



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

(10) **DE 10 2008 003 953 A1** 2008.09.04

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 003 953.5**

(22) Anmeldetag: **11.01.2008**

(43) Offenlegungstag: **04.09.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 21/265** (2006.01)

**H01L 21/268** (2006.01)

**H01L 21/33** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**049087/2007 28.02.2007 JP**

(74) Vertreter:

**Hoffmann, E., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 82166  
 Gräfelfing**

(71) Anmelder:

**Fuji Electric Device Technology Co. Ltd., Tokio, JP**

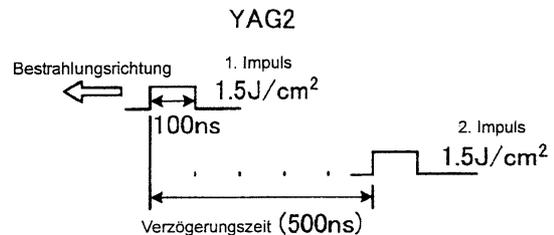
(72) Erfinder:

**Nakazawa, Haruo, Tokio, JP**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements**

(57) Zusammenfassung: Beim Ionenimplantationsschritt wird Lithium (Li), Schwefel (S) oder Selen (Se), die einen größere Diffusionskoeffizienten für Silicium als Phosphor (P) oder Arsen (As) haben, die gewöhnlich beim Herstellungsprozess eines Siliciumhalbleiters verwendet werden, als Dotierstoff verwendet. Im Aktivierungsschritt wird ein Laserglühen bei einer Ionenimplantationsoberfläche durch Kombinieren eines Festkörperlaser oder eines Excimer-Lasers mit einem Halbleiterlaser ausgeführt. Der Halbleiterlaser strahlt während des Aktivierungsschritts kontinuierlich einen Laserstrahl auf die gesamte Waferoberfläche. Der Festkörperlaser oder der Excimer-Laser strahlt einen gepulsten Laserstrahl ein. Bei Konfiguration in dieser Weise wird es möglich, ein Halbleiterelement mit zufriedenstellenden Bauelementcharakteristika unter Vermeidung von Ausfällen des Bauelements herzustellen. Auerdem ist es möglich, das Brechen eines Bauelements durch die während der Laserbestrahlung erzeugte Wärme zu verhindern.



**Beschreibung**

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

## Bereich der Erfindung

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements, und insbesondere ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements, wie ein IC (integrierte Schaltung), ein MOS (Metalloxidhalbleiter) und eines Bipolartransistors mit isoliertem Gate (nachstehend mit IGBT abgekürzt).

## Beschreibung des technischen Hintergrunds

**[0002]** In den letzten Jahren sind integrierte Schaltungen (ICs) sehr häufig in wichtigen Bereichen in einem Computer oder einer Kommunikationsvorrichtung eingesetzt worden. In solchen ICs sind mehrere Transistoren und Widerstände verschaltet, um elektrische Schaltungen zu bilden, die auf einem Chip integriert sind. Von diesen ICs werden solche mit Leistungshalbleiterelementen als Leistungs-ICs bezeichnet.

**[0003]** Ein IGBT ist ein Leistungselement, das sowohl mit der sehr schnellen Schalt- und Spannungssteuercharakteristik eines MOSFETs als auch mit der Charakteristik der geringen Durchlass-Spannung eines Bipolartransistors versehen ist. Der IGBT ist ausgehend von industriellen Anwendungen, wie sie beispielsweise Vorrichtungen wie Mehrzweck-Wechselbzw. Umrichter, Wechselstromservovorrichtungen, unterbrechungsfreie Stromversorgungen (UPS) und Schaltnetzteile sind, auch bei Endverbraucheranwendungen eingesetzt worden, wie sie beispielsweise Vorrichtungen wie Mikrowellenherde, elektrische Reiskocher und Stroboskope sind. Auch die Entwicklung hin zu IGBTs der nächsten Generation schreitet fort. Ein IGBT mit einer neuen Chipstruktur mit einer noch geringeren Durchlass-Spannung ist entwickelt worden, so dass solche IGBTs verwendenden Vorrichtungen geringere Verluste und eine erhöhte Effizienz aufweisen.

