

Vorrichtung, System und Verfahren zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung, ein System und ein Verfahren zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung.

Zur Beschichtung von Substraten ist das Verfahren der chemischen Gasphasenabscheidung (chemical vapour deposition, CVD) bekannt. Dabei wird wenigstens ein Gas bereitgestellt, welches den abzuscheidenden Stoff enthält. Durch Ablauf einer chemischen Reaktion, die zum Beispiel durch Temperatur treibbar ist, wird der Stoff auf dem Substrat abgeschieden. Mithilfe der chemischen Gasphasenabscheidung können zum Beispiel mikroelektronische Bauelemente oder Lichtwellenleiter hergestellt werden.

Die Abscheiderate lässt sich weiter erhöhen, indem auf Grundlage des Gases ein Plasma erzeugt wird. Zudem kann dadurch die Abscheidereaktion auch bei geringeren Temperaturen bereits effektiv getrieben werden. Diese Variante der chemischen Gasphasenabscheidung wird üblicherweise als plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung (plasma enhanced chemical vapour deposition, PECVD) bezeichnet.

Um die nötige Prozesstemperatur zu erreichen, werden Werkstückträger zum Tragen der Substrate, zum Beispiel von Halbleiterwafern, üblicherweise in eine Reaktionskammer mit beheizbaren Wänden eingeführt. Solche Reaktionskammern werden gelegentlich auch als Warmwandreaktoren bezeichnet. Die Erwärmung erfolgt dabei typischerweise über Widerstand-Heizelemente, die an oder in der Prozesskammerwand verbaut sind.

Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidung weiter zu verbessern, insbesondere deren Effizienz zu erhöhen.

- 5 Diese Aufgabe wird gelöst durch die Vorrichtung, das System und das Verfahren zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung gemäß den Ansprüchen 1, 14 und 15.

10 Eine Vorrichtung gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung weist eine Prozesskammer zur Aufnahme wenigstens eines Werkstückträgers auf. Erfindungsgemäß ist die Vorrichtung dazu eingerichtet, die Prozesskammer mithilfe wenigstens eines von der Prozesskammer aufnehmbaren Werkstückträgers zu beheizen, vorzugsweise
15 bis auf eine Prozesstemperatur zur Gasphasenabscheidung.

Ein Beheizen im Sinne der Erfindung ist ein aktives Beheizen, bei dem wenigstens ein Bauteil dediziert zum Beheizen eingesetzt wird. Unter ein Beheizen fällt dabei auch ein nur zeitweises Beheizen. Beim Beheizen der Prozesskammer mithilfe wenigstens eines aufgenommenen Werkstückträgers kann der Werkstückträger so zum Beispiel als Heizeinrichtung betrieben werden. Ein passives Beheizen zum Beispiel über Abwärme ist dagegen kein Beheizen im Sinne der Erfindung. Ein Erwärmen einer
20 Prozesskammer durch Erhitzen von Elektroden eines Werkstückträgers infolge der Plasmaerzeugung ist also gerade kein Beheizen im Sinne der Erfindung.
25

Ein Aspekt der Erfindung basiert auf dem Ansatz, eine Vorrichtung zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung
30 derart auszubilden, dass eine Prozesskammer zur Aufnahme wenigstens eines Werkstückträgers ausschließlich über wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträger aktiv beheizbar ist. Dabei kann die Vorrichtung insbesondere derart ausgebildet sein,

dass die Prozesskammer unabhängig von einem in die Prozesskammer eingeleiteten Prozessgas und/oder einem in der Prozesskammer erzeugten Vakuum mithilfe des Werkstückträgers beheizbar ist.

5

Ein Vakuum im Sinne der Erfindung ist durch einen Druck unterhalb des auf die Vorrichtung einwirkenden Luftdrucks gekennzeichnet. Anders gesagt bezeichnet ein Vakuum im Sinne der Erfindung einen Unterdruck innerhalb der Prozesskammer gegenüber
10 der Umgebung der Vorrichtung, zum Beispiel einen Druck unterhalb von im Wesentlichen 1 bar.

Die Vorrichtung kann also beispielsweise dazu eingerichtet sein, den Werkstückträger als Heizeinrichtung zu betreiben.

15 Durch die Beheizbarkeit der Prozesskammer mithilfe eines darin aufgenommenen Werkstückträgers kann auf ein separates Heizsystem für die Vorrichtung, zum Beispiel in Form von im Bereich der Prozesskammer verbauten Heizelementen oder eine Heizkassette, verzichtet werden. Die Vorrichtung kann infolgedessen
20 einfacher konzipiert und aufwandsgünstiger hergestellt werden. Zudem kann die Prozesskammer als sogenannter „Kaltwandreaktor“ betrieben werden, wodurch sich die Betriebssicherheit erhöhen lässt. Des Weiteren kann durch den Verzicht auf das separate Heizsystem ein unbeabsichtigtes Beheizen der Prozesskammer bei
25 nicht eingeführtem Werkstückträger vermieden oder auf entsprechende aufwändige Sicherungsmechanismen, die ein Beheizen nur bei aufgenommenem Werkstückträger erlauben, verzichtet werden.

Darüber hinaus kann mit einer zur Beheizung der Prozesskammer
30 mithilfe eines aufnehmbaren Werkstückträgers eingerichteten Vorrichtung Bauraum in der Prozesskammer eingespart und die Prozesskammer daher kompakter gestaltet werden. Damit lässt sich das zu beheizende Volumen und die darin befindliche aufzuheizende Masse verringern. Dies ermöglicht eine Verkürzung

der zum Erreichen der Prozesstemperatur benötigten Zeit bei gleicher Heizleistung. Damit lässt sich die Vorrichtung nicht nur energieeffizient betreiben, sondern das Prozessieren von Werkstücken beschleunigen und entsprechend der Durchsatz erhöhen.
5

Die Vorrichtung weist zweckmäßigerweise eine Steuerungseinheit auf, die zum Steuern der Beheizung der Prozesskammer mithilfe des wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträgers eingerichtet ist. Die Steuerungseinheit kann insbesondere zum Betrieb des wenigstens einen aufgenommenen Werkstückträgers als Heizeinrichtung eingerichtet sein. Die Steuerungseinheit kann beispielsweise dazu eingerichtet sein, eine Verschaltung des Werkstückträgers mit einer Strom- und/oder Spannungsquelle herzustellen, sodass ein Heizstrom durch zumindest einen Teil des Werkstückträgers fließt. Ein Heizstrom kann hierbei ein niederfrequenter Wechselstrom sein, zum Beispiel ein Wechselstrom mit einer Frequenz von weniger als 1 kHz, vorzugsweise von etwa 50 Hz. Ein Teil des Werkstückträgers, zum Beispiel mehrere in Reihe geschaltete Elektroden, kann dabei als Heizwiderstand dienen.
10
15
20

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung und deren Weiterbildungen beschrieben, die jeweils, soweit dies nicht ausdrücklich ausgeschlossen wird, beliebig miteinander sowie mit den im Weiteren beschriebenen Aspekten der Erfindung kombiniert werden können.
25

