



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 12 762 T2 2005.08.11**

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 218 806 B1

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **G05B 19/418**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 12 762.1**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/11522**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 928 556.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/025865**

(86) PCT-Anmeldetag: **28.04.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **12.04.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.07.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **04.08.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **11.08.2005**

(30) Unionspriorität:

**412679 05.10.1999 US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, GB**

(73) Patentinhaber:

**Advanced Micro Devices, Inc., Sunnyvale, Calif.,  
US**

(72) Erfinder:

**TOPRAC, J., Anthony, Austin, US; CAMPBELL, J.,  
William, Austin, US**

(74) Vertreter:

**Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &  
Schwanhäusser, 80538 München**

(54) Bezeichnung: **EINRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR QUALITÄTSÜBERWACHUNG MIT HILFE STATISTISCHER  
PROZESSTEUERUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****TECHNISCHES GEBIET**

**[0001]** Diese Erfindung betrifft im Allgemeinen die Herstellung von Halbleiterprodukten und betrifft insbesondere ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung des Verhaltens von Steuerungen unter Anwendung einer statistischen Prozesssteuerung.

**STAND DER TECHNIK**

**[0002]** US-A-5 661 669 offenbart ein System einer Einzeldurchlauf-Steuerung einer Halbleiterscheibenverarbeitung. Das System ist ein auf einem Modell basierendes System, das Prozessparameter auf der Grundlage gewünschter Qualitätseigenschaften, die von dem Anwender bereitgestellt werden, erzeugt. Das System verwendet eine Rückkopplungsschleife, um das Modell zu modifizieren und um die Steuerungsanlageneinstellung von Durchlauf zu Durchlauf in Echtzeit zu steuern. Insbesondere kann das System das Modell einstellen, wenn die gemessenen Qualitätseigenschaften des Prozesses, die von einem Sensor bestimmt werden, von den erwarteten Qualitätseigenschaften um mehr als einen vorbestimten statistischen Betrag abweichen.

**[0003]** US-A-5 546 312 offenbart ein System und ein Verfahren zum Steuern einer oder mehrerer Nicht-Gleichförmigkeitsmetriken unter Anwendung einer von einer Modellform unabhängigen Mehrvariablensteuerung. In dem Verfahren werden Prozessmodelle angewendet, die sich auf Produktqualitätsparameter beziehen, um die Steuervariablen zu bearbeiten. Das Verfahren misst mehrere Produktqualitätsparameter in einer Vielzahl von Produkten und führt statistische Qualitätssteuerungstestabläufe aus. Die Prozessmodelle werden eingestellt, indem ein geänderter Verarbeitungszustand abgeschätzt wird und davon neue Werte für die Prozesssteuerungsvariablen ermittelt werden.

**[0004]** US-A-5 452 218 offenbart ein System und ein Verfahren zum Bestimmen der Qualitätsebenen für Herstellungs- und Montageentwürfe, wobei Prozessfähigkeiten angewendet werden, die in einer Datenbank gespeichert sind. Es wird eine Tabelle verwendet, um das hergestellte Produkt unter Anwendung der von der Datenbank ausgelesenen Prozessfähigkeitsdaten zu modellieren. Das System zeigt die Defekte an und summiert diese gemäß einem vorbestimmen Kriterium auf, um ein Qualitätsmaß zu erzeugen.

**[0005]** US-A-5 408 405 offenbart eine statistische Prozesssteuerung mit mehreren Variablen für diskrete Herstellungsprozesse. In dem Verfahren werden Prozessmodelle verwendet, die sich auf Produktqualitätsparameter beziehen, um die Steuervariablen zu

bearbeiten. In dem Verfahren werden mehrere Produktqualitätsparameter aus einer ersten und einer zweiten Vielzahl von Produkten gemessen und es werden statistische Qualitätstestverfahren an der Vielzahl der Produktqualitätsparameter der ersten Produktvielzahl ausgeführt. Wenn die Testabläufe mit der ersten Vielzahl der Produkte nicht erfolgreich ist, stimmt das Verfahren die Prozessmodelle so ab, um neu eingestellte Prozessmodelle zu schaffen, wobei die Vielzahl der Produktqualitätsparameter von der zweiten Vielzahl der Produkte verwendet werden, wobei durch das Abstimmen ein geänderter Zustand der Verarbeitung abgeschätzt wird.

**[0006]** WO-A-00/00874 und US-A-5 987 398, die beide nach dem Prioritätsdatum der vorliegenden Anmeldung veröffentlicht wurden, offenbaren ebenfalls Systeme und Verfahren, die für die vorliegende Anmeldung relevant sind.

**[0007]** Die Technologieexplosion in der herstellenden Industrie führte zu vielen neuen und innovativen Herstellungsprozessen. Gegenwärtige Herstellungsprozesse und insbesondere Halbleiterherstellungsprozesse erfordern eine große Anzahl wichtiger Schritte. Diese Prozessschritte sind für gewöhnlich essenziell und erfordern daher eine Reihe von Eingaben, die im Allgemeinen fein abgestimmt sind, um eine geeignete Prozesssteuerung aufrecht zu erhalten.

**[0008]** Die Herstellung von Halbleiterbauelementen erfordert eine Reihe diskreter Prozessschritte, um ein Halbleiterbauelement im Gehäuse aus dem rohen Halbleitermaterial zu schaffen. Die diversen Prozesse, beginnend von dem anfänglichen Wachsen des Halbleitermaterials, dem Schneiden des Halbleiterkristalls in einzelne Scheiben, den Herstellungsphasen (Ätzen, Dotieren, Ionenimplantieren oder dergleichen), bis zum Einbringen in ein Gehäuse und dem Abschluss des fertiggestellten Bauteils, sind sehr voneinander unterschieden und spezialisiert, so dass die Prozesse in unterschiedlichen Herstellungsstätten durchgeführt werden, die unterschiedliche Steuerungsschemata aufweisen.

**[0009]** Zu den wichtigen Aspekten bei der Halbleiterbauteilherstellung gehören die RTA-Steuerung, die Steuerung des chemisch-mechanischen Einebnens (CMP) und die Überlagerungssteuerung. Die Überlagerungsgenauigkeit ist eine der mehreren wichtigen Schritte in dem Bereich der Photolithographie bei der Halbleiterherstellung. Die Überlagerungssteuerung beinhaltet das Messen der Fehljustierung zwischen zwei aufeinander folgenden strukturierten Schichten auf der Oberfläche eines Halbleiterbauelements. Im Allgemeinen ist die Minimierung von Fehljustierungsfehlern wichtig, um sicherzustellen, dass die mehreren Schichten der Halbleiterbauelemente miteinander verbunden sind und so ihre

Funktion ausüben. In dem Maße, wie die Technologie kleinere kritische Abmessungen für Halbleiterbauelemente ermöglicht, steigt auch die Notwendigkeit an, Fehljustierungsfehler deutlich zu verringern.

**[0010]** Im Allgemeinen analysieren Photolithographieprozessingenieure gegenwärtig die Überlagerungsfehler einige Male pro Monat. Die Ergebnisse aus dieser Analyse der Überlagerungsfehler werden verwendet, um Aktualisierungen an Belichtungsanlageninstellungen manuell vorzunehmen. Im Allgemeinen wird ein Herstellungsmodell angewendet, um die Herstellungsprozesse zu steuern. Einige der mit gegenwärtigen Verfahren verknüpften Problemen resultieren aus der Tatsache, dass die Belichtungsanlageninstellungen lediglich einige Male pro Monat aktualisiert werden. Des Weiteren werden gegenwärtig die Belichtungsanlagenaktualisierungen manuell durchgeführt. Häufig werden Fehler bei der Halbleiterherstellung nicht korrekt behandelt und werden nicht dem Qualitätssicherungspersonal mitgeteilt. Häufig enthalten auch die Herstellungsmodelle selbst fehlerhafte Abweichungen, die die Herstellungsqualität beeinträchtigen können.

