



SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 696 374 A5

(51) Int. Cl.: H01L 29/861 (2006.01)

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENT-SCHRIFT**

(21) Gesuchsnummer: 00145/03

(22) Anmeldedatum: 31.01.2003

(30) Priorität: 31.01.2002 JP 2002-023676

(24) Patent erteilt: 15.05.2007

(45) Patentschrift veröffentlicht: 15.05.2007

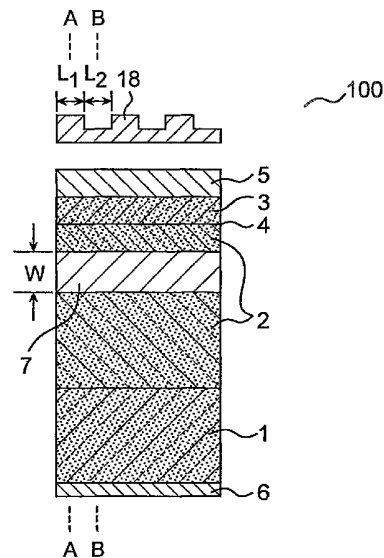
(73) Inhaber:
Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha,
No. 2-3, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8310 (JP)

(72) Erfinder:
Yoshifumi Tomomatsu,
Fukuoka-shi, Fukuoka 819-0161 (JP)
Shinichi Ishizawa, Fukuoka-shi, Fukuoka 819-0161 (JP)

(74) Vertreter:
Bovard AG Patentanwälte, Optingenstrasse 16
3000 Bern 25 (CH)

(54) **Herstellungsverfahren für eine PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung und eine PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung.**

(57) Ein Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Herstellungsverfahren für eine PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung (100) bereitzustellen, das das Bereitstellen eines Halbleiterwafers (1) mit einer darauf ausgebildeten Kathodenschicht (2) der N-Art umfasst. Dann wird auf der Kathodenschicht der N-Art eine Anodenschicht (3) der P-Art ausgebildet, so dass sich eine PN-Sperrschicht-Grenzfläche (4) zwischen der Kathodenschicht (2) der N-Art und der Anodenschicht (3) der P-Art bildet. Als Nächstes wird eine Kathoden- und eine Anodenelektrode (5, 6) auf dem Halbleiterwafer bzw. der Anodenschicht (3) der P-Art ausgebildet. Schliesslich werden erste und zweite Ionen mit voneinander unterschiedlichen durchschnittlichen Projektionsreichweiten Rp bis zur Kathodenschicht (2) implantiert, so dass sich einer oder mehrere erste und zweite implantierte Bereiche abwechselnd bilden und sich Seite an Seite überlappen, wodurch sich ein Gitterstörstellenbereich (7) bildet, der eine im Wesentlichen gleichmässige Dicke unterhalb der und angrenzend an die PN-Sperrschicht-Grenzfläche (4) aufweist.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

1) Technisches Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf eine PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung und deren Herstellungsverfahren, und insbesondere auf eine PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung mit weniger Abweichung der Vorwärtsspannungen zwischen den Vorrichtungen, und deren Herstellungsverfahren.

2) Beschreibung des verwandten Stands der Technik

[0002] Fig. 9 ist eine Querschnittsansicht einer herkömmlichen mit der Bezugszahl 200 bezeichneten PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung, die als Schaltvorrichtung sowie als Transistor verwendet werden kann. Wie in Fig. 9 dargestellt ist, besitzt die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 200 eine geschichtete Struktur, die im Allgemeinen eine N+-Kathodenschicht 1, eine N-Kathodenschicht 2 und eine P-Anodenschicht 3 umfasst. Eine PN-Sperrschicht-Grenzfläche 4 ist an der Grenzfläche zwischen der N-Kathodenschicht 2 und der P-Anodenschicht 3 ausgebildet. Jede der vorgenannten Schichten besteht aus einem Material, das Silizium enthält.

[0003] Eine Anodenelektrode 5 ist auf die Oberfläche der P-Anodenschicht 3 aufgebracht, während eine Kathodenelektrode 6 auf der Grundfläche der N+-Kathodenschicht 1 ausgebildet ist. Jede der Elektroden besteht aus einem Material wie Aluminium.

[0004] Die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 200 weist in der N-Kathodenschicht 2 einen Gitterstörstellenbereich 17 auf, der unterhalb der und angrenzend an die PN-Sperrschicht-Grenzfläche 4 ausgebildet ist. In dem Gitterstörstellenbereich sind mehrere Störstellengitter entsprechend einer normalen Verteilung mit einer Halbwertbreite T verteilt. Der Gitterstörstellenbereich 17 wird ausgebildet, indem Ionen wie ein Proton- oder Heliumion nach Ausbildung der Schichten 1 bis 6 implantiert und danach gegläht werden. Im allgemeinen wird dieser Implantationsschritt durch einen Absorber 8 ausgeführt, der aus Aluminium besteht. Während des Glühens werden die meisten der implantierten Ionen aus der N-Kathodenschicht 2 evakuiert, wodurch der Gitterstörstellenbereich 17 zurückbleibt. Die Halbwertbreite T kann beispielsweise in der Tiefenrichtung um ca. 10 Mikron verteilt sein.

[0005] Fig. 10 ist eine graphische Darstellung, die Trägerkonzentrationen und eine Gitterstörstellenkonzentration darstellt, die von der vertikalen Entfernung (Tiefe) von der Oberfläche der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 200 abhängen. Somit befinden sich die Anoden- und Kathodenelektroden 5 bzw. 6 in Fig. 10 jeweils auf der linken bzw. rechten Seite. Die Bezeichnungen «P», «N» und «q» in Fig. 10 geben auch die Verteilungen der Störstellenkonzentrationen der P- und N-Art bzw. die Gitterstörstellenkonzentration an. Die römischen Zahlen I, II und III bezeichnen jeweils Bereiche der P-Anodenschicht 3, der N-Kathodenschicht 2 bzw. der N+-Kathodenschicht 1.

[0006] In Fig. 10 ist der Gitterstörstellenbereich 17 angrenzend an die PN-Sperrschicht-Grenzfläche und innerhalb der N-Kathodenschicht (II) ausgebildet und weist die Halbwertbreite T auf.

[0007] Der Gitterstörstellenbereich 17 erfüllt die Aufgabe eines so genannten «life-time killers» (auf Deutsch in etwa «Lebensdauervernichters») und erfasst und löscht somit die Minoritätsträger, d.h. Löcher, die aus der P-Anodenschicht 3 in die N-Kathodenschicht 2 injiziert wurden. Zu diesem Zweck kann die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 200 vor einer negativen Stossspannung geschützt werden, und es kann ein Schnellschalten realisiert werden.

[0008] Jede der herkömmlichen PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 200 wird dadurch hergestellt, dass mehrere Vorrichtungen, die auf dem Halbleiterwafer ausgebildet sind, mit einem Durchmesser von 5 Inch ausgebildet werden und der Wafer dann in einzelne PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen zerschnitten wird. Nachteiligerweise besteht eine wesentliche Abweichung der Vorwärtsspannungen (V_F) zwischen den selbst auf ein und demselben Wafer ausgebildeten PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 200.

[0009] Die vorliegenden Erfinder haben sich mit der Untersuchung der Abweichung der Vorwärtsspannungen beschäftigt und herausgefunden, dass diese von der Abweichung der Gitterstörstellenkonzentration im Gitterstörstellenbereich 17 verursacht wird. Die vorliegenden Erfinder haben auch entdeckt, dass die Abweichung der Gitterstörstellenkonzentration dadurch verringert werden kann, dass die Halbwertbreite vergrößert und die Spitzenkonzentration verringert wird, wobei die Gesamtanzahl der Störstellengitter im Gitterstörstellenbereich 17 unverändert aufrechterhalten bleibt.

[0010] Um die Halbwertbreite des Gitterstörstellenbereichs 17 zu vergrößern, ist es im Allgemeinen jedoch notwendig, die Ionenimplantationsschritte mit Implantationsenergien zu wiederholen, die sich voneinander unterscheiden, um individuelle Projektionsreichweiten zu erzielen. Solch mehrfache Ionenimplantationsschritte machen das Herstellungsverfahren langwierig und kompliziert, wodurch die Herstellungskosten steigen.

