



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2015 106 580.0**
(22) Anmeldetag: **29.04.2015**
(43) Offenlegungstag: **03.03.2016**

(51) Int Cl.: **H01L 21/263** (2006.01)
H01L 21/3105 (2006.01)
H01L 21/027 (2006.01)
H01J 37/317 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
62/042,898 **28.08.2014** **US**
14/645,047 **11.03.2015** **US**

(74) Vertreter:
BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft
mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28209
Bremen, DE

(71) Anmelder:
Taiwan Semiconductor Manufacturing Company,
Ltd., Hsin-Chu, TW

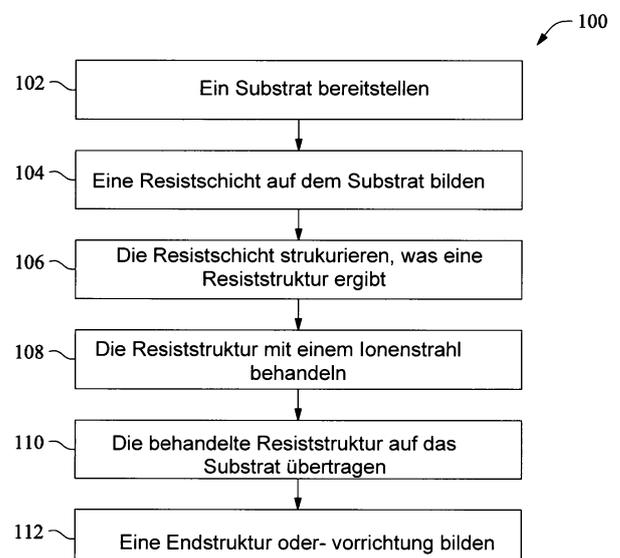
(72) Erfinder:
Yu, Shinn-Sheng, Hsinchu, TW; Chen, Jeng-
Hornng, Hsinchu, TW; Shih, Chih-Tsung, Hsinchu,
TW; Yen, Anthony, Hsinchu, TW

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN ZUM STRUKTURIEREN VON INTEGRIERTEN SCHALTUNGEN**

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zum Strukturieren eines Substrats bereitgestellt. Das Verfahren umfasst das Strukturieren einer Resistschicht, die auf dem Substrat gebildet ist, um eine Resiststruktur zu ergeben, und das Behandeln der Resiststruktur mit einem Ionenstrahl. Der Ionenstrahl wird mit einem Gas erzeugt, wie zum Beispiel CH₄, SiH₄, Ar oder He, und wird auf die Resiststruktur unter einem Neigungswinkel von mindestens 10 Grad gerichtet. In Ausführungsformen wird der Ionenstrahl auf die Resiststruktur unter einem einheitlichen Verdrehungswinkel oder unter einem bimodalen Verteilung hat. Der Ionenstrahl reduziert die Linienkantenrauheit (LER), die Linienbreitenrauheit (LWR) und/oder die kritische Dimension der Resiststruktur. Das Verfahren umfasst ferner das Ätzen des Substrats mit der behandelten Resiststruktur als Ätzmaske.



Beschreibung

[0001] Dieses beansprucht den Nutzen aus der vorläufigen Nr. 62/042,898, die den Titel "Verfahren zum Strukturieren von integrierten Schaltungen" trägt, eingereicht am 28. August 2014, die hierin durch Verweis in Gänze aufgenommen wird.

STAND DER TECHNIK

[0002] Der Industriezweig der integrierten Halbleiterschaltkreise (IC) hat ein exponentielles Wachstum erlebt. Die technologischen Fortschritte bei den IC-Materialien und der Konstruktion haben Generationen von ICs erzeugt, wo jede Generation kleinere und komplexere Schaltkreise aufweist als die vorhergehende Generation. Im Verlauf der IC-Entwicklung hat sich die funktionelle Dichte (d. h. die Zahl von miteinander verbundenen Vorrichtungen pro Chipfläche) allgemein erhöht, während die geometrische Größe (d. h. die kleinste Komponente oder Leitung, die unter Verwendung eines Herstellungsprozesses erzeugt werden kann) sich verringert hat. Dieser Verkleinerungsprozess sorgt allgemein für Vorteile durch Erhöhen der Herstellungseffizienz und Reduzieren der zugehörigen Kosten. Solch eine Verkleinerung hat auch die Komplexität der Verarbeitung und Herstellung von ICs erhöht, und zum Realisieren dieser Vorteile werden ähnliche Entwicklungen bei der IC-Verarbeitung und -Herstellung benötigt.

[0003] Zum Beispiel ist die Lithografie ein Verfahren, das häufig bei der IC-Herstellung zum Übertragen von IC-Entwürfen auf ein Halbleitersubstrat verwendet wird. Ein typischer Lithografieprozess umfasst das Auftragen eines Resists (Abdecklack oder eines Fotoresists) auf ein Substrat, Aussetzen des Resists einer Strahlung, wie zum Beispiel den Strahlen eines tiefen Ultravioletts (DUV) und Entwickeln und teilweise Abstreifen des Resists, um einen strukturierten Resist auf dem Substrat zurückzulassen. Der strukturierte Resist wird dann in nachfolgenden Ätzprozessen beim Bilden von ICs verwendet. Während solcher Ätzprozesse können einige Charakteristika des strukturierten Resists, wie zum Beispiel kritische Dimension (CD), Linienbreitenrauheit (LWR) und Linienkantenrauheit (LER), auf die endgültigen IC-Merkmale übertragen werden, wie zum Beispiel Transistor-Gates. Mit der Verringerung der IC-Vorrichtungsdimensionen werden CD, LWR und/oder LER von Transistor-Gates (sowie andere IC-Merkmale) als wichtige Themen erkannt. Dementsprechend ist das Fortschreiten im Lithografieprozess allgemein wünschenswert, um die Forderung nach der fortgesetzten Halbleiterminiaturisierung zu erfüllen.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0004] Aspekte der vorliegenden Offenbarung sind am besten aus der folgenden detaillierten Beschrei-

bung zu verstehen, wenn sie zusammen mit den begleitenden Zeichnungen gelesen wird. Es ist anzumerken, dass gemäß der gängigen Praxis in der Industrie verschiedene Merkmale nicht maßstabsgerecht gezeichnet werden. Tatsächlich können die Dimensionen der verschiedenen Merkmale willkürlich im Interesse der Klarheit der Diskussion vergrößert oder verkleinert werden.

[0005] Fig. 1 ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Bilden einer Zielstruktur oder Vorrichtung auf einem Substrat zum Implementieren von einer oder mehreren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung.

[0006] Die Fig. 2–Fig. 4, Fig. 7, Fig. 9 und Fig. 11 illustrieren dreidimensionale Ansichten der Formung einer Zielstruktur gemäß dem Verfahren von Fig. 1 gemäß einigen Ausführungsformen.

[0007] Die Fig. 5 und Fig. 6 illustrieren Kantenrauigkeit, Breitenrauigkeit und kritische Dimension einer strukturierten Resistschicht.

[0008] Fig. 8 illustriert Neigungswinkel und Verdrehungswinkel eines Ionenstrahls, der auf ein Substrat einfällt, gemäß dem Verfahren von Fig. 1, entsprechend einer Ausführungsform.

[0009] Die Fig. 10 und Fig. 12 illustrieren beispielhafte Verdrehungswinkelverteilungen eines Ionenstrahls gemäß dem Verfahren von Fig. 1 entsprechend einer Ausführungsform.

[0010] Die Fig. 13–Fig. 17 sind Bilder und Daten aus Laborexperimenten, die gemäß dem Verfahren von Fig. 1 implementiert wurden, entsprechend einer Ausführungsform.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG

[0011] Die folgende Offenbarung stellt viele verschiedene Ausführungsformen oder Beispiele für das Realisieren verschiedener Funktionen der vorgesehenen Thematik bereit. Spezielle Beispiele von Komponenten und Anordnungen werden unten beschrieben, um die vorliegende Offenbarung zu vereinfachen. Das sind natürlich nur Beispiele, und sie sollen nicht als Einschränkung verstanden werden. Zum Beispiel kann die Bildung eines ersten Merkmals über oder auf einem zweiten Merkmal in der Beschreibung, die folgt, Ausführungsformen umfassen, in denen das erste und zweite Merkmal in direktem Kontakt gebildet sind, und können aus Ausführungsformen umfassen, in denen zusätzliche Merkmale zwischen dem ersten und zweiten Merkmal gebildet sein können, derart dass das erste und zweite Merkmal nicht in direktem Kontakt sind. Außerdem kann die vorliegende Offenbarung Bezugswerte und/oder -buchstaben in den verschiedenen Beispielen wieder-

holen. Diese Wiederholung dient der Einfachheit und Klarheit und diktiert nicht allein eine Beziehung zwischen den verschiedenen Ausführungsformen und/oder diskutierten Konfigurationen.

[0012] Des Weiteren können hierin räumliche Relativbegriffe, wie zum Beispiel "unter", "über", "niedriger", "oben" und "oberer" und dergleichen, zur leichteren Beschreibung verwendet werden, um die Beziehung eines Elementes oder Merkmals zu einem anderen Element oder Elementen oder Merkmal(en) zu beschreiben, wie in den Figuren illustriert. Die räumlichen relativen Begriffe sollen verschiedene Orientierungen der im Gebrauch oder Betrieb befindlichen Vorrichtung zusätzlich zur Orientierung umfassen, die in den Figuren dargestellt wird. Die Vorrichtung kann anders orientiert sein (um 90 Grad gedreht oder anders orientiert sein), und die räumlichen relativen Deskriptoren können hierin dementsprechend interpretiert werden.

[0013] Die vorliegende Offenbarung bezieht sich allgemein auf Das Bilden einer Struktur oder Vorrichtung für eine integrierte Schaltung (IC) unter Verwendung eines Fotolithografieprozesses und spezieller, auf das Behandeln einer strukturierten Resistschicht, um so seine LWR, LER und/oder CD zu reduzieren, bevor die strukturierte Resistschicht in nachfolgenden Ätzprozessen verwendet wird.

[0014] Fig. 1 zeigt ein Flussdiagramm eines Verfahrens **100** zum Bilden einer Zielstruktur oder -vorrichtung gemäß verschiedenen Erscheinungsformen der vorliegenden Erfindung. Zusätzliche Operationen können vor, während und nach dem Verfahren **100** vorgesehen werden, und einige Operationen, die beschrieben werden, können ersetzt, beseitigt oder verschoben werden für zusätzliche Ausführungsformen des Verfahrens. Das Verfahren **100** ist ein Beispiel und soll die vorliegende Offenbarung nicht über das hinaus begrenzen, was explizit in den Ansprüchen angegeben wird. Das Verfahren **100** wird unten in Verbindung mit den Fig. 2–Fig. 17 beschrieben.

