



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 698 32 619 T2 2006.08.17

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 002 329 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 698 32 619.9

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US98/12189

(96) Europäisches Aktenzeichen: 98 929 014.3

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 1999/008306

(86) PCT-Anmeldetag: 10.06.1998

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 18.02.1999

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 24.05.2000

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 30.11.2005

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 17.08.2006

(51) Int Cl.⁸: H01J 37/304 (2006.01)

H01J 37/317 (2006.01)

H01L 21/66 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

907310 06.08.1997 US

(73) Patentinhaber:

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

(74) Vertreter:

Grünecker, Kinkeldey, Stockmair &
Schwanhäusser, 80538 München

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, NL

(72) Erfinder:

SHOPBELL, L., Marline, Buda, US

(54) Bezeichnung: KOMPENSIERUNG IN EINEM HALBLEITER-HERSTELLUNGSPROZESS MITTELS
NICHT-GLEICHMÄSSIGEM IONEN-IMPLANTIERUNGSVERFAHREN

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**HINTERGRUND DER ERFINDUNG****1. GEBIET DER ERFINDUNG**

[0001] Diese Erfindung betrifft das Gebiet der Halbleiterbearbeitung und betrifft insbesondere ein Verfahren und eine Vorrichtung, die ortsabhängige Schwankungen in Halbleiterprozessen kompensieren, indem ungleichförmige Ionenimplantationsverteilungsprofile über die Scheibenprofile hinweg verwendet werden.

2. BESCHREIBUNG DES STANDS DER TECHNIK

[0002] Die Herstellung integrierter Schaltungen beinhaltet das physikalische und chemische Bearbeiten von Halbleiterscheiben, d. h. typischerweise von Siliziumscheiben. Die Bearbeitung von Scheiben kann das Einführen externer Stoffgattungen (durch Diffusion oder Implantation) in das Substrat, das Strukturieren mittels photolithographischer Techniken, das Entfernen von Material unter Anwendung von Nass- oder Trockenätzungen, das Polieren unter Anwendung mechanischer und/oder chemischer Materialien, chemische und/oder physikalische Dampfabscheidung oder das Aufwachsen von Filmen sowie andere physikalische und chemische Prozesse beinhalten.

[0003] Jede Scheibe ist in mehrere Gebiete unterteilt, die als Chipfläche bezeichnet werden, deren Anzahl von der Größe jeder Chipfläche und der Größe der Scheibe abhängt. Die unterschiedlichen Chipflächen oder „Chips“ können Mikroprozessoren, SRAMS, DRAMS, Flash-Speicher und andere Formen integrierter Schaltungen sein. In den vergangenen 25 Jahren hat sich der Durchmesser von Siliziumscheiben ständig von weniger als 1 Inch auf 8 Inch (200 mm) vergrößert, der gegenwärtig von vielen halbleiterherstellenden Firmen verwendet wird.

[0004] Während der gesamten Entwicklungszeit der Halbleiterscheibenbearbeitung war es immer eine Herausforderung, physikalische und chemische Prozesse zu entwickeln, die gleichförmige Ergebnisse über die gesamte Oberfläche der Scheibe hinweg erzeugen. Das Vergrößern des Scheibendurchmessers führt dazu, dass diese Aufgabe des Erzeugens gleichförmiger Ergebnisse noch anspruchsvoller ist. Die Siliziumscheibe selbst weist bereits zu Beginn gewisse positionsabhängige Schwankungen auf. Es wird einkristallines Silizium aus der Schmelze eines elektronisch abgestuften poly-kristallinen Siliziums („EGS“) gezogen, das geringe Menge an Verunreinigungen enthält. EGS wird hergestellt, indem Rohsilizium bearbeitet und gereinigt wird. Wenn der Kristall allmählich aus der Schmelze gezogen wird, wächst er, dehnt sich aus und kühlst sich in einem einzelnen Kristallblock ab, der räumliche Variationen hinsicht-

lich der Dotierstoffpegel aufweist. Diese Schwankungen können von einem Ende zum anderen des zylindrischen Einkristalls auf Grund der Verarmung von Dotierstoffen in dem Schmelzmaterial während des Ziehens sein, und/oder können Schwankungen sein, die sich von der Mitte des zylindrischen Kristallblocks radial nach außen ergeben. Der Kristallblock wird dann in dünne Scheiben geschnitten, die chemische, mechanische und elektrische Unterschiede von Scheibe zu Scheibe aufweisen, die auch radial über jede Scheibe hinweg ausgeprägt sein können.

[0005] Nachfolgende Bearbeitungsschritte, etwa das Dotieren und Ätzen, wurden an Kristallblock-scheiben (oder Wafers) anfänglich mittels Gruppen aus Scheiben, die als Scheiben-„Durchläufe“ bezeichnet werden, ausgeführt. Beispielsweise wurde beim Nassätzen ein Behälter mit mehreren Scheiben in ein Säurebad getaucht, oder beim thermischen Ausheizen wurde ein Behälter mit mehreren Scheiben in große Öfen eingebracht. In den meisten Fällen der Gruppenbearbeitung zeigen die Scheiben Unterschiede in chemischen, mechanischen und elektrischen Parametern zwischen einzelnen Scheiben und auch über eine Scheibe hinweg. Mit zunehmendem Durchmesser der Scheiben wurden mehr Prozessanlagen entwickelt, um die Scheiben einzelnen zu bearbeiten. Die Bearbeitung einzelner Scheiben verringerte die Schwankungen von Scheibe zu Scheibe, indem Prozessparameter von einer Scheibe zu einer anderen variiert wurden, um damit die anfängliche Parameterverschiedenheit zu kompensieren. Das Prozessvolumen reduzierte sich und jede Scheibe war exakt den gleichen Gasdurchflussraten, Temperaturen, etc. ausgesetzt. In großen Diffusionsöfen gibt es Temperaturunterschiede zwischen vorne und hinten und Verarmungseffekte im Hinblick auf vorne und hinten.

[0006] Jedoch blieb die radiale Schwankungsbreite oder die Schwankungsbreite über die Scheibe hinweg (d. h. die örtliche Schwankung) bestehen. Mit der Reduzierung der kritischen Abmessungen bis in den Bereich unter 1 µm wurde die örtliche Gleichförmigkeit von Prozessen über jede Scheibe hinweg noch entscheidender, da Bauelemente mit kritischen Abmessungen deutlich unter 1 µm eine geringere Toleranz im Hinblick auf Prozessungleichförmigkeiten zeigen.

[0007] Der anfängliche Schaltungsentwurf beruht darauf, dass Halbleiterprozesse gleichförmige Ergebnisse über die gesamte Scheibentopographie hinweg ergeben. Der Entwurf einer integrierten Schaltung ist lediglich dann optimal, wenn gleichförmige mechanische, chemische und elektrische Parameter über eine Scheibe hinweg vorherrschen. Diese Entwurfsparameter können beispielsweise die Einstellspannung, die Durchschlagsspannung, der Stromverbrauch und die Schaltgeschwindigkeit sein.