[0011] Deshalb besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, ein Herstellungsverfahren einer PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung vorzusehen, wobei der Gitterstörstellenbereich die grössere Halbwertbreite ohne zusätzliche Implantationsschritte aufweist, und die so hergestellte PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung bereitzustellen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0012] Der weitere mögliche Anwendungsbereich der vorliegenden Erfindung wird aus der nachstehend gegebenen ausführlichen Beschreibung deutlich. Dennoch sollte sie so verstanden werden, dass die ausführliche Beschreibung und die speziellen Beispiele, während sie bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung angeben, nur zu Darstellungszwecken wiedergegeben sind, da dem Fachmann aus dieser ausführlichen Beschreibung verschiedene Änderungen und Modifizierungen klar sein werden, die im Geiste und Rahmen der Erfindung liegen.

[0013] Der erste Aspekt der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Herstellung einer PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung bereitzustellen, die das Bereitstellen eines Halbleiterwafer mit einer darauf ausgebildeten Kathodenschicht der N-Art umfasst. Dann wird eine Anodenschicht der P-Art auf der Kathodenschicht der N-Art ausgebildet, so dass sich eine PN-Sperrschicht-Grenzfläche zwischen der Kathodenschicht der N-Art und der Anodenschicht der P-Art bildet. Als Nächstes wird eine Kathoden- und eine Anodenelektrode auf dem Halbleiterwafer bzw. der Anodenschicht der P-Art ausgebildet. Als Letztes werden erste und zweite Ionen mit durchschnittlichen Projektionsreichweiten R_p , die sich voneinander unterscheiden, gleichzeitig bis zur Kathodenschicht implantiert, so dass sich abwechselnd ein oder mehrere erste und zweite implantierte Bereiche bilden und sich Seite an Seite überlappen, wodurch ein Gitterstörstellenbereich mit einer im Wesentlichen gleichförmigen Dicke entsteht.

[0014] Der zweite Aspekt der Erfindung besteht darin, eine PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung bereitzustellen, die einen Halbleiterwafer mit einer Kathodenschicht der N-Art umfasst. Eine Anodenschicht der P-Art ist auch auf der Kathodenschicht der N-Art so ausgebildet, dass sich eine PN-Sperrschicht-Grenzfläche zwischen der Kathodenschicht der N-Art und der Anodenschicht der P-Art bildet. Eine Kathoden- und eine Anodenelektrode wird auf dem Halbleiterwafer bzw. der Anodenschicht der P-Art ausgebildet. Als Letztes wird ein Gitterstörstellenbereich in der Kathodenschicht der N-Art, der eine im Wesentlichen gleichmässige Dicke aufweist, unterhalb der und angrenzend an die PN-Sperrschicht-Grenzfläche ausgebildet. Der Gitterstörstellenbereich weist eine Gitterstörstellenkonzentrationsverteilung mit einer Halbwertbreite auf, die grösser ist als diejenige des Gitterstörstellenbereichs, der durch Implantation von Ionen ausgebildet wird, die untereinander eine im Wesentlichen gleiche Projektionsreichweite R_p aufweisen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0015] Die folgende Erfindung wird aus der nachstehend gegebenen ausführlichen Beschreibung und den beigefügten Zeichnungen verständlicher, die nur zu Darstellungszwecken wiedergegeben sind und sich somit nicht auf die vorliegende Erfindung beschränken:

- Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht einer PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- die Fig. 2A und 2B sind eine Ansicht von oben bzw. eine Querschnittsansicht eines Absorbers, der zur Herstellung der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der ersten Ausführungsform verwendet wird;
- die Fig. 3A bis 3C sind graphische Darstellungen, die die Verteilungen von Störstellenkonzentrationen in jeder Schicht und einer Gitterstörstellenkonzentration in einem Gitterstörstellenbereich der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung zeigen;
- die Fig. 4A und 4B sind eine Ansicht von oben bzw. eine Querschnittsansicht eines alternativen Absorbers, der zur Herstellung der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der ersten Ausführungsform verwendet wird;
- Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht einer PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 6 ist eine Querschnittsansicht einer PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 7 ist eine Querschnittsansicht einer PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;
- die Fig. 8A und 8B sind graphische Darstellungen, die die Verteilungen von Störstellenkonzentrationen in jeder Schicht und einer Gitterstörstellenkonzentration in dem Gitterstörstellenbereich der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung zeigen;
- Fig. 9 ist eine Querschnittsansicht einer herkömmlichen PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung, die sich auf die vorliegende Erfindung bezieht; und

Fig. 10 ist eine graphische Darstellung, die die Verteilungen von Störstellenkonzentrationen in jeder Schicht und einer Gitterstörstellenkonzentration in dem Gitterstörstellenbereich der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung zeigt.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen

[0016] Die Einzelheiten von Ausführungsformen nach der vorliegenden Erfindung werden nachstehend mit Bezug auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben. Obwohl in diesen Beschreibungen die richtungsanzeigende Terminologie (z.B. «oben», «unten» und «vertikal») der Klarheit halber verwendet wird, sollte sie nicht so ausgelegt werden, dass sie den Rahmen der vorliegenden Erfindung einschränkt.

Ausführungsform 1

[0017] Mit Bezug auf die Fig. 1 bis 4 wird nachstehend die erste Ausführungsform einer PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der vorliegenden Erfindung beschrieben. Fig. 1 ist eine Querschnittsansicht der mit dem Bezugszeichen 100 versehenen PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung. In Fig. 1 sind Elemente, die gleich oder ähnlich denjenigen von Fig. 9 sind, mit gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen.

[0018] Wie in Fig. 1 dargestellt ist, weist die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 100 eine geschichtete Struktur auf und umfasst im Allgemeinen eine N⁺-Kathodenschicht 1, eine N-Kathodenschicht 2 und eine P-Anodenschicht 3. Eine PN-Sperrschicht-Grenzfläche 4 ist an der Grenzfläche zwischen der N-Kathodenschicht 2 und der P-Anodenschicht 3 ausgebildet. Jede der vorgenannten Schichten besteht aus einem Material, das Silizium enthält.

[0019] Eine Anodenelektrode 5 ist auf der Oberfläche der P-Anodenschicht 3 aufgebracht, während eine Kathodenelektrode 6 auf der Grundfläche der N⁺-Kathodenschicht 1 ausgebildet ist. Jede der Elektroden besteht aus einem Material wie Aluminium.

[0020] Die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung weist in der N-Kathodenschicht 2 einen Gitterstörstellenbereich 7 auf, der unterhalb der und angrenzend an die PN-Sperrschicht-Grenzfläche 4 ausgebildet ist. Die Verteilung des Gitterstörstellenbereichs 7 nach der ersten Ausführungsform 1 weist einen niedrigeren Spitzenwert und eine grössere Halbwertbreite W auf als der herkömmliche Gitterstörstellenbereich 17, d.h., $W > T$. Beispielsweise kann sich die Halbwertbreite W des Gitterstörstellenbereichs 7 nach der vorliegenden Ausführungsform in einem Bereich von ca. 15 bis 20 Mikron ansiedeln, das ist etwa 1,5 bis 2,0 Mal grösser als der herkömmliche Bereich.

[0021] Bei der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 100 erfüllt der Gitterstörstellenbereich 7, der unterhalb der und angrenzend an die PN-Sperrschicht-Grenzfläche 4 ausgebildet ist, eine Aufgabe als so genannter «life-time killer». Somit erfasst und löscht der Gitterstörstellenbereich die Minoritätsträger, d.h. Löcher, die aus der P-Anodenschicht 3 in die N-Kathodenschicht 2 injiziert wurden, deshalb kann die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 200 vor einer negativen Stossspannung geschützt werden, und es kann ein Schnellschalten realisiert werden.

