



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 102 60 614 B4 2008.01.31**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 60 614.5**  
 (22) Anmeldetag: **23.12.2002**  
 (43) Offenlegungstag: **08.07.2004**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **31.01.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H05H 1/46 (2006.01)**  
**H05H 1/00 (2006.01)**  
**H01J 37/32 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Advanced Micro Devices, Inc., Sunnyvale, Calif.,  
 US**

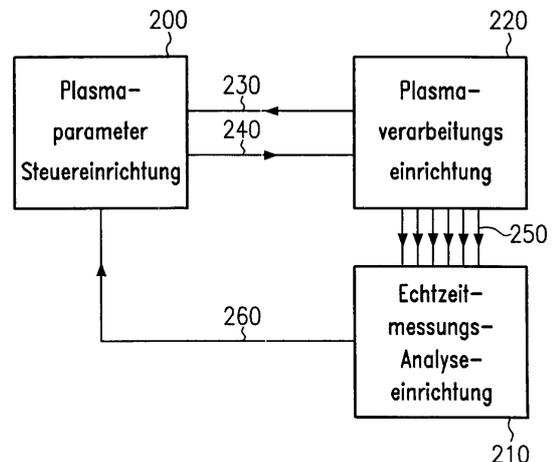
(74) Vertreter:  
**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
 Schwanhäusser, 80538 München**

(72) Erfinder:  
**Grasshoff, Gunter, 01445 Radebeul, DE; Schwan,  
 Christoph, 57580 Gebhardshain, DE; Schaller,  
 Matthias, 01129 Dresden, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 197 56 445 C2**  
**DE 43 24 683 C1**  
**DE 199 41 542 A1**  
**DE 198 21 993 A1**  
**DE 197 21 676 A1**  
**DE 42 42 633 A1**  
**US 44 07 709 A**  
**US 61 98 616 B1**

(54) Bezeichnung: **Plasmaparametersteuerung unter Verwendung von Lerndaten**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zum Steuern von wenigstens einem Plasmaparameter in einem Herstellungsprozess, wobei die Vorrichtung umfasst:  
 eine Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (210) zum Durchführen von Echtzeitmessungen, die auf wenigstens eine physikalische oder chemische Eigenschaft eines Plasmas (120) bezogen sind, und  
 eine Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200), die Prozesslaufdaten während des Herstellungsprozesses empfängt, wobei die Prozesslaufdaten aktuelle Werte des wenigstens einen Plasmaparameters angeben, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) derart ausgebildet ist, dass sie den wenigstens einen Plasmaparameter des Herstellungsprozesses auf der Basis der Prozesslaufdaten steuert,  
 wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) weiterhin mit der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (210) verbunden ist, um Lerndaten zu empfangen, die von der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (210) aus Plasmaparprozessparametern erzeugt wurden, wobei die Lerndaten wenigstens einen erwarteten Bereich für die Prozesslaufdaten angeben, und  
 wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) weiterhin ausgebildet ist, um den wenigstens einen Plasmaparameter des Herstellungsprozesses auf der Basis der Prozesslaufdaten und der Lerndaten zu steuern.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft allgemein die Erzeugung eines Plasmas und insbesondere die Steuerung von Plasmaparametern.

**[0002]** Elektronikhersteller und insbesondere Halbleiterhersteller verwenden die Plasmatechnologie für verschiedene Oberflächenmodifikationen und Ätzanwendungen.

**[0003]** Ein Plasma ist eine Mischung aus elektrisch geladenen und neutralen Partikeln einschließlich von Elektronen, Atomen, Ionen und freien Radikalen, die nur unter bestimmten Umgebungsumständen auftritt. Es reagiert mit vielen verschiedenen Substanzen und kann verwendet werden, um beinahe alle Oberflächen zu reinigen, zu ätzen oder zu beschichten, ohne dass hierfür aufwändige Sicherheitsvorkehrungen zu treffen sind oder ein großer Flüssigkeitsverbrauch entsteht, wie es bei anderen Prozessen der Fall ist.

**[0004]** Bei einem Plasmaätzprozesses ist es wichtig, die Ätztiefe genau zu bestimmen und stabile Prozessbedingungen vorzusehen. Die Überwachung der Ätztiefe kann in ihrer einfachsten Form das Kalibrieren eines Prozesses und dann einfach das zeitliche Steuern des Ätzlaufs umfassen. Bei diesem Verfahren ist jedoch mit Ätzratenvariationen von bis 10% zu rechnen. Eine genauere Ätztiefe kann erhalten werden, in dem für drei Viertel der vorausbestimmten Ätzzeit geätzt wird, wobei dann die Ätztiefe gemessen wird und die zum Fertigstellen der Ätzung erforderliche Zeitdauer vorausbestimmt wird. Dies ist jedoch nachteilig, weil es zeitaufwändig und somit kostspielig ist.

**[0005]** DE 198 21 993 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung, die eine selbsttätige Anpassung der Speisung an den Zustand eines Plasmas ermöglichen, um das Plasma gezielt in seinem Zustand aufrechtzuerhalten oder das Plasma gezielt ändernd zu beeinflussen. Das Plasma einer Plasmaeinheit wirkt im Wesentlichen als ein kapazitives Element, wobei das kapazitive Element in Verbindung mit einer induktiven Energiequelle einen Schwingkreis bildet. Um stabile Bedingungen für das Plasma zu gewährleisten, werden Energiepulse unter Verwendung einer induktiven Leistungskopplung dem Plasma durch Leistungsschalter zugeführt. Ein Rückkopplungspfad ist vorgesehen, der ein Rückkopplungssignal aus dem Schwingkreis auskoppelt. Das Rückkopplungssignal wird von einem Filter empfangen, wobei ein folgender Komparator ein Schwingkreis-geführtes Orientierungssignal bildet. Das Schwingkreis-geführte Orientierungssignal wird einem Verzögerungsglied zugeführt. Das Verzögerungsglied verzögert gegebenenfalls das digitale Orientierungssignal, wobei nach dem Verzögern ein Leistungspuls durch einen Schaltkreis erzeugt wird.

Der Schaltkreis ist ausgebildet, die Pulsbreite des Leistungspulses zu modifizieren. Der Leistungspuls wird dann den Leistungsschaltern übertragen, um dem Plasma der Plasmaeinheit Versorgungspulsenenergie zuzuführen und damit den Resonanzschwingkreis zu weiteren Schwingungen anzuregen.