**[0011]** Im Allgemeinen wird eine Reihe von Prozessschritten mit einem Los von Scheiben in einer Halbleiterherstellungsanlage, die als Belichtungsanlage oder Stepper bezeichnet wird, ausgeführt. Die Herstellungsanlage kommuniziert mit einer Herstellungsumgebung oder einem Netzwerk aus Prozessmodulen. Die Herstellungsanlage ist im Wesentlichen mit einer Anlagenschnittstelle verbunden. Die Anlagenschnittstelle ist mit einer Maschinenschnittstelle verbunden, mit der der Stepper verbunden ist, wodurch die Kommunikation zwischen dem Stepper und der Herstellungsumgebung bzw. Netzwerk ermöglicht wird. Die Maschinenschnittstelle kann im Allgemeinen ein Teil eines fortschrittlichen Prozesssteuerungs- (APC) Systems sein. Das APC-System initiiert ein Steuerungsskript auf der Grundlage eines Herstellungsmodells, das ein Softwareprogramm sein kann, das automatisch die Daten ausliest, die zum Ausführen eines Herstellungsprozesses erforderlich sind. Häufig werden Halbleiterbauelemente durch viele Herstellungsanlagen für eine Vielzahl von Prozessen hindurchgeschleust, wodurch Daten erzeugt werden, die sich auf die Qualität der verarbeiteten Halbleiterbauelemente beziehen. Häufig werden Fehler bei der Halbleiterherstellung nicht verwaltet und nicht an das Qualitätssicherungspersonal berichtet, was zu einer reduzierten Effizienz bei den Herstellungsprozessen führen kann. Fehler bei dem Herstellungsmodell, das zum Ausführen des Herstellungsprozesses verwendet wird, etwa systematische Abweichungsfehler, beeinträchtigen häufig die Qualität der hergestellten Produkte.

**[0012]** Die vorliegende Erfindung stellt darauf ab, eines oder mehrere der zuvor dargelegten Probleme

zu lösen oder zumindest deren Auswirkungen zu reduzieren.

## ÜBERBLICK ÜBER DIE ERFINDUNG

**[0013]** In einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Überwachen des Steuerungsverhaltens unter Anwendung einer statistischen Prozesssteueranalyse bereitgestellt. Es wird ein Herstellungsmodell definiert. Ein Prozessdurchlauf von Halbleiterbauelementen wird ausgeführt, wie dies durch das Herstellungsmodell definiert ist und wird mittels einer Prozesssteuerung implementiert. Eine Fehlererkennungsanalyse wird an der Prozesssteuerung durchgeführt. Es wird mindestens ein Steuerungseingangssignal, das von der Prozesssteuerung erzeugt wird, aktualisiert.

**[0014]** In einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Vorrichtung zur Überwachung des Steuerungsverhaltens unter Anwendung einer statistischen Prozesssteuerungsanalyse bereitgestellt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfasst: eine mit der Prozesssteuerung gekoppelte Prozessanlage; eine Messanlage, die mit der Prozessanlage durch eine Schnittstelle verbunden ist; eine Steuerungsmodifizierungsdatenberechnungseinheit, die mit der Messanlage durch eine Schnittstelle verbunden ist und mit der Prozesssteuerung in einer rückgekoppelten Weise verbunden ist; eine Vorhersagefunktion, die mit der Prozesssteuerung durch eine Schnittstelle verbunden ist; eine Einheit zur statistischen Prozesssteuerungsanalyse, die mit der Vorhersagefunktion und der Prozessanlage der Schnittstelle verbunden ist; und eine Ergebnis-Zu-Vorhersageanalysen-Einheit, die mit der statistischen Prozesssteuerungsanalyseeinheit verbunden ist und mit der Prozesssteuerung in einer rückgekoppelten Weise verbunden ist.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0015]** Die Erfindung kann durch Bezugnahme auf die folgende Beschreibung besser verstanden werden, die in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen zu studieren ist, wobei gleiche Bezugszeichen gleiche Elemente bezeichnen, und wobei:

**[0016]** [Fig. 1](#) eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt;

**[0017]** [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Aktualisieren eines Herstellungsmodells darstellt;

**[0018]** [Fig. 3](#) eine Flussdiagrammdarstellung der erfindungsgemäßen Verfahren zeigt;

**[0019]** [Fig. 4](#) eine Flussdiagrammdarstellung einer detaillierteren Darstellung des Schritts zum Ausfüh-

ren einer Fehlererkennung in einer Einzeldurchlaufsteuerung, die in [Fig. 3](#) beschrieben ist, zeigt;

**[0020]** [Fig. 5](#) eine Flussdiagrammdarstellung einer detaillierteren Darstellung des Schritts zum Ausführen der Überwachung des Prozesssteuerungsverhaltens, das in [Fig. 4](#) gezeigt ist, darstellt; und

**[0021]** [Fig. 6](#) eine Blockansicht zeigt, die die erfundungsgemäße Vorrichtung repräsentiert.

**[0022]** Obwohl die Erfindung diverse Modifizierungen und alternativen Formen unterliegen kann, werden spezifische Ausführungsformen beispielhaft in den Zeichnungen dargestellt und werden im Weiteren detailliert beschrieben. Es sollte jedoch selbstverständlich sein, dass die Beschreibung der spezifischen Ausführungsformen hierin nicht dazu gedacht ist, die Erfindung auf die speziellen offenbarten Formen zu beschränken, sondern im Gegenteil, die Erfindung soll alle Modifizierungen, Äquivalente und Alternativen abdecken, die innerhalb des Grundgedankens und Schutzbereichs der Erfindung, wie sie durch die angefügten Patentansprüche definiert ist, liegen.

#### ART UND WEISE, UM DIE ERFINDUNG AUSZUFÜHREN

**[0023]** Es werden nun anschauliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben. Im Interesse der Einfachheit werden nicht alle Merkmale einer tatsächlichen Implementierung in dieser Beschreibung erläutert. Es sollte jedoch beachtet werden, dass bei der Entwicklung einer derartigen tatsächlichen Ausführungsform diverse implementierungsspezifische Entscheidungen getroffen werden müssen, um die speziellen Ziele der Entwickler zu erreichen, etwa die Kompatibilität mit systembezogenen und geschäftsorientierten Rahmenbedingungen, die von einer Implementierung zu einer anderen unterschiedlich sein können. Ferner ist zu beachten, dass ein derartiger Entwicklungsaufwand komplex und zeitraubend sein kann, aber dennoch eine Routinearbeit für den Fachmann auf diesem Gebiet darstellt, der in Besitz der vorliegenden Offenbarung ist.

**[0024]** Es gibt viele diskrete Prozesse, die bei der Halbleiterherstellung beteiligt sind. Häufig werden Halbleiterbauelemente durch viele Herstellungsprozessanlagen hindurchgeführt. Beim Prozessieren von Halbleiterbauelementen mittels Herstellungsanlagen werden Produktionsdaten oder Herstellungsdaten erzeugt. Die Produktionsdaten können verwendet werden, um eine Fehlererkennungsanalyse auszuführen, die zu verbesserten Herstellungsergebnissen führen kann. Der Überlagerungsprozess stellt eine wichtige Gruppe von Prozessschritten bei der Halbleiterherstellung dar. Insbesondere beinhaltet der Überlagerungsprozess das Messen von Fehljustierungsfehlern zwischen Halbleiterschichten während der Herstellungsprozesse. Verbesserungen in dem Überlagerungsprozess können zu wesentlichen Verbesserungen hinsichtlich der Qualität und der Effizienz bei den Halbleiterherstellungsprozessen führen. Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zum Sammeln von Produktionsdaten und zum Ausführen einer Fehleranalyse in einer Prozesssteuerung, etwa einer Einzeldurchlaufsteuerung, in Reaktion auf die gesammelten Produktionsdaten bereit.