[0022] Da die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 100 den Gitterstörstellenbereich 7 mit einem niedrigeren Spitzenwert und eine grössere Halbwertbreite W als diejenige T der herkömmlichen Vorrichtung 200 umfasst, kann die Abweichung der Gitterstörstellenkonzentration zwischen den PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 100 auf dem ganzen Wafer reduziert werden. Dazu kann die Abweichung der Vorwärtsspannungen zwischen den Vorrichtungen auf dem Wafer im Wesentlichen reduziert werden.

[0023] Als Nächstes wird das Herstellungsverfahren der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 100 nach der ersten Ausführungsform 1 nachstehend beschrieben. Das Herstellungsverfahren umfasst im Allgemeinen die wie weiter unten beschriebenen Schritte 1 bis 5.

Schritt 1:

[0024] Ein Siliziumwafer mit der N⁺-Kathodenschicht 1 und der N-Kathodenschicht 2 wird vorbereitet. Der Siliziumwafer kann einen Durchmesser von 5 Inch haben.

Schritt 2:

[0025] Die P-Anodenschicht 3 wird auf der N-Kathodenschicht 2 ausgebildet, indem Ionen der P-Art gleichmässig auf der ganzen N-Kathodenschicht 2 implantiert werden. Die Grenzfläche zwischen der N-Kathodenschicht 2 und der P-Anodenschicht 3 wird zur PN-Sperrschicht-Grenzfläche 4.

Schritt 3:

[0026] Die Anodenelektrode 5 und die Kathodenelektrode 6 wird beispielsweise aus Aluminium durch Aufdampfen auf die P-Anodenschicht 3 bzw. die N⁺-Kathodenschicht 1 ausgebildet.

Schritt 4:

[0027] Ionen mit einer niedrigen Atomzahl, wie beispielsweise ein Proton- oder Heliumion, werden mittels eines Ionenbeschleunigers wie eines Zyklotrons so implantiert, dass sie bis zur N–Kathodenschicht 2 reichen. Die Ionen werden auch durch einen Absorber 18 implantiert, der aus einem Material wie Aluminium und Silizium besteht. Nach dem Implantieren von Ionen wird die N–Kathodenschicht 2 gegläht, so dass die meisten der implantierten Ionen aus der N–Kathodenschicht 2 evakuiert werden, wodurch der Gitterstörstellenbereich 7 in der N–Kathodenschicht 2 zurückbleibt.

[0028] Die Fig. 2A und 2B sind eine vergrösserte Drauf- bzw. Querschnittsansicht des Absorbers 18. Der Absorber 18 weist eine streifenartige Konfiguration mit mehreren abwechselnd ausgebildeten dicken und dünnen Bereichen 19, 20 auf, die sich im Wesentlichen parallel zueinander erstrecken. Wie in Fig. 2A deutlich gezeigt ist, sind die dicken Bereiche 19 in einer vertikalen (Tiefen-)Richtung dicker als die dünnen Bereiche 20. Der Absorber 18 mit der streifenartigen Konfiguration kann ausgebildet werden, indem ein flaches Substrat aus Aluminium oder Silizium so geätzt wird, dass mehrere Rillen erhalten werden. Alternativ kann der Absorber 18 dadurch hergestellt werden, dass ein streifenartiges Substrat, das mehrere Streifen aufweist, auf einem flachen Substrat befestigt wird.

[0029] Wie in Fig. 2B dargestellt ist, umfasst der Absorber 18 mehrere dicke und dünne Bereiche 19, 20, die jeweils eine Breite L1 bzw. L2 aufweisen. Da Rp als eine durchschnittliche Projektionsreichweite (Tiefe) in der Verteilung der Ionen definiert ist, die durch die dünnen Bereiche 20 des Absorbers 18 implantiert sind, werden dann die Breiten L1, L2 der dicken und dünnen Bereiche 19, 20 so ausgelegt, dass sie der folgenden Formel (1) genügen:

$$R_p \geq L_1 - L_2 \quad (1)$$

[0030] L1, L2 und Rp können beispielsweise jeweils 20 Mikron, 10 Mikron und 20 Mikron betragen.

[0031] Die Fig. 3A, 3B und 3C sind graphische Darstellungen, die Trägerkonzentrationen und eine Gitterstörstellenkonzentration zeigen, die vom vertikalen Abstand (der Tiefe) von der Oberfläche der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung abhängen. Somit befinden sich die Anoden- und Kathodenelektrode 5 und 6 in Fig. 3 auf der linken bzw. rechten Seite. Die Bezeichnungen «P», «N» und «q» in Fig. 3 geben Verteilungen der Störstellenkonzentrationen der P- und N-Art bzw. der Gitterstörstellenkonzentration an. Die römischen Zahlen I, II und III bezeichnen jeweils Bereiche der P–Anodenschicht 3, der N–Kathodenschicht 2 und der N+–Kathodenschicht 1.

[0032] Fig. 3A ist eine graphische Darstellung, die jede Konzentration in einem Querschnitt entlang der Linie A–A von Fig. 1 zeigt. In Fig. 3A gibt die Bezeichnung «q1» die Verteilung der Gitterstörstellenkonzentration an, die eine Halbwertbreite W1 aufweist. Fig. 3B ist auch eine graphische Darstellung, die jede Konzentration in einem Querschnitt entlang der Linie B–B von Fig. 1 zeigt. In Fig. 3B gibt die Bezeichnung «q2» die Verteilung der Gitterstörstellenkonzentration an, die eine Halbwertbreite W2 aufweist.

[0033] Wie in den Fig. 3A und 3B deutlich gezeigt ist, befindet sich die Spitze der Verteilung q1 links von der Spitze der Verteilung q2 (d.h. sie befindet sich näher an der Anodenelektrode 5). Auch sind die Spitzenhöhen der Verteilungen q1 und q2 in den Fig. 3A und 3B niedriger als die in Fig. 10 gezeigte Spitzenkonzentration der Verteilung q.

[0034] In der Praxis werden Ionen, die in die N–Kathodenschicht 2 implantiert werden, auch in einer seitlichen Richtung gestreut und verteilt, und die Verteilungen q1 und q2 überlappen sich Seite an Seite und verschmelzen zu der tatsächlichen Verteilung q der Gitterstörstellenkonzentration der vorliegenden Erfindung, wie in Fig. 3C dargestellt ist. Schliesslich weist der Gitterstörstellenbereich 7 eine gleichmässige Verteilung q der Gitterstörstellenkonzentration auf dem ganzen Wafer auf, wodurch eine grössere Halbwertbreite W und eine niedrigere Spitzenkonzentration realisiert wird, und die Gesamtanzahl der Störstellengitter im Gitterstörstellenbereich 7 unverändert aufrechterhalten bleibt. Beispielsweise können die in den Fig. 3A, 3B und 3C angegebenen Halbwertbreiten W1, W2 und W3 jeweils ca. 10 Mikron, 10 Mikron und 15 Mikron betragen.

Schritt 5:

[0035] Der Wafer wird in mehrere PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 100 zerschnitten.

[0036] Wie zuvor beschrieben kann nach dem Herstellungsverfahren der vorliegenden Erfindung der Gitterstörstellenbereich 7 mit der grösseren Halbwertbreite W mit nur einem Implantationsschritt realisiert werden.

[0037] Die Fig. 4A und 4B sind eine vergrösserte Drauf- bzw. Querschnittsansicht eines anderen Absorbers 28, der für das Herstellungsverfahren der vorliegenden Erfindung verwendet wird. Wie in den Fig. 4A und 4B gezeigt ist, besitzt der Absorber 28 mehrere quadratische dicke Bereiche 29 (vorspringende Bereiche), die eine Seite mit der Breite L1 aufweisen, und ausser den dicken Bereichen einen dünnen Bereich 30. Jeder dicke Bereich 29 ist um einen Spalt L2 vom anderen beabstandet. Auf diese Weise besitzt der Absorber 28 eine matrixförmige Konfiguration.

[0038] Da Rp auch als durchschnittliche Projektionsreichweite in der Verteilung der durch die dünnen Bereiche 30 des Absorbers 28 implantierten Ionen definiert ist, wird die Breite L1 und L2 der dicken und dünnen Bereiche 29 und 30 so ausgelegt, dass sie der vorgenannten Formel genügen. Beispielsweise können L1, L2 und Rp jeweils ca. 20 Mikron, 10 Mikron und 20 Mikron betragen.