**[0006]** DE 199 41 542 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Anordnung zum automatischen Abstimmen eines Anpassungsnetzwerkes im Taktbetrieb. Zur optimalen Abstimmung des Anpassungsnetzwerkes werden HF-Signale aufgenommen und die notwendigen Korrekturen bestimmt. Diese Korrekturen werden nicht ausgeführt, sondern gespeichert, wobei das Anpassungsnetzwerk über eine Einschaltzeit unverändert bleibt. Während einer Ausschaltzeit zwischen zwei Prozessen wird die erforderliche Verstellung zur Korrektur des Anpassungsnetzwerkes durchgeführt. Somit werden Änderungen der Prozessparameter und Drifterscheinungen von Zyklus zu Zyklus automatisch kompensiert.

**[0007]** DE 197 21 676 A1 beschreibt eine RF-Messsonde für eine Plasmakammer, wobei die Messsonde Strom und Spannungsabstastwerte einer RF-Energie abgreift, die einer RF-Plasmakammer zugeführt wird.

**[0008]** DE 42 42 633 A1 beschreibt ein Verfahren zur Durchführung von stabilen Niederdruck-Glimmprozessen. Um einen Bogen einer Bogenentladung bereits im Vorfeld der Entstehung zu verhindern und um den Glimmprozess über längere Zeit stabil zu halten, wird der Glimmprozess durch eine Regenerierphase unterbrochen. Der Zeitpunkt für den Beginn und das Ende der Regenerierphase wird durch Messung eines Wertes, der mit einem ermittelten Sollwert des Plasmazustandes verglichen wird, bestimmt. Das Verfahren kann bei der Plasmabehandlung von Oberflächen, Abscheidungen von Schichten auf dem Plasma und der Plasmagestützten Oberflächenreinigung angewendet werden.

**[0009]** DE 43 24 683 C1 beschreibt ein Verfahren zur Anpassung eines Generators bei bipolaren Niederdruck-Glimmprozessen. Es wird eine Wirkzeit für den Glimmprozess während einer positiven und/oder negativen Halbwelle so gesteuert, dass mindestens für die Zeit eines Teiles einer negativen und/oder positiven Halbwelle der Glimmeinrichtung keine Energie zugeführt wird. Das Verfahren findet bei der Plasmabehandlung von Oberflächen, der Abscheidung von Schichten aus dem Plasma und der Plasmagestützten Oberflächenreinigung Anwendung.

**[0010]** US 6,198,616 B1 beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Versorgung eines elektrostatischen Chucks mit einer Spannung in einem Halbleiterscheibenverarbeitungssystem.

**[0011]** US 4,407,709 A beschreibt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ausbildung eines Oxidüberzuges auf einem Träger nach dem reaktiven Zerstäubungsverfahren.

**[0012]** DE 197 56 445 C2 beschreibt ein Verfahren zur Überwachung des Verschleißzustandes einer Plasmabrennerdüse.

**[0013]** Andere übliche Techniken zur Überwachung der Ätztiefe beruhen auf der Tatsache, dass in den meisten Fällen eine Änderung der Spektralzusammensetzung des durch das Plasma emittierten Lichtes gegeben ist, wenn das Plasma während des Ätzprozesses mit einer darunter liegenden Oberfläche in Kontakt kommt. Grundlegend reagiert die optische Plasmaemission auf die Änderung der chemischen Zusammensetzung und/oder der elektrischen Eigenschaften der Entladung aufgrund des Kontaktes mit einer Zwischenschicht.

**[0014]** Stabile Prozessbedingungen sind ausschlaggebend, um stabile Prozessergebnisse zu erhalten. Aktuelle und herkömmliche Plasmaverarbeitungsaufbauten stellen nur die Grenzwerteinhaltungen von direkt gesteuerten Prozessparametern wie beispielsweise der Leistung, der Gasflüssen oder der Drücken fest. Andere Abweichungen von Parametern, die enger auf den Plasmaprozess bezogen sind, werden gewöhnlich nicht während eines Prozesslaufs beobachtet und analysiert.

**[0015]** Wegen der oben genannten Probleme sieht eine zunehmend hohe Anzahl von herkömmlichen Plasmaverarbeitungsaufbauten keine zuverlässige Feststellungsleistung vor und kann keine stabilen Prozessergebnisse garantieren. [Fig. 1](#) zeigt eine herkömmliche Plasmaätzvorrichtung **100**, die im wesentlichen zwei Elektroden **110**, **140** umfasst, die in einem Plasmaerzeugungsreaktor **100** angebracht sind, wobei eine Elektrode **140** mit der Erde verbunden ist und die andere Elektrode **110** mit einem Hochfrequenzerzeuger **170** verbunden ist. Der Hochfrequenzerzeuger **170** kann eine Hochfrequenzleistung erzeugen, um ein elektrisches Feld zwischen den Elektroden **110** und **140** anzulegen. Ein der Plasmaätzung zu unterziehender Wafer **130** wird auf der Elektrode **140** platziert. Die Plasmaätzvorrichtung **100** umfasst weiterhin ein Gaseinlassventil **160** und ein Gasauslassventil **150**, um einen Gasfluss zum Herstellen einer Gaskonzentration und eines Drucks in dem Plasmaerzeugungsreaktor **100** vorzusehen.

**[0016]** Die herkömmliche Plasmaätzvorrichtung **100** von [Fig. 1](#) kann unter Umständen nur die Grenzwerteinhaltung der direkt gesteuerten Prozessparameter feststellen, wobei eine Grenzwerteinhaltung eine Situation ist, in der die Prozessparameter die vordefinierten Werte von Prozessparametern nicht überschreiten.

**[0017]** Aufgrund von Prozessvariationen und langfristigen Verschiebungen der Prozesseigenschaften ist es schwierig, die Parameter anzupassen und stabile Prozessbedingungen vorzusehen. Wenn weiterhin ein Substrat zum Beispiel hinsichtlich der Dicke variiert, werden eine Fehlverarbeitung und ein Ausbeuteverlust zunehmend wahrscheinlich, weil bei der Prozessverarbeitung nicht alle Prozessbedingungen angepasst werden können, um den Prozess stabil zu halten.