Da jedoch die meisten Halbleiterprozesse ungleichförmige Ergebnisse über die Scheibentopographie hinweg erzeugen, können einige der Entwurfspараметer außerhalb der akzeptablen Entwurfsgrenzen in gewissen Bereichen der Scheibe liegen. Für kleine örtliche Schwankungen in den Halbleiterprozessen können die Entwurfspараметer außerhalb der akzeptablen Entwurfsgrenzen liegen, wobei die Bauelemente dennoch funktionsfähig sind. Mit zunehmenden Schwankungen können jedoch die Bauelemente schließlich gänzlich fehlerhaft sein. Ausbeuteverluste, die ein Ergebnis örtlicher Schwankungen in den Herstellungsprozessen sind, bilden ein wesentliches Problem bei der Herstellung integrierter Schaltungen.

[0008] Es besteht daher ein Bedarf, ein Verfahren und eine Anlage bereitzustellen, die zunächst in genauer Weise ortsabhängige Schwankungen auf Grund der Herstellungsprozesse über die Scheibe hinweg messen und bestimmen. Das Verfahren und die Anlage sollten dann in der Lage sein, diese ortsabhängigen Schwankungen zu kompensieren. Ein derartiges Verfahren und eine Anlage würde zu Entwurfsparametern führen, die innerhalb der akzeptablen Entwurfsgrenzen liegen, oder möglichst nahe an einem optimalen Wert liegen, d. h. nicht nur innerhalb eines Gebiets der Scheibe, sondern über die gesamte Scheibentopographie hinweg.

ÜBERBLICK ÜBER DIE ERFINDUNG

[0009] Diese Aufgaben werden gelöst mittels des im Anspruch 1 beanspruchten Verfahrens und mittels der Vorrichtung des Anspruchs 13.

[0010] Die vorliegende Erfindung kompensiert bereits bestehende ortsabhängige Schwankungen gewisser Entwurfspараметer durch Ändern des Dotierstoffprofils in einem oder mehreren Ionenimplantationsschritten. Zunächst werden unter Anwendung von Messanlagen die physikalischen, chemischen und elektrischen Parameter von Bauelementen, die sich über die Scheibe hinweg verteilen, gemessen und aufgezeichnet. Die Entwurfsparameter der Bauelemente, d. h. die Parameter, die innerhalb gewisser Entwurfsgrenzen bleiben müssen, werden identifiziert. Auf Grund der örtlichen Schwankung in einigen der Halbleiterprozesse können einige der gemessenen Entwurfsparameter innerhalb akzeptabler Entwurfsgrenzen in einigen Bereichen der Scheiben liegen, diese jedoch in anderen Bereichen verfehlten. In diesem Falle wird ein Computermodell der Bauelemente zusammen mit den aufgezeichneten Parametern verwendet, um den geeigneten Ionenimplantationsgradienten zu bestimmen, der anzuwenden ist, um damit den aufgezeichneten Parametergradienten zu kompensieren. Der Dotierstoffprofilgradient der Ionenimplantation kann beispielsweise als ein neuer Source/Drain-Dotierstoffprofilgradient, als ein neuer Einsetzspannungs-Einstelldotierstoffprofilgradient

oder als ein Kanal-Stopp-Dotierstoffprofilgradient verwendet werden. Er könnte auch als ein modifiziertes Profil für eine standardmäßige Prozessimplantation verwendet werden. Die Ionenimplantationsdotierstoffprofile werden berechnet und über die Scheibe hinweg so variiert, dass sichergestellt ist, dass alle implantationsnachgeordneten Parametern innerhalb akzeptabler Entwurfsgrenzen über die gesamte Scheibenoberfläche hinweg liegen.

[0011] Die Ionenimplantation ist das bevorzugte Verfahren zum Kompensieren der ortsabhängigen Schwankungen auf Grund der Fähigkeit, den Ausgangsstrahl der Ionenimplantationsanlage über eine Scheibe hinweg zu variieren. Implantationsenergien können erhöht oder verringert werden, indem die an die Beschleunigerröhre angelegte Spannung geändert wird. Wenn die Abtasterplatten den Ionenstrahl über die Scheibenoberfläche hinweg führen, kann eine unterschiedliche Energie an unterschiedlichen Abtastpositionen ausgewählt werden, um einen Dotierstoffgradienten in ausgewählten Tiefen über die Scheibenoberfläche hinweg zu erreichen. Zusammen mit der Energie kann die Dosis der Implantation als eine Funktion des Ortes gesteuert werden, um eine Dotierstoffprofil mit veränderlichen Konzentrationen über die Scheibenfläche hinweg zu erhalten. Des weiteren kann der Zeitablauf, der von dem Abtaster ausgeführt wird, geändert werden, um ein nicht lineares Muster zu erzeugen. Mit einem derartigen Muster kann der Ionenstrahl in einigen Bereichen Scheibe länger gehalten werden, was zu einer höheren Dotierstoffkonzentration in diesen Bereichen führt.

[0012] Allgemein gesagt, beinhaltet die vorliegende Erfindung ein Verfahren zum Kompensieren ortsabhängiger Schwankungen über ein Halbleiterscheibe hinweg in Bezug auf gemessene Parameter von Bauelementen, die in und auf der Halbleiterscheibe ausgebildet sind. Es wird ein Prozess ausgeführt, um ein Bauelement auf und/oder in der Halbleiterscheibe herzustellen. Es werden mehrere mit dem Prozess verknüpfte Parameter an einer Stelle der Halbleiterscheibe gemessen. Die mehreren Parameter umfassen eine Dotierstoffkonzentration und einen Entwurfsparameter, der innerhalb der Entwurfserfordernisse liegen soll. Es wird dann eine Ionenimplantation an dieser Stelle ausgeführt. Die Einstellungen für die Ionenimplantation werden unter Anwendung eines Computermodells des Bauelements bestimmt. Die Einstellungen werden so bestimmt, dass der Entwurfsparameter näher an den Entwurfserfordernissen als ein vorhergehender Wert des Parameters liegt.

[0013] Das Ausführen eines Prozesses umfasst vorzugsweise das Ausführen von Ionenimplantationen, das Ausführen von Abscheidungen von Schichten, das Ausführen der Strukturierung von Materialien, das Ätzen von Materialien oder das thermische

Aufwachsen von Schichten. Die Halbleiterscheibe umfasst eine epitaktische Schicht aus leicht dotiertem einkristallinen Silizium.

[0014] Das Messen mehrerer Parameter umfasst vorzugsweise das Messen mehrerer physikalischer, chemischer und elektrischer Parameter. Das Messen mehrerer physikalischer Parameter umfasst das Messen mehrerer Entwurfsabmessungen der Bauelemente. Das Messen mehrerer chemischer Parameter umfasst das Messen von Dotierstoffprofilen und die chemische Zusammensetzung von Materialien. Das Messen mehrerer elektrischer Parameter umfasst das Messen eines Schichtwiderstands von Schichten, das Messen einer Kapazität zwischen Entwurfspunkten, das Messen von Einsetzspannungen, das Messen von Betriebsspannungen, das Messen einer Stromaufnahme, einer Verzögerungszeit, einer Antwortzeit und das Messen von Durchschlagsparametern.