[0015] Bei Operation **102** stellt das Verfahren **100** (Fig. 1) ein Substrat **202** bereit, wie in Fig. 2 gezeigt. Mit Bezug auf Fig. 2 umfasst das Substrat **202** in verschiedenen Ausführungsformen eine oder mehrere Materialschichten und ist ein Zwischenschritt eines Herstellungsprozesses zum Bilden einer Vorrichtung **200**. Die Vorrichtung **200** kann ein IC sein oder ein Teil derselben, die einen statischen Speicher mit wahlfreiem Zugriff (SRAM) und/oder andere logische Schaltungen, passive Komponenten, wie zum Beispiel Widerstände, Kondensatoren und Induktoren, und aktive Komponenten, wie zum Beispiel Feldeffekttransistoren vom p-Typ (PFET), FET vom n-Typ (NFET), Metalloxid-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MOSFET), komplementäre Metalloxid-Halbleiter-(CMOS)-Transistoren, bipolare Transisto-

ren, Hochspannungstransistoren, Hochfrequenztransistoren, andere Speicherzellen und Kombinationen derselben umfassen können. Die Vorrichtung **200** kann dreidimensionale Vorrichtungen und Multigate-Vorrichtungen, wie zum Beispiel Doppelgate-FETs, FinFETs, Trigate-FETs, Omega-FETs, Gate-All-Around-(GAA)-Vorrichtungen und vertikale GAA-Vorrichtungen umfassen. In einer Ausführungsform ist das Substrat **202** ein Halbleitersubstrat (z. B. Wafer). In einer Ausführungsform ist das Substrat **202** Silizium in einer kristallinen Struktur. In alternativen Ausführungsformen kann das Substrat **202** andere elementare Halbleiter umfassen, wie zum Beispiel Germanium, oder einen Verbindungshalbleiter, wie zum Beispiel Siliziumcarbid, Galliumarsenid, Indiumarsenid und Indiumphosphid. Das Substrat **202** kann ein Silizium-auf-Isolator-(SOI)-Substrat umfassen, belastet werden zur Leistungsverbesserung, epitaxiale Bereiche umfassen, dotierte Bereiche umfassen, ein oder mehrere Halbleitervorrichtungen oder Teile derselben umfassen, leitfähige und/oder isolierende Schichten umfassen und/oder andere geeignete Merkmale und Schichten umfassen.

[0016] Bei Operation **104** bildet das Verfahren **100** (Fig. 1) eine Resistschicht **210** auf dem Substrat **202**. Mit Bezug auf Fig. 3, werden in der vorliegenden Ausführungsform vor der Bildung der Resistschicht **210** eine oder mehrere Materialschichten auf dem Substrat **202** als Ättschichten gebildet, wie zum Beispiel eine harte Maskenschicht **204**, eine untere Materialschicht **206** und eine Schicht **208** zur reflexionsmindernden Beschichtung. In verschiedenen Ausführungsformen können einige der Materialschichten **204/206/208** weggelassen und/oder ersetzt werden oder alternativ können andere Materialschichten zwischen der Resistschicht **210** und dem Substrat **202** hinzugefügt werden. In einer Ausführungsform wird die Resistschicht **210** durch einen Rotationsbeschichtungsprozess gebildet, gefolgt von einem soften Backprozess.

[0017] In verschiedenen Ausführungsformen kann die harte Maskenschicht **204** amorphes Silizium (a-Si), Siliziumoxid, Siliziumnitrid (SiN), Titanitrid (TiN), Siliziumoxynitrid (SiON), Siliziumkohlenstoffnitrid (SiCN) oder anderes geeignetes Material oder Zusammensetzung verwenden; die untere Materialschicht **206** kann Silizium, Sauerstoff und/oder Kohlenstoff enthalten, wie zum Beispiel SOC oder Aufschleuderglas (SOG); die ARC-Schicht **208** kann eine Polymermaterialschicht oder eine siliziumhaltige Materialschicht sein, wie zum Beispiel Siliziumoxid, Siliziumoxygencarbid und plasmaverstärktes chemisch dampfabgeschiedenes Siliziumoxid. Die verschiedenen Materialschichten **204**, **206** und **208** können durch eine Vielzahl von Prozessen gebildet werden. Zum Beispiel können sie durch chemische Dampfabcheidung (CVD), chemische Niederdruck-

dampfabscheidung (LPCVD), plasmaverstärkte chemische Dampfabscheidung (PECVD), physikalische Dampfabscheidung (PVD), Atomschichtabscheidung (ALD) oder ein anderes geeignetes Abscheidungsverfahren gebildet werden. Zum Beispiel kann die harte Maskenschicht **204** durch CVD unter Verwendung von Chemikalien gebildet werden, einschließlich Hexachlordisilan (HCD oder Si_2Cl_6), Dichlorsilan (DCS oder SiH_2Cl_2), Bis(TertButylamino)Silan (BTBAS oder $\text{C}_8\text{H}_{22}\text{N}_2\text{Si}$) und Disilan (DS oder Si_2H_6).

[0018] Die Resistsschicht **210** kann ein positives Resist oder ein negatives Resist sein. Ein positives Resist ist normalerweise unlöslich in einem Resistentwickler, wird aber löslich gemacht durch Einwirkung von Strahlung, wie zum Beispiel tiefe Ultraviolettstrahlung (DUV), eine extreme Ultraviolettstrahlung (EUV), einen Elektronenstrahl (e-Beam), einen Röntgenstrahl oder andere geeignete Strahlung. Ein beispielhaftes positives Resistmaterial ist chemisch verstärktes Resist (CAR), das Hauptstrangpolymer enthält, welches durch säurelabile Gruppen (ALGs) geschützt wird. Ein negatives Resist zeigt das entgegengesetzte Verhalten – normalerweise löslich in einem Resistentwickler, wird unlöslich gemacht durch Einwirkung von Strahlung, wie zum Beispiel von einem DUV-Strahl, einem EUV-Strahl, einem e-Beam, einem Röntgenstrahl oder andere geeignete Strahlung. Ein beispielhaftes negatives Resist ist ein Polymer, das intramolekulare und/oder intermolekulare Querverbindungen bildet, wenn es bestrahlt wird, wie zum Beispiel eine Polymerisierung von Ethyl(alpha-hydroxy)acrylat (EHMA) und Methacrylsäure (MAA).

[0019] Bei Operation **106** strukturiert das Verfahren **100** (Fig. 1) die Resistsschicht **210**, wodurch eine Resiststruktur gebildet wird. In einer Ausführungsform überträgt der Strukturierungsprozess eine Struktur von einer Maske (oder einer Fotomaske oder einem Gitternetz) auf die Resistsschicht **210**. Alternativ kann der Strukturierungsprozess ein maskenloses Strukturierungsverfahren nutzen, wie zum Beispiel Elektronenstrahl-Direktschreiben (EBDW). In einer Ausführungsform umfasst das Strukturieren der Resistsschicht **210** das Aussetzen der Resistsschicht **210** einer Strahlung, dem Brennen nach der Belichtung, Entwickeln der Resistsschicht **210** in einem Resistentwickler und Hartbrennen, dadurch Entfernen des exponierten Teils (oder nicht exponierten Teils im Fall eines negativen Resists) der Resistsschicht **210** und Zurücklassen von nicht exponierten Teilen derselben auf der ARC-Schicht **208** als Resiststruktur. Die Strahlung kann ein DUV-Strahl, ein EUV-Strahl, ein e-Beam, ein Röntgenstrahl, einen Ionenstrahl oder andere geeignete Strahlung sein. In Ausführungsformen, bei denen eine Maske zum Strukturieren der Resistsschicht **210** verwendet wird, kann die Maske von unterschiedlicher Art sein, wie zum Beispiel eine durchlässige Maske oder eine reflektierende Maske, und kann mit verschiedenen Technologien gebildet

werden, wie zum Beispiel eine Binärmaske oder Phasenverschiebungsmaske (PSM). In einem Beispiel umfasst eine Binärmaske ein transparentes Substrat (z. B. geschmolzener Quarz) und ein undurchlässiges Material (z. B. Chrom), das in den undurchlässigen Bereichen der Maske als Schicht aufgetragen ist. In einem weiteren Beispiel umfasst eine PSM verschiedene Merkmale, die so ausgelegt sind, dass sie eine geeignete Phasendifferenz hat, um die Auflösung und Abbildungsqualität zu verbessern. Im aktuellen Beispiel wird die Resistsschicht **210** so strukturiert, dass sie ein Linienmuster **210** (Fig. 4) bildet. Zur Vereinfachung ist das Linienmuster **210** längsgerichtet in "y"-Richtung, der Breite nach in "x"-Richtung und der Höhe nach in "z"-Richtung. Im vorliegenden Beispiel wird das einzelne Linienmuster **210** zur Vereinfachung und leichteren Verständnis verwendet und schränkt nicht notwendigerweise die Ausführungsform auf eine Zahl von Linienmustern und/oder eine Anordnung des Linienmusters ein, wie zum Beispiel Schlitzmuster, Lochmuster, Muster mit Bögen usw.

[0020] In einem typischen Lithografieprozess folgt anschließend ein Ätzprozess, der die ARC-Schicht **208** unter Verwendung des Linienmusters **210** als Ätzmaske ätzt, wodurch das Muster auf die ARC-Schicht **208** und anschließend auf das Substrat **202** durch mehr Ätzprozesse überträgt. Probleme entstehen, wenn das Muster von der Resiststruktur **210** auf die ARC-Schicht **208** übertragen wird. Zum Beispiel kann das Linienmuster **210** eventuell keine ideale kritische Dimension (CD) haben. Zum Beispiel kann seine Abmessung in der "x"-Richtung (oder seine Breite) größer als ein IC-Entwurfsziel sein. Für ein weiteres Beispiel kann das Linienmuster **210** eine unerwünschte Oberflächenrauheit haben, wie zum Beispiel Linienkantenrauheit (LER) und/oder Breitenrauheit (LWR). Fig. 5 illustriert eine Querschnittsansicht des Linienmusters **210**, die die Rauheit seiner Seitenwände zeigt. Fig. 6 illustriert die Oberflächenrauheit entlang des Linienmusters **210** in der "y"-Richtung (oder seiner Längsrichtung). In der vorliegenden Ausführungsform wird LER definiert als 3σ -Abweichung einer Kante von einer Linie, die an dieser Kante anliegt, oder mathematisch

$$\text{LER} = 3\sqrt{\sum_{i=0}^n (x_i - \bar{x})^2 / n} ,$$

und LWR ist definiert als 3σ -Abweichung Linienbreite entlang der Linie oder mathematisch:

$$\text{LWR} = 3\sqrt{\sum_{j=0}^n (CD_j - \overline{CD})^2 / n}$$

Solche nicht-ideale CD und unerwünschtes LER/LWR kann vom Linienmuster **210** auf die ARC-Schicht **208** und schließlich auf das Substrat **202** übertragen werden, was Probleme bei der IC-Her-

stellung verursacht. Zum Beispiel kann das Linienmuster 210 zum Strukturieren von Transistor-Gate-Elektroden verwendet werden, deren Gate-Länge der Breite des Linienmusters 210 entspricht. Die Gate-Länge ist ein kritisches Merkmal eines Transistors, weil sie den Energieverbrauch und/oder die Schaltgeschwindigkeit des Transistors beeinträchtigen kann. Unerwünschte CD und LERR/LWR kann bewirken, dass die Gate-Länge außerhalb der Entwurfsspezifikation liegt. Erschwerend kommt hinzu, während der Ätzprozesse, wie zum Beispiel beim Trockenätzen, das häufig bei der Gate-Strukturierung verwendet wird, erfährt das Linienmuster 210 eine schwere Verschlechterung auf Grund des Mangels an Ätzselektivität, die zu einem Verlust des Resistfilms und erhöhtem LER/LWR führt. Die vorliegende Offenbarung geht die obigen Probleme an durch Behandeln einer strukturierten Resistschicht, wie zum Beispiel das Linienmuster 210, mit Ionenstrahlen, bevor es bei nachfolgenden Ätzprozessen verwendet wird. Laborexperimente haben gezeigt, dass Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung CD, LER und/oder LWR der Resiststrukturen reduzieren können. Das ist sehr wünschenswert für fortgeschrittene Prozessknoten, wie zum Beispiel 10 Nanometer (nm) und darüber hinaus.