**[0018]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Plasmasteuervorrichtung, eine Plasmaätzvorrichtung und ein Verfahren zum Steuern von Plasmametern anzugeben, um die Stabilität von Plasmaprozessbedingungen zu verbessern.

**[0019]** Diese Aufgabe ist durch die Gegenstände der unabhängigen Patentansprüche gelöst.

**[0020]** Bevorzugte Ausführungsformen sind in den abhängigen Patentansprüchen definiert.

**[0021]** In einer Ausführungsform ist eine Plasmasteuervorrichtung zum Steuern von wenigstens einem Plasmametern in einem Herstellungsprozess vorgesehen. Die Vorrichtung umfasst eine Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung zum Durchführen von Echtzeitmessungen, die auf wenigstens eine physikalische oder chemische Eigenschaft eines Plasmas bezogen sind. Die Vorrichtung umfasst weiterhin eine Plasmametern-Steuerinrichtung, die verbunden ist, um Prozesslaufdaten während des Herstellungsprozesses zu empfangen. Die Prozesslaufdaten geben aktuelle Werte des wenigstens einen Plasmametern an. Die Plasmametern-Steuerinrichtung ist weiterhin mit der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung verbunden, um Lerndaten zu empfangen. Die Lerndaten geben wenigstens einen erwarteten Bereich für die Prozesslaufdaten an. Die Plasmametern-Steuerinrichtung kann den wenigstens einen Plasmametern des Herstellungsprozesses auf der Basis der Prozessparameterlaufdaten und der Lerndaten steuern.

**[0022]** In einer weiteren Ausführungsform ist ein Plasmaätzsystem zum Herstellen einer Halbleiterstruktur vorgesehen. Das Plasmaätzsystem umfasst eine Ätzplasma-Verarbeitungseinrichtung, die zum Erzeugen eines Ätzplasmas ausgebildet ist. Das Plasmaätzsystem umfasst weiterhin eine Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung zum Durchführen von Echtzeitmessungen, die auf wenigstens eine physikalische oder chemische Eigenschaft eines Ätzplasmas bezogen sind, sowie eine Ätzplasmametern-Steuerinrichtung, die verbunden ist, um während des Herstellungsprozesses Ätzprozesslaufdaten zu empfangen. Die Ätzprozesslaufdaten gehen aktuelle Werte des wenigstens einen Ätzplasmametern an. Die Ätzplasmametern-Steuerinrichtung ist

weiterhin mit der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung verbunden, um Lerndaten zu empfangen. Die Lerndaten geben wenigstens einen erwarteten Bereich für die Ätzprozesslaufdaten an. Die Ätzplasma-parameter-Steuereinrichtung ist dafür ausgebildet, den wenigstens einen Ätzplasma-parameter des Herstellungsprozesses auf der Basis der Ätzprozessparameterlaufdaten und der Lerndaten zu steuern.

**[0023]** In einer anderen Ausführungsform ist ein Verfahren zum Steuern von Plasmamparametern in einem Herstellungsprozess vorgesehen. Das Verfahren umfasst das Durchführen von Echtzeitmessungen, die auf wenigstens eine physikalische oder chemische Eigenschaft eines Plasmas bezogen sind, um Lerndaten zu erzeugen, die wenigstens einen erwarteten Bereich für die Prozesslaufdaten angeben. Das Verfahren umfasst weiterhin das Empfangen von Prozessdaten während des Herstellungsprozesses. Die Prozesslaufdaten geben aktuelle Werte des wenigstens einen Plasmamparametrs an. Das Verfahren umfasst weiterhin das Steuern des wenigstens einen Plasmamparameters des Herstellungsprozesses auf der Basis der empfangenen Prozesslaufdaten und der Lerndaten.

**[0024]** Die beigefügten Zeichnungen sind Bestandteil der Beschreibung und dienen dazu, das Prinzip der Erfindung zu erläutern. Die Zeichnungen beschränken die Erfindung nicht auf die dargestellten und beschriebenen Beispiele für die Umsetzung der Erfindung. Weitere Merkmale und Vorteile werden durch die folgende und ausführlichere Beschreibung der Erfindung mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen verdeutlicht.

**[0025]** [Fig. 1](#) zeigt eine herkömmliche Plasmaätzvorrichtung;

**[0026]** [Fig. 2](#) ist ein Blockdiagramm einer Plasmasteuervorrichtung zum Steuern von Plasmamparametern gemäß einer Ausführungsform;

**[0027]** [Fig. 3](#) ist ein Flussdiagramm, das einen Plasmamparameter-Steuerprozess gemäß einer anderen Ausführungsform zeigt, und

**[0028]** [Fig. 4](#) ist ein Blockdiagramm, das eine Plasmasteuervorrichtung zum Steuern von Plasmamparametern gemäß einer weiteren Ausführungsform zeigt.

**[0029]** Im Folgenden werden beispielhafte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung mit Bezug auf die Zeichnungen beschrieben, wobei entsprechende Elemente und Strukturen durch gleiche Bezugszeichen angegeben werden.

**[0030]** [Fig. 2](#) ist ein Blockdiagramm einer Plasmasteuervorrichtung gemäß einer Ausführungsform. Die Plasmasteuervorrichtung umfasst eine Plasmapara-

meter-Steuereinrichtung **200** und eine Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210**. Die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** ist mit einer Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** verbunden und kann Echtzeitmessungen durchführen, die auf physikalische und/oder chemische Eigenschaften eines Plasmas bezogen sind, das in der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** erzeugt wird. Die Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** der vorliegenden Ausführungsform kann im wesentlichen wie in [Fig. 1](#) gezeigt angeordnet sein.

**[0031]** Die physikalischen oder chemischen Eigenschaften des Plasmas **120** können z.B. ein optisches Emissionsspektrum, ein Gasflussparameter oder eine Zusammensetzung und ein elektrischer Parameter wie beispielsweise eine Vorspannung sein. Die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** kann weiterhin Lerndaten erzeugen. Die Lerndaten umfassen Lerndatenelemente, die erwartete Bereiche der oben genannten physikalischen und/oder chemischen Plasmaeigenschaften angeben, wobei die auf die physikalischen oder chemischen Eigenschaften des Plasmas bezogenen Messwerte als Plasmamparameter betrachtet werden können.