In einer bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung eine Schalteinrichtung auf, die dazu eingerichtet ist, den wenigstens einen von der Prozesskammer aufgenommenen Werkstückträger selektiv mit wenigstens einer Heizspannungsquelle oder einer Plasmaspannungsquelle zu verbinden. Die Heizspannungs-
30

quelle ist zweckmäßigerweise zur Bereitstellung einer niederfrequenten Wechselspannung zur Beheizung der Prozesskammer eingerichtet, und die Plasmaspannungsquelle ist zweckmäßigerweise zur Bereitstellung einer hochfrequenten Wechselspannung zur Erzeugung des Plasmas eingerichtet. Eine niederfrequente Wechselspannung weist hierbei eine Frequenz von 1 kHz oder weniger, zum Beispiel von 50 Hz, und eine hochfrequente Wechselspannung eine Frequenz von 1 kHz oder mehr, zum Beispiel von 40 kHz, auf. Die Schalteinrichtung ist vorzugsweise dazu eingerichtet, den von der Prozesskammer aufgenommenen Werkstückträger selektiv in einen Plasmastromkreis zum Führen von hochfrequentem Wechselstrom oder wenigstens einen Heizstromkreis zum Führen von niederfrequentem Wechselstrom zu integrieren. Die Schalteinrichtung kann insbesondere dazu eingerichtet sein, den von der Prozesskammer aufgenommenen Werkstückträger zum Betrieb als Plasmaeinrichtung selektiv in einen einzigen Plasmastromkreis zum Führen von hochfrequentem Wechselstrom und zum Betrieb als Heizeinrichtung in wenigstens zwei, vorzugsweise parallele, Heizstromkreise zum Führen von niederfrequentem Wechselstrom zu integrieren. Mithilfe der Schalteinrichtung können so verschiedene Betriebsarten des wenigstens einen aufgenommenen Werkstückträgers realisiert werden.

Die Heizspannungsquelle ist beispielsweise dazu eingerichtet, die niederfrequente Wechselspannung mit einer effektiven Spannung von 145 V und einer effektiven Stromstärke von mehr als 90 A, zum Beispiel 120 A, bereitzustellen. Die Plasmaspannungsquelle ist beispielsweise dazu eingerichtet, die hochfrequente Wechselspannung mit einer effektiven Spannung von 800 V bis 1000 V und einer effektiven Stromstärke von weniger als 90 A, zum Beispiel 75 A, bereitzustellen

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Schalteinrichtung wenigstens zwei Schalteranordnungen auf, die

dazu eingerichtet sind, elektrisch leitende Verbindungen von der wenigstens einen Heizspannungsquelle und der Plasmaspannungsquelle zu einem Stromanschluss, an den ein Werkstückträger anschließbar ist, zu unterbrechen. Die Schalteranordnungen
5 können insbesondere dazu eingerichtet sein, elektrische Leitungen von der wenigstens einen Heizspannungsquelle oder der Plasmaspannungsquelle zu auch als Stromlanzen bezeichneten Kontaktstiften des Stromanschlusses zu unterbrechen. Jede der Schalteranordnungen kann dabei wenigstens einen in eine der
10 Leitungen integrierten Schalter aufweisen. Dadurch können die wenigstens eine Heizspannungsquelle und die Plasmaspannungsquelle unabhängig voneinander mit dem wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträger verbunden werden.

15 Die Steuerungseinheit zur Steuerung der Beheizung der Prozesskammer mithilfe des wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträgers ist in bevorzugter Weise Teil der Schalteinrichtung. Die Steuerungseinheit ist zweckmäßigerweise dazu eingerichtet, die wenigstens zwei Schalteranordnungen zu steuern. Die Steuerungseinheit kann beispielsweise zum Öffnen oder zum Schließen
20 der Schalteranordnungen eingerichtet sein. Insbesondere kann die Steuerungseinheit dazu eingerichtet sein, bei Vorliegen eines Schaltsignals durch entsprechende Ansteuerung der Schalteranordnungen die Heizspannungsquelle vom Werkstückträger zu
25 trennen und die Plasmaspannungsquelle mit dem Werkstückträger zu verbinden. Das Schaltsignal kann beispielsweise ein von einem Benutzer erzeugtes, über eine Benutzerschnittstelle bereitgestelltes Schaltsignal sein. Alternativ oder zusätzlich kann das Schaltsignal auch von der Steuerungseinheit erzeugt
30 werden, beispielsweise wenn die Temperatur des Werkstückträgers oder seiner Umgebung die Prozesstemperatur erreicht oder überschreitet. Zu diesem Zweck kann die Steuerungseinheit mit einem Temperatursensor verbunden sein, der zum Ermitteln oder

zumindest zum Abschätzen der Werkstückträger- oder Umgebungstemperatur eingerichtet ist.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung einen Stromanschluss auf, an den ein von der Prozesskammer aufnehmbarer Werkstückträger anschließbar ist. Der Stromanschluss umfasst vorzugsweise wenigstens vier Kontaktstifte zum elektrischen Kontaktieren eines von der Prozesskammer aufnehmbaren Werkstückträgers. Dadurch können wenigstens
5 zwei Stromkreise des Werkstückträgers unabhängig voneinander mit Strom und/oder Spannung versorgt werden.
10

Die Kontaktstifte können beispielsweise aus einer Wand der Prozesskammer herausragen und derart angeordnet sein, dass sie
15 zur elektrischen Verbindung am Werkstückträger vorgesehene Kontaktstellen bei dessen Aufnahme von der Prozesskammer kontaktieren. Es ist insbesondere denkbar, dass die Kontaktstifte zum Eingreifen in entsprechende, vorzugsweise konisch ausgebildete, Bohrungen am Werkstückträger ausgebildet sind.
20 Dadurch können die Kontaktstifte beim Einführen des Werkstückträgers in die Prozesskammer in die Bohrungen eingleiten und die Kontaktstifte dabei in eine vorgesehene Position führen. Somit ist eine besonders zuverlässige elektrische Anbindung des Werkstückträgers an die Vorrichtung erreichbar. Um einen
25 minimalen Anpressdruck der Kontaktstifte bei der Aufnahme des wenigstens einen Werkstückträgers von der Prozesskammer sicherstellen zu können, ist es auch denkbar, dass die Kontaktstifte innerhalb der Prozesskammer federgelagert sind.

30 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die Kontaktstifte im Bereich einer Rückwand der Prozesskammer angeordnet. Unter einer Rückwand ist dabei die Wand der Prozesskammer auf einer Seite, die wenigstens einer Öffnung zum Ein-

führen des Werkstückträgers in die Prozesskammer gegenüber-
liegt, zu verstehen. Dabei sind die Kontaktstifte vorzugsweise
derart angeordnet, dass die Kontaktstifte den wenigstens einen
Werkstückträger bei Aufnahme durch die Prozesskammer automa-
5 tisch kontaktieren. Die Kontaktstifte können beispielsweise
derart angeordnet sein, dass die Kontaktstifte am Ende des
Einschieben des wenigstens einen Werkstückträgers in die Pro-
zesskammer mit entsprechenden Kontaktstellen des Werkstückträ-
gers in Kontakt kommen. Dadurch lässt sich der Betrieb der
10 Vorrichtung erleichtern. Zum einen kann ein zusätzlicher Kon-
taktierungsschritt wegfallen, in dem der wenigstens eine von
der Prozesskammer aufnehmbare Werkstückträger aktiv mit der
Vorrichtung verschaltet werden muss. Zum anderen muss nicht
explizit auf die korrekte Verschaltung des Werkstückträgers
15 geachtet werden. Diese kann sich vielmehr allein durch das
vollständige Einführen des Werkstückträgers in die Prozesskam-
mer ergeben.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Prozess-
20 kammer zur Aufnahme von zwei Werkstückträgern, insbesondere
nebeneinander, eingerichtet. Zweckmäßigerweise ist die Pro-
zesskammer dazu entsprechend breit, nämlich wenigstens doppelt
so breit wie ein einzelner Werkstückträger, ausgebildet. Ent-
sprechend kann die Prozesskammer auch zwei Stromanschlüsse zum
25 separaten Anschließen jedes Werkstückträgers aufweisen. Das
Dimensionieren der Prozesskammer zur Aufnahme von zwei Werk-
stückträgern erlaubt die Erhöhung des Durchsatzes.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Pro-
30 zesskammer zwei nebeneinander angeordnete, verschließbare Öff-
nungen zum Einführen des wenigstens einen Werkstückträgers in
die Prozesskammer auf. Vorzugsweise sind die beiden Öffnungen
durch einen Anschlagsteg, an den beispielsweise Türen oder

Klappen zum Verschließen der Öffnungen anschlagen können, voneinander getrennt. Dadurch können zwei Werkstückträger unabhängig voneinander in die Prozesskammer eingeführt oder aus der Prozesskammer entnommen werden.

5

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Prozesskammer im Wesentlichen rechteckig ausgebildet und zur Aufnahme wenigstens eines Werkstückträgers mit im Wesentlichen rechteckigem Querschnitt eingerichtet. Dadurch ist das Prozessraum-
10 volumen optimal auf das Profil der Werkstückträger abgestimmt. Insbesondere kann das Totvolumen in der Prozesskammer minimiert werden. Dies erlaubt eine optimale Auslegung eines Gasausleitungssystems, insbesondere von Vakuumpumpen, zum Erzeugen eines Vakuums in der Prozesskammer und ermöglicht eine
15 Verringerung des Verbrauchs von in die Prozesskammer eingespeisten Prozessgas.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Prozesskammer wenigstens eine Reflexionseinrichtung auf, die dazu
20 eingerichtet ist, vom wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträger emittierte elektromagnetische Strahlung, insbesondere Wärmestrahlung im Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums, zurück auf den Werkstückträger zu reflektieren. Die wenigstens eine Reflexionseinrichtung kann zu diesem Zweck
25 beispielsweise mehrere, vorzugsweise rechteckige, Bleche umfassen. Die wenigstens eine Reflexionseinrichtung erlaubt einen noch effizienteren Betrieb der Vorrichtung. Insbesondere lässt sich mithilfe der wenigstens einen Reflexionseinrichtung eine Zeitdauer bis zum Erreichen einer vorgegebenen Prozess-
30 temperatur in der Prozesskammer verringern, sodass der Durchsatz erhöht werden kann. Gleichzeitig kann so auch Energie eingespart werden.

Die mehreren Bleche bilden zweckmäßigerweise einen Stapel, mit dem die elektromagnetische Strahlung besonders effektiv reflektierter ist. Die Bleche können dabei aus verschiedenen Materialien gefertigt sein, die jeweils zur Reflexion einer bestimmten Wellenlänge besonders geeignet sind. Durch das Stapeln solcher Bleche zu einer Reflexionseinrichtung ist elektromagnetische Strahlung auch über einen breiten Wellenlängenbereich effektiv reflektierbar.

10 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Prozesskammer wenigstens drei Reflexionseinrichtungen auf, die im Wesentlichen derart rechtwinklig zueinander derart angeordnet sind, dass sie bei aufgenommenem Werkstückträger in der Prozesskammer oberhalb und entlang zwei einander gegenüberliegenden Längsseiten des Werkstückträgers positioniert sind.

15 Dadurch kann zumindest der größte Teil der vom wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträger emittierten elektromagnetischen Strahlung reflektiert werden. Insbesondere lässt sich so ein großer Winkelbereich um den wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträger mithilfe der Reflexionseinrichtungen abdecken. Neben erhöhter Energieeffizienz und einer Beschleunigung des Heizvorgangs erlaubt die genannte Anordnung der Reflexionseinrichtungen auch eine zuverlässige Begrenzung der Wandtemperaturen der Prozesskammer.

25 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung ein Gaseinspeisungssystem zum Einspeisen von Prozessgas in die Prozesskammer auf.

30 Das Gaseinspeisungssystem umfasst vorzugsweise mehrere Injektoren. Die Injektoren sind zweckmäßigerweise im Bereich einer Decke der Prozesskammer zum Einspeisen von Prozessgas bei aufgenommenem Werkstückträger oberhalb des Werkstückträgers ange-

ordnet, sodass Prozessgas zweckmäßigerweise von oben einspeisbar ist. Die Injektoren können dazu beispielsweise in der Decke der Prozesskammer verbaut sein. Das Vorsehen mehrerer Injektoren, welche die Prozesskammer beispielsweise mit wenigstens einer Gaszuleitung fluidleitend verbinden, erlaubt eine besonders gleichmäßige Verteilung des einzuspeisenden Prozessgases in der Prozesskammer. Vom Werkstückträger getragene Werkstücke sind so auch besonders gleichmäßig prozessierbar.

10 Dabei sind die mehreren Injektoren vorzugsweise entlang der Decke der Prozesskammer verteilt, beispielsweise in Form eines Injektorarrays. Die mehreren Injektoren können insbesondere entlang einer Einführrichtung, in welcher der wenigstens eine Werkstückträger in die Prozesskammer einführbar ist, angeordnet sein. Für jeden von der Prozesskammer aufnehmbaren Werkstückträger kann insbesondere eine Reihe von – in Einführrichtung – hintereinander angeordneten Injektoren vorgesehen sein. Gegebenenfalls sind auch zwei parallele solcher Reihen von hintereinander angeordneten Injektoren denkbar, um zwei verschiedene Prozessgase einleiten zu können. Dabei sind die Injektoren jeder Reihe zweckmäßigerweise mit jeweils einer von zwei Prozessgaszuleitungen fluidleitend verbunden und/oder paarweise neben einem Injektor der jeweils anderen Reihe angeordnet, um eine Gleichverteilung der beiden unterschiedlichen
25 Prozessgase zu ermöglichen.

Die Injektoren sind zum zielgerichteten Injizieren des Prozessgases vorzugsweise düsenartig ausgebildet. Im Bereich einer in die Prozesskammer mündenden Austrittsöffnung kann jeder der Injektoren beispielsweise derart geformt sein, dass Prozessgas strahlförmig, d. h. im Wesentlichen geradlinig mit nur geringer Divergenz, in die Prozesskammer einblasbar ist. Dadurch lässt sich das Prozessgas gerade in den Bereichen be-

reitstellen, in denen wenigstens ein Bestandteil des Prozessgases auf der Oberfläche eines vom Werkstückträger getragenen Werkstücks abgeschieden werden soll, zum Beispiel zwischen Elektroden des wenigstens einen aufgenommenen Werkstückträgers. Zum einen kann so das eingespeiste Prozessgas besonders effizient genutzt und der Verbrauch von Prozessgas entsprechend verringert werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform sind die düsenartig ausgebildeten Injektoren derart angeordnet, dass Prozessgas zwischen mehrere, parallel angeordnete Elektroden des wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträgers einblasbar ist. Dies kann das Erzeugen eines Plasmas zwischen den Elektroden erleichtern bzw. ermöglicht das Erzeugen des Plasmas bereits mit geringen Mengen an eingespeistem Gas. Das eingespeiste Gas kann so insbesondere zwischen den Elektroden des Werkstückträgers hindurchströmen und unterhalb des wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträgers abgesaugt werden, ohne dass es sich zuvor (unnötig) in der Prozesskammer verteilt.

20

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform weist die Vorrichtung ein Gasausleitungssystem auf.

Das Gasausleitungssystem umfasst vorzugsweise mehrere Gasauslässe, die im Bereich eines Bodens der Prozesskammer zum Absaugen von Gas bei aufgenommenem Werkstückträger unterhalb des Werkstückträgers angeordnet sind. Die Gasauslässe können beispielsweise als Öffnungen im Prozesskammerboden ausgebildet sein. Die mehreren Gasauslässe sind vorzugsweise entlang des Bodens der Prozesskammer verteilt, beispielsweise in Form eines Gasauslassarrays. Die mehreren Gasauslässe können insbesondere entlang der Einführrichtung angeordnet sein. Vorzugsweise ist dabei für jeden Injektor, insbesondere für jedes In-

jektorpaar aus zwei parallelen Reihen von Injektoren, ein Gas-
auslass vorgesehen. Dadurch lässt sich das Prozessgas homogen
aus der Prozesskammer absaugen. Dies ist insbesondere bei ei-
ner homogenen Gaseinspeisung über mehrere Injektoren vorteil-
5 haft, da ungewollte Konzentrationsunterschiede vermieden wer-
den können.

Ein System gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung zur plas-
maunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung weist eine
10 Vorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung zur plasma-
unterstützten Gasphasenabscheidung und einen Werkstückträger
auf, mittels dem eine Prozesskammer der Vorrichtung beheizbar
ist. Der Werkstückträger ist vorzugsweise in die Prozesskammer
der Vorrichtung einführbar, insbesondere von der Prozesskammer
15 aufnehmbar, ausgebildet. Zweckmäßigerweise ist der Werkstück-
träger zum Betrieb durch die Vorrichtung als Heizeinrichtung
ausgebildet. Hierzu kann die Heizeinrichtung zum Beispiel meh-
rere, von Elektroden des Werkstückträgers gebildete Heizstrom-
kreise aufweisen. Die Elektroden dienen dabei vorzugsweise als
20 Heizwiderstände, an denen eine niederfrequente Wechselspannung
anlegbar ist. In besonders bevorzugter Weise ist der Werk-
stückträger dabei auch zum Betrieb durch die Vorrichtung als
Plasmaeinrichtung ausgebildet, mit der ein Plasma in der Pro-
zesskammer erzeugt werden kann. Hierzu können zum Beispiel we-
25 nigstens zwei der Heizstromkreise voneinander isoliert sein
und einander benachbarte Elektroden aufweisen, so dass zwi-
schen benachbarten Elektroden eine hochfrequente Wechselspan-
nung anlegbar ist.

30 Bei einem Verfahren gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung
zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung wird
eine Prozesskammer beheizt, und zwar erfindungsgemäß mithilfe
wenigstens eines von der Prozesskammer aufnehmbaren Werkstücks

oder Werkstückträgers. Mit anderen Worten kann die Prozesskammer durch das Werkstück oder den Werkstückträger aktiv beheizt werden.

5 Zweckmäßigerweise wird ein Heizstrom in Form eines niederfrequenten Wechselstroms durch das Werkstück oder den Werkstückträger geleitet, zum Beispiel indem eine entsprechende Wechselspannung an das Werkstück oder den Werkstückträger angelegt wird. Beispielsweise kann die Wechselspannung mit einer Frequenz von weniger als 1 kHz, zum Beispiel mit 50 Hz, an eine
10 Elektrodenanordnung, insbesondere an mehrere elektrisch in Reihe geschalteten Elektroden der Elektrodenanordnung, angelegt werden. Die Elektroden dienen dabei zweckmäßigerweise als Heizwiderstände. Es ist aber auch denkbar, dass das Werkstück
15 als Heizwiderstand dient. Durch das erfindungsgemäße Verfahren muss zum Beheizen der Prozesskammer nicht auf konventionelle, im Bereich der Prozesskammer angeordnete Heizsysteme zurückgegriffen werden. Beispielsweise können separate Heizeinrichtungen entfallen und infolgedessen Vorrichtungen mit kompakteren
20 Prozesskammern verwendet werden. Dies ermöglicht auch eine Verkürzung einer Zeitdauer, die zum Erreichen einer zur Gasphasenabscheidung vorgesehenen Prozesstemperatur notwendig ist. Gleichzeitig lässt sich mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der Verfahrensaufwand verringern. In einzelnen Anwendungsfällen können auch höhere Abscheideraten möglich sein.
25

Vor dem Beheizen der Prozesskammer kann der Werkstückträger oder das Werkstück in die Prozesskammer eingeführt werden, zum Beispiel über in der Prozesskammer angeordnete Laufrollen. Dabei wird der Werkstückträger in bevorzugter Weise mit einer
30 Schalteinrichtung der Vorrichtung, insbesondere automatisch, elektrisch verschaltet. Beispielsweise kann der Werkstückträger so weit in die Prozesskammer eingeschoben werden, bis Kontaktstellen am Werkstückträger mit im Bereich einer Rückwand

der Prozesskammer angeordneten Kontaktstiften eines Stromanschlusses der Vorrichtung in Kontakt treten.

5 Zweckmäßigerweise wird das Werkstück oder der Werkstückträger nach dem Beheizen als Plasmaeinrichtung betrieben. Dazu kann eine hochfrequente Wechselspannung mit einer Frequenz von 1 kHz oder mehr, zum Beispiel von 40 kHz, an das Werkstück oder den Werkstückträger, insbesondere die Elektroden, angelegt werden. Dadurch lässt sich das Werkstück oder der Werkstück-
10 träger besonders effizient nutzen.

Im Weiteren wird die Erfindung anhand von Figuren näher erläutert. Soweit zweckdienlich, sind hierin gleich wirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen versehen. Die Erfindung ist
15 nicht auf die in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt – auch nicht in Bezug auf funktionale Merkmale. Die bisherige Beschreibung wie auch die nachfolgende Figurenbeschreibung enthalten zahlreiche Merkmale, die in den abhängigen Unteransprüchen teilweise zu mehreren zusammenge-
20 fasst wiedergegeben sind. Diese Merkmale wie auch alle übrigen oben und in der nachfolgenden Figurenbeschreibung offenbarten Merkmale wird der Fachmann jedoch auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfügen. Insbesondere sind alle genannten Merkmale jeweils einzeln und in be-
25 liebiger geeigneter Kombination mit der Vorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, dem System gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung und dem Verfahren gemäß dem dritten Aspekt der Erfindung kombinierbar.

30 Es zeigen, zumindest teilweise schematisch:

Fig. 1 ein Beispiel einer Vorrichtung zur plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung in einer Seitenansicht;

Fig. 2 ein Beispiel eines Systems zur plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung;

Fig. 3 ein Beispiel eines Systems zur plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung; und

Fig. 4 ein Beispiel eines Verfahrens zur plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung.

10 **Figur 1** zeigt ein Beispiel einer Vorrichtung 1 zur plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung in einer Seitenansicht. Die Vorrichtung 1 weist eine Prozesskammer 2 zur Aufnahme wenigstens eines Werkstückträgers durch eine verschließbare Öffnung 17, ein Gaseinspeisungssystem 3 zum Einspeisen wenigstens eines Prozessgases in die Prozesskammer 2 und ein Gasausleitungssystem 4 zum Erzeugen eines Vakuums in der Prozesskammer 2 auf. Die Vorrichtung 1 ist dabei dazu eingerichtet, die Prozesskammer 2 mithilfe wenigstens eines von der Prozesskammer 2 aufgenommenen Werkstückträgers zu beheizen.

20

Zu diesem Zweck umfasst die Vorrichtung 1 einen Stromanschluss 5 zum elektrischen Anschließen des Werkstückträgers an die Vorrichtung 1. Der Stromanschluss 5 ist dabei vorzugsweise innerhalb der Prozesskammer 2, insbesondere im Bereich einer Rückwand 6 der Prozesskammer 2, angeordnet. Der Stromanschluss 5 weist vorzugsweise mehrere Kontaktstifte 7 auf, die gelegentlich auch als Stromlanzen bezeichnet werden. Die Kontaktstifte 7 sind in bevorzugter Weise derart angeordnet, dass ein in die Prozesskammer 2 eingeführter Werkstückträger mit den Kontaktstiften 7 an der Rückwand 6 in Kontakt tritt.

30

Der Stromanschluss 5 ist vorzugsweise Teil einer Schalteinrichtung (siehe Figur 3) der Vorrichtung 1, die dazu einge-

richtet ist, wenigstens einen von der Prozesskammer 2 aufnehmbaren Werkstückträger zum Beheizen der Prozesskammer 2 über den Stromanschluss 5 in wenigstens einen Heizstromkreis zum Führen von niederfrequentem Wechselstrom zu integrieren. Zusätzlich kann die Schalteinrichtung auch dazu eingerichtet sein, den aufnehmbaren Werkstückträger über den Stromanschluss 5 in einen Plasmastromkreis zum Führen eines hochfrequenten Wechselstroms zu integrieren, um in der Prozesskammer 2 ein Plasma zu erzeugen.

10

Zum Einführen des wenigstens einen Werkstückträgers in die Prozesskammer 2 sind in der Prozesskammer 2 vorzugsweise Laufrollen 8 angeordnet. Die Laufrollen 8 können zum Beispiel eine konkave Lauffläche aufweisen, durch die Laufschiene des Werkstückträgers geführt werden (siehe Figur 2). Die Laufrollen 8 sind dabei entlang einer Einführrichtung E, in welcher der wenigstens eine Werkstückträger in die Prozesskammer 2 einführbar ist, angeordnet. Die Laufrollen 8 ermöglichen neben einem leichten Einführen des wenigstens einen Werkstückträgers in die Prozesskammer 2 auch eine präzise Ausrichtung des Werkstückträgers in der Prozesskammer 2. Dadurch kann sichergestellt werden, dass die Kontaktstifte 7 vordefinierte Kontaktstellen an einem dem Stromanschluss 5 zugewandten Ende des von der Prozesskammer 2 aufnehmbaren Werkstückträgers zuverlässig kontaktieren. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist nur eine der Laufrollen 8 mit einem Bezugszeichen versehen.

15

20

25

30

Nachdem der wenigstens eine Werkstückträger in die Prozesskammer 2 über die Laufrollen 8 eingeführt und die Öffnung 17 der Prozesskammer 2 dicht verschlossen wurde, etwa mithilfe einer Türe oder Klappe (siehe Figur 2), kann über das Gasableitungssystem 4 sich in der Prozesskammer 2 befindliches Gas abgesaugt werden. Das Gasableitungssystem 4 weist dazu zweckmäßigerweise wenigstens eine Vakuumpumpe 9 auf, die zum Beispiel

über Gasableitungen 10 mit der Prozesskammer 2 verbunden ist. Vorzugsweise weist das Gasausleitungssystem 4 zudem mehrere Gasauslässe 11 auf, welche von einem Boden 12 der Prozesskammer 2 ausgehen und in die Gasableitungen 10 münden. Aufgrund der Anzahl der mehreren Gasauslässe 11 kann sich in der Prozesskammer 2 befindliches Gas gleichmäßig abgesaugt werden. Die gleichmäßige Absaugung kann noch weiter verbessert werden, indem die Gasauslässe 11 über den Boden 12 der Prozesskammer 2 verteilt angeordnet sind, beispielsweise wie in Figur 1 dargestellt in einer Reihe parallel zur Einführrichtung E. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist nur einer der Gasauslässe 11 mit einem Bezugszeichen versehen.

Ist die Prozesskammer mithilfe des wenigstens einen von der Prozesskammer 2 aufnehmbaren Werkstückträgers bis auf eine Prozesstemperatur zur Gasphasenabscheidung aufgeheizt worden, kann mithilfe des Gaseinspeisungssystems 3 das wenigstens eine Prozessgas in die Prozesskammer 2 eingeleitet werden. Das Gaseinspeisungssystem 3 weist dazu im gezeigten Beispiel zwei Gaszuleitungen 13 auf, die jeweils an eine Prozessgasversorgung, etwa an einen Prozessgastank oder einer Prozessgasversorgungsleitung, anschließbar sind. Vorzugsweise weist das Gaszuleitungssystem 3 zudem mehrere Injektoren 14 auf, welche von den Gaszuleitungen 13 geführte Prozessgase in die Prozesskammer 2 einblasen können. Die Injektoren 14, welche zweckmäßigerweise innerhalb der Prozesskammer 2, insbesondere im Bereich einer Decke 15 der Prozesskammer 2, angeordnet sind, können dabei zum Beispiel über Injektorzuleitungen 16 mit den Gaszuleitungen 13 verbunden sein. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist nur einer der Injektoren 14 und nur eine der Injektorzuleitungen 16 mit einem Bezugszeichen versehen.

Die mehreren Injektoren 14 sind in bevorzugter Weise düsenartig ausgebildet und derart angeordnet, dass die von den zwei

Gaszuleitungen 13 geführten Prozessgase zielgerichtet in die Prozesskammer 2, insbesondere in Richtung eines von der Prozesskammer 2 aufgenommenen Werkstückträgers, einblasbar ist. Die Injektoren 14 können insbesondere, ähnlich wie die Gasauslässe 11, in der Einführungsrichtung E aufgereiht sein. Dabei bilden alle einer Gaszuleitungen 13 und damit einem Prozessgas zugeordneten Injektoren 14 vorzugsweise eine Reihe für sich.

Wenn sich, wie im hier gezeigten Beispiel angedeutet, die Injektoren 14 an der Decke 15 der Prozesskammer 2 und die Öffnungen der Gasauslässe 11 im Boden 12 der Prozesskammer 2 gegenüberliegen, kann dies das Aufrechterhalten einer homogenen Konzentration des eingeleiteten Prozessgases in der Prozesskammer 2 erheblich erleichtern. Die sich dadurch ergebenden homogenen Prozessbedingungen können sicherstellen, dass gleichzeitig prozessierte Werkstücke einheitliche Eigenschaften aufweisen.

Um die beim Beheizen der Prozesskammer erzeugte Wärme optimal nutzen zu können, weist die Vorrichtung 1 vorzugsweise wenigstens eine Reflexionseinrichtung 20 zur Reflexion elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Wärmestrahlung aus dem Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums, auf. Die wenigstens eine Reflexionseinrichtung 20 wird vorzugsweise von gestapelten Blechen gebildet. Die mehreren Bleche eines Stapels können dabei aus unterschiedlichen Materialien zur Reflexion von Strahlung mit unterschiedlichen Wellenlängen gefertigt sein, um zum Beispiel Wärmestrahlung über einen breiten Wellenlängenbereich effizient reflektieren zu können.

30

Im gezeigten Beispiel ist eine Reflexionseinrichtung 20 an der Decke 15 der Prozesskammer 2, insbesondere parallel zur Decke 15, angeordnet, sodass vom in der Prozesskammer 2 aufgenommenen Werkstückträger in Richtung der Decke 15 emittierte

elektromagnetische Strahlung zurück auf den Werkstückträger reflektiert wird. Dadurch lässt sich die Prozesskammer 2 schneller aufheizen.

- 5 Um das Einspeisen von Prozessgas in die Prozesskammer 2 nicht zu beeinträchtigen, weist die Reflexionseinrichtung 20 vorzugsweise Bohrungen im Form von Durchgriffen auf, welche von den Injektoren 14 durchgriffen sind. Dabei ist es auch denkbar, dass, anders als im hier gezeigten Beispiel, die Injekto-
10 ren 14 bündig mit der Reflexionseinrichtung 20 abschließen.

Figur 2 zeigt ein System 50 zur plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung. Das System 50 weist Vorrichtung 1 zur plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung mit einer Prozesskammer 2,
15 von der wenigstens ein Werkstückträger 30 aufnehmbar ist, und wenigstens einen Werkstückträger 30 auf. Die Vorrichtung 1 ist in Figur 1 in einer Frontalansicht dargestellt und dazu eingerichtet, die Prozesskammer 2 mithilfe des wenigstens einen aufgenommenen Werkstückträgers 30 zu beheizen.

20

Die hier gezeigte Vorrichtung 1 ist analog zur in Figur 1 gezeigten Vorrichtung ausgebildet, wobei jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine Darstellung des Gasausleitungssystems verzichtet wurde. Bauteile oder -gruppen, die von anderen
25 Bauteilen oder -gruppen verdeckt werden, sind vorliegend gestrichelt dargestellt.

Im vorliegenden Beispiel ist die Prozesskammer 2 dazu eingerichtet, zwei Werkstückträger 30 nebeneinander, d. h. zwei
30 quer zu einer Einführungsrichtung (siehe Figur 1) aufgereihte Werkstückträger 30, aufzunehmen. Zum Einführen der Werkstückträger 30 weist die Prozesskammer 2 zweckmäßigerweise zwei nebeneinander angeordnete Öffnungen 17 auf, die mithilfe von Türen 18 verschließbar sind. Im gezeigten Beispiel ist nur die

in Figur 2 linke Türe 18 dargestellt und verdeckt damit eine der Öffnungen 17. Die in Figur 2 rechte Türe 18 ist transparent dargestellt.

5 Die beiden Öffnungen 17 sind vorzugsweise durch einen Anschlagsteg 19 für die Türen 18 voneinander getrennt. Die Prozesskammer 2 erstreckt sich hinter dem Anschlagsteg 19 zweckmäßigerweise jedoch hinter beiden Öffnungen 17. D. h., dass keine Gastrennung zwischen den beiden Bereichen, in denen die
10 Werkstückträger 30 von der Prozesskammer 2 aufgenommen sind, vorliegt.

Die Vorrichtung 1 ist vorzugsweise mit in der Prozesskammer 2 angeordneten Laufrollen 8 versehen, um das Einführen der Werkstückträger 30 zu erleichtern. Die Werkstückträger 30 weisen
15 dabei in bevorzugter Weise entsprechende Laufschiene 33 auf, die über eine konkave Laufläche der Laufrollen 8 führbar sind. Alternativ sind aber auch andere Führungssysteme zum Führen der Werkstückträger 30 in der Prozesskammer 2 denkbar.
20 Zum Beispiel können auch die Werkstückträger 30 mit Laufrollen versehen sein, die auf Laufschiene in der Prozesskammer 2 abrollen können. In einer anderen Variante können auch Gleitelemente vorgesehen sein, um Bauraum gegenüber den Varianten mit Laufrollen zu sparen.

25

Wie in Figur 2 ebenfalls gut erkennbar ist, ist die Prozesskammer 2 vorzugsweise rechteckig ausgebildet. Dadurch können rechteckige Werkstückträger 30 effizient aufgenommen werden, d. h. nicht genutzter, auch als Totvolumen bezeichneter Raum
30 in der Prozesskammer 2 vermieden oder zumindest verringert werden. Dies wiederum erleichtert das Erzeugen eines Vakuums in der Prozesskammer 2 und kann den Verbrauch von Prozessgas senken.

Zwei Gaszuleitungen 13 eines Gaseinspeisungssystems 3 verlaufen im gezeigten Beispiel oberhalb der Prozesskammer 2. Zweckmäßigerweise gehen von jeder Gaszuleitung 13 jeweils auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten Injektorzuleitungen 16 ab, und zwar bevorzugt paarweise. Dies erlaubt eine besonders gleichmäßige Prozessgaseinspeisung für jeden der zwei von der Prozesskammer 2 aufgenommenen Werkstückträger 30. An die Injektorzuleitungen 16 angeschlossene Injektoren 14 sind dabei vorzugsweise derart im Bereich einer Decke 15 der Prozesskammer 2 angeordnet, dass jeweils zwei Injektoren 14 zum Einblasen unterschiedlicher Prozessgase für einen der aufgenommenen Werkstückträger 30 nebeneinanderliegen. Infolgedessen kann zum Beispiel durch wenigstens einen Injektor 14 Trimethylamin (TMA) und durch wenigstens einen weiteren Injektor 14 Monosilan (SiH_4), Ammoniak (NH_3), Distickstoffmonoxid (N_2O) oder Methan (CH_4) eingespeist werden.

Alternativ sind aber auch mehr als zwei Gaszuleitungen 13 mit entsprechenden Injektorzuleitungen zu weiteren Injektoren denkbar, um gleichzeitig weitere Prozessgase einspeisen zu können. Vorteilhafterweise kann als solche weiteren Prozessgase wenigstens eine Verbindung aus einer Gruppe bestehend aus Monophosphan (PH_3), Diboran (B_2H_6) und Disauerstoff (O_2) eingespeist werden.

In Figur 2 sind auch vier in der Prozesskammer 2 angeordnete Reflexionseinrichtungen 20 gezeigt. Zwei der Reflexionseinrichtungen 20 sind im Bereich der Decke 15 der Prozesskammer 2, bei aufgenommenen Werkstückträgern 30 insbesondere oberhalb der Werkstückträger 30, angeordnet. Zwei weitere Reflexionseinrichtungen 20 sind im Bereich von Seitenwänden 21 der Prozesskammer 2, bei aufgenommenen Werkstückträgern 30 insbesondere entlang jeweils einer Seitenfläche eines Werk-

stückträgers 30, angeordnet. Dadurch kann von den Werkstückträgern 30 beim Beheizen der Prozesskammer 2 emittierte elektromagnetische Strahlung auf die Werkstückträger 30 zurück reflektiert werden.

5

Der gleiche Effekt kann auch erzielt werden, wenn anstelle von zwei Reflexionseinrichtungen 20 im Bereich der Decke 15 lediglich eine Reflexionseinrichtung 20 vorgesehen ist, die sich im Wesentlichen über die gesamte Breite der Prozesskammer 2 erstreckt. Somit ist bereits eine Ausführung mit wenigstens drei
10 Reflexionseinrichtungen 20 vorteilhaft.

Figur 3 zeigt ein Beispiel einer Schalteinrichtung 22. Die Schalteinrichtung 22 ist vorzugsweise dazu eingerichtet, einen
15 von einer Prozesskammer einer Vorrichtung zur plasmaunterstützten Gasphasenabscheidung aufnehmbaren Werkstückträger 30 in einem ersten Betriebsmodus als Heizeinrichtung zum Beheizen der Prozesskammer zu betreiben, und den Werkstückträger 30 in einem zweiten Betriebsmodus als Plasmaeinrichtung zur Erzeugung eines Plasmas aus wenigstens einem in die Prozesskammer
20 eingespeisten Prozessgas zu betreiben.

Die Schalteinrichtung 22 umfasst dazu zweckmäßigerweise mehrere Schalteranordnungen 23a, 23b, eine Plasmaspannungsquelle 24 zur Bereitstellung einer hochfrequenten Wechselspannung, um eine Plasmaerzeugen zu können, und wenigstens eine Heizspannungsquelle 25 zur Bereitstellung einer niederfrequenten Wechselspannung, um die Prozesskammer beheizen zu können.
25

Die Schalteinrichtung 22 ist in bevorzugter Weise derart ausgebildet, dass der Werkstückträger 30 bei der Aufnahme des Werkstückträgers 30 von der Prozesskammer elektrisch kontaktiert wird. Dadurch kann die Schalteinrichtung 22 selektiv
30

eine elektrische Verbindung zwischen der Plasmaspannungsquelle 24 oder der wenigstens einen Heizspannungsquelle 25 und dem Werkstückträger 30 herstellen. Die Schalteinrichtung 22 kann zu diesem Zweck beispielsweise einen Stromanschluss mit mehreren in der Prozesskammer angeordnete Kontaktstiften 7 aufweisen. Mithilfe der Kontaktstifte 7 können zum Beispiel entsprechende Kontaktstellen 31 des Werkstückträgers 30 kontaktiert werden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist nur eine der Kontaktstellen 31 und nur einer der Kontaktstifte 7 mit einem Bezugszeichen versehen.

Die Schalteinrichtung 22 ist vorzugsweise dazu eingerichtet, zunächst die wenigstens eine Heizspannungsquelle 25 mit dem von der Prozesskammer aufnehmbaren Werkstückträger 30 elektrisch zu verbinden, beispielsweise durch Schließen einer ersten Schalteranordnung 23a. Die Schalteinrichtung 22 kann insbesondere dazu eingerichtet sein, durch Herstellen dieser elektrischen Verbindung den Werkstückträger 30 in wenigstens einen Heizstromkreis zu integrieren.

Die Schalteinrichtung 22 kann beispielsweise derart ausgebildet sein, dass bei Schließen der ersten Schalteranordnung 23a (i) niederfrequenter elektrischer Wechselstrom zwischen zwei Polen 25a, 25b der wenigstens einen Heizspannungsquelle 25 durch eine erste Gruppe von Elektroden 32a einer Elektrodenanordnung des von der Prozesskammer aufnehmbaren Werkstückträgers 30 und (ii) niederfrequenter elektrischer Wechselstrom zwischen zwei weiteren Polen 25c, 25d der wenigstens einen Heizspannungsquelle 25 durch eine zweite Gruppe von Elektroden 32b der Elektrodenanordnung fließt. Wie in Figur 3 gut erkennbar ist, sind die Elektroden 32a, 32b einer Gruppe jeweils elektrisch in Reihe geschaltet. Mit der im gezeigten Beispiel gezeigten Verschaltung und dadurch, dass zwei Pole 54a und 54c

vorgesehen sind, werden vorliegend vier Heizstromkreise realisiert.

Da die Elektroden 32a, 32b bei geschlossener erster Schalteranordnung 23a als Heizwiderstände wirken können, ist der Werkstückträger 30 daher in einem ersten Betriebsmodus als Heizeinrichtung betreibbar.

Die Schalteinrichtung 22 ist vorzugsweise des Weiteren dazu eingerichtet, die Heizspannungsquelle 25 vom von der Prozesskammer aufnehmbaren Werkstückträger 30 zu trennen und dafür die Plasmaspannungsquelle 24 elektrisch mit dem Werkstückträger 30 zu verbinden, beispielsweise durch Öffnen der ersten Schalteranordnung 23a und Schließen einer zweiten Schalteranordnung 23b. Die Schalteinrichtung 22 kann insbesondere dazu eingerichtet sein, durch Herstellen dieser elektrischen Verbindung den Werkstückträger 30 in einen Plasmastromkreis zu integrieren.

Die Schalteinrichtung 22 kann beispielsweise derart ausgebildet sein, dass bei Schließen der zweiten Schalteranordnung 23b eine hochfrequente elektrische Wechselspannung zwischen den Elektroden 32a der ersten Gruppe und den Elektroden 32b der zweiten Gruppe anliegt. Zu diesem Zweck kann die Schalteinrichtung 22 insbesondere derart ausgebildet sein, dass bei Schließen der zweiten Schalteranordnung 23b ein erster Pol 24a der Plasmaspannungsquelle 24 mit den Elektroden 32a der ersten Gruppe und ein zweiter Pol 24b mit den Elektroden 32b der zweiten Gruppe verbindbar ist.

30

Da die Elektroden 32a der ersten Gruppe und die Elektroden 32b der zweiten Gruppe wie in Figur 3 gezeigt vorzugsweise abwechselnd angeordnet sind und bei geschlossener zweiter Schalter-

anordnung 23b somit hochfrequente elektrische Felder zur Erzeugung eines Plasma erzeugen können, ist der Werkstückträger 30 daher in einem zweiten Betriebsmodus als Plasmaeinrichtung betreibbar.

5

Die entsprechende Steuerung der Schalteranordnungen 23a, 23b kann von einer Steuerungseinheit durchgeführt werden, die in Figur 3 jedoch aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt ist.

10

Figur 4 zeigt ein Beispiel eines Verfahrens 100 zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung.

Vorzugsweise wird in einem Verfahrensschritt S1 wenigstens ein
15 Werkstückträger in eine Prozesskammer einer Vorrichtung zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung eingeführt. Zu diesem Zweck kann der Werkstückträger zum Beispiel über ein Führungssystem, beispielsweise in der Prozesskammer angeordnete Laufrollen, durch eine Öffnung in die Prozesskammer
20 eingeschoben werden. Dabei wird der Werkstückträger in bevorzugter Weise mit einer Schalteinrichtung der Vorrichtung elektrisch verschaltet. Beispielsweise kann der Werkstückträger so weit in die Prozesskammer eingeschoben werden, bis Kontaktstellen am Werkstückträger mit im Bereich einer Rückwand
25 der Prozesskammer angeordneten Kontaktstiften eines Stromanschlusses der Vorrichtung in Kontakt stehen.

Ist der wenigstens eine Werkstückträger von der Prozesskammer aufgenommen worden, d. h. vollständig eingeführt, wird in einem
30 weiteren Verfahrensschritt S2 vorzugsweise ein Vakuum in der Prozesskammer erzeugt. Dabei kann sich in der Prozesskammer befindliches Gas mithilfe eines Gasausleitungssystems, insbesondere über mehrere Gasauslässe in der Prozesskammer,

abgesaugt werden. Das Vorsehen von mehreren Gasauslässen, insbesondere die Verteilung der Gasauslässe über den Boden der Prozesskammer, erlaubt dabei eine besonders effiziente Evakuierung der Prozesskammer.

5

In einem weiteren Verfahrensschritt S3 wird die Prozesskammer mithilfe des wenigstens einen aufgenommenen Werkstückträgers beheizt. Zu diesem Zweck kann der Werkstückträger durch die Schalteinrichtung in wenigstens einen Heizstromkreis zum Führen von niederfrequentem Wechselstrom integriert werden. Vorzugsweise wird der Werkstückträger dabei mit wenigstens einer Heizspannungsquelle zur Bereitstellung einer niederfrequenten Wechselspannung verbunden. Dadurch kann ein niederfrequenter elektrischer Wechselstrom durch zumindest einen Teil des Werkstückträgers, zum Beispiel durch mehrere in Reihe geschaltete Elektroden, geführt werden, sodass sich der Werkstückträger zumindest abschnittsweise erhitzt.

Hat die Temperatur innerhalb der Prozesskammer, insbesondere die Temperatur des Werkstückträgers, eine vorgegebene Prozesstemperatur erreicht oder überschritten, kann in einem weiteren Verfahrensschritt S4 wenigstens ein Prozessgas, zum Beispiel ein Silan wie SiH_4 , ein Trimethylgas und/oder Lachgas N_2O , in die Prozesskammer eingespeist werden. Das wenigstens eine Prozessgas kann dabei insbesondere über mehrere Injektoren, die vorzugsweise im Bereich einer Decke der Prozesskammer angeordnet sind, homogen verteilt in die Prozesskammer eingeblasen werden.

Vorzugsweise wird in einem weiteren Verfahrensschritt S5 die wenigstens eine Heizspannungsquelle vom wenigstens einen aufgenommenen Werkstückträger getrennt. Stattdessen kann der Werkstückträger durch die Schalteinrichtung in einen Plasmastromkreis zum Führen von hochfrequentem Wechselstrom integriert

werden. Vorzugsweise wird der Werkstückträger dabei mit einer Plasmaspannungsquelle zur Bereitstellung einer hochfrequenten elektrischen Wechselspannung verbunden. Dadurch können zwei Bauteile oder Bauteilgruppen, insbesondere zwei verschiedene Elektrodengruppen, mit zwei verschiedenen Potenzialen belegt werden, sodass sich hochfrequente elektrische Wechselfelder zwischen den Elektroden zur Erzeugung eines Plasmas aus dem wenigstens einen eingespeisten Prozessgas ausbilden.

- 10 Die voranstehend beschriebene Reihenfolge der Verfahrensschritte S2 bis S5 ist dabei nicht zwingend. Vielmehr ist es denkbar, dass, wie in Figur 4 angedeutet, die Verfahrensschritte S2 und S3 zumindest zeitweise gleichzeitig ausgeführt werden. Ebenso können auch die Verfahrensschritte S4 und S5
15 gleichzeitig ausgeführt werden. Dabei wird der Verfahrensschritt S2 vorzugsweise so lange ausgeführt, d. h. das erzeugte Vakuum so lange aufrechterhalten, bis die gewünschte Abscheidung auf einem vom Werkstückträger getragenen Werkstück erzielt wurde.

Bezugszeichenliste

	1	Vorrichtung
	2	Prozesskammer
5	3	Gaseinspeisungssystem
	4	Gasausleitungssystem
	5	Stromanschluss
	6	Rückwand
	7	Kontaktstift
10	8	Laufrolle
	9	Vakuumpumpe
	10	Gasableitung
	11	Gasauslass
	12	Boden
15	13	Gaszuleitung
	14	Injektor
	15	Decke
	16	Injektorzuleitung
	17	Öffnung
20	18	Tür
	19	Anschlagsteg
	20	Reflexionseinrichtung
	21	Seitenwand
	22	Schalteinrichtung
25	23a, 23b	Schalteranordnung
	24	Plasmaspannungsquelle
	24a, 24b	Pol
	25	Heizspannungsquelle
	25a-d	Pol
30		
	30	Werkstückträger
	31	Kontaktstelle

	32a, 32b	Elektrode
	50	System
5	100	Verfahren
	S1-S5	Verfahrensschritt

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung, mit einer Prozesskammer (2) zur Aufnahme
5 wenigstens eines Werkstückträgers (30),
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Vorrichtung (1) dazu eingerichtet ist, die Prozesskammer (2) mithilfe wenigstens eines von der Prozesskammer (2) aufnehmbaren Werkstückträgers (30) zu beheizen.
- 10 2. Vorrichtung (1) nach Anspruch 1,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
eine Schalteinrichtung (22), die dazu eingerichtet ist,
den wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträger (30) selektiv mit wenigstens einer Heizspannungsquelle (25) oder
15 einer Plasmaspannungsquelle (24) zu verbinden.
3. Vorrichtung (1) nach Anspruch 2,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Schalteinrichtung (22) wenigstens zwei Schalteranordnungen (23a, 23b) aufweist, die dazu eingerichtet
20 sind, elektrisch leitende Verbindungen von der wenigstens einen Heizspannungsquelle (25) und der Plasmaspannungsquelle (24) zu einem Stromanschluss (5), an den ein Werkstückträger (30) anschließbar ist, zu unterbrechen.
4. Vorrichtung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
25 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
einen Stromanschluss (5) mit wenigstens vier Kontaktstiften (7) zum elektrischen Kontaktieren des wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträgers (30).
5. Vorrichtung (1) nach Anspruch 4,
30 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass die Kontaktstifte (7) im Bereich einer Rückwand (6) der Prozesskammer (2) angeordnet sind.

6. Vorrichtung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
5 dass die Prozesskammer (2) zur Aufnahme von zwei Werkstückträgern (30) eingerichtet ist.
7. Vorrichtung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
10 dass die Prozesskammer (2) zwei nebeneinander angeordnete, verschließbare Öffnungen (17) zum Einführen des wenigstens einen Werkstückträgers (30) in die Prozesskammer (2) aufweist.
8. Vorrichtung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
15 dass die Prozesskammer (2) wenigstens eine Reflexionseinrichtung (20) aufweist, die dazu eingerichtet ist, vom wenigstens einen aufnehmbaren Werkstückträger (30) emittierte elektromagnetische Strahlung zurück auf den Werkstückträger (30) zu reflektieren.
- 20 9. Vorrichtung (1) nach Anspruch 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die Prozesskammer (2) drei Reflexionseinrichtungen (20) aufweist, die im Wesentlichen derart rechtwinklig zueinander angeordnet sind, dass sie bei aufgenommenem
25 Werkstückträger (30) in der Prozesskammer (2) oberhalb und entlang zwei einander gegenüberliegenden Längsseiten des Werkstückträgers (30) positioniert sind.

10. Vorrichtung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
ein Gaseinspeisungssystem (3) zur Einspeisung von Prozess-
gas in die Prozesskammer (2), wobei das Gaseinspeisungs-
5 system (3) mehrere Injektoren (14) aufweist, die im Be-
reich einer Decke (15) der Prozesskammer (2) zum Einspei-
sen von Prozessgas bei aufgenommenem Werkstückträger (30)
oberhalb des Werkstückträgers (30) angeordnet sind.
11. Vorrichtung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
10 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
ein Gaseinspeisungssystem (3) zur Einspeisung von Prozess-
gas in die Prozesskammer, wobei das Gaseinspeisungssys-
tem (3) mehrere düsenartig ausgebildete Injektoren (14)
zum zielgerichteten Injizieren von Prozessgas aufweist.
12. Vorrichtung (1) nach Anspruch 11,
15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,
dass die düsenartig ausgebildeten Injektoren (14) derart
angeordnet sind, dass Prozessgas zwischen mehrere, paral-
lel angeordnete Elektroden (32a, 32b) des wenigstens einen
20 aufnehmbaren Werkstückträgers (30) einblasbar ist.
13. Vorrichtung (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
ein Gasausleitungssystem (4) zur Erzeugung eines Vakuums
in der Prozesskammer (2), wobei das Gasausleitungssys-
25 tem (4) mehrere Gasauslässe (11) aufweist, die im Bereich
eines Bodens (12) der Prozesskammer (2) zum Absaugen von
Gas bei aufgenommenem Werkstückträger (30) unterhalb des
Werkstückträgers (30) angeordnet sind.

14. System (50) zur plasmaunterstützten chemischen Gasphasen-
abscheidung mit einer Vorrichtung (1) nach einem der vo-
rangingenden Ansprüche und einem Werkstückträger (30), mit-
tels dem eine Prozesskammer (2) der Vorrichtung (1) be-
5 heizbar ist.

15. Verfahren (1) zur plasmaunterstützten chemischen Gaspha-
senabscheidung, bei dem eine Prozesskammer (2) mithilfe
wenigstens eines von der Prozesskammer (2) aufnehmbaren
Werkstücks oder Werkstückträgers (30) beheizt wird (S3).