[0015] Der Entwurfsparameter umfasst vorzugsweise die Schwellwert- bzw. Einsetzspannung, die Betriebsspannung, einen Stromverbrauch und die Schaltgeschwindigkeit. Das Ausführen der Ionenimplantation umfasst das Implantieren von Source/Drain-gebieten, das Ausführen von Implantationen zur Einstellung des Schwellwerts, das Implantieren von Gateleitern, das Ausführen von Kanal-Stopp-Implantationen und das Ausführen von Wannen- bzw. Potentialtopfimplantationen. Die Einstellungen der Ionenimplantationsanlage umfassen vorzugsweise die Zeitablaufsteuerung von X-Achsen- und Y-Achsen-Abtasterplatten, Implantationsenergien als eine Funktion von X- und Y-Implantationskoordinaten und die Implantationsdosis als eine Funktion der X- und Y-Implantationskoordinaten.

[0016] Die vorliegende Erfindung umfasst ferner ein Verfahren zum Verbessern der Ausbeute von akzeptablen Chipflächen auf einer Halbleiterscheibe. Es werden mehrere physikalische, chemische und elektrische Parameter von auf einer Scheibe oder auf mehreren Scheiben ausgebildeten Bauelementen gemessen und entsprechend ihrer Position auf der Scheibe aufgezeichnet. Die physikalischen, chemischen und elektrischen Parameter werden dann analysiert, um eine örtliche Verteilungen dieser Parameter, die lageabhängig sind, abzuleiten.

[0017] Es wird dann ein Computermodell zusammen mit den räumlichen Verteilungen der physikalischen, chemischen und elektrischen Parameter angewendet, um ein Ionenimplantationsdotierstoffprofil zu bestimmen, das dazu dient, die gemessenen Parameter in Richtung auf einen gewünschten optimalen Wert innerhalb der Entwurfsgrenzen zu verschieben oder zu versetzen. Es werden „versetzte“ Ionenimplantationssteuerungsaktivitäten programmiert, um das Versetzen bzw. „Verschieben“ des

Ionenimplantationsdotierstoffprofils auszuführen. Der Fertigungsprozess wird dann für den nächsten Satz aus Scheiben unter Anwendung des neuen Ionenimplantationsprofils wiederholt. Eine Einstellung kann auch auf der Grundlage der Einstellung einzelner Scheiben, oder kann auf der Grundlage eines Satzes aus Scheiben ausgeführt werden.

[0018] Der Fertigungsprozess umfasst Ionenimplantationen, Abscheiden von dünnen Schichten, Ätzen von Materialien und das thermische Aufwachsen von Schichten. Das Messen mehrerer physikalischer Parameter umfasst das Messen mehrerer Entwurfsparameter der Bauelemente. Das Messen mehrerer chemischer Parameter umfasst das Messen von Dotierstoffkonzentrationen und chemischen Zusammensetzungen von Materialien. Das Messen mehrerer elektrischer Parameter umfasst das Messen von Schichtwiderständen von Schichten, das Messen der Kapazität zwischen Entwurfspunkten, das Messen von Schwellwertspannungen, das Messen von Betriebsspannungen und das Messen der Stromaufnahme.

[0019] Zu den zu messenden Parametern können gehören: die Schwellwert- bzw. Einsetzspannung, die Betriebsspannung, der Stromverbrauch und die Schaltgeschwindigkeit. Die Ionenimplantationsdotierstoffprofile umfassen die Source/Dotierstoffprofile, die Dotierung zur Schwellwerteinstellung, die Gateleiterdotierung, die Kanal-Stopp-Dotierung und die Potentialtopfdotierung. Der Schritt des Programmierens mehrerer Steuerungsaktivitäten einer Ionenimplantationsanlage umfasst das Umprogrammieren bzw. das Neueinstellen der Zeitabläufe für die X-Achsen- und Y-Achsen-Abtastplatten, das Umprogrammieren bzw. das Neueinstellen der Implantationsenergie als eine Funktion von X- und Y-Implantationskoordinaten, das Umprogrammieren bzw. das Neueinstellen der Implantationsdosis als eine Funktion der X- und Y-Implantationskoordinaten.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0020] Weitere Aufgaben und Vorteile der Erfindung gehen aus dem Studium der folgenden detaillierten Beschreibung unter Bezugnahme auf die begleitenden Zeichnungen hervor, in denen:

[0021] [Fig. 1](#) eine schematische Ansicht einer Ionenimplantationsanlage ist, deren Ausgangsstrahl selektiv zur Änderung physikalischer, chemischer und elektrischer Parameter, die in und auf einer Scheiben topographie ausgebildet sind, veränderbar ist.

[0022] [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm ist, das die zur Kompensierung örtlicher Schwankungen von Parametern, die in einem Halbleiterfertigungsprozess gebildet wurden, angewendeten Schritte beschreibt.

[0023] [Fig. 3](#) ein Graph ist, der die Verteilung von beispielsweise der an diversen Gebieten über die Scheibentopographie hinweg vor der Kompensierung gemessenen Schwellwertspannung zeigt.

[0024] [Fig. 4](#) ein Graph ist, der das Dotierprofil eines Dotierstoffes zeigt, der über die Scheibentopographie hinweg implantiert wird, um vorbestehende räumliche Fluktuationen, die in [Fig. 3](#) gezeigt sind, zu kompensieren.

[0025] [Fig. 5](#) ein Graph ist, der die Verteilung der Schwellwertspannung von Transistoren über die Scheibentopographie hinweg nach der Kompensierung zeigt.

[0026] Obwohl die Erfindung diversen Modifizierungen und alternativen Formen unterliegen kann, sind dennoch spezielle Ausführungsformen beispielhaft in den Zeichnungen gezeigt und werden im Weiteren detailliert beschrieben. Es sollte jedoch beachtet werden, dass die Zeichnungen und die detaillierte Beschreibung nicht beabsichtigen, die Erfindung auf die spezielle offenbare Form einzuschränken, sondern die Erfindung soll vielmehr alle Modifizierungen, Äquivalente und Alternativen abdecken, die innerhalb des Schutzbereichs der vorliegenden Erfindung liegen, wie sie durch die angefügten Patentansprüche definiert ist.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER BEVOR-ZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0027] In Anbetracht der physikalischen und chemischen Rahmenbedingungen vieler Halbleiterprozesse, die bei der Herstellung von integrierten Schaltungen verwendet wird, ist es nicht möglich, alle Faktoren zu eliminieren, die zu ortsabhängigen Schwankungen über die Scheibentopographie hinweg führen. Moderne Halbleitermessanlagen sind in der Lage, in genauer Weise viele Parameter zu messen und zu charakterisieren, die mit den Halbleiterbauelementen über die Scheibe hinweg verknüpft sind, wozu Entwurfsparameter gehören. Entwurfsparameter sind Parameter, die innerhalb gewisser Entwurfsgrenzen bleiben müssen, um ein gewisses Verhalten und Kompatibilität der Bauelemente zu gewährleisten. Unter der Annahme, dass ein genaues Profil aller Parameter gemessen und im Verhältnis zur Position, in der diese auf der Scheibe gemessen werden, aufgezeichnet werden können, können Implantationsdotierstoffprofile abgeleitet werden, um ortsabhängige Schwankungen von Entwurfsparametern zu kompensieren, die außerhalb einer spezifischen Entwurfsgrenze liegen. Die neuen Implantationskonzentrationsprofile werden unter Verwendung eines Computermodells der Bauelemente zusammen mit den gesammelten Daten hinsichtlich der Bauteilparameter berechnet.