**[0032]** Die Plasmamparameter-Steuereinrichtung **200** ist mit der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** verbunden, um Prozesslaufdaten während eines Herstellungsprozesses zu empfangen und eine Steuerungsreaktion zu der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** zu übertragen, wobei die Prozesslaufdaten aktuelle Werte von Plasmamparametern der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** angeben. Die Plasmamparameter-Steuereinrichtung **200** ist weiterhin verbunden, um Lerndaten aus der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** über eine Verbindung **260** zu empfangen, wobei die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** angeordnet ist, um einen statistischen Algorithmus zur Erzeugung der Lerndaten anzuwenden. Die Plasmamparameter-Steuereinrichtung **200** kann die Prozesslaufdaten mit den Lerndaten vergleichen und Plasmamparameter-Steuersignale auf der Basis des Vergleichsergebnisses erzeugen. Wenn das Vergleichsergebnis angibt, dass die Prozesslaufdaten nicht in den entsprechenden erwarteten Bereich fallen, überträgt die Plasmamparameter-Steuereinrichtung Steuerungsreaktionssignale an die Plasmaverarbeitungseinrichtung **220**, um vor langfristigen Verschiebungen der Prozesseigenschaften oder einer Fehlfunktion der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** zu warnen.

**[0033]** Gemäß einer anderen Ausführungsform umfasst die Plasmamparameter-Steuereinrichtung **200** ein Datenverarbeitungssystem, das die Prozesslaufdaten und Lerndaten verarbeiten kann, um die Steuerungsreaktionssignale zum Steuern der Plasmamparameter zu erzeugen. Das Datenverarbeitungssystem kann weiterhin die Lerndaten speichern

und aktualisieren, wobei die Lerndaten statistische Daten sind, die Werte eines erwarteten Plasmaprozessparameters umfassen, die über eine vorbestimmte Zeitperiode des Herstellungsprozesses gesammelt wurden.

**[0034]** Aus dem Vorstehenden wird deutlich, dass die vorliegende Erfindung ein Datenverarbeitungssystem umfasst, wobei das Datenverarbeitungssystem ein neuronales Netzwerk gemäß einer weiteren Ausführungsform umfasst.

**[0035]** In einer weiteren Ausführungsform kann die Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** weiterhin einen Plasmaparameter-Korrekturprozess einleiten, wenn die Prozesslaufdaten nicht in einen entsprechenden erwarteten Bereich fallen. Wenn die Prozesslaufdaten nicht in den entsprechenden erwarteten Bereich fallen, sendet die Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** eine Warnmeldung, die eine langfristige Verschiebung der Prozesseigenschaften oder eine Fehlfunktion der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** angibt. In einer weiteren Ausführungsform leitet der Plasmaparameter-Korrekturprozess eine Stopp-prozedur ein, um den Betrieb der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** zu beenden.

**[0036]** In den vorstehenden Erläuterungen umfasst die Plasmasteuervorrichtung die Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** und die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210**, wobei eine Plasmaätzvorrichtung gemäß einer Ausführungsform jedoch weiterhin die Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** umfassen kann. Wie in [Fig. 2](#) gezeigt weist die Plasmaätzvorrichtung mehrere Verbindungen auf, wobei die Verbindung **230** vorgesehen ist, um Prozesslaufdaten zu der Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** zu senden, und wobei die Verbindung **240** vorgesehen ist, um eine durch die Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** erzeugte Steuereinrichtungsreaktion zu der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** zu geben.

**[0037]** Weiterhin sieht die Plasmaätzvorrichtung **200**, **210**, **220** eine Verbindung **250** vor, die die Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** mit der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** verbindet. Wie weiter oben genannt, führt die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** Echtzeitmessungen durch, die auf die physikalischen und/oder chemischen Eigenschaften des in der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** erzeugten Plasmas **120** bezogen sind. Die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** kann angeordnet werden, um einen statistischen Algorithmus zum Erzeugen von Lerndaten auf die statistischen Daten anzuwenden, die zu der Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** gesendet werden, wofür die Verbindung **260** zwischen der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** und der Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** verwendet wird.

**[0038]** Die Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** der Plasmaätzvorrichtung kann einen Plasmaparameter-Korrekturprozess einleiten, der das Senden einer Steuereinrichtungsreaktion zu der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** für jeden Prozessschritt in einer vordefinierten Zeitauflösung umfasst.

**[0039]** Dementsprechend kann die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** angeordnet werden, um die Lerndaten während einer spezifischen Lernperiode zu erzeugen, bevor der Erzeugungsprozess startet. In einer anderen Ausführungsform werden die Lerndaten kontinuierlich durch die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** während des Herstellungsprozesses erzeugt.

**[0040]** Das Flussdiagramm von [Fig. 3](#) zeigt einen Plasmaparameter-Steuerprozess gemäß einer beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Wie hier beschrieben, umfasst der beispielhafte Plasmaparameter-Steuerprozess in Schritt **300** das Durchführen der Messungen, die auf die physikalischen oder chemischen Eigenschaften des in der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** erzeugten Plasmas bezogen sind. Die aus dem oben beschriebenen Prozessschritt **300** resultierenden Messwerte können von dem zu verarbeitenden Substrat, dem verwendeten Prozess und dem Messzeitpunkt während des Prozesslaufs abhängen. Der Schritt **310** des Plasmaparameter-Steuerprozesses umfasst das Erzeugen der Lerndaten-während einer Lernperiode gemäß der vorliegenden Ausführungsform. Wie weiter oben genannt ist gemäß einer anderen Ausführungsform die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** angeordnet, um die Lerndaten gleichzeitig zu dem Herstellungsprozess zu erzeugen.

**[0041]** Wie weiterhin in [Fig. 3](#) gezeigt umfasst der Schritt **320** des Plasmaparameter-Steuerprozesses das Empfangen der Echtzeitprozesslaufdaten, wobei die Echtzeitprozesslaufdaten aktuelle Werte des Plasmaparameters angeben, die von dem zu verarbeiteten Substrat, dem verwendeten Prozess, dem aktuellen Zustand der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** und dem Zeitpunkt im Prozesslauf abhängen können.

**[0042]** Wie oben beschrieben kann die Plasmaparameter-Steuereinrichtung **200** einen oder mehrere Plasmaparameter des Herstellungsprozesses auf der Basis der Prozessparameterlaufdaten und der Lerndaten steuern. In Entsprechung hierzu umfasst der Schritt **330** des Plasmaparameter-Steuerprozesses einen Schritt zum Steuern des Plasmaparameters auf der Basis der empfangenen Prozesslaufdaten und der erzeugten Lerndaten.