[0021] Bei Operation 108 behandelt das Verfahren 100 (Fig. 1) das Linienmuster 210 mit einem Ionenstrahl 212. In Ausführungsformen wird der Ionenstrahl 212 durch einen Ionenimplanter erzeugt. Mit Bezug auf Fig. 7, ist der Ionenstrahl 212 in der vorliegenden Ausführungsform ein fokussierter Ionenstrahl. Zur Weiterentwicklung der vorliegenden Ausführungsform wird der Ionenstrahl 212 auf das Linienmuster 210 (oder auf die obere Fläche der ARC-Schicht 208 oder eigentlich auf das Substrat 202) unter einem Winkel gerichtet, der gegenüber einer Normalen zur oberen Fläche der ARC-Schicht 208 (d. h. der "z"-Achse im vorliegenden Beispiel) geneigt ist. Dieser Einfallswinkel wird "Neigungswinkel" in der vorliegenden Offenbarung genannt und wird in Fig. 8 illustriert. Fig. 8 zeigt auch einen "Verdrehungswinkel" des Ionenstrahls 212, welches der Winkel zwischen der Ebene, die den Ionenstrahl 212 und die "z"-Achse enthält, und der Ebene, die die "x"- und "z"-Achsen enthält, ist. Der Neigungswinkel und Verdrehungswinkel definieren zusammen die Einfallrichtung des Ionenstrahls 212. Mit Bezug wieder auf Fig. 7, wird in der vorliegenden Ausführungsform der Ionenstrahl 212 auf das Linienmuster 210 unter einem Neigungswinkel gerichtet, der größer oder gleich 10 Grad ist. In einigen Fällen wird der Neigungswinkel auf mehr als 30 Grad eingestellt, um so den Resistfilmverlust zu reduzieren. In einer Ausführungsform wird der Ionenstrahl 212 auf das Linienmuster 210 unter einem gleichförmigen Verdrehungswinkel gerichtet, der zum Beispiel etwa null (0) Grad ist. In einer anderen Ausführungsform wird der Ionenstrahl 212 auf das Linienmuster 210 unter einem gleichfö-

migen Verdrehungswinkel von etwa 90 Grad gerichtet (d. h. parallel zum Linienmuster 210).

[0022] In verschiedenen Ausführungsformen wird der Ionenstrahl 212 durch einen Ionenimplanter mit einem Gas als Ionenquelle erzeugt. In einer Ausführungsform ist das Gas Argon (Ar) und der Ionenstrahl 212 wird mit einer Ionenenergie von etwa 1,0 kV bis etwa 3,5 kV und einer Ionendosis von etwa 1 E16 Ionen/cm² bis etwa 10 E16 Ionen/cm² bereitgestellt. In einer Ausführungsform ist das Gas Helium (He) und der Ionenstrahl 212 wird mit einer Ionenenergie von etwa 1 kV bis etwa 5 kV und einer Ionendosis von etwa 1 E16 Ionen/cm² bis etwa 10 E16 Ionen/cm² bereitgestellt. In einer Ausführungsform ist das Gas Silane (SiH₄) und der Ionenstrahl 212 wird mit einer Ionenenergie von etwa 2 kV bis etwa 5 kV und einer Ionendosis von etwa 0,5 E16 Ionen/cm² bis etwa 3 E16 Ionen/cm² bereitgestellt. In einer Ausführungsform ist das Gas Methan (CH₄) und der Ionenstrahl wird mit einer Ionenenergie von etwa 1 kV bis etwa 5 kV und einer Ionendosis von etwa 1 E16 Ionen/cm² bis etwa 6 E16 Ionen/cm² bereitgestellt. In verschiedenen Ausführungsformen kann das Gas eines der folgenden sein: CH₄, SiH₄, Ar, He, O₂, N₂, CO₂, andere geeignete Gase und eine Kombination derselben. In einer Ausführungsform wird der Ionenstrahl 212 mit Ar erzeugt, hat einen Neigungswinkel von etwa 19 Grad bis etwa 30 Grad und einen Verdrehungswinkel von etwa 0 Grad und ist mit einer Ionenenergie von etwa 1 kV bis etwa 1,5 kV und einer Ionendosis von etwa 0,5 E16 Ionen/cm² bis etwa 3 E16 Ionen/cm² versehen. In verschiedene Ausführungsformen bewegt sich die Vorrichtung 200 gegenüber den Ionenstrahlen 212, so dass das Linienmuster 210 durch die Ionenstrahlen 212 in ihrer Längsrichtung gleichförmig gescaant wird.

[0023] Obwohl der Mechanismus der Ionenstrahlbehandlung den Geltungsbereich der Ansprüche nicht beeinträchtigt, wird angenommen, dass in einigen Ausführungsformen der Ionenstrahl 212 nicht nur das Linienmuster 210 zurechtschneidet, um seine Breite zu reduzieren und seine Oberflächen, einschließlich der Seitenwände, zu glätten, sondern auch eine chemische Reaktion im Resistmaterial bis zu bestimmten Tiefen im Linienmuster 210 verursacht, je nachdem, wie weit die Ionen innerhalb des Resistmaterials wandern. Die chemische Reaktion verändert die Charakteristika des Resistmaterials. Zum Beispiel kann sie bewirken, dass sich die Ätzrate des Linienmusters 210 verringert. Die Fig. 13–Fig. 17 zeigen verschiedene Bilder und Daten, die aus Laborexperimenten erhalten wurden gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung, was die Effektivität der Ionenstrahlbehandlung zeigt. Fig. 13 ist ein Bild der Resistlinienstruktur nach der Resistentwicklung und vor der Ionenstrahlbehandlung. Wie darin gezeigt wird, werden die Resistlinienstrukturen auf einer siliziumhaltigen ARC-Schicht gebildet und

zeigen eine gewisse Oberflächenrauheit. **Fig. 14** ist ein Bild der Resistlinienstrukturen nach der Ausführung der Ionenstrahlbehandlung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung. Wie zu sehen ist, haben die Resistlinienstrukturen (**Fig. 14**) glattere Flächen und eine geringere Breite im Vergleich zu den Resistlinienstrukturen vor der Behandlung. **Fig. 15** zeigt, dass eine Kruste auf einer Oberfläche einer Resiststruktur gebildet ist, nachdem sie einer Ionenstrahlbehandlung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Offenbarung unterzogen wurde. Die Kruste ist gehärtetes Resistmaterial als Folge der chemischen Reaktion zwischen dem Resistmaterial und den Ionen. **Fig. 16** zeigt, dass ein Resiststruktur-CD-Schrumpfen von 26,8% bis 49,8% in verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung unter Verwendung von Ar, He, SiH₄ und CH₄ als die jeweilige Ionenquelle erreicht wurde. Außerdem wird über eine allgemeine LWR-Reduzierung von 16% (mit Ar-Ionenstrahlbehandlung), 46% (mit C-Ionenstrahlbehandlung) und 38% (mit Si-Ionenstrahlbehandlung) berichtet. Eine allgemeine LER-Reduzierung ist berichtet worden, die der LWR-Reduzierung ähnlich ist, mit wenigen Prozentpunkten Abweichung. **Fig. 17** zeigt ein Diagramm der Resistätzrate vor und nach der/den Ionenstrahlbehandlung(en). Wie in **Fig. 17** gezeigt, verringert sich die Resistätzrate von vor der Behandlung mit 1.352 Ångstrom/Minute (Å/min) auf weniger als 400 Å/min nach der Behandlung, was eine im Allgemeinen 3- bis 6-fache Verringerung der Ätzrate darstellt. Solch eine Verringerung der Ätzrate ist beim nachfolgenden Ätzen der ARC-Schicht **208** sehr wünschenswert, da sie die Resiststruktur gegenüber Ätzmitteln stärkt, die verwendet werden sollen, um so den Resistfilmverlust und die Verschlechterung von LER/LWR während des Ätzprozesses zu reduzieren. Gleichzeitig behält die behandelte Resiststruktur eine erwünschte Veraschungsrate für einen nachfolgenden Resistveraschungs- oder Ablösungsprozess. Es ist berichtet worden, dass in einigen Fällen die Resiststruktur eine Veraschungsrate von etwa 4.000 Å/min hat, verglichen mit etwa 7.000 Å/min vor der Ionenstrahlbehandlung.

[0024] In einer Ausführungsform hat der Ionenstrahl **212** mehr als einen Verdrehungswinkel, was bedeutet, dass verschiedene Teile des Ionenstrahls **212** auf das Linienmuster **210** gleichzeitig unter verschiedenen Verdrehungswinkeln gerichtet wird. Dies wird in **Fig. 9** illustriert. In der Tat wird der Ionenstrahl **212** nicht als fokussierter Strahl, sondern als fächerförmiger Strahl zugeführt. In einer Ausführungsform hat der Ionenstrahl **212** Verdrehungswinkel mit einer unimodalen Verteilung **214**, wie in **Fig. 10** gezeigt. Die unimodale Verteilung **214** hat einen Ionenenergiegipfel bei null (0) Grad Verdrehungswinkel und hat eine Ionenenergie, die im Wesentlichen innerhalb des Bereichs von $-\theta_1$ bis $+\theta_2$ Grad begrenzt ist. In einer Ausführungsform betragen sowohl

θ_1 wie auch θ_2 etwa 50 Grad. In verschiedenen Ausführungsformen kann die unimodale Verteilung **214** asymmetrisch zum null Grad Verdrehungswinkel sein oder kann einen Ionenenergiegipfel bei einem Verdrehungswinkel ungleich null haben. In einigen Fällen ist die Verwendung eines Ionenstrahls mit einem Verdrehungswinkel mit unimodaler Verteilung effektiver als ein Ionenstrahl mit einem gleichförmigen Verdrehungswinkel, da der erstere die Oberfläche des Linienmusters **210** aus unterschiedlichen Winkeln gleichzeitig zurechtschneidet.