[0028] Die Ionenimplantation wurde zu der bevorzugten Technologie zum Einführen von Dotierstoffen in Zielmaterialien, die in Halbleiterprozessen angewendet wird. Die Ionenimplantation ist ein Prozess, in der energiereiche geladene Atome oder Moleküle mittels einer Implantationsanlage beschleunigt und dann auf das Halbleitersubstrat gelenkt werden. Beschleunigungsenergien können im Bereich von weniger als 10 keV bis mehrere MeV für Hochenergieimplantationssysteme liegen.

[0029] [Fig. 1](#) zeigt einen schematischen Aufbau einer Ionenimplantationsanlage. Eine Ionenquelle **10** ionisiert die zu implantierende Gattung, um ein Plasma bei geringem Druck von typischerweise 0,133 Pascal (10^{-3} Torr) zu erzeugen. Eine Spannungsdifferenz im Bereich von 15 bis 40 kV wird dann zwischen der Ionenquelle **10** und Platten **20** angelegt, um die Ionen zu extrahieren und zu beschleunigen, die nunmehr einen Strahl **30** bilden. Der Strahl **30** wird nachfolgend durch eine Analysiereinrichtung **40**, die typischerweise einen Magneten umfasst, geführt, der räumlich den Strahl entsprechend den Ionenmassen seiner Bestandteile aufteilt. Der Analysator lenkt lediglich Ionen mit einer spezifischen Masse in Richtung auf das Ziel, während Verunreinigungen mit unterschiedlicher ionischer Masse an anderen Stellen ausgesondert werden.

[0030] Eine Beschleunigerröhre **50** erzeugt ein Beschleunigungsfeld, um die Ionenergie noch weiter auf den gewünschten Energiepegel zu erhöhen. Die Röhre **50** kann auch verwendet werden, um die Ionen abzubremsen, wenn die gewünschte Energie kleiner als die Extraktionsenergie ist. Ein Fokussierring **60** wird verwendet, um den Strahl in eine bandförmige oder runde Gestalt in Abhängig der Anwendung zu bringen. Platten **70** werden verwendet, um neutrale Komponenten aus dem Stahl auszusondern. Als Folge davon wird ein neutraler Stahl **80** von den Platten **70** nicht beeinflusst und wird daher von dem Ionenstrahl **90** abgetrennt, der in Richtung auf die Zielscheibe **100** abgelenkt wird. Der neutrale Strahl **80** wird mittels eines Auffangzieles **110** gestoppt.

[0031] Abtasterplatten **120** (X-Achse) und **130** (Y-Achse) dienen zum Steuern der Position des Ionenstrahls über die Oberfläche der Scheibe hinweg. Durch Anwenden der geeigneten Zeitsteuersequenz für die Platten kann die gesamte Scheibe durch den Ionenstrahl abgetastet werden. Zunächst wird die Zeitsteuersequenz, die auf die Platten angewendet wird, so ausgeführt, dass eine gleichförmige Dotierstoffverteilung über die gesamte Oberfläche der Scheibe hinweg sichergestellt wird.

[0032] Eine Ionenimplantation besitzt die Möglichkeit, die Anzahl der implantierten Dotierstoffatome in Substrate in präziser Weise innerhalb eines Bereichs von weniger als 1 % zu steuern. Für die Dotierstoff-

steuerung im Bereich von 10^{14} bis 10^{18} Atomen/cm³ ist eine Ionenimplantation klarer Weise genauer als chemische Abscheidetechniken und die Gasdiffusion. Die Massenseparierung durch die Ionenimplantationsanlage stellt eine sehr reine Dotierstoffgattung sicher. Auf Grund der präzisen Steuerung der Ionenimplantation mittels der Implantationsenergie, Dosis und der Position der Implantation ist die Ionenimplantation das bevorzugte Verfahren zum Korrigieren von ortsabhängigen Schwankungen in anderen Halbleiterprozessen.

[0033] Eine Steuereinheit **140** dient dazu, die unterschiedlichen Einstellung für die Ionenimplantationsanlage zu programmieren und zu steuern. Durch Steuern der Abtasterplatten **120** (X-Achse) und **130** (Y-Achse) unter Anwendung der Steuereinheit **140** wird die Position, an der die Ionen in die Scheibe implantiert werden, in präziser Weise gesteuert. Ferner wird die Zeitdauer, in der der Ionenstrahl an einer speziellen Position verharrt, ebenso in genauer Weise gesteuert. Wenn der Ionenstrahl über die Scheibe wandert (oder ein anderes Ziel), können die Dosis und die Energie als eine Funktion der Position unter Anwendung der Steuereinheit variiert werden. Beispielsweise kann ein unterschiedlicher Wert des Beschleunigungspotentials, das an die Beschleunigeröhre **50** angelegt wird, für jede Position des Ionenstrahls ausgewählt werden. Dies führt zu einem ungleichförmigen, aber gut gesteuerten Ionenimplantationsprofil über die Oberfläche der Scheibe hinweg.

[0034] Eine Ionenimplantation wird bei der Halbleiterfertigung durchgängig angewendet. Eine Ionenimplantation mit geringer Dosis (10^{11} bis 10^{12} Ionen/cm²) kann verwendet werden, um die Schwellwertspannung von Transistoren einzustellen, indem in das Kanalgebiet implantiert wird, um dessen Dotierstoffkonzentration zu ändern. Es können Ionen in das Halbleitersubstrat eingeführt werden, um die Source- und Draingebiete der Transistoren herzustellen. Die Polysiliziumgatestruktur eines Transistors kann ebenso dotiert werden, so dass sie eine geeignete Leitfähigkeit erhält, wobei dies gleichzeitig zur Source- und Draindotierung stattfinden kann. Ionenimplantationen können verwendet werden, um die Schwellwertspannung von parasitären Transistoren zu erhöhen, um damit die Wahrscheinlichkeit des Einschaltens eines derartigen Transistors zu minimieren. Eine starke Dotierung mit einer Ionenimplantation kann angewendet werden, um die Ätzeigenschaften von Materialien zu deren Strukturierung zu ändern.