**[0043]** In einer weiteren Ausführungsform umfasst der Schritt **330** zum Steuern des Plasmaparameters weiterhin das Einleiten eines Plasmaparameter-Kor-

rekturprozesses, der eine Stopprozedur zum Beenden des Betriebs der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** umfasst, wenn die Prozesslaufdaten nicht in einen entsprechenden erwarteten Bereich der statistischen Daten fallen.

**[0044]** Gemäß einer weiteren beispielhaften Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann [Fig. 3](#) zwei Phasen umfassen. Die zwei Phasen können eine Lernphase und eine Ausführungsphase sein, wobei die Lernphase die gegebenen Schritte **300** und **310** umfassen kann und wobei die Ausführungsphase die gegebenen Schritte **320** und **330** wie in [Fig. 3](#) gezeigt umfassen kann.

**[0045]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann der Plasmaparameter-Steuerprozess eine Lernphase umfassen, wobei ein Schritt zum Erfassen des Plasmaparameters in Übereinstimmung mit einer repräsentativen Prozesssequenz durchgeführt werden kann, um ein Prozessmodell zum Modellieren eines Plasmaprozesses auf der Basis von Lerndaten zu erzeugen.

**[0046]** Der Plasmaparameter-Steuerprozess kann weiterhin eine Ausführungsphase umfassen, wobei die Messdaten in einem Echtzeitprozess ausgewertet werden können, wobei die Position der Messdaten in Bezug auf einen zulässigen Messdatenbereich betrachtet werden, um einen Korrekturprozess einzuleiten. Der Korrekturprozess kann eine Korrektur von Werten einleiten, die einen Einfluss auf die Leistung des Herstellungsprozesses aufweisen können, falls eine Prozesseigenschaft verschoben wird und/oder falls der Herstellungsprozess gestoppt wird, wobei in beiden Fällen das oben genannte Prozessmodell angepasst werden kann.

**[0047]** [Fig. 4](#) ist ein Blockdiagramm eines Plasmasystems gemäß einer anderen Ausführungsform. Das System von [Fig. 4](#) kann sich von der Plasmasteuervorrichtung von [Fig. 2](#) darin unterscheiden, dass keine Verbindung **230** vorgesehen ist, um Prozesslaufdaten zu der Plasmaparameter-Steueranlage **200** zu senden. Statt dessen erlaubt die Verbindung **400** der Plasmasteuervorrichtung von [Fig. 4](#) das Senden der gemessenen Echtzeitprozesslaufdaten von der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** zu der Plasmaparameter-Steueranlage **210** während des Prozesslaufs, wobei zusätzlich Lerndaten während der Lernmethode gesendet werden.

**[0048]** Aus der vorstehenden Beschreibung wird deutlich, dass alle beschriebenen Ausführungsformen in vorteilhafter Weise stabile Plasmaprozessbedingungen zur Erreichung von stabilen Plasmaprozessergebnissen vorsehen können.

**[0049]** Weiterhin sieht die oben beschriebene Technik den Vorteil vor, dass die Materialgefährdung redu-

ziert werden kann und dass die Herstellungskosten für entsprechende Einrichtungen reduziert werden können. Der Grund hierfür ist, dass die Anordnungen die Zuverlässigkeit, die Präzision und die Genauigkeit von Plasmaparametern in dem Herstellungsprozess verbessern.

**[0050]** Weiterhin ist eine Funktion vorgesehen, die kürzere Reaktionszeiten im Fall einer Fehlfunktion der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** aufweist. Der Grund hierfür ist, dass die Anordnungen eine bessere Prozesssteuerung vorsehen und damit eine Verbesserung der Materialqualität erreichen, die durch die Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** verarbeitet wird.

**[0051]** Während gewöhnlich ein Prozessergebnis nach der Durchführung eines vollständigen Prozesslaufs, in dem alle Produkte vollständig verarbeitet werden, bewertet wird, sehen die oben beschriebenen Ausführungsformen in vorteilhafter Weise die Möglichkeit vor, eine Fehlfunktion während eines Prozesslaufs festzustellen. Dies ermöglicht eine niedrigere Verlustrate und führt zu dem weiteren Vorteil, dass Korrekturwerte angewendet werden können, die einen Einfluss auf den Prozesslauf haben. Weiterhin kann der Prozess früh genug gestoppt werden, um eine umfangreiche Fehlproduktion zu verhindern.

**[0052]** Das Prinzip der beschriebenen Ausführungsformen kann auf der Verwendung von Messungen mit einer direkteren Beziehung zu der physikalischen und/oder chemischen Eigenschaft des Plasmas **120** in der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** basieren (d.h. auf Messungen des optischen Emissionsspektrums oder der elektrischen Parameter wie etwa der Vorspannung sowie auf Messungen durch ein Plasmadiagnosesystem wie etwa der Self Excited Electron Resonance Spectroscopy (SEERS)). Der Herstellungsprozess kann anhand des Ergebnisses, d.h. anhand der Prozesslaufdaten, für jeden Verarbeitungsschritt mit einer vordefinierten Zeitauflösung analysiert werden. Die erzeugten Lerndaten können in den Datenverarbeitungsprozess eingegeben werden, der den Ansatz eines neuronalen Netzes oder eines entsprechenden Datenanalysesystems verwendet, um eine statistisch belegte „normale“ Reaktion auf einen bestimmten Plasmaparameter in Beziehung zu dem zu verarbeiteten Substrat, dem verwendeten Prozess und dem Zeitpunkt im Prozesslauf zu erhalten.

**[0053]** Nachdem das System eine Lernperiode durchgeführt hat, kann das System in vorteilhafter Weise entscheiden, ob sich ein aktueller Plasmaparameter innerhalb des statistisch erwarteten Bereichs, der durch die Lerndaten für diesen Zeitpunkt innerhalb des Prozesslaufs angegeben wird, befindet oder nicht. Auf der Basis der Analyse kann das Sys-

tem Informationen zu der Plasmaverarbeitungseinrichtung **220** senden, wenn die Prozesslaufdaten nicht den Erwartungen entsprechen, um die Verarbeitung in Folge einer Fehlfunktion der Einrichtungen oder einer gegebenen Materialveränderung zu stoppen. Die vorstehend genannten Systeme können also in vorteilhafter Weise als Echtzeit-Fehlererkennungssystem für die Plasmaverarbeitungseinrichtung verwendet werden. Weiterhin können die Systeme auch dazu beitragen, dass die Prozessvariationen vermindert werden, wobei im Fall von langfristigen Verschiebungen von Prozesseigenschaften eine Warnung ausgegeben werden kann.