[0039] Wird der Absorber 28 zur Herstellung des Gitterstörstellenbereichs 7 verwendet, können ähnliche Verteilungen q_1 und q_2 der Gitterstörstellenkonzentrationen erzielt werden, sowie diejenigen, die in den Fig. 3A und 3B gezeigt sind, in denen der Absorber 18 verwendet wird. Schliesslich kann wieder der gleiche Gitterstörstellenbereich 7 mit einer gleichmässigen Verteilung q der Gitterstörstellenkonzentration mit einer grösseren Halbwertbreite W und einer niedrigeren Spitzenkonzentration erzielt werden.

[0040] Der Absorber 28 mit der matrixförmigen Konfiguration kann auf ähnliche Weise wie der Absorber 18 ausgebildet werden, indem ein flaches Substrat aus Aluminium oder Silizium so geätzt wird, dass mehrere Gitter oder Raster erhalten werden. Alternativ kann der Absorber 28 dadurch hergestellt werden, dass mehrere im Wesentlichen quadratische Mikrosubstrate in einer Matrix auf einem flachen Substrat befestigt werden.

Ausführungsform 2

[0041] Fig. 5 ist eine Querschnittsansicht der mit der Bezugszahl 110 bezeichneten PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der zweiten Ausführungsform. Elemente in Fig. 5, die gleich oder ähnlich denjenigen von Fig. 9 sind, sind mit gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen.

[0042] In der in Fig. 5 gezeigten PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 110 weist die Anodenelektrode 15 eine streifenartige Konfiguration mit mehreren abwechselnd ausgebildeten dicken und dünnen Bereichen auf, die sich im Wesentlichen parallel zueinander erstrecken. Die anderen Elemente der Vorrichtung sind dieselben wie bei der zuvor beschriebenen PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 100.

[0043] Die durchschnittliche Projektionsreichweite R_p ist ebenfalls als der durchschnittliche Bereich in der Verteilung der Ionen definiert, die durch die dünnen Bereiche der Anodenelektrode 15 implantiert sind. Die Breite L_1 und L_2 der dicken und dünnen Bereiche wird dann so ausgewählt, dass der zuvor erwähnten Formel (1) Genüge getan wird.

[0044] Als Nächstes wird nachstehend der Herstellungsprozess der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 110 beschrieben. Bei dem Herstellungsprozess wird wie bei Schritt 1 und 2 nach der ersten Ausführungsform vorgegangen. Dann wird in Schritt 3 die streifenartige Anodenelektrode 15 mit mehreren dicken und dünnen Bereichen ausgebildet.

[0045] Im Schritt 4 werden Ionen wie Protonen durch die Anodenelektrode 15 bis zur N-Kathodenschicht 2 implantiert, die gegläht wird, um die Ionen daraus zu evakuieren, wodurch der Gitterstörstellenbereich 7 ausgebildet wird. Die Störstellengitter, die von Ionen durch die dicken Bereiche der Anodenelektrode 15 ausgebildet werden, verteilen sich wie in Fig. 3A gezeigt entsprechend der Verteilung im Querschnitt entlang der Linie A-A von Fig. 5.

[0046] Auch die Störstellengitter, die von Ionen durch die dünnen Bereiche der Anodenelektrode 15 ausgebildet werden, verteilen sich wie in Fig. 3B gezeigt entsprechend der Verteilung im Querschnitt entlang der Linie B-B von Fig. 5.

[0047] Zuletzt wird im Schritt 5 der Wafer in mehrere PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 110 zerschnitten.

[0048] Es ist festzuhalten, dass die Anodenelektrode 15 auch in einer matrixförmigen Konfiguration ausgebildet werden kann, die mehrere quadratische dicke Bereiche mit einer Seite mit der Breite L_1 umfasst, die durch einen Spalt L_2 im dünnen Bereich voneinander beabstandet sind.

[0049] Zu diesem Zweck ist die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 110 vor einer Stossspannung geschützt und kann Schnellschaltvorgänge durchführen. Auch die Abweichung der Vorwärtsspannungen V_F zwischen den PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 110 kann reduziert werden.

[0050] Nach dem Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform kann ein einziger Implantationsschritt den Gitterstörstellenbereich 7 mit der Verteilung der Störstellengitterkonzentration ausbilden, die eine niedrigere Spitzenkonzentration und eine grössere Halbwertbreite aufweist als der Gitterstörstellenbereich, der durch Ionen ausgebildet wird, die mit im Wesentlichen derselben Energie (durchschnittliche Projektionsreichweite R_p) implantiert werden. Deshalb kann die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung auf einfache und wirtschaftliche Weise hergestellt werden.

Ausführungsform 3

[0051] Fig. 6 ist eine Querschnittsansicht der mit der Bezugszahl 120 bezeichneten PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der dritten Ausführungsform. Elemente in Fig. 6, die gleich oder ähnlich denjenigen von Fig. 9 sind, sind mit den gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen.

[0052] Bei der in Fig. 6 gezeigten PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 120 umfasst eine Isolierschicht 9 mehrere abwechselnd ausgebildete Isolierinseln, die sich im Wesentlichen parallel zueinander erstrecken und auf der P-Anodenschicht 3 ausgebildet sind. Die Isolierschicht 9 besteht aus einem Material wie Siliziumdioxid und Siliziumnitrid. Jede der streifenartigen Isolierinseln auf der Anodenschicht 3 weist eine Breite L_1 auf und ist von der nächsten um einen Spalt L_2 beabstandet. Die Breite L_1 und der Spalt L_2 sind so ausgelegt, dass die durchschnittliche Projektionsreichweite R_p der durch den Spalt hindurchgehenden Ionen der zuvor erwähnten Formel (1) genügt. Insbesondere betragen L_1 , L_2 und R_p jeweils 20 Mikron, 10 Mikron und 20 Mikron. Die Dicke der streifenartigen Isolierschicht 9 kann ca. 10 Mikron betragen.

[0053] Auch die Anodenelektrode 5 besitzt eine wie in Fig. 6 gezeigte Konfiguration, da sie auf die streifenartige Isolierschicht 9 aufgebracht ist. Weitere Strukturen sind dieselben wie bei der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 100 nach der ersten Ausführungsform.

[0054] Als Nächstes wird nachstehend der Herstellungsprozess der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 120 beschrieben. Beim Herstellungsprozess wird wie bei den Schritten 1 und 2 nach der ersten Ausführungsform vorgegangen.

[0055] Dann wird die streifenartige Isolierschicht 9 mit mehreren Isolierinseln auf der P--Anodenschicht 3 ausgebildet, beispielsweise, indem eine gleichmässige Schicht Siliziumdioxid durch CVD aufgetragen und die gleichmässige Schicht dann zu einer streifenartigen Konfiguration geätzt wird. In Schritt 3 wird die Anodenelektrode 5 auch so ausgebildet, dass sie die Isolierschicht 9 bedeckt, so dass auch sie eine streifenartige Konfiguration aufweist.

[0056] Als nächstes werden im Schritt 4 Protonen in die N--Kathodenschicht 2 durch die Isolierschicht 9 (d.h. die Isolierinseln und die dazwischenliegenden Spalte) implantiert, so dass sich der Gitterstörstellenbereich 7 in der N--Kathodenschicht 2 bildet. Die Störstellengitter, die von Ionen durch die Isolierinseln der Isolierschicht 9 gebildet werden, verteilen sich wie in Fig. 3A gezeigt entsprechend der Verteilung im Querschnitt entlang der Linie A--A von Fig. 6. Auch die Störstellengitter, die von Ionen durch die Spalte zwischen den Isolierinseln gebildet werden, verteilen sich wie in Fig. 3B gezeigt entsprechend der Verteilung im Querschnitt entlang der Linie B--B von Fig. 6. Ähnlich der ersten Ausführungsform besitzt auch der sich ergebende Gitterstörstellenbereich 7 eine Verteilung, die von denjenigen überlappt wird, die in den Fig. 3A und 3B gezeigt sind, was in Fig. 3C dargestellt ist, und besitzt eine grössere Halbwertbreite W und eine über den ganzen Wafer im Wesentlichen gleichmässige Dicke.