[0025] In einer Ausführungsform hat der Ionenstrahl **212** Verdrehungswinkel mit einer bimodalen Verteilung **216**, wie in den **Fig. 11** und **Fig. 12** illustriert. Im Ergebnis hat der Ionenstrahl **212** zwei fächerförmige Teile, die gleichzeitig auf das Linienmuster **210** gerichtet sind. Wie in **Fig. 12** gezeigt, hat die bimodale Verteilung **216** zwei unimodale Verteilungskomponenten, **216A** und **216B**, die jeweils einem der zwei Teile des Ionenstrahls **212** entsprechen. Die unimodale Verteilung **216A** hat einen Ionenenergiegipfel bei einem Verdrehungswinkel α_0 und hat eine Ionenenergie, die im Wesentlichen innerhalb eines Bereichs der Verdrehungswinkel von α_1 bis α_2 . In einer Ausführungsform beträgt α_0 etwa 12,5 Grad, α_1 etwa 7,5 Grad und α_2 etwa 17,5 Grad. Die unimodale Verteilung **216B** hat einen Ionenenergiegipfel bei einem Verdrehungswinkel β_0 und hat eine Ionenenergie, die im Wesentlichen innerhalb eines Bereichs der Verdrehungswinkel von $-\beta_1$ bis $-\beta_2$. In einer Ausführungsform beträgt β_0 etwa 12,5 Grad, β_1 etwa $-7,5$ Grad und β_2 etwa $-17,5$ Grad. In einigen Ausführungsformen kann die unimodale Verteilung **216A** (oder **216B**) asymmetrisch zu ihrem Mittelverdrehungswinkel sein. Zum Beispiel kann ihr Energiegipfel näher am Verdrehungswinkel α_2 (oder β_2) sein. In einer Ausführungsform beträgt α_0 etwa 40 Grad, α_1 etwa 20 Grad und α_2 etwa 40 Grad. In einigen Ausführungsformen können die unimodalen Verteilungen **216A** und **216B** sich teilweise überlappen. In einigen Fällen ist das Verwenden eines Ionenstrahls mit einer bimodalen Verteilung des Verdrehungswinkels effektiver als das Verwenden eines Ionenstrahls mit einem gleichförmigen Verdrehungswinkel oder einer unimodalen Verteilung des Verdrehungswinkels, weil die erstere nicht nur die Oberfläche des Linienmusters **210** aus verschiedenen Winkeln gleichzeitig trimmt, sondern auch mehr Ionenenergie zum Bearbeiten der Oberflächenrauheit von den Seiten einsetzt.

[0026] In einer Ausführungsform ist der Ionenstrahl **212** (**Fig. 7**, **Fig. 9** und **Fig. 11**) ein Gascluster-Ionenstrahl (GCIB), wie zum Beispiel ein O₂-Cluster, ein Ar-Cluster oder ein CO₂-Cluster. Zum Beispiel kann der Ionenstrahl **212** ein Ar-GCIB mit einer durchschnittlichen Clustergröße von etwa 10.000 bis etwa 20.000 Atomen sein, durchschnittliche Clusterladung +3, durchschnittliche Clusterenergie 65 keV, durch-

schnittliche Clustergeschwindigkeit 6,5 km/s und ein elektrischer Gesamtstrom von 200 μ A oder mehr.

[0027] Bei Operation **110** überträgt das Verfahren **100** (Fig. 1) die behandelte Resiststruktur **210** auf die ARC-Schicht **208** und anschließend auf das Substrat **202** durch einen Prozess, der Ätzprozesse enthält. Die Ätzprozesse können trockenes (Plasma-)Ätzen, Nassätzen und/oder andere Ätzverfahren umfassen. Zum Beispiel kann ein Trockenätzprozess ein sauerstoffhaltiges Gas einführen, ein fluorhaltiges Gas (z. B. CF_4 , SF_6 , CH_2F_2 , CHF_3 und/oder C_2F_6), ein chlorhaltiges Gas (z. B. Cl_2 , CHCl_3 , CCl_4 und/oder BCl_3), ein bromhaltiges Gas (z. B. HBr und/oder CHBr_3), ein jodhaltiges Gas, andere geeignete Gase und/oder Plasmen und/oder Kombinationen derselben. Die Ätzprozesse ätzen die ARC-Schicht **208** unter Verwendung der behandelten Resiststruktur **210** als Ätzmaske. Auf Grund der Ionenstrahlbehandlung der Resiststruktur **210** weist die übertragene Struktur in der ARC-Schicht **208** (sowie im Substrat **202**) überragende CD und LER/LWR auf im Vergleich mit denen in einem typischen Lithografieprozess. Nachdem die ARC-Schicht **208** geätzt worden ist, wird in einer Ausführungsform das Linienmuster **210** entfernt, zum Beispiel durch einen nach Nassätzprozess, der einen Fotoresiststripper, eine wässrige alkalische Lösung, eine Amin-Lösungsmittel-Mischung oder ein organisches Lösungsmittel verwendet.

[0028] Bei Operation **112** fährt das Verfahren **100** (Fig. 1) fort, um eine endgültige Struktur oder Vorrichtung zu bilden. In einer Ausführungsform ist die Resiststruktur **210** Teil einer Merkmalsdefinition einer flachen Schlitzisolierung. Zur Weiterentwicklung dieser Ausführungsform überträgt das Verfahren **100** die behandelte Resiststruktur **210** auf die Hartmaskenschicht **204** als Öffnung; ätzt das Substrat **202** durch die Öffnung, um einen Schlitz darin zu bilden; entfernt die Hartmaskenschicht **204**; füllt den Schlitz mit einem dielektrischen Material, und führt einen chemisch-mechanischen Planarisierungsprozess (CMP) an dem dielektrischen Material aus. In einer anderen Ausführungsform ist die Resiststruktur **210** Teil einer Merkmalsdefinition von Gate-Elektroden, und das Substrat **202** umfasst eine Schicht von Polysilizium auf einer Schicht von dielektrischem Material, wie zum Beispiel Siliziumoxid (SiO_2) oder Siliziumoxynitrid (SiON). Zur Weiterentwicklung dieser Ausführungsform überträgt das Verfahren **100** die behandelte Resiststruktur **210** auf die Hartmaskenschicht **204** als Linie; ätzt die Polysiliziumschicht und das dielektrische Material mit der strukturierten Hartmaskenschicht **204** als Ätzmaske, wodurch ein Gate-Stack gebildet wird; entfernt die strukturierte Hartmaskenschicht **204**, und bildet einen Abstandshalter um den Gate-Stack. In einer weiteren Ausführungsform ist die Resiststruktur **210** Teil einer Kontaktmerkmalsdefinition, wie zum Beispiel ein Source-, Drain- oder Gate-Kontakt. Zur Weiterentwicklung dieser Ausfüh-

rungsform überträgt das Verfahren **100** die behandelte Resiststruktur **210** auf die Hartmaskenschicht **204** als Öffnung; ätzt das Substrat **202** durch die Öffnung, um ein Kontaktloch zu bilden, wodurch eine obere Fläche eines Terminals (Source, Drain oder Gate) eine Sperrschicht im Kontaktloch abscheidet; füllt den übrigen Raum des Kontaktlochs mit einem leitfähigen Material, wie zum Beispiel Aluminium (Al), Wolfram (W), Kupfer (Cu) oder Kobalt (Co), und führt einen CMP-Prozess zum Planarisieren einer oberen Fläche des leitfähigen Materials aus.

[0029] In einer Ausführungsform wird der Ionenstrahl **212** zum Behandeln einer Materialschicht verwendet, die keine Resistschicht ist. Zum Beispiel wird das Linienmuster **210** zuerst auf die ARC-Schicht **208** übertragen, und dann wird die strukturierte ARC-Schicht **208** mit dem Ionenstrahl **212** behandelt. Experimente zeigen, dass solche eine Behandlung auch beim Reduzieren von CD, LER und LWR der strukturierten ARC-Schicht **208** effektiv ist, die ein polymeres Material oder ein siliziumhaltiges Material ist. Analog kann der Ionenstrahl **212** zum Behandeln der unteren Materialschicht **206** verwendet werden, nachdem es strukturiert wurde.

[0030] Obwohl eine Beschränkung nicht beabsichtigt ist, liefert die vorliegende Offenbarung viele Vorteile. Zum Beispiel behandeln verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung eine strukturierte Resistschicht mit einem Ionenstrahl, um so CD, LER und LWR der strukturierten Resistschicht zu reduzieren, bevor sie als Ätzmaske verwendet wird. Dadurch wird die CD-Gleichförmigkeit der endgültigen IC-Vorrichtungen verbessert. In verschiedenen Ausführungsformen kann der Ionenstrahl mit verschiedenen Gasarten erzeugt werden, wie zum Beispiel Ar, He, CH_4 und SiH_4 und mit unterschiedlicher Ionenenergie und Ionendosis zum Auswählen, wodurch die Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung für verschiedene Anwendungen und Ströme anpassbar sind. In verschiedenen Ausführungsformen wird der Ionenstrahl auf die strukturierte Resistschicht mit einem Neigungswinkel und einem Verdrehungswinkel gerichtet, was zur Glättung der Seitenwände der Resiststruktur ohne großen Filmverlust beiträgt. Außerdem hilft das Vorhandensein einer unimodalen oder bimodalen Verdrehungswinkelverteilung in Verbindung mit einem Neigungswinkel dabei, den Schatteneffekt zu überwinden, wenn dichte Resiststrukturen mit dem Ionenstrahl behandelt werden. Des Weiteren können verschiedene Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung in allen Arten von IC-Herstellungsprozessen eingeführt werden, wo Lithografie verwendet wird, wie zum Beispiel Nanodrahtstrukturierung in vertikalen Gate-All-Around-(VGAA)-Vorrichtungen, STI-Strukturierung, Gate-Elektrodenstrukturierung, Kontaktstrukturierung und so weiter. Tatsächlich sind die speziellen Ausführungsformen, die bisher disku-

tiert wurden, nur Beispiele, die den erfinderischen Geltungsbereich der vorliegenden Offenbarung nicht über das hinaus begrenzen, was explizit in den Ansprüchen angegeben wird.

[0031] In einer beispielhaften Erscheinungsform richtet sich die vorliegende Offenbarung auf ein Verfahren zum Strukturieren eines Substrats. Das Verfahren umfasst das Strukturieren einer Resistsschicht, die auf dem Substrat gebildet ist, was zu einer Resiststruktur führt; und das Behandeln der Resiststruktur mit einem Ionenstrahl, was zu einer behandelten Resiststruktur führt, wobei der Ionenstrahl mit einem ersten Gas erzeugt wird und auf die Resiststruktur unter einem Neigungswinkel von mindestens 10 Grad gerichtet wird. Das Verfahren umfasst ferner das Ätzen des Substrats mit der behandelten Resiststruktur als Ätzmaske. In verschiedenen Ausführungsformen wird der Ionenstrahl auf die Resiststruktur unter einem einheitlichen Neigungswinkel mit einem Verdrehungswinkel mit unimodaler Verteilung oder mit einem Verdrehungswinkel mit einer bimodalen Verteilung gerichtet.

[0032] In einer weiteren beispielhaften Erscheinungsform ist die vorliegende Offenbarung auf ein Verfahren zum Strukturieren einer Ätzschiicht auf einem Substrat gerichtet. Das Verfahren umfasst das Bilden einer Resistsschicht auf der Ätzschiicht; Strukturieren der Resistsschicht, was zu einer strukturierten Resistsschicht führt, und Ausführen einer Ionenimplantierung in der strukturierten Resistsschicht, was zu einer behandelten strukturierten Resistsschicht führt. Der Schritt des Ausführens der Ionenimplantierung umfasst das Bereitstellen eines Behandlungsgases, das CH_4 , SiH_4 , Ar oder He enthält; Erzeugen eines Ionenstrahls aus dem Behandlungsgas; und Richten des Ionenstrahls auf das Substrat unter einem Neigungswinkel. Das Verfahren umfasst ferner das Ätzen der Ätzschiicht mit der behandelten strukturierten Resistsschicht als Ätzmaske.

[0033] In einer weiteren beispielhaften Erscheinungsform ist die vorliegende Offenbarung auf ein Verfahren zum Bilden einer integrierten Schaltung gerichtet. Das Verfahren umfasst das Strukturieren einer Materialschiicht auf einem Substrat, was zu einer strukturierten Materialschiicht führt; und das Behandeln der strukturierten Materialschiicht mit einem Ionenstrahl, der mit einem Element aus folgenden erzeugt ist: CH_4 , SiH_4 , Ar und He, und der auf das Substrat unter einem Neigungswinkel auffallend gerichtet wird, der größer als 10 Grad ist, was zu einer behandelten strukturierten Materialschiicht führt. Das Verfahren umfasst ferner das Ätzen des Substrats mit der behandelten strukturierten Materialschiicht. In verschiedenen Ausführungsformen kann die Materialschiicht eine Resistsschicht, eine siliziumhaltige ARC-Schicht oder eine Materialschiicht sein, die Silizium, Sauerstoff und Kohlenstoff enthält.

[0034] Die vorstehenden Übersichten weisen mehreren Ausführungsformen auf, so dass Fachleute auf diesem Gebiet die Erscheinungsformen der vorliegenden Offenbarung besser verstehen können. Die Fachleuten auf diesem Gebiet werden erkennen, dass sie die vorliegende Offenbarung ohne weiteres als Grundlage für den Entwurf oder das Modifizieren anderer Prozesse und Strukturen zum Verfolgen derselben Zwecke und/oder Erreichen derselben Vorteile der Ausführungsformen nutzen können, die hierin beschrieben werden. Die Fachleuten auf diesem Gebiet sollten auch erkennen, dass solche äquivalenten Konstruktionen nicht vom Geist und dem Geltungsbereich der vorliegenden Offenbarung abweichen und dass sie verschiedene Modifizierungen, Substitutionen und Änderungen hierin vornehmen können, ohne vom Geist und dem Geltungsbereich der vorliegenden Offenbarung abzuweichen.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Strukturieren eines Substrats, wobei das Verfahren Folgendes umfasst: Strukturieren einer Resistsschicht, die über dem Substrat gebildet ist, was zu einem Schutzmuster führt; Behandeln der Resiststruktur mit einem Ionenstrahl, was zu einem behandelten Schutzmuster führt, wobei der Ionenstrahl mit einem ersten Gas erzeugt wird und auf die Resiststruktur unter einem Neigungswinkel von mindestens 10 Grad gerichtet wird; und Ätzen des Substrats mit der behandelten Resiststruktur als Ätzmaske.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Ionenstrahl auf die Resiststruktur unter einem gleichförmigen Verdrehungswinkel gerichtet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Ionenstrahl auf die Resiststruktur unter einem Verdrehungswinkel gerichtet wird, der eine unimodale Verteilung von etwa -50 Grad bis etwa 50 Grad hat.
4. Verfahren nach Anspruch nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Ionenstrahl auf die Resiststruktur unter einem Verdrehungswinkel gerichtet wird, der eine bimodale Verteilung hat.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die bimodale Verteilung einen Ionenenergiepeak bei etwa $12,5$ Grad hat und einen weiteren Ionenenergiepeak bei etwa $-12,5$ Grad hat.
6. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei das erste Gas Ar ist und der Ionenstrahl mit einer Ionenenergie von etwa $1,0$ kV bis etwa $3,5$ kV versehen ist und die Ionendosis von etwa $1 \text{ E}16$ Ionen/ cm^2 bis etwa $10 \text{ E}16$ Ionen/ cm^2 beträgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das erste Gas He ist und der Ionenstrahl mit

einer Ionenenergie von etwa 1 kV bis etwa 5 kV versehen ist und die Ionendosis von etwa 1 E16 Ionen/cm^2 bis etwa $10 \text{ E16 Ionen/cm}^2$ beträgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das erste Gas SiH_4 ist und der Ionenstrahl mit einer Ionenenergie von etwa 2 kV bis etwa 5 kV und einer Ionendosis von etwa $0,5 \text{ E16 Ionen/cm}^2$ bis etwa 3 E16 Ionen/cm^2 versehen ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das erste Gas CH_4 ist und der Ionenstrahl mit einer Ionenenergie von etwa 1 kV bis etwa 5 kV und einer Ionendosis von etwa 1 E16 Ionen/cm^2 bis etwa 6 E16 Ionen/cm^2 versehen ist.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das erste Gas eines der folgenden Gruppe ist: CH_4 , SiH_4 , Ar, He, O_2 , N_2 , CO_2 und eine Kombination derselben.

11. Verfahren zum Gestalten einer Ätzschrift über einem Substrat, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:

Bilden einer Resistschicht über der Ätzschrift;
 Strukturieren der Resistschicht, was zu einer strukturierten Resistschicht führt;
 Ausführen der Ionenimplantierung in der strukturierten Resistschicht, was zu einer behandelten strukturierten Resistschicht führt, wobei das Ausführen der Ionenimplantierung umfasst:
 Bereitstellen eines Behandlungsgases, das CH_4 , SiH_4 , Ar oder He enthält;
 Erzeugen eines Ionenstrahls aus dem Behandlungsgas; und
 Richten des Ionenstrahls, der auf das Substrat unter einem Neigungswinkel einfällt; und Ätzen der Ätzschrift mit der behandelten strukturierten Resistschicht als Ätzmaske.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei der Ionenstrahl eine Ionendosis von mindestens $0,5 \text{ E16 Ionen/cm}^2$ hat.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, wobei der Neigungswinkel mindestens 10 Grad beträgt.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei der Ionenstrahl auf das Substrat mit einem gleichförmigen Verdrehwinkel auftreffend gerichtet ist.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei der Ionenstrahl auf das Substrat mit einem Verdrehwinkel auftreffend gerichtet ist, der eine unimodale Verteilung hat.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei der Ionenstrahl auf das Substrat mit einem

Verdrehwinkel auftreffend gerichtet ist, der eine bimodale Verteilung hat.

17. Verfahren zum Bilden einer integrierten Schaltung, wobei das Verfahren Folgendes umfasst:
 Gestalten einer Materialschicht über einem Substrat, was zu einer strukturierten Materialschicht führt;
 Behandeln der strukturierten Materialschicht mit einem Ionenstrahl, der mit einem Element aus folgenden erzeugt wird: CH_4 , SiH_4 , Ar and He, und der auf das Substrat unter einem Neigungswinkel auffallend gerichtet, der größer als 10 Grad ist, was zu einer behandelten strukturierten Materialschicht führt; und
 Ätzen des Substrats mit der behandelten strukturierten Materialschicht.

18. Verfahren nach Anspruch 17, wobei die Materialschicht eine Resistschicht ist.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, wobei die Materialschicht eine siliziumhaltige Schicht zur Antireflexbeschichtung (ARC) ist.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, wobei die Materialschicht Silizium, Kohlenstoff und Sauerstoff enthält.