**[0054]** Die oben beschriebenen Ausführungsformen können im wesentlichen für die Durchführung von Prozess- und Einrichtungsprüfungen verwendet werden, wobei die Prozess- und Einrichtungsprüfungen Ergebnismessungen nach der Verarbeitung (z.B. Messungen der Ätztiefe oder der kritischen Dimensionen) an entsprechenden Produkten sowie Prüfungen auf Einhaltung von Grenzwerten für Einrichtungsverarbeitungsparameter während der Verarbeitung (zumeist allgemein für einen Prozess, der über Abweichungen von den Einstellungen definiert ist) umfassen. Es können auch andere Prüfungen wie beispielsweise eine Prüfung der Ätzrate oder Prüfungen von Profilen verwendet werden. Weiterhin können die oben beschriebenen Ausführungsformen im wesentlichen zur Steuerung eines Ätzprozesses sowie zum Prüfen der Prozessintegrität während des Laufs verwendet werden, um das Risiko eines Ausbeuteverlusts aufgrund von mechanischen Verschiebungen und Mängelfunktionen zu reduzieren.

**[0055]** Wie oben beschrieben kann ein Plasmaätzsystem vorgesehen werden, dass eine Plasmaparameter-basierte Verarbeitungseinrichtung, ein Echtzeitmesssystem und eine Analyseeinrichtung und/oder ein Auswertungssystem umfasst, wobei das Echtzeitmesssystem verwendet werden kann, um Plasmaeigenschaftswerte zu bestimmen.

**[0056]** Gemäß einer weiteren Ausführungsform kann die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung **210** Ätzplasmadaten erfassen, die während einer Lernperiode statistisch durch die Ätzplasmaparameter-Steuer-einrichtung **200** ausgewertet werden können. Durch die statistische Auswertung können Daten gewonnen werden, die Datenelemente wie zum Beispiel einen erwarteten Plasmaparameterwert und einen niedrigeren und/oder höheren Schwellwert für jeden entsprechenden Parameter umfassen können. Der Schwellwertbereich kann bei einem Durchschnittswert zentriert sein und kann eine Breite aufweisen, die der dreifachen Standardabweichung entspricht. Die statistische Bewertung kann die Verwendung eines neuronalen Netzwerks umfassen, wobei eine (korrekte und fehlerhafte) Beispielverarbeitung verwendet wird. Aufgrund einer gegebenen systema-

tischen Abhängigkeit (z.B. verschiedene Produkte, unterschiedliche Prozesseinrichtungsbedingungen oder ähnliches) der Parameter und aufgrund einer allgemeinen Parameterabhängigkeit einer zu verarbeitenden Eigenschaft müssen die Daten unter Umständen in Übereinstimmung mit diesen Abhängigkeiten kategorisiert werden, um separat gehandhabt zu werden. Deshalb müssen nicht nur die aktuellen Messdaten, sondern auch die Beziehung der aktuellen Messdaten zu dem Produkt und dem Prozess sowie die zeitliche Struktur (z.B. die Zeit in einem Prozessschritt in unterschiedlichen Verarbeitungsstufen) ausgewertet und erfasst werden. Nach der Lernperiode können die aktuell erfassten Messdaten in einem Echtzeitvergleichsprozess mit den statistisch ausgewerteten Lerndaten verglichen werden. Wenn die aktuellen Messdaten aus dem Bereich der oben genannten Schwellwerte austreten, wird eine vorbestimmte Aktion des Systems eingeleitet.

**[0057]** Gemäß einer Ausführungsform kann der Begriff "Plasmaparameter" sowohl für Werte, die direkt oder indirekt aus die Plasmaeigenschaften bezogen sind, als auch für Prozessparameter stehen, die Werte angeben, mit denen der Prozesslauf gesteuert werden kann.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Steuern von wenigstens einem Plasmaparameter in einem Herstellungsprozess, wobei die Vorrichtung umfasst:  
eine Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (**210**) zum Durchführen von Echtzeitmessungen, die auf wenigstens eine physikalische oder chemische Eigenschaft eines Plasmas (**120**) bezogen sind, und eine Plasmaparameter-Steuer-einrichtung (**200**), die Prozesslaufdaten während des Herstellungsprozesses empfängt, wobei die Prozesslaufdaten aktuelle Werte des wenigstens einen Plasmaparameters angeben, wobei die Plasmaparameter-Steuer-einrichtung (**200**) derart ausgebildet ist, dass sie den wenigstens einen Plasmaparameter des Herstellungsprozesses auf der Basis der Prozesslaufdaten steuert, wobei die Plasmaparameter-Steuer-einrichtung (**200**) weiterhin mit der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (**210**) verbunden ist, um Lerndaten zu empfangen, die von der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (**210**) aus Plasmaprozessparametern erzeugt wurden, wobei die Lerndaten wenigstens einen erwarteten Bereich für die Prozesslaufdaten angeben, und wobei die Plasmaparameter-Steuer-einrichtung (**200**) weiterhin ausgebildet ist, um den wenigstens einen Plasmaparameter des Herstellungsprozesses auf der Basis der Prozesslaufdaten und der Lerndaten zu steuern.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Plas-

maparameter-Steuereinrichtung (200) ein Datenverarbeitungssystem zum Verarbeiten der Prozesslaufdaten und der Lerndaten umfasst, um den wenigstens einen Plasmaparameter zu steuern.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei das Datenverarbeitungssystem ein neuronales Netzwerk umfasst.

4. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei das Datenverarbeitungssystem weiterhin ausgebildet ist, um die Lerndaten zu speichern und zu aktualisieren.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) weiterhin ausgebildet ist, um einen Plasmaparameter-Korrekturprozess einzuleiten, wenn die Prozesslaufdaten nicht in einen entsprechenden Bereich fallen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) mit einer Plasmaverarbeitungseinrichtung (220) verbunden ist, in der das Plasma erzeugt wird, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung weiterhin ausgebildet ist, um ein Reaktionssignal mit einer vorbestimmten Zeitauflösung zu der Plasmaverarbeitungseinrichtung zu senden.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) weiterhin mit einer Plasmaverarbeitungseinrichtung (220) verbunden ist, in der das Plasma erzeugt wird, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung weiterhin ausgebildet ist, um eine Stoppprozedur zum Stoppen des Betriebs der Plasmaverarbeitungseinrichtung einzuleiten.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) Mittel umfasst, die im Fall von langfristigen Verschiebungen von Prozesseigenschaften eine Warnmeldung zu einer Plasmaverarbeitungseinrichtung (220), in der das Plasma erzeugt wird, sendet.

9. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (210), derart eingerichtet ist, dass sie die Lerndaten während einer spezifischen Lernperiode vor dem Herstellungsprozess erzeugt.

10. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) derart eingerichtet ist, dass sie einen Vergleich der Prozesslaufdaten mit den Lerndaten durchführt, wobei die Plasmaparameter-Steuersignale auf der Basis des Vergleichsergebnisses erzeugt werden und wobei der Vergleich in Echtzeit durchgeführt wird.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung

(210) derart eingerichtet ist, dass sie die Lerndaten durch Anwenden eines statistischen Algorithmus erzeugt.

12. Plasmasystem zum Herstellen einer Halbleiterstruktur, wobei das Plasmasystem umfasst: eine Plasmaverarbeitungseinrichtung (220), die zum Erzeugen eines Plasmas (120) ausgebildet ist, eine Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (210) zum Durchführen von Echtzeitmessungen in Bezug auf wenigstens eine physikalische oder chemische Eigenschaft eines Plasmas, und eine Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200), die Prozesslaufdaten während des Herstellungsprozesses empfängt, wobei die Prozesslaufdaten aktuelle Werte des wenigstens einen Plasmaparameters angeben, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) weiterhin mit der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (210) verbunden ist, um Lerndaten zu empfangen, die von der Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung (210) aus Plasmaprozessparametern erzeugt wurden, wobei die Lerndaten wenigstens einen erwarteten Bereich für die Prozesslaufdaten angeben, wobei die Plasmaparameter-Steuereinrichtung (200) derart ausgebildet ist, dass sie den wenigstens einen Plasmaparameter des Herstellungsprozesses auf der Basis der Prozessparameterlaufdaten und der Lerndaten steuert.

13. Verfahren zum Steuern von Plasmaparametern in einem Herstellungsprozess, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: Durchführen (300) von Echtzeitmessungen in Bezug auf wenigstens eine physikalische oder chemische Eigenschaft eines Plasmas (120) zum Erzeugen (310) von Lerndaten, die wenigstens einen erwarteten Bereich für Prozesslaufdaten angeben, Empfangen (320) von Prozesslaufdaten während des Herstellungsprozesses, wobei die Prozesslaufdaten aktuelle Werte von wenigstens einem Plasmaparameter angeben, und Steuern (330) des wenigstens einen Plasmaparameters des Herstellungsprozesses auf der Basis der empfangenen Prozesslaufdaten und der Lerndaten.

14. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der Schritt zum Steuern das Senden einer Warnmeldung zu einer Plasmaverarbeitungseinrichtung, die das Plasma erzeugen kann, im Fall von langfristigen Verschiebungen von Prozesseigenschaften umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 13, wobei der Schritt zum Steuern das Einleiten eines Plasmaparameter-Korrekturprozesses umfasst, wenn die Prozesslaufdaten nicht in einen entsprechenden erwarteten Bereich fallen.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei der Plasmaparameter-Korrekturprozess eine Stoppprozedur

umfasst, um den Betrieb einer Plasmaverarbeitungseinrichtung, die das Plasma erzeugen kann, zu stoppen.

17. Verfahren nach Anspruch 13, das weiterhin folgenden Schritt umfasst:

Aktualisieren und Speichern der Lerndaten durch ein Datenverarbeitungssystem, das die Prozesslaufdaten und die Lerndaten verarbeitet, wobei Signale zum Steuern des wenigstens einen Plasmaparameters erzeugt werden.

18. Verfahren nach Anspruch 13, wobei die Prozesslaufdaten und die Lerndaten in einem neuronalen Datenverarbeitungssystem verarbeitet werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 13 bis 18, wobei das Erzeugen der Lerndaten das Anwenden eines statistischen Algorithmus durch eine Echtzeitmessungs-Analyseeinrichtung umfasst.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

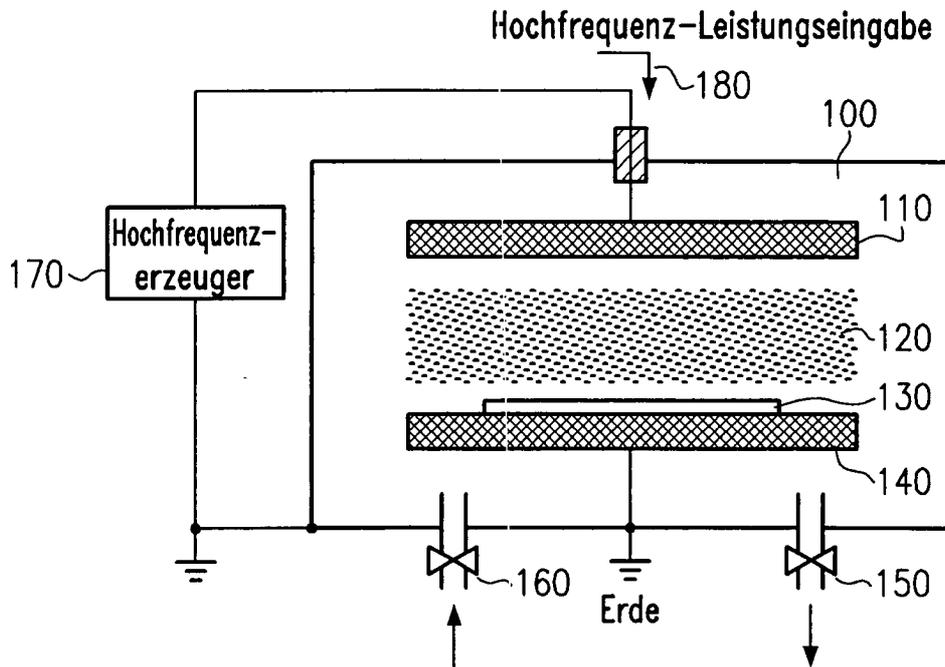


Fig. 1  
(Stand der Technik)