**[0004]** IGBT-Strukturen können hauptsächlich in den Durchgriffs (PT)-Typ, den Nicht-Durchgriffs (NPT)-Typ und den Feldstop(FS)-Typ klassifiziert werden. Außerdem weisen fast alle gegenwärtig in Massenproduktion hergestellten IGBTs mit Ausnahme von denjenigen, die eine p-Kanal-Typ-Struktur aufweisen, die für Audioleistungsverstärker verwendet wird, einen n-Kanal-Typ mit vertikal doppelt diffundierter Struktur auf. Im Folgenden bezieht sich der Ausdruck "IGBT" auf einen n-Typ-IGBT, außer wenn es anders angegeben ist. Außerdem bedeutet in der folgenden Beschreibung und den Zeichnungen eine Schicht oder ein Gebiet, das mit einem vorangestellten Buchstaben n oder p bezeichnet ist, dass eine

große Anzahl von Elektronen bzw. Löchern die Ladungsträger sind. Des Weiteren bedeuten die Zeichen + und -, die an einem Buchstaben n oder p als Hochstellungen angeordnet sind, dass Dotierstoffkonzentrationen höher bzw. niedriger als bei einer Schicht oder einem Gebiet ohne das Zeichen sind.

**[0005]** Ein PT-Typ-IGBT weist eine Struktur auf, bei der eine n<sup>+</sup>-Schicht (n-Pufferschicht) zwischen einem p<sup>+</sup>-Epitaxiesubstrat und einer n<sup>-</sup>-Schicht (aktive n-Typ-Schicht) vorgesehen ist, damit eine Verarmungsschicht in der aktiven n-Typ-Schicht die n-Pufferschicht erreichen kann. Dies ist die grundlegende Struktur für die gebräuchlichsten IGBTs. Für einen IGBT der 600-V-Durchbruch-Serie kann jedoch, obwohl die aktive n-Typ-Schicht nur eine Dicke in der Größenordnung von 70 µm erfordert, die Gesamtdicke einschließlich des Teils des p<sup>+</sup>-Epitaxiesubstrats bis zu einer Größenordnung von 200 µm bis 300 µm dick werden. Dies führt zur Entwicklung des NPT-Typ-IGBTs und des FS-Typ-IGBTs. Bei beiden Typen wird kein Epitaxiesubstrat verwendet. Stattdessen wird ein FZ-Substrat verwendet, das durch das FZ (Floating Zone bzw. Schwebезonen)-Verfahren gebildet wird, um darin eine flache p<sup>+</sup>-Kollektorschicht zu bilden, die mit einer niedrigen Dosis dotiert ist, damit sie dünner gemacht und zu reduzierten Kosten bereitgestellt werden kann.

**[0006]** [Fig. 12](#) zeigt ein Beispiel der Struktur eines NPT-Typ-IGBTs im Querschnitt. Der in [Fig. 12](#) gezeigte NPT-Typ-IGBT **100** weist eine Struktur auf, bei der ein n<sup>-</sup>-Typ-FZ-Substrat (FZ-N-Substrat) **1** eine Gate-Elektrode **5** aus einem Material wie Polysilizium auf der Oberseite aufweist, mit einem zwischen dem Substrat und der Gate-Elektrode angeordneten Gate-Oxidfilm **4** aus einem Material wie SiO<sub>2</sub>. Bei dieser Struktur ist des Weiteren eine Oberseitelektrode **6** aus beispielsweise einem Aluminium-Silizium-Film auf der Gate-Elektrode **5** gebildet, wobei ein Zwischenschichtisolierfilm **7** aus einem Material wie BPSG (Bor-Phosphor-Silicat-Glas) zwischen der Oberseitelektrode **6** und der Gate-Elektrode **5** vorgesehen ist. Im Bereich der Oberseite des FZ-N-Substrats **1** sind eine p<sup>+</sup>-Basisschicht **2** und eine n<sup>+</sup>-Emiterschicht **3** in der p<sup>+</sup>-Basisschicht **2** gebildet. Im Bereich der Unterseite des FZ-N-Substrats **1** ist eine p<sup>+</sup>-Kollektorschicht **8** gebildet, auf der eine Unterseitelektrode **9** durch Aufschichten mehrerer Arten von Metallfilmen gebildet ist.