**[0025]** In [Fig. 1](#) ist eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. In einer Ausführungsform werden Halbleiterprodukte **105**, etwa Halbleiterscheiben, in Prozessanlagen **110**, **112** unter Anwendung von mehreren Steuerungseingangssignalen auf einer Leitung **120** bearbeitet. In einer Ausführungsform werden die Steuerungseingangssignale auf der Leitung **120** zu den Prozessanlagen **110**, **112** von einem Computersystem **130** mittels Maschinenschnittstellen **115**, **117** gesendet. In einer Ausführungsform sind die erste und die zweite Maschinenschnittstelle **115**, **117** außerhalb der Prozessanlagen **110**, **112** angeordnet. In einer alternativen Ausführungsform sind die erste und die zweite Maschinenschnittstelle **115**, **117** in den Prozessanlagen **110**, **112** angeordnet.

**[0026]** In einer Ausführungsform sendet das Computersystem **130** Steuerungseingangssignale auf einer Leitung **120** zu der ersten und der zweiten Maschinenschnittstelle **115**, **117**. Das Computersystem **130** benutzt ein Herstellungsmodell **140**, um die Steuerungseingangssignale auf der Leitung **120** zu erzeugen. In einer Ausführungsform definiert das Herstellungsmodell **140** ein Prozessskript und eine Eingangssteuerung, die einen speziellen Herstellungsprozess implementieren. Die Steuerungseingangssignale auf der Leitung **120**, die für die Prozessanlage A **110** gedacht sind, werden von der ersten Maschinenschnittstelle **115** empfangen und verarbeitet. Die Steuerungseingangssignale auf einer Leitung **120**, die für eine Prozessanlage B **112** gedacht sind, werden von der zweiten Maschinenschnittstelle **117** empfangen und verarbeitet. Zu Beispielen der Prozessanlagen **110**, **112**, die in Halbleiterherstellungsprozessen verwendet werden, gehören Stepper.

**[0027]** Für Prozessanlagen, etwa Stepper, enthalten die Steuerungseingangssignale auf der Leitung **120**, die verwendet werden, um die Prozessanlagen **110**, **112** zu betreiben, ein X-Translationssignal, ein Y-Translationssignal, ein X-Scheibenausdehnungsmaßstabssignal, ein Y-Scheibenausdehnungsmaßstabssignal, ein Retikelvergrößerungssignal und ein Retikelrotationssignal. Im Allgemeinen beziehen sich Fehler, die mit dem Retikelvergrößerungssignal und dem Retikelrotationssignal verknüpft sind, auf einen speziellen Belichtungsprozess auf der Oberfläche der Scheibe, die in der Belichtungsanlage gerade

prozessiert wird. Eines der wesentlichen Merkmale, das von der vorliegenden Erfindung gelehrt wird, ist ein Verfahren zum Erkennen und Organisieren von Fehlerdaten für Halbleiterherstellungsprozesse.

**[0028]** Bei Photolithographieprozessen wird, wenn ein Prozessschritt in einer Prozessanlage 110, 112 abgeschlossen ist, das Halbleiterprodukt 105 oder die Scheibe, die bearbeitet wird, in einer Prüfstation untersucht. Eine derartige Prüfstation ist eine KLA-Prüfstation. Ein Datensatz, der aus dem Betrieb der Prüfstation herröhrt, ist ein quantitatives Maß für den Betrag der Fehljustierung, die durch den vorhergehenden Belichtungsprozess hervorgerufen wurde. In einer Ausführungsform betrifft der Betrag der Fehljustierung die Fehljustierung in dem Prozess, der zwischen zwei Schichten einer Halbleiterscheibe auftrat. In einer Ausführungsform kann der auftretende Betrag an Fehljustierung den Steuerungseingangssignalen für einen speziellen Belichtungsprozess zugeordnet werden. Die Steuerungseingangssignale beeinflussen im Allgemeinen die Genauigkeit der Prozessschritte, die von den Prozessanlagen 110, 112 an der Halbleiterscheibe ausgeführt werden. Modifizierungen der Steuerungseingangssignale können angewendet werden, um das Verhalten der Prozessschritte, die in der Herstellungsanlage genutzt werden, zu verbessern. Häufig können die Fehler, die in den verarbeiteten Halbleiterprodukten 105 ermittelt werden können, mit einer speziellen Fehleranalyse korreliert werden und es können Korrekturen zur Verringerung der Fehler durchgeführt werden.

**[0029]** In [Fig. 2](#) ist eine Flussdiagrammdarstellung einer Ausführungsform eines Prozesses zum Aktualisieren des Herstellungsmodells 140 dargestellt. In einer Ausführungsform ist das Herstellungsmodell 140, das von einer Prozesssteuerung, etwa einem fortschrittlichen Prozesssteuerungs-(APC) System so definiert, wie dies im Block 120 aus [Fig. 2](#) beschrieben ist. Wenn das Herstellungsmodell 140 definiert ist, wird ein Herstellungsdurchlauf mit Halbleiterbauelementen, etwa den Halbleiterscheiben, ausgeführt, wie dies im Block 220 aus [Fig. 2](#) beschrieben ist. Wenn der Herstellungsdurchlauf mit den Halbleiterscheiben abgeschlossen ist, wird ein Satz an Produktionsdaten gesammelt, wobei das Messen mehrerer Scheibenparameter beinhaltet ist, wie dies im Block 230 aus [Fig. 2](#) beschrieben ist. Die Scheibenparameter enthalten die Fehljustierungs- und Fehlausrichtungsfehler während der Photolithographieprozesse. Die Scheibenparameter enthalten ferner gemessene Dickenfehler nach dem Polieren, die während eines Polievorganges auftreten.

**[0030]** In einer Ausführungsform werden die Produktionsdaten verwendet, um das Herstellungsmodell 140 zu aktualisieren, das von der Prozesssteuerung verwendet wird, um die Steuerungseingangssignale für einen nachfolgenden Herstellungsdurchlauf

mit den Halbleiterscheiben zu modifizieren, wie dies im Block 240 aus [Fig. 2](#) beschrieben ist. Die Einzeldurchlaufsteuerung implementiert dann den nächsten Herstellungsdurchlauf der Halbleiterscheiben und der Rückkopplungsprozess wird wiederholt, wie dies in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Im Allgemeinen würde ein ideales Herstellungsmodell 140 zu zufällig verteilten Produktionsfehlern führen, die gleichförmig über eine Gauss-artige Fehlerkurve verteilt sind. Auf Grund der nicht idealen Eigenschaften von Herstellungsmodellen 140 können jedoch nicht zufällige Fehler auftreten. Es kann sich eine systematische Fehlerabweichung in dem Herstellungsmodell entwickeln, woraus sich entsprechende Fehler während der Halbleiterherstellung ergeben.

**[0031]** In einigen Herstellungsprozessen gibt es über 300 Prozessschritte, die durch ein Herstellungsmodell 140 definiert sind und auf eine Halbleiterscheibe angewendet werden. Eine Änderung in einem der Prozessschritte kann andere damit in Beziehung stehende Prozessschritte beeinflussen, so dass das Herstellungsmodell 140, das die Prozessschritte definiert, ungenau werden kann. In einigen Fällen kann eine Kettenreaktion bei der Herstellung von Halbleiterscheiben, die durch eine Änderung in einem speziellen Prozessschritt ausgelöst wird, bewirken, dass das Herstellungsmodell 140 die Prozessschritte nun nicht mehr gut beschreibt, wodurch Fehler in der Herstellung hervorgerufen werden. Anders ausgedrückt, es wird in dem Herstellungsmodell 140 ein Abweichung erzeugt, so dass nunmehr ein entsprechender Defekt in den verarbeiteten Halbleiterscheiben auftritt. Wenn beispielsweise das ursprüngliche Herstellungsmodell so gestaltet war, um Halbleiterscheiben mit einem Überlagerungsfehler von Null zu erzeugen, kann eine Abweichung in dem Herstellungsmodell 140 eine 10 µm Fehljustierung in jeder Halbleiterscheibe hervorrufen, die unter der Steuerung mittels des Herstellungsmodells 140 prozessiert wird. Anders ausgedrückt, es gibt ein Rauschen in dem Herstellungssystem, das das Herstellungsmodell 140 implementiert, und das nicht zufällig verteilte Fehler hervorruft, die außerhalb einer normalen Guassian Fehlerkurve liegen.

