 11 2006 03 772 B2 ein Positionsmessverfahren zum Messen der Oberflächenhöhe einer Schmelze in einem Czochralski-Ofen basierend auf dem Prinzip der Triangulation, bei dem eine Lichtquelle und ein Photodetektor vorgesehen sind, Licht, das von der Lichtquelle emittiert wird, auf die Oberfläche der Schmelze aufgebracht wird und das Licht, das von der Oberfläche der Schmelze reflektiert wird, von dem Photodetektor empfangen wird, wobei das Verfahren ein Positionsmessverfahren ist zum Messen der Flächenhöhe der Schmelze zwischen einem Element in dem Czochralski-Ofen und einem Einkristall ist.

[0006] Aus der DE 11 2008 002 065 T5 ist ebenfalls ein Verfahren zum Messen eines Flüssigkeitspegels in einer Einkristallziehvorrichtung, die ein Czochralski-Verfahren verwendet, bekannt, bei dem in einem Czochralski-Ofen, der mit einem Wärmeschild, der einen Umfang eines aufziehenden Einkristalls aus einer Rohmaterialschmelze, das in einem Tiegel gehalten wird, umgibt, versehen ist, und einen Rand an seinem unteren Ende hat, wobei ein Laserstrahl durch eine Laserstrahlquelle auf die Schmelzfläche gerichtet wird, der auf der Schmelzfläche reflektierte Laserstrahl aufgefangen wird und der Flüssigkeitspegel der Schmelzfläche basierend auf dem Prinzip der Triangulation gemessen wird.

[0007] Die EP 2 659 031 B1 beschreibt ein System zur Vermessung eines Kristalls während des Kristallwachstums, wobei dieses System umfasst: eine erste Kamera, die so konfiguriert ist, dass sie ein erstes Bild des Kristalls während des Wachstums in einer ersten Bildebene aufnimmt; eine zweite Kamera, die so konfiguriert ist, dass sie ein zweites Bild des Kristalls während des Wachstums in einer zweiten Bildebene aufnimmt; und eine Vorrichtung, die zur Kommunikation mit dieser ersten Kamera und mit dieser zweiten Kamera gekoppelt ist, und die programmiert ist um ein mathematisches Modell eines Kristalls während des Kristallwachstums zu generieren, wobei das mathematische Modell eine Vielzahl von Modell-Bezugspunkten einschließlich eines ersten Modell-Bezugspunkts umfasst; wenigstens ein Kristallwachstums-Merkmal innerhalb des ersten Bildes und des zweiten Bildes zu ermitteln; einen ersten Abweichungswert festzustellen durch Vergleich des mathematischen Modells mit dem Kristallwachstums-Merkmal in dem ersten Bild, und einen zweiten Abweichungswert festzustellen durch Vergleich des mathematischen Modells mit dem Kristallwachstums-Merkmal in dem zweiten Bild; und aus dem mathematischen Modell, und basierend auf dem festgestellten ersten Abweichungswert und dem festgestellten zweiten Abweichungswert, einen geschätzten Messwert zu generieren, der mit dem wenigstens einen Kristallwachstums-Merkmal assoziiert ist.

[0008] Die EP 0 315 572 B1 beschreibt eine Vorrichtung zum Messen des Durchmessers einer einkristallinen Stange, die durch das Czochralski-Verfahren hergestellt wird, mit folgenden Merkmalen: eine Bildsensoreinrichtung, die an der Wand einer Kammer befestigt ist, die einen Schmelzriegel aufnimmt, wobei diese Bildsensoreinrichtung ein Bild der einkristallinen Stange bilden kann; eine Schmelzenoberflächenausgangspegel-Meßeinrichtung, die zum Messen des Ausgangspegels der Schmelzenoberfläche einer Schmelze in dem Schmelzriegel bestimmt ist; eine Schmelzenoberflächenmomentanpegel-Meßeinrichtung, die den momentanen Pegel der Schmelzenoberfläche während des Wachstums der einkristallinen Stange bestimmt, indem sie Gebrauch macht von dem Betrag der Anhebung der einkristallinen Stange, der Größe des Schmelzriegels und der vertikalen Verschiebung des Schmelzriegels; eine Temperaturfühlereinrichtung, die die Temperatur in der Kammer erfassen kann; eine Korrekturereinrichtung zur Korrektur des Schmelzenoberflächenpegels während des Wachstums der einkristallinen Stange gemäß einer Temperaturänderung der Kammer, die durch die Temperaturfühlereinrichtung erfasst wird; und eine Durchmessermeßeinrichtung zur Bestimmung des Bilddurchmessers der einkristallinen Stange an der Schmelzenoberfläche durch rechnerische Verarbeitung des Ausgangssignal von der Bildsensoreinrichtung und zur Bestimmung des momentanen Durchmessers der einkristallinen Stange an der Schmelzenoberfläche aus der Differenz zwischen dem korrigierten Schmelzenoberflächenpegel und dem Schmelzenoberflächen-Ausgangspegel.