**[0007]** Bei einem NPT-Typ-IGBT **100** mit einer solchen Struktur wird für die p<sup>+</sup>-Kollektorschicht **8** ein flacher p<sup>+</sup>-Kollektor mit Injektion auf niedrigem Niveau verwendet, der mit einer niedrigen Dosis dotiert ist. Bei dem NPT-Typ-IGBT **100** wird kein p<sup>+</sup>-Epitaxiesubstrat verwendet, um dessen Gesamtdicke im Vergleich zu derjenigen des vorstehend beschriebenen PT-Typ-IGBTs beträchtlich kleiner zu machen.

**[0008]** Bei der NPT-Struktur kann die Löcherinjektionsrate gesteuert werden, um eine hohe Schaltgeschwindigkeit zu ermöglichen, ohne eine Steuerung der Lebenszeit der Löcher ausführen zu müssen. Der Wert der Durchlass-Spannung, die von der Dicke und dem spezifischen Widerstand einer aktiven n-Typ-Schicht abhängt, wird ein wenig höher. Die Verwendung des FZ-Substrats anstatt des vorstehend beschriebenen p<sup>+</sup>-Epitaxiesubstrats ermöglicht es, dass ein Chip mit der NPT-Struktur zu reduzierten Kosten hergestellt werden kann.

**[0009]** [Fig. 13](#) zeigt ein Beispiel der Struktur eines FS-Typ-IGBTs im Querschnitt. In [Fig. 13](#) sind die Bestandteile, die gleich sind wie die in [Fig. 12](#) gezeigten, mit den gleichen Bezugszahlen und -zeichen bezeichnet, wobei deren ausführliche Erläuterung unterbleibt. Für den in [Fig. 13](#) gezeigten FS-Typ-IGBT **200** wird die für den vorstehend beschriebenen NPT-Typ-IGBT **100** ein FZ-N-Substrat **1** anstatt des oben beschriebenen p<sup>+</sup>-Epitaxiesubstrats verwendet, wobei dessen Gesamtdicke in der Größenordnung von 100 µm bis 200 µm beträgt. Wie bei dem PT-Typ-IGBT ist die aktive n-Typ-Schicht so hergestellt, dass sie eine Dicke in der Größenordnung von 70 µm gemäß einer Durchbruchspannung von 600 V aufweist und verarmt gemacht wird. Zu diesem Zweck ist in dem FS-Typ-IGBT **200** auf der Unterseite des FZ-N-Substrats **1** eine n<sup>+</sup>-Schicht (n-Pufferschicht) **10** gebildet, und eine p<sup>+</sup>-Kollektorschicht **8** sowie eine Unterseitenelektrode **9** sind auf der n-Pufferschicht **10** gebildet. Bei dem FS-Typ-IGBT **200** ist wie bei dem vorstehend beschriebenen NPT-Typ-IGBT **100** eine Steuerung der Lebensdauer erforderlich.

**[0010]** Um die Durchlass-Spannung zu senken, wird ein Typ von IGBT verwendet, bei dem ein IGBT mit einer Graben- bzw. Trench-Struktur, die einen auf der Oberseite des IGBTs gebildeten schmalen und tiefen Trench zusammen mit einem auf der Seitenwand des Trenches gebildeten MOS-Gate aufweist, mit einem IGBT einer FS-Struktur kombiniert ist. In jüngerer Zeit wurde eine Reduzierung der Gesamtdicke durch Optimierung des Designs erzielt.

**[0011]** Unter Verwendung des in der oben beschriebenen [Fig. 13](#) gezeigten FS-Typ-IGBTs **200** als Beispiel wird nun ein Beispiel eines Verfahrens der Herstellung eines IGBTs unter Bezug auf die [Fig. 14](#) bis [Fig. 18](#) erläutert. [Fig. 14](#) ist eine Querschnittsansicht nach dem Abschluss eines Oberseitenprozesses. [Fig. 15](#) ist eine Querschnittsansicht, die einen Substratabschleifprozess zeigt. [Fig. 16](#) ist eine Querschnittsansicht, die einen Unterseiten-Ionenimplantationsprozess zeigt. [Fig. 17](#) ist eine Querschnittsansicht, die einen Unterseiten-Ausglühprozess zeigt. [Fig. 18](#) ist eine Querschnittsansicht, die einen Unterseiten-Elektrodenfilmbildungsprozess zeigt. In den [Fig. 14](#) bis [Fig. 18](#) sind die Bestandteile, die gleich

sind wie die in [Fig. 12](#) und [Fig. 13](#) gezeigten, mit den gleichen Bezugszahlen und -zeichen bezeichnet, wobei deren ausführliche Erläuterung unterbleibt.