**[0032]** Ferner kann eine Alterung des Herstellungsmodells 140 eine Beeinträchtigung ausgegebener Produkte hervorrufen, die innerhalb der Struktur des Herstellungsmodells 140 hergestellt werden. Anders gesagt, ein Herstellungsmodell 140 kann sein früheres Verhalten im Laufe der Zeit ändern. Ein Beispiel des Alterns eines Herstellungsmodells 140 betrifft die Leistungsabnahme von Leuchten in einer Belichtungsanlage. Das Einrichten der Verfahren, die von der vorliegenden Erfindung gelehrt werden, kann die Auswirkungen des Alterns von Herstellungsmodellen 140 verringern. Die vorliegende Erfindung lehrt ein Verfahren zum Implementieren eines statistischen Prozesssteuerungsanalyseverfahrens, um systema-

tische Abweichungen und Rauschen in Herstellungs- systemen zu reduzieren.

**[0033]** In einer Ausführungsform ist eine statistische Prozesssteuerung (SPC) ein Verfahren zum Überwachen, Steuern und idealerweise zum Verbessern eines Prozesses mittels statistischer Analyse. In einer Ausführungsform weist die SPC-Analyse vier Hauptschritte auf. Die Hauptschritte der SPC-Analyse beinhalten das Messen des Prozesses, Reduzieren von Abweichungen in dem Prozess, um den Prozess konsistenter zu gestalten, Überwachen des Prozesses und Verbessern des Prozesses, um seinen besten Wert zu erzeugen. Bei einer Echtzeit-SPC, die in einer Ausführungsform für Einzeldurchlaufsteuerungsanwendungen angewendet werden kann, werden Daten von den gerade beendeten Herstellungsdurchlauf von Halbleiterscheiben gesammelt, bevor der nächste Herstellungsdurchlauf von Halbleiterscheiben ausgeführt wird.

**[0034]** Es werden Schritte unternommen, um sicherzustellen, dass die Qualität der bearbeiteten Halbleiterscheiben von einem Herstellungsdurchlauf zu einem weiteren möglichst konsistent ist. Im Allgemeinen diktieren die SPC-Analyseregeln, das Ursachen von Fehlern, die während eines Herstellungsdurchlaufes von Halbleiterscheiben bekannt werden, korrigiert werden müssen, bevor der nächste Herstellungsdurchlauf der Halbleiterscheiben ausgeführt wird.

**[0035]** In [Fig. 3](#) ist eine Flussdiagrammdarstellung einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dargestellt. In einer Ausführungsform ist ein Herstellungsmodell **140**, das von einer Prozesssteuerung, etwa einem fortschrittlichen Prozesssteuerungs-(APC) System benutzt wird, so definiert, wie es im Block **310** aus [Fig. 3](#) beschrieben ist. Wenn das Herstellungsmodell **140** definiert ist, wird ein Herstellungsdurchlauf mit Halbleiterbauelementen, etwa Halbleiterscheiben, ausgeführt, wie dies im Block **320** aus [Fig. 3](#) beschrieben ist. Wenn ein Herstellungsdurchlauf mit Halbleiterscheiben abgeschlossen ist, wird eine Fehlererkennungsanalyse an der Prozesssteuerung durchgeführt, wie dies im Block **330** aus [Fig. 3](#) beschrieben ist. In einer Ausführungsform wird die Fehlererkennungsanalyse an einer Prozesssteuerung ausgeführt, die eine Einzeldurchlaufsteuerung ist. Eine detailliertere Beschreibung des Schrittes zum Ausführen der Fehlererkennungsanalyse, die im Block **330** aus [Fig. 3](#) gezeigt ist, ist in [Fig. 4](#) dargestellt.

**[0036]** Gemäß [Fig. 4](#) werden, wenn ein Herstellungsdurchlauf mit Halbleiterscheiben abgeschlossen ist, die entsprechenden Produktionsdaten gesammelt, wie dies im Block **410** aus [Fig. 4](#) beschrieben ist. Die Produktionsdaten, die gesammelt werden, enthalten Fehljustierungsfehler, Fehlausricht-

tungsfehler, Fehler in den kritischen Abmessungen, Polerdickenfehler und dergleichen. Wenn die Produktionsdaten gesammelt sind, wird ein Überwachungsschritt für das Prozesssteuerungsverhalten ausgeführt, wie dies im Block **420** aus [Fig. 4](#) beschrieben ist. Eine detailliertere Beschreibung des Schrittes zum Ausführen der Überwachung des Prozesssteuerungsverhaltens, der im Block **420** aus [Fig. 4](#) beschrieben ist, ist in [Fig. 5](#) dargestellt.

**[0037]** In [Fig. 5](#) ist eine Ausführungsform zum Durchführen der Überwachung des Prozesssteuerungsverhaltens dargestellt. In einer Ausführungsform wird ein Herstellungsmodell **140**, das von einer Prozesssteuerung verwendet wird, definiert, wie dies im Block **510** aus [Fig. 5](#) beschrieben ist. Nachfolgend werden Halbleiterscheiben unter Anwendung des Herstellungsmodells bearbeitet, wie dies im Block **520** aus [Fig. 5](#) beschrieben ist. Wenn ein Satz aus Halbleiterscheiben bearbeitet ist, werden Herstellungsparameter, etwa Produktionsdaten, gemessen, wie dies im Block **530** aus [Fig. 5](#) beschrieben ist. Die Herstellungsparameter, die gemessen werden, enthalten Fehljustierungsfehler, Fehlausrichtungsfehler, Fehler in den kritischen Abmessungen und Fehler in der Polerdicke. In einer Ausführungsform werden Herstellungsparameter unter Anwendung von Messanlagen gemessen.

**[0038]** Wenn die Herstellungsparameter gemessen sind, werden Modifizierungsdaten zum Modifizieren von Parametern, die von dem Herstellungsmodell **140** definiert sind, berechnet, wie dies im Block **540** aus [Fig. 5](#) beschrieben ist. Gleichzeitig wird eine SPC-Analyse, die zuvor beschrieben ist, nach dem Bearbeiten der Halbleiterscheiben ausgeführt, wie dies im Block **550** aus [Fig. 5](#) beschrieben ist. In einer Ausführungsform wird beim Ausführen der SPC-Analyse eine Vorhersage hinsichtlich des erwarteten Prozessverhaltens für ein spezielles Herstellungsmodell **140** getroffen. Nach dem Bearbeiten eines Satzes von Halbleiterscheiben werden die Ergebnisse aus der Analyse der Halbleiterscheiben mit dem vorhergesagten Prozessverhalten verglichen, wie dies im Block **560** aus [Fig. 5](#) beschrieben ist. Anders ausgedrückt, es erfolgt eine Beurteilung hinsichtlich darüber, wie unterschiedlich die tatsächlichen Ergebnisse von einem Prozessschritt zu einem Satz vorhergesagter Ergebnisse für diesen Prozessschritt sind. In einer Ausführungsform werden standardmäßige SPC-Berechnungsverfahren, die dem Fachmann bekannt sind, in Kombination mit der Lehre der vorliegenden Offenbarung für die SPC-Analyse der vorliegenden Erfindung verwendet.

**[0039]** Die Differenz zwischen den vorhergesagten Prozessergebnissen und den tatsächlichen Prozessergebnissen wird benutzt, um zu bestimmen, ob das Herstellungsmodell **140** für den nächsten Herstellungsdurchlauf mit Halbleiterscheiben modifiziert

werden soll, wodurch eine Fehlererkennung in einer Einzeldurchlaufsteuerung ausgeführt wird. Unter Ausnutzung der Ergebnisse, die durch Messen der Herstellungsparameter und Durchführen der SPC-Analyse gewonnen werden, wird dann das Herstellungsmodell **140** modifiziert, um dann für nachfolgende Herstellungsprozesse verwendet zu werden, wie dies im Block **570** aus [Fig. 5](#) beschrieben ist. Die Modifizierung des Herstellungsmodells **140**, die im Block **570** beschrieben ist, beschließt den Schritt des Ausführens der Überwachung des Prozesssteuerungsverhaltens, der im Block **420** aus [Fig. 4](#) beschrieben ist.