[0035] Des weiteren besitzt die Ionenimplantation viele andere Vorteile, die sie geeignet zur Kompensierung für andere Halbleiterprozesse macht. Die implantierten Dotierstoffkonzentrationen unter Anwendung einer Ionenimplantation können innerhalb von 10% für Implantationen bei geringer Energie und innerhalb von 2% für Implantationen mit hoher Energie

vorhergesagt werden. Durch die Fähigkeit, die Menge der Dotierstoffe präzise vorherzusagen, die sich aus den speziellen Einstellungen der Ionenimplantationsanlage ergeben, wird die Möglichkeit geschaffen, dass geringe Korrekturen ausgeführt werden. Die Implantation kann durch Materialien hindurch ausgeführt werden, die bereits vorhanden sind, während andere Materialien als Masken verwendet werden können, um spezielle Dotierstoffprofile zu schaffen. Des weiteren kann mehr als eine Art an Dotierstoffen gleichzeitig und an der gleichen Position auf der Scheibe implantiert werden. Zu anderen Vorteilen gehört die Tatsache, dass die Ionenimplantation bei geringer Temperatur, die den Photolack nicht schädigt, und im Hochvakuum ausgeführt werden kann, wodurch eine saubere Umgebung sichergestellt ist.

[0036] [Fig. 2](#) zeigt ein Flussdiagramm, das das vorgeschlagene Verfahren zur Kompensierung der ortsabhängigen Schwankungen von Halbleiterprozessen beschreibt. Die Ionenimplantationsanlage wird anfänglich eingestellt, um gleichförmige Dotierstoffprofile über die Oberfläche der Scheibe hinweg zu erzeugen. Der Halbleiterfertigungsprozess beginnt mit diesen Dotierstoffprofilen. Es werden dann alle chemischen, physikalischen und elektrischen Parameter, die mit den Halbleiterprozessen in Verbindung stehen, unter Anwendung der geeigneten Messanlage gemessen und anschließend aufgezeichnet. Jeder Parameter wird über die gesamte Oberfläche der Scheibe hinweg gemessen, und es wird eine Ortsverteilung über die Oberfläche hinweg für jeden Parameter hergestellt.

[0037] Jedes Bauelement besitzt gewisse Entwurfsparameter, die innerhalb gewisser Entwurfsgrenzen liegen müssen, um ein vorgegebenes Leistungsverhalten und Kompatibilität mit anderen Bauelementen sicherzustellen. Die Schaltgeschwindigkeit eines Transistors, die Schwellwertspannung, die Betriebsspannung und der Stromverbrauch in unterschiedlichen Operationsmodi sind Beispiele derartiger Entwurfsparameter. Die Ortsverteilungen dieser Entwurfsgrenzen werden dann untersucht, um sicherzustellen, dass diese Parameter innerhalb der Entwurfsparameter über die gesamte Scheibenoberfläche liegen. Auf Grund der räumlichen Variation in gewissen Halbleiterprozessen können einige der Entwurfsparameter innerhalb akzeptabler Entwurfsgrenzen in einem Bereich der Scheibenoberfläche liegen, jedoch in einem anderen nicht. Beispielsweise kann das Gebiet im Zentrum der Scheibe einen Entwurfsparameter aufweisen, der die Entwurfserfordernisse erfüllt, während der gleiche Parameter für ein Gebiet nahe am Rand der Scheibe außerhalb der Entwurfsgrenzen liegen kann.

[0038] In diesem Falle werden alle gemessenen physikalischen, chemischen und elektrischen Parameter in ein Computermodell des speziellen Bauele-

ments eingespeist. Das Computermodell berechnet dann neue ungleichförmige Dotierprofile, um die ortsabhängigen Schwankungen, die durch andere Prozesse hervorgerufen werden, zu kompensieren. Es kann ein beliebiger der Implantationsschritte geändert werden, abhängig davon, welche Parameter korrigiert werden müssen. Zu Beispielen von Implantationsschritten, die geändert werden können, gehören Wannen- bzw. Potentialtopfimplantationen zum Einstellen des Schwellwerts, Source/Drain-Implantationen, Gatepolysiliziumimplantationen und Kanal-Stopp-Implantationen. Des weiteren kann bestimmt werden, dass in einem gewissen Gebiet der Scheibe ein zusätzlicher Implantationsschritt geeignet sein kann, um die ortsabhängigen Schwankungen zu korrigieren.

[0039] Wenn das geeignete Ionenimplantationsdotierstoffprofil bestimmt ist, wird die Steuerungssoftware der Ionenimplantationsanlage im Hinblick auf das gewünschte neue Dotierstoffprofil neu programmiert. Die gewünschten Ergebnisse können erreicht werden, indem mehrere unterschiedliche Steuerungseinstellungen der Implantationsanlage geändert werden. Es kann das Abtastmuster, das von den X-Achsen- und Y-Achsen-Abtasterplatten gesteuert wird, so geändert werden, dass die Implantationsanlage Ionen in gewisse Bereiche der Scheibe implantiert und in andere Bereiche nicht. Durch Anwenden nicht linearer Zeitablaufsequenzen für die X-Achsen- und Y-Achsen-Abtasterplatten kann die Zeitdauer, die der Ionenstrahl an einer speziellen Stelle verweilt, in genauer Weise gesteuert werden, um ein ungleichförmiges Profil zu erzeugen. In Systemen mit einem stationären Ionenstrahl und einer bewegbaren Scheibenhalterung kann das Bewegungsmuster für die Scheibenhalterung entsprechend neu programmiert werden.

[0040] Die Energie des Ionenstrahls kann eingestellt werden, indem die an die Strahlbeschleunigeröhre angelegte Spannung gesteuert wird. Es kann eine gewisse Spannung entsprechend jeweils der X- und Y-Koordinate des Strahls angelegt werden, um ein Profil von Implantationstiefe über die Oberfläche der Scheibe hinweg zu erhalten. In ähnlicher Weise kann die Dosis der Implantation als eine Funktion der X- und Y-Koordinate des Strahls eingestellt werden, um ein Profil einer Dotierstoffkonzentration über die Oberfläche der Scheibe hinweg zu erhalten. In allen Fällen können geringe Änderungen an dem Implantationsprofil jederzeit durchgeführt werden. Die Entwurfsparameter werden am Ende der nächsten Fertigungssequenz erneut untersucht und bei Bedarf werden erneut kleine Änderungen durchgeführt.