**[0012]** Die Prozesse zur Bildung des FS-Typ-IGBTs **200** können grob gesagt in einen Oberseitenprozess und einen Unterseitenprozess unterteilt werden. Zuerst wird unter Bezug auf [Fig. 14](#) der Oberseitenprozess erläutert. Bei dem Oberseitenprozess werden zuerst SiO<sub>2</sub> und Polysilicium in dieser Reihenfolge auf der Oberseite des FZ-N-Substrats **1** niedergeschlagen. Das niedergeschlagene SiO<sub>2</sub> und das Polysilicium werden dann bearbeitet, um ein Fenster zu bilden, das den Gate-Oxidfilm **4** bzw. die Gate-Elektrode **5** durchdringt. Daran anschließend wird BPSG auf deren Oberseite niedergeschlagen. Das niedergeschlagene BPSG wird dann bearbeitet, um ein Fenster in dem Zwischenschichtisolierfilm **7** zu bilden. Dies erzeugt die Struktur eines isolierten Gates, das auf der Oberseite des FZ-N-Substrats **1** gebildet ist.

**[0013]** Als nächstes wird eine p<sup>+</sup>-Basisschicht **2** auf der Oberseite des FZ-N-Substrats **1** gebildet, und es wird auch eine kleine n<sup>+</sup>-Emitterschicht **3** in der p<sup>+</sup>-Basisschicht **2** gebildet. Außerdem wird ein Aluminium-Siliciumfilm so niedergeschlagen, dass er sich in Kontakt mit der p<sup>+</sup>-Emitterschicht **3** befindet. Diese Schicht ist die Oberseitenelektrode **6**, die zu der Emittierelektrode werden soll. Der Aluminium-Siliciumfilm wird danach bei einer niedrigen Temperatur in der Größenordnung von 400°C bis 500°C wärmebehandelt, um eine Verbindung untereinander mit stabiler Kompatibilität und geringem Widerstand zu realisieren.

**[0014]** Obwohl er in den [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) nicht dargestellt ist, wird ein Isolatorschutzfilm auf der Oberseitenelektrode **6** unter Verwendung eines Materials wie Polyimid gebildet, um deren Oberfläche zu bedecken. Als nächstes wird unter Bezug auf die [Fig. 15](#) bis [Fig. 18](#) der Unterseitenprozess erläutert. Bei dem Unterseitenprozess wird, wie in [Fig. 15](#) gezeigt, zuerst das FZ-N-Substrat **1** von der Unterseite her durch Abschleifen oder Ätzen auf eine gewünschte Dicke dünner gemacht, um einen dünneren Wafer herzustellen.

**[0015]** Als nächstes werden, wie in [Fig. 16](#) gezeigt, Phosphorionen (P<sup>+</sup>) und Borionen (B<sup>+</sup>) in dieser Reihenfolge in die Unterseite des FZ-N-Substrats **1** implantiert, um eine n<sup>+</sup>-Schicht **10a** bzw. p<sup>+</sup>-Schicht **8a** zu bilden, die danach bei einer niedrigen Temperatur von 350°C bis 500°C in einem elektrischen Ofen wärmebehandelt (geglüht) werden. Dies aktiviert die mit Phosphor implantierte n<sup>+</sup>-Schicht **10a** und die mit Bor implantierte p<sup>+</sup>-Schicht **8a**, um eine n<sup>+</sup>-Pufferschicht **10** bzw. eine p<sup>+</sup>-Kollektorschicht **8** auf der Unterseite des FZ-N-Substrats **1** zu bilden, wie in [Fig. 17](#) gezeigt. Es kann der Fall vorkommen, dass BF<sub>2</sub> nach

der Implantierung von Bor implantiert wird, um eine Oberseitenkontaktschicht (p-Schicht) zu bilden, die in Ohm'schen Kontakt mit der Unterseitelektrode auf der obersten Oberflächenschicht der p<sup>+</sup>-Kollektorschicht **8** kommt.