**[0040]** Es sei nun wieder auf [Fig. 4](#) verwiesen; wenn das Herstellungsmodell **140** modifiziert ist, wird das modifizierte Herstellungsmodell **140** in der Prozesssteuerung eingerichtet, die die nachfolgende Verarbeitung von Halbleiterbauelementen steuert, wie dies im Block **430** aus [Fig. 4](#) beschrieben ist. Es werden Modifizierungsfaktoren, die erforderlich sind, um eine Modifizierung an den Steuerungseingangssignalen auf der Leitung **120** vorzunehmen, berechnet, wie dies im Block **440** aus [Fig. 4](#) beschrieben ist. Die Beendigung der Berechnungen, die im Block **440** aus [Fig. 4](#) beschrieben sind, vervollständigt den Schritt des Ausführens der Fehlererkennungsanalyse an der Prozesssteuerung, der im Block **330** aus [Fig. 3](#) beschrieben ist. Es sei nun wieder auf [Fig. 3](#) verwiesen; wenn die Berechnungen für das Modifizieren der Steuerungseingangssignale ausgeführt sind, werden die Steuerungseingangssignale auf der Leitung **120** modifiziert und werden dann für einen nachfolgenden Herstellungsduchlauf mit Halbleiterscheiben verwendet, wie dies im Block **340** aus [Fig. 3](#) beschrieben ist.

**[0041]** In [Fig. 6](#) ist eine Ausführungsform der Vorrichtung zum Implementieren der von der vorliegenden Erfindung bereitgestellten Prinzipien dargestellt. Eine innere Rückkopplungsschleife ist zwischen einer Prozesssteuerung **610**, einer Prozessanlage **620**, einer Messanlage **630** und einer Steuerungsmodifizierungsdatenberechnungseinheit **640** vorgesehen. Die Prozesssteuerung **610** ist mit der Prozessanlage **620** mittels Schnittstelle verbunden. In einer Ausführungsform berechnet die Prozesssteuerung **610** Steuerungseingangssignale, die die Funktion der Prozessanlage **620** steuern, und sendet diese aus. Die Prozessanlage **620** ist mit der Messanlage **630**, die Messungen von Herstellungsparametern auf Halbleiterscheiben, die von der Prozessanlage **620** bearbeitet werden, ausführt, mittels Schnittstelle verbunden.

**[0042]** Die Messanlage **630** ist mit der Steuerungsmodifizierungsdatenberechnungseinheit **640** der Schnittstelle verbunden. Die Steuerungsmodifizierungsdatenberechnungseinheit **640** verwendet von der Messanlage **630** bereitge-

stellte Daten, um Berechnungen für die Modifizierung von Steuerungseingangssignalen, die von der Prozesssteuerung **610** erzeugt werden, durchzuführen. In einer Ausführungsform ist die Steuerungsmodifizierungsdatenberechnungseinheit **640** ein Computerprogramm, das mit der Prozesssteuerung **610** über Schnittstelle in Verbindung steht. Daten aus der Steuerungsmodifizierungsdatenberechnungseinheit **640** werden von der Prozesssteuerung **610** verwendet, um Steuerungseingangssignale zu modifizieren, die der Prozessanlage **620** für eine nachfolgende Verarbeitung von Halbleiterscheiben zugeleitet werden.

**[0043]** Gleichzeitig ist eine äußere Rückkopplung zwischen der Prozesssteuerung **610**, der Prozessanlage **620**, der Vorhersagefunktion **650**, der SPC-Analyseeinheit **660** und der Ergebnis-Zu-Vorhersage-Analyseeinheit **670** vorgesehen. Die Vorhersagefunktion **650** steht mit der Prozesssteuerung **610** über Schnittstelle in Verbindung und sagt ein erwartetes Ergebnis eines Herstellungsduchlaufes mit Halbleiterscheiben auf der Grundlage der Steuerungseingangssignale, die von der Prozesssteuerung **610** erzeugt werden, vorher. In einer Ausführungsform ist die Vorhersagefunktion **650** ein Computerprogramm und ist innerhalb des Herstellungsmodells **140** angesiedelt. Daten von verarbeiteten Halbleiterscheiben werden von der SPC-Analyseeinheit **660** verwendet, um eine SPC-Analyse auszuführen. In einer Ausführungsform ist die SPC-Analyseeinheit **660** ein Computerprogramm, das mit dem Herstellungsmodell **140** über Schnittstelle in Verbindung steht. Die Ergebnis-Zu-Vorhersage-Analyseeinheit **670** berechnet die Unterschiede zwischen den vorhergesagten Ergebnissen eines Herstellungsduchlaufes mit Halbleiterscheiben und den tatsächlichen Ergebnissen eines Herstellungsduchlaufes mit Halbleiterscheiben. In einer Ausführungsform ist die Ergebnis-Zu-Vorhersage-Analyseeinheit **670** ein Computerprogramm. Die von der Ergebnis-Zu-Vorhersage-Analyseeinheit **670** berechneten Daten werden von der Prozesssteuerung **610** verwendet, um Steuerungseingangssignale für einen nachfolgenden Herstellungsduchlauf mit Halbleiterscheiben, der von der Prozessanlage **620** ausgeführt wird, zu modifizieren. Die von der vorliegenden Erfindung bereitgestellten Prinzipien können auch in anderen Arten von Herstellungsumgebungen implementiert sein.

**[0044]** Die von der vorliegenden Erfindung bereitgestellten Prinzipien können in einer fortschrittlichen Prozesssteuerungs- (APC) Umgebung eingerichtet werden. Die APC ist eine bevorzugte Plattform, von der aus die durch die vorliegende Erfindung geleherte Überlagerungssteuerungsstrategie zu implementieren ist. In einigen Ausführungsformen kann die APC ein fabrikumspannendes Softwaresystem sein, so dass deshalb die von der vorliegenden Erfindung gelehnten Steuerungsstrategien in gewissem Maße auf

jede beliebige Halbleiterherstellungsanlage in der Fabrik angewendet werden können. Die APC-Umgebung ermöglicht ferner einen Fernzugriff und eine Fernüberwachung des Prozessverhaltens. Ferner kann durch Verwendung der APC-Umgebung die Datenspeicherung günstiger, flexibler und weniger teuer sein als mit Laufwerken vor Ort. Die APC-Plattform ermöglicht ferner fortschrittlichere Arten der Steuerung, da ein hohes Maß an Flexibilität beim Schreiben des erforderlichen Softwareprogramms bereitgestellt wird.

**[0045]** Die Anwendung der von der vorliegenden Erfindung gelehnten Steuerungsstrategie auf die APC-Umgebung kann eine Reihe von Softwarekomponenten erforderlich machen. Zusätzlich zu den Komponenten innerhalb der APC-Umgebung wird ein Computerskript für jede der Halbleiterherstellungsanlagen, die an dem Steuerungssystem beteiligt sind, geschrieben. Wenn eine Halbleiterherstellungsanlage in dem Steuerungssystem in der Halbleiterherstellungsfabrik gestartet wird, ruft diese im Wesentlichen ein Skript auf, um die Aktionen in Gang zu setzen, die von der Prozesssteuerung, etwa der Überlagerungssteuerung gefordert werden. Die Steuerungsverfahren sind im Wesentlichen in diesen Skripten definiert und werden darin ausgeführt. Die Entwicklung dieser Skripten kann einen wesentlichen Anteil bei der Entwicklung eines Steuerungssystems darstellen.

**[0046]** Die speziellen offenbarten Ausführungsformen sind lediglich anschaulicher Natur, da die Erfindung modifiziert werden kann und in unterschiedlichen aber äquivalenten Weisen, die dem Fachmann geläufig sind, wenn er Zugang zu der hierin enthaltenen Lehre hat, praktiziert werden kann. Ferner sind keine Beschränkungen auf die Details des Aufbaus oder des Entwurfs, wie sie hierin gezeigt sind, beabsichtigt, sofern sie von den unten beschriebenen Patentansprüchen abweichen. Es ist daher offensichtlich, dass die speziellen offenbarten Ausführungsformen verändert oder modifiziert werden können und dass alle derartigen Variationen als im Schutzbereich und im Grundgedanken der Erfindung liegend betrachtet werden. Daher ist der angestrebte Schutzbereich durch die nachfolgenden Patentansprüche definiert.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen des Steuerungsverhaltens unter Anwendung einer statistischen Prozesssteuerungsanalyse, wobei das Verfahren umfasst:

Definieren eines Herstellungsmodells (140); Durchführen eines Prozessdurchlaufes mit Halbleiterbauelementen, wie er durch das Herstellungsmodell (140) definiert und durch eine Prozesssteuerung (610) implementiert ist;

Ausführen einer Fehlererkennungsanalyse an der Prozesssteuerung (610); und Aktualisieren mindestens eines Steuerungseingangssignals, das von der Prozesssteuerung (610) erzeugt wird, wobei das Aktualisieren des Steuerungseingangssignals modifiziert wird auf der Grundlage einer mehrschichtigen Rückkopplungsstruktur, wobei die mehrschichtige Rückkopplungsstruktur eine innere Rückkopplungsschleife zum Erfassen von Prozessfehlern und eine äußere Rückkopplungsschleife zum Ausführen der statistischen Prozesssteuerungsanalyse aufweist; und Modifizieren des Herstellungsmodells (140) auf der Grundlage der Aktualisierung des Steuerungseingangssignals.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Ausführen einer Fehlererkennungsanalyse an der Prozesssteuerung (610) ferner umfasst:

Sammeln von Produktionsdaten; Ausführen einer Überwachung des Verhaltens der Prozesssteuerung (610) unter Anwendung der Produktionsdaten; Modifizieren des Herstellungsmodells (140) in Reaktion auf das Überwachen des Verhaltens der Prozesssteuerung (610); und Implementieren des modifizierten Herstellungsmodells (140) in der Prozesssteuerung (610).

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Sammeln von Produktionsdaten ferner Sammeln von Messdaten unter Anwendung einer Messanlage (630) umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei Ausführen einer Überwachung des Verhaltens der Prozesssteuerung (610) unter Anwendung der Produktionsdaten ferner umfasst:

Messen von Herstellungsparametern; Berechnen von Modifikationsdaten auf der Grundlage der Herstellungsparameter; Ausführen einer statistischen Prozesssteuerungsanalyse; Ausführen einer Analyse der Ergebnisse in Bezug auf die Vorhersage auf der Grundlage der statistischen Prozesssteuerungsanalyse; und Modifizieren des Herstellungsmodells (140) auf der Grundlage der berechneten Modifizierungsdaten und der Analyse der Ergebnisse im Vergleich zu der Vorhersage.

5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei Ausführen der Analyseergebnisse in Bezug auf die Vorhersage ferner das Vergleichen eines vorhergesagten Herstellungsprozessverhaltens mit einem Ergebnis eines gemessenen Herstellungsprozesses umfasst.

6. Vorrichtung zur Überwachung des Steuerungsverhaltens unter Anwendung einer statistischen Prozesssteuerungsanalyse, wobei die Vorrichtung

eine Mehrschichtrückkopplungsstruktur aufweist, wobei die Mehrschichtrückkopplungsstruktur eine innere Rückkopplungsschleife zum Erfassen von Prozessfehlern und eine äußere Rückkopplungsschleife zum Ausführen der statistischen Prozesssteuerungsanalyse aufweist, wobei die Vorrichtung umfasst:  
 eine Prozesssteuerung (610);  
 eine Prozessanlage (620), die mit der Prozesssteuerung (610) verbunden ist;  
 eine Messanlage (630), die mit der Prozessanlage (620) durch Schnittstelle in Verbindung steht;  
 eine Steuerungsmodifizierungsdatenberechnungseinheit (640), die mit der Messanlage über Schnittstelle in Verbindung steht und mit der Prozesssteuerung (610) in einer rückgekoppelten Weise verbunden ist;  
 eine Vorhersagefunktion (650), die mit der Prozesssteuerung (610) über Schnittstelle in Verbindung steht;  
 eine statistische Prozesssteuerungsanalyseeinheit (660), die mit der Vorhersagefunktion (650) und der Prozessanlage (620) über Schnittstelle in Verbindung steht; und  
 eine Ergebnis-Zu-Vorhersageanalyseeinheit (670), die mit der statistischen Prozesssteuerungsanalyseeinheit (660) über Schnittstelle in Verbindung steht und mit der Prozesssteuerung (610) in rückgekoppelter Weise verbunden ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Prozesssteuerung (610) eine Einzeldurchlaufsteuerung ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei die Prozesssteuerung (610) ein fortschrittliches Prozesssteuerungs- (APC) System ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, 7 oder 8, wobei die Steuerungsmodifizierungsdatenberechnungseinheit (640) ein Computersoftwareprogramm ist, das in der Prozesssteuerung (610) integriert ist.

10. Vorrichtung zur Überwachung des Steuerungsverhaltens unter Anwendung statistischer Prozesssteuerungsanalyse, wobei die Vorrichtung umfasst:

eine Einrichtung zum Definieren eines Herstellungsmodells (140);  
 eine Einrichtung zum Ausführen eines Prozessdurchlaufs von Halbleiterelementen, wobei der Durchlauf durch das Herstellungsmodell (140) definiert und durch eine Prozesssteuerung (610) implementiert ist;  
 eine Einrichtung zum Ausführen einer Fehlererkennungsanalyse an der Prozesssteuerung (610);  
 eine Einrichtung zum Aktualisieren mindestens eines Steuerungseingangssignals, das von der Prozesssteuerung (610) erzeugt wird, wobei das Aktualisieren des Steuerungseingangssignals auf Grundlage einer Mehrschichtrückkopplungsstruktur modifiziert wird, wobei die Mehrschichtrückkopplungsstruktur

eine innere Rückkopplungsschleife zum Erfassen von Prozessfehlern und eine äußere Rückkopplungsschleife zum Ausführen der statistischen Prozesssteuerungsanalyse aufweist; und  
 eine Einrichtung zum Modifizieren des Herstellungsmodells (140) auf der Grundlage der Aktualisierung des Steuerungseingangssignals.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

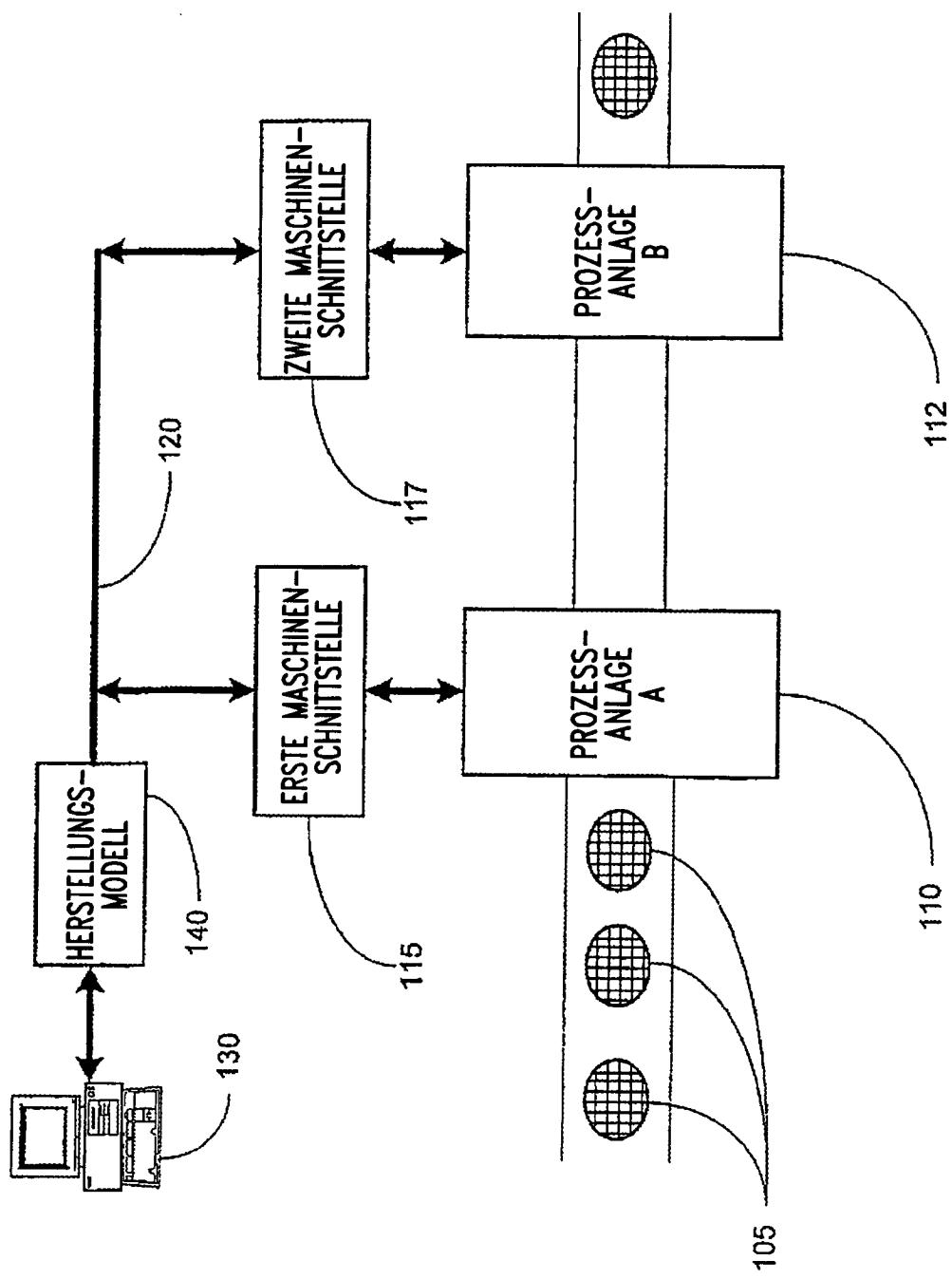


FIG. 1

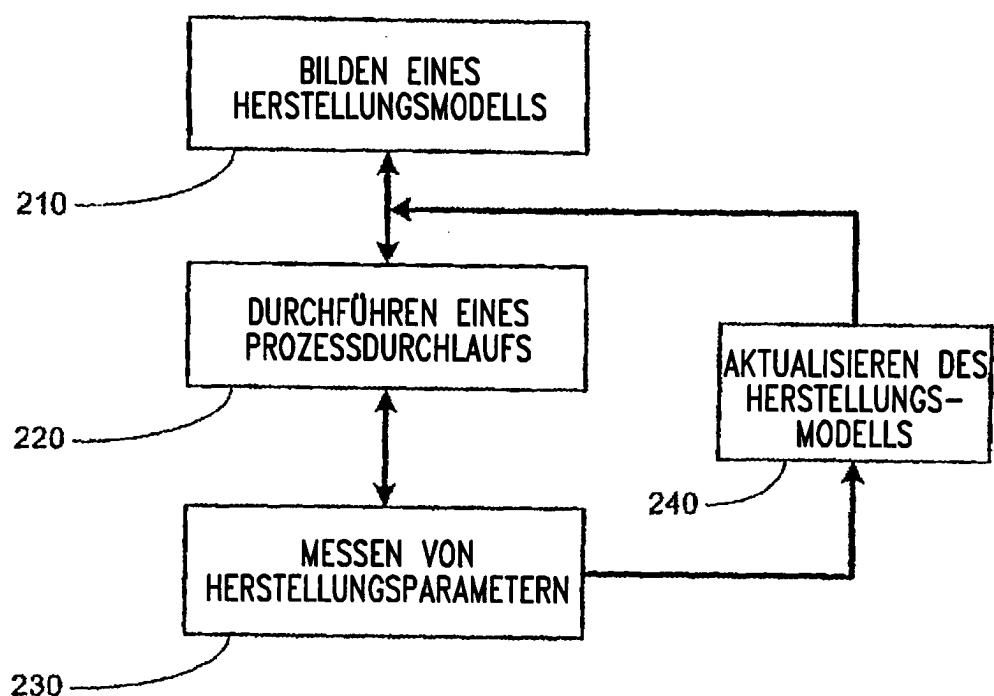


FIG. 2

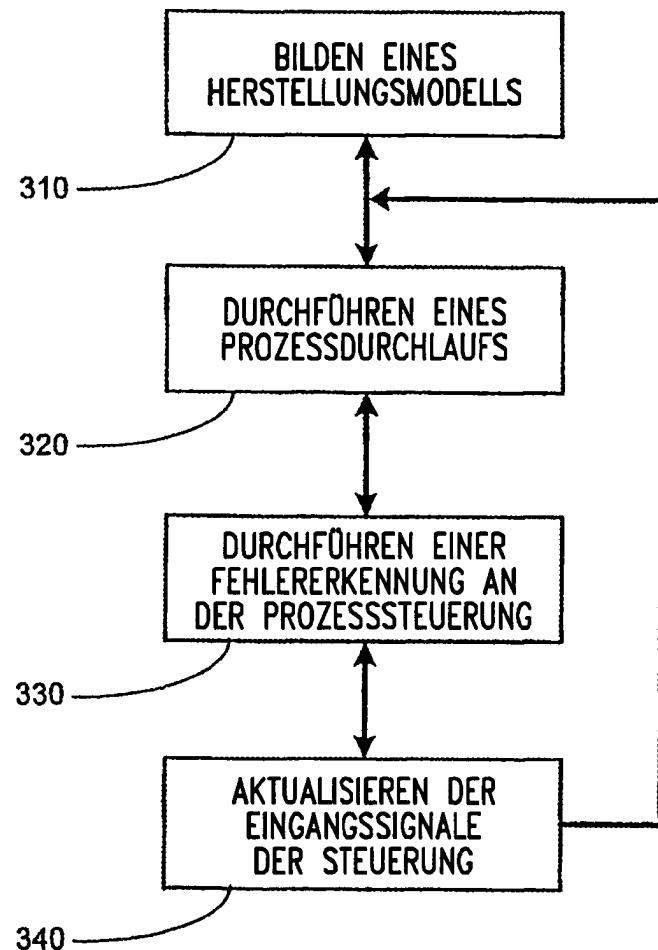


FIG. 3