[0041] Als ein Beispiel, wie das Verfahren angewendet werden kann, sei eine Scheibe mit NMOS-Transistoren zugrunde gelegt, die eine Sollschwellspannung von 1,2 Volt aufweisen. NMOS-Transisto-

ren sind Metall-Oxid-Halbleiter-Transistoren, die in einem P-Substrat ausgebildet sind und ein Sourcegebiet und ein Draingebiet aufweisen, das n-dotiert ist. Der Kanal eines derartigen Transistors, der zwischen dem Sourcegebiet und dem Draingebiet ausgebildet ist, wird n-leitend, wenn eine gewisse Schwellspannung an das Gate des Transistors über dem Kanal angelegt wird und der Transistor einschaltet. Es sei angenommen, dass entsprechend den Entwurfsspezifikationen ein akzeptabler Bereich für die Schwellspannung 1,0 bis 1,4 Volt beträgt.

[0042] [Fig. 3](#) zeigt einen Graphen der Schwellspannung der NMOS-Transistorenverteilung über die Scheibenoberfläche hinweg. Die Transistoren in der Mitte der Scheibe liegen innerhalb der akzeptablen Entwurfsspezifikationen, während die Transistoren nahe am Rand der Scheibe nicht innerhalb der Spezifikationen liegen. Beispielsweise besitzt eine Position A einen Schwellspannungswert, der außerhalb der akzeptablen Entwurfsspezifikationen liegt.

[0043] Ein Verfahren zum Verschieben der Schwellspannung liegt darin, die Implantation für die Schwellwerteinstellung in dem Kanalbereich des Transistors auszuführen. Es kann entweder ein p- oder ein n-Dotierstoff in das Kanalgebiet eingeführt werden, um damit die bestehende Hintergrunddotierung zu erhöhen bzw. zu erniedrigen. In diesem Beispiel kann Bor eingeführt werden, um die Schwellspannung zu erhöhen. Das gewünschte räumliche Dotierprofil des Bors ist in [Fig. 4](#) gezeigt. Eine höhere Konzentration wird für den äußeren Bereich der Scheibe gewählt, wo die erforderliche Korrektur des Schwellwerts am höchsten ist, während keine Implantation in der Nähe des Zentrums der Scheibe ausgeführt wird, wo die Schwellspannung innerhalb der Entwurfsgrenzen liegt. Z. B. wird eine Dosis von ungefähr $2,2 \times 10^{12}$ Ionen/cm² an einer Position A aus [Fig. 4](#) implantiert. Die korrigierte räumliche Verteilung der Schwellspannung ist in [Fig. 5](#) gezeigt. Die Schwellspannung liegt nun innerhalb des akzeptablen Bereichs über die gesamte Scheibenoberfläche hinweg. Die Schwellspannung an der Position A aus [Fig. 5](#) ist nunmehr so dargestellt, dass diese ungefähr 1,05 Volt beträgt, was nunmehr innerhalb des akzeptablen Entwurfsspezifikationsbereichs liegt.

[0044] Der Fachmann erkennt, wenn er im Besitz der Lehre der vorliegenden Erfindung ist, dass ortsabhängige Schwankungen in elektrischen, physikalischen und chemischen Parametern von Halbleiterscheiben kompensiert werden können. Ferner ist die hierin gezeigte und beschriebene Form der Erfindung als beispielhafte gegenwärtig bevorzugte Ausführungsformen zu betrachten. Es können diverse Modifizierungen und Änderungen durchgeführt werden, ohne von dem Schutzbereich der Erfindung abzuweichen, wie sie in den Patenansprüchen dargestellt ist.

Die nachfolgenden Patentansprüche sollen so interpretiert werden, dass diese alle derartigen Modifizierungen und Änderungen mit einschließen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Bauelementen aus einer Halbleiterscheibe, wobei das Verfahren umfasst:

Ausführung mehrerer Prozessschritte, um ein Bauelement auf und in der Halbleiterscheibe herzustellen, gekennzeichnet durch

Messen mehrerer Parameterwerte, die mit dem Prozess verknüpft sind,

wobei das Messen an einer Reihe von Positionen der Halbleiterscheibe ausgeführt wird und wobei ferner die mehreren Parameterwerte einen Entwurfspараметer umfassen, der innerhalb von Entwurfsvorgaben bleiben muss; und

Ausführen einer Ionen-Implantation an der Reihe von Positionen, wobei Einstellungen für Ionen-Implantationen verwendet werden, die unter Anwendung eines Computer-Modells bestimmt sind, und wobei die Einstellungen so vorbestimmt werden, dass ein Wert des Entwurfsparameters für jede Position näher an den Entwurfserfordernissen liegt als ein Wert des Parameters vor dem Ausführen der Ionen-Implantation, wodurch örtliche Fluktuationen in den Parameterwerten von Bauelementen, die auf der Halbleiterscheibe hinweg ausgebildet sind, kompensiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Entwurfspараметer einen Parameter für eine Einsetzspannung, eine Betriebsspannung, eine Stromaufnahme, eine Schaltgeschwindigkeit, eine Verzögerungszeit, eine Rektionszeit oder einen Durchschlag umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Ausführen einer Ionen-Implantation eine Implantation an einer Position auf einer anderen Halbleiterscheibe umfasst, wobei die Position auf der anderen Halbleiterscheibe ähnlich liegt im Vergleich zu der Position auf der Halbleiterscheibe.

4. Verfahren nach Anspruch 1, wobei:
die mehreren Prozessschritte zur Ausbildung mehrerer Bauelemente auf der Halbleiterscheibe führen; und wobei der Messschritt umfasst:
Messen eines Parameters jedes der mehreren Bauelemente, um eine Ortsverteilung des Parameters über eine Oberfläche der Halbleiterscheibe hinweg zu bestimmen; und
wobei die Einstellungen entsprechend einer X-Koordinate und einer Y-Koordinate über die Halbleiterscheibe hinweg variieren, um die örtlichen Fluktuationen zu reduzieren.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, wobei der Schritt des Ausführens mehrerer Prozessschritte um-

fasst: Ausführen von Ionen-Implantationen, Ausführen von Abscheide-Prozessen von Schichten, Ausführen der Strukturierung von Materialien, Ausführen des Ätzens von Materialien oder Ausführen eines thermischen Wachstumsprozesses von Schichten.

6. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, wobei der Schritt des Messens mehrerer Parameter Messen mehrerer physikalischer, chemischer oder elektrischer Parameter umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Schritt des Messens mehrerer physikalischer Parameter Messen kritischer Abmessungen oder Messen von Brechungsindizes umfasst.

8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Schritt des Messens mehrerer chemischer Parameter Messen von Dotierprofilen oder von chemischen Zusammensetzungen von Materialien umfasst.

9. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Schritt des Messens mehrerer elektrischer Parameter umfasst: Messen von Schichtwiderständen von Schichten, Kapazitäten zwischen kritischen Punkten, Einsetzspannungen, Betriebsspannungen, Stromaufnahmen, einer Verzögerungszeit, einer Reaktionszeit oder von Durchschlagsparametern.

10. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, wobei der Schritt des Ausführens der Ionen-Implantation umfasst: Implantieren von Source/Drain-Gebieten, Ausführen einer Einsetzspannungsjustierimplantation, Implantieren von Gate-Leitern, Ausführen von Kanal-Stopp-Implantationen oder Ausführen von Potentialtopf-Implantationen.