[0057] Zuletzt wird im Schritt 5 der Wafer in mehrere PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 120 zerschnitten.

[0058] Es ist festzuhalten, dass ähnlich dem in Fig. 4 dargestellten Absorber 28 die Isolierschicht 9 auch in einer matrixförmigen Konfiguration mit mehreren quadratischen Isolierinseln ausgebildet werden kann, die eine Seite mit der Breite $L1$ aufweisen, und die durch den Spalt $L2$ voneinander beabstandet sind.

[0059] Zu diesem Zweck ist die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 120 vor einer Stossspannung geschützt und kann Schnellschaltvorgänge durchführen. Auch die Abweichung der Vorwärtsspannungen V_F zwischen den PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 120 kann reduziert werden.

[0060] Nach dem Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform kann ein einziger Implantationsschritt den Gitterstörstellenbereich 7 mit der Verteilung der Störstellengitterkonzentration ausbilden, die eine niedrigere Spitzenkonzentration und eine grössere Halbwertbreite aufweist als der Gitterstörstellenbereich, der durch Ionen ausgebildet wird, die mit im Wesentlichen derselben Energie (durchschnittliche Projektionsreichweite R_p) implantiert werden. Deshalb kann die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung auf einfache und wirtschaftliche Weise hergestellt werden.

Ausführungsform 4

[0061] Fig. 7 ist eine Querschnittsansicht der mit der Bezugszahl 130 bezeichneten PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung nach der vierten Ausführungsform. Elemente in Fig. 7, die gleich oder ähnlich denjenigen von Fig. 9 sind, sind mit den gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen.

[0062] Bei der in Fig. 7 gezeigten PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 130 sind mehrere sich zueinander im Wesentlichen parallel erstreckende streifenartige Rillen 10 auf der N--Kathodenschicht 2 (an der PN-Sperrschicht-Grenzfläche 4) ausgebildet. Die streifenartigen Rillen 10 werden ausgebildet, indem die Oberfläche der N--Kathodenschicht 2 geätzt wird. Mit anderen Worten umfasst die N--Kathodenschicht 2 mehrere dünne Bereiche, die den Rillen 10 entsprechen, und dicke Bereiche, die dem Bereich zwischen den Rillen 10 entsprechen. Die benachbarten Rillen 10 weisen einen Abstand $L1$ auf (der der Breite des dicken Bereichs entspricht), und jede der Rillen 10 (die den dünnen Bereichen entsprechen) besitzt eine Breite $L2$. Darüber hinaus weisen, wie die vorstehenden Ausführungsformen, $L1$, $L2$ und R_p ein Verhältnis auf, das durch die zuvor erwähnte Formel (1) ausgedrückt ist. Insbesondere betragen $L1$, $L2$ und R_p jeweils ca. 20 Mikron, 10 Mikron und 20 Mikron. Die Dicke der streifenartigen Rillen 10 kann ca. 10 Mikron betragen.

[0063] Die Anodenschicht 3 und die Anodenelektrode 5 haben auch Querschnitte, die gleich denjenigen der N--Kathodenschicht 2 sind, übereinstimmend mit deren Rillen, wie in Fig. 7 gezeigt ist, da sie auf der streifenartigen Kathodenschicht 2 aufgebracht sind. Weitere Strukturen sind dieselben wie diejenigen der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 100 nach der ersten Ausführungsform.

[0064] Als Nächstes wird nachstehend der Herstellungsprozess der PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 130 beschrieben. Beim Herstellungsprozess wird wie beim Schritt 1 nach der ersten Ausführungsform vorgegangen, um den Siliziumwafer mit einer N+-Kathodenschicht 1 und einer N--Kathodenschicht 2 vorzubereiten.

[0065] Dann wird die Oberfläche der N-Kathodenschicht 2 mit einer gebräuchlichen Lithographie- und Ätztechnik geätzt, um mehrere Rillen 10 auszubilden, die sich im Wesentlichen parallel zueinander erstrecken.

[0066] Als Nächstes wird wie bei den Schritten 2 und 3 nach der ersten Ausführungsform vorgegangen, um die P-Anodenschicht 3 und die Anoden- und Kathodenelektrode 5 und 6 auszubilden.

[0067] Im Schritt 4 werden Protonen in die N-Kathodenschicht 2 durch die Anodenelektrode 5 injiziert, so dass sich in der N-Kathodenschicht 2 der Gitterstörstellenbereich 7 bildet. Die Fig. 8A und 8B sind graphische Darstellungen, die die Verteilungen der Trägerkonzentrationen und der Gitterstörstellenkonzentration darstellen. Elemente in den Fig. 8A und 8B, die gleich oder ähnlich denjenigen von Fig. 3 sind, sind mit den gleichen oder ähnlichen Bezugszeichen versehen.

[0068] Als nächstes werden im Schritt 4 Protonen in die streifenartige N-Kathodenschicht 2 injiziert, so dass sich in der N-Kathodenschicht 2 der Gitterstörstellenbereich bildet. Die Störstellengitter, die von Ionen nicht durch die Rillen 10 (d.h. von den Ionen durch die Bereiche ausser den Rillen 10) ausgebildet werden, verteilen sich wie in Fig. 8A gezeigt entsprechend der Verteilung im Querschnitt entlang der Linie A-A von Fig. 7. Auch verteilen sich die Störstellengitter, die von Ionen durch die Rillen 10 ausgebildet werden, wie in Fig. 8B gezeigt entsprechend der Verteilung im Querschnitt entlang der Linie B-B von Fig. 7. Wie die erste Ausführungsform weist der sich ergebende Gitterstörstellenbereich 7 eine Verteilung auf, die von denjenigen, die in den Fig. 8A und 8B gezeigt sind, überlappt werden, und besitzt eine grössere Halbwertbreite W und eine über den ganzen Wafer im Wesentlichen gleichmässige Dicke.

[0069] Zuletzt wird im Schritt 5 der Wafer in mehrere PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 130 zerschnitten.

[0070] Es wäre festzuhalten, dass die Oberfläche der N-Kathodenschicht 2 auch zu einer matrixförmigen Konfiguration mit mehreren der quadratischen Vertiefungen mit einer Seite L2 ausgebildet werden kann, die um den Spalt mit der Breite L1 voneinander beabstandet sind.

[0071] Zu diesem Zweck ist die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung 130 vor einer Stossspannung geschützt und kann Schnellschaltvorgänge durchführen. Auch die Abweichung der Vorwärtsspannungen V_F zwischen den PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtungen 130 kann reduziert werden.

[0072] Nach dem Herstellungsverfahren der vorliegenden Ausführungsform kann ein einziger Implantationsschritt den Gitterstörstellenbereich 7 mit der Verteilung der Störstellengitterkonzentration ausbilden, die eine niedrigere Spitzenkonzentration und eine grössere Halbwertbreite aufweist als der Gitterstörstellenbereich, der durch Ionen ausgebildet wird, die mit im Wesentlichen derselben Energie (durchschnittliche Projektionsreichweite R_p) implantiert werden. Deshalb kann die PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung auf einfache und wirtschaftliche Weise hergestellt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung (100, 110, 120, 130), das folgende Schritte umfasst:

Bereitstellen eines Halbleiterwafers (1) mit einer darauf ausgebildeten Kathodenschicht (2) der N-Art;
 Ausbilden einer Anodenschicht (3) der P-Art auf der Kathodenschicht (2) der N-Art, so dass sich eine PN-Sperrschicht-Grenzfläche (4) zwischen der Kathodenschicht (2) der N-Art und der Anodenschicht (3) der P-Art bildet;
 Ausbilden einer Kathoden- und Anodenelektrode (5, 6) auf dem Halbleiterwafer (1) bzw. der Anodenschicht (3) der P-Art;

gleichzeitiges Implantieren erster und zweiter Ionen mit sich voneinander unterscheidenden durchschnittlichen Projektionsreichweiten R_p bis zur Kathodenschicht (2), so dass sich abwechselnd einer oder mehrere erste und zweite implantierte Bereiche ausbilden und Seite an Seite überlappen, und dadurch ein Gitterstörstellenbereich (7) mit einer im Wesentlichen gleichmässigen Dicke unterhalb der PN-Sperrschicht-Grenzfläche (4) entsteht.