**[0016]** Danach wird, wie in [Fig. 18](#) gezeigt, eine Unterseitelektrode **9** auf der Oberfläche der p<sup>+</sup>-Kollektorschicht **8** gebildet. Sie ist aus einer Kombination von Metallschichten wie beispielsweise einer Aluminiumschicht, einer Titanschicht, einer Nickelschicht und einer Goldschicht aufgebaut. Schließlich wird der Wafer durch Dicing in chipartige Stücke aufgeteilt. Dann werden in jeden der chipartigen Stücke Aluminiumdrahtelektroden mittels eines Ultraschalldrahtbondierers an der Oberfläche der Oberseitelektrode **6** befestigt. Die Unterseitelektrode **9** wird mit einem speziellen Befestigungsstück durch eine dazwischen vorgesehene Löttschicht verbunden.

**[0017]** In den letzten Jahren ist ein Matrix-Umrichter, der eine direkte Wechselstrom-Wechselstrom-Umrichtung ohne Verwendung eines Wechselstroms ausführt, in den Mittelpunkt des Interesses getreten. Anders als zuvor bekannte Umrichter erfordert der Matrix-Umrichter keinen Kondensator und weist dadurch den Vorteil auf, dass Harmonische bzw. Oberschwingungen bei der Versorgung reduziert werden. Ein Wechselstromeingang erfordert jedoch, dass ein Halbleiterschalter eine hohe Durchbruchspannung aufweist. Daher erforderte die Verwendung eines IGBTs dieses vorgenannten Typs eine in Serie hierzu geschaltete rückwärtssperrende Diode.

**[0018]** [Fig. 19](#) zeigt ein Beispiel der Struktur eines rückwärtssperrenden IGBTs im Querschnitt. In [Fig. 19](#) sind diejenigen Bestandteile, die gleich sind wie die in [Fig. 12](#) gezeigten, durch die gleichen Bezugswerte und -zeichen bezeichnet, wobei deren ausführliche Erläuterung unterbleibt. Wie in [Fig. 19](#) gezeigt, ist der rückwärtssperrende IGBT **300** ein IGBT, dessen grundlegende Funktionsweise entsprechend derjenigen des vorherigen Typs von IGBT mit p<sup>+</sup>-Isolierschicht **11** ist und der des Weiteren so ausgeführt ist, dass er eine hohe Durchbruchspannung aufweist. Für einen rückwärtssperrenden IGBT **300** mit einer solchen Struktur ist keine in Serie geschaltete Diode erforderlich, wodurch eine Reduzierung der Leitungsverluste um die Hälfte ermöglicht wird. Dies trägt stark zur Verbesserung der Umrichtungs-effizienz des Matrix-Umrichters bei. Die Technologie der Bildung eines tiefen Übergangs mit einer Tiefe von 100 µm oder mehr und die Technologie der Herstellung eines sehr dünnen Wafers mit einer Dicke von 100 µm oder weniger werden kombiniert, um die Herstellung eines sehr leistungsfähigen rückwärtssperrenden IGBTs zu ermöglichen.

**[0019]** Bei der Herstellung eines solchen IGBTs

müssen jedoch viele technische Aspekte des Herstellungsprozesses berücksichtigt werden, um einen dünnen IGBT mit einer Dicke in der Größenordnung von 70 µm zu realisieren. Dazu gehören das Verhindern des Verziehens des Wafers, das durch die erforderlichen Prozesse, wie beispielsweise das Abschleifen der Unterseite, die Ionenimplantation in die Unterseite und die Wärmebehandlung der Unterseite, verursacht wird.

**[0020]** Einer der technischen Aspekte der Herstellungsprozesse ist die Technik der Aktivierung einer p-dotierten Schicht (p-Schicht) oder einer n-dotierten Schicht (n-Schicht), die erforderlich ist, um verschiedene Arten von Halbleiterelementen einschließlich der hier als Beispiele gezeigten IGBTs zu bilden. Verschiedene Verfahren sind bisher für diese Aktivierung versucht worden. Außer dem Verfahren der Verwendung eines elektrischen Ofens gemäß obiger Beschreibung ist auch die Aktivierung einer dotierten Schicht durch Glühen unter Verwendung eines Lasers ausgeführt worden. Bei dieser Technik wird beispielsweise ein Wafer auf einem Trägersubstrat mittels einer Klebstofflage befestigt, um ein Brechen bzw. Reißen des Wafers zu verhindern, und der Wafer wird mit einem Laserstrahl bestrahlt, um die p-Schicht und die n-Schicht zu aktivieren. Die Aktivierung kann unter Verwendung der zweiten Harmonischen eines YAG (Yttrium-Aluminium-Granat)-Lasers (YAG2ω-Laser) oder von dessen dritter Harmonischer (YAG3ω-Laser) ausgeführt werden.

**[0021]** Beim Aktivieren der p-Schicht und der n-Schicht kann im Fall des vorherigen Glühens in dem elektrischen Ofen die p-Schicht nicht stark aktiviert gebildet werden. Außerdem macht es beim Verfahren der Verwendung einer Klebstofflage zum Verhindern des Brechens des Wafers die Tatsache, dass die zulässige Temperatur der Klebstofflage gewöhnlich 200°C oder weniger ist, die Verwendung dieser Lage unmöglich, wenn das Glühen im elektrischen Ofen bei einer Temperatur von 300°C oder mehr ausgeführt werden muss.

**[0022]** Wenn die p-Schicht und die n-Schicht durch Laserglühen anstatt durch Glühen im elektrischen Ofen aktiviert werden sollen, kann außerdem die Bestrahlung mit einem Laserstrahl mit einem einzigen kurzen Impuls mit einer vollen Breite bei halbem Maximum (FWHM) kleiner als 100 ns, wie beispielsweise ein gepulster Strahl eines Excimer-Lasers, nur in einem flachen Bereich von der Oberfläche aus aktivieren. So ist beispielsweise in aufeinanderfolgenden p- und n-Schichten an der Unterseite eines FS-Typ-IGBTs, wo die p-Schicht und die n-Schicht aufeinanderfolgend in dieser Reihenfolge an der Unterseite vorgesehen sind, eine ausreichende Aktivierung bis zur n-Schicht hin unmöglich. Wenn die Bestrahlung mit einem Strahl eines Nur-Festkörperlasers wie beispielsweise des YAG2ω-Lasers und des

YAG3 $\omega$ -Lasers, der in Form eines Signalimpulses verwendet wird, ausgeführt wird, erfordert die mit einem Strahlfleck mit einem Durchmesser in der Größenordnung von beispielsweise 0,9 mm ausgeführte Bestrahlung eine lange Bestrahlungszeit. Somit kann die Bearbeitungszeit für einen Wafer mehrere Stunden betragen. Das Glühen eines 12,7-cm-Wafers (5-Zoll-Wafers) braucht in etwa zwei Stunden. Wenn ein Bestrahlungsbereich mit einem Laserstrahl bestrahlt wird, bei dem die Bestrahlungsenergieerichte erhöht worden ist, bleiben außerdem manchmal Spuren der Beschädigung durch die Bearbeitung mittels der Laserbestrahlung auf der Oberfläche des Wafers zurück.

**[0023]** Als eine der Maßnahmen zur Lösung der vorstehend diskutierten Probleme schlug der Erfinder ein Verfahren der Aktivierung einer dotierten Schicht beim Aktivieren einer dotierten Schicht, in die Dotierstoff eingebracht wurde, vor, indem kontinuierlich mehrere Impulse auf die dotierte Schicht von einem Bestrahlungsbereich zu einem anderen unter Verwendung von mehreren Laserbestrahlungsvorrichtungen, die gepulste Laserstrahlen abstrahlen, gestrahlt wurden. Hier ist beispielsweise auf die JP-A-2005-223301 (Absätze 0026 und 0027) und die US 7,135,387 zu verweisen. Außerdem wurde ein Verfahren der Aktivierung von Dotierstoffionen, die in einen tiefen Teil eines Wafers implantiert waren, unter Verwendung eines Halbleiterlasers vorgeschlagen. Hier ist beispielsweise auf die JP-A-2006-351659 (Absatz 0012) zu verweisen. Des Weiteren wurde vorgeschlagen, Selen oder Schwefel als Dotierstoff bei der Bildung einer n-dotierten Schicht zu verwenden. Hier ist beispielsweise auf die JP-A-2002-520885 (Absätze 0014 und 0032) und die US 6,441,408 zu verweisen. Selen und Schwefel weisen einen extrem hohen Diffusionskoeffizienten für Silicium im Vergleich zu einem Dotierstoff gemäß dem Stand der Technik auf.

**[0024]** Da jedoch der Diffusionskoeffizient eines Dotierstoffs gemäß dem Stand der Technik, wie beispielsweise P (Phosphor) und As (Arsen), nicht so groß ist, diffundieren diese bei Laserbestrahlung für eine Bestrahlungszeit in der Größenordnung von einigen ns kaum. Außerdem beträgt die Tiefe einer dotierten Schicht, die durch Laserbestrahlung aktiviert werden kann, 1,5  $\mu\text{m}$  oder weniger. Daher müssen beispielsweise, um die p<sup>+</sup>-Kollektorschicht und die n-Pufferschicht in einem FS-Typ-IGBT durch Laserbestrahlung zu aktivieren, die p<sup>+</sup>-Kollektorschicht und die n-Pufferschicht flach ausgebildet werden. Falls diese Schichten flach gebildet sind, kann eine Fehlstelle oder eine Anhaftung von Schmutz an der Unterseite des Substrats während der Prozessschritte auftreten. Der Leckstrom nimmt zu, wenn die n-Pufferschicht auf Grund einer solchen Fehlstelle oder Schmutz teilweise nicht korrekt gebildet ist. Dies erhöht das Problem, dass leicht ein Ausfall des Bauele-

ments auftritt.

**[0025]** Außerdem durchdringt in einem Fall, in dem ein Dotierstoff mit einem großen Diffusionskoeffizienten verwendet wird, der Dotierstoff das Substrat und verlässt das Substrat, wenn die Wärmebehandlung für die Diffusion und Aktivierung über eine lange Zeitspanne ausgeführt wird. Dies führt zu einem anderen Problem insofern, als eine gewünschte Charakteristik nicht in stabiler Weise erzielt werden kann. Wenn außerdem ein Laserstrahl auf einen dünnen Wafer gestrahlt wird, bei dem der Oberseitenprozess und das Abschleifen von der Unterseite des Wafers abgeschlossen ist, wird die Oberfläche auf der von der Laserstrahlbestrahlungsoberfläche der abgewandten Seite, das heißt, die Oberfläche, auf der die Gate-Struktur oder dergleichen bei der Oberseitenbearbeitung gebildet worden ist, heiß. Wenn beispielsweise die Dicke des Wafers 70  $\mu\text{m}$  beträgt, kann die Temperatur auf der Oberfläche des Wafers möglicherweise bis zu etwa 500°C erreichen, wodurch die Oberseitelektrode und der Isolierschutzfilm auf dieser zum Schmelzen gebracht werden. Dies führt zu einem weiteren Problem, dass das Bauelement zerstört wird.

**[0026]** Um die oben diskutierten Probleme im Stand der Technik zu lösen, liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements zu schaffen, mit dem das Auftreten eines Versagens des Bauelements verhindert werden kann. Außerdem liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements zu schaffen, mit dem ein Halbleiterelement mit zufriedenstellenden Bauelementcharakteristika hergestellt werden kann. Des Weiteren liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements zu schaffen, mit dem verhindert werden kann, dass ein Bauelement durch Wärme, die während der Laserbestrahlung erzeugt wird, beschädigt wird.

#### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0027]** Um die vorstehend beschriebenen Probleme zu beseitigen und diese und weitere Aufgaben zu lösen, enthält ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung einen Ionenimplantationsschritt und einen Aktivierungsschritt. Beim Ionenimplantationsschritt wird ein Dotierstoff mit einem großen Diffusionskoeffizienten verwendet. Ein Dotierstoff mit einem großen Diffusionskoeffizienten bedeutet, so wie der Begriff hier verwendet wird, ein Material mit einem Diffusionskoeffizienten für Silicium, der größer als ein Diffusionskoeffizient für Silicium eines solchen Dotierstoffs ist, wie er im Allgemeinen bei einem Herstellungsprozess eines Siliciumhalbleiters verwendet wird, beispielsweise Phosphor (P), Arsen (As), Bor (B) oder Antimon (Sb). Beispiele für ein solches Material sind

unter anderem, jedoch nicht ausschließlich, Lithium (Li), Schwefel (S), Selen (Se) und Wasserstoff (H). Zwei oder mehrere dieser Materialien können in Kombination verwendet werden.

**[0028]** Beim Aktivierungsschritt werden mehrere Laserbestrahlungsvorrichtungen verwendet. Eine dotierte Schicht, in die ein Dotierstoff implantiert worden ist, wird durch Einstrahlen mehrerer gepulster Laserstrahlen auf die dotierte Schicht aktiviert. In diesem Fall kann eine aus einer einzigen Schicht hergestellte dotierte Schicht aktiviert werden, oder es können aufeinanderfolgende Schichten, die aus mehreren dotierten Schichten mit dem gleichen Leitungstyp oder aufeinanderfolgende Schichten, die aus mehreren dotierten Schichten mit unterschiedlichen Leitungstypen hergestellt sind, aktiviert werden. Es können auch gepulste Laserstrahlen eingestrahlt werden, indem es der Lichtquelle selbst ermöglicht wird zu blinken, oder indem eine Blende oder ähnliches geöffnet und geschlossen wird, während die Lichtquelle kontinuierlich Licht emittiert, so dass Laserstrahlen über eine für die Aktivierung erforderliche Zeitspanne eingestrahlt werden.

**[0029]** Ein Herstellungsverfahren für ein Halbleiterelement gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren des Einstrahlens von Laserstrahlen auf eine dotierte Schicht, in die ein Dotierstoff mit einem großen Diffusionskoeffizienten durch Kombinieren eines Feststofflasers oder eines Excimer-Lasers und eines Halbleiterlasers im Aktivierungsschritt implantiert worden ist. Der Halbleiterlaser strahlt während des Aktivierungsschritts kontinuierlich einen Laserstrahl auf die gesamte Waferoberfläche. Der Festkörperlaser oder der Excimer-Laser strahlt einen gepulsten Laserstrahl aus. Wie oben beschrieben, kann ein gepulster Laserstrahl eingestrahlt werden, indem es der Lichtquelle selbst ermöglicht wird, zu blinken, oder indem eine kontinuierlich Licht emittierende Lichtquelle zusammen mit einer Blende oder dergleichen verwendet wird. Bei dem Aktivierungsschritt in dem Verfahren gemäß dem ersten oder dem zweiten Aspekt ist es bevorzugt, den Wafer auf einem elektrostatischen Einspanngestell zu fixieren, während Laserstrahlen eingestrahlt werden.

**[0030]** Erfindungsgemäß diffundiert ein Dotierstoff mit einem großen Diffusionskoeffizienten auf Grund der während der Laserbestrahlung im Aktivierungsschritt erzeugten Wärme sofort in der Tiefenrichtung. Des Weiteren wird der Dotierstoff, da keine Langzeitwärmebehandlung durchgeführt wird, das Substrat nicht durchdringen und aus dem Substrat austreten. Außerdem ermöglicht es die Verwendung von mehreren Laserbestrahlungsvorrichtungen, die Bestrahlungszeit der Laserstrahlen zu steuern, was es wiederum ermöglicht, die Diffusion und Aktivierung eines Dotierstoffs mit einem großen Diffusionskoeffizienten einzustellen. Genauer gesagt kann, da es einen Do-

tierstoff mit einem großen Diffusionskoeffizienten ermöglicht wird, für die Aktivierung tiefer als zuvor zu diffundieren, die n-Pufferschicht dicker gebildet werden als zuvor. Somit ist es möglich, die n-Pufferschicht ohne Einfluss einer Fehlstelle oder von Schmutz während der Prozessschritte korrekt zu bilden.

**[0031]** Wenn der Festkörperlaser oder der Excimer-Laser und der Halbleiterlaser kombiniert werden, trägt ein Laserstrahl mit einer kurzen Wellenlänge vom Festkörperlaser oder vom Excimer-Laser zur Aktