



(10) **DE 11 2011 101 329 T5** 2013.02.07

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2011/130017**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2011 101 329.9**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2011/030782**
(86) PCT-Anmeldetag: **31.03.2011**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **07.02.2013**

(51) Int Cl.: **H01L 31/18 (2013.01)**
H01L 31/042 (2013.01)

(30) Unionspriorität:
61/323,755 **13.04.2010** **US**

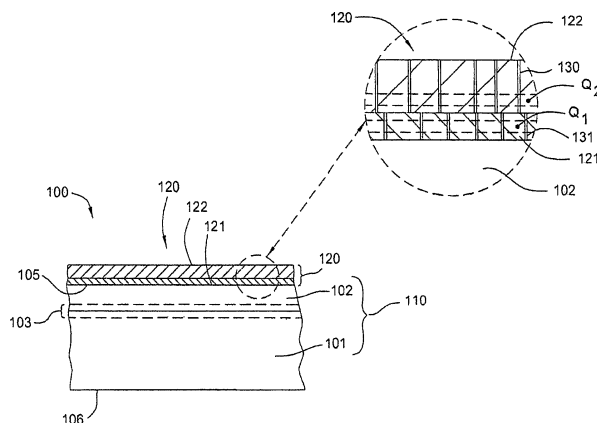
(71) Anmelder:
Applied Materials, Inc., Santa Clara, Calif., US

(74) Vertreter:
Zimmermann & Partner, 80331, München, DE

(72) Erfinder:
Choi, Dongwon, San Jose, Calif., US; Xu, Li, Santa Clara, Calif., US; MacWilliams, Kenneth, Los Altos, Calif., US; Stewart, Michael P., San Francisco, Calif., US; Mungekar, Hemant P., Campbell, Calif., US; Paak, Sunhom, Saratoga, Calif., US

(54) Bezeichnung: **Multi-layer SiN für funktional und optische abgestufte Arc-Schichten auf kristallinen Solarzellen**

(57) Zusammenfassung: Ausführungsformen der Erfindung umfassen eine Solarzelle und ein Verfahren zur Bildung einer Solarzelle. Insbesondere können die Verfahren verwendet werden, um eine Passivierungs/Antireflexionsschicht mit kombinierten funktionellen und optischen Gradienteneigenschaften auf einem Solarzellensubstrat zu bilden. Die Verfahren können das Einströmen eines ersten Prozessgasgemisches in ein Prozessvolumen innerhalb einer Behandlungskammer, das Erzeugen von Plasma in der Behandlungskammer bei einer Leistungsdichte von größer als $0,65 \text{ W/cm}^2$, das Abscheiden einer Siliziumnitrid-haltigen Grenzflächen-Teilschicht auf einem Solarzellensubstrat in dem Prozessvolumen, das Einströmen eines zweiten Prozessgasgemisches in das Prozessvolumen, und das Abscheiden einer Siliziumnitrid-haltigen Bulk-Teilschicht auf der Siliziumnitrid-haltigen Grenzflächen-Teilschicht umfassen.



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

[0001] Die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beziehen sich im Allgemeinen auf die Herstellung von Solarzellen und insbesondere auf die Passivierung von Silizium-Solarzellen.

Stand der Technik

[0002] Solarzellen sind Photovoltaik Elemente, die Sonnenlicht direkt in elektrischen Strom umwandeln. Das gängigste Solarzellenmaterial ist Silizium (Si), das in Form von einzelnen, polykristallinen, multikristallinen Substraten, oder amorphen Schichten vorliegt. Gegenwärtige Bemühungen richten sich auf die Kostenreduktion der Solarzellenherstellung und damit auf die Kostenreduktion der fertigen Solarzellen unter gleichzeitiger Beibehaltung oder Erhöhung des Gesamtwirkungsgrades der produzierten Solarzelle.

[0003] Der Wirkungsgrad einer Solarzelle kann durch Verwendung einer Passivierungsschicht verbessert werden, die auch als eine Antireflexionsbeschichtung (ARC) über einem Emitterbereich in einem Siliziumsubstrat fungiert, das die Solarzelle bildet. Wenn Licht von einem Medium in ein anderes läuft, beispielsweise von Luft in Glas, oder von Glas in Silizium, kann ein Teil des Lichts an der Grenzfläche zwischen den beiden Medien reflektiert werden. Der Anteil des reflektierten Lichts ist eine Funktion der Differenz der Brechungsindizes zwischen den beiden Medien, wobei ein größerer Unterschied der Brechungsindizes der beiden benachbarten Medien zu einem höheren Lichtanteil führt, welcher an der dazwischen liegenden Grenzfläche reflektiert wird.

[0004] Der Wirkungsgrad, mit dem eine Solarzelle einfallendes Licht in elektrische Energie umwandelt, wird durch eine Reihe von Faktoren nachteilig beeinflusst, unter anderem vom Anteil des einfallenden Lichts, das von einer Solarzelle reflektiert und in der Zellstruktur absorbiert wird, wie beispielsweise in einer Passivierungsschicht, und der Rekombinationsrate von Elektronen und Löchern in einer Solarzelle. Bei jeder Elektronen-Loch-Paar Rekombination werden Ladungsträger beseitigt, wodurch der Wirkungsgrad der Solarzelle reduziert wird. Rekombination kann im Bulk-Silizium eines Substrats auftreten, welche eine Funktion der Defektdichte im Bulk-Silizium ist, oder auf der Oberfläche eines Substrats, welche eine Funktion der vorhandenen Anzahl an freien Verbindungen, d. h. unterminierten chemischen Bindungen, ist.

[0005] Eine gründliche Passivierung einer Solarzelle unter Verwendung einer Passivierungsschicht führt durch Verringerung von Rekombinationsraten zu einem wesentlich verbesserten Wirkungsgrad der Solarzelle, jedoch muss der Brechungsindex (n) mit den umgebenden Schichten abgestimmt werden, um Lichtreflexion zu minimieren und gleichzeitig das gewünschte Lichtabsorptionsvermögen der Solarzelle aufrechtzuerhalten. Typischerweise hat eine dünne transparente Schicht einen inhärenten Extinktionskoeffizienten (k), dessen Wert ein Maß für die durch die Schicht absorbierte Lichtmenge ist, und einen Brechungsindex (n), dessen Wert ein Maß für das Ausmaß der Lichtbrechung beim Übergang von einem Medium in ein anderes ist.

[0006] In Schichten wie SiN, welche zweckdienlich für eine Passivierung sind, sind die Größen der n und k -Werte derart miteinander gekoppelt, dass, wenn einer hoch ist, auch der andere hoch ist. Weil der Bereich des Brechungsindex der Passivierungsschicht durch die Materialien, in dem sie eingeschlossen ist, begrenzt ist, ist auch der Bereich der im Stand der Technik verwendeten resultierenden k -Werte beschränkt und demzufolge wird ein inakzeptabler hoher k -Wert als unvermeidliche Folge eines akzeptablen Brechungsindex angesehen.

[0007] Zudem hat die Abscheidungsrate und damit die endgültige Anzahl von Substraten, die eine gewünschte Schicht in einer festgelegten Zeitspanne aufnehmen können, einen Einfluss auf den Brechungsindex und die k -Werte, sowie auf die physikalischen Eigenschaften der Schicht, wie beispielsweise die Größe oder Länge der Körner und die Korngrenzen in der Schicht. Große Körner, und die daraus resultierenden langen Korngrenzen, ermöglichen einen Zugang für das Eindringen von Kontaminationen durch die Passivierungsschicht in das Silizium, was zum Versagen der Zelle führt. Folglich führen höhere Abscheidungsraten für die Produktion einer größeren Anzahl von Solarzellen pro Zeiteinheit, die bei Plasmaabscheidungsprozessen möglich sind, zu größeren Körnern und damit zu Nadellochern (Pinholes).

[0008] Es besteht daher ein Bedarf für ein verbessertes Verfahren zum Ausbilden einer Passivierungsschicht, die funktionelle und optische Gradieneigenschaften aufweist, welche die Oberflächenrekombination der Ladungsträger minimiert, den Wirkungsgrad der Solarzelle verbessert, und zu einer im wesentlichen Nadelloch-

freien (Pinhole-freien) Passivierungsschicht führt, die die erwünschten optischen und passivierenden Eigenschaften hat.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Anbetracht der obigen Ausführungen stellen die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung im Allgemeinen Methoden für eine Beschichtung bereit, die sowohl als hochwertige Passivierung und Antireflexionsschicht (ARC-Schicht) für Solarzellen wirkt. Gemäß einem Ausführungsbeispiel umfasst das Verfahren das Bilden einer mehrschichtigen Passivierung und einer ARC-Beschichtung durch Einleiten eines ersten Prozessgasgemisches in ein Prozessvolumen innerhalb einer Behandlungskammer, das Erzeugen von Plasma in der Behandlungskammer bei einer Leistungsdichte von größer als $0,65 \text{ W/cm}^2$, das Abscheiden einer Siliziumnitrid-haltigen Grenzflächen-Teilschicht auf einem Solarzellensubstrat in dem Prozessvolumen, das Einstromen eines zweiten Prozessgasgemisches in das Prozessvolumen, und das Abscheiden einer Siliziumnitrid-haltigen Bulk-Teilschicht auf der Siliziumnitrid-haltigen Grenzflächen-Teilschicht.

[0010] Eine weitere Ausführungsform betrifft ein Verfahren zur Detektion von Nadellöchern (Pinholes) in einer Passivierungsschicht auf einer Solarzelle. Das Verfahren umfasst das Eintauchen einer Solarzelle mit einer darauf gebildeten Siliziumnitrid-haltigen Passivierungsschicht in ein Kupferelektrolyt, das Anlegen eines Stroms durch die metallbedeckte Rückseite der Solarzelle zur Metallisierung jeglicher Nadellöcher (Pinholes), die sich von einer äußeren Oberfläche der Passivierungsschicht zu einem dotierten Bereich der Solarzelle erstrecken, und das Detektieren von jeglichem herausgewachsenen Kupfer das jedes der Nadellöcher plattiert.

[0011] Eine weitere Ausführungsform betrifft eine Solarzelle, welche ein Substrat mit einem Übergangsbereich und einer Passivierungs-Antireflexionsschicht auf einer Oberfläche des Substrats aufweist. Die Passivierungs-Antireflexionsschicht umfasst eine Siliziumnitrid-haltige Grenzflächen-Teilschicht und eine Siliziumnitrid-haltige Bulk-Teilschicht unmittelbar auf der Grenzflächenteilschicht, wobei die Grenzflächen-Teilschicht einen größeren Brechungsindex (n) als die Bulk-Teilschicht aufweist, und wobei die Passivierungs-Antireflexionsschicht im Wesentlichen frei von Nadellöchern (Pinholes) ist, die vollständig sowohl durch die Grenzflächenteilschicht als auch durch die Bulk-Teilschicht verlaufen.

[0012] Eine weitere Ausführungsform betrifft ein System zur Bildung einer Schicht auf einer Solarzelle. Das System umfasst eine Plasmabehandlungskammer zum Bilden einer Passivierungs-/ARC-Schicht auf einem Solarzellensubstrat innerhalb eines Prozessvolumens der Behandlungskammer, wobei die Passivierungs-/ARC-Schicht eine auf dem Solarzellensubstrat unter Verwendung von Plasma ausgebildete Siliziumnitrid-haltige Grenzflächen-Teilschicht umfasst, wobei das Plasma aus einem ersten Prozessgasgemisch bei einer Leistungsdichte von größer als $0,65 \text{ W/cm}^2$ erzeugt wird, und eine auf der Grenzflächenteilschicht unter Verwendung von Plasma ausgebildete Siliziumnitrid-haltige Bulk-Teilschicht, wobei das Plasma aus einem zweiten Prozessgasgemisch bei einer Leistungsdichte von größer als $0,65 \text{ W/cm}^2$ erzeugt wurde. Zudem umfasst das System eine mit der Plasmabehandlungskammer in Verbindung stehende Systemsteuerung, wobei die Systemsteuerung konfiguriert ist, um die Plasma-Leistungsdichte, die Strömungsraten des ersten Prozessgasgemisches und die Strömungsraten des zweiten Prozessgasgemisches zu steuern, so dass die Grenzflächen-Teilschicht einen größer Brechungsindex (n) als denjenigen der resultierenden Bulk-Teilschicht aufweist und wobei sowohl die Grenzflächen-Teilschicht als auch die Bulk-Teilschicht einen Extinktionskoeffizienten (k -Wert) von 0 bis 0,1 aufweisen

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0013] Damit die Art und Weise der oben genannten Merkmale der vorliegenden Erfindung im Detail verstanden werden können, wird die oben kurz zusammengefasste Erfindung im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen, von denen einige in den beigefügten Zeichnungen dargestellt sind, genauer beschrieben. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die beigefügten Zeichnungen lediglich typische Ausführungsformen dieser Erfindung darstellen, und dass deren Umfang nicht beschränkend ist, da die Erfindung auch andere gleichermaßen effektive Ausführungsformen mit einschließt.

[0014] Die [Fig. 1A–Fig. 1F](#) zeigen Querschnittsansichten eines Substratbereichs entsprechend verschiedener Phasen des in [Abb. 2](#) dargestellten Prozesses.

[0015] [Fig. 2](#) zeigt ein Prozessflussdiagramm eines Bildungsprozesses einer Passivierungsschicht gemäß einer Ausführungsform der Erfindung, welcher auf einem Solarzellen-Substrat durchgeführt wird.

[0016] Fig. 3 zeigt eine schematische Seitenansicht eines Parallelplatten PECVD-Systems, welches zur Durchführung der Ausführungsformen der Erfindung verwendet werden kann.

[0017] Fig. 4 ist eine schematische Draufsicht einer Ausführungsform eines Behandlungssystems mit einer Vielzahl von Behandlungskammern.

[0018] Zur Verständniserleichterung wurden, wo es möglich war, identische Bezugszeichen verwendet, um identische Elemente in den Figuren gleichartig zu bezeichnen. Es sei darauf hingewiesen, dass Elemente und Merkmale einer Ausführungsform ohne Erwähnung in andere Ausführungsformen vorteilhaft miteinbezogen werden können.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0019] Die vorliegende Erfindung stellt Verfahren zur Herstellung einer hochwertigen Passivierungsschicht zur Bildung einer hoch effizienten Solarzellenvorrichtung bereit. Solarzellensubstrate, die von der Erfindung profitieren, umfassen Substrate, die einen aktiven Bereich aufweisen, der einkristallines Silizium, multikristallines Silizium, polykristallines Silizium und amorphes Silizium, d. h. Dünnschichtzellen, enthält, wobei die Erfindung aber auch für Substrate mit Germanium (Ge), Galliumarsenid (GaAs), Cadmium-Tellurid (CdTe), Cadmiumsulfid (CdS), Kupfer-Indium-Gallium-Selenid (CIGS), Kupfer-Indium-Diselenid (CuInSe_2), Gallium-Indium-Phosphid (GaInP_2), organischen Materialien sowie für Hetero-Junction-Zellen, wie GaInP/GaAs/Ge oder ZnSe/GaAs/Ge -Substrate nützlich ist, die verwendet werden, um Sonnenlicht in elektrische Energie umzuwandeln.

[0020] In der Regel hat eine Passivierungsschicht zur Minimierung von Lichtreflexion und Absorption aufgrund des Durchlaufens des Lichts durch die Passivierungsschicht wünschenswerte optische Eigenschaften und wünschenswerte funktionelle Eigenschaften zur „Oberflächen“-Passivierung der Oberfläche(n), auf welche sie angewendet wird, zur „Bulk“-Passivierung der benachbarten Bereiche und der Oberfläche des Substrats und zum Speichern positiver Ladung in der Passivierungsschicht oder zum „Feld“-Passivieren. Demnach enthält eine Passivierungsschicht eine wünschenswerte Konzentration von Wasserstoff, um an der Substratoberfläche vorhandene flache Defekte zu heilen. Der Mechanismus, durch den die Passivierungsschicht in der Lage ist, diese Funktionen auszuführen, schließt zum Beispiel die Fähigkeit einer ausgebildeten Passivierungsschicht mit ein, eine Wasserstoffquelle (H^+) darzustellen, die dazu verwendet wird, Defekte in Bereichen des Substrats zu korrigieren, und die physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften der ausgebildeten Schicht, die in der Lage sind, die freien Bindungen an der Substratoberfläche zu binden.

[0021] Das Ausbalancieren der erwünschten Eigenschaften einer Passivierungsschicht für eine Solarzelle ist eine Herausforderung, insbesondere wenn die Passivierungsschicht auch als Antireflexionsschicht fungiert. Die Herausforderung nimmt zu, wenn Siliziumnitrid-Schichten (Si_xN_y , auch abgekürzt als SiN) als Passivierungsschicht verwendet werden, weil das Erreichen der gewünschten Schichteigenschaften bei der Bildung einer Passivierungsschicht mit bestimmten optischen oder funktionellen Eigenschaften das Auswuchten von konkurrierenden Prozessparametern erfordert. Wenn beispielsweise angestrebt wird, die optischen Gradienteneigenschaften der Passivierungsschicht zu verbessern, geht dies häufig zu Lasten der funktionellen Eigenschaften, wie zum Beispiel der Oberflächen-, Bulk- und Feldpassivierung eines Substrats.

[0022] Manchmal ist es sogar schwierig, die Eigenschaften innerhalb eines Bereichs auszubalancieren. Zum Beispiel hat die Solarzellen-Industrie in der Vergangenheit versucht, die optischen Gradienteneigenschaften einer Passivierungsschicht zu implementieren, aber ist daran gescheitert weil es schwierig ist Schichteigenschaften mit niedrigem Extinktionskoeffizient (k) zusammen mit einem hohen Brechungsindex (n) in einem typischen Verfahren zu erhalten. Das Erzeugen einer Schicht mit einem hohen Brechungsindex (n) bedeutet auch das Erzeugen einer Schicht mit einem hohen Extinktionskoeffizienten (k) unter Verwendung von typischen Schichtbildungsverfahren. Mit anderen Worten, die Variablen n und k sind spiegelgleich, wobei n und k bei der Schichtbildung gemäß konventionellen Methoden in der Regel zusammen ansteigen oder abfallen. Eine Unabhängigkeit zwischen den Größen der k - und n -Werte würde es ermöglichen, die gewünschten optischen und funktionellen Eigenschaften in einer Passivierungsschicht zu kombinieren, d. h. ein geringeres k , und damit weniger Lichtverlust und gleichzeitig eine höheres n , und somit eine geringe Reflexion. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die gemessenen Werte von n und k frequenzabhängig, d. h. von der Wellenlänge des Lichtes, bei denen sie gemessen werden, sind. Die Werte k und n , welche hierin diskutiert werden sind bei 400 nm und 633 nm gemessen.

[0023] Die Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit (SRV) einer Schicht ist eine weitere komplizierte Eigenschaft der schwierigen Passivierungsantireflexionsschicht, die mit allen anderen Eigenschaften ausbalan-

ciert werden muss. SRV ist die Rate, mit der freien Elektronen und Löcher an der Oberfläche eines Substrats rekombinieren, wodurch sie sich gegenseitig neutralisieren. Zudem können verringerte Schichtabscheidungs-raten erforderlich sein um gewünschten Schichteigenschaften in einem bestimmten Bereich zu erzielen, wie zum Beispiel die gewünschten funktionellen Eigenschaften entgegengesetzt den gewünschten optische Eigenschaften, was zu einem geringeren Durchsatz und einer geringeren Produktion führt.

[0024] Es ist daher im Allgemeinen schwierig, eine Siliziumnitrid(Si_xN_y)-Passivierungsschicht zu bilden, die die funktionellen und optischen Eigenschaften ohne Kompromisse miteinander verbindet, was zu Eigenschaften führt, die einzeln suboptimal sind, weil das SiN-Material diese Eigenschaften nicht unabhängig voneinander bereitstellen kann.

[0025] Die Ausführungsformen der Erfindung stellen im Allgemeinen ein Verfahren zur Bildung einer Passivierungs/Anti-Reflexionsschicht bereit, das die Fähigkeit hat die gewünschten funktionellen Eigenschaften und die gewünschten optischen Gradienteneigenschaften zu kombinieren, wobei die Ursache für die Verbindungen der Eigenschaften, wie sie aus dem Stand der Technik bekannt ist, vermieden wird. Die Erfinder haben erkannt, dass bei der Verwendung einer höheren Leistung bei der Abscheidung von Siliziumnitrid, k und n dazu tendieren unabhängiger zu sein als bei Verwendung von normalen Leistungsbereichen, welche typischerweise zwischen 2.000–3.000 Watt (W) liegen. Plasma hoher Leistungsdichte erlaubt die Bildung von gewünschten Schichteigenschaften, welche sowohl die optischen und funktionalen Gradienteneigenschaften aufweisen, die keinen Kompromiss basierend auf der herkömmlichen Kopplung von hohen k -Werten mit hohen n -Werten und von niedrigen k -Werten mit niedrigen n -Werten darstellen, wobei sogar unter Verwendung einer Multi-Schichtabscheidung zur Ausbildung der Passivierungsschicht Nadellöcher vermieden werden, die sich durch die gesamte Schicht erstrecken.

[0026] Somit stellen die Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Bildung einer Passivierungs/ARC-Schicht mit einem hohen Brechungsindex, aber mit einem niedrigen Extinktionskoeffizienten (k) bereit. Durch das spezifische Maßschneidern der spezifischen Prozesschemie zur Schichtbildung kann jede Teilschicht in der mehrschichtigen Passivierungsschicht spezifische Eigenschaften aufweisen, die miteinander kombiniert eine Passivierungs/ARC-Schicht mit den gewünschten optischen und funktionellen Eigenschaften bilden.

[0027] Gemäß einer Ausführungsform kann die Passivierungsschicht eine oder mehrere Schichten oder abgestuften Bereiche umfassen, die eine unterschiedliche Zusammensetzung aufweisen, unterschiedliche physikalische Eigenschaften und/oder unterschiedliche elektrische Eigenschaften aufweisen, um eine passivierende Wirkung und optischen Eigenschaften bereitzustellen. Gemäß einer Ausführungsform umfasst eine Passivierungsschicht **120** beispielsweise eine Silizium-Stickstoff-haltige Grenzflächen-Teilschicht **121** und eine auf der Grenzflächen-Teilschicht **121** ausgebildete Silizium-Stickstoff-haltige Bulk-Teilschicht **122**, wie es in den [Fig. 1C–Fig. 1F](#) gezeigt ist.

Formationsprozess der Passivierungsschicht

[0028] Die [Fig. 1A–Fig. 1F](#) zeigen schematische Querschnittsansichten eines Solarzellensubstrats **110** während unterschiedlicher Phasen einer Behandlungssequenz, welche verwendet wird, um eine Passivierungs/ARC-Schicht **120** auf einer Oberfläche (z. B. Oberseite **105**) einer Solarzelle **100** zu bilden. [Fig. 2](#) zeigt eine Behandlungssequenz **200**, welche verwendet wird, um die Passivierungsschicht auf einem Solarzellensubstrat **110** zu bilden. Die Sequenzen in [Fig. 2](#) entsprechen den Phasen die in den [Fig. 1A–Fig. 1F](#) dargestellt sind. Gemäß einer Ausführungsform der Solarzelle **100** weist ein p-Typ-Substrat **110** mit einer Bodenfläche **106** und kristallinem Silizium, einen Basisbereich **101** und einen darauf ausgebildeten n-dotierten Emitterbereich **102** auf, typischerweise hergestellt durch einen Dotierungs und Diffusions/Annealing-Prozess, obwohl auch andere Verfahren einschließlich Ionenimplantation verwendet werden können. Das Substrat **110** weist auch einen pn-Übergangsbereich **103** auf, der zwischen dem Basisbereich **101** und dem Emitterbereich **102** der Solarzelle angeordnet ist, und der der Bereich ist, in dem Elektron-Loch-Paare erzeugt werden, wenn die Solarzelle **100** durch einfallende Photonen des Lichts angestrahlt wird.

[0029] Obwohl die folgende Diskussion hauptsächlich ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Behandeln eines Substrats mit einem n-Typ-Emitterbereich behandelt, der über einem p-Typ-Basisbereich ausgebildet ist, ist nicht beabsichtigt durch diese Konfiguration, den Umfang der hierin beschriebenen Erfindungen zu begrenzen, da die Passivierungsschicht auch über einem n-Typ-Basisbereich einer p-Typ-Emitter Solarzellenkonfiguration gebildet sein könnte.

[0030] Bezugnehmend auf [Fig. 2](#), während der Behandlungssequenz **200** werden die Oberflächen des Substrats **110** einer Vielzahl von Prozessen unterworfen, welche dazu verwendet werden die Grenzflächen-Teilschicht **121** und die Bulk-Teilschicht **122** auf den Oberflächen des Substrats zu bilden. Im Folgenden sind Beispiele für Prozesse **201–205** angegeben, die in einer Behandlungskammer ähnlich der Behandlungskammer **300** ([Fig. 3](#)) durchgeführt werden können. Gemäß einer Ausführungsform werden alle Prozesse in der Behandlungssequenz **200** in einer oder mehreren der Behandlungskammern **431–437** ([Fig. 4](#)) in einer oder mehreren Systemen **400** durchgeführt.

[0031] Die Behandlungssequenz **200**, welche verwendet wird, um die Passivierungsschicht auf einem Solarzellensubstrat **110** zu bilden beginnt in der Regel durch Entfernen von nativem Oxid von dem darunterliegenden Substrat, wie im Prozess **201** in [Fig. 2](#) dargestellt ist. Während der normalen Behandlung einer Solarzellenvorrichtung wird eine native Oxidschicht **115** auf einer oder mehreren der Oberflächen des Substrats **110** gebildet. Im Prozess **201** werden die Oberflächen des Substrats **110** gereinigt, um die Oxidschicht **115** ([Fig. 1A](#)) zu entfernen. Gemäß einer Ausführungsform kann der Reinigungsprozess **201** unter Verwendung eines Trockenreinigungsprozesses durchgeführt werden, in dem das Substrat **110** einem reaktiven Plasmaätzprozess ausgesetzt wird um die Oxidschicht **115** zu entfernen. Gemäß einer Ausführungsform wird in Prozess **201** nach dem Anordnen eines oder mehrerer der Substrate **110** in einer Behandlungskammer, wie Kammer **300** in [Fig. 3](#), die native Oxidschicht **115** einem reaktiven Gas ausgesetzt, welches Stickstoff, Fluor und Wasserstoff enthalten kann. Als nächstes wird die Oxidschicht **115**, die mit dem/den reaktiven Gas(en) reagierte, thermisch behandelt, um sie von der Oberfläche des Substrats zu entfernen. In einigen Ausführungsformen kann die thermische Behandlung ein Annealingprozess sein, der in der Behandlungskammer **300** oder einer anderen in dem System **400** vorhandenen benachbarten Kammer durchgeführt wird.

[0032] In einigen Fällen kann es wünschenswert sein sicherzustellen, dass das Substrat nicht für längere Zeitspannen Sauerstoff ausgesetzt ist. Daher ist es gemäß einigen Ausführungsformen der Erfindung wünschenswert, jeden der Prozesse **203–208** in einer sauerstofffreien inerten und/oder Vakuum-Umgebung durchzuführen, wie in den Vakuumprozessvolumina eines Cluster-Tools oder in dem System **400** ([Fig. 4](#)), so dass das Substrat zwischen den Prozessen **203–208** keinem Sauerstoff ausgesetzt ist.

[0033] Gemäß einer Ausführungsform werden die Substrate nach der Durchführung des Prozesses **201** auf einem Batch von Substraten **110**, die auf einem Substraträger **425** angeordnet sind in einer Behandlungskammer positioniert, so dass die Prozesse **202–206** auf den Substraten durchgeführt werden können. Als nächstes, wie in den [Fig. 1B](#) und [Fig. 2](#) gezeigt, wird eine Siliziumnitrid-haltige Grenzflächen-Teilschicht **121** auf der gereinigten, von Oxid befreiten, Oberfläche **105** des Substrats gebildet. Gemäß einer Ausführungsform kann die Grenzflächen-Teilschicht **121** zwischen etwa 50 Angström (Å) und etwa 350 Å dick sein, z. B. 150 Å dick sein. Gemäß einer Ausführungsform wird die Grenzflächen-Teilschicht **121** über der oberseitigen Oberfläche **105** unter Verwendung einer chemischen Gasphasenabscheidung (CVD), plasmaunterstützter chemischer Gasphasenabscheidung (PECVD) oder einer physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD) gebildet.

[0034] Im Prozess **202** umfasst das Verfahren gemäß einem Aspekt zur Bildung der Grenzflächen-Teilschicht **121** das Einströmen eines ersten Prozessgasgemisches in ein Prozessvolumen **306** innerhalb einer Behandlungskammer. In dem Prozess **203** wird ein Plasma im Prozessvolumen **306** erzeugt und im Prozess **204** eine Siliziumnitrid-haltige Grenzflächen-Teilschicht **121** auf einem Solarzellensubstrat **110** in dem Prozessvolumen **306** abgeschieden.

[0035] Als nächstes wird in Prozess **205**, wie in den [Fig. 1C–Fig. 1D](#) und [Fig. 2](#) dargestellt ist, eine Silizium-Stickstoff-haltige Bulk-Teilschicht **122** auf der Grenzflächen-Teilschicht **121** unter Verwendung eines plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidung(PECVD)-Verfahrens gebildet, wodurch sich eine mehrschichtige Passivierungs-Antireflexionsschicht **120** ausbildet. Alternativ kann die Bulk-Teilschicht **122** über die Grenzflächen-Teilschicht **121** unter Verwendung einer chemischen Gasphasenabscheidung (CVD) oder einer physikalischen Gasphasenabscheidung (PVD) ausgebildet werden. PVD-Verfahren können für reaktives Sputtern in einer Wasserstoffatmosphäre verwendet werden, um eine mehrschichtige Passivierungs-Antireflexionsschicht zu bilden. Zum Beispiel könnte ein Silizium-Target mit Argon in einer Stickstoff- und Wasserstoffatmosphäre gesputtert werden, um verschiedene SiN Schichten abzuscheiden. Gemäß einer Ausführungsform kann die Bulk-Teilschicht **122** zwischen etwa 400 Å und etwa 700 Å dick ist, beispielsweise 600 Å dick sein. In einem Beispiel wird das Substrat zur Bildung der Grenzflächen-Teilschicht **121** und der Bulk-Teilschicht **122** einem 13,56 MHz HF-Plasma ausgesetzt.

[0036] Gemäß einer Ausführungsform umfassen die ersten und zweiten Prozessgasgemische einen Siliziumhaltigen Precursor und einen Stickstoff-haltigen Precursor. Zum Beispiel kann das erste Prozessgasgemisch

Silan (SiH_4), Stickstoff (N_2), und/oder Ammoniak (NH_3) aufweisen. Das zweite Prozessgasgemisch kann Silan und Stickstoff, Silan und Ammoniak (NH_3), oder Silan, Ammoniak und Stickstoff aufweisen. Tabelle 1 führt ein Beispiel für die einzelnen Prozessbedingungen auf, die zur Bildung der Grenzflächen-Teilschicht **121** und der Bulk-Teilschicht **122** durch PECVD verwendet werden können. Tabelle 1 listet die Strömungsraten von SiH_4 , Stickstoff und/oder Ammoniak basierend auf einem pro Liter Prozessvolumen. Tabelle 1 beinhaltet auch das Verhältnis des Stickstoff-haltigen Precursors (z. B. N_2) zur Strömungsrate des Silizium-haltigen Precursors (z. B. SiH_4), die Leistungsdichte der einzelnen Abscheidungsprozesse, den Abstand zwischen dem Sprühkopf und dem Substratträger und die Abscheidungszeit für jede Teilschicht. Zum Beispiel ist gemäß einer Ausführungsform zur Bildung der Grenzflächen-Teilschicht **121** die Strömungsrate des Stickstoffs etwa 77,30 Standardkubikzentimeter (sccm) pro Liter Prozessvolumen und die Silanströmungsrate etwa 5,25 sccm pro Liter Prozessvolumen. Die Grenzflächen-Teilschicht **121** kann mit einer Geschwindigkeit von 1000 Å bis 3000 Å pro Minute abgeschieden werden, beispielsweise 1100 Å pro Minute während die Bulk-Teilschicht **122** mit einer Rate von mehr als 3000 Å pro Minute abgeschieden werden kann.

[0037] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann das zweite Prozessgasgemisch auch ein Wasserstoffgas (H_2)-Verdünnungsmittel enthalten, das, wie in Tabelle 1 gezeigt, bei einer Strömungsrate von 110 sccm pro Liter Kammervolumen zu den Strömungsraten von Silan, Ammoniak und Stickstoff zugegeben wird. Obwohl nicht in Tabelle 1 gezeigt, kann das Ammoniak zu Silan Strömungsratenverhältnis etwa 0,90 in der Bulk-Teilschicht Prozessrezeptur sein. Es wird angenommen, dass eine sorgfältige Kontrolle Silangasströmung dazu beiträgt die gewünschten optischen und funktionellen Schichteigenschaften zu erreichen. In den Bulk-Teilschicht-Prozessbedingungen sind die Prozessgasströmungen in der Regel höher. Ein Fachmann könnte die Gasströmungsverhältnisse in Abhängigkeit von der Leistung, dem Druck, dem Abstand, und der Temperatur des Abscheidungsprozesses erfolgreich ändern.

	N_2 Strömungsrate (sccm/l)	NH_3 Strömungsrate (sccm/l)	SiH_4 Strömungsrate (sccm/l)	N_2/SiH_4 Verhältnis	Leistungsdichte (W/cm ²)	Abstand (mm/mils)	Zeit (s)
Grenzflächen-Teilschicht	77.30	0.00	5.25	14.70	.65–1.0	20,32/800	9
Bulk-Teilschicht	77.30	8.40	9.20	8.35	.65–1.0	27,94/1100	15

Tabelle 1

[0038] Gemäß einer Ausführungsform kann die Temperatur eines Substrats für beide Abscheidungsverfahren der Grenzflächen-Teilschicht und der Bulk-Teilschicht von 350°C bis 400°C gehalten werden, wie zum Beispiel von 380°C bis 390°C. Verschiedene Mittel zur Aufrechterhaltung der Substrattemperatur können Schleusenheizen (load lock heating), Substratträgerheizen (substrate support heating), Plasmaheizen (plasma heating) usw. sein. Beide Teilschichten können bei einem Kammerdruck von etwa 1,5 Torr abgeschieden werden.

[0039] Das Plasma für jede Teilschicht kann durch HF-Leistung zwischen etwa 4350 W und etwa 6700 W bereitgestellt werden, wie beispielsweise durch etwa 5000 W bei einer Frequenz von 13,56 MHz im Vergleich zu dem Bereich von 2,000–3,000 W typischer SiN Abscheidungsverfahren. Die HF-Leistung kann an dem Sprühkopf **310** und/oder einem Substrat-Träger **330** vorgesehen sein. Die HF-Leistungsdichte für die Abscheidung sowohl der Grenzflächen-Teilschicht als auch der Bulk-Teilschicht kann etwa 0,65 W/cm² der Substratoberfläche oder mehr betragen, um das Plasma zu erzeugen. Zum Beispiel kann bei einigen Ausführungsformen die HF-Leistungsdichte 1,00 W/cm² sein. Gemäß einer anderen Ausführungsform kann die HF-Leistungsdichte etwa 0,75 W/cm² sein. Die Leistungsdichte kann so hoch wie möglich sein, da eine höhere Leistung eine erhöhte positive Ladung an der Grenzflächen-Teilschicht und der Bulk-Teilschicht bereitstellt. Somit stellt eine höhere Leistung eine bessere Feldpassivierungsschicht bereit und senkt die Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit (SRV).

[0040] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Abgrenzung zwischen der Grenzflächen-Teilschicht und der Bulk-Teilschichten durch einen abrupten Übergang durch Stoppen und Neustarten des Plasmas während des Prozessgasübergangs von der Grenzflächen-Teilschicht-Rezeptur zur Bulk-Teilschicht Rezeptur deutlicher definiert werden. Dieser Übergang kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen. Beispielsweise kann die Strömung des ersten Prozessgasgemisches gestoppt werden, bevor das zweite Prozessgasgemisch in die Behandlungskammer eingeführt wird. In einem anderen Beispiel wird nur die Silangasströmung ange-

halten, während der/die verbleibende(n) Precursor des ersten Prozessgasgemisches weiter fließen. Zum Beispiel kann die Gasströmungsrezeptur für die Grenzflächen-Teilschicht zur Bulk-Teilschicht Rezeptur in der Zeit übergehen, zu der die Leistung abgeschaltet ist. Die Gasströme werden nicht sofort ein perfektes Gasgemisch bereitstellen. Daher ermöglicht diese Pause im Plasmaabscheidungsprozess, dass sich die Gase für die Bulk-Passivierungsschicht-Rezeptur gründlich vor dem Neustart der Plasmaleistung durchmischen. Der Prozess "Pause" der nach dem Verfahrensschritt **204** durchgeführt wird kann etwa 2 Sekunden dauern, was ein gründliches Abführen des ersten Prozessgasgemisches aus der Kammer ermöglicht, bevor das zweite Prozessgasgemisch in die Kammer eingeströmt wird.

[0041] Während des Übergangs zwischen den Prozessrezepturen kann der Silanfluß hochgefahren werden, um ihn gleichmäßig in der Kammer zu verteilen, gefolgt von einer Wiederaufnahme der Leistung zum Sprühkopf, um das Plasma zu zünden und damit die Bildung der Passivierungsschicht **120** abzuschließen. Das Abschalten der Plasmaleistung nach Grenzflächen-Teilschichtabscheidung und Neustarten des Plasmas für die Bulk-Teilschichtabscheidung erhöht die Schichtdicke und die endgültige Effizienz, indem eine ideale und abrupte Übergangsschicht erzeugt wird. Während der Pause wird die Substrattemperatur im Allgemeinen bei einer Temperatur von etwa 380°C bis 390°C gehalten. In anderen Ausführungsformen kann die Leistung während des Bulk-Teilschicht Abscheidungsprozesses bis zu ihrer endgültigen Leistungseinstellung hochgefahren werden. In einigen Tests kann Stoppen und Neustarten der Leistung die Leerlaufspannung (VOC) der Schicht um 3 Millivolt erhöhen.

[0042] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Bildung der Bulk-Teilschicht durch einen Übergang ohne "Pause" von der Grenzflächen-Teilschicht Rezeptur zur Bulk-Teilschicht Rezeptur, wie sie in Tabelle 1 gezeigt sind, erfolgen wodurch eine Übergangsschicht von undefinierter Stöchiometrie entsteht. Die Gasströmungsraten und/oder die Gasgemischzusammensetzung werden geändert, um von einer Prozessrezeptur auf die nächste Prozessrezeptur überzugehen, während das Plasma eingeschaltet ist. In einer solchen Ausführungsform kann die Übergangsschicht 3–5 nm dick oder weniger als 10% des Bulk-Teilschichtdicke sein, jedoch 7–8% der gesamten abgeschiedenen Passivierungsschichtdicke.

[0043] Die resultierende Grenzflächen-Teilschicht **121** und die Bulk-Teilschicht **122**, wie sie schematisch in den [Fig. 1C](#) bis [Fig. 1D](#) dargestellt sind, bilden eine Passivierungs/ARC-Schicht **120** über der Oberseite **105** eines p-Typ-dotierten Bereichs. Gemäß einer Ausführungsform ist es wünschenswert, eine mehrschichtige Passivierung/ARC-Schicht **120** zu bilden, die eine gewünschte Menge an eingefangenen positiven Ladungen aufweist, um eine gewünschte Oberflächenpassivierung des p-Typ-Bereichs bereitzustellen. In einer anderen Ausführungsform stellt die positive eingefangene Ladung die gewünschte Oberflächenpassivierung eines n-Typ-Substrats mit einem n-Typ-dotierten Bereich bereit. Gemäß einer Ausführungsform hat die Summe der Gesamtmenge der eingeschlossenen positiven Ladung Q1 und die Gesamtmenge der eingeschlossenen negativen Ladung Q2 in der mehrschichtigen Passivierungsschicht **120** genug eingefangene Ladung, um eine Ladungsdichte von etwa 1×10^{12} oder mehr Coulombs/cm² zu erreichen, wie zum Beispiel zwischen etwa 1×10^{12} Coulombs/cm² und etwa 1×10^{14} Coulombs/cm² oder zwischen etwa 2×10^{12} Coulombs/cm² und 4×10^{13} Coulombs/cm². In einer anderen Ausführungsform kann die insgesamt eingefangene positive Ladung von etwa 5×10^{11} Coulombs/cm² bis etwa 1×10^{13} Coulombs/cm² sein.

[0044] Das Fehlen von einem negativen Vorzeichen vor der gewünschten Ladungsdichtenzahl soll nur andeuten, dass die Ladung, welche die Oberfläche **105** wahrnimmt sowohl positive als auch negativ ist, und somit der absolute Wert von Q1 größer ist als der absolute Wert von Q2. In Fällen, in denen die Grenzflächen-Teilschicht **121** und die Bulk-Teilschicht **122** jeweils positive und negative Ladungen enthalten, sind die hierin diskutierten Werte Q1 und Q2 die Nettowerte der Ladung, oder die Summe aus dem absoluten Wert der Gesamtmenge von positiver Ladung minus dem Absolutwert der Gesamtmenge der negativen Ladung in jeder entsprechenden Schicht. Im Allgemeinen gilt, je höher die Menge an positiver Ladung ist, desto größer ist die Lebensdauer der Solarzelle und umso niedriger ist die Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit (SRV). In einigen Ausführungsformen ist es wünschenswert, den größten Teil der eingefangenen positiven Ladung Q1 bei 100 Angström (Å) oder weniger von der Oberfläche **105** zu positionieren, um sicherzustellen, dass die eingeschlossene Ladung eine gewünschte Feldstärke aufweist, um die Löcher an oder unter der Oberfläche **105** abzustößen, da die Fähigkeit die Löcher abzustößen mit eins über dem Quadrat des Abstandes ($1/d^2$) zwischen eingefangener positiver Ladung Q1 und den Löchern variiert.

[0045] Die Tabellen 2 und 3 zeigen die einzelnen verschiedenen physikalischen und elektrischen Eigenschaften der Grenzflächen-Teilschicht **121** und der Bulk-Teilschicht **122**, welche gemäß den Ausführungsformen der Erfindung gebildet sind. Tabelle 2 zeigt den prozentuale atomare Wasserstoffanteil in jeder Teilschicht, den Wertebereich der Brechungsindizes (n) und der Extinktionskoeffizienten (k) und die Schichtdicke. Die Grenz-

flächen-Teilschicht **121** kann eine Wasserstoff(H⁺)-Konzentration in der Bulk- und Oberflächenpassivierung eines Substrats **110** aufweisen, von z. B. etwa 12 Atom-%. Die Bulk-Teilschicht **122** kann eine (H⁺)-Konzentration von etwa 18 Atom-% aufweisen. Während eines Brenn- oder Annealingprozesses, der auf dem Substrat nach der Abscheidung der Passivierungs/ARC-Schicht **120** durchgeführt wird, wird der Wasserstoff in der Bulk-Teilschicht **122** in das Substrat getrieben, um auch eine Volumenpassivierung des Substrats bereitzustellen. Das Reservoir von H⁺-Ionen in der Grenzflächen-Teilschicht und der Bulk-Teilschicht kann zum Substrat und der oberen Oberfläche des Siliziumsubstrats zur Passivierung jeglicher Fehlstellen oder kristallinen Defekte in der Substratstruktur getrieben werden. Da die Grenzflächen-Teilschicht **121** die einzige Schicht ist, die auf der oberen Oberfläche **105** des Substrats **110** liegt, kann sie eine Oberflächenrekombinationsgeschwindigkeit (SRV) von weniger als 10 cm/s aufweisen, während die Bulk-Teilschicht nicht mit der oberen Oberfläche **105** in Berührung kommt und somit die SRV der Bulk-Teilschicht von geringerer Bedeutung ist.

Schichteigenschaft	H%	n	k	Dichte (g/cm ³)
Grenzflächen-Teilschicht	5%–15%	2,4–2,6	< 0,04	2,5–3,0
Bulk-Teilschicht	10%–25%	2,05–2,15	≈ 0	2,3–2,9

Tabelle 2

[0046] Die abgeschiedene Grenzflächen-Teilschicht **121** kann einen größeren Brechungsindex (n) als die Bulk-Teilschicht **122** aufweisen und sowohl die Grenzflächen-Teilschicht **121** als auch die Bulk-Teilschicht **122** kann einen k-Wert von 0 bis 0,1 aufweisen. Im Allgemeinen wird der Brechungsindex für die Verpackung der resultierenden Zelle mit der Passivierungs/ARC-Schicht **120**, welche in Kontakt mit einem Bindemittel steht, das verwendet wird, um die Solarzelle einzukapseln, beim Abschluss des Bildungsprozesses ausgewählt. Einige Beispiele für geeignete Bindemittel umfassen Ethyl-Vinylacetat (EVA) oder Poly-Vinylbutyral (PVB). Demnach wird, wenn das Licht durch das Glas (n = 1,5), das Bindemittel (n = 1,5), die Passivierungs/ARC-Schicht **120** mit der Bulk-Teilschicht **122** und der Grenzflächen-Teilschicht **121** und einem Siliziumsubstrat (n = 3,0) scheint, die Lichtmenge, die von jeder Schicht-Grenzfläche reflektiert wird, reduziert, wenn es jedes der aufeinander folgenden Medium passiert, da der Unterschied im Brechungsindex zwischen den jeweils aufeinanderfolgenden Medien in der Regel klein ist, wodurch die Menge des an den Schichten reflektierten Lichts die Schichten unter dem Glas aber noch oberhalb des Emitterbereichs **102** reduziert wird. Beispielsweise können die n Werte der Grenzfläche-Teilschicht **121** und der Bulk-Teilschicht **122** 2,4 und 2,08 betragen.

[0047] Die Tabelle 3 zeigt den Bereich der N-H/Si-H-Verhältnisse von jeder Teilschicht, die Schichtspannung, die bei 400 Å der Schicht gemessene Flachbandspannung (V_{FB}) und die Schichtdicke. Die gemessene Dicke dieser verschiedenen Schichten sind Dicken, welche auf einer strukturierten Oberfläche gemessen sind. Somit stellen diese Dicken eine Dicke von Oberfläche zu Oberfläche jeder Schicht dar. Wenn beispielsweise ein poliertes Substrat verwendet werden würde, um einen Prozess zur gleichen Zeit wie die Produktionssubstrate zu überwachen, würden die resultierenden Dicken der Schichten **121**, **122** auf den Produktionssubstraten um einen bekannten Faktor, manchmal auch als Füllfaktor bezeichnet, geringer sein als die des polierten. Der Füllfaktor kann etwa 70% bis 90% betragen, d. h. die Dicke einer Schicht auf einem Produktionssubstrat kann etwa 70% bis 90% der Schichtdicke auf dem polierten Substrat betragen. Gemäß einer Ausführungsform können die Grenzflächen-Teilschicht **121** und die Bulk-Teilschicht **122** 150 Å beziehungsweise 600 Å dick sein. Zudem kann die Spannung an der Grenzfläche-Teilschicht und der Bulk-Teilschichte Druck oder Zug sein.

Schichteigenschaft	N-H/Si-H Verhältnis	Spannung (GPa)	V _{FB} (Volts)	Dicke (Å)
Grenzflächen-Teilschicht	0.1–0.8	–1.6–1.0	≤ –8	50–350
Bulk-Teilschicht	0.5–2.0	–0.2	12	400–700

Tabelle 3

[0048] Das N-H/Si-H-Bindungsverhältnis kann wichtig sein, um die optischen Eigenschaften der Teilschichten **121**, **122** maßzuschneidern. Durch die Erhöhung der Leistung des Plasmas während der Abscheidung der Passivierungsschicht **120**, wird angenommen, dass die resultierende abgeschiedene Schicht im Vergleich zu einer Passivierungsschicht, welche unter den im Stand der Technik verwendeten geringeren Plasmaleistungseinstellungen z. B. zwischen 2.000–3.000 W abgeschieden wurde, einen erhöhten Brechungsindex und einen erniedrigten k-Wert aufweist. Mindestens zwei Arten von Bindungen, welche in einer Silizium-Solarzelle mit

einer Silizium-Nitrid-Typ Passivierungsschicht auftreten verursachen Lichtabsorption: Si-H und Si-Si-Bindungen. Si-H- und Si-Si-Bindungen, welche jedoch kein Bestandteil eines Silizium-Nitrid-Materials sind, welches theoretisch im wesentlichen Si_3N_4 ist, was manchmal auch als stöchiometrisches Siliciumnitrid bezeichnet wird. Jedoch würde eine stöchiometrische Siliciumnitridschicht aus purem Si_3N_4 ein schlechtes Solar-ARC Material darstellen, weil es keinen Wasserstoff enthält, was insgesamt zu schlechten Solarzellenwirkungsgraden führen würde, da der Brechungsindex des stöchiometrischen Siliciumnitrids etwa 1,9 beträgt. Demnach muss Wasserstoff zu einer Siliziumnitrid ARC-Schicht hinzugefügt werden, um ihrer antireflektierenden und passivierenden Eigenschaften weiter zu verbessern.

[0049] Wenn jedoch Wasserstoff zu einer Siliziumnitridschicht auf einem Silizium-Substrat zugegeben wird, geht ein Teil des Wasserstoffs N-H-Bindungen und Si-H-Bindungen ein. Si-H-Material absorbiert Licht an der Grenze des UV-Bereichs und trägt einen geringfügigen Teil zu den gesamten k-Werten bei, während das Si-Si-Material sichtbares Licht absorbiert und somit den maßgeblichen Teil zum gesamten k-Wert beiträgt. Zusätzliches Silizium wird benötigt, um den Brechungsindex auf die gewünschten Werte für die Solarzelle zu bringen. Das zusätzliche Silizium muss jedoch nicht an anderes Silizium gebunden sein. Es wird angenommen, dass die Verwendung einer hohen Plasma-Leistung während der Abscheidung der Passivierungsschicht(en) die Bildung von Si-Si-Bindungen hemmt (wenn auch nicht notwendigerweise vollständig verhindert) und die Bildung von Si-N- und/oder Si-H-Bindungen in der wachsenden Schicht verstärkt. Mit anderen Worten, eine hohe Plasma-Leistungsdichte minimiert die Bindung von Si-Atomen in der wachsenden Schicht und/oder anfänglich an der Substratoberfläche, und von Bindungen mit Si-Atomen, welche in dem Silizium-haltigen Precursor-Gas vorhanden sind. Durch die Minimierung der Si-Si-Bindung und das Vergrößern des prozentualen Anteils der Si-N und Si-H-Bindungen in der wachsenden Schicht, kann der k-Wert der abgeschiedenen Siliziumnitridschicht eingestellt und/oder kontrolliert werden. In einigen Konfigurationen ist es wünschenswert, die Plasma-Leistungsdichte einzustellen, um den k-Wert der gebildeten Siliciumnitridschicht maßzuschneidern und/oder anzupassen. Die Leistungsniveaus können die normalen Niveaus zur Bildung einer Siliziumnitridschicht verdoppeln, um die gewünschten Verbindungen aufzubrechen und die üblicherweise direkt proportionale Beziehung zwischen n und k zu entkoppeln.

[0050] Somit weist die Grenzflächen-Teilschicht **121**, die in Kontakt mit einem Siliziumsubstrat steht, im Vergleich zu Passivierungsschichten, die mittels bekannter Verfahren gebildet sind, einen hohen Brechungsindex und optimale Lichtdurchlässigkeitseigenschaften auf und passiviert zudem die Defekte an der Si-SiN Grenzfläche. Die Bulk-Teilschicht **122**, welche auf der Oberseite der Grenzflächen-Teilschicht **121** abgeschieden ist, kann bezüglich Ladungsspeicherung, Wasserstoffrückhaltung, optimaler Spannung und hoher Abscheidungsrate gegenüber der Grenzflächen-Teilschicht **121** angepasst werden. Die Dicken der einzelnen Schichten können zur Verringerung des absorptiven Lichtverlusts entsprechend gewählt werden während gleichzeitig die Menge des von den Schichten über der Emitterzone reflektierten Lichts auf einem Minimum gehalten werden kann.

[0051] [Fig. 1D](#) ist eine Detailansicht eines Querschnitts der Passivierungs/ARC-Schicht **120**. Es sind Nadellöcher **130**, **131**, in der Bulk-Teilschicht **122** und der Grenzflächen-Teilschicht **121** entsprechend dargestellt. Die dargestellten Nadellöcher weisen eine gerade Seitenwand auf, obwohl üblicherweise unregelmäßige, nicht-lineare Formen von Nadellöchern auftreten. Chemische Gasphasenabscheidungsprozesse initiieren Schichtwachstum durch Keimbildung, welchem anschließend Kornwachstum folgt. Wenn benachbarte Körner bis zum Punkt der Kornkoaleszenz weiter anwachsen, um kontinuierliche Schichten zu bilden, wird das gesamte Substrat mit der Schicht bedeckt. Jedoch besteht aufgrund der Natur der typischen Art und Weise des Schichtwachstums durch Keimbildung und Kornkoaleszenz eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass Diskontinuitäten, wie kleine Lücken, Hohlräume und Löcher an den Grenzen der koaleszierenden Körner eingebracht werden. Ein Defekt in der Schicht, der sich an diesen Grenzen ausbildet, wie beispielsweise ein Nadelloch, ermöglicht eine Kontaminierung durch beispielsweise Sauerstoff oder Feuchtigkeit, welche den darunterliegenden dotierten Bereich **102** erreicht, was zu einer verminderten Lebensdauer und erhöhte Ausfallrate der Solarzelle führt. Sobald ein Kanal oder Hohlraum-ähnlicher Defekt, wie beispielsweise ein Nadelloch, während der Anfangsphase des PECVD Schichtwachstums eingebracht wird, wird sich das Nadelloch bis zur Oberfläche der Schicht ausweiten, wenn sich die Schicht weiter verdickt.

[0052] Üblicherweise werden Ammoniak- und Silangase für die Abscheidung von PECVD Siliciumnitrid-Schichten bei hohen Abscheidungsraten verwendet. Die hohe Abscheiderate führt jedoch in der Regel zu Schichtdiskontinuitäten, welche zu nadellochartigen Defekten während des PECVD-Prozesses führen. Eine Methode, um die Bildung solcher Defekte zu verringern, ist die Verringerung der Abscheidungsrate der Schichtchemie unter Verwendung von Ammoniak, Stickstoff, Wasserstoff und Silan. Durch sorgfältiges Kontrollieren der Prozessbedingungen für Ammoniak, Stickstoff und Silan Precursor, konnten PECVD-Schichten bei relativ

niedrigeren Abscheideraten, wie beispielsweise 1000 Å pro Minute, nahezu nadellochfrei auf einem Substrat abgelagert werden. Allerdings bedeuten langsame Abscheideraten längere Produktionszeiten für eine bestimmte Dicke von SiN. Im Allgemeinen erhöht ein Anstieg der Gasströme von Silan und Ammoniak die SiN Abscheiderate, jedoch erhöht dies auch die Wahrscheinlichkeit einer Nadellochproduktion.

[0053] Falls jedoch mehrere Schichten von Si_xN_y Schichten abgeschieden werden, ist es nicht wahrscheinlich, dass die nadellochartigen Defekte in einer Schicht mit jenen in einer anderen Schicht ausgerichtet sind, und daher können hohe Abscheideraten, von denen bekannt ist, dass diese inhärent zu solchen Defekten führen, dennoch zur Bildung der Teilschichten verwendet werden, welche die Passivierungs/ARC-Schicht **120** bilden. Somit kann die Wahrscheinlichkeit von Nadellöchern, die sich zwischen der oberen Oberfläche, d. h. der äußeren Oberfläche der Bulk-Teilschicht **122** und der unteren Oberfläche, d. h. die Grenzfläche zwischen Grenzflächen-Teilschicht **121** und dotierten Bereich **102**, erheblich reduziert werden. Wie in [Fig. 1D](#) gezeigt ist, ist die Passivierungs/ARC-Schicht **120** im Wesentlichen frei von Nadellöchern **130**, **131**, die vollständig sowohl die Grenzflächen-Teilschicht als auch durch die Bulk-Teilschicht verlaufen. Die Nadellöcher **130**, **131** sind im Allgemeinen nicht ausgerichtet und bilden einen "gewundenen Pfad", d. h. der Zugang von der oberen Fläche zu der unteren Fläche würde ein gewundener Pfad sein, weil die Nadellöcher keinen im Allgemeinen geraden Durchgang oder direkten Zugang zwischen den beiden Oberflächen bilden. Mit anderen Worten, Nadellöcher können sich in einzelnen Teilschichten **121**, **122** bilden, aber die kombinierten Schichten sind im Wesentlichen frei von Nadellöchern, die vollständig durch beide Schichten verlaufen, d. h. von einer oberen Oberfläche der Bulk-Teilschicht zu einer Fläche der Grenzflächen-Teilschicht.

[0054] Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird ein Verfahren zur Detektion von Nadellöchern auf einer c-Si (Silizium) Solarzelle bereit gestellt. Nadellochgrößen hängen von den Schichtkorngrößen ab, die typischerweise im Bereich von einigen zehn Nanometern (nm) bis zu mehreren hundert nm Durchmesser/Breite liegen. Jedoch ist die Detektion solcher Nadellöcher nicht leicht oder unkompliziert, außer wenn reichlich Nadellöcher vorhanden sind.

[0055] Ein Verfahren unter Verwendung von Galvanotechniken (Elektroplattieren) kann verwendet werden, um nadellochartige Defekte in einer Passivierungsschicht auf einem Solarzellensubstrat, zum Beispiel eine PECVD SiN Schicht auf einem c-Si Solarsubstrat, zu erkennen. Der Vorteil dieser Technik ist, dass sie bei fertigen Solarzelle angewendet werden kann. Eine Solarzelle mit Passivierungsschichten, wie PECVD SiN, wird mit einer geeigneten rückseitigen Isolierung der Solarzelle in ein Elektrolyten eingetaucht, während durch die metallbeschichtete (z. B. Al) Rückseite der Solarzelle Strom gespeist wird. Es wird Strom an das Silizium angelegt, und wenn das Elektrolyt mit dem Silizium in Kontakt kommt, bildet sich ein Stromkreis, der das Plattieren des Nadellochs auslöst.

[0056] Bei Verwendung dieser Methode, in einem Fall in dem sich das Nadelloch von der äußeren Oberfläche der Passivierungs/ARC-Schicht **120** zum dotierten Siliziumbereich **102** erstreckt, wird sich das Metall aus der Plattierungslösung, beispielsweise Kupfer, wobei das Elektrolyt CuSO_4 enthält, in den Nadellöchern abscheiden und beginnen im Nadelloch zu wachsen, und schließlich, wenn das Nadelloch vollständig ausgefüllt ist, nach außen wachsen. Metall, wie beispielsweise Kupfer, wird sich jedoch nicht in Nadellöchern abscheiden, welche nicht vollständig durch die Passivierungs/ARC-Schicht **120** verlaufen, denn wo sich ein Nadelloch bis zur dotierten Schicht **102** erstreckt, wird durch das Silizium und das Elektrolyt ein Stromkreis gebildet, so dass sich Kupfer aus dem Elektrolyt in dem Nadelloch abscheidet. Das plattierte Kupfer wird in Form von hellen Kreisen auf der Fläche des Substrats sichtbar, wobei die Kreisgrößen viel größer als die Öffnungen der Nadellöcher sind, und in die Kreisgrößen abhängig von der Beschichtungszeit von mehreren Mikrometern bis zu mehreren hundert Mikrometern variieren. Das Glitzern des plattierten Kupfers ermöglicht die Erkennung der Nadellöcher unter einem Lichtmikroskop.

[0057] Nach der Bildung des Siliciumnitrid-haltigen Bulk-Teilschicht kann die Solarzelle weiter behandelt werden, um andere Schutzschichten bereitzustellen, wie es in den [Fig. 1E](#) und [Fig. 1F](#), welche zwei verschiedene Ausführungsformen der fertigen Solarzelle **100** zeigen, dargestellt ist. [Fig. 1E](#) zeigt eine Solarzelle **100** mit einer mehrschichtigen Passivierungs-Antireflexionsbeschichtung **120**, auf der eine Bindemittelschicht **124** und ein Glassubstrat **126** angeordnet ist. Die Bindemittelschicht **124** kapselt das Solarzellensubstrat sowie alle darauf ausgebildeten Komponenten ein, um mit dem Glassubstrat **126** eine Schutzschicht zu bilden.

[0058] Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann zur Bildung einer schützenden Schicht über der Passivierungsschicht ein drittes Prozessgasgemisch in das Prozessvolumen eingeleitet werden, um eine Silizium-, Sauerstoff-, Stickstoff-haltige Schicht, wie Silizium-Oxynitrid (SiON) auf die Bulk-Teilschicht **122** abzuschneiden wie in den Prozessen **207–208** angegeben und in [Fig. 1F](#) gezeigt ist. Diese Ausführungsform wird typischer-

weise für Laborstudien und allgemeine Untersuchungen und Tests angefertigt. Die Silizium-Oxynitridschicht kann einen n-Wert von 1,9 bis 1,8 aufweisen. Das dritte Prozessgasgemisch kann mindestens eines von Silan, Octamethylcyclotetrasiloxan (OMCTS), Tetraethylorthosilicat (TEOS), O_2 , O_3 , N_2O , NO_2 , NH_3 , H_2 , und N_2 aufweisen. Dies kann in Ausführungsformen durchgeführt werden, in denen keine rückseitige Glasabdeckung oder kein Substrat in der endgültigen Solarzellestruktur verwendet wird.

[0059] Das Solarzellensubstrat kann in einem Impuls-Brennvorgang (spike firing process) für 1 Sekunde bei 850°C wärmebehandelt werden, wie es in **209** gezeigt ist. Das Hochtemperaturbrennen der Solarzelle nach Siliziumnitridabscheidung verbessert die Qualität der Bulk-Siliziumnitridschicht und treibt den Wasserstoff in das Substrat. Der Brennvorgang kann verschiedene Rampen zum Erhitzen und Abkühlen aufweisen, welche von der Art der Klebstoffe, die in der Solarzelle verwendet werden, abhängen können. In einer anderen Ausführungsform könnte die Wärmebehandlung (Annealing) nach dem Abscheiden der Siliziumnitrid-haltigen Bulk-Teilschicht stattfinden, wie es in **210** gezeigt ist. Ein Bindemittel, wie zum Beispiel EVA oder PVB wird dann auf der Bulk-Teilschicht aufgetragen, auf welcher eine rückseitige Glasabdeckung über dem Bindemittel angeordnet und anschließend laminiert wird, um den Solarzellenherstellungsprozess zu vervollständigen, wie es in **211** und **212** gezeigt ist. Eine Oberflächenpassivierung kann jedoch unabhängig davon erreicht werden, ob ein Brennprozess auf der Solarzelle durchgeführt oder nicht.

Hardware Konfiguration

[0060] Plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidungssysteme (PECVD-Systeme) die zur Behandlung von großflächigen Substraten konfiguriert sind können SiN-Schichten mit überragender Schichtgleichmäßigkeit bei hohen Abscheidungsraten abscheiden. Dies gilt insbesondere für Parallelplatten-, Hochfrequenz-PECVD-Systeme, wobei ein oder mehrere Substrate zwischen zwei im Wesentlichen parallelen Elektroden in einer Plasmakammer angeordnet sind. Die Gasverteilungsplatte der Kammer fungiert im Allgemeinen als erste Elektrode und der Substraträger der Kammer als zweite Elektrode. Ein Precursor-Gasgemisch wird in die Kammer eingeführt, durch Anlegen von Hochfrequenz(HF)-Strom an eine der Elektroden in einen Plasmazustand angeregt und über eine Oberfläche des Substrats geleitet, um die Abscheidung einer Schicht des gewünschten Materials herbei zu führen. Die Kammergeometrie mit ihrem Gassprühkopf unmittelbar oberhalb der Abscheidungsebene ist optimal zur Erzeugung der mehreren abgestuften Schichten bei hohem Durchsatz, ohne die Kosten, die Größe oder Komplexität des Systems erheblich zu erhöhen.

[0061] Es ist schwierig, sowohl hohe n und niedrige k Eigenschaften einer Siliziumnitrid-Passivierungsschicht mit anderen Behandlungskammertypen zu erzielen, da es schwierig ist in diesen Behandlungskammern Schichten mittels hochleistungsdichtem Plasma zu bilden. Zum Beispiel können andere Behandlungskammern ein Kohlenstoff-Boot-System (carbon boat system) mit vielen elektronisch miteinander verbundenen Substraten verwenden. Jedes Substrat in dem Kohlenstoff-Boot-System bildet eine Anode und eine Kathode, die, wie angenommen wird, verhindert, dass eine ähnliches Plasma in den Behandlungskammern, wie sie hierin beschrieben sind, erzeugt wird. Mit den hier beschriebenen PECVD Anlagen wird jedoch angenommen, dass die kapazitive Kopplung einer Parallelplattentyp-Behandlungskammer, welche zur Bildung der Passivierungsschicht mit den gewünschten optischen und funktionalen Eigenschaften verwendet wird, die höhere Plasmaleistungsdichte ermöglicht.

[0062] [Fig. 3](#) zeigt eine schematische Querschnittsansicht eines Ausführungsbeispiels einer plasmaunterstützten chemischen Gasphasenabscheidungskammer **300** (PECVD-Kammer), in der einer oder mehrere der Prozesse, welche in Verbindung mit [Fig. 2](#) dargestellt und erläutert sind, durchgeführt werden können. Eine ähnlich konfigurierte plasmaunterstützte chemische Dampfabscheidungskammer ist von Applied Materials, Inc. in Santa Clara, Kalifornien erhältlich. Es ist vorgesehen, dass andere Abscheidungskammern, einschließlich derjenigen von anderen Herstellern verwendet werden können, um die vorliegende Erfindung auszuführen.

[0063] Es wird angenommen, dass die Konfiguration des Plasmaprozesses, welcher in der Behandlungskammer **300** bereitgestellt wird, signifikante Vorteile gegenüber anderen Konfigurationen hat, wenn sie dazu verwendet wird um einen oder mehrere der in [Fig. 2](#) beschriebenen Prozesse durchzuführen. In einer Ausführungsform wird die PECVD-Kammer **300** konfiguriert, um eine Mehrzahl von Substraten gleichzeitig zu behandeln. In einer Ausführungsform ist die plasmaunterstützte chemische Gasphasenabscheidungskammer **300** (PECVD-Kammer), im Gegensatz zur Behandlung von vertikalen Stapeln von Substraten (z. B. Batches von Substraten, welche in Kassetten gestapelt sind, wie es in vertikalen Ofensystemen der Fall ist), dazu geeignet eine Mehrzahl von Substraten **110** gleichzeitig zu behandeln, die auf einem planaren Array auf einem Substraträger **425**, wie es in [Fig. 4](#) gezeigt ist, angeordnet sind. Die Behandlung von Batches von Substraten, welche in einem planaren Array angeordnet sind ermöglicht es, dass jedes der Substrate im Batch direkt und

gleichzeitig dem erzeugten Plasma, der Strahlungswärme, und/oder den Prozessgasen ausgesetzt wird. Daher wird jedes Substrat in dem planaren Array auf ähnliche Weise im Prozessvolumen einer Behandlungskammer behandelt, und ist somit nicht auf diffusionstypischen Prozesse und/oder serielle Energieübertragung auf alle Substrate angewiesen, wie in einem konventionell konfigurierten zu behandelndem Batch, wie beispielsweise einem gestapelten oder Rücken-an-Rücken (back-to-back) konfiguriertem Batch von Substraten.

[0064] In einer Konfiguration ist die PECVD-Kammer **300** dazu geeignet, einen Substraträger **425** ([Fig. 3](#) und [Fig. 4](#)) aufzunehmen, der konfiguriert ist, um einen Batch von Substraten während des Transfers und der Behandlung der Substrate zu halten. In einer Ausführungsform weist der Substraträger **425** eine Oberfläche von etwa 10.000 cm² oder mehr, wie beispielsweise etwa 40.000 cm² oder mehr, oder etwa 55.000 cm² oder mehr auf, der konfiguriert ist, eine planare Array, auf welchem eine Vielzahl von Substraten **110** angeordnet ist, während der Behandlung zu halten. In einer Ausführungsform hält der Substraträger **425** zwischen etwa 4 und etwa 49 Solarzellensubstrate in einer Face-up oder Face-down-Konfiguration, welche 156 mm × 156 mm × 0,3 mm groß sind. In einer Konfiguration wird ein Batch von Solarzellensubstraten auf dem Substraträger **425** zwischen einer Vielzahl von Behandlungskammern in einem Vakuum oder einer inerten Umgebung transferiert (z. B. Transferkammer **420** in [Fig. 4](#)), um die Wahrscheinlichkeit einer Kontamination zu reduzieren und den Durchsatz zu verbessern.

[0065] Nochmals beziehend auf [Fig. 3](#), umfasst die Kammer **300**, welche ein Prozessvolumen **306** definiert, im Allgemeinen Wände **302**, einen Boden **304**, einen Sprühkopf **310** und einen Substratsupport **330**. Das Prozessvolumen **306** ist über ein Ventil **308** zugänglich, so dass die auf dem Substraträger **425** angeordneten Substrate, in die Kammer **300** hinein und aus der Kammer **300** heraus transferiert werden können. Der Substratsupport **330** umfasst eine aufnehmende Oberfläche **332** und einen Schaft **334**, der mit einem Liftsystem gekoppelt ist, wie beispielsweise Hebelbolzen **338**, zum Heben und Senken des Substratsupports **330**. Ein Schattenrahmen **333**, der innerhalb der Kammer **300** aufrechterhalten wird, kann gegebenenfalls über die Peripherie des Substraträgers **425** platziert werden. Die Hebelbolzen **338** sind beweglich durch den Substratsupport **330** angeordnet, um den Substraträger **425** hinzu und weg von der aufnehmenden Oberfläche **332** zu bewegen. Der Substratsupport **330** kann auch eingebettete Heiz und/oder Kühlelemente **338** aufweisen, um den Substratsupport auf einer gewünschten Temperatur zu halten. Der Substraträger **330** kann auch Erdungsbänder **331** aufweisen um ein HF-Erdung an der Peripherie des Substratsupports **330** bereitzustellen. In einer Ausführungsform weist der Substrathalter **330** eine HF-Quelle (nicht dargestellt) auf, die an eine in dem Substratsupport **330** eingebettete Elektrode (nicht dargestellt) gekoppelt ist, so dass eine HF-Vorspannung an die Substrate **110**, welche über dem Substratsupport **330** angeordnet sind, angelegt werden kann.

[0066] Der Sprühkopf **310** ist an seinem Umfang durch eine Aufhängung **314** mit einer Trägerplatte **312** gekoppelt. Der Sprühkopf **310** kann auch durch eine oder mehrere zentrale Stützen **316** mit der Trägerplatte gekoppelt sein, um eine Durchbiegung zu verhindern und/oder die Ebenheit/Krümmung des Sprühkopfs **310** zu kontrollieren. Eine Gasquelle **320** ist mit der Trägerplatte **312** verbunden, um Gas über die Trägerplatte **312** und über die Durchgänge **311** des Sprühkopfs **310** für die Substrataufnahme fläche **332** bereitzustellen. Eine Vakuumpumpe **309** ist mit der Kammer **300** gekoppelt, um das Prozessvolumen **306** mit einem gewünschten Druck anzusteuern. Eine HF-Energiequelle **322** ist mit der Trägerplatte **312** und/oder an dem Sprühkopf **310** gekoppelt, um eine HF-Energie an dem Sprühkopf **310** bereitzustellen, so dass zwischen dem Sprühkopf und dem Substratsupport ein elektrisches Feld angelegt ist, wodurch unter Verwendung der Gase zwischen dem Sprühkopf **310** und dem Substraträger **330** ein kapazitiv gekoppeltes Plasma erzeugt wird. Verschiedene HF-Frequenzen können verwendet werden, wie beispielsweise eine Frequenz zwischen etwa 0,3 MHz und etwa 100 MHz. Es wird angenommen, dass der direkte Kontakt des kapazitiv gekoppelten Plasmas mit der Behandlungsfläche **110A** ([Fig. 3](#)) der Substrate **110** Vorteile gegenüber Designs hat, die nicht alle Substrate dem Plasma direkt aussetzen, da es mit der Kammerkonfiguration **300** möglich ist energetisierte und/oder ionisierten Spezies direkt für alle Teile der Behandlungsfläche **110A** während der Behandlung bereitzustellen.

[0067] Gemäß einer Ausführungsform können die Heiz- und/oder Kühlelemente **339** dazu bestimmt sein, während der Abscheidung eine Substratsupporttemperatur von etwa 400°C oder weniger bereitzustellen, beispielsweise zwischen etwa 100°C und etwa 400°C. Der Abstand zwischen der oberen Oberfläche eines Substrats, welches auf einem Substraträger **425** angeordnet ist, welcher auf der Substrataufnahme fläche **332** angeordnet ist, und des Sprühkopfs **310** kann während der Abscheidung zwischen 7,62 mm (300 mil) und etwa 27,94 mm (1100 mil) liegen. Zum Beispiel kann der Abstand während der Abscheidung der Siliciumnitrid-haltigen Grenzflächen-Teilschicht **121** zwischen etwa 20,32 mm (800 mil) und während der Abscheidung der Siliciumnitrid-haltigen Bulk-Teilschicht **122** etwa 27,94 mm (1100 mil) sein.

[0068] Gemäß einer anderen Ausführungsform wird ein System zur Bildung einer Schicht auf einer Solarzelle offenbart. Das System umfasst eine Plasmabehandlungskammer, wie Kammer **300**, zur Bildung einer Passivierungs/ARC-Schicht **120** auf einem Solarzellensubstrat **110** innerhalb eines Prozessvolumens **306** der Behandlungskammer. Eine Systemsteuerung, beispielsweise einen Computer **440**, die in Kommunikationsverbindung mit der Plasmabehandlungskammer steht und konfiguriert ist, die Prozessbedingungen und Rezepturen zur Bildung der Grenzflächen-Teilschicht **121** und der Bulk-Teilschicht **122** der Passivierungs/ARC-Schicht **120** zu steuern. Der Computer **440** kann die Prozessbedingungen zur Bildung der Grenzflächen-Teilschicht **121** durch Steuern der Strömungsraten und der Zusammensetzungen der Gase initiieren, welche das erste Prozessgasgemisch und die Leistungsdichte des Plasmas, das aus dem ersten Prozessgasgemisch erzeugt wird, umfassen. Nach einer gewissen Abscheidungszeit oder eines anderen Ereignisses kann der Computer **440** den Übergang von dem ersten Prozessgasgemisch zum zweiten Prozessgasgemisch zur Bildung der Bulk-Teilschicht **122**, unter Verwendung einer der zuvor diskutierten Übergangstypen, wie beispielsweise einem "abrupten" Übergang, ausführen. Demnach steuert der Computer **440** zur Bildung jeder Teilschicht die Prozessbedingungen in der Behandlungskammer, so dass die Grenzflächen-Teilschicht und die Bulk-Teilschicht, wie zuvor erläutert, maßgeschneiderte optische und passivierenden Eigenschaften aufweisen.

[0069] **Fig. 4** ist eine schematische Draufsicht eines Ausführungsbeispiels eines Behandlungssystems **400** mit einer Vielzahl von Behandlungskammern **431–437**, wie beispielsweise eine PECVD-Kammer **300** aus **Fig. 3** oder einer anderen geeigneten Kammer, die in der Lage ist, die Prozesse die in Verbindung mit **Fig. 2** beschrieben sind auszuführen. Das Behandlungssystem **400** umfasst eine Transferkammer **420**, welche mit einer Schleusenkammer **410** gekoppelt ist und die Behandlungskammern **431–437**. Die Schleusenkammer **410** ermöglicht, dass Substrate, die zwischen der Umgebung außerhalb des Systems und der Vakuum-Umgebung innerhalb der Transferkammer **420** und den Behandlungskammern **431–437** transferiert werden können. Die Schleusenkammer **410** umfasst eine oder mehrere evakuierbare Bereiche, die konfiguriert sind einen oder mehrere Substraträger **425** zu halten, die konfiguriert sind, um eine Vielzahl von Substraten **110** zu tragen. Die evakuierbaren Bereiche werden während der Eingabe der Substrate in das System **400** ausgepumpt und während der Ausgabe der Substrate aus dem System **400** entlüftet. Die Transferkammer **420** hat mindestens einen darin angeordneten Vakuumroboter **422**, der geeignet ist, die Substraträger **425** und die Substrate zwischen der Schleusenkammer **410** und den Behandlungskammern **431–437** zu transferieren. **Fig. 4** zeigt sieben Behandlungskammern, jedoch kann das System **400** jede geeignete Anzahl von Behandlungskammern aufweisen.

[0070] Gemäß einem Ausführungsbeispiel des Systems **400** ist eine erste Behandlungskammer **431** dazu konfiguriert den Prozess **201** durchzuführen, eine zweite Behandlungskammer **432** dazu konfiguriert die Prozesse **202** bis **206** durchzuführen, eine dritte Behandlungskammer **433** dazu konfiguriert die Prozesse **207** bis **208** durchzuführen, und eine vierte Behandlungskammer **434** dazu konfiguriert die Prozesse **209** oder **210** auf den Substraten durchzuführen. Andere Ausführungsformen können verschiedene Kombinationen der Behandlungskammern **431–437** des Systems **400** verwenden, um die Prozesse **201** bis **210** durchzuführen. In einer weiteren Ausführungsform des Systems **400**, ist mindestens eine der Behandlungskammern **431–437** konfiguriert, um die meisten der Prozesse, wie beispielsweise **201** bis **210**, auf den Substraten durchzuführen.

[0071] Unter Verwendung der hierin beschriebenen Ausführungsformen kann die Silizium-Stickstoff-haltige Passivierungs/ARC-Schicht **120** im Wesentlichen bei schnelleren Raten als bei den zuvor bekannte Verfahren abgeschieden werden, während im Allgemeinen verschiedene Passivierungsschichtvorteile bereitgestellt werden, ohne die Qualität der Solarzellenpassivierungsschicht negativ zu beeinflussen. Zum Beispiel weist die Grenzflächen-Teilschicht Wasserstoff- und Siliziumradikale auf, die mit den freien Bindungen des Siliziumsubstrats reagieren können, um das Siliziumsubstrat zu passivieren. Die Art von Plasmachemie, die zur Abscheidung der Grenzflächen-Teilschicht ausgebildet wird weist mehr Wasserstoff- und Siliziumradikale auf als die Plasmachemie der Bulk-Teilschicht.

[0072] Es wird angenommen, dass bei Verwendung von anderen Arten von CVD-Kammern zur Plasmaabscheidung, wie beispielsweise Remote-Plasma-Abscheidungskammern, die Komponenten zur Herstellung einer Siliziumnitrid-Schicht in der richtigen Mischung in die Kammer eingeleitet werden, um die richtigen stöchiometrischen Verhältnissen zu erhalten, diese jedoch keine große Kontrolle über die Schicht ermöglichen sobald diese auf dem Substrat abgeschieden wird. Jedoch bricht die erhöhte Leistung in einem direkten Plasmaprozesssystem, wie z. B. PECVD, die schwächeren Bindungen wie Si:Si-Bindungen auf, um während der Schichtabscheidung auf dem Substrat stärkere Bindungen zu bilden.

[0073] In Beschichtungsanlagen mit einem horizontalen Sprühkopf, wie beispielsweise in **Fig. 3** dargestellt, zeigen die Sprühkopfoffnungen oder Durchgänge **311** direkt zum Substrat, wobei ein Durchmischen der Gase

und des Plasmas geradeaus nach unten auf das Substrat erfolgt. Somit besteht mit der in [Fig. 3](#) gezeigten Anlage die Möglichkeit Schichten schnell zu wechseln, d. h. während der Behandlung bei hohen Abscheidungs-raten durch Änderung der in die Kammer eintretenden Gasgemische. Somit ist ein Vorteil der Ausführungsformen der Erfindung, dass einzelne Kammern verwendet werden können, um mehrere Siliziumnitrid-Passivierungsschichten abzuscheiden während die Möglichkeit besteht die Gasströmung in den Kammern zu variieren.

[0074] Obwohl das Vorhergehende auf Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung bezogen ist, können auch andere und weitere Ausführungsformen der Erfindung erdacht werden, ohne vom grundlegenden Umfang und dem durch die folgenden Ansprüche bestimmten Umfang abzuweichen.

Patentansprüche

1. Ein Verfahren zur Bildung einer Passivierungsantireflexionsschicht auf einem Solarzellensubstrat, wobei das Verfahren umfasst:

Einströmen eines ersten Prozessgasgemisches in ein Prozessvolumen innerhalb einer Behandlungskammer;
Erzeugen von Plasma in der Behandlungskammer bei einer Leistungsdichte von größer als $0,65 \text{ W/cm}^2$;
Abscheiden einer Siliziumnitrid-haltigen Grenzflächen-Teilschicht auf einem Solarzellensubstrat in dem Prozessvolumen;

Einströmen eines zweiten Prozessgasgemisches in das Prozessvolumen, und
Abscheiden einer Siliziumnitrid-haltigen Bulk-Teilschicht auf die Siliziumnitrid-haltige Grenzflächen-Teilschicht.

2. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Grenzflächen-Teilschicht einen Brechungsindex (n) aufweist, der größer ist als der der resultierenden Bulk-Teilschicht und wobei sowohl die Grenzflächen-Teilschicht als auch die Bulk-Teilschicht einen Extinktionskoeffizienten (k-Wert) von 0 bis 0,1 aufweisen.

3. Das Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Grenzflächen-Teilschicht einen Brechungsindex von 2,4 bis 2,6 aufweist und die Bulk-Teilschicht einen Brechungsindex von 2,00 bis 2,15 aufweist.

4. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das erste Prozessgasgemisch Stickstoff und Silan umfasst.

5. Das Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Verhältnis von Stickstoff zu Silan 14:7 beträgt.

6. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei das zweite Prozessgasgemisch Stickstoff, Silan, und Ammoniak umfasst.

7. Das Verfahren nach Anspruch 6, wobei das Verhältnis Stickstoff zu Silan etwa 8,35 und das Verhältnis Ammoniak zu Silan etwa 0,90 beträgt.

8. Das Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Passivierungsantireflexionsschicht im Wesentlichen frei von Nadellöchern ist, die vollständig sowohl durch die Grenzflächen-Teilschicht als auch durch die Bulk-Teilschicht verlaufen.

9. Das Verfahren nach Anspruch 1, ferner umfassend:
das Löschen des Plasmas vor dem Einströmen des zweiten Prozessgasgemisches in das Prozessvolumen, und
Wiederentzünden des Plasmas nach dem Einströmen des zweiten Prozessgasgemisches in das Prozessvolumen.

10. Eine in einer Solarzellenvorrichtung gebildete Passivierungs/ARC-Schicht, umfassend:
eine Silizium-Stickstoff-haltige Grenzflächen-Teilschicht, welche über einem oder mehreren p-dotierten Bereichen angeordnet ist, die in einer Oberfläche einer Solarzelle gebildet sind, und
eine Silizium-Stickstoff-haltige Bulk-Teilschicht, die über der Silizium-Stickstoff-haltigen Teilschicht angeordnet ist, wobei die Grenzflächen-Teilschicht einen größeren Brechungsindex (n) als die Bulk-Teilschicht aufweist, und wobei sowohl die Grenzflächen-Teilschicht und die Bulk-Teilschicht einen Extinktionskoeffizienten (k-Wert) von 0 bis 0,1 aufweisen.

11. Die Passivierungs/ARC-Schicht nach Anspruch 10, wobei eine Menge der positiven Nettoladung in der Passivierungs/ARC-Schicht eine Ladungsdichte von größer als $1 \times 10^{12} \text{ Coulombs/cm}^2$ an der Oberfläche des Solarzellensubstrats aufweist.

12. Die Passivierungs/ARC-Schicht nach Anspruch 10, wobei die Passivierungs/ARC-Schicht im Wesentlichen frei von Nadellöchern ist, die vollständig sowohl durch die Grenzflächen-Teilschicht als auch durch die Bulk-Teilschicht verlaufen.

13. Ein Verfahren zur Detektion von Nadellöchern in einer Passivierungsschicht auf einer Solarzelle, wobei das Verfahren umfasst:

das Eintauchen einer Solarzelle mit einer darauf gebildeten Passivierungsschicht in ein Elektrolyte;

das Anlegen eines Stroms durch die metallbedeckte Rückseite der Solarzelle zur Metallisierung jeglicher Nadellöcher, die sich von einer äußeren Oberfläche der Passivierungsschicht zu einem dotierten Bereich der Solarzelle erstrecken, und

Detektieren von jeglichem Metall das sich in jedem der Nadellöcher abscheidet.

14. Eine Solarzelle, umfassend:

ein Substrat mit einem Übergangsbereich, und

eine Passivierungsantireflexionsschicht auf einer Oberfläche des Substrats, wobei die Passivierungsantireflexionsschicht umfasst:

eine Siliziumnitrid-haltige Grenzflächen-Teilschicht, und

eine Siliziumnitrid-haltige Bulk-Teilschicht unmittelbar auf der Grenzflächenteilschicht, wobei die Grenzflächen-Teilschicht einen größeren Brechungsindex (n) als die Bulk-Teilschicht aufweist, und wobei die Passivierungsantireflexionsschicht im wesentlichen frei von Nadellöchern ist, die vollständig sowohl durch die Grenzflächen-Teilschicht als auch durch die Bulk-Teilschicht verlaufen.

15. Ein System zur Bildung einer Schicht auf einer Solarzelle, wobei das System umfasst:

eine Plasmabehandlungskammer zum Bilden einer Passivierungs/ARC-Schicht auf einem Solarzellensubstrat innerhalb eines Prozessvolumens der Behandlungskammer, wobei die Passivierungs/ARC-Schicht umfasst:

eine unter Verwendung von Plasma auf dem Solarzellensubstrat ausgebildete Siliziumnitrid-haltige Grenzflächen-Teilschicht, welche aus einem ersten Prozessgasgemisch bei einer Leistungsdichte von größer als $0,65 \text{ W/cm}^2$ erzeugt wird, und

eine unter Verwendung von Plasma auf der Grenzflächen-Teilschicht ausgebildete Siliziumnitrid-haltige Bulk-Teilschicht, welche aus einem zweiten Prozessgasgemisch bei einer Leistungsdichte von größer als $0,65 \text{ W/cm}^2$ erzeugt wurde, und

eine mit der Plasmabehandlungskammer in Kommunikationsverbindung stehende Systemsteuerung, wobei die Systemsteuerung konfiguriert ist, um die Plasma-Leistungsdichte, die Strömungsraten des ersten Prozessgasgemisches und die Strömungsraten des zweiten Prozessgasgemisches zu steuern, so dass die Grenzflächen-Teilschicht einen größer Brechungsindex (n) als denjenigen der resultierenden Bulk-Teilschicht aufweist, und wobei sowohl die Grenzflächen-Teilschicht als auch die Bulk-Teilschicht einen Extinktionskoeffizienten (k -Wert) von 0 bis 0,1 aufweisen.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