11. Verfahren nach Anspruch 1 oder 4, wobei die Einstellungen der Ionen-Implantation Zeitsteuersequenzen von X-Achsen- und Y-Achsen-Abtasttischen, Implantationsenergien als eine Funktion von X- und Y-Implantations-Koordinaten und eine Implantationsdosis als eine Funktion von X- und Y-Implantationskoordinaten umfassen.

12. Verfahren nach Anspruch 4, wobei das Ausführen einer Ionen-Implantation umfasst: Implantieren über eine Oberfläche einer weiteren Halbleiterscheibe hinweg, die separat zu der Halbleiterscheibe vorgesehen ist.

13. Programmierbare Ionen-Implantationsanlage mit:
einer Ionenquelle (10), wobei die Ionenquelle einen Dotierstoff ionisiert, der in eine Halbleitertopographie zu implantieren ist;
einer Beschleunigungspotentialeinrichtung (50), wobei das Beschleunigungspotential eine Implantationsenergie des Dotierstoffes bestimmt; und wobei die Energie als eine Funktion des Ortes, an welchem

der Dotierstoff zu implantieren ist, gesteuert ist; einem X-Achsen-Abtasttisch (**120**) und einem Y-Achsen-Abtasttisch (**130**), wobei die Abtasttische eine Position steuern, an der der Dotierstoff zu implantieren ist, und wobei die Position als eine Funktion der Zeit gesteuert ist, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (**140**) zur Steuerung der Implantationsanlage, wobei eine Dosis und eine Implantationsenergie des Dotierstoffes als Funktion einer Implantationsposition gesteuert sind, um örtliche Fluktuationen in einem Parameter von Bauelementen, die über eine Halbleiterscheibe hinweg gebildet sind, zu reduzieren.

14. Ionen-Implantationsanlage nach Anspruch 13, wobei der Dotierstoff Bor oder Stickstoff oder Phosphor oder Arsen aufweist.

15. Ionen-Implantationsanlage nach Anspruch 13, wobei die Halbleiterscheibe eine epitaktische Schicht umfasst, die auf einem stark dotierten Silizium Vollsubstrat ausgebildet ist, wobei ein Widerstand der epitaktischen Schichten im Bereich von ungefähr 10–15 Ohm × cm liegt.

16. Ionen-Implantationsanlage nach Anspruch 13, wobei das Beschleunigungspotential ungefähr 1 keV bis 100 MeV beträgt.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