2. Verfahren nach Anspruch 1, das darüber hinaus den folgenden Schritt umfasst:

Bereitstellen eines Absorbers (18) mit einem oder mehreren abwechselnd ausgebildeten dicken und dünnen Bereichen (19, 20), die Breiten L1 bzw. L2 aufweisen; bei dem die durchschnittliche Projektionsreichweite R_p von Ionen, die durch den dünnen Bereich (20) hindurchgehen, der folgenden Formel genügen

$$R_p \geq L1 - L2.$$

und bei dem der Schritt des gleichzeitigen Implantierens umfasst, Ionen durch den Absorber (18) zu implantieren.

3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Anodenelektrode (5) einen oder mehrere abwechselnd ausgebildete dicke und dünne Bereiche umfasst, die Breiten L1 bzw. L2 aufweisen; bei dem die durchschnittliche Projektionsreichweite R_p von Ionen, die durch den dünnen Bereich hindurchgehen, der folgenden Formel genügen

$$R_p \geq L1 - L2.$$

und bei dem der Schritt des gleichzeitigen Implantierens umfasst, Ionen durch die Anodenelektrode (5) zu implantieren.

4. Verfahren nach Anspruch 1, das darüber hinaus den folgenden Schritt umfasst:

Ausbilden einer Isolierschicht (9) mit mehreren Isolierinseln auf der Anodenschicht (3) mit einer Breite L1, wobei jede der Isolierinseln um einen Spalt mit einer Breite L2 von der nächsten beabstandet ist; bei dem die durchschnittliche Projektionsreichweite R_p von Ionen, die durch den dünnen Bereich hindurchgehen, der folgenden Formel genügen

$$R_p \geq L1 - L2.$$

und bei dem der Schritt des gleichzeitigen Implantierens umfasst, Ionen durch die Isolierinseln und die dazwischenliegenden Spalten zu implantieren.

5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Kathodenschicht (2) so ausgebildet ist, dass sie einen oder mehrere abwechselnd ausgebildete dicke und dünne Bereiche umfasst, die Breiten L1 bzw. L2 aufweisen; bei dem die durchschnittliche Projektionsreichweite Rp von Ionen, die durch den dünnen Bereich hindurchgehen, der folgenden Formel genügen

$$R_p \geq L_1 - L_2.$$

und bei dem der Schritt des gleichzeitigen Implantierens umfasst, Ionen durch die Anodenschicht (3) zu implantieren.

6. PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung (100, 110, 120, 130), die Folgendes umfasst:
einen Halbleiterwafer (1) mit einer Kathodenschicht (2) der N-Art; eine Anodenschicht (3) der P-Art, die auf der Kathodenschicht (2) der N-Art so ausgebildet ist, dass sich eine PN-Sperrschicht-Grenzfläche (4) zwischen der Kathodenschicht (2) der N-Art und der Anodenschicht (3) der P-Art bildet; eine Kathoden- und eine Anodenelektrode (5, 6), die auf dem Halbleiterwafer (1) bzw. der Anodenschicht (3) der P-Art ausgebildet sind; und einen Gitterstörstellenbereich (7) in der Kathodenschicht (2) der N-Art mit einer im Wesentlichen gleichmässigen Dicke; bei der der Gitterstörstellenbereich (7) eine Gitterstörstellenkonzentrationsverteilung mit einer Halbwertbreite aufweist, die grösser ist als diejenige des Gitterstörstellenbereichs (7), der durch Implantieren von Ionen ausgebildet wird, die untereinander im Wesentlichen gleiche durchschnittliche Projektionsreichweiten Rp aufweisen.
7. PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung (100, 110, 120, 130) nach Anspruch 6, bei der der Gitterstörstellenbereich (7) einen oder mehrere erste und zweite implantierte Bereiche aufweist, die abwechselnd durch Implantieren von Ionen ausgebildet werden, die durchschnittliche Projektionsreichweiten Rp aufweisen, die sich voneinander unterscheiden und sich Seite an Seite so überlappen, dass der Gitterstörstellenbereich (7) Störstellengitter aufweist, die im Wesentlichen gleichmässig über den Bereich verteilt sind.
8. PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung (110) nach Anspruch 6, bei der die Anodenelektrode (5) einen oder mehrere abwechselnd ausgebildete dicke und dünne Bereiche umfasst, die Breiten L1 bzw. L2 aufweisen; bei der die durchschnittliche Projektionsreichweite Rp von Ionen, die durch den dünnen Bereich hindurchgehen, der folgenden Formel genügen

$$R_p \geq L_1 - L_2.$$

9. PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung (120) nach Anspruch 6, die darüber hinaus umfasst:
eine Isolierschicht (9) mit mehreren Isolierinseln auf der Anodenschicht (3) mit einer Breite L1, wobei jede der Isolierinseln um einen Spalt mit einer Breite L2 von der nächsten beabstandet ist; bei der die durchschnittliche Projektionsreichweite Rp von Ionen, die durch den dünnen Bereich hindurchgehen, der folgenden Formel genügen

$$R_p \geq L_1 - L_2.$$

10. PN-Sperrschicht-Diodenvorrichtung (130) nach Anspruch 6, bei der die Kathodenschicht (2) so ausgebildet ist, dass sie einen oder mehrere abwechselnd ausgebildete dicke und dünne Bereiche umfasst, die Breiten L1 bzw. L2 aufweisen; bei der die durchschnittliche Projektionsreichweite Rp von Ionen, die durch den dünnen Bereich hindurchgehen, der folgenden Formel genügen