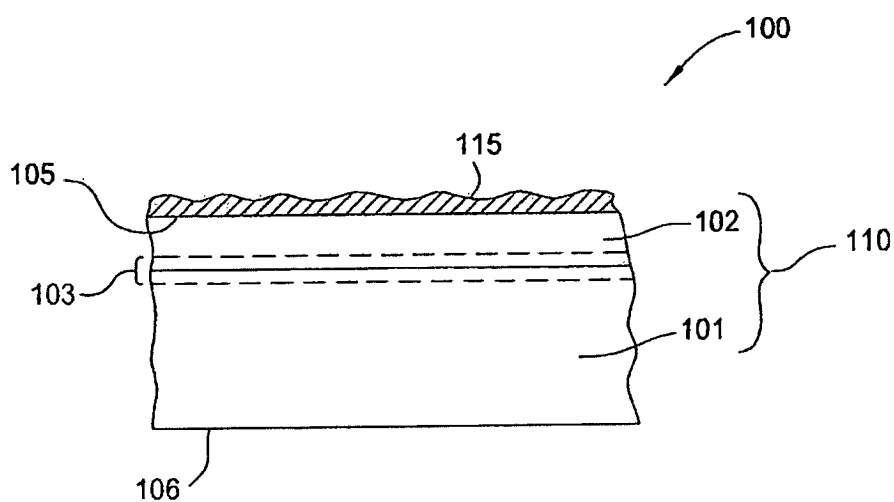


FIG. 1A

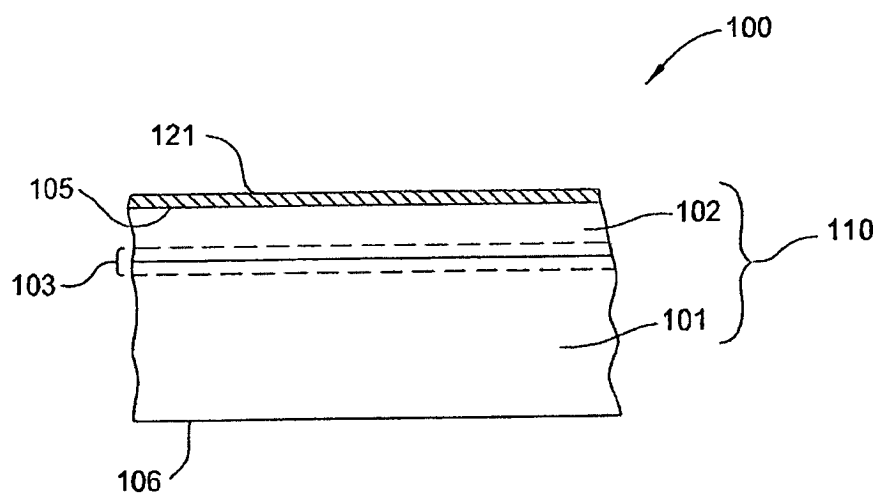


FIG. 1B

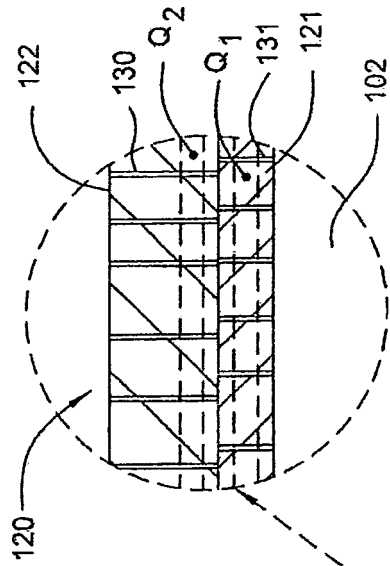


FIG. 1D

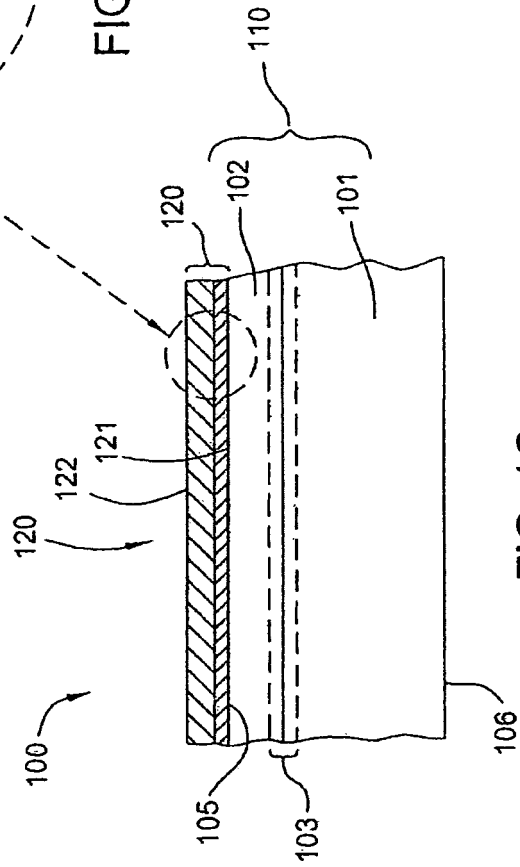
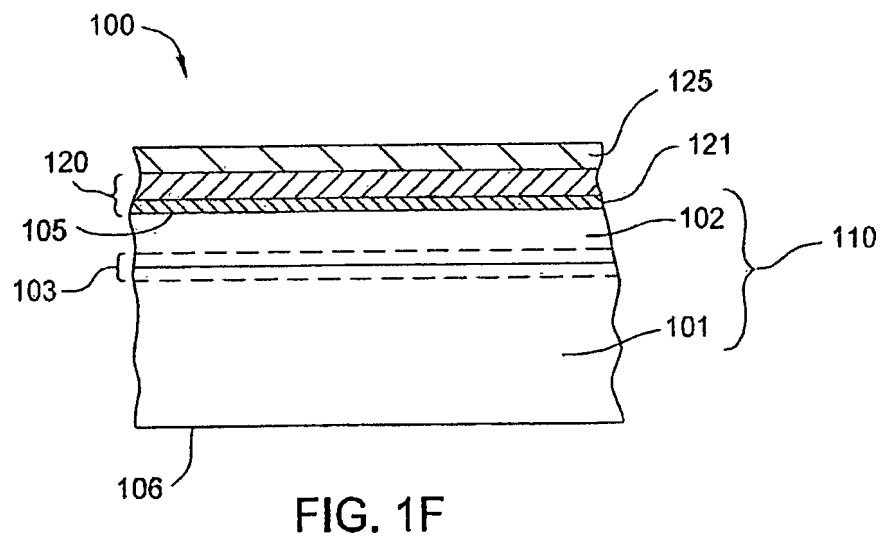
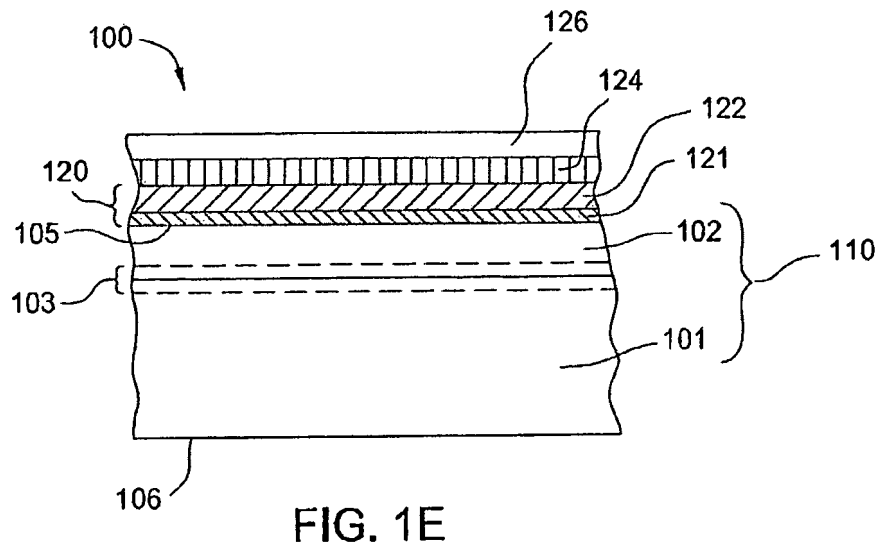


FIG. 1C



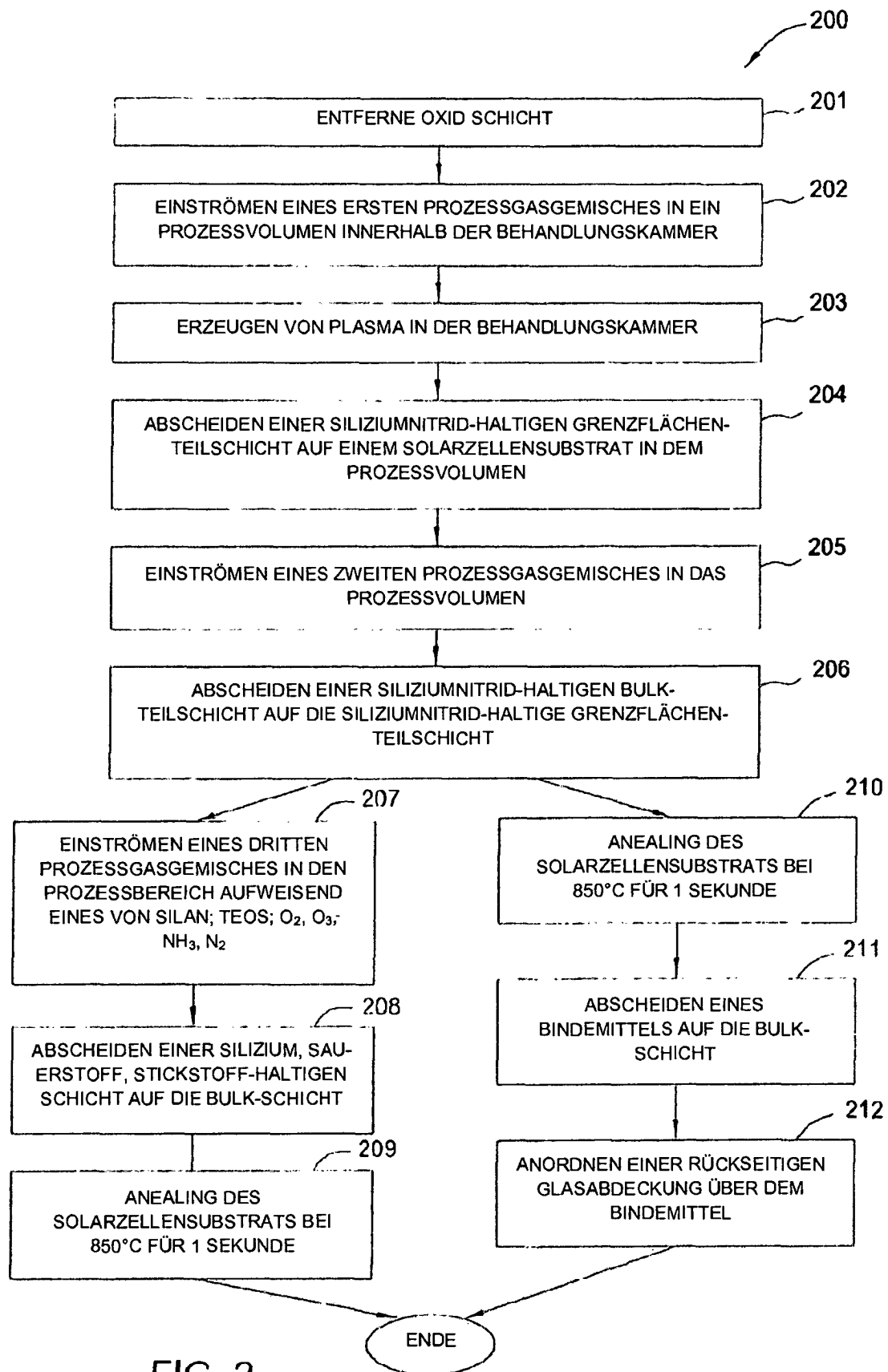


FIG. 2

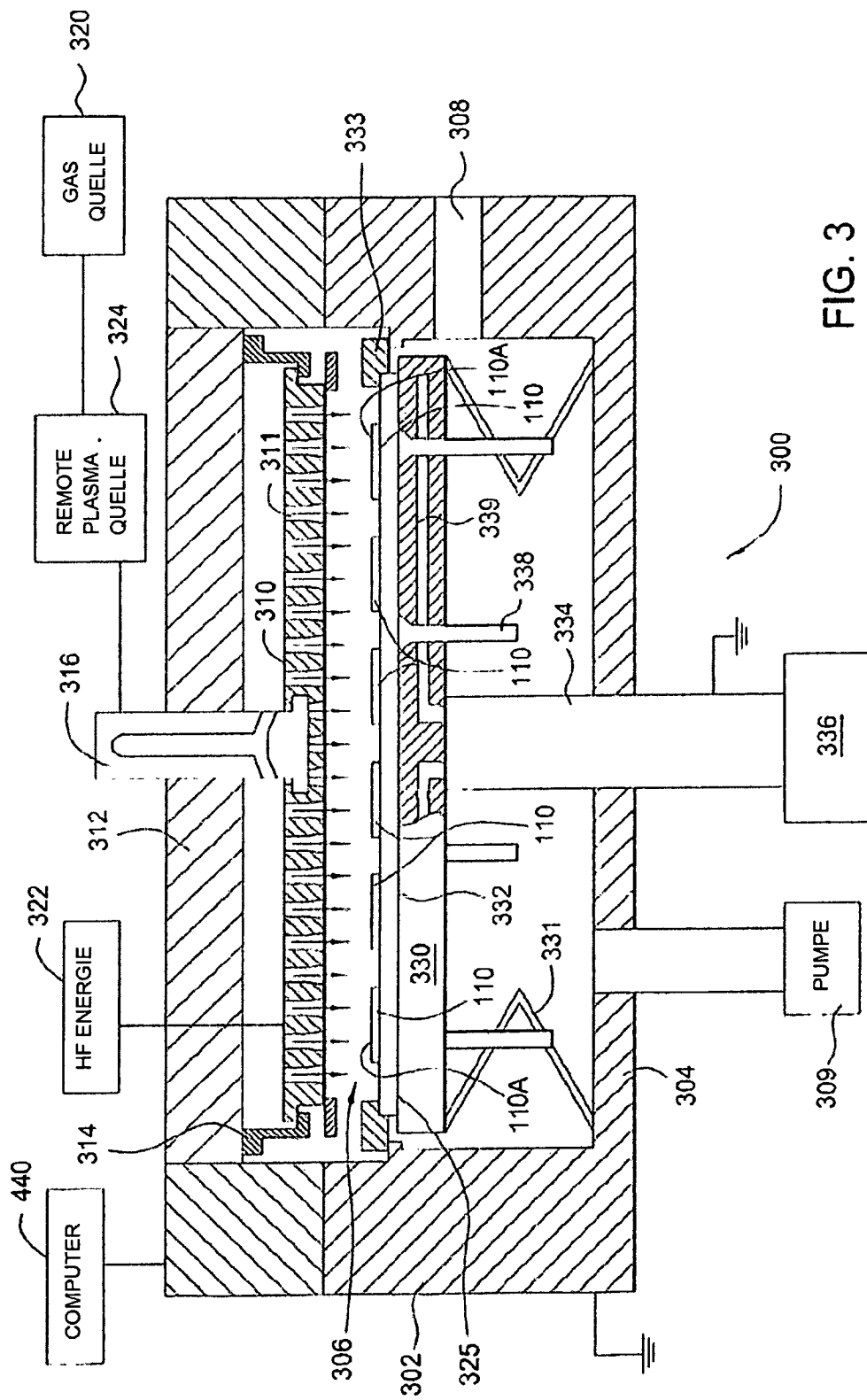


FIG. 3

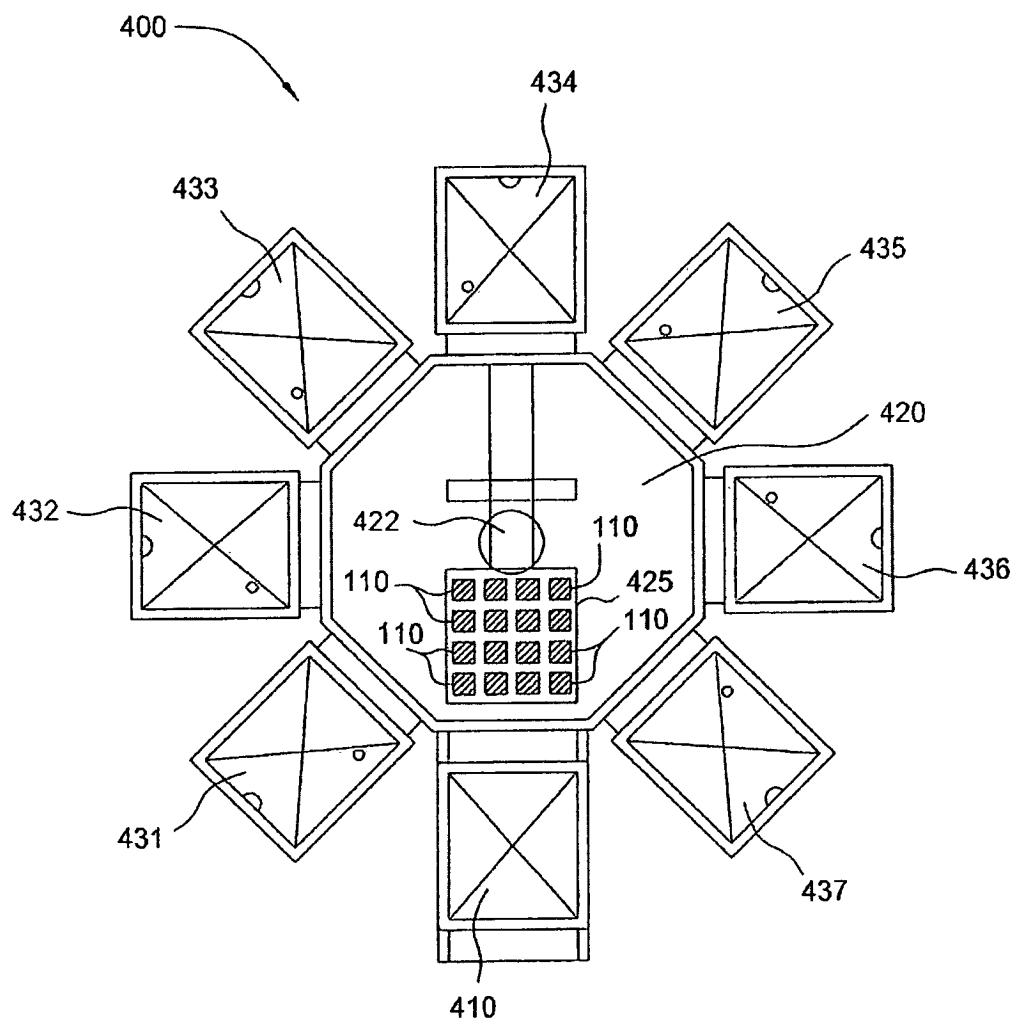


FIG. 4