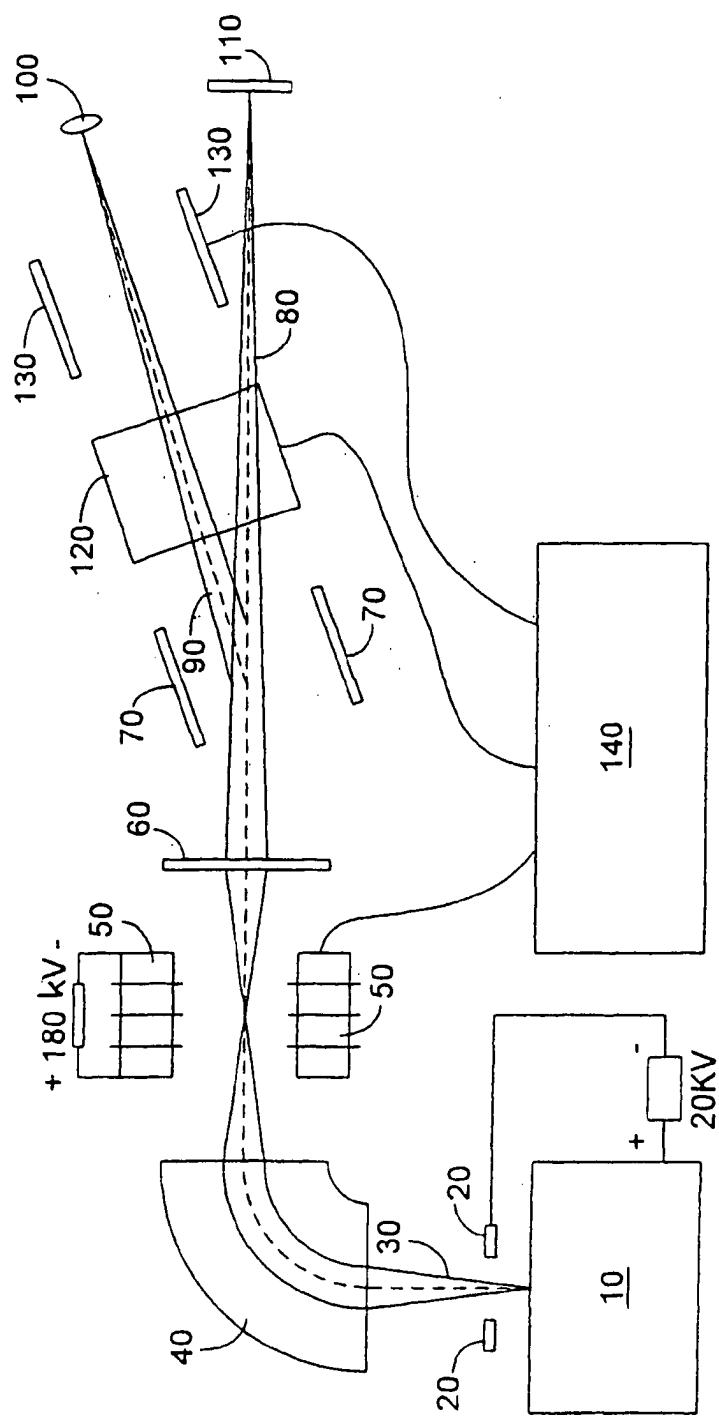


FIG. 1

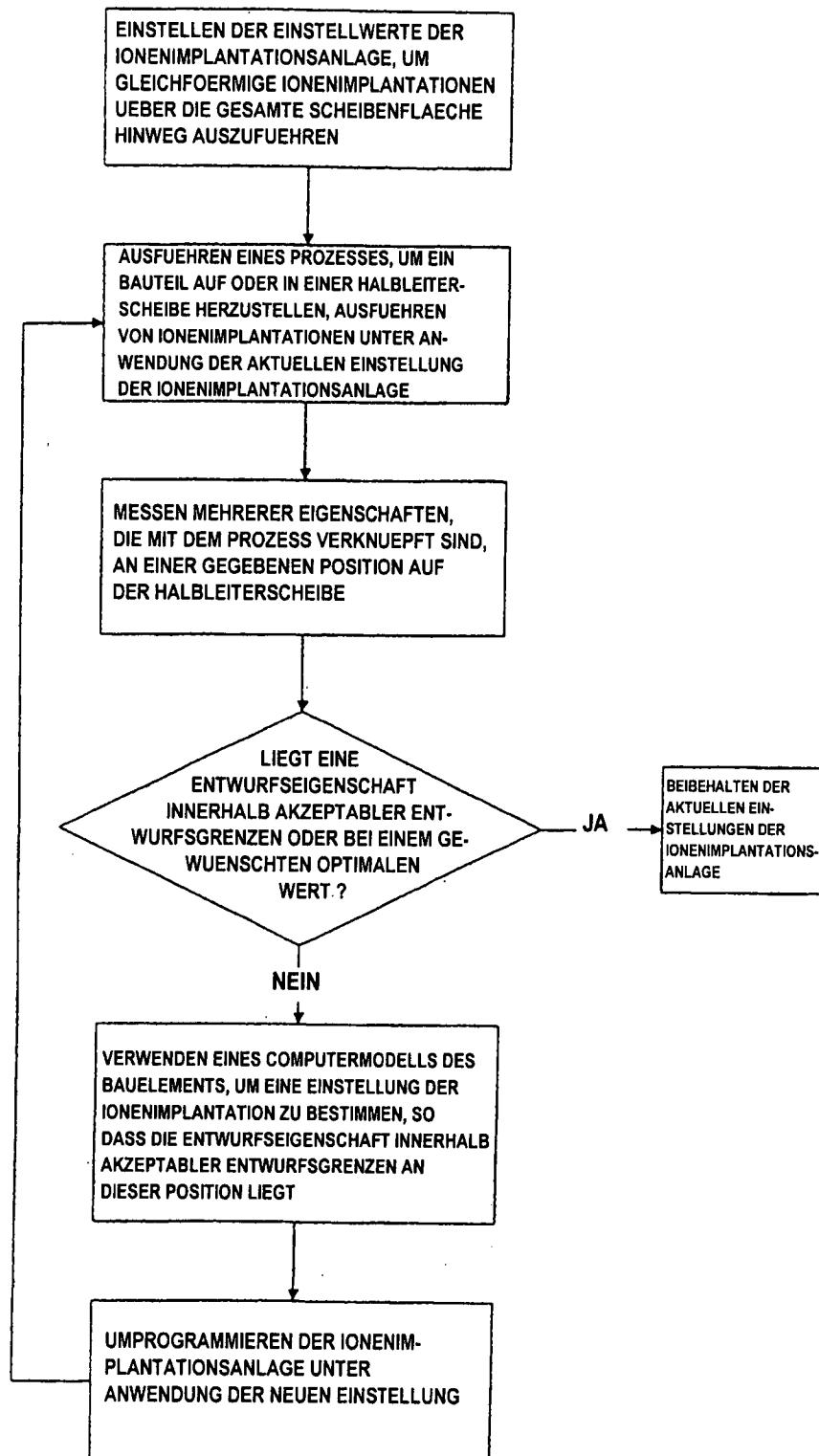


FIG. 2

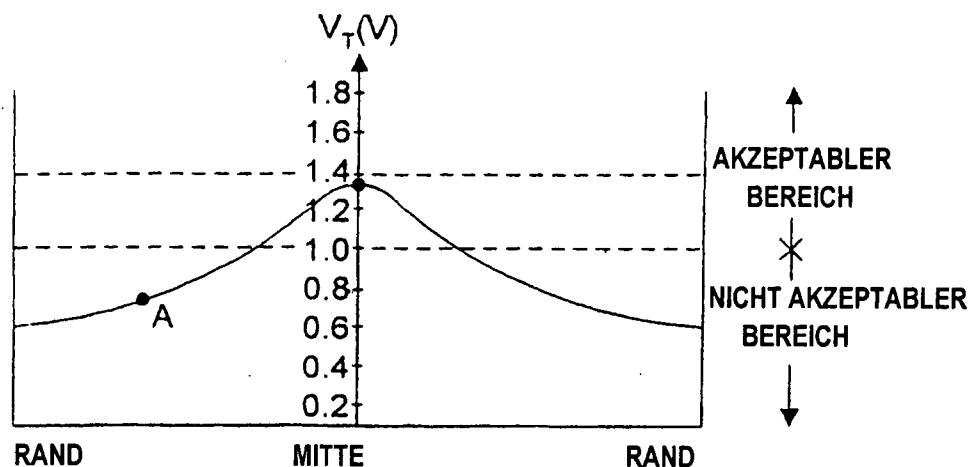


FIG. 3

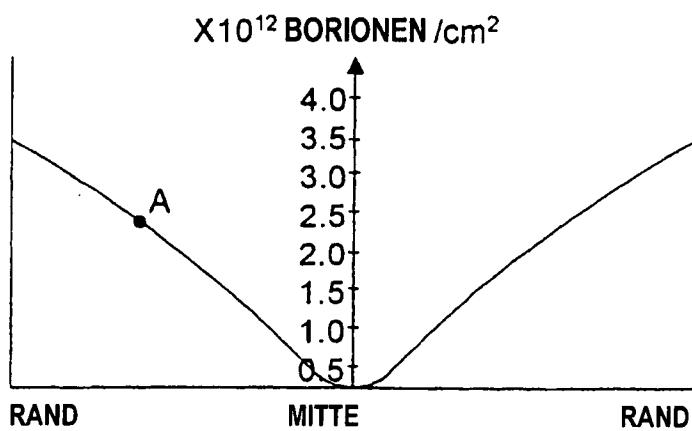


FIG. 4

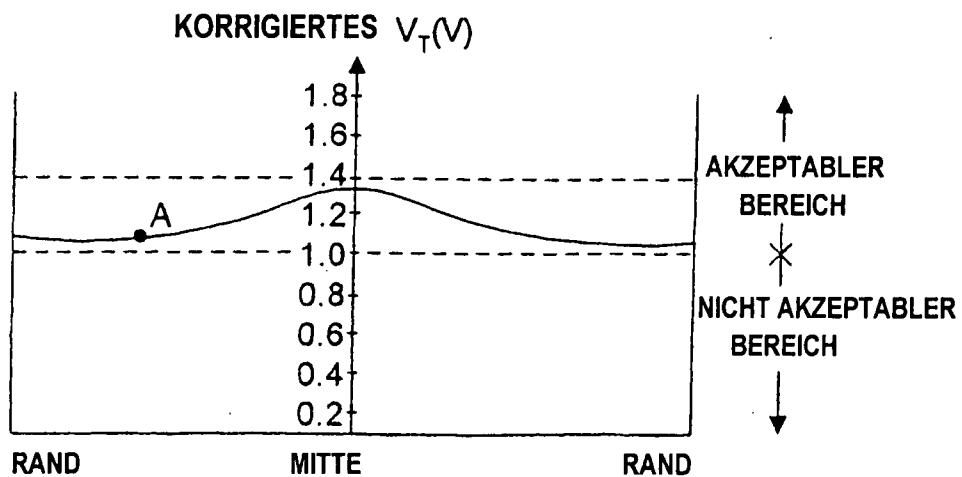


FIG. 5