$$R_p \geq L_1 - L_2.$$

Fig. 1

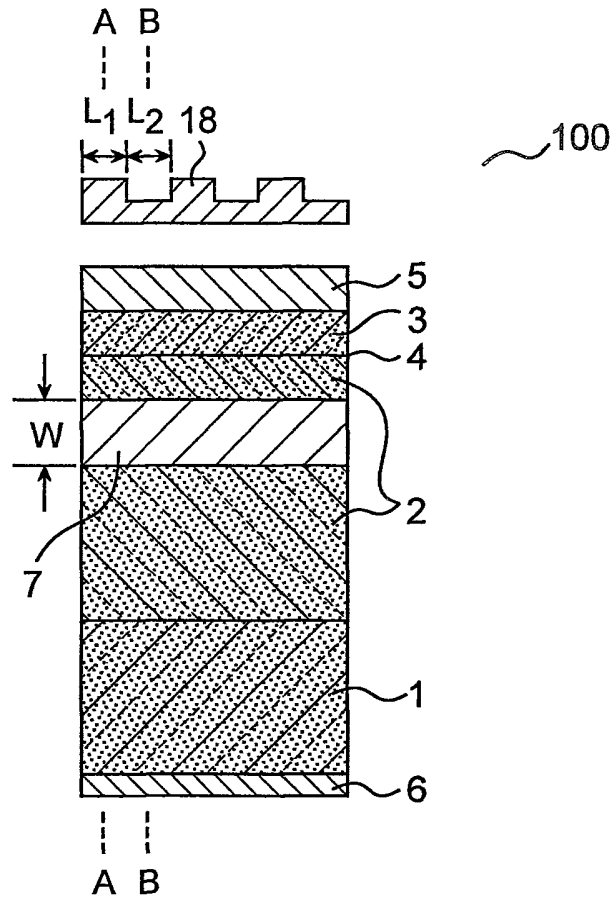


Fig.2A

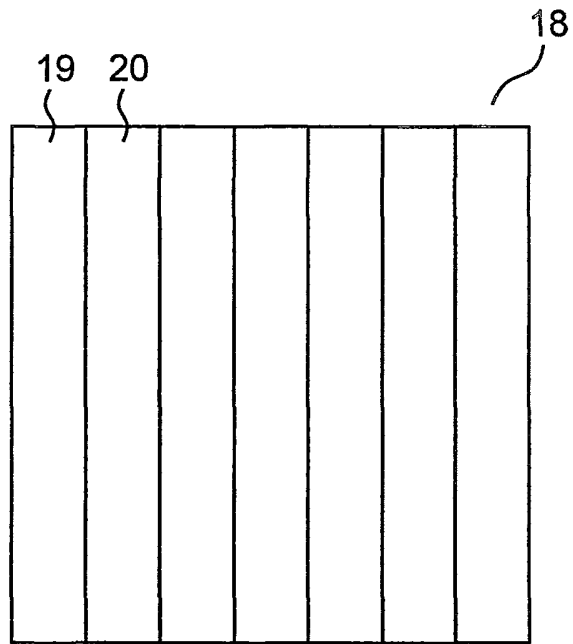


Fig.2B

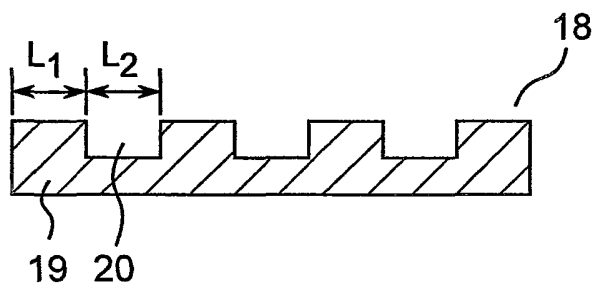


Fig.3A

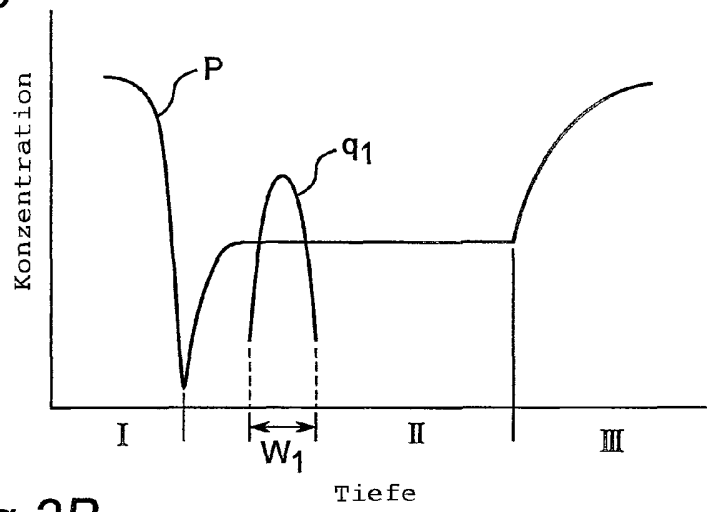


Fig.3B

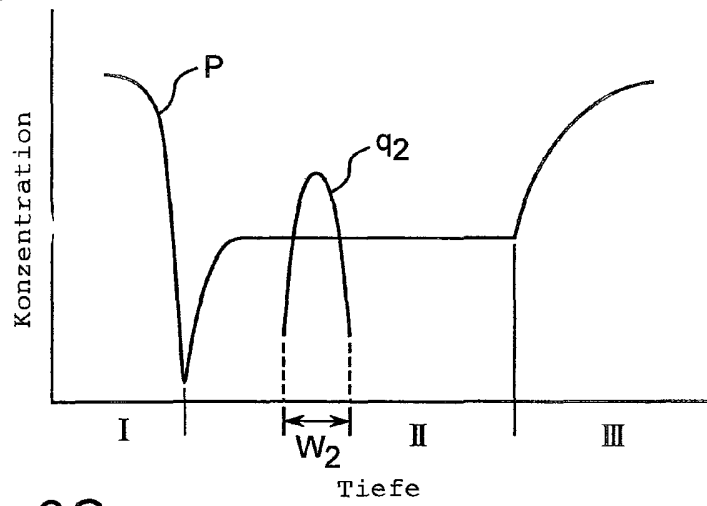


Fig.3C

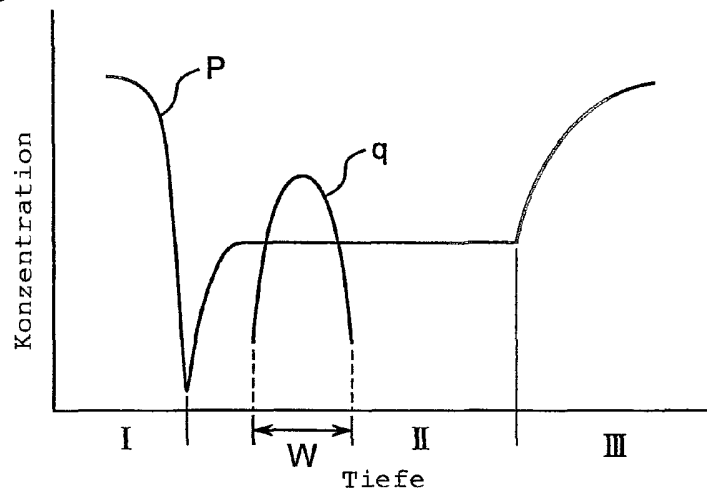


Fig.4A

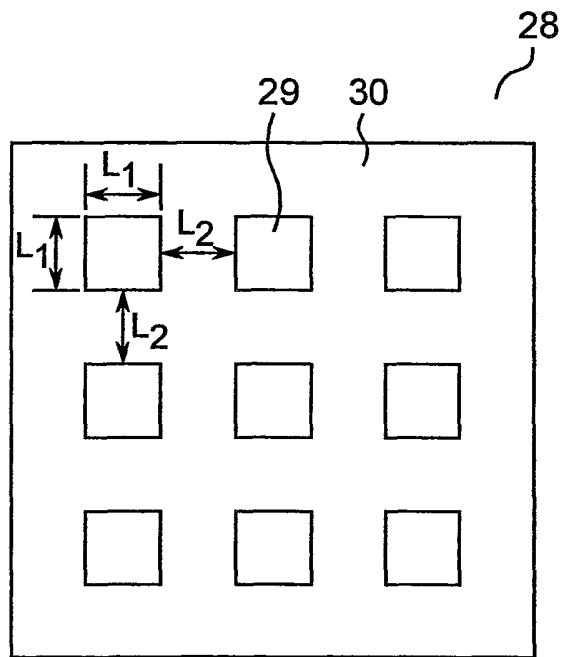