Es folgen 13 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

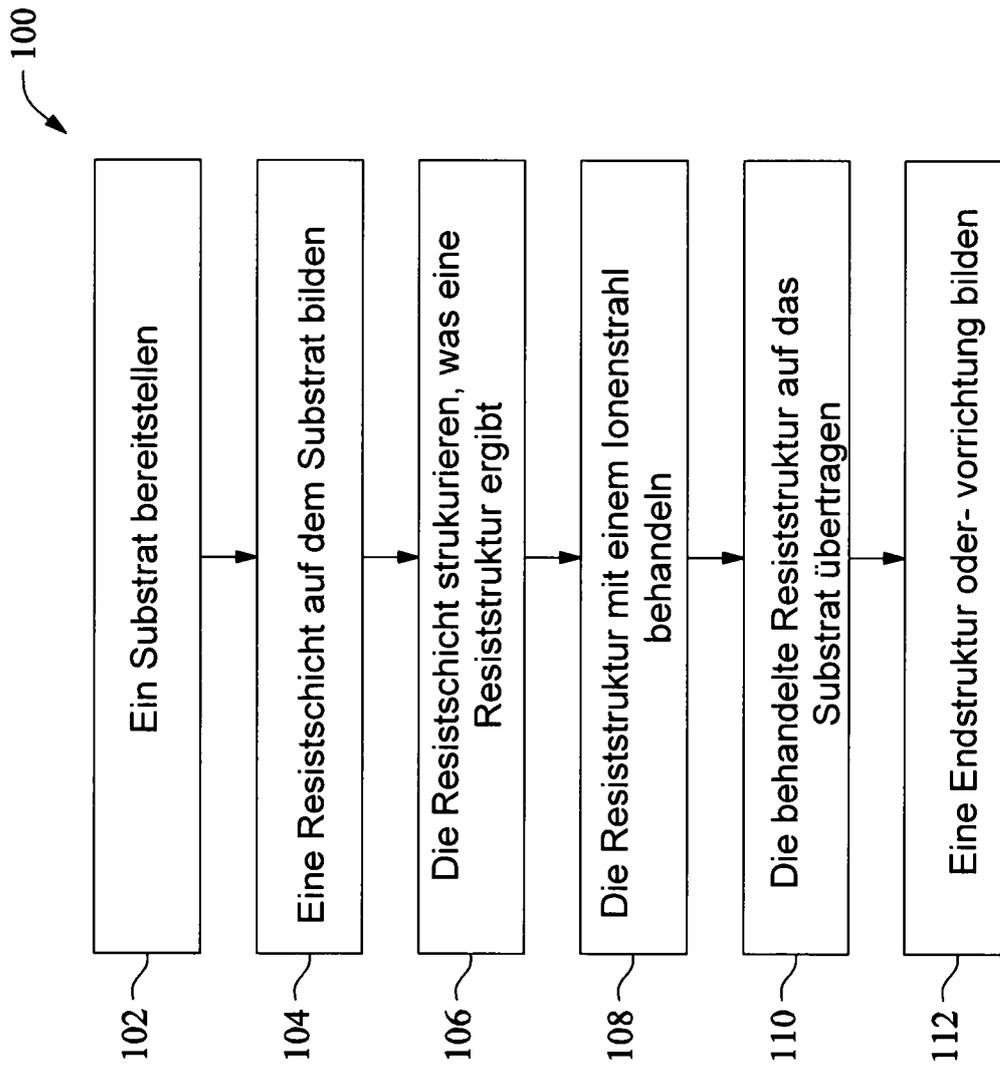


FIG. 1

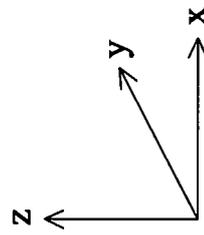
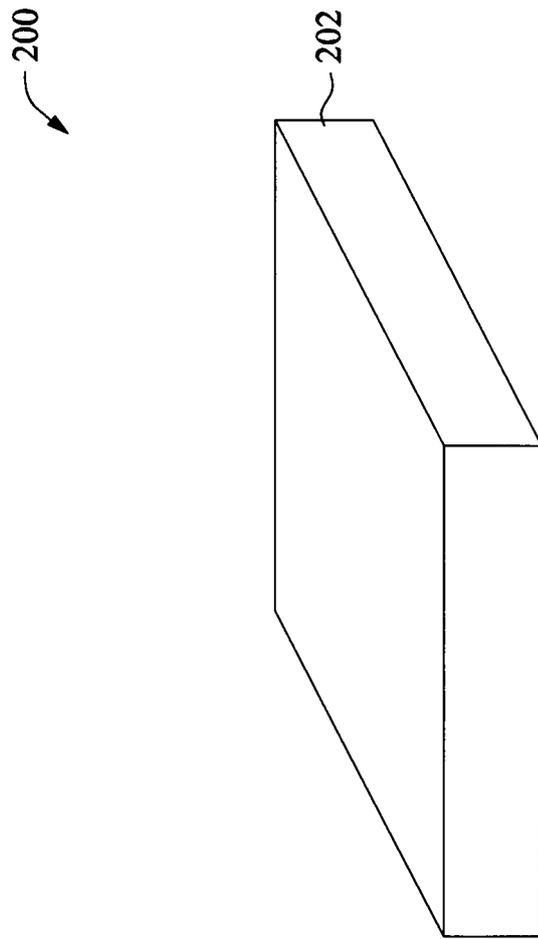


