

PVT-Verfahren und Apparatur zum prozesssicheren Herstellen von Einkristallen

BeschreibungGebiet der Erfindung

5 Die Erfindung bezieht sich auf ein PVT-Verfahren zum prozesssicheren Herstellen von Einkristallen sowie eine Apparatur, die eine hoch erheizbare Wachstumszelle, eine Prozesskammer, in der sich die Wachstumszelle und eine die Prozesskammer umgebende Heizeinrichtung zum Erhitzen der Wachstumszelle befinden, umfasst. Ein Quellmaterial und ein Keim können in die Wachstumszelle eingebracht werden, die Prozesskammer mit einem Prozessgas befüllt und die Wachstumszelle erhitzt werden, so dass das Quellmaterial sublimiert und am Keim resublimiert.

10

Hintergrund und allgemeine Beschreibung der Erfindung

Im industriellen Umfeld wird das sogenannte Physical Vapor Transport (PVT) Verfahren als Standardmethode zur Herstellung von einkristallinen Siliciumcarbid-Kristallen (SiC-Kristallen) betrachtet. Das Quellmaterial ist in der Regel ein Pulver, das viele unterschiedliche Kristallite enthält. Möglich ist auch der Einsatz von Volumenkristallen. Als alternatives Verfahren ist das High-Temperature Chemical Vapor Deposition (HT-CVD) Verfahren bekannt. Das Kristallwachstum erfolgt beim PVT-Verfahren typischerweise innerhalb der aus Graphit bestehenden Wachstumszelle durch Sublimation eines SiC-Quellmaterials und Kristallisation an einem vorgegebenen SiC-Keim bei Temperaturen von über 2.000 °C. Die Triebkraft für das Kristallwachstum stellt ein Temperaturgradient dar, der der Wachstumszelle durch eine Heizeinrichtung aufgeprägt wird. Gängige Verfahren zur Beheizung von PVT-Apparaturen nutzen Widerstandsheizern oder Induktionsheizungen. Bei der induktiven Beheizung ist die Wachstumszelle (Hot-Zone) der vakuumdichten Prozesskammer aus einem nicht-leitenden Material, typischerweise (Quarz-)glas umgeben. In der Prozesskammer befinden sich Prozessgase oder werden dort eingeleitet, die u.a. dazu eingesetzt werden, das Kristallwachstum zu beeinflussen. Die Prozesskammer kann ein- oder doppelwandig sein sowie luft- oder wassergekühlt ausgeführt sein. Als Prozessgase kommen typischerweise Argon, Helium, Stickstoff, Wasserstoff und ggf. weitere Gase zur gezielten Dotierung zum Einsatz. Der Prozessdruck kann sich von Vakuum-Bedingungen bis Atmosphärendruck erstrecken. In gängigen Prozessen zur Herstellung von dotierten SiC-Einkristallen wird kein Wasserstoff oder nur geringe Konzentrationen eingesetzt.

20 SiC-Einkristalle werden wegen ihrer großen Bandlücke und ihrer hohen Wärmeleitfähigkeit für eine Vielzahl von Anwendungen in der Halbleitertechnik hergestellt. Das zugrundeliegende Verfahren zur Herstellung von SiC-Einkristallen ist daher schon Gegenstand vieler Beschreibungen. Exemplarisch wird auf die US 2011/ 0300323 A1 verwiesen. Demnach wird ein Inertgas als Prozessgas verwendet, was unter sicherheitstechnischen Aspekten unproblematisch ist. Zum Stand der Technik sei auch noch auf die EP 0 811 708 A2, US 2012/0086001 A1, GB 772,691, DE 60 2004 001 802 T2 und EP 3 760 765 A1 verwiesen.

25 Es ist ein gedanklicher Ausgangspunkt und eine der Aufgaben der vorliegenden Erfindung, Prozesse, u.a. zur gezielten Beeinflussung des Dotierstoffeinbaus oder zur Herstellung von undotierten SiC-Einkristallen, erfolgen können, zu ermöglichen. Hinsichtlich dieses Ausgangspunkts wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung entwickelt, einen Prozessablauf sicher, mit besseren Ergebnissen als im Stand der Technik und/oder kostengünstiger als bekannt zu gewährleisten. Gegebenenfalls kann dies sogar unter Einsatz eines Reaktivgases, d.h. eines brennbaren und/oder reaktiven (ggf. auch toxischen) Gases, z.B. von Wasserstoff als Prozessgas, mit Konzentrationen von über 5% und bis zu 100%, durchgeführt werden.

30 Dabei lagern sich die Gasmoleküle des Reaktivgases wie insbesondere Wasserstoffatome an die Oberfläche des wachsenden Einkristalls an, werden aber sogleich von den folgenden sublimierten Bestandteilen des Quellmaterials verdrängt. Die Reaktivgasmoleküle, wie z.B. Wasserstoffatome, dienen in diesem Fall kurzzeitig als Platzhalter, so dass ein fehlerarmes, wenn nicht gar fehlerfreies Kristallgitter entstehen kann. Reaktivgasmoleküle können auch Reaktionen mit anderen Prozessgasen, dem Quellmaterial oder sogar dem HotZone-Material eingehen und weitere gasförmige Spezies ausbilden, die in die Prozessgasatmosphäre gelangen und sich zumindest zwischenzeitlich am Kristall anlagern können. Mögliche Reaktivgase wie Silan, Methan, Propan, etc. liefern u.a. die Elemente Silizium und Kohlenstoff, die in den Kristall mit eingebaut werden. Die Zugabe von Reaktivgasen kann insgesamt die Defektdichte (gewünscht und/oder unerwünscht) beeinflussen. Die genaue Beeinflussung hängt jedoch von einer Vielzahl von Parametern und dessen Zusammenspiel ab. Mit einer Reaktivgas-Zugabe soll eine Beeinflussung des Kristallwachstums erfolgen.

40 Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung kann also darin gesehen werden, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, mit welchen ein verbessertes oder verändertes Kristallwachstum ermöglicht ist.

In einem Teilaspekt bzw. Weiterbildung der Erfindung kann als Aspekt der Aufgabe angesehen werden, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, bei welchen ein Reaktivgas einsetzbar ist zur Verbesserung des Kristallwachstums.

45 In noch einem weiteren Teilaspekt bzw. Weiterbildung der Erfindung kann die Aufgabe gestellt sein, eine Vorrichtung und ein Verfahren bereitzustellen, mittels welchen unter geringem Aufwand bzw. kostengünstig(er) verbesserte Kristalle bereitstellbar sind.

50

Die Verwendung eines Reaktivgases, umfassend z.B. Wasserstoff oder andere reaktive Elemente, stellt aber ein Gefahrenpotential bei der Durchführung des Verfahrens dar. Ein reaktives Gas kann beispielsweise brennbar bzw. entzündlich und/oder toxisch ausgebildet sein. Im Falle des Beispiels Wasserstoff kann mit dem Sauerstoff der Luft eine Knallgasreaktion stattfinden, weshalb Wasserstoff im Rahmen dieser Beschreibung als Reaktivgas bezeichnet wird. Weitere Beispiele für derzeit in Frage kommende Reaktivgase umfassen neben Wasserstoff auch Kohlenstoff- und Siliziumhaltige Vorstufen oder Kohlenwasserstoffe und deren Derivate (Beispiele: Silan oder auch Methan, Propan, etc.).

Darüber hinaus ist bei heutzutage üblichen Apparaturen die Prozesskammer typischerweise aus Quarzglas gebildet, das von Natur aus spröde ist und zum Brechen neigt. Es ist aber besonders bevorzugt, Quarzglas zu verwenden, weil es die hohen Temperaturen der Wachstumszelle aushalten kann und weil es das elektromagnetische Feld einer Induktionsspule bzw. die Strahlungswärme eines Widerstandsheizers nicht abschirmt. Ebenso kann eine Kombinationen aus Induktions- und Widerstandsheizern vorgesehen sein. Z.B. kann ein Boden- oder Decken-Zusatzheizer als Widerstandsheizer ausgeführt sein, während der Hauptheizer als Induktionsheizung ausgeführt ist. Grundsätzlich stellen sich die Sicherheitsanforderungen aber in ähnlicher Weise auch an andere Baustoffe zur Bereitstellung der Prozesskammer, jedenfalls im Falle des Quarzglases im besonderen Maße.

Wenn aber die Prozesskammer beschädigt bzw. undicht wird, also beispielsweise wenn das Quarzglas bricht, kann sich der Wasserstoff mit dem Sauerstoff der Umgebung vermischen und es entsteht ein Knallgas, das von der Heizeinrichtung (heißen Komponenten der Hot-Zone, typischerweise Graphitteile im Inneren der Prozesskammer) gezündet wird und explodiert. Soweit ein reaktives Gas Verwendung findet, ist daher eine prozesssichere Durchführung des Verfahrens mit den bekannten Armaturen nicht möglich.

Ein in der vorliegenden Beschreibung genanntes Reaktivgas - insbesondere Wasserstoff - ist nicht gleichzusetzen mit bekannten Dotiergasen. Bekannte typische Dotiergase werden nicht in den hier gewünschten Konzentrationen eingesetzt, und/oder sind weder entzündlich noch in anderer Weise reaktiv im Sinne der in dieser Beschreibung verwendeten Bedeutung. Dotiergase werden um den Kristall gespült, die Vorgänge finden also vollständig in der Prozesskammer statt. Beispielsweise kann in diesem Zusammenhang auch die Prozesskammer mit einem Inertgas wie Argon gespült werden, um den PVT-Prozess direkt zu modifizieren. Generell sind Dotiergase dazu vorgesehen, in den Kristall bzw. die Kristallstruktur mit eingebaut zu werden - woher sich auch die Bezeichnung "Dotiergas" ableitet - um physikalische und/oder chemische Eigenschaften des Kristalls zu beeinflussen, beispielsweise die elektrische Leitfähigkeit. Mit anderen Worten formen Moleküle bzw. Bestandteile eines Dotiergases einen späteren integralen Baustoff des Kristalls. Solche Moleküle bzw. Bestandteile eines Dotiergases verbleiben im Kristall und sind dort später nachweisbar.

Im Gegensatz hierzu kann ein Reaktivgas wie Wasserstoff als reaktiver Bestandteil der Gasatmosphäre das Kristallwachstum und den Dotierstoffeinbau beeinflussen, wird aber nicht wie Dotiergas in den Kristall mit eingebaut, um die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Kristalls zu beeinflussen. Aufgrund des Gefahrenpotentials reaktiver Gase, das heißt insbesondere Zündung, Abbrand, Verpuffung oder auch Vergiftungspotential, wurden reaktive Gase bislang nicht für den Einsatz zur Verbesserung des Kristallwachstums in Betracht gezogen, oder jedenfalls die wie vorstehend beschriebenen Sicherheitsaspekte im Umgang mit einem Reaktivgas in diesem Umfeld nicht ausreichend berücksichtigt. Darüber hinaus ist das einzusetzende Reaktivgas kein Quellmaterial im eigentlichen Sinne. Bei typischen PVT-Prozessen ist das Quellmaterial SiC-Pulver. Bei Varianten des klassischen PVT-Verfahrens wie z.B. HT-CVD kann Wasserstoff als Trägergas eingesetzt sein, das das eigentliche Quellmaterial i.d.R. gasförmige C- bzw. Si-haltige Präkursoren transportiert. Das Gas dient dort also als Trägergas, d.h. als Transportmedium für Präkursoren und für Dotierstoffe. Dotierstoffe können feste, flüssige oder gasförmige Elemente oder Verbindungen sein, die typischerweise Stickstoff, Phosphor, Aluminium, Bor oder Vanadium enthalten.

Im Rahmen dieser Weiterentwicklung und Verbesserung werden mit der vorliegenden Beschreibung verschiedene Aspekte des im Hause der Anmelderin PVA TePla entwickelten, die Prozesskammer umgebenden Sicherheitsbehälter beschrieben und definiert. Des Weiteren wurde die Bereitstellung einer Schutzatmosphäre, insbesondere mit Inertgas, im Bereich zwischen Prozesskammer und Behälterwandung eruiert. Ein mit dem Sicherheitsbehälter insbesondere angestrebtes Ziel ist die Vermeidung bzw. Unterbindung eines explosionsfähigen Gasgemisches im Falle der Beschädigung, insbesondere des Bruchs, der Prozesskammer.

Um zu einer prozesssicheren Durchführung des Verfahrens zu gelangen, könnte eine Apparatur zur Durchführung des Verfahrens in einer Vakuumzelle angeordnet werden. Eine solche Zelle müsste aber absolut vakuumdicht sein und ist daher vergleichsweise aufwändig herzustellen, weil eine Vielzahl von Durchführungen für die Versorgung der Apparatur mit Strom, Gas und ggf. Kühlfluid benötigt wird, die jede für sich vakuumdicht hergerichtet sein muss. Überdies ist eine Vakuumzelle praktisch unmöglich zu warten oder zu reparieren, bzw. muss diese erst aufwändig geöffnet und nach getaner Arbeit oder Veränderung wieder aufwändig verschlossen werden.

Vorteilhaft wäre hingegen, ein PVT-Verfahren zum prozesssicheren Herstellen von Einkristallen darzustellen, das in einer mit geringem Aufwand herzustellenden und/oder kostengünstigen Apparatur durchführbar ist.

Das Problem wird gelöst durch die in den unabhängigen Ansprüchen definierte Erfindung. Abhängige Ansprüche geben Weiterbildungen und bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung wieder.

Zur Lösung eines der, mehrerer oder aller vorgestellten Aspekte der Aufgabe wird ein PVT-Verfahren zum prozesssicheren Herstellen von Einkristallen in einer Apparatur vorgestellt, wobei die Apparatur eine Prozesskammer zur Aufnahme einer hoch erhitzbaren Wachstumszelle und eine Heizeinrichtung zum Erhitzen der Wachstumszelle umfasst, wobei die Wachstumszelle hergerichtet ist zur Aufnahme eines Quellmaterials und eines Keims, und wobei die Prozesskammer mit einem Prozessgas befüllbar ist und die Wachstumszelle 5 erhitzbar ist. Die Apparatur weist einen die Prozesskammer umschließenden Sicherheitsbehälter auf zum, insbesondere gasdichten oder im Wesentlichen gasdichten, Umschließen der Prozesskammer. Der Sicherheitsbehälter weist dabei eine umlaufende Behälterwandung auf, so dass ein Zwischenraum zwischen der Behälterwandung des Sicherheitsbehälters und der Prozesskammer geschaffen ist. Mit anderen Worten kann der sich von innenseits der Behälterwandung bis außenseits der Prozesskammer erstreckende Bereich als Zwischenraum bezeichnet werden. Beispielsweise ist die Prozesskammer rund und der Sicherheitsbehälter ebenfalls rund, dann definiert der Zwischenraum ein 10 Ringsegment (als Ebene betrachtet) bzw. einen Hohlzylinder der Wanddicke b mit Innenradius r (entspricht zum Beispiel der Wandung der Prozesskammer), Außenradius R (entspricht zum Beispiel der Wandung des Sicherheitsbehälters) und Höhe h (gemessen beispielsweise vom Boden bis zum Deckel).