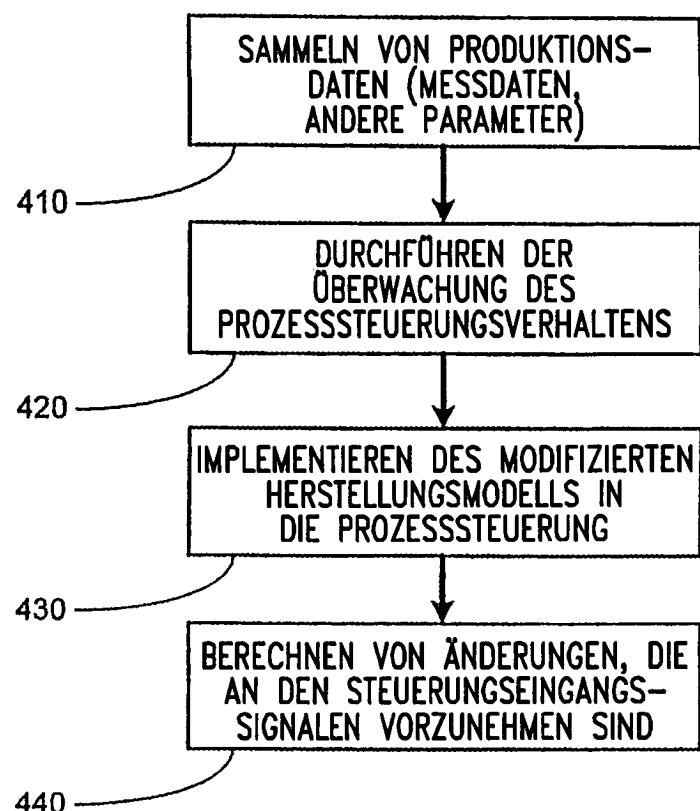


FIG. 4

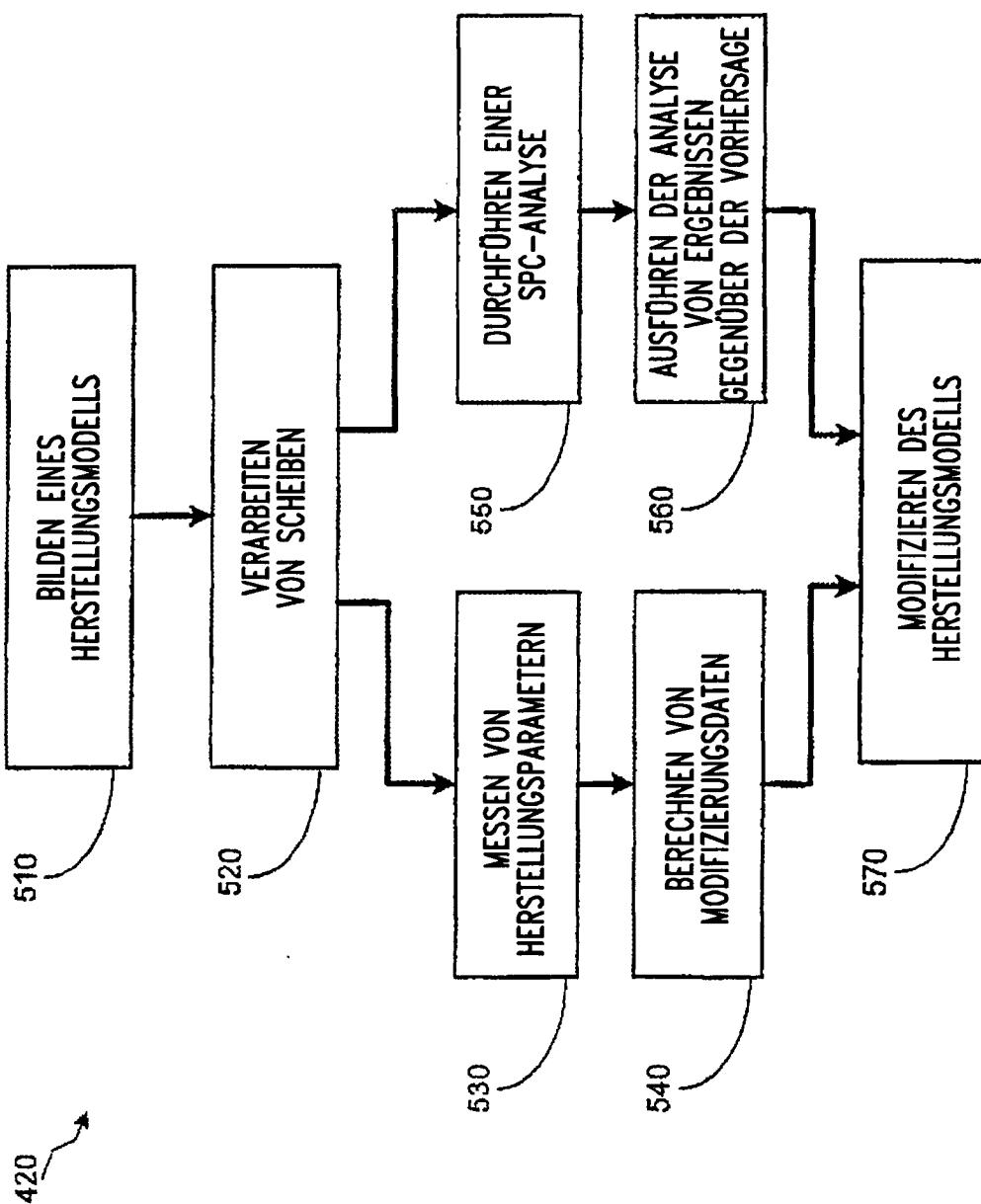


FIG. 5

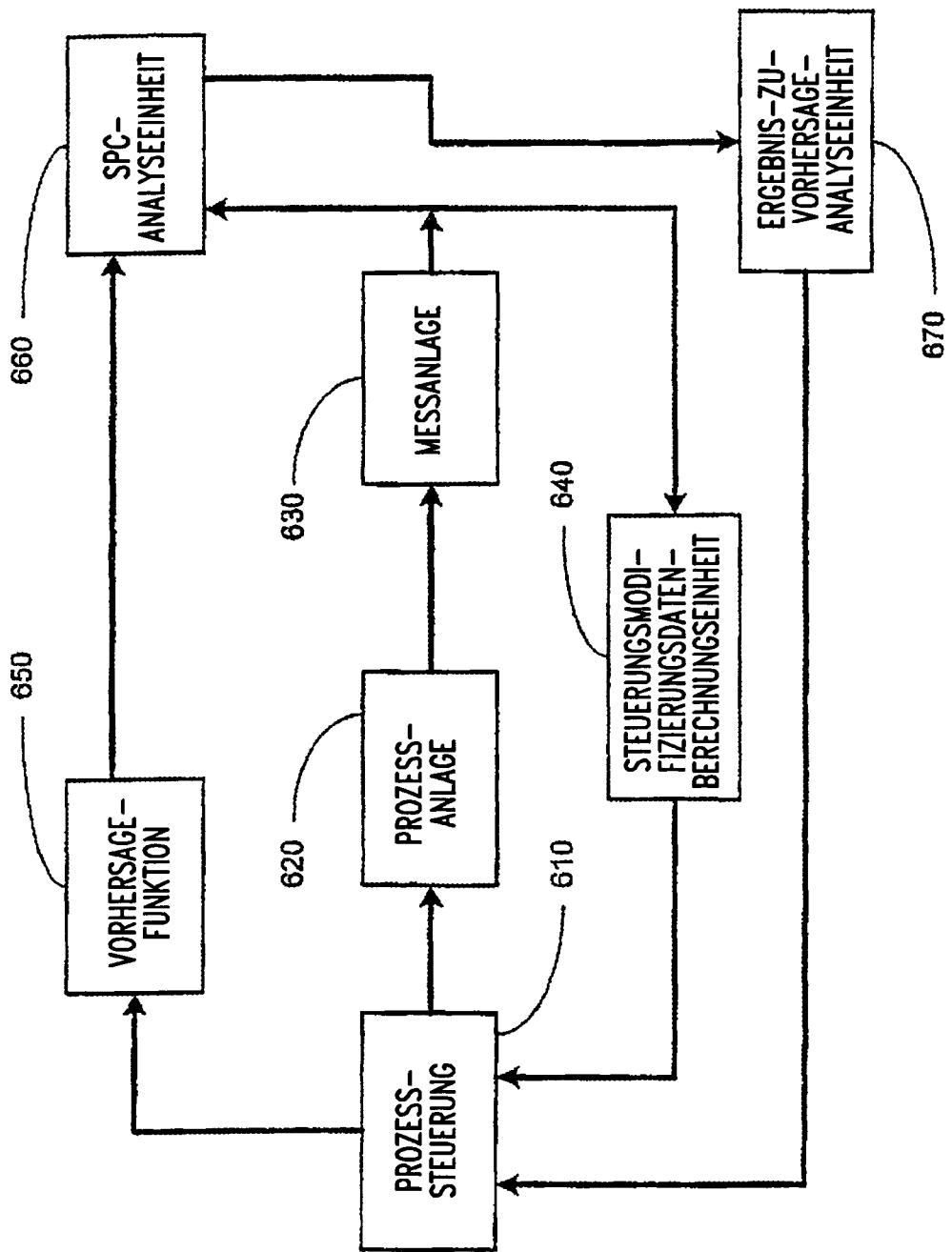


FIG. 6