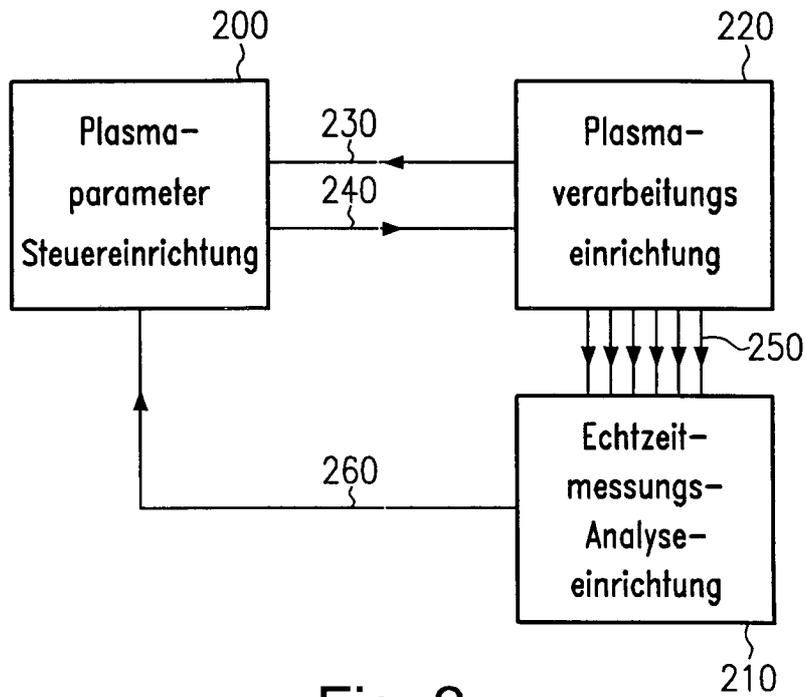


Fig. 2

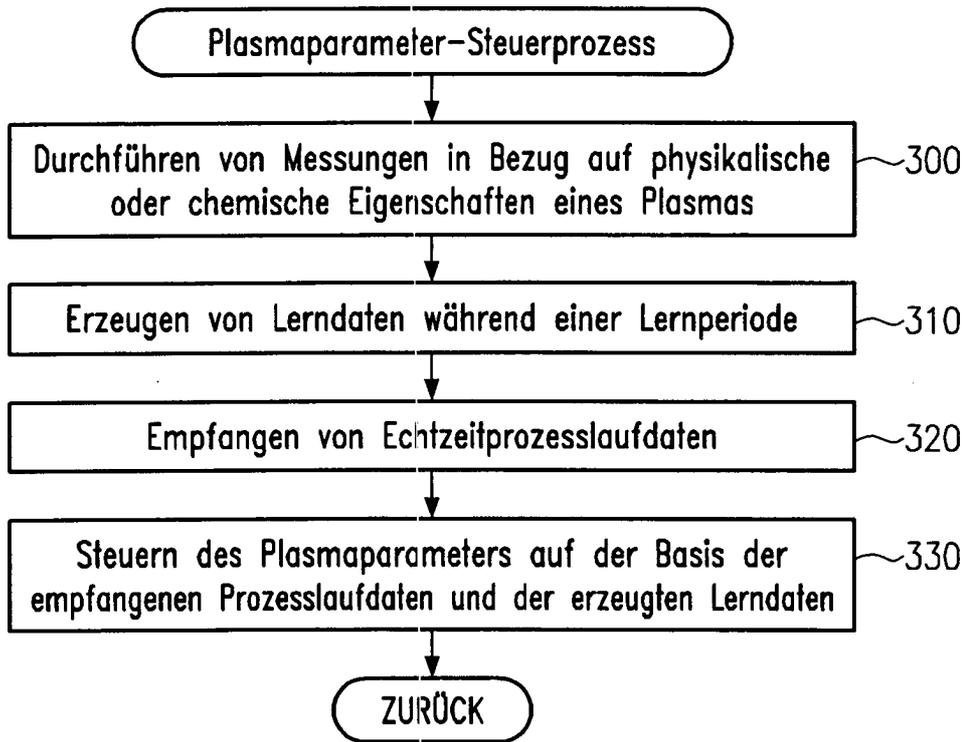


Fig. 3

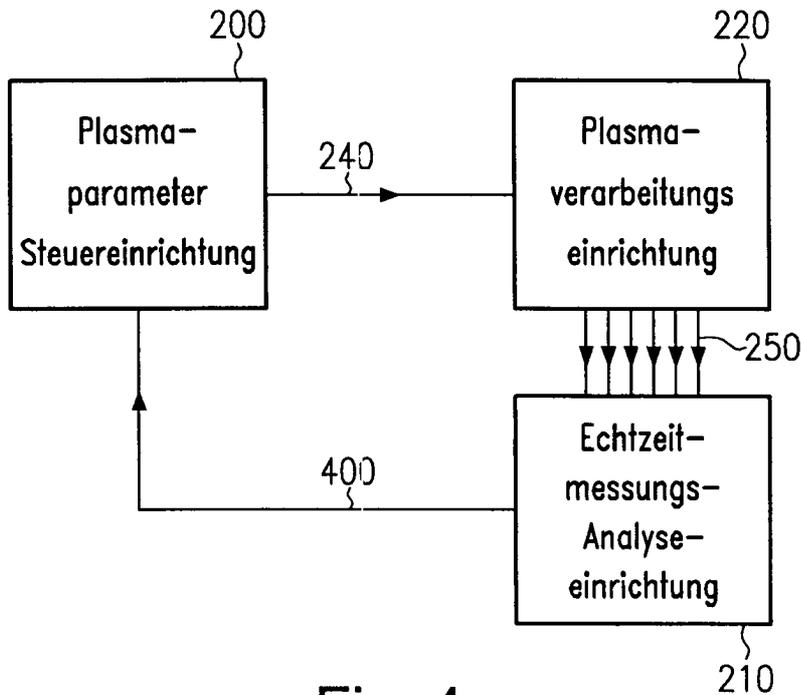


Fig. 4