FIG. 2

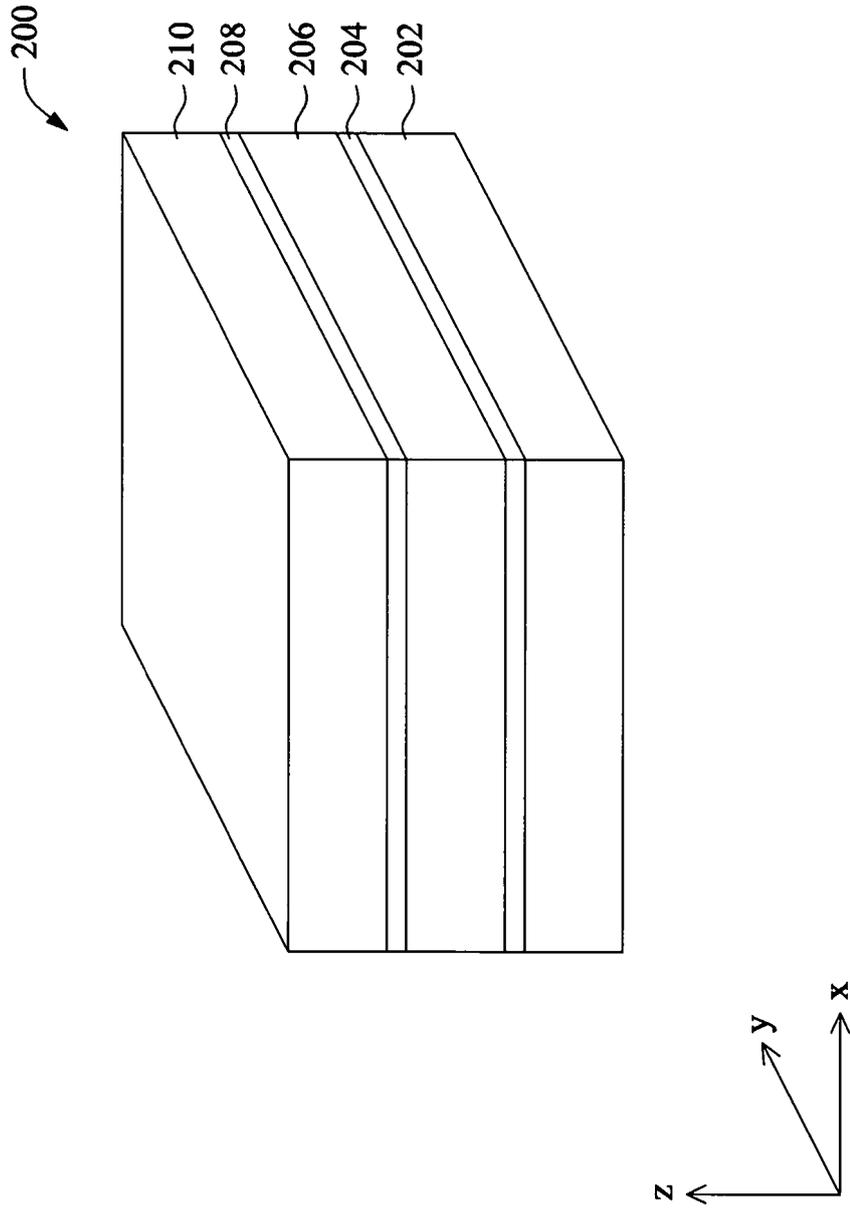


FIG. 3

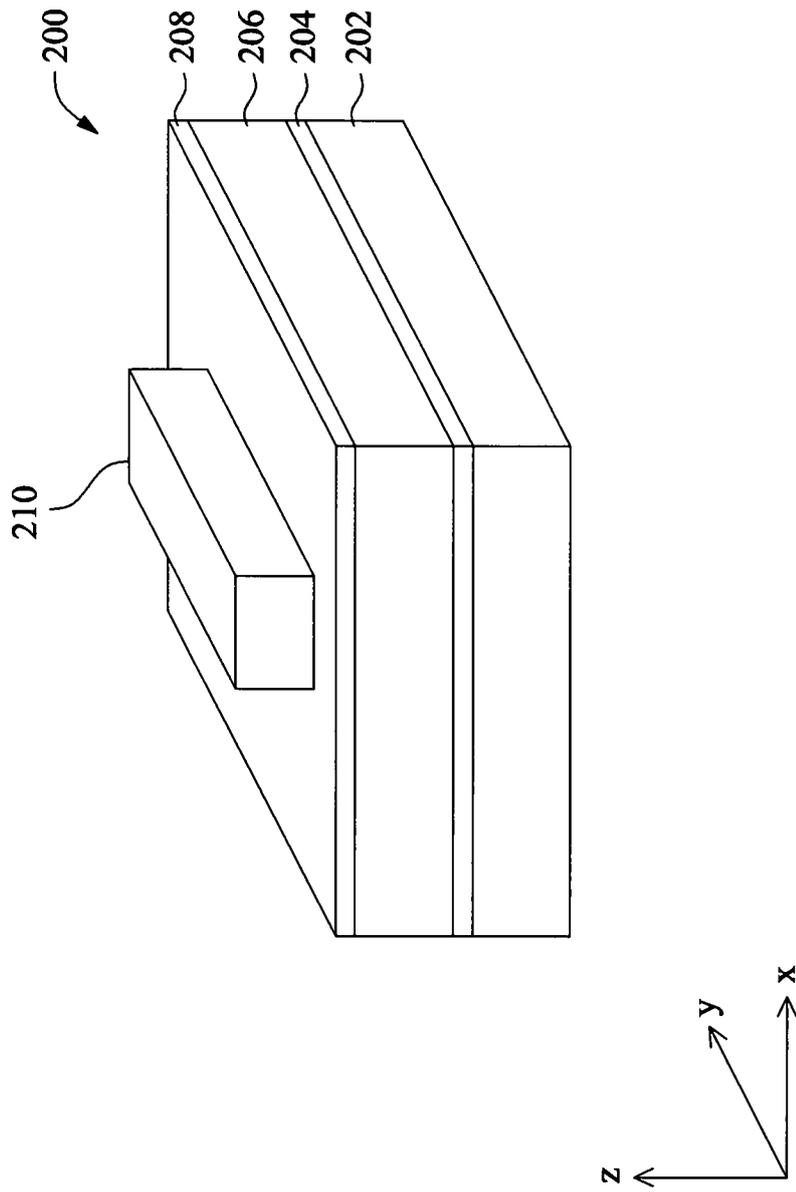


FIG. 4

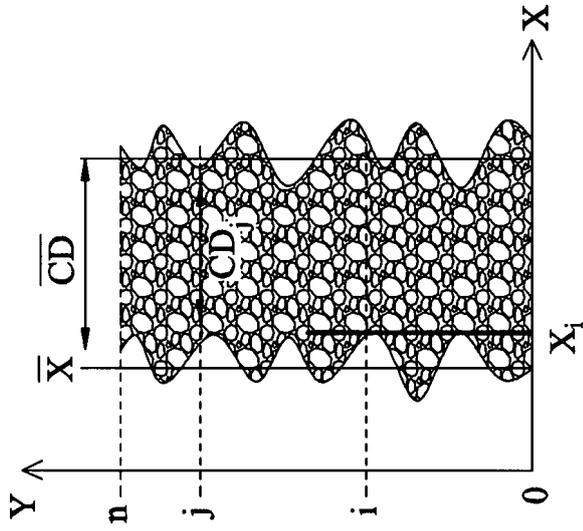


FIG. 6

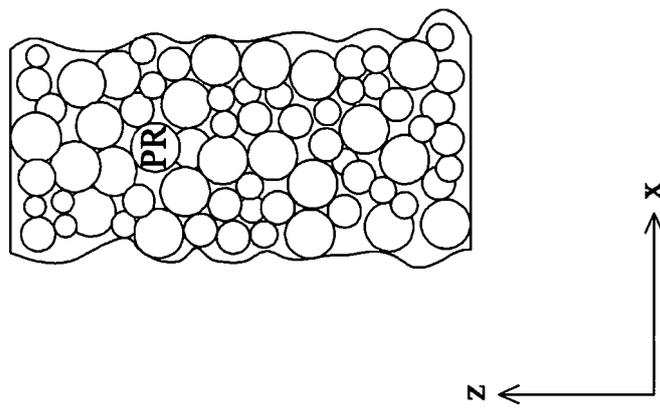


FIG. 5

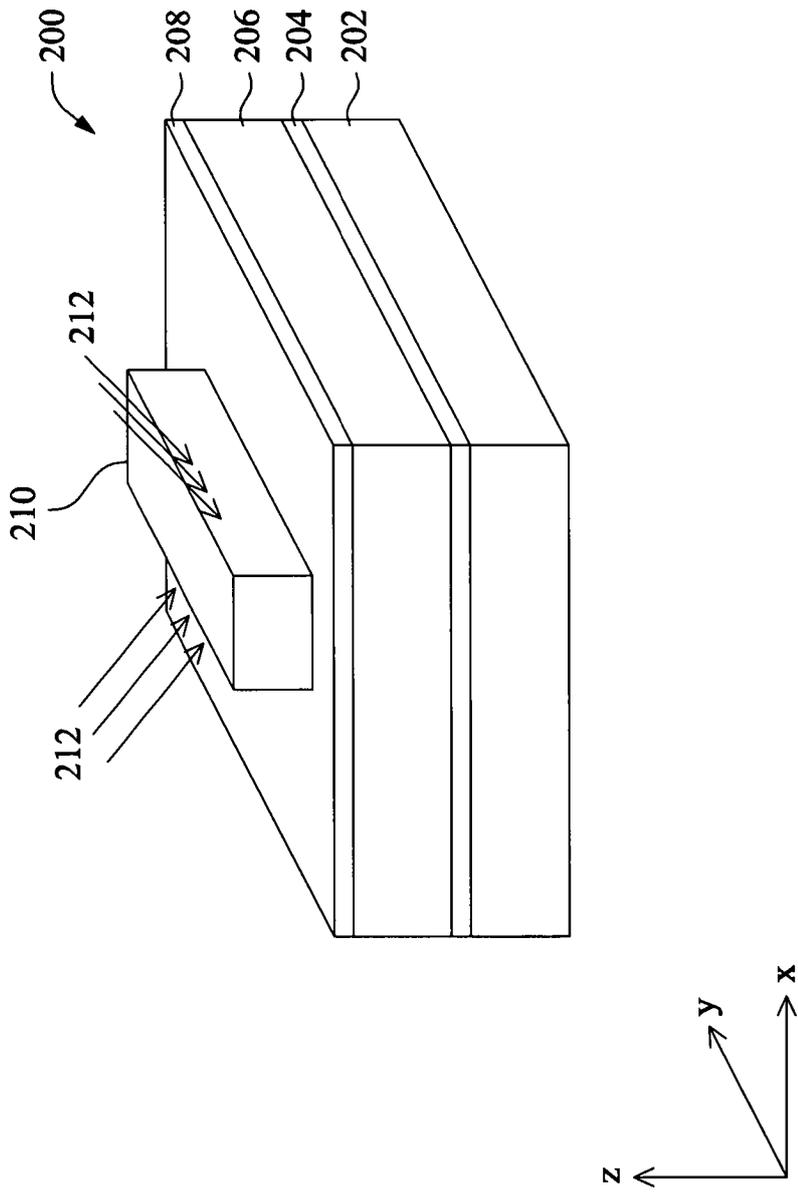


FIG. 7

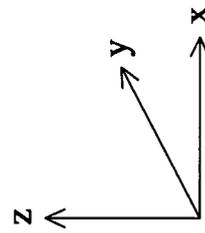
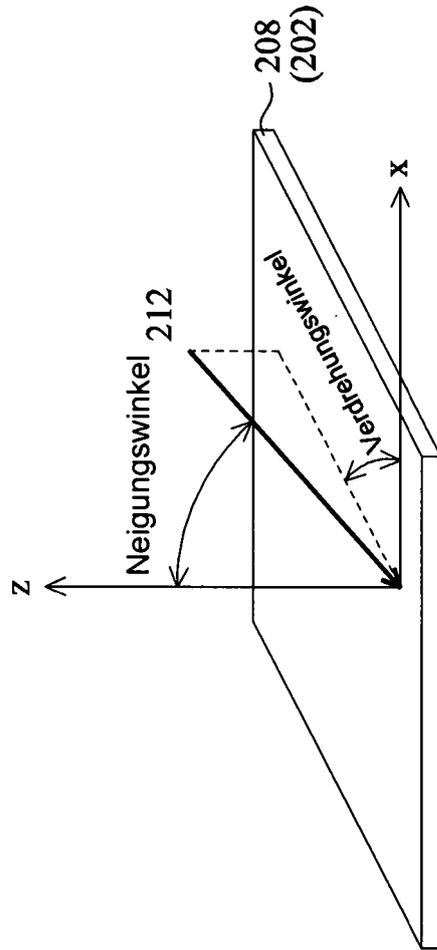