Das hier vorgestellte Verfahren weist die Schritte auf Bereitstellen einer Schutzatmosphäre in dem Zwischenraum und hierfür Fluten des Zwischenraums mit der Schutzatmosphäre, und Bereitstellen des Prozessgases in der Prozesskammer. Das Prozessgas kann 15 beispielsweise ein Reaktivgas umfassen oder daraus bestehen. Mit anderen Worten definiert das Verfahren, dass zunächst der Zwischenraum mit der Schutzatmosphäre gefüllt wird, insbesondere so, dass die möglicherweise dort zuvor vorhandene Luft möglichst vollständig verdrängt wurde, und erst wenn mittels der Füllung mit Schutzatmosphäre der Schutzbehälter einsatzbereit ist (und dies beispielsweise als Signal ausgibt) der weitere Verfahrensablauf eingeleitet wird.

Grundsätzlich könnte bereits vor Einsatzbereitstellung des Sicherheitsbehälters Prozessgas in die Prozesskammer eingeleitet 20 werden, wenn diese noch nicht so heiß ist, dass eine Entzündung des Prozessgases im Falle eines Lecks in der Prozesskammer wahrscheinlich ist. Ebenso könnte bereits vor Einsatzbereitstellung des Sicherheitsbehälters die Prozesskammer erhitzt werden, beispielsweise bis auf Betriebstemperatur, wenn dort noch kein Prozessgas oder jedenfalls kein Reaktivgas eingeleitet ist. Der Übergang zwischen der Einsatzbereitstellung des Sicherheitsbehälters und der Aufnahme des Betriebs der Prozesskammer kann fließend sein. Es ist aber insgesamt bevorzugt, wenn das Bereitstellen der Schutzatmosphäre in dem Zwischenraum abgeschlossen ist, bevor das Prozessgas in 25 der Prozesskammer eingeleitet wird und/oder die Wachstumszelle auf Einsatztemperatur erhitzt ist. Mit anderen Worten ist es bevorzugt, wenn das Bereitstellen des Prozessgases in der Prozesskammer erst nach dem Fluten des Zwischenraums mit Schutzgas erfolgt. Es kann daher auch bevorzugt sein, dass das Fluten des Zwischenraums mit der Schutzatmosphäre – besonders nämlich das erstmalige Fluten des Zwischenraums bzw. das Fluten des Zwischenraums mit einer ersten Schutzatmosphäre – ferner auch das Verdrängen von in dem Zwischenraum befindlicher Luft umfasst, und zwar bevor die Sublimation des Quellmaterials eingeleitet wird.

Es ist also besonders vorteilhaft, wenn die Flutung des Sicherheitsbehälters spätestens dann erfolgt oder abgeschlossen ist, wenn 30 die Sublimation des Quellmaterials erfolgt, weil dann hohe Temperaturen vorliegen, die das reaktive Gas zu zünden vermögen. Aus Sicherheitsgründen ist es vorteilhaft, wenn die Flutung des Sicherheitsbehälters schon vor Einleitung des reaktiven Gases in die Prozesskammer erfolgt.

Sollte es bei dieser Anordnung zu einer Beschädigung - insbesondere einem Bruch - der Prozesskammer kommen, mischt sich das 35 reaktive Gas der Prozesskammer in der Schutzatmosphäre im Sicherheitsbehälter, beispielsweise mit dem Inertgas, zu einem nicht explosiven Gasgemisch, so dass es selbst in einer heißen Umgebung nicht zu einer Explosion kommen kann. Diese Sicherheitsmaßnahme ist besonders wichtig, wenn das reaktive Gas entzündlich ist oder zu Verpuffungen neigt, wie beispielsweise Wasserstoff.

Das Verfahren umfasst ferner das Erhitzen der Wachstumszelle mittels der Heizeinrichtung, so dass das Quellmaterial sublimiert und am Keim resublimiert. Das Erhitzen der Wachstumszelle kann bevorzugt von radial allseits erfolgen. Hierfür kann die Heizeinrichtung die 40 Prozesskammer ringförmig umschließen.

Bei dem Bereitstellen der Schutzatmosphäre in dem Zwischenraum ist es bevorzugt, einen Überdruck gegenüber einem Umgebungsdruck einzustellen. Beispielsweise kann der Überdruck in dem Schutzbehälter eingestellt sein, weiter beispielsweise von zumindest 1 mBar über Umgebungsdruck oder mehr, bevorzugt 3 mBar oder mehr, weiter bevorzugt von 5 mBar oder mehr über Umgebungsdruck. 45 Wenn ein Überdruck im Schutzbehälter gegenüber der Umgebung eingestellt ist, so kann nur unwesentlich oder überhaupt kein Gas aus der Umgebung in den Schutzbehälter eindringen. So kann sichergestellt werden, dass beispielsweise kein Sauerstoff in den Schutzbehälter eindringt und – im Falle eines Auslasses von Prozessgas in den Schutzbehälter - eine Reaktion dort stattfinden könnte.

Der Sicherheitsbehälter ist besonders einfach zu realisieren, wenn er so aufgebaut ist, dass er Gasverluste nach außen insbesondere in geringem Umfang zulässt, also nur näherungsweise gasdicht ist. Dies macht die Konstruktion des Sicherheitsbehälters 50 kostengünstiger, da Anforderungen an eine besonders hohe Hermetizität nicht zu berücksichtigen sind und dennoch keine unerwünschten Reaktionen des Reaktivgases außerhalb der Prozesskammer auftreten können. Beispielsweise kann der Sicherheitsbehälter eine zulässige

Leckrate aufweisen, die größer ist als 0 l/min. So kann es aus Kostengründen vorteilhaft und unproblematisch sein, insbesondere aufgrund der Wahl und Geometrie der Konstruktion, eine Leckrate zuzulassen, die im Bereich $0 \leq \text{Leckrate} \leq 5 \text{ l/min}$ liegt, oder auch im Bereich $0 \leq \text{Leckrate} \leq 30 \text{ l/min}$. Beispielsweise kann die zuzulassende Leckrate größer sein als 2 ml/min, weniger bevorzugt 5 ml/min, noch weniger bevorzugt 10 ml/min, noch weniger bevorzugt 50 ml/min oder auch 100 ml/min. Andererseits ist es nicht sinnvoll, aus ökonomischen Gründen und ggf. solchen der Arbeitsplatzsicherheit, eine zu hohe Leckrate des Sicherheitsbehälters zuzulassen. So kann beispielsweise gewünscht sein die Leckrate zu begrenzen auf weniger als 30 l/min, bevorzugt 10 l/min, weiter bevorzugt 4 l/min, noch bevorzugt 1 l/min, weiter bevorzugt 500 ml/min, und noch weiter bevorzugt 150 ml/min. Es wird anvisiert, Leckraten in einem Bereich von 2 ml/min bis 50 ml/min zu erzielen, bevorzugt von 10 ml/min bis 20 ml/min.

Der Sicherheitsbehälter kann beispielsweise ein Gesamtvolumen von mehr als 50 l, bevorzugt mehr als 100 l und/oder ein Gesamtvolumen von weniger als 500 l, bevorzugt weniger als 250 l aufweisen. Mit anderen Worten kann ein Verhältnis von Leckrate zu Gesamtvolumen eingestellt sein im Bereich von kleiner oder gleich 1%, bevorzugt kleiner oder gleich 2%, weiter bevorzugt kleiner oder gleich 5% pro Minute.

Zur Aufrechterhaltung der Schutzatmosphäre kann beispielsweise Inertgas nachgeführt werden, um Gasverluste auszugleichen und um einen Überdruck im Sicherheitsbehälter aufzubauen und/oder aufrechtzuerhalten. Der Überdruck verhindert, dass der Luftsauerstoff von außen in den Sicherheitsbehälter gelangen kann. So kann mittels einer Druckregelanlage ein relativer Überdruck im Sicherheitsbehälter aufrecht erhalten werden, beispielsweise in einem Bereich von 1 mBar über Umgebungsdruck oder mehr, bevorzugt 3 mBar oder mehr, weiter bevorzugt von 5 mBar oder mehr, bis 50 mBar über Umgebungsdruck oder weniger, bevorzugt 30 mBar oder weniger. Aber auch ein vollständig gasdichter Sicherheitsbehälter mit einer Leckrate von 0 ml/min oder einer nicht messbar geringen Leckrate sei grundsätzlich hiervon umfasst, bei welchem ebenfalls ein Überdruck im Sicherheitsbehälter aufrechterhalten bleiben kann.

Um die möglichst vollständige Verdrängung von Luft aus dem Sicherheitsbehälter zu gewährleisten, kann die vorliegende Beschreibung weiterhin vorsehen, dass zum Fluten des Sicherheitsbehälters ein erstes Inertgas in den Sicherheitsbehälter eingelassen wird. Das erste Inertgas kann schwerer als Luft sein, so dass es in den unteren Bereich des Sicherheitsbehälters eingelassen wird, wobei die Luft nach oben verdrängt wird. Hierzu kann beispielsweise ein verschließbarer Auslass am oberen Ende des Sicherheitsbehälters so lange offen bleiben, bis die Luft entwichen ist.

Vorzugsweise umfasst die Schutzatmosphäre ein Inertgas wie insbesondere Argon. Wegen der hohen Dichte von Argon sammelt es sich am Boden des Sicherheitsbehälters und verdrängt die Luft langsam nach oben ohne sich mit ihr zu vermischen. Weitere Beispiele für den Aufbau der Schutzatmosphäre, die derzeit wirtschaftlich vertretbar erhältlich sind, umfassen Xenon, Stickstoff oder Kohlenstoffdioxid. Grundsätzlich kann die Schutzatmosphäre jedes Fluid, ob einzeln oder als Gemisch, umfassen, welches eine Schutzfunktion dahingehend bereitzustellen vermag, das Reaktivgas im Falle einer übermäßigen bzw. unzulässigen Entweichung aus der Prozesskammer zu neutralisieren und/oder negative Effekte wie Verpuffungen zu unterbinden. Die Schutzatmosphäre kann beispielsweise auch unter Normalbedingungen der Standardatmosphäre im flüssigen oder festen Zustand vorliegen.

Wenn die Luft durch das erste Inertgas verdrängt worden ist, kann es durch ein anderes, beispielsweise ein kostengünstigeres, Inertgas ersetzt werden. Die Erfindung sieht daher weiterhin vor, dass nach einem ein- oder mehrmaligen Fluten des Sicherheitsbehälters mit dem ersten Inertgas, dieses durch das zweite Inertgas, insbesondere Stickstoff, ersetzt wird.

Um sicherzustellen, dass bei einem Bruch der Prozesskammer nicht weiter das reaktive Gas in die Apparatur geleitet wird, ist vorgesehen, dass der Sicherheitsbehälter einen Gassensor aufweist, der in der Lage ist, das Vorhandensein reaktiven Gases im Sicherheitsbehälter zu detektieren. Ferner kann vorgesehen sein, dass die Prozessgaszufuhr zur Prozesskammer unterbrochen wird, wenn der Gassensor das reaktive Gas im Sicherheitsbehälter detektiert.

In einer Weiterbildung kann über einen weiteren Drucksensor bzw. Druckschalter, der den Druck innerhalb der Prozesskammer überwacht, die Gaszufuhr unterbrochen werden, wenn im Falle eines Schadens, wie eines Bruchs des Quarzglases, ein geringerer Druck detektiert wird. Beispielsweise kann für die Überwachung ein Unterschreiten des Absolutdruckes auf $p \leq 980 \text{ mbarAbs}$, bevorzugt auf $p \leq 950 \text{ mbarAbs}$, weiter bevorzugt auf $p \leq 920 \text{ mbarAbs}$ detektiert werden. Die Unterbrechung der Reaktivgaszufuhr kann damit auch unabhängig von der Detektion von Reaktivgas, wie beispielsweise Wasserstoff, im Zwischenraum zwischen Prozesskammer und Kühlmantel erfolgen.

Eine Öffnung der Prozesskammer, beispielsweise im Falle des Bruchs des Quarzglases, kann beispielsweise durch eins der folgenden Kriterien detektiert oder angezeigt werden. Es kann eine Detektion des Reaktivgases/Wasserstoffs durch einen Gassensor im Sicherheitsbehälter erfolgen. der Gassensor ist in diesem Fall insbesondere derart eingerichtet, das Prozessgas bzw. einen Prozessgasgehalt im Sicherheitsbehälter zu detektieren. Alternativ oder kumulativ kann der Überdruck im Sicherheitsbehälter p_s festgestellt werden und bei Verschwinden des Überdrucks auf eine Prozessstörung oder auf ein Dichtungsleck geschlossen werden (z.B. $p_s \leq \text{ca. } 2 \text{ mbarÜ}$ gegenüber Atmosphäre). Dies ist dann möglich, wenn im Sicherheitsbehälter ein (auch geringer) Überdruck gegenüber Atmosphäre eingestellt wird, der

leicht zu detektieren ist. Ein solcher Behälterüberdruck stellt daher auch ein Sicherheitskriterium für den Betrieb der Anlage dar. Ein Drucktest kann daher einen Schritt in einer Sicherheitsüberprüfung der Anlage darstellen.

Ein Schritt des hier vorgestellten Verfahrens kann demnach definiert sein durch eine Sicherheitsüberprüfung des Sicherheitsbehälters. Eine solche Sicherheitsüberprüfung kann realisiert sein durch eine Messung des einstellbaren Überdrucks p_s im Sicherheitsbehälter. Mit anderen Worten, insbesondere vorbereitend vor der Aufnahme der Herstellung des Kristalls, kann der Sicherheitsbehälter hinsichtlich der Leckrate bzw. der Dichtigkeit überprüft werden, sodass bei einer zu hohen Leckrate ein Sicherheitszustand eingenommen oder angezeigt wird, also beispielsweise kein Betrieb möglich ist bzw. eine Warnung erzeugt wird.

Des Weiteren kann alternativ oder kumulativ der Druck in der Prozesskammer p_P gemessen werden, und solange dieser Druck $p_P \leq 950$ mbarAbs, oder $p_P \leq 920$ oder beispielsweise $p_P \leq 980$, beibehalten wird, wird keine Prozessstörung detektiert, wohingegen ein Überschreiten der Druckschwelle eine Prozessstörung anzeigen kann. Auch kann alternativ oder kumulativ ein plötzlicher Druckschlag/Druckanstieg in der Prozesskammer (Druckanstiegsrate größer als maximal mögliche bzw. zulässige Druckanstiegsrate durch einzuleitende Gase) festgestellt werden und eine Prozessstörung – wie einen Quarzglasbruch – anzeigen. Die vorgenannten Kriterien sind in vorteilhafter Weise voneinander unabhängig und können einzeln oder in Verbindung miteinander herangezogen werden, ein Abschalten der Prozessgas- bzw. Wasserstoffzufuhr zu erwirken, und damit insbesondere einen Sicherheitsstandard der Apparatur zu gewährleisten. Mit anderen Worten kann mittels der Druckmessung von p_P vor und/oder während der Prozessdurchführung eventuell schneller detektiert werden, ob Prozessgas in den Sicherheitsbehälter eindringen wird bzw. eindringt.

Der Sicherheitsbehälter kann in vorteilhafter Weise eine Kühlfunktion bereitstellen. Die Kühlfunktion kann beispielsweise so ausgebildet sein, dass um oder durch den Sicherheitsbehälter ein Kühlmedium zirkuliert, wie insbesondere Wasser. Beispielsweise kann der Sicherheitsbehälter hierfür jedenfalls eine Kühlmediumsleitung aufweisen, durch die das Kühlmedium fließt. Die jedenfalls eine Kühlmediumsleitung kann an der Behälterwandung des Sicherheitsbehälters befestigt sein oder jedenfalls wärmeleitend damit verbunden sein, ggf. unter Zuhilfenahme einer Wärmeleitpaste. Beispielsweise ist die Kühlmediumsleitung an der Behälterwandung aufgelötet. Beispielsweise umfasst die Kühlmediumsleitung Kupfer, welches einfach zu verarbeiten und/oder besonders wärmeleitfähig ausgebildet ist.

Der Sicherheitsbehälter kann derart ausgerüstet sein, eine Temperierung der Prozessbedingungen bereitzustellen. Beispielsweise kann mittels des so gestalteten Sicherheitsbehälters stets konstante Temperaturen – oder ein ähnlicher Temperaturbereich – eingehalten werden, unabhängig von den unter Umständen stark schwankenden Umgebungsbedingungen. Beispielsweise kann die Umgebung eine Tagestemperaturverlaufskurve oder auch jahreszeitliche Temperaturschwankungen beinhalten, oder auch von in der Nähe stattfindenden ggf. thermischen Prozessen beeinflusst werden, wobei der vorteilhaft gestaltete Sicherheitsbehälter diese Umgebungsbedingungen vom Prozess abzuhalten vermag. Alternativ oder kumulativ kann die Kühlfunktion auch in Ansprechen auf die Prozessparameter, also insbesondere der Temperatur in der Prozesskammer, beeinflusst werden, um eine Temperierung des Züchtungsprozesses zu erwirken. So kann beispielsweise der Kühlmediumsdurchsatz durch die zumindest eine Kühlmediumsleitung in Ansprechen auf die Umgebungsbedingungen und/oder die Prozessparameter verändert werden, um den Wärmeabtransport zu verändern. Bei wärmerer Umgebung und/oder Prozess Temperatur kann beispielsweise mehr Kühlmedium umgesetzt werden, und/oder ein kälteres Kühlmedium eingesetzt werden, und/oder ein alternatives Kühlmedium eingefüllt werden.

Die Kühlmediumsleitung kann außenseits der Behälterwandung angeordnet sein, bevorzugt mit der Behälterwandung thermisch leitend verbunden oder jedenfalls benachbart zur Behälterwandung angeordnet. Die Kühlmediumsleitung kann dann die Behälterwandung kühlen und dafür sorgen, dass die Wärmemenge nicht in die unmittelbare Umgebung der Apparatur abstrahlt, sondern von der Temperierungseinrichtung fortgeführt wird. Die außenseitige Anordnung der Kühlmediumsleitung hat den Vorteil, dass weniger abzudichtende Durchführungen in die Schutzatmosphäre bzw. die Innenseite des Schutzbehälters vorzusehen sind, da das Kühlfluid nicht in den Innenraum vordringt. Beispielsweise kann die Behälterwandung doppelwandig ausgeführt sein, also eine Innenwand und eine Außenwand aufweisen, wobei die Kühlmediumsleitung zwischen Innenwand und Außenwand der Behälterwandung angeordnet sein kann. Dann ist die Kühlmediumsleitung nebst der Befestigungen für die Kühlmediumsleitung blickdicht verborgen und vor mechanischer Beschädigung geschützt. Da die Temperierungseinrichtung einen wesentlichen Teil der Wärmeleistung aus der Prozesskammer abzuführen vermag, unterliegt die Außenwand der Behälterwandung keine oder wenigen Einschränkungen hinsichtlich Materialwahl oder Berührschutz, da sie nicht heiß wird.

Die vorliegende Beschreibung bezieht sich weiterhin auch auf eine Apparatur zum prozesssicheren Herstellen von Einkristallen insbesondere nach dem PVT-Verfahren, die eine Prozesskammer umfasst zur Aufnahme einer hoch erhitzbaren Wachstumszelle, sowie eine Heizeinrichtung zum Erhitzen der Wachstumszelle. Die Prozesskammer weist einen Prozessgasanschluss auf zu ihrer Befüllung mit einem Prozessgas, welches aus einer Prozessgasquelle bereitstellbar ist. Die Wachstumszelle ist hergerichtet zur Aufnahme eines Quellmaterials und eines Keims.

Die Apparatur umfasst einen Sicherheitsbehälter zum, insbesondere gasdichten oder im Wesentlichen gasdichten, Umschließen der Prozesskammer. Beispielsweise ermöglicht der Sicherheitsbehälter einen prozesssicheren Betrieb mit einem reaktiven Gas als Prozessgas.

Der Sicherheitsbehälter weist eine Behälterwandung auf, so dass ein Zwischenraum zwischen der Behälterwandung des Sicherheitsbehälters und der Prozesskammer geschaffen ist, welcher so eingerichtet ist, dass der Zwischenraum mit einer Schutzatmosphäre geflutet werden kann. Die Prozesskammer ist innerhalb des Sicherheitsbehälters angeordnet. Ferner kann der Sicherheitsbehälter einen Anschluss an eine Schutzgasquelle aufweisen, so dass der Zwischenraum zwischen der Behälterwandung des Sicherheitsbehälters und der Prozesskammer mit Schutzgas geflutet werden kann, insbesondere vor Durchführung des PVT-Verfahrens.

Die Behälterwandung kann eine die Prozesskammer jedenfalls radial allseits umschließende segmentierte Behälterwandung sein, wobei die Behälterwandung eine Mehrzahl von zumindest zwei Wandungssegmenten umfasst. Mittels der segmentierten Behälterwandung kann die Außenwand des Sicherheitsbehälters gebildet sein zum, insbesondere gasdichten oder im Wesentlichen gasdichten, Umschließen der Prozesskammer. Die Behälterwandung kann als Wandungssegmente beispielsweise ein Durchführungssegment, ein Prüf- oder Inspektionssegment, ein Kühlsegment, ein Decksegment, welches insbesondere mehrteilig ausgeführt sein kann, und/oder ein Bodensegment umfassen.

Die Behälterwandung ist bevorzugt derart ausgeführt, die Prozesskammer auch von oberseits und/oder unterseits zu umschließen. Weiter bevorzugt kann die Behälterwandung so ausgeführt sein, die Prozesskammer allseits vollständig zu umschließen. Allerdings ist dies nicht in jedem Fall notwendig. Beispielsweise dann, wenn die Prozesskammer in einen Boden eingelassen ist, kann auch ein Teil bzw. Abschnitt der Prozesskammer ohne unmittelbaren Schutzmantel in Form des Schutzbehälters ausgeführt sein, und der Anteil der Prozesskammer vom Schutzbehälter umgeben sein, der oberhalb des Bodens liegt. So kann der Schutzbehälter bis zum Boden ausgeführt sein und dort ggf. dicht abschließen.

In einer Weiterbildung kann die Behälterwandung einen Prozesskammer-Adapter umfassen zur Aufnahme verschieden großer Prozesskammern an derselben Behälterwandung. Somit können die Komponenten der Behälterwandung in einem Einheitsmaß oder in wenigen Maßen bereitgestellt werden und eine Vielzahl an unterschiedlichen Prozesskammern bzw. Prozesskammergrößen abdecken.

Die Behälterwandung kann doppelwandig ausgeführt sein. Der doppelwandige Aufbau der Behälterwandung kann konstruktive Vorteile aufweisen oder einfach ein gefälliges Äußeres ermöglichen, ohne dass Komponenten des Sicherheitsbehälters von außen einsichtig sind.

In einem Zwischenbereich der doppelwandigen Behälterwandung kann beispielsweise eine Kühleinrichtung angeordnet sein. Dieser Aufbau weist zahlreiche Vorteile auf. So ist die Kühleinrichtung selbst vor der direkten Wärmestrahlung der Prozesskammer geschützt und hinter einer Innenwand der Behälterwandung verborgen. Außerdem ist die Montage der Kühleinrichtung in diesem Fall besonders einfach, da diese an der Innenwand der Behälterwandung befestigbar ist, beispielsweise geklebt, gelötet oder mittels Verbindern dort angeschraubt werden kann. Eine Außenblende deckt dann den Zwischenbereich ab, so dass dieser von äußerem Eingriff oder unbeabsichtigter Beschädigung geschützt ist, was insbesondere vorteilhaft ist, wenn dort die Kühleinrichtung angeordnet ist.

Der Sicherheitsbehälter kann so aufgebaut sein, dass er Gasverluste nach außen zulässt. Er kann einen Drucksensor aufweisen, wobei der Drucksensor mit einer Steuereinrichtung signalverbunden ist und die Steuereinrichtung so ausgelegt ist, dass auf Basis der Drucksensorsignale ein Überdruck im Sicherheitsbehälter (gegenüber Umgebung bzw. Atmosphäre) eingestellt wird.

Der Drucksensor kann auch einen Druckschalter umfassen oder aus einem Druckschalter gebildet sein. Beispielsweise kann der Drucksensor durch einen Differenzdruckschalter gebildet sein, der die Druckdifferenz zwischen Inertisierung im Sicherheitsbehälter und Atmosphäre bzw. Umgebung misst. Ggf. kann der Drucksensor dann eine Schaltung auslösen bei Über- oder Unterschreiten einer einstellbaren Druckdifferenz, insbesondere als Sicherheitsschaltung bzw. Absperrung.

Bezogen auf die Ausrichtung der Aufstellung der Apparatur kann es vorteilhaft sein, wenn sich ein Inertgasanschluss im unteren Bereich des Sicherheitsbehälters und ein verschließbarer Auslass in dessen oberen Bereich befinden. Dadurch kann die Luft im Sicherheitsbehälter von dem im unteren Bereich einströmenden Schutzgas vollständig nach oben zum Auslass verdrängt werden, wo diese den Sicherheitsbehälter verlässt.

Der Sicherheitsbehälter weist vorzugsweise zwei Schutzgasanschlüsse für zwei unterschiedliche Schutzgase auf. Nachdem das erste Inertgas die Luft aus dem Sicherheitsbehälter verdrängt hat, kann mittels des zweiten Schutzgasanschlusses ein kostengünstigeres Fluid, wie zum Beispiel Stickstoff, als zweites Fluid eingefüllt werden und somit das erste Schutzgas ersetzt werden.

Der Sicherheitsbehälter weist vorzugsweise einen Gassensor auf, der auf ein reaktives Gas anspricht. Auf diese Weise kann festgestellt werden, dass reaktives Gas (z. B. Wasserstoff) in den Sicherheitsbehälter eingedrungen ist, beispielsweise im Falle eines Bruchs der Prozesskammer.

Wie schon oben ausgeführt, kann mit der Apparatur insbesondere ein SiC-Einkristall nach dem PVT-Verfahren hergestellt werden. Dazu ist die Wachstumszelle mit einem Siliciumcarbid als Quellmaterial bestückt und die Prozesskammer kann neben anderen Prozessgasen (z. B. Argon) mit Wasserstoff als reaktives Gas geflutet sein.

Die Apparatur kann in einer weiteren Ausbildung ferner einen Tragrahmen zur Halterung von zumindest zwei Wandungssegmenten an dem Tragrahmen umfassen. Die Behälterwandung ist in diesem Fall also segmentiert ausgeführt und weist die zumindest zwei Wandungssegmente auf. Die Wandungssegmente bilden zusammen die Behälterwandung aus. Beispielsweise kann ein Wandungssegment als fest verbauter Wandungssegment vorgesehen sein und ein weiteres Wandungssegment lösbar verbunden ausgeführt sein, so dass es leicht abnehmbar ist.

Der Tragrahmen bildet also eine Haltestruktur aus zur Aufnahme der Wandungssegmente am Tragrahmen, so dass Tragrahmen und Wandungssegmente insgesamt die Behälterwandung des Sicherheitsbehälters (8) ausbilden, zum insbesondere gasdichten oder im Wesentlichen gasdichten Umschließen der Prozesskammer.

An oder in dem Tragrahmen kann zumindest ein Dichtungselement angeordnet sein zum Abdichten des Tragrahmens gegenüber der Mehrzahl von zumindest zwei Behältersegmenten und/oder zum Abdichten des Schutzbehälters gegenüber der Umgebung. Mit anderen Worten kann der Tragrahmen abgedichtet ausgeführt sein, um Gasleckagen aus dem Sicherheitsbehälter in die Umgebung zu verringern.

Alternativ oder kumulativ kann eines oder eine Mehrzahl von Wandungssegmenten eine entsprechend ausgearbeitete Dichtungsaufnahme aufweisen. Mit anderen Worten kann das Dichtungselement am Wandungssegment angeordnet sein. Eine solche Dichtungsaufnahme kann als Materialwulst oder Rand ausgebildet sein, an welcher das Dichtungselement angelegt oder eingelegt werden kann. Typischerweise wäre bei einer solchen Anordnung das Dichtungselement bevorzugt mittels eines Klebstoffs anzukleben. Alternativ wäre das Wandungssegment mit einer größeren Materialdicke auszuführen, sodass eine Nut für das Dichtungselement bereitstellbar wäre, wobei zu berücksichtigen sein kann, dass hierdurch ggf. die Kosten für ein jeweiliges Wandungssegment erhöht werden können. Ggf. kann auch dessen Handhabbarkeit erschwert werden, wenn es aufgrund einer höheren Materialdicke schwerer ausfällt.

Besondere Vorteile erzielt dabei die Kombination des mehrteiligen Sicherheitsbehälters mit den Dichtungselementen, da hierdurch ermöglicht ist, gängige Konstruktionsmaterialien einzusetzen, wie z.B. Metall bzw. Stahl für die Wandungselemente, und dennoch eine ausreichende Dichtigkeit des Sicherheitsbehälters insgesamt erzielbar ist. In einer Umgebung, in der Kerntemperaturen von über 2000 °C auftreten stellt eine solche Konstruktion allerdings einige Herausforderungen, die mit der mit der vorliegenden Beschreibung und den Ausführungsbeispielen erläuterten Ausgestaltungen verblüffend einfach gelöst werden konnten.

Der Tragrahmen weist bevorzugt zumindest eine Längsnut auf einer Außenseite auf zur Aufnahme eines Dichtungselements. Mit anderen Worten ist das Dichtungselement in die Längsnut des Tragrahmens eingezogen. Dabei kann die Längsnut als Haltenut ausgeformt sein. Der Vorteil einer Haltenut ist, dass das Dichtungselement sicher in der Haltenut gehalten wird, und dort beispielsweise nur gegen Aufbringung einer Übersprungkraft entnehmbar ist. Im vorliegenden Fall ist der Einsatz einer Trapeznut als Haltenut möglich, da die Dichtungselemente mehrfach wiederverwendbar sind und in einer solchen Haltenut verbleiben können. Die Dichtungselemente können als O-Ringe oder in Form von Lippendichtungen ausgebildet sein.

Der wie hier beschriebene geschützte Einbau der Dichtungselemente stellt bereit, dass die Dichtungselemente in der extrem thermisch heißen Umgebung nicht verbrennen bzw. rasch altern. Insbesondere sind die Dichtungselemente vor Strahlungshitze geschützt angeordnet. Diese Anordnung ermöglicht wiederum in synergistischer Weise den Einsatz dauerhaft wiederverwendbare Materialien für die Dichtungselemente. Da wiederum die Dichtungselemente dauerhaft wiederverwendbar sind und nicht durch den Betrieb zerstört werden, können diese wiederum vorteilhaft in einer Haltenut angeordnet werden, was im Endeffekt die Handhabung des Sicherheitsbehälters (hier beim Zusammenbau der Wandsegmente mit dem Tragrahmen) weiter vereinfacht. So sind die Dichtungselemente vor Verschmutzung und Beschädigung geschützt und verbleiben in den vorteilhaften Haltenuten in der geschützten Einbauposition, in welcher sie im Betrieb vor der Strahlungshitze geschützt sind.

Alternativ oder abgestimmt auf die Situation des zumindest einen Dichtungselements am Tragrahmen kann wie zuvor beschrieben zumindest ein Wandsegment die Dichtungsaufnahme, d.h. eine spezielle Formung, aufweisen zum Befestigen eines Dichtungselements gegen den Tragrahmen. Hierzu kann eine Kante eines Wandsegments gegenüber dem Rand des Tragrahmens außenseitig überzogen und am Randvorsprung ein Dichtungselement angebracht sein. Eine andere Ausführungsform sieht eine Längsnut an der Schmalseite zur Aufnahme eines Dichtungselements vor. Dabei kann das Wandsegment insgesamt eine höhere Wandstärke oder eine Wandverstärkung zumindest in Randnähe aufweisen.

Der Tragrahmen kann ausgebildet sein, eine Segmentdichtung aufzunehmen, und/oder eine Deckeldichtung aufzunehmen, und/oder eine Bodendichtung aufzunehmen. Mit anderen Worten kann der Tragrahmen so gestaltet sein, eine oder mehrere Dichtungen mit unterschiedlichen Zwecken aufzunehmen.

Der Tragrahmen kann gegenüber einer Bodenplatte abgedichtet ausgeführt sein, insbesondere mittels einer Bodendichtung. Der Tragrahmen kann alternativ oder kumulativ gegenüber dem Adapter abgedichtet ausgeführt sein, insbesondere mittels einer Adapterdichtung. Der Tragrahmen kann alternativ oder kumulativ gegenüber den Behältersegmenten abgedichtet ausgeführt sein, insbesondere mittels einer Segmentdichtung.

Es kann jedem Behältersegment eine eigene umlaufende Segmentdichtung zugeordnet sein. So kann bei Verwendung von vier Behältersegmenten vorgesehen sein, vier separate Segmentdichtungen vorzuhalten, so dass die Behältersegmente einzeln abgedichtet sind. Es hat sich nämlich gezeigt, dass es vorteilhaft ist, wenn die Behältersegmente zueinander nicht in elektrischer Verbindung stehen. Wenn diese aber aus elektrisch leitfähigem Material hergestellt werden – was ebenfalls bevorzugt ist, da die Behältersegmente thermisch leitfähig sein sollen und günstige Materialien existieren, die thermisch und elektrisch leitfähig sind – dann kann es zweckmäßig sein, die Behältersegmente voneinander elektrisch zu isolieren. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn eine Induktivheizung eingesetzt ist. Die Isolierung kann mittels der Verbindung über den Tragrahmen erfolgen, so dass die Behältersegmente voneinander beabstandet montierbar sind. In diesem Fall ist es vorteilhaft, wenn jedem Behältersegment seine eigene Segmentdichtung zugeordnet ist, welche ggf. die Isolierfunktion übernimmt.

Der Tragrahmen kann mehrteilig aufgebaut sein. Der Tragrahmen kann eine Mehrzahl von zumindest zwei lösbar aneinander befestigbaren Rahmenelementen aufweisen. Der Tragrahmen kann alternativ oder kumulativ zumindest eines umfassen aus ein Deckelement, eine Mehrzahl von insbesondere senkrechten Stabelementen, und/oder ein Bodenelement. Der mehrteilige Aufbau des Tragrahmens vereinfacht die Aufstellung der Apparatur insgesamt und kann ebenfalls dazu beitragen, die Kosten der Apparatur weiter zu senken. Darüber hinaus bietet der mehrteilige Aufbau des Tragrahmens Vorteile bei allfällig anfallenden Wartungsarbeiten und/oder beim Austausch der Prozesskammer, wenn ein Kristall fertig gezüchtet ist und mit demselben Sicherheitsbehälter eine weitere Prozesskammer bzw. ein weiterer Wachstumsprozess geschützt werden soll.

Mit anderen Worten ist der Sicherheitsbehälter wiederverwendbar ausgestaltet, und kann zur Herstellung einer Vielzahl von Kristallen nach dem PVT-Verfahren eingesetzt werden, was insbesondere auf der Kostenseite zu erheblichen Einsparungen führen kann. Der Sicherheitsbehälter kann vor der Durchführung eines Wachstumsprozesses um die Prozesskammer modular aufgebaut werden, und nach Durchführung der Kristallzüchtung auf einfache Weise wieder abgebaut werden. Dabei sind in besonders vorteilhafte Ausgestaltung alle Teile wiederverwendbar, sodass der Sicherheitsbehälter vor der Durchführung eines weiteren Wachstumsprozesses wiederum um die neue Prozesskammer herum modular aufgebaut werden kann. Durch den mehrteiligen Aufbau ist der Sicherheitsbehälter einfach und ohne großen Aufwand um eine weitere Prozesskammer herum aufbaubar und eine Sicherheitsatmosphäre bereitstellbar.

Die Tragrahmenelemente können auch gegeneinander abgedichtet ausgeführt sein, so dass auch zwischen den Kontakt- bzw. Berührbereichen zwischen einzelnen Tragrahmenelementen kein oder nur wenig Schutzgas in die Umgebung austritt. Alternativ oder kumulativ kann eine Rahmendichtung zum Abdichten eines Rahmentails gegen ein zweites Rahmentail umfasst sein. Die Rahmendichtung kann beispielsweise in einer Rahmendichtungsebene angeordnet sein, die nicht in derselben Ebene angeordnet ist, wie die Segmentdichtung.

Beispielsweise kann eine Ausführungsform so ausgeführt sein, dass jede Segmentdichtung durch das Deckelement, durch zwei Stabelemente und das Bodenelement geführt ist. Alternativ oder kumulativ kann eine Deckeldichtung auf einer Oberseite des Deckelements angeordnet sein zur Abdichtung des Deckels. Ferner alternativ oder kumulativ kann eine Bodendichtung auf einer Unterseite des Bodenelements angeordnet sein zur Abdichtung des Bodenelements gegenüber dem Boden. Der Boden kann dabei als Fertigungsteil bzw. als Montageplatte bereitgestellt sein.

Das Deckelement kann eine segmentseitige Segmentdichtungsnut aufweisen. Die Stabelemente können jeweils zumindest eine Segmentdichtungsnut aufweisen, bevorzugt jeweils zwei Segmentdichtungsnuten je Stabelement. Das oder die Bodenelemente können eine Segmentdichtungsnut aufweisen. Dabei kann insbesondere zumindest eine der Segmentdichtungsnuten eines der Stabelemente fluchtend ausgeführt sein mit der Segmentdichtungsnut des Deckelements und der Segmentdichtungsnut des Bodenelements, so dass in die zueinander fluchtenden Segmentdichtungsnuten eine Segmentdichtung einführbar ist zum umlaufenden Abdichten des Wandungssegments.

Des Weiteren kann die Apparatur einen Tragrahmen zur Halterung von zumindest zwei Wandungssegmenten an dem Tragrahmen umfassen. Der Tragrahmen kann mehrteilig aufgebaut sein. Alternativ oder kumulativ kann der Tragrahmen eine Mehrzahl von zumindest zwei lösbar aneinander befestigbaren Rahmenelementen aufweisen. Alternativ oder kumulativ kann der Tragrahmen zumindest eines umfassen aus einem Deckelement, einer Mehrzahl von insbesondere senkrechten Stabelementen, und/oder einem Bodenelement.

Der Tragrahmen kann zumindest eine Längsnut auf einer Außenseite aufweisen zur Aufnahme eines Dichtungselements. Alternativ oder kumulativ kann der Tragrahmen ausgebildet sein, eine Segmentdichtung aufzunehmen, und/oder eine Deckeldichtung aufzunehmen, und/oder eine Bodendichtung aufzunehmen. Alternativ oder kumulativ kann das Deckelement einstückig ausgebildet sein, insbesondere zum Aufsetzen auf die Stabelemente. Das Deckelement kann alternativ oder kumulativ über die Stabelemente mit dem Bodenelement verbunden sein. Die Elemente des Tragrahmens können alternativ oder kumulativ lösbar miteinander verbindbar sein, beispielsweise schraubbar, um einerseits eine stabile Konstruktion bereitzustellen, die andererseits für Zwecke insbesondere der Wartung oder Öffnung demontierbar ausgebildet ist.

Das Bodenelement kann mehrteilig ausgebildet sein und Bodenbefestigungsabschnitte und Zwischenabschnitte aufweisen und so hergerichtet sein, dass die Stabelemente zwischen die Bodenbefestigungsabschnitte und auf die Zwischenabschnitte aufsetzbar sind,

Alternativ oder kumulativ kann das Bodenelement einteilig ausgebildet sein und die Stabelemente in Aussparungen des Bodenelements einsetzbar sein. Alternativ oder kumulativ kann das Deckelement einteilig ausgeführt sein und die Stabelemente in Aussparungen des Deckelements einsetzbar sein. Weiter alternativ oder kumulativ kann das Deckelement einen seitlich überstehenden Kragen ausbilden, so dass unterhalb des Deckelements die Wandungselemente ansetzbar sind, ohne dass die Wandungselemente seitlich über das Deckelement überstehen.

Der Tragrahmen kann als elektrischer Isolator ausgebildet sein. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Wandungssegmente elektrisch voneinander isoliert werden. Alternativ oder kumulativ kann der Tragrahmen nicht-magnetisch ausgebildet sein. Dies kann gewährleisten, dass die Wandungssegmente keinen Ringmagneten ausbilden können, der ggf. die Heizeinrichtung störend beeinflussen kann. Weiter alternativ oder kumulativ kann der Tragrahmen aus temperaturbeständigem Material gebildet sein. Weiter alternativ oder kumulativ kann der Tragrahmen aus thermisch und/oder elektrisch nicht-leitendem Material beschaffen sein. Weiter alternativ oder kumulativ kann der Tragrahmen Keramik, Kunststoff oder einen Verbundwerkstoff oder eine Kombination daraus umfassen oder daraus bestehen.

Der Tragrahmen kann bevorzugt eine Haltestruktur ausbilden zur Aufnahme der Wandungssegmente am Tragrahmen, so dass Tragrahmen und Wandungssegmente insgesamt die Behälterwandung eines Sicherheitsbehälters ausbilden, zum insbesondere gasdichten oder im Wesentlichen gasdichten Umschließen der Prozesskammer. Zwischen der Behälterwandung des Sicherheitsbehälters und der Prozesskammer kann ein Zwischenraum geschaffen sein, welcher so eingerichtet ist, dass der Zwischenraum mit einer Schutzatmosphäre geflutet werden kann. Alternativ oder kumulativ kann der Sicherheitsbehälter die Prozesskammer allseits umschließen.

Die Heizeinrichtung kann so ausgebildet sein, dass sie die Prozesskammer umgibt. Alternativ oder kumulativ kann die Heizeinrichtung ringförmig um die Prozesskammer ausgebildet sein.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Figuren näher dargestellt, wobei gleiche und ähnliche Elemente teilweise mit gleichen Bezugszeichen versehen sind und die Merkmale der verschiedenen Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden können.

Kurzbeschreibung der Figuren

Es zeigt:

- Fig. 1 Querschnittsdarstellung einer erfindungsgemäßen Apparatur,
- Fig. 2 perspektivische und vereinfachte Darstellung eines teilmontierten Sicherheitsbehälters,
- Fig. 3 perspektivische Schnittansicht einer Ausführungsform einer Apparatur,
- Fig. 4 Explosionsdarstellung einer Ausführungsform einer Apparatur,
- Fig. 5 Ausführungsform eines Tragrahmens,
- Fig. 6 Detailausschnitt einer Ausführungsform eines Tragrahmens,
- Fig. 7 weiteres Detail einer Ausführungsform eines Tragrahmens,
- Fig. 8 noch ein Detail einer Ausführungsform eines Tragrahmens,
- Fig. 9 Detail des Verlaufs von Dichtungen im Tragrahmen,
- Fig. 10 weiteres Detail zum Verlauf von Dichtungen im Tragrahmen,
- Fig. 11 Querschnitt-Detail einer Apparatur,
- Fig. 12 teilmontierter Sicherheitsbehälter mit Tragrahmen,
- Fig. 13 Aufbau eines beispielhaften Segments einer doppelwandigen Behälterwandung mit Temperierungseinrichtung,
- Fig. 14 Detail eines Anschlusses der Temperierungseinrichtung,
- Fig. 15 Ausführungsform eines Kühlsegments der Behälterwandung mit Teil der Temperierungseinrichtung,
- Fig. 16 perspektivische Ansicht einer Ausführungsform eines Sicherheitsbehälters,
- Fig. 17 perspektivische teilgeöffnete Darstellung einer Ausführungsform einer Apparatur mit Prozesskammer,
- Fig. 18 perspektivische Darstellung einer Apparatur.

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

Die **Fig. 1** zeigt eine Querschnittsdarstellung einer Ausführungsform der Apparatur. Im Zentrum der Apparatur befindet sich auf einem Ständer stehend eine aus einem Hohlzylinder bestehende Wachstumszelle 1 mit einem Boden und einem Deckel, die die beiden Enden des Hohlzylinders verschließen. Die Wachstumszelle 1 besteht aus einem porösen Graphit. Auf dem Boden wird ein Quellmaterial 2 geschichtet. An der Unterseite des Deckels befindet sich ein Keim 3.

Die Wachstumszelle 1 ist in einer Prozesskammer 4 angeordnet, die aus einem an beiden Enden von einem Boden bzw. einer Decke geschlossenen Hohlzylinder besteht. Die zylindrische Wandung der Prozesskammer 4 besteht aus einem hitzebeständigen Quarzglas und kann über einen Prozessgasanschluss mit einem Einlassventil 5 mit einem Prozessgas befüllt werden. Da der Graphit der Wachstumszelle 1 porös ist, gelangt das Prozessgas von der Prozesskammer 4 auch in die Wachstumszelle 1.

Eine Heizeinrichtung 6 besteht aus einer Induktionsspule 7, die die Prozesskammer 4 auf Höhe der Wachstumszelle umgibt. Wenn diese von einem elektrischen Strom durchflossen wird, erzeugt sie ein elektromagnetisches Feld, das in dem Graphit der Wachstumszelle 1 einen elektrischen Strom induziert, der die Wachstumszelle 1 auf über 2.000 °C bis zu 2.400 °C erhitzt.

Die hohen Temperaturen und die benötigte Durchlässigkeit für das elektromagnetische Feld der Induktionsspule 7 machen es notwendig, zumindest die zylindrische Wandung der Prozesskammer 4 aus einem hierfür geeigneten temperaturbeständigen Material herzustellen. Üblicherweise wird die zylindrische Wandung der Prozesskammer 4 aus Quarzglas hergestellt, welches sich als besonders geeignet erwiesen hat und günstig in der Herstellung ist.

Zur Herstellung eines SiC-Einkristalls wird Siliciumcarbid in die Wachstumszelle 1 gegeben und die Prozesskammer 4 mit einem Prozessgas geflutet. Das Prozessgas kann ein Reaktivgas umfassen, wie einen Anteil Wasserstoff enthalten, und/oder bis zu 100% aus Wasserstoff bestehen. Wird nun die Wachstumszelle 1 mittels der Induktionsspule 7 erhitzt, sublimiert das Siliciumcarbid und lagert sich Lage für Lage an dem Keim 3 an, so dass ein SiC-Einkristall heranwächst. Wird Wasserstoff im Prozessgas eingesetzt, so kann es dafür sorgen, dass sich dabei keine Kristalldefekte im Kristall bilden oder sich an der jeweiligen Wachstumsstelle Fremdatome einlagern könnten. Eine Einlagerung von unerwünschten Fremdatomen führt regelmäßig zu einer Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit, die ggf. auch lokal auftreten kann und als Störung bzw. Qualitätsminderung nachteilig sein kann. Auch kann eine Beeinflussung der Prozessgaszusammensetzung durch Reaktionen mit anderen Prozessgasen oder der HotZone (Graphitkomponenten) durch den Einsatz des Reaktivgases erwirkt werden. Die veränderte Prozessgaszusammensetzung kann wiederum Einfluss auf die Kristallinität, Struktur, Kristalldefekte und Dotierung des SiC-Kristalles haben.

Beispielsweise konnte gezeigt werden, dass ab einem Wasserstoffanteil von 5% oder mehr im Prozessgas vorteilhafte Effekte erzielt werden, wobei in derart geringen Konzentrationen von unter 5% Wasserstoff im Prozessgas typischerweise keine Schutzmaßnahmen beispielsweise zum Explosionsschutz notwendig sind. Besonders vorteilhafte Ergebnisse konnten im Bereich zwischen 5% Wasserstoffanteil bis etwa 40% Wasserstoffanteil erhalten werden, wobei im Bereich von 15% Wasserstoffanteil am Prozessgas (insbesondere $\pm 5\%$) ein erhöhter Reinheitsgrad des Kristalls erhalten werden konnte. Grundsätzlich ist aber auch bei geringen Konzentrationen der Einsatz eines erfindungsgemäßen Sicherheitsbehälters vorteilhaft.

Die Verwendung eines reaktiven Gases wie Wasserstoff ist aber, wie einleitend beschrieben, deshalb problematisch, da bei einem potentiellen Bruch der Wandung der Prozesskammer 4 das reaktive Gas sich – ohne den hier beschriebenen Sicherheitsbehälter - mit der Umgebungsluft mischt, so dass beispielsweise ein zündfähiges Gasgemisch entstehen kann, das sich an den heißen Teilen der Apparatur so gleich entzünden würde.

Die Prozesskammer 4 des hier gezeigten Ausführungsbeispiels ist von einem Sicherheitsbehälter 8 umgeben, der eine die zylindrische Wandung der Prozesskammer 4 umgebende zylindrische Behälterwandung 9 umfasst, die auf einem Boden 10 steht und oben von einer Decke 11 verschlossen ist. Boden 10 und Decke 11 des Sicherheitsbehälters 8 schließen an den Boden und die Decke der Prozesskammer 4 an.

Der Sicherheitsbehälter 8 kann dabei gleichzeitig Bestandteil des Kühlkonzeptes der Apparatur sein. Mit anderen Worten kann der Sicherheitsbehälter 8 in das Kühlkonzept der Apparatur integriert sein. Dazu kann die zylindrische Behälterwandung 9 mit Kühlkanälen versehen sein, die an ein Kühlsystem angeschlossen sind. Das Kühlkonzept kann also vorsehen, dass der Sicherheitsbehälter 8 eine Kühlfunktion für die Apparatur bereitstellt. Beispielsweise kann durch den Sicherheitsbehälter 8 ein Kühlmedium zirkulieren, wie insbesondere Wasser. Andererseits kann vorgesehen sein, dass die Sicherheitsatmosphäre im Sicherheitsbehälter 8 die Kühlfunktion bereitstellt. Beispielsweise kann hierfür die Sicherheitsatmosphäre umgewälzt werden, um Wärmeleistung abzuführen. Insgesamt kann der Sicherheitsbehälter derart ausgerüstet sein, dass der Sicherheitsbehälter mit seiner Kühlfunktion zur Temperierung der Prozessbedingungen herangezogen werden kann, so dass stets konstante Temperaturen – oder ein ähnlicher Temperaturbereich – eingehalten werden kann, unabhängig von den unter Umständen stark schwankenden Umgebungsbedingungen. Beispielsweise kann die Umgebung eine Tagestemperaturverlaufskurve oder auch jahreszeitliche Temperaturschwankungen beinhalten, oder auch von in der Nähe stattfindenden ggf. thermischen Prozessen beeinflusst werden.

Schließlich kann der Sicherheitsbehälter 8 so aufgebaut sein, dass er metallisch leitfähig ausgerüstet ist. Der metallisch leitfähige Sicherheitsbehälter 8 kann in der Art eines Faraday'schen Käfigs eine Abschirmung für den im Inneren ablaufenden Prozess bereitstellen, so dass beispielsweise elektromagnetische Wechselfelder in der Behälterwandung 9 des Sicherheitsbehälters 8 einen definierten Endpunkt erhalten, und nicht asymptotisch auslaufen, potentiell bis ins Unendliche. Dies kann vorteilhaft sein, wenn mehrere Apparate nebeneinander

aufgebaut werden sollen, wobei sich entsprechende Wechselfelder gegenseitig beeinflussen und die Prozessbedingungen gegenseitig stören können. Mit anderen Worten kann der metallisch leitfähig ausgerüstete Sicherheitsbehälter 8 gleichmäßige Prozessbedingungen auch unter der Bedingung gewährleisten, dass mehrere ggf. auch verschiedenartige Apparate nah beieinander aufstellbar sind, ohne dass sich die Prozesse gegenseitig stören.

5 Insgesamt zeigt sich, dass der Sicherheitsbehälter 8 in synergistischer Weise gleich mehrere Aufgaben zu lösen vermag. Nicht nur, dass er die genannte Schutzatmosphäre bereitzustellen vermag, die die Anwendung eines Reaktivgases in der Prozesskammer ermöglicht. Darüber hinaus vermag der Sicherheitsbehälter 8 die Prozesskammer von verschiedenen Umgebungsbedingungen wie Temperaturschwankungen oder schwankende elektrische und/oder magnetische Felder abzuschirmen und somit für den in der Prozesskammer ablaufenden Prozess gleichmäßige Prozessbedingungen zu gewährleisten.

10 Im Boden des Sicherheitsbehälters 8 kann eine Ringleitung mit einem oder mehreren Anschlüssen an einem ringförmigen Zwischenraum 12 zwischen der Behälterwandung 9 des Sicherheitsbehälters 8 und der aus einem Quarzglas bestehenden zylindrischen Wandung der Prozesskammer 4 angeordnet sein. Die Ringleitung ist über ein Wechselventil 13 an eine Argonquelle 14 und an eine Stickstoffquelle 15 angeschlossen.

15 In der Decke 11 des Sicherheitsbehälters 8 befindet sich ein verschließbares Auslassventil 16. Außerdem ist dort ein Gassensor 17 (insbesondere als Wasserstoffsensor) und ein Drucksensor 18 vorgesehen.

Über die gesamte Apparatur kann noch eine Haube 20 aus einem bruchfesten Kunststoff oder einem Blech gestülpt sein, die auf dem Boden des Sicherheitsbehälters 8 aufsitzt.

Des Weiteren ist eine Steuereinrichtung 19 vorgesehen, die mit beiden Sensoren 17, 18 signalverbunden ist und über Steuerleitungen das Wechselventil 13, das Auslassventil 16 und das Einlassventil 5 zur Wasserstoffzufuhr steuert.

20 Die Steuereinrichtung 19 erlaubt die Durchführung der folgenden Verfahren: Füllen des Sicherheitsbehälters 8 mit einem Inertgas bevor die Prozesskammer 4 mit Wasserstoff befüllt wird:

- (1) Das Auslassventil 16 wird geöffnet.
- 25 (2) Das Wechselventil 13 wird so geschaltet, dass Argongas aus der Argonquelle 14 von unten langsam in den Zwischenraum 12 einströmt, so dass sich der Zwischenraum 12 von unten mit dem Argongas füllt, wobei die vorhandene Luft durch das offene Auslassventil 16 (oder Überdruckventil oder dgl.) verdrängt wird.
- (3) Schließen des Auslassventils 16 und des Wechselventils 13.
- (4) Einhalten einer Füllpause, damit sich noch vorhandene Luftreste vom Argongas nach oben absetzen können.
- (5) Ggf. einfache oder mehrfache Wiederholung der Schritte (1) bis (3).
- 30 (6) Öffnen des Auslassventils 16.
- (7) Schalten des Wechselventils 13, so dass Stickstoffgas von unten langsam in den Zwischenraum 12 einströmt, wobei sich der Zwischenraum 12 von unten mit dem Stickstoffgas aus der Stickstoffquelle 15 füllt und das vorhandene Argongas durch das offene Auslassventil 16 verdrängt wird.
- (8) Schließen des Auslassventils 16.
- 35 (9) Einstellung und Einhaltung eines Überdrucks im Zwischenraum 12 durch gesteuertes Öffnen des Wechselventils 13, so dass trotz vorhandener und akzeptierter Undichtigkeiten des Sicherheitsbehälters keine Luft in den Zwischenraum 12 einströmen kann.

40 Ein ausreichender Überdruck liegt bei ca. 2 mbar über Umgebung.

Durchgeführt werden müssen jedenfalls die Schritte (1) bis (3) und (9). Die Schritte (4) bzw. (6) bis (8) sind optional.

Um überprüfen zu können, ob der Zwischenraum 12 im ausreichenden Maße sauerstofffrei ist, kann zusätzlich ein Sauerstoffsensor vorgesehen werden.

Verhalten im Fall eines Bruches der Glaswand im Betrieb:

- 45 (1) Ständige Überwachung des Gassensors 17 und
- (2) Verschließen der Wasserstoffzufuhr, wenn der Gassensor 17 Wasserstoff im Zwischenraum 12 detektiert.

50 Bezug nehmend auf die **Fig. 2** ist eine perspektivische Darstellung einer vereinfachten Ausführungsform eines teilmontierten Sicherheitsbehälters 8 gezeigt, wobei aus Gründen der Übersichtlichkeit verschiedene Anbauteile sowie auch die Prozesskammer 4 nicht dargestellt sind. Ferner sei der Vollständigkeit halber darauf hingewiesen, dass die mit Figur 2 gezeigte Ausführungsform keine Details zur

Abdichtung des Innenbereichs 12 aufweist, so dass die mit dieser Ausführungsform erzielbaren Leckraten vergleichsweise hoch ausfallen würden. Verbessert abgedichtete Sicherheitsbehälter 8 werden mit Ausführungen der weiteren Figuren vorgestellt.

In **Fig. 2** ist eine Temperierungseinrichtung 21, jedenfalls teilweise, im Sicherheitsbehälter 8 angeordnet, wobei ein Fluid durch Anschlussstücke 23 in eine Kühlmittleitung 22 eingespeist werden kann. Die Kühlmittleitung 22 kann mit der Innenwand 44 des Sicherheitsbehälters 8 verbunden sein, beispielsweise dort angeklebt, gelötet, geschweißt oder angeschraubt. Von der Prozesskammer 4 aus gelangt Wärmeleistung überwiegend als Strahlungswärme an die Innenwand 44, von wo aus die Wärmeleistung effizient mittels der Temperierungseinrichtung 21 abgeführt werden kann. Beispielsweise kann als Kühlmittel flüssiges Wasser eingesetzt werden. Die mit der Temperierungseinrichtung 21 abführbare Wärmemenge kann bevorzugt einstellbar sein. Beispielsweise kann über die Temperaturvorgabe für das Kühlmittel und/oder Durchlaufmenge oder -geschwindigkeit die abführbare Wärmemenge beeinflusst werden, also eine Temperaturregelung bereitgestellt werden. Dann kann in Ansprechen auf Sensorsignale messend die Umgebungstemperatur und/oder die Prozesstemperatur mit der Temperaturregelung eine Temperierung der Prozesskammer 4 erreicht werden, so dass in der Prozesskammer 4 während des Prozessablaufs eine im Wesentlichen konstante Temperatur vorliegt.

Der Sicherheitsbehälter 8 weist Schaugläser 32 auf, die den Innenbereich 12 überbrücken und beispielsweise zwecks Prozessüberwachung eine Einsicht auf die Prozesskammer 4 ermöglichen. Um die direkte Wärmeabstrahlung klein zu halten, sind die Schaugläser 32 relativ klein ausgeführt. Ferner ist mit Fig. 14 ein Detail der Kältemittleitung 22 mit Leitungsbefestigung 22A, Anschlussstück 23, Übergangsstück 23B und Anschlussstückbefestigung 23A ersichtlich.

Fig. 3 zeigt eine Schnittdarstellung einer Ausführungsform einer Apparatur 100. Eine Prozesskammer 4 wird von einer Induktionsspule 7 teilweise umgeben, welche von einer Heizeinrichtung 6 mit elektrischer Leistung versorgt wird. Die Heizeinrichtung 6 ist teilweise innerhalb und außerhalb des Sicherheitsbehälters 8 angeordnet, wobei zum Beispiel die Leistungselektronik außerhalb angeordnet sein kann, so dass eine abgedichtete Durchführung 62 zur Reduzierung von Gasleckagen vorgesehen ist. Die Induktionsspule 7 mit Teilen der Elektronik ist im Innenraum 12, also in dem von der Sicherheitsatmosphäre einnehmbaren Raum.

Das Schutzgas kann durch die Schutzgaszuführung 54 an der Unterseite des Innenraums 12 (ggf. mehrere Schutzgaszuführungen 54 vorgesehen) zugeführt werden. An der Oberseite 11 ist das Auslassventil 16 angeordnet, mittels welchem beispielsweise die zunächst im Schutzbehälter 8 angeordnete Außenluft (enthaltend Sauerstoff) aus dem Schutzbehälter 8 herausgelassen werden kann, beispielsweise indem ein Schutzgas eingelassen wird, welches schwerer als Luft ist. Anschließend kann, wenn am Auslassventil 16 eine Anschlussleitung angeschlossen ist (nicht dargestellt), auch eine Zirkulation des Schutzgases bereitgestellt werden, beispielsweise um Wärmemenge aus dem Schutzbehälter 8 abzuführen, oder um einen regelmäßigen Austausch des Schutzgases zu gewährleisten.

Die Kühlmittleitung 22 der Temperierungseinrichtung 21 ist in dem hier gezeigten Fall in der Behälterwandung 9 angeordnet, welche doppelwandig ausgeführt ist. Bei dem mit Fig. 3 gezeigten Querschnitt des Sicherheitsbehälters 8 mit Prozesskammer 4 erstreckt sich der Innenraum 12 des Sicherheitsbehälters 8 zur Aufnahme der Schutzatmosphäre von der Kammerwandung 41 und beispielsweise rund um die Prozesskammer 4 herum bis zur Behälterwandung 9, wobei der Innenraum 12 gegen die Behälterwandung 9 abgedichtet ausgeführt ist, um die Gasleckrate aus dem Innenraum 12 in die Umgebung 30 gering zu halten.

Ferner zeigt die mit **Fig. 3** gezeigte Ausführungsform eine Besonderheit dahingehend, dass die Prozesskammer 4 mit einem Adapter 46 ausgerüstet ist. Der Adapter 46 weist in der gezeigten Ausführungsform zwei alternative obere Abdeckungen 47, 48 auf, so dass je nach gewünschter Prozesshöhe die obere Abdeckung 47 oder die weiter innen liegende obere Abdeckung 48 eingesetzt werden kann. Die Abdeckungen 47, 48 sind somit ggf. alternativ zueinander einsetzbar.

Bezug nehmend auf **Fig. 4** ist eine Apparatur 100 insoweit in Explosionsdarstellung gezeigt, dass die dort eingesetzten Komponenten des Sicherheitsbehälters 8 ersichtlich sind. Im Inneren ist die Prozesskammer 4 angeordnet, in dieser Ausführungsform zur besseren Veranschaulichung in leerer Ausführung. Die Quarzglasumwandung 41 (Prozesskammerwand) bildet den inneren Abschluss eines Zwischenraums 12, der zwischen der Quarzglasumwandung 41 (als Innenwand des Sicherheitsbehälters) und der Behälterwandung 9 angeordnet ist. Die Induktionsspule 7 dient als Heizung und ist ringförmig um die Prozesskammer 4 herum angeordnet.

Nach oben hin ist die Prozesskammerwand 41 zunächst offen ausgebildet, wobei mittels eines Kammerverschlusses 42 die Prozesskammer 4 abschließt bzw. abgedichtet ist. Der obere Abschluss wird von dem Adapterring 46 gebildet, der in Doppelfunktion in die Prozesskammerwand 41 eingreift und den Sicherheitsbehälter 8 im oberen Bereich nach innen hin und zum Deckel 11 hin abdichtet. Über den Deckel 11 ist der Adapter 46 mit dem oberen Rahmenabschluss 64 des Tragrahmens 60 verbunden. Der Tragrahmen 60 bildet gewissermaßen das "Skelett" des Sicherheitsbehälters 8, indem zahlreiche Komponenten des Sicherheitsbehälters 8 am Tragrahmen 60 befestigbar sind, wie insbesondere die Behältersegmente 91, 92, 93 und der Deckel 11. Der Tragrahmen 60 ist wiederum über ein Bodenelement bzw. unteren Rahmenabschluss 66 am Boden 10 befestigt, so dass sich insgesamt eine stabile und steife Konstruktion ausbildet.

An dem Tragrahmen 60 ist in der in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsform ein Prüfsegment 91 montierbar, aufweisend ein oder mehrere Schaugläser 32 zur Durchsicht auf die Prozesskammer 4 bzw. den darin ablaufenden Prozess. Ferner sind an dem Tragrahmen 60 die beiden hier dargestellten Kühlsegmente 92, 93 anordenbar. Im rückwärtigen Bereich ist die Elektronikeinheit der Heizeinrichtung 6 dargestellt, welche außerhalb des Sicherheitsbehälters 8 anordenbar ist und die Anschlüsse zur Induktionsspule 7 mit Durchführungen (vgl. z.B. Fig. 7) durch die Behälterwandung 9 durchgeführt werden. Zur Verbesserung der Abdichtung weist der Tragrahmen eine Mehrzahl von Dichtungen auf, hier sichtbar Segmentdichtungen 72, eine Deckeldichtung 74 sowie eine Adapterdichtung 78. Die in Fig. 4 gezeigten Wandungssegmente 91, 92, 93 sind doppelwandig ausgeführt und weisen jeweils eine Innenwand auf (erkennbar die Innenwand 923 des Kühlsegments 92) sowie eine Außenblende 919, 939.

Bezug nehmend auf **Fig. 5** ist ein mehrteiliger Tragrahmen 60 dargestellt, der insgesamt den Tragrahmen 60 zur Halterung der Wandungssegmente 91, 92, 93, 94 ausbildet. Der Tragrahmen 60 weist ein Bodenelement bzw. einen unteren Rahmenabschluss 66 auf, der einteilig oder mehrteilig ausgebildet sein kann. Im hier gezeigten Fall ist der untere Rahmenabschluss 66 mehrteilig, so dass eine Mehrzahl von vier Bodenelementen zusammen mit vier Zwischenstücken 61 insgesamt den unteren Rahmenabschluss 66 bilden. Am unteren Rahmenabschluss 66 ist segmentseitig eine Aufnahmenut 84 vorgesehen zur Aufnahme der Segmentdichtung 72. Die Segmentdichtung 72 verläuft durch die Bodenelement-Aufnahmenut 84, durch die Stabelement-Aufnahmenut 83 sowie durch die Deckelement-Aufnahmenut 82 und ist so ausgebildet, ein Wandungssegment umlaufend abzudichten. Oberseitig des Deckelements 64 ist eine Deckeldichtung-Aufnahmenut 81 vorgesehen zur Aufnahme der umlaufenden Deckeldichtung 74. Allen gezeigten Dichtungselementen ist gemein, dass sie segmentseitig des Tragrahmens 60 angeordnet sind und somit durch den Tragrahmen 60 vor der Wärmestrahlung der Prozesskammer 4 geschützt sind.

Der Tragrahmen 60 ist bevorzugt aus elektrisch und/oder thermisch nicht-leitendem Material hergestellt. Wenn die Segmente 91, 92, 93, 94 bzw. der Deckel 11 am Tragrahmen 60 befestigt werden, insbesondere in die Gegenbefestiger 97A bzw. 69 (Schraublöcher) dann kann mittels des Tragrahmens 60 ein Abstand zwischen den Wandungssegmenten 91, 92, 93, 94 und dem Deckel 11 eingestellt werden, so dass sich die flächigen Komponenten des Behälters 8 nicht gegenseitig berühren. Damit können die flächigen Komponenten des Behälters 8 voneinander elektrisch isoliert werden, wenn sie sich nicht berühren und der Tragrahmen 60 nicht elektrisch leitfähig ist. Dennoch kann eine gute Abdichtung des Sicherheitsbehälters 8 mittels der vorgesehenen Dichtungsnuten 81, 82, 83, 84 und der Dichtungselemente 72, 74, 76, 78 realisiert werden, denn die einzelnen Segmente 11, 91, 92, 93, 94 können gegen den Tragrahmen 60 abgedichtet werden. Dies bietet ggf. den Vorteil, die flächigen Elemente 11, 91, 92, 93, 94 aus vergleichsweise günstigem Rohstoff bereitzustellen wie aus Stahl oder anderen Metallen, die eine hervorragende Wärmeleitfähigkeit aufweisen, aber ohne eine geschlossene metallische bzw. leitfähige Umwandlung zu bilden, in die die elektromagnetischen Wechselfelder der Induktionsheizung 6, 7 einspielen und den Heizbetrieb stören können oder gar unmöglich machen würden. Um die Wandungssegmente 91, 92, 93, 94 noch besser vom Deckel 11 zu separieren weist der obere Rahmenabschluss 64 eine Einfassung 63 auf, über der der obere Rahmenabschluss 64 einen Überstand bildet, so dass der obere Rahmenabschluss 64 beispielsweise nach außen hin bündig mit den Außenblenden 99, 919, 929, 939 der Wandungselemente 91, 92, 93, 94 abschließt. Hierdurch ist sichergestellt, dass die Wandungselemente 91, 92, 93, 94 nicht über den Deckel 11 einen elektrischen Kurzschluss bilden. Zudem wird durch den Überstand die Montage des Deckels 11 weiter vereinfacht und eine breitere Auflagefläche für den Deckel 11 gebildet, so dass die Abdichtung weiter verbessert wird und eine weiter erhöhte Stabilität insgesamt für den Rahmen 60 erzielt wird.

Bezug nehmend auf Figuren 6 bis 10 sind Detailausschnitte von verschiedenen Ausführungsformen des Tragrahmens 60 dargestellt. Mit **Fig. 6** ist der Übergang vom unteren Rahmenabschluss 66 zum Boden 10 deutlicher dargestellt, wobei die Segmentdichtung 72 in die Bodenelement-Aufnahmenut 84 und die bündig daran anschließende Stabelement-Aufnahmenut 83 eingelegt ist. Der untere Rahmenabschluss 66 weist Verbindungsmittel 68 auf, beispielsweise Schraublöcher zum Einführen von Befestigungsschrauben zur Befestigung des unteren Rahmenabschlusses 66 am Boden 10. Zur Abdichtung des Stabelements 62 gegen das Zwischenstück 61 und zugleich gegen die unteren Rahmenabschnittelemente 66 ist eine Rahmendichtung 77 vorgesehen.

Fig. 7 zeigt ein Detail des oberen Rahmenabschlusses 64 mit einem Stabelement 62 und dem daran montierten Wandungselement 92. Das Deckelement 64 weist Aussparungen 67 auf, hier zwei Schraublöcher zur Einführung von Schrauben zur Verbindung des Deckelements 64 mit dem Stabelement 62. Durch die vertiefte Montage der Schrauben in den Aussparungen 67 ist eine bündige und somit dichtende Montage des Deckels 11 auf dem oberen Rahmenelement 64 ermöglicht. Auch ist die Einfassung 63 am Deckelement 64 im Profil sichtbar, wobei auch der Verlauf der in der Einfassung 63 verlaufenden Segmentdichtung 72 in der Deckelement-Aufnahmenut 82 dargestellt ist.

Mit **Fig. 8** ist eine weitere Detaildarstellung eines Ausschnitts eines Tragrahmens 60 gezeigt, wobei ein durchgehender unterer Rahmenabschnitt 66 auf dem Boden 10 aufliegt und gegen den Boden 10 mittels der Bodendichtung 76 abgedichtet ist. Die Bodendichtung 76 verläuft in der Aufnahmenut 85. Eine Vielzahl von Schraublöchern 68 sind vorgesehen für das Durchführen von Schraubmitteln zum Verbinden des unteren Rahmenabschnitts 66 mit dem Boden 10. Hierbei ist ggf. nicht der Einsatz von Aussparungen nötig, da in der hier gezeigten Ausführungsform auf der Oberseite des unteren Rahmenabschnitts 66 keine Dichtfläche gebildet wird.

Figuren 9 und 10 verdeutlichen bei einem mehrteiligen unteren Rahmenabschnitt 66 mit Zwischenstück 61 die Verbindung eines Stabelements 62 (in Fig. 9 der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt, vgl.z.B. Fig. 8 oder 10) mit dem Zwischenstück 61 sowie die Abdichtung des Stabelements 62 mittels der innenliegenden Rahmenteildichtung 77 gegenüber sowohl dem Zwischenstück 61 als auch dem mehrteiligen unteren Rahmenabschnitt 66. Zur Aufnahme der innenliegenden Rahmenteildichtung 77 wird längsseits von zwei unteren Rahmenabschnitten 66 je eine Nut 86A sowie im Zwischenstück 61 eine Nut 86 zur gemeinsamen Aufnahme der Rahmendichtung 77 vorgesehen. Das Stabelement 62 stößt an dem abgedichteten Rahmenteilstoß 65 an das Zwischenstück 61 sowie an zwei der unteren Rahmenabschnitte 66. Zur Befestigung von je einem Wandungssegment 91, 92, 93, 94 sind Gegenbefestiger 97A im Stabelement 62 vorgesehen.

Bezug nehmend auf die **Fig. 11** ist eine Ausschnittsdarstellung eines Querschnitts durch eine Ausführungsform der Apparatur 100 dargestellt. Der Adapter 46 bildet den oberen Abschluss der Prozesskammer 4 bzw. 4a, wobei in dieser Ausführungsform beispielhaft zwei Prozesskammerhöhen von unterschiedlichen Prozesskammern 4 bzw. 4a dargestellt sind, welche alternativ zueinander vom Adapter 46 abgeschlossen werden können. Der Adapter 46 kann also entweder über die Adapterdichtung 78 oder die alternative Adapterdichtung 79 gegen den Sicherheitsbehälter 8 abgedichtet werden. Der Zwischenraum 12 wird zwischen der Kammerwandung 41 und der Behälterwandung 9 gebildet. Der Deckel 11 verbindet dichtend den Adapter 46 über das obere Rahmenteil 64 mit der Behälterwandung 9, so dass insgesamt eine abgedichtete Hülle bzw. Behälter 8 gebildet ist. Dabei kann der Adapter mittels Adapter-Befestigungsmittel 49 mit dem Deckel 11 verbunden sein, beispielsweise verschraubt, und der Deckel 11 wiederum mittels Befestigungsmitteln 69 mit dem oberen Rahmenteil 64 verbunden sein, so dass auch ein kraftschlüssiger Verbund vom Adapter 46 über den Deckel 11 zum Rahmen 64 und weiter in die Behälterwandung 9 gebildet ist. Die Behälterwandung ist in dem gezeigten Beispiel der Fig. 11 doppelwandig ausgeführt und weist eine Innenwand 98, eine Außenblende 99 sowie den dazwischen befindlichen Zwischenraum 122 auf. Die Außenblende 99 steht in dieser Ausführungsform leicht über das obere Rahmenteil 64 über und füllt den Bereich der Einfassung 63 zu einem größeren Teil aus. Eine abgedichtete Durchführung 26 ist vorgesehen für die Durchführung beispielsweise von elektrischen Anschlüssen von oder nach außen zur Umgebung 30.

Mit **Fig. 12** ist ein teilmontierter Behälter 8 gezeigt, wobei an dem an der Bodenplatte 10 fixierten Rahmen 60 bereits ein Wandungssegment in Form des Anschlusselements 94 angeordnet ist. Eine Mehrzahl von abgedichteten Durchführungen 26 stellen eine Möglichkeit bereit, außerhalb des Behälters 8 gelegene Elektronik oder dgl. mit innerhalb des Behälters 8 angeordneten Komponenten zu verbinden. Wenn diese Komponentenanschlüsse zusammengefasst werden dergestalt, dass eine Mehrzahl der oder alle vorgesehenen Verbindungen durch das Anschlusselement 94 durchgeführt werden, dann kann das Anschlusselement 94 so angeordnet oder ausgestaltet sein, dass es dauerhaft oder jedenfalls überwiegend montiert bleibt. Demgegenüber können andere Wandungssegmente 91, 92, 93 so ausgestaltet sein, dass diese schnell und einfach abnehmbar sind, so dass ein zügiger Zugang zur Prozesskammer 4 ermöglicht ist. Wie üblich und durchgehend durch die vorliegende Beschreibung stellen gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente dar, so dass im Weiteren nicht die Beschreibung zu der Vielzahl bereits beschriebener Elemente wiederholt werden müsste.

Bezug nehmend auf **Fig. 13** wird eine weitere Ausführungsform des Kühlsegments 92 mit Sandwich-Aufbau weiter verdeutlicht. An der Innenwand 98 ist die Kühlmittelleitung 22 der Temperierungseinrichtung 21 angeordnet und mittels Anschlüssen 23 nach außen anschließbar. Eine Zwischenraumabdeckung 921, 922 umgibt oder begrenzt das Segment 92 umlaufend, wobei eine Außenblende 99 auf die Zwischenraumabdeckung aufschraubbar ist. Mit der Außenblende 99 sind die Kühlmittelleitung 22 und die Befestigungsmittel 97 abgedeckt und somit einerseits vor Zugriff und andererseits vor unsachgemäßer Beschädigung geschützt. So verbirgt die Außenblende 99 die technischen Installationen vor direktem Blick und Zugriff und verleiht der Apparatur 100 ein attraktives Äußeres. Des Weiteren kann bereits mit Fig. 13 verbildlicht werden, dass auch die Temperierungseinrichtung 21 dahingehend optimiert ist, das Kühlelement 92 als Ganzes schnell und unkompliziert abnehmen zu können, beispielsweise indem Anschlussstücke 23 vorgesehen sind, an denen die Kühlmittelleitung einfach trennbar ist. Beispielsweise können die Anschlussstücke als Schnellverbinder ausgeführt sein, die über Bajonett- oder Schraubverschluss verfügen und einfach und zügig abnehmbar sind. Somit kann das komplette Kühlelement 92 einfach von der Kühlmittelzufuhr getrennt werden und dadurch insgesamt mit der Kühleinrichtung (Kühlmittelleitung 22) vom Behälterverbund gelöst werden. Dies vereinfacht und beschleunigt weiter die Zerlegung und/oder das Öffnen des Behälters 8 für den Fall, dass ein Wartungseingriff und/oder ein Wechsel der Prozesskammer 4 gewünscht ist. So ist der doppelwandige Aufbau der Wandungselemente 91, 92, 93, 94 zwar nicht zwingend notwendig, sondern auch andere Anordnungen der Kühlmittelleitung 22 vorstellbar, aber die Anordnung der Kühlmittelleitung außenseits der Innenwand 923 hat sich als besonders vorteilhaft erwiesen, da hierdurch die Kühlmittelleitung auch außerhalb des abzudichtenden Innenraums 12 angeordnet ist und insgesamt neben der einfacheren Zerlegbarkeit bzw. Montierbarkeit des Sicherheitsbehälters 8 insgesamt außerdem auch weniger abzudichtende Durchführungen durch die Behälterwand 9 benötigt werden.

Bezug nehmend auf **Fig. 15** ist eine Aufsicht auf den Zwischenbereich 122 in der Doppelwand des Kühlsegments 92 der Behälterwandung 9 dargestellt mit Temperierungseinrichtung 21, wobei die Kühlmittelleitung 22 in dem Zwischenbereich 122 in der

Behälterwandung 9 angeordnet ist. Die Behälterwandung 9 umfasst in dem hier gezeigten Fall eine Innenwand 98, Rahmentteile 92, 94 und die Kühlmittleitung 22 der Temperierungseinrichtung 21, welche in einem Zwischenbereich 122 angeordnet ist. Auf dem ersten Segment 91 sind Rahmentteile 92, 94 mit Befestigungsmitteln 97 befestigt. Weitere Befestigungsmittel 96 (z.B. Schraublöcher) sind in regelmäßigen Abständen auf den Rahmentteilen 92, 94 angeordnet, so dass der Zwischenbereich 122 davon eingefasst wird.

5 **Fig. 16** zeigt schließlich eine auf dem Boden 10 aufgebaute Apparatur 100 mit mehrteiliger Behälterwandung 9, welche Wandungssegmente 91 und 92 umfasst. Die Kühlmittleitungen 22 (vgl. z.B. Fig. 15 oder 13) verlaufen geschützt hinter der Außenblende 99 und sind mittels Ausgleichsbögen 24 miteinander kommunizierend verbunden, so dass ein Kühlmittel – z.B. Wasser – durch die Temperierungseinrichtung 21 fließen kann. Zudem sind die Ausgleichsbögen 24 schnell abnehmbar, so dass die Kühlmittleitungen 22 und somit die Wandungssegmente 91, 92 insgesamt einfach voneinander lösbar sind. Die Prozesskammer 4 (vgl. z.B. Fig. 1 oder 3) ist allseits von der Sicherheitsatmosphäre im Zwischenraum 12 umgeben – oder je nach Ausführungsform jedenfalls oberhalb des Bodens 10 allseits von der Sicherheitsatmosphäre umgeben. Sollte die Prozesskammer 4 bersten oder anderweitig versagen und Prozessgas entweichen, so vermischt sich das Prozessgas mit dem im Innenraum 12 vorgehaltenen Schutzgas zu einem ungefährlichen Mischgas.

1.0 Bezug nehmend auf **Fig. 17** ist eine weitere Ausführungsform einer Apparatur 100 gezeigt, wobei das Anschlusselement 94 abgenommen ist und je ein Kühlelement 92, 93 montiert ist. An dieser Ausführungsform wird deutlich und/oder unterscheidet sich von den weiteren Ausführungsformen, dass unterhalb des Bodens 10 Gaszu- und -ableitungen 51, 54 geführt werden können, so dass diese außerhalb der Umgebung 30 verlaufen und somit nicht in dem Bereich sind, gegen den der Sicherheitsbehälter 8 schützen müsste. So kann der Unterboden 31 auf andere Weise geschützt werden bzw. ist dort nicht nötig, dass ein Schutz durch die Sicherheitsatmosphäre bereitgestellt würde. Mithin erstreckt sich die Prozesskammer 4 nicht weit genug in den Unterboden 31 oder überhaupt nicht in den Unterboden 31, so dass dort keine entsprechende Erhitzung und/oder überhaupt ein Riss der Kammerwandung 41 zu erwarten ist, der zu einem signifikanten Ausströmen von Prozessgas in den Unterboden 31 führen würde, bzw. der zu einer solchen Verpuffung führen könnte, dass eine Gefährdung in der Umgebung 30 zu erwarten wäre. Dies hat ebenfalls den weiteren Vorteil, dass weniger Durchführungen durch oder in den Innenraum 12 geführt werden müssen und somit die Dichtigkeit des Schutzbehälters 8 weiter gesteigert werden kann. Ein weitere Vorteil stellt sich dadurch, dass die Zu- und Ableitungen unterhalb des Bodens 10 in der Umgebung 30 nicht stören, sondern vielmehr verdeckt verlegt werden können.

2.0 Mit **Fig. 18** ist schließlich noch eine weitere Ausführungsform einer voll geschlossenen Apparatur 100 gezeigt, wobei in der Darstellung rechtsseitig ein Kühlsegment 92 und linksseitig ein Anschlusselement 94 eingesetzt ist. Die Heizelektronik 6 ist lediglich schematisch angedeutet und außerhalb des Schutzbehälters 8 angeordnet. Die flanschartige Anordnung unmittelbar an der Behälterwandung 9 ohne schlauchartige Zwischenverbinder sorgt für eine weiter verbesserte Gasabdichtung, so dass dieser Elektronikflansch für die Heizeinrichtung 6 bevorzugt ist. Da dies eine vergleichsweise starre Anordnung des Anschlusselements 94 bedeuten kann, kann es daher bevorzugt sein, zum Zwecke des Austauschs der Prozesskammer 4 oder allgemein zum Wartungszugang besser das Kühlelement 92 zu entfernen und somit Zugang zur Prozesskammer und/oder zum Induktionsheizer etc. zu erhalten. Alternativ oder kumulativ kann selbstverständlich auch der Deckel 11 bzw. der Adapter 46 entfernt werden und die Prozesskammer nach oben entnommen werden, so dass die im Sicherheitsbehälter 8 befindliche Hardware und Elektronik bzw. Gasanschlüsse etc. nicht entfernt oder verändert werden muss.

3.0 Es konnte gezeigt werden, dass das modulare Konzept der hier vorgestellten Weiterentwicklungen und Erfindungen eine enorme Verbesserung und einen Sicherheitsgewinn gegenüber früheren Apparaturen mit sich bringt, wobei die Herstellungskosten gesenkt und die Wartbarkeit der Systemkomponenten vereinfacht werden kann. Die vorliegende Beschreibung weist insgesamt eine Vielzahl an Aspekten auf, die einzeln oder zusammen mit anderen wesentliche Aspekte der Erfindung(en) definieren können.

3.5 Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beispielhaft zu verstehen sind und die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise variiert werden kann, ohne den Schutzbereich der Ansprüche zu verlassen. Ferner ist ersichtlich, dass die Merkmale unabhängig davon, ob sie in der Beschreibung, den Ansprüchen, den Figuren oder anderweitig offenbart sind, auch einzeln wesentliche Bestandteile der Erfindung definieren, selbst wenn sie zusammen mit anderen Merkmalen gemeinsam beschrieben sind. In allen Figuren stellen gleiche Bezugszeichen gleiche Gegenstände dar, so dass Beschreibungen von Gegenständen, die gegebenenfalls nur in einer oder jedenfalls nicht hinsichtlich aller Figuren erwähnt sind, auch auf diese Figuren und Ausführungsbeispiele übertragen werden können, hinsichtlich welchem der Gegenstand in der Beschreibung nicht explizit beschrieben ist.

4.0

Bezugszeichenliste

	1	Wachstumszelle
	2	Quellmaterial
5	3	Keim
	4, 4A	Prozesskammer
	5	Einlassventil
	6	Heizeinrichtung
	7	Induktionsspule
10	8	Sicherheitsbehälter
	9	Behälterwandung
	10	Boden
	11	Decke
	12	Zwischenraum
15	13	Wechselventil
	14	Argonquelle
	15	Stickstoffquelle
	16	Auslass(ventil)
	17	Gassensor
20	18	Drucksensor
	19	Steuereinrichtung
	20	Haube
	21	Kühl- bzw. Temperierungseinrichtung
	22	Kühlmittleitung
25	22A	Leitungsbefestigung
	23	Anschlussstück
	23A	Anschlusshalter
	23B	Bogenstück
	24	Ausgleichsbogen
30	26	abgedichtete Durchführung
	30	Umgebung
	31	Unterboden
	32	Schauglas
	41	Prozesskammerwand oder Innenwand des Sicherheitsbehälters
35	42	Kammerverschluss
	46	Adapter
	47	obere Abdeckung der Prozesskammer
	48	obere Abdeckung der Prozesskammer
	49	Adapter-Befestigungsmittel
40	51	Prozessgaszuführung
	52	Prozessgasabführung
	54	Schutzgaszuführung
	56	Schutzgasauslass
	60	Tragrahmen
45	61	Zwischenstück
	62	Stabelement oder Rahmenstrebe
	63	Einfassung
	64	oberer Rahmenabschluss bzw. Deckelement
	65	Rahmenteilstoß
50	66	unterer Rahmenabschluss bzw. Bodenelement

	67	Aussparungen zur Aufnahme von Rahmen-Verbindungsmitteln
	68	Verbindungsmittel
	69	Gegenbefestigung für Deckel 11
	72	Segmentdichtung
5	74	Deckeldichtung
	75	Dichtungselement
	76	Bodendichtung
	77	innenliegende Rahmenteilabdichtung
	78	Adapterdichtung
10	79	alternative Adapterdichtung
	81	Deckeldichtung-Aufnahmenut
	82	Deckelement-Aufnahmenut
	83	Stabelement-Aufnahmenut
	84	Bodenelement-Aufnahmenut
15	85	Aufnahmenut
	86	Rahmendichtungs-Aufnahmenut
	86A	stirnseitige Rahmendichtungs-Aufnahmenut
	91	Abschnitt der Behälterwandung, Prüfsegment
	92	Abschnitt der Behälterwandung, Kühlsegment
20	93	Abschnitt der Behälterwandung, weiteres Kühlsegment
	94	Abschnitt der Behälterwandung, Anschlusssegment
	96	Befestigungselement
	97	Befestigungselement
	97A	Gegenbefestigung zum Befestigungselement 97
25	98	Innenwand
	99	Außenblende
	100	Apparatur
	122	Zwischenbereich
	919	Außenblende des Prüfsegments
30	921	obere Zwischenraumabdeckung
	922	seitliche Zwischenraumabdeckung
	923	Innenwand des Kühlsegments
	924	untere Zwischenraumabdeckung
	929	Außenblende des Kühlsegments
35	939	Außenblende des weiteren Kühlsegments

Patentansprüche

1. PVT-Verfahren zum prozesssicheren Herstellen von Einkristallen in einer Apparatur (100), wobei die Apparatur eine Prozesskammer (4) zur Aufnahme einer hoch erhitzbaren Wachstumszelle (1) und eine Heizeinrichtung (6) zum Erhitzen der Wachstumszelle (1) umfasst, wobei die Wachstumszelle hergerichtet ist zur Aufnahme eines Quellmaterials (2) und eines Keims (3), und wobei die Prozesskammer (4) mit einem Prozessgas befüllbar ist und die Wachstumszelle (1) erhitzen ist,
wobei die Apparatur einen die Prozesskammer umschließenden Sicherheitsbehälter (8) umfasst zum, insbesondere gasdichten oder im Wesentlichen gasdichten, Umschließen der Prozesskammer (4), und
wobei der Sicherheitsbehälter eine umlaufende Behälterwandung (9) aufweist, so dass ein Zwischenraum (12) zwischen der Behälterwandung (9) des Sicherheitsbehälters (8) und der Prozesskammer (4) geschaffen ist, mit den Schritten
Bereitstellen einer Schutzatmosphäre in dem Zwischenraum und hierfür Fluten des Zwischenraums mit der Schutzatmosphäre,
Bereitstellen des Prozessgases in der Prozesskammer, wobei das Prozessgas ein Reaktivgas umfasst oder daraus besteht, und
Erhitzen der Wachstumszelle mittels der Heizeinrichtung, so dass das Quellmaterial sublimiert und am Keim resublimiert.
2. PVT-Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch,
bei dem Bereitstellen der Schutzatmosphäre in dem Zwischenraum (12) einstellen eines Überdrucks gegenüber einem Druck in der Umgebung (30), insbesondere von zumindest 1 mBar über Umgebungsdruck oder mehr, bevorzugt 3 mBar oder mehr, weiter bevorzugt von 5 mBar oder mehr über Umgebungsdruck.
3. PVT-Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei das Erhitzen der Wachstumszelle (1) von radial allseits mittels der die Prozesskammer (4) ringförmig umschließenden Heizeinrichtung (6) erfolgt, und/oder
wobei sichergestellt wird, dass das Bereitstellen der Schutzatmosphäre in dem Zwischenraum (12) abgeschlossen ist, bevor das Prozessgas in die Prozesskammer (4) eingeleitet wird und/oder die Wachstumszelle (1) auf Einsatztemperatur erhitzt ist, und/oder
wobei das Fluten des Zwischenraums (12) mit der Schutzatmosphäre ferner umfasst das Verdrängen von in dem Zwischenraum befindlicher Luft, bevor die Sublimation des Quellmaterials (2) eingeleitet wird.
4. PVT-Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Reaktivgas Wasserstoff umfasst oder daraus besteht, und/oder dass die Schutzatmosphäre ein Inertgas umfasst oder daraus besteht, wobei das Inertgas bevorzugt Argon umfasst oder daraus besteht.
5. PVT-Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sicherheitsbehälter (8) so aufgebaut ist, dass er Gasverluste in die Umgebung (30) zulässt, und dass Schutzgas nachgeführt wird, um Gasverluste auszugleichen, und insbesondere um den Überdruck gegenüber der Umgebung (30) im Sicherheitsbehälter (8) gemäß Anspruch 2 aufrechtzuerhalten.
6. PVT-Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Fluten des Sicherheitsbehälters (8) ein erstes Inertgas, das schwerer als Luft ist, in seinen unteren Bereich eingelassen wird, wobei die Luft nach oben verdrängt wird, wozu ein verschließbarer Auslass (16, 56) am oberen Ende des Sicherheitsbehälters (8) so lange offen bleibt, bis die Luft entwichen ist.
7. PVT-Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach einem ein- oder mehrmaligen Fluten des Sicherheitsbehälters (8) mit dem ersten Inertgas, dieses durch ein zweites Inertgas, insbesondere Stickstoff, ersetzt wird.
8. PVT-Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sicherheitsbehälter (8) einen Gassensor (17) aufweist, der in der Lage ist, das Reaktivgas zu detektieren, und/oder dass die Prozessgaszufuhr zur

Prozesskammer (4) unterbrochen wird, wenn das Reaktivgas im Sicherheitsbehälter (8) detektiert wird.

9. Apparatur (100) zum prozesssicheren Herstellen von Einkristallen insbesondere nach dem PVT-Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, umfassend
- 5 eine Prozesskammer (4) zur Aufnahme einer hoch erhitzbaren Wachstumszelle (1),
eine Heizeinrichtung (6, 7) zum Erhitzen der Wachstumszelle (1),
wobei die Prozesskammer einen Prozessgasanschluss (51) aufweist zu ihrer Befüllung mit einem Prozessgas, welches aus einer Prozessgasquelle bereitstellbar ist,
wobei die Wachstumszelle hergerichtet ist zur Aufnahme eines Quellmaterials (2) und eines Keims (3),
- 10 **dadurch gekennzeichnet, dass**
die Apparatur einen Sicherheitsbehälter (8) umfasst zum, insbesondere gasdichten oder im Wesentlichen gasdichten, Umschließen der Prozesskammer (4), und
der Sicherheitsbehälter eine Behälterwandung (9) aufweist, so dass ein Zwischenraum (12) zwischen der
- 15 Behälterwandung (9) des Sicherheitsbehälters (8) und der Prozesskammer (4) geschaffen ist, welcher so eingerichtet ist, dass der Zwischenraum mit einer Schutzatmosphäre geflutet werden kann.
10. Apparatur (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei die Behälterwandung (9) ausgeführt ist, die Prozesskammer (4) auch von oberseits und/oder unterseits zu umschließen, insbesondere allseits vollständig zu umschließen, und/oder
- 20 wobei die Behälterwandung (9) einen Prozesskammer-Adapter (46) umfasst zur Aufnahme verschieden großer Prozesskammern an derselben Behälterwandung.
11. Apparatur (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei die Behälterwandung doppelwandig ausgeführt ist,
- 25 wobei in einem Zwischenbereich (122) der doppelwandigen Behälterwandung insbesondere eine Kühleinrichtung (21) angeordnet ist.
12. Apparatur (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Sicherheitsbehälter (8) so aufgebaut ist, dass er Gasverluste nach außen zulässt, und/oder dass der Sicherheitsbehälter (8) einen Drucksensor (18) aufweist und der Drucksensor (18) mit einer Steuereinrichtung (19) signalverbunden ist, und/oder
- 30 wobei die Steuereinrichtung (19) so ausgelegt ist, dass auf Basis der Drucksensorsignale ein Überdruck gegenüber der Umgebung (30) im Sicherheitsbehälter (8) eingestellt wird.
13. Apparatur (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
ferner umfassend einen Tragrahmen (60) zur Halterung von zumindest zwei Wandungssegmenten (11, 91, 92, 93, 94) an dem Tragrahmen,
- 35 wobei der Tragrahmen eine Haltestruktur ausbildet zur Aufnahme der Wandungssegmente am Tragrahmen, so dass Tragrahmen und Wandungssegmente insgesamt die Behälterwandung (9) des Sicherheitsbehälters (8) ausbilden, zum insbesondere gasdichten oder im Wesentlichen gasdichten Umschließen der Prozesskammer (4).
- 40 14. Apparatur (100) nach dem vorstehenden Anspruch,
wobei an oder in dem Tragrahmen (60) zumindest ein Dichtungselement (72, 74, 75, 76, 77, 78, 79) angeordnet ist zum Abdichten des Tragrahmens gegenüber der Mehrzahl von zumindest zwei Behältersegmenten (91, 92, 93, 94) und/oder zum Abdichten des Schutzbehälters (8) gegenüber der Umgebung (30), und/oder
- 45 wobei der Tragrahmen (60) zumindest eine Längsnut (81, 82, 83, 84, 85, 86, 86A) auf einer Außenseite aufweist zur Aufnahme eines Dichtungselements (72, 74, 75, 76, 77, 78, 79), und/oder
wobei der Tragrahmen (60) ausgebildet ist, eine Segmentdichtung (72) aufzunehmen, und/oder eine Deckeldichtung (74) aufzunehmen, und/oder eine Bodendichtung (76) aufzunehmen.

15. Apparatur (100) nach einem der Ansprüche 13 oder 14,
wobei der Tragrahmen (60) gegenüber einer Bodenplatte (10) abgedichtet ausgeführt ist, und/oder
wobei der Tragrahmen (60) gegenüber dem Adapter (46) abgedichtet ausgeführt ist, und/oder
wobei der Tragrahmen (60) gegenüber den Behältersegmenten (91, 92, 93, 94) abgedichtet ausgeführt ist, und/oder
5 wobei jedem Behältersegment (91, 92, 93, 94) eine eigene umlaufende Segmentdichtung (72) zugeordnet ist.
16. Apparatur (100) nach einem der Ansprüche 12 bis 15,
wobei der Tragrahmen (60) mehrteilig aufgebaut ist, und/oder
wobei der Tragrahmen (60) eine Mehrzahl von zumindest zwei lösbar aneinander befestigbaren Rahmenelementen (61,
10 62, 64, 66) aufweist, und/oder
wobei der Tragrahmen (60) zumindest eines umfasst aus
ein Deckelement (64), eine Mehrzahl von insbesondere senkrechten Stabelementen (62), und/oder ein Bodenelement (66).
17. Apparatur (100) nach dem vorstehenden Anspruch,
wobei die Rahmenelemente (61, 62, 64, 66) gegeneinander abgedichtet ausgeführt sind, und/oder
15 ferner umfassend eine Rahmenteildichtung (77) zum Abdichten eines Rahmentails gegen ein zweites Rahmenteil, wobei
die Rahmendichtung insbesondere nicht in derselben Ebene angeordnet ist wie die Segmentdichtung (72).
18. Apparatur (100) nach einem der Ansprüche 12 bis 17, wobei jede Segmentdichtung (72) durch das Deckelement (64), durch zwei
20 Stabelemente (62) und das Bodenelement (66) geführt ist, und/oder
eine Deckeldichtung (74) auf einer Oberseite des Deckelements (64) angeordnet ist zur Abdichtung des Deckels (11),
und/oder
eine Bodendichtung (76) auf einer Unterseite des Bodenelements (66) angeordnet ist zur Abdichtung des Bodenelements
gegenüber dem Boden (10).
25
19. Apparatur (100) nach einem der Ansprüche 15 bis 18,
wobei das Deckelement (64) eine segmentseitige Deckelement-Aufnahmenut (82) aufweist, und
wobei die Stabelemente (62) jeweils zumindest eine Stabelement-Aufnahmenut (83) aufweisen, bevorzugt jeweils zwei
Stabelement-Aufnahmenuten je Stabelement, und
30 wobei das oder die Bodenelemente (66) eine Bodenelement-Aufnahmenut (84) aufweist,
und wobei insbesondere zumindest eine der Nuten eines der Stabelemente fluchtend ausgeführt ist mit der Deckelement-
Aufnahmenut und der Bodenelement-Aufnahmenut, so dass in die zueinander fluchtenden Segmentdichtungsuten eine
Segmentdichtung (72) einführbar ist zum umlaufenden Abdichten des Wandungssegments (91, 92, 93, 94).
20. Apparatur (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, ferner umfassend einen Schutzgasanschluss (54) im unteren Bereich
35 des Sicherheitsbehälters (8) und ein verschließbarer Auslass (16, 56) in dessen oberen Bereich.