[0009] Die JP S61-158888 A beschreibt ein Verfahren zur Herstellung von Einkristallen. Es werden dabei für die Kristallzuchtanlage teilweise Werkstoffe aus einem röntgenstrahlendurchlässigen Material eingesetzt. Röntgenstrahlen werden in den wachsenden Einkristall eingestrahlt, um eine Beugungs-Röntgenstrahlstärke oder ein Reflexions-Röntgenstrahlmuster zu erhalten. Basierend auf den erhaltenen Ergebnissen werden die Wachstumsbedingungen des Kristalls angepasst.

[0010] Aus Barber P G et al. "A procedure to visualize the melt-solid interface in Bridgman grown germanium and lead tin telluride" Journal of Crystal Growth 74 (1986) 228-230, ist ein Verfahren zum Beobachten der Grenzschicht zwischen Kristall und Schmelze während des Kristallwachstums mittels Röntgenstrahlen bekannt.

[0011] Die KR 10-2014-0044544 A beschreibt eine Vorrichtung zum Züchten von Saphir-Einkristallen umfassend einen Tiegel, wobei der Impfkristall einen Teil des Bodens ausbildet.

[0012] Schwabe et al. "An experimental and numerical effort to simulate the interface deflection of YAG" Journal of Crystal Growth, Vol. 265, Issue 3-4, Seiten 440-452, 1. Mai 2004 offenbart ein Verfahren zur Mitverfolgung des Kristallwachstums eines Einkristalls in einer Vorrichtung zur Herstellung des Einkristalls, wobei der Einkristall durch Aufschmelzen einer Tiegelfüllung aus einem Rohmaterial in einem Tiegel und anschließendes Abkühlen der Schmelze durch Kontakt mit einem Wärmetauscher hergestellt wird, wobei mit einem Laserstrahl eine Eigenschaft der Tiegelfüllung bestimmt wird, nämlich die Bewegung der Schmelze, wobei der Strahl durch den Tiegel in die Tiegelfüllung eingestrahlt wird.

[0013] Grujic K. et al. In Situ Monitoring of Growth Interfaces: A Review of Noninvasive Methods. JOM 64, 96-101 offenbart nicht-invasive Messverfahren zur Lokalisierung der Wachstumsgrenze zur Mitverfolgung des Kristallwachstums von Einkristallen. Die Techniken basieren unter anderem auf Ultraschall.

[0014] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, eine Möglichkeit zur Mitverfolgung der Züchtung eines Einkristalls anzugeben und gegebenenfalls der Einflussnahme auf Züchtung des Einkristalls nehmen zu können.

[0015] Die Aufgabe der Erfindung wird mit dem eingangs genannten Verfahren gelöst, nach dem vorgesehen ist, dass der herzustellende Einkristall mit einem Außendurchmesser bzw. einer Querschnittsfläche hergestellt wird, der dem Innendurchmesser bzw. der Innengeometrie eines Tiegelmantels entspricht und als Boden des Tiegels zumindest teilweise ein Impfkristall verwendet wird.

[0016] Weiter wird die Aufgabe der Erfindung mit dem Verfahren zur Steuerung und/oder Rege-

lung gelöst, nach dem vorgesehen ist, dass zumindest eine Eigenschaft der Tiegelfüllung entsprechend einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Mitverfolgung des Kristallwachstums bestimmt wird, und dass anhand dieses Messwertes gegebenenfalls zumindest ein Parameter der Herstellverfahrens des Einkristalls, wie insbesondere die Temperaturführung und/oder die Atmosphäre und/oder der Druck, verändert wird.

[0017] Zudem wird die Aufgabe der Erfindung mit der eingangs genannten Vorrichtung gelöst, bei der als Boden des Tiegels zumindest teilweise ein Impfkristall verwendet wird.

[0018] Von Vorteil ist dabei, dass durch die Einstrahlung der elektromagnetischen Strahlung durch den Tiegel der Raum oberhalb des Tiegels frei bleibt für andere Einrichtungen eines Ofens, wie insbesondere von Heizelementen. Diese wiederum erlaubt das Verfahren und die Vorrichtung auch für die Herstellung von Einkristallen anzuwenden, die nicht nach dem Czochralski-Verfahren arbeiten, sondern bei denen die Einkristallzüchtung ausschließlich im Tiegel erfolgt, der Einkristall also nicht aus dem Tiegel herausgezogen wird. Darüber hinaus kann damit das optische System, das die Einrichtung zur Abgabe der elektromagnetischen Strahlung und/oder weitere Komponenten dieser Einrichtung, wie beispielsweise elektronische Komponenten, besser vor der heißen Schmelze geschützt werden.

[0019] Der Strahl aus der elektromagnetischen Strahlung wird durch einen Boden des Tiegels in die Tiegelfüllung eingestrahlt. Die Einstrahlung durch den Boden des Tiegels hat den Vorteil, dass bei Bedarf der gesamte Querschnitt der Tiegelfüllung einfacher mit dem Strahl aus der elektromagnetischen Strahlung erreichbar ist, sodass der Bereich, der mit dem Strahl erfasst werden soll, einfacher veränderbar ist.

[0020] Als Boden des Tiegels wird zumindest teilweise ein Impfkristall verwendet. Insbesondere kann dabei vorgesehen sein, dass der Boden des Tiegels zumindest teilweise aus einem Impfkristall gebildet ist, aus dem der Einkristall hergestellt wird. Besonders bei durchsichtigen Einkristallen, wie beispielsweise Saphiren, kann damit die Einstrahlung der elektromagnetischen Strahlung durch den Boden des Tiegels, ohne weitere Maßnahmen treffen zu müssen, vereinfacht werden. Der Impfkristall kann zwischen 90 % und 100 % des Bodens des Tiegels bilden.

[0021] Als Strahl aus der elektromagnetischen Strahlung wird ein Laserstrahl verwendet. Durch die sehr geringe Streuung der elektromagnetischen Strahlung des Laser in den Bereichen, in denen nicht gemessen werden soll, kann damit die Genauigkeit des Messergebnisses verbessert werden.

[0022] Nach weiteren Ausführungsvarianten der Erfindung kann vorgesehen sein, dass als Eigenschaft der Tiegelfüllung die Höhe an bereits erstarrter Schmelze bestimmt wird und/oder dass die Zunahme der Höhe der bereits erstarrten Schmelze erfasst wird. Es kann damit unter Berücksichtigung der vergangenen Prozessdauer unmittelbar auf die Geschwindigkeit der Verfestigung der Schmelze und damit auf die Qualität des Einkristalls rückgeschlossen werden, da mit längerer Zeit der Kristallisation die Atome mehr Zeit haben, ihre richtigen Plätze im Kristallgitter einzunehmen, womit Kristallisationsfehler reduziert werden können.

[0023] Bevorzugt wird dabei gemäß einer Ausführungsvariante eine Veränderung des Strahls aus dem Laserstrahl am Interface zwischen der Schmelze und der bereits erstarrten Schmelze erfasst, da am Übergang fest-flüssig die Umlenkung des Strahls relativ einfach mit hoher Genauigkeit gemessen werden kann.

[0024] Nach einer weiteren Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass der Tiegel in einem Ofen angeordnet wird und dass der Strahl aus dem Laserstrahl von außerhalb des Ofens in diesen eingestrahlt wird, wofür gemäß einer Ausführungsvariante der Vorrichtung der Tiegel in einem Ofen angeordnet ist, und die Einrichtung zur Abstrahlung des Strahls aus der Laserstrahlung außerhalb des Ofens angeordnet ist. Mit diesen Ausführungsvarianten kann die Einrichtung zur Abstrahlung des Strahls aus der Laserstrahlung besser vor dem Einfluss des heißen Tiegels geschützt werden, womit deren Integration in das Gesamtsystem der Einkristallzüchtungsanlage, die die Vorrichtung zur Herstellung eines Einkristalls umfasst oder die daraus besteht, vereinfacht werden kann.

[0025] Gemäß einer anderen Ausführungsvariante der Erfindung kann vorgesehen sein, dass im Ofen mehrere Tiegel angeordnet werden bzw. sind, und dass in zumindest mehrere der Tiegel der Strahl aus der elektromagnetischen Strahlung des Laserstrahls eingestrahlt wird bzw. einstrahlbar ist. Es ist damit eine weitere Vereinfachung des Gesamtsystems erreichbar.

[0026] Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

[0027] Es zeigen jeweils in vereinfachter, schematischer Darstellung:

[0028] Fig. 1 eine erste Ausführungsvariante einer Vorrichtung zur Herstellung eines Einkristalls;

[0029] Fig. 2 eine zweite Ausführungsvariante einer Vorrichtung zur Herstellung eines Einkristalls;

[0030] Fig. 3 eine weitere Ausführungsvariante einer Vorrichtung zur Herstellung eines Einkristalls;

[0031] Fig. 4 eine andere Ausführungsvariante einer Vorrichtung zur Herstellung eines Einkristalls.

[0032] Einführend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

[0033] In Fig. 1 ist eine Vorrichtung 1 zur Herstellung eines Einkristalls vereinfacht dargestellt. Die Vorrichtung 1 umfasst einen Tiegel 2, in den ein Rohmaterial eingefüllt wird. Das Rohmaterial richtet sich dabei nach dem herzustellenden Einkristall. Beispielsweise besteht es aus Al_2O_3 wenn ein Saphir als Einkristall hergestellt werden soll. Es kann aber auch aus SiC, etc., bestehen.

[0034] Der herzustellende Einkristall weist einen Außendurchmesser bzw. eine Querschnittsfläche auf, der dem Innendurchmesser bzw. der Innengeometrie eines Tiegelmantels 3 entspricht. Somit füllt der entstehende Einkristall die Querschnittsfläche des Tiegels 2 zur Gänze aus. Der Einkristall wird also nicht aus dem Tiegel gezogen. Der fertige Einkristall kann beispielsweise einen Durchmesser zwischen 5 cm und 50 cm und eine Höhe zwischen 5 cm und 80 cm aufweisen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass diese Werte der Veranschaulichung dienen und den Schutzzumfang nicht beschränkend verstanden werden sollen.

[0035] Die Vorrichtung 1 umfasst weiter eine Einrichtung 4 zur Abstrahlung eines Strahls 5 aus einer elektromagnetischen Strahlung.

[0036] Es sei an dieser Stelle der Vollständigkeit halber erwähnt, dass die Vorrichtung 1 noch weitere Elemente umfasst, wie z.B. eine Heizeinrichtung, eine Steuer- und/oder Regeleinheit, etc. Da diese aber dem Stand der Technik entsprechen können, wird in dieser Beschreibung nicht weiter darauf eingegangen, sondern an den hierfür einschlägigen Stand der Technik verwiesen.

[0037] Die Einrichtung 4 zur Abgabe des Strahls 5 aus der elektromagnetischen Strahlung ist ein Laser, der Strahl 5 also eine Laserstrahl. Insbesondere kann der Laser zur Abgabe eine Laserstrahlung mit einer Frequenz ausgebildet sein, die ausgewählt ist aus einem Bereich von 400 nm bis 1.000 nm, insbesondere aus einem Bereich von 500 nm bis 800 nm.

[0038] Anders als im Stand der Technik wird der Strahl 5 nicht auf die Oberfläche einer Tiegeelfüllung 6 gerichtet, sondern wird durch den Tiegel 5 in die Tiegeelfüllung 6 eingestrahlt.

[0039] Je nach verwendeter Einrichtung 4 kann der Strahl 5 direkt durch den Tiegel 2 ohne weitere Maßnahmen eingestrahlt werden, also durch das Material, aus dem der Tiegel 2 besteht, beispielsweise Molybdän. Es ist aber auch möglich, dass der Strahl 5 in einen Tiegel 2 einge-

strahlt wird, der zumindest einen Bereich aufweist, der für den Laserstrahl durchgängig (gemacht worden) ist, wie dies in Fig. 2 dargestellt ist. Beispielsweise kann ein Boden 9 zumindest ein Fenster 8 aufweisen, durch das der Strahl 5 in die Tiegelfüllung 6 eingestrahlt wird, das aus einem Material, z.B. Beryllium, einem fluorithaltigen Kristall, ZnSe besteht, das für die Laserstrahlung durchlässig ist.

[0040] In Fig. 2 ist noch eine weitere Ausführungsvariante der Vorrichtung 1 dargestellt. Dabei mit dem Tiegel 3 eine Leitung 10 verbunden. Die Leitung 10 kann mit dem Boden 9 des Tiegels 3 verbunden sein, und dazu beispielsweise mit einem Ende in einer Ausnehmung im Boden 9 bzw. in einem Durchbruch durch den Boden 9 angeordnet sein. Es ist damit möglich, dass die Laserstrahlung nicht berührungslos in die Tiegelfüllung 6 eingestrahlt wird, sondern bis zum Tiegel 2 in der Leitung 10 geführt wird.

[0041] Der Boden 9 des Tiegels ist zumindest teilweise aus einem Impfkristall gebildet, insbesondere aus einem Impfkristall, der aus dem Material besteht, aus dem der Einkristall hergestellt wird, wie diese in Fig. 1 dargestellt ist. Vorzugsweise besteht der gesamte Boden 9 bzw. zumindest 90 % des Bodens 9 des Tiegels 2 aus dem Impfkristall. Dies hat den Vorteil, dass zwischen dem Impfkristall und dem aufgewachsenen Einkristall keine wesentliche Eigenschaftsänderung vorhanden ist, die den Strahl 5 beeinflusst.

[0042] Wie bereits voranstehend ausgeführt, weist die Vorrichtung 1 neben dem Tiegel 2 und der Einrichtung 4 weitere Elemente auf. So umfasst die Vorrichtung 1 auch einen Ofen 11, in dem der Tiegel 2 angeordnet ist, wie dies aus Fig. 3 ersichtlich ist. Im Ofen 11 sind mehrere Heizelemente 12 neben und/oder oberhalb des Tiegels 2 angeordnet, mit deren Hilfe die Tiegelfüllung 6 aus dem festen in den schmelzflüssigen Zustand überführt wird. Nach einer weiteren Ausführungsvariante der Vorrichtung 1 kann dabei vorgesehen sein, dass die Einrichtung 4 zur Abstrahlung des Strahls 5 aus der elektromagnetischen Strahlung außerhalb des Ofens 11 angeordnet ist. Für den Durchtritt des Strahls 5 durch die Ofenwand kann ein entsprechendes Fester 13 vorgesehen sein oder es kann auch bei dieser Ausführungsvariante eine Leitung vorgesehen werden, die durch die Ofenwand in das Innere des Ofens 11 geführt ist, und mit der der Strahl 5 in den Ofen eingebracht wird. Die Leitung kann gegebenenfalls bis zum Tiegel 2 oder in den Tiegelmantel 3 geführt sein.

[0043] Eine weitere Ausführungsvariante der Vorrichtung 1 ist in Fig. 4 dargestellt, wobei wiederum nicht die gesamte Vorrichtung 1 dargestellt ist. Die Vorrichtung 1 umfasst dabei neben der Einrichtung 4 zur Abstrahlung der elektromagnetischen Strahlung mehrere Tiegel 2. Im konkreten Fall sind drei Tiegel 2 dargestellt. Die Vorrichtung 1 kann aber auch nur zwei oder mehr als drei, beispielsweise bis zu zehn, Tiegel 2 aufweisen.

[0044] Bei dieser Ausführungsvariante der Vorrichtung 1 ist nun vorgesehen, dass mit nur einer einzigen Einrichtung 4 zur Abstrahlung der elektromagnetischen Strahlung mehrere Tiegel 2, insbesondere alle Tiegel 2, erreicht werden, sodass also der Strahl 5 aus der Einrichtung 4 in zumindest mehrere Tiegel 2, insbesondere alle Tiegel 2, einstrahlbar ist. Die Einrichtung 4 kann dazu z.B. zentrisch unterhalb der Tiegel 2 angeordnet sein, wobei die Tiegel 2 am Umfang eines Kreises angeordnet sein können.

[0045] Die Einstrahlung des Strahls 5 in die Tiegel 2 kann gleichzeitig erfolgen, wofür ein Strahlteiler angeordnet sein kann. Die Tiegel 2 können aber auch nacheinander mit dem Strahl 5 beaufschlagt werden, wofür die Vorrichtung 1 eine entsprechende Umlenkeinrichtung, beispielsweise einen Spiegel, der drehbar in einer oder zwei Raumrichtungen gelagert ist, aufweisen kann.

[0046] Mit der Vorrichtung 1 ist ein Verfahren zur Mitverfolgung des Kristallwachstums eines Einkristalls in der Vorrichtung 1 durchführbar, wobei der Einkristall durch Aufschmelzen der Tiegelfüllung 6 aus einem Rohmaterial in dem Tiegel 2 und anschließendes Abkühlen der Schmelze hergestellt wird. Dabei wird mit dem Strahl 5 aus der Laserstrahlung eine Eigenschaft der Tiegelfüllung 6 bestimmt, wofür dieser Strahl 5 durch den Boden 9 des Tiegels 2, der bevorzugt als Impfkristall ausgebildet ist, in die Tiegelfüllung 6 eingestrahlt wird. Der Impfkristall besteht dabei bevorzugt aus dem Material, aus dem auch der Einkristall besteht. Der Impfkristall kann aber

auch aus einem anderen Material bestehen.

[0047] Prinzipiell kann jede geeignete Eigenschaft der Tiegelfüllung 6 bestimmt werden, mit der auf das Kristallwachstum geschlossen werden kann. In der bevorzugten Ausführungsvariante der Erfindung wird aber die als Eigenschaft der Tiegelfüllung 6 eine Höhe 14 an bereits erstarrter Schmelze bestimmt, wie dies in Fig. 1 angedeutet ist. In weiterer Folge kann nicht nur die Höhe 14 an bereits erstarrter Schmelze an sich bestimmt werden, sondern auch die Zunahme der Höhe 14 der bereits erstarrten Schmelze (= Dickenzunahme des Einkristalls) erfasst werden. Dies kann z.B. durch Vergleich von zumindest zwei Messwerten von verschiedenen Zeitpunkten erfolgen. Für die Berechnung kann die Vorrichtung 1 auch eine entsprechende Recheneinheit aufweisen, die gegebenenfalls Teil eine Regel- und/oder Steuereinrichtung der Vorrichtung 1 sein kann.

[0048] Gemäß der bevorzugten Ausführungsvariante erfolgt die Bestimmung der Eigenschaft, insbesondere der Höhe an festem Material im Tiegel 2, am Interface 15 zwischen der Schmelze und der bereits erstarrten Schmelze, wie dies in Fig. 1 angedeutet ist. Der Messpunkt kann dabei anschließend an eine innere Oberfläche des Tiegelmantels 3 oder an einem andern Punkt im Verlauf des Interfaces 15 erfolgen.

[0049] Zur Detektion der Änderung der Eigenschaft der Tiegelfüllung weist die Vorrichtung 1 zumindest einen nicht weiter dargestellten Empfänger auf, auf den der durch die gemessene Eigenschaft abgelenkte Strahl 5 geleitet wird.

[0050] Der Empfänger kann z.B. eine Fotodiode oder ein CCD-Chip, etc. sein. Da derartige Empfänger für Strahlung an sich bekannt sind, sind weitere Ausführungen dazu nicht erforderlich.

[0051] Um die Änderung der Eigenschaft über die Zeit mitverfolgen zu können, insbesondere die Dickenzunahme des Einkristalls, ist es möglich, über die Höhe des Tiegels 2 mehrere Empfänger vorzusehen. Alternativ oder zusätzlich dazu kann auch vorgesehen werden, dass der Strahl 5 mit einer entsprechenden Ablenkeinrichtung abgelenkt wird, beispielsweise einem Prisma oder einem Spiegel. Es ist damit möglich, mit dem Strahl 5 einen Höhenbereich des Tiegels 2 oder die gesamte Tiegelhöhe abzutasten. Die Verwendung eines Höhenbereichs, also eines Teils der gesamten Tiegelhöhe, hat den Vorteil, dass die Messzeit verkürzt werden kann. Anhand des Messwerts bzw. des Wertes der Auswertung, also der Höhe 14 des festen Materials oder der Dickenzunahme an festem Material im Tiegel 2 kann der Messbereich, d.h. die Höhe, die mit dem Strahl 5 abgetastet wird, bestimmt und dem Fortschreiten des Interfaces 15 entsprechend angepasst verändert werden.

[0052] Mit der Vorrichtung 1 ist es aber nicht nur möglich, die Eigenschaft der Tiegelfüllung an sich zu bestimmen. Es kann damit auch ein Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung des Wachstums des Einkristalls aus der Tiegelfüllung 6, die in einem Tiegel 2 enthalten ist, durchgeführt werden. Dazu wird die Eigenschaft der Tiegelfüllung 6 mit einem voranstehend beschriebenen Verfahren bestimmt. Anhand dieses Messwertes kann dann in Abhängigkeit von einem Soll-Ist Vergleich gegebenenfalls zumindest ein Parameter der Herstellverfahrens des Einkristalls, wie insbesondere die Temperaturführung und/oder die Atmosphäre und/oder der Druck, verändert werden. Dies kann beispielsweise erforderlich sein, wenn der Einkristall zu schnell wächst.

[0053] Neben der Messung einer Eigenschaft der Tiegelfüllung 6 kann der Strahl 5 aus der Einrichtung 4 gegebenenfalls auch dazu verwendet werden, allfällig in der Schmelze oder am Interface 15 vorhandenen Blasen/Störstellen zu detektieren und gegebenenfalls zu zerstören. Dazu wird vorzugsweise eine energiereiche elektromagnetische Strahlung eingesetzt, vorzugsweise eine Laserstrahlung.

[0054] Die in den Fig. 1 bis 4 dargestellten Vorrichtungen 1 sind gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsformen, wobei für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die detaillierte Beschreibung zu dem jeweiligen Teil hingewiesen bzw. darauf Bezug genommen.

[0055] Es sei darauf hingewiesen, dass in einer Vorrichtung 1 zur Herstellung eines Einkristalls auch mehrere Tiegel 2 angeordnet werden können, um damit mehrere Einkristalle gleichzeitig herstellen zu können. Für die weiteren Tiegel 2, die in der Vorrichtung 1 angeordnet werden kön-

nen, können voranstehende Ausführungen entsprechend angewandt werden.

[0056] Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus die Vorrichtung 1 nicht zwingenderweise maßstäblich dargestellt ist.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Vorrichtung
- 2 Tiegel
- 3 Tiegelmantel
- 4 Einrichtung
- 5 Strahl
- 6 Tiegelfüllung
- 7 Seitenwand
- 8 Fenster
- 9 Boden
- 10 Leitung
- 11 Ofen
- 12 Heizelement
- 13 Fenster
- 14 Höhe
- 15 Interface
- 16 Oberfläche

Patentansprüche

1. Verfahren zur Mitverfolgung des Kristallwachstums eines Einkristalls in einer Vorrichtung (1) zur Herstellung des Einkristalls, wobei der Einkristall durch Aufschmelzen einer Tiegelfüllung (6) aus einem Rohmaterial in einem Tiegel (2) und anschließendes Abkühlen der Schmelze hergestellt wird, wobei mit einem Strahl (5) eine Eigenschaft der Tiegelfüllung (6) bestimmt wird, und als Strahl (5) elektromagnetische Strahlung eines Laserstrahls durch einen Boden (9) des Tiegels (2) in die Tiegelfüllung (6) eingestrahlt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass der herzustellende Einkristall mit einem Außendurchmesser bzw. einer Querschnittsfläche hergestellt wird, der dem Innendurchmesser bzw. der Innengeometrie eines Tiegelmantels (3) entspricht und dass als Boden (9) des Tiegels (2) zumindest teilweise ein Impfkristall verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Impfkristall zwischen 90 % und 100 % des Bodens (9) des Tiegels (2) bildet.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Eigenschaft der Tiegelfüllung (6) die Höhe (14) an bereits erstarrter Schmelze bestimmt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Zunahme der Höhe (14) der bereits erstarrten Schmelze erfasst wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Veränderung des Strahls (5) aus dem Laserstrahl am Interface (15) zwischen der Schmelze und der bereits erstarrten Schmelze erfasst wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Tiegel (2) in einem Ofen (11) angeordnet wird und dass der Strahl (5) aus dem Laserstrahl von außerhalb des Ofens (11) in diesen eingestrahlt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Ofen (1) mehrere Tiegel (2) angeordnet werden, und dass in zumindest mehrere der Tiegel (2) der Strahl (5) aus der elektromagnetischen Strahlung des Laserstrahls oder der mechanischen Schwingung eingestrahlt wird.
8. Verfahren zur Steuerung und/oder Regelung des Wachstums eines Einkristalls aus einer Tiegelfüllung (6), die in einem Tiegel (2) enthalten ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest eine Eigenschaft der Tiegelfüllung (6) entsprechend einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche bestimmt wird, und dass anhand dieses Messwertes gegebenenfalls zumindest ein Parameter der Herstellverfahrens des Einkristalls, wie insbesondere die Temperaturführung und/oder die Atmosphäre und/oder der Druck, verändert wird.
9. Vorrichtung (1) zur Herstellung eines Einkristalls umfassend einen Tiegel (1) zur Aufnahme eines Rohmaterials aus dem der Einkristall hergestellt wird, und zumindest eine Einrichtung (4) zur Abstrahlung eines Strahls (5), wobei die Einrichtung (4) zur Abstrahlung des Strahls (5) aus einer elektromagnetischen Strahlung eines Laserstrahls so angeordnet ist, dass der Strahl (5) durch einen Boden (9) des Tiegels (2) in die Tiegelfüllung (6) eingestrahlt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Boden (9) des Tiegels (2) zumindest teilweise ein Impfkristall verwendet wird.
10. Vorrichtung (1) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Boden (9) des Tiegels (2) zumindest teilweise aus einem Impfkristall gebildet ist, der aus dem Material besteht, aus dem der Einkristall hergestellt wird.
11. Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Tiegel (2) in einem Ofen (11) angeordnet ist, und dass die Einrichtung (4) zur Abstrahlung des Strahls (5) der Laserstrahlung außerhalb des Ofens (11) angeordnet ist.

12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass in dem Ofen (11) mehrere Tiegel (2) angeordnet sind und dass der Strahl (5) aus der Einrichtung (4) zur Abstrahlung des Laserstrahls in zumindest mehrere Tiegel (2) einstrahlbar ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

Fig.1

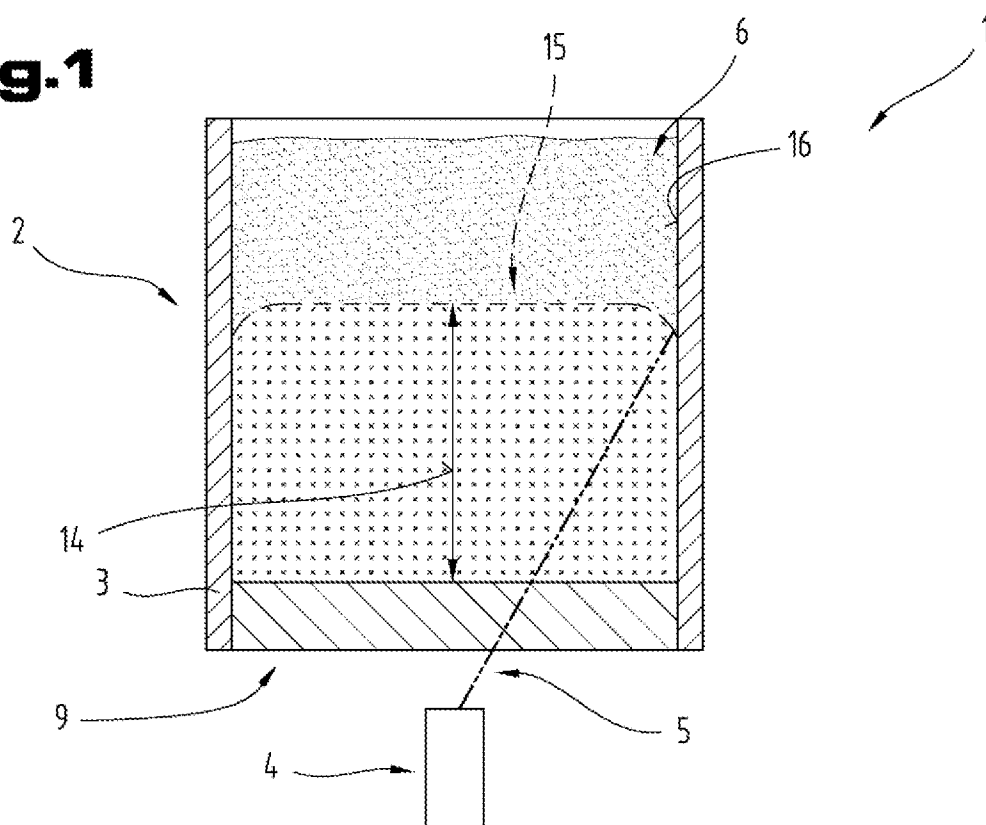


Fig.2

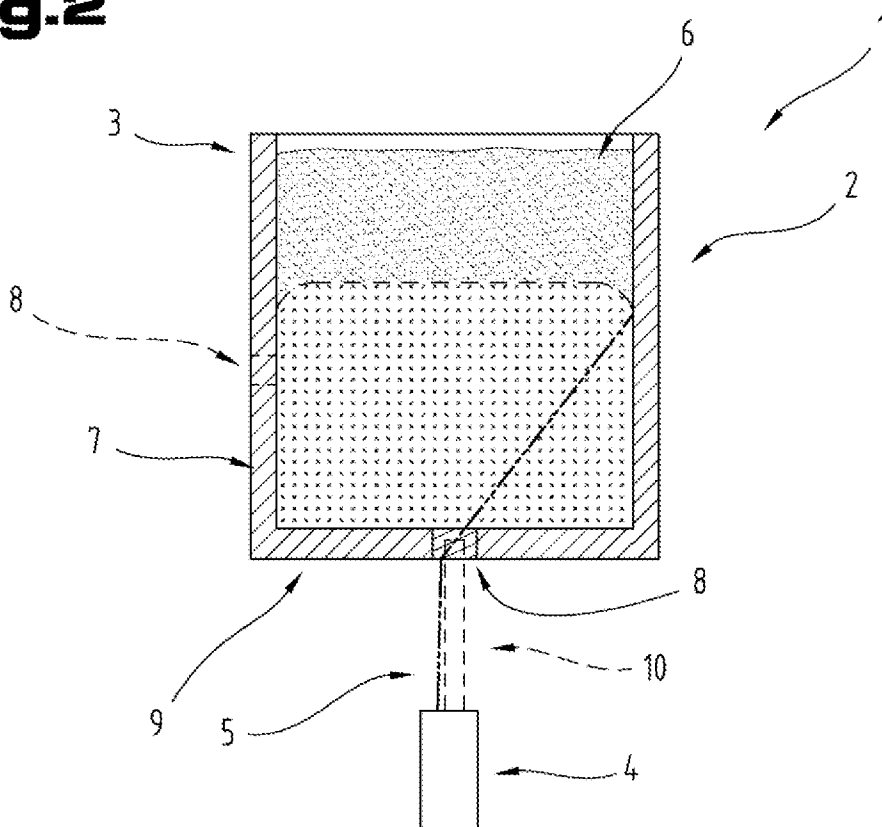


Fig.3

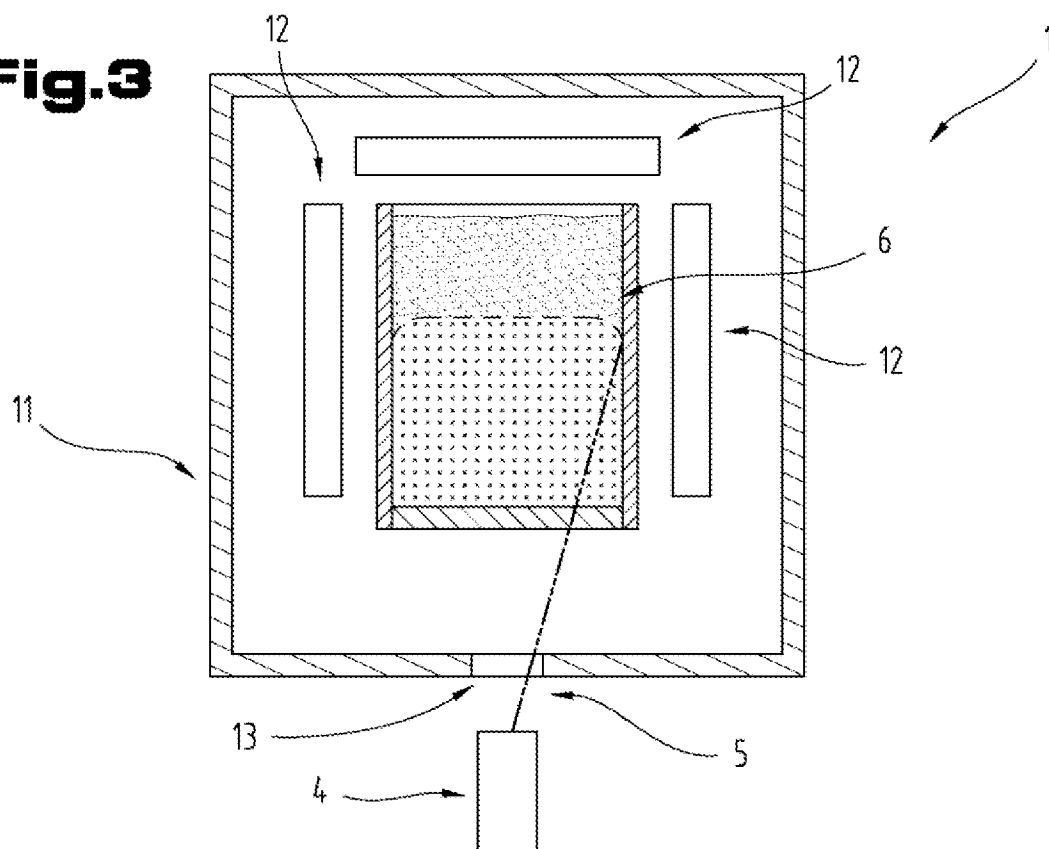


Fig.4