Fig.4B

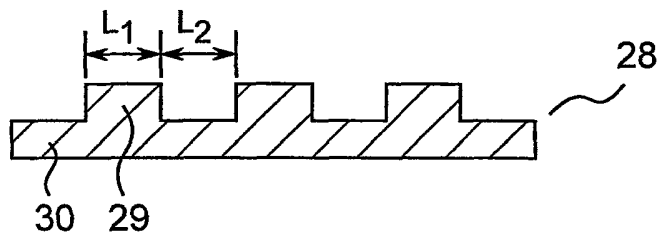


Fig.5

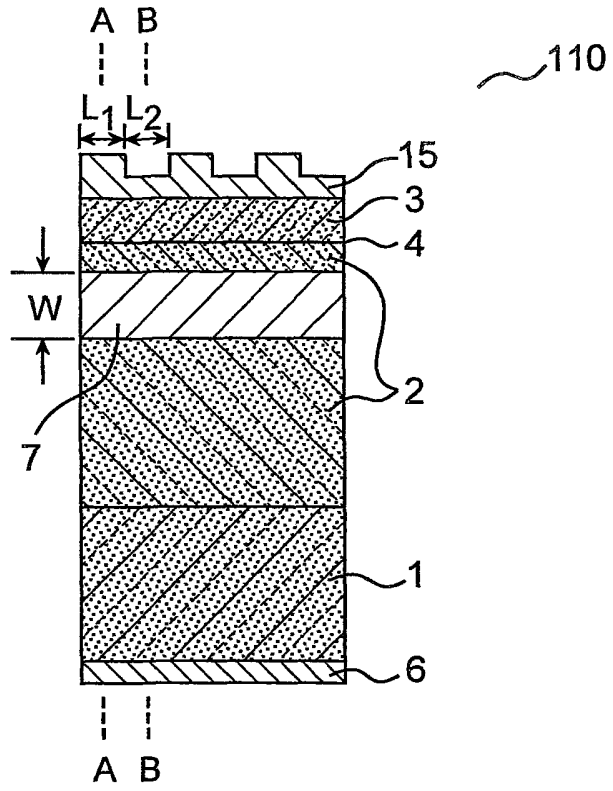


Fig.6

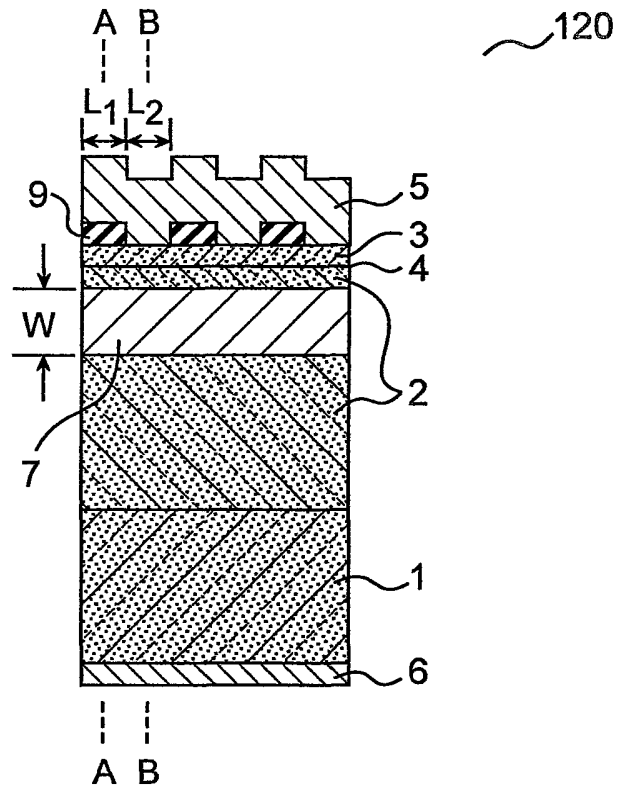


Fig.7

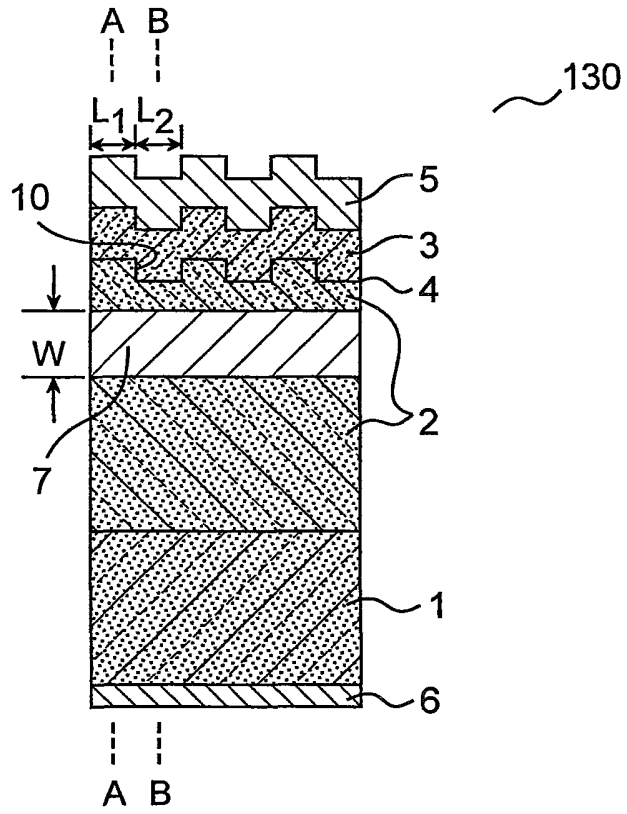


Fig.8

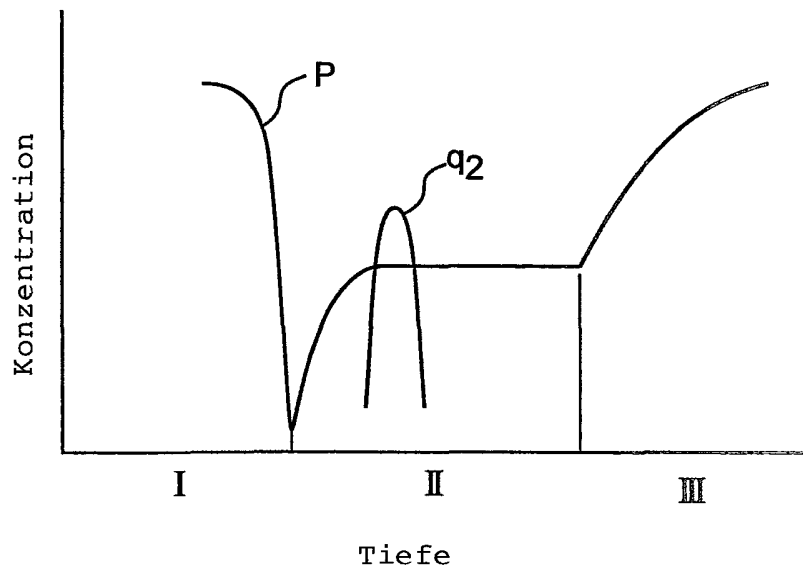
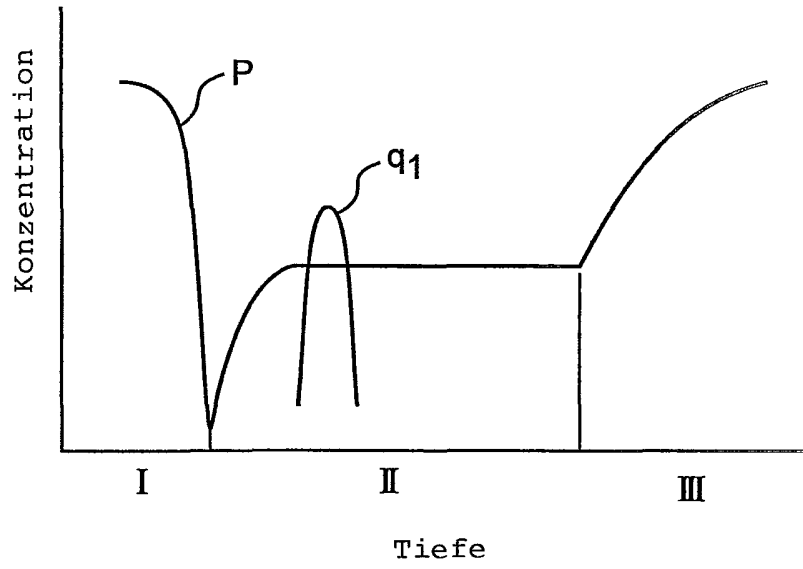


Fig.9 Stand der Technik

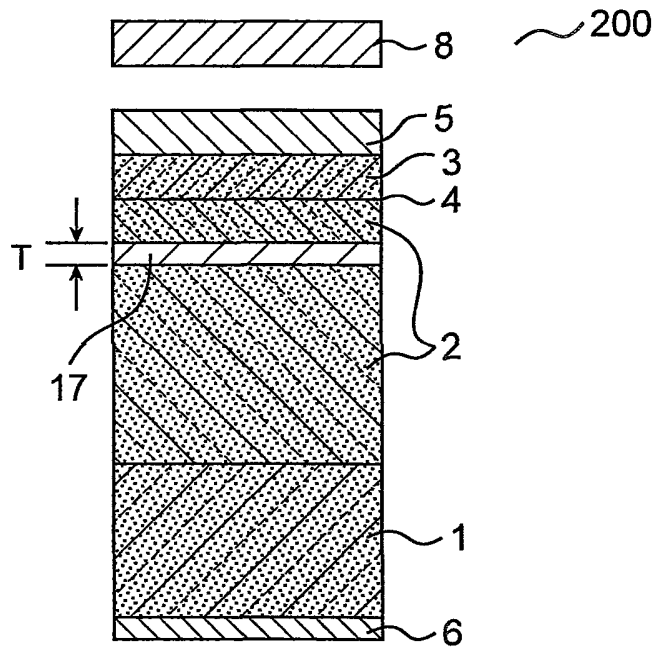


Fig.10 Stand der Technik