FIG. 8

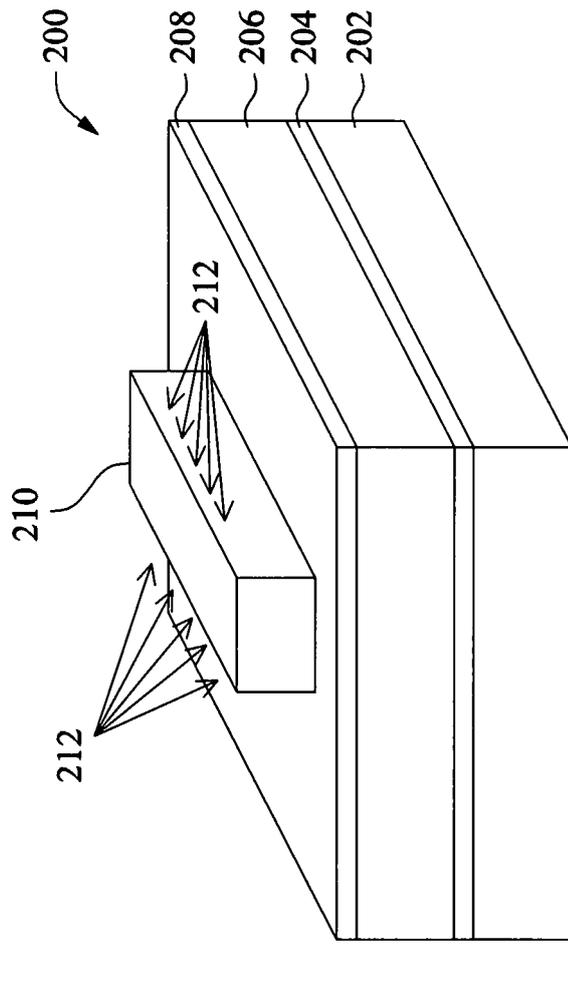


FIG. 9

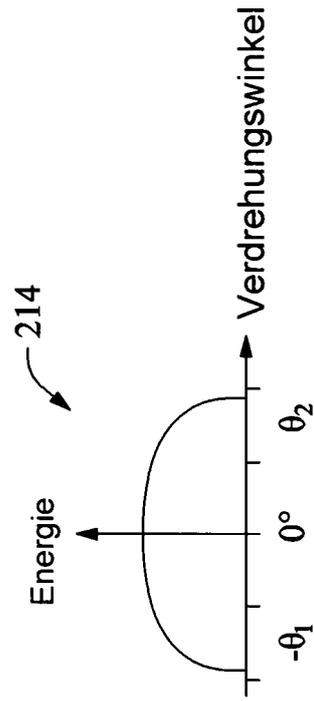


FIG. 10

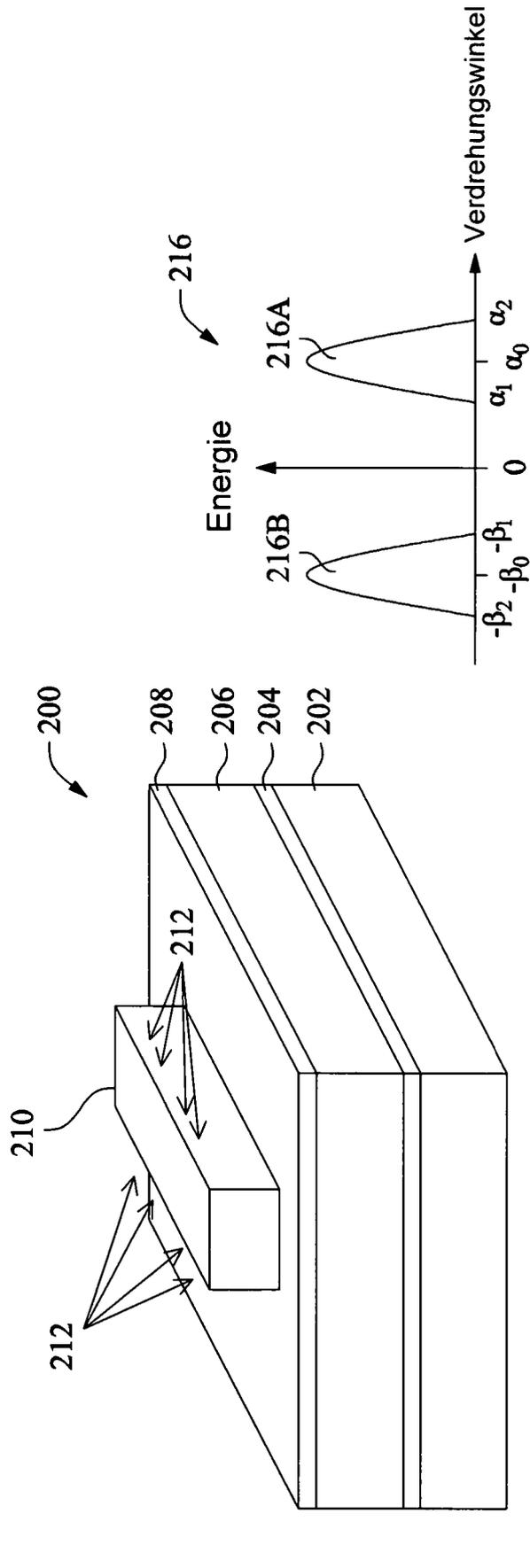


FIG. 11

FIG. 12

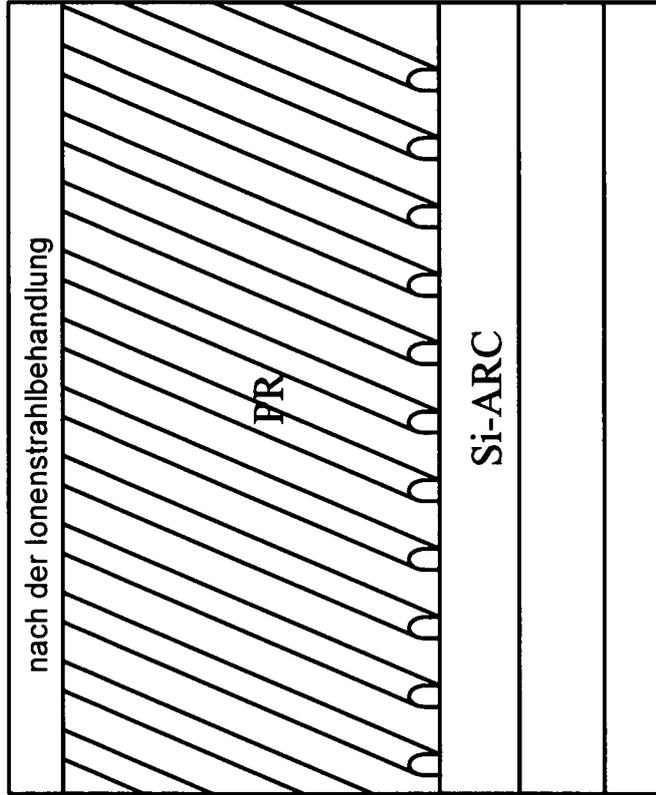


FIG. 14

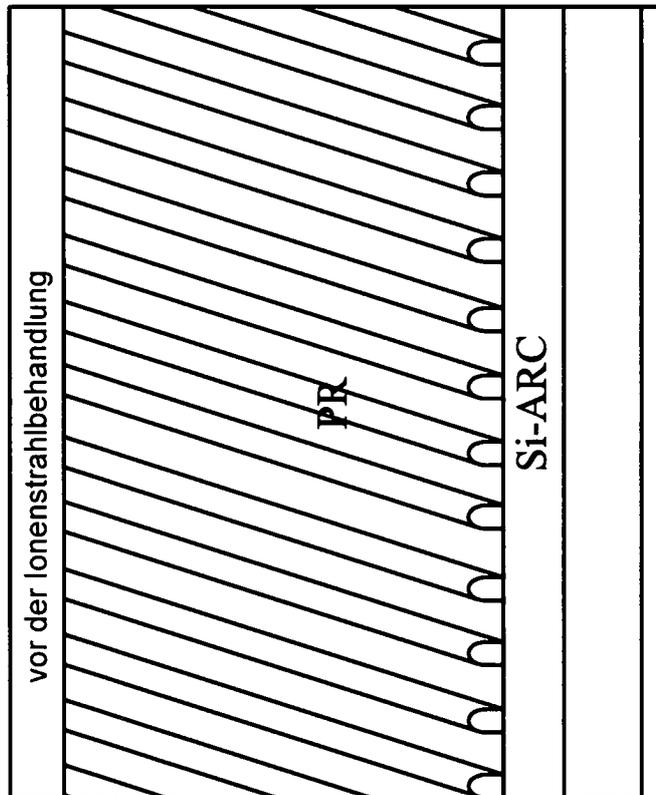


FIG. 13

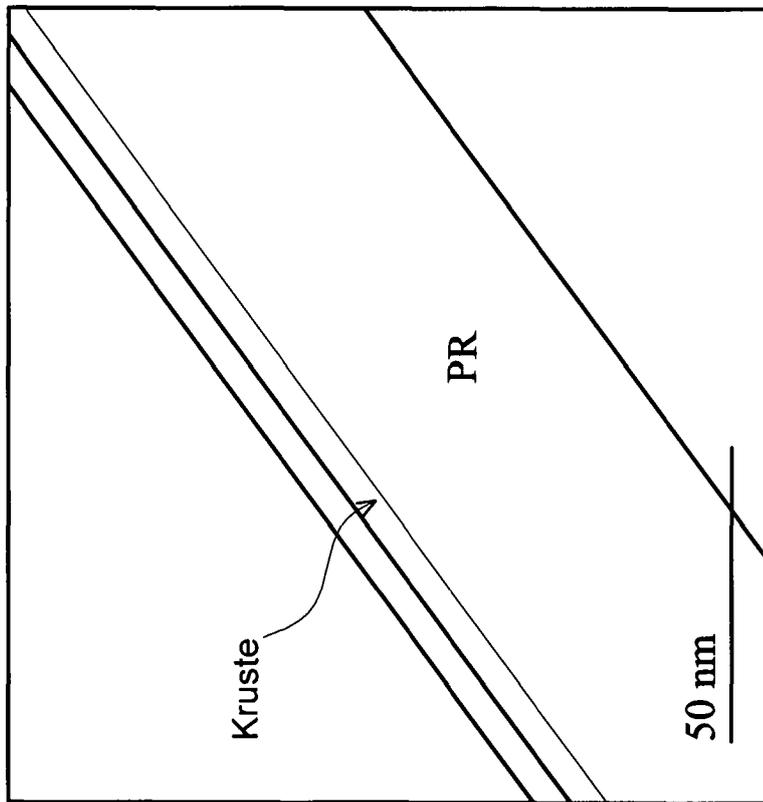


FIG. 15

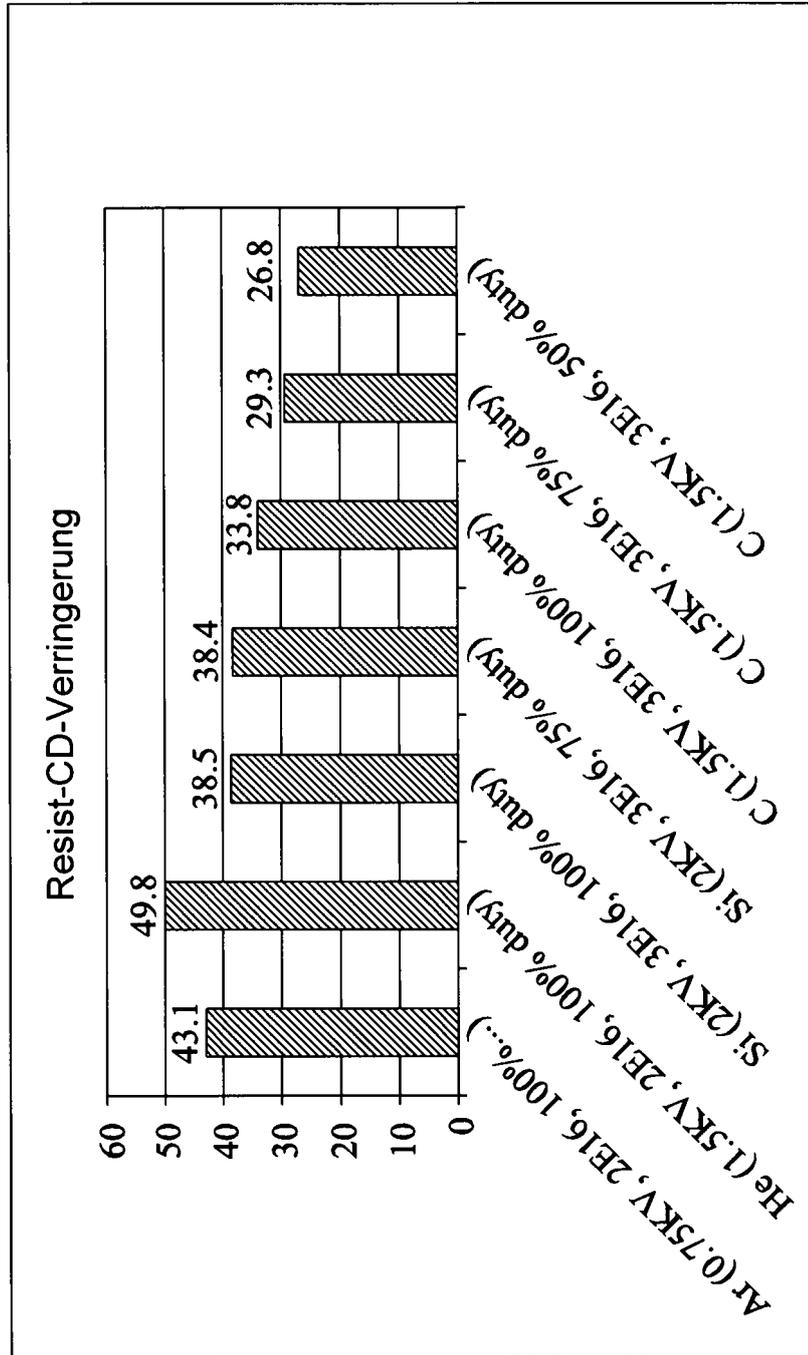


FIG. 16

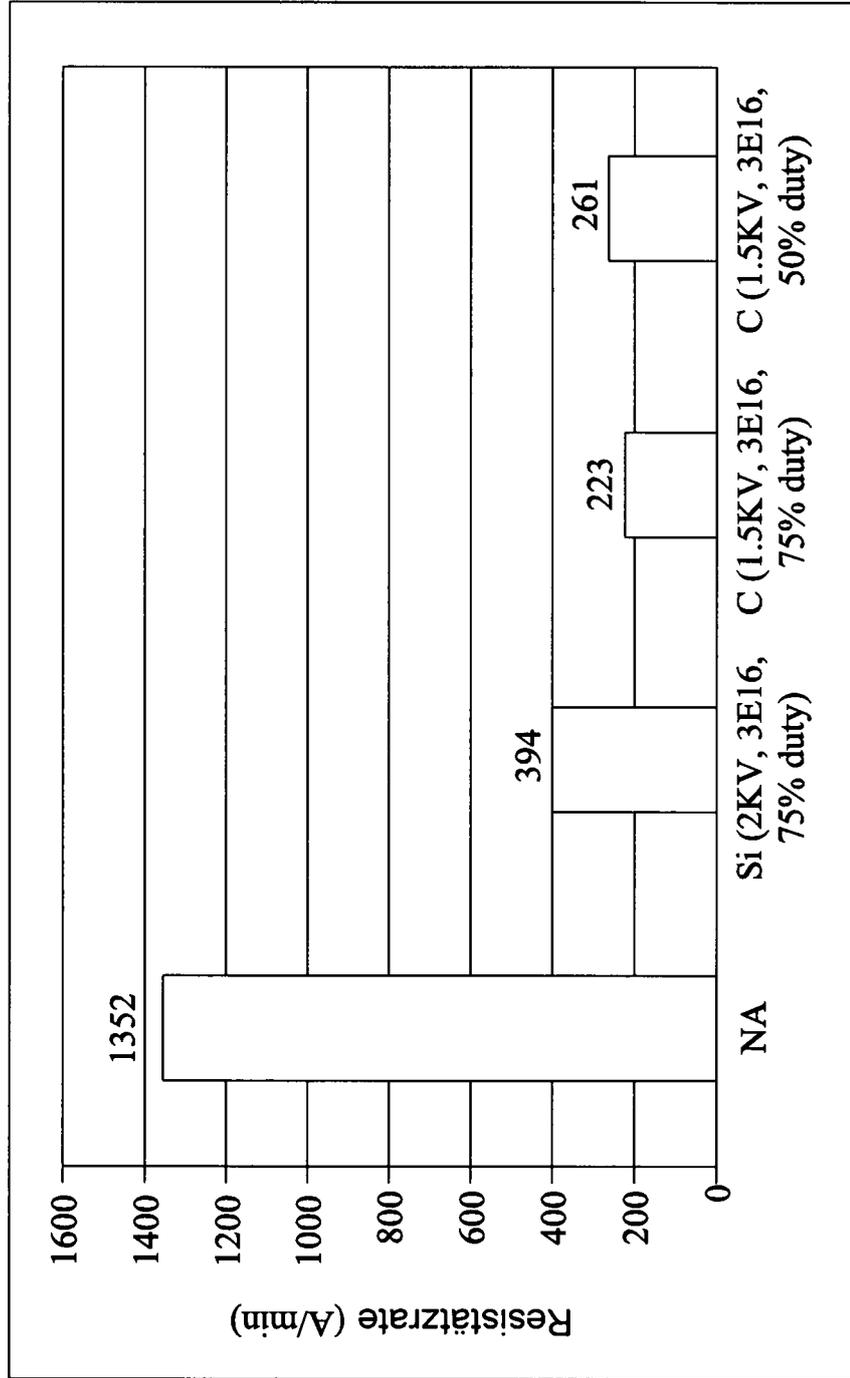


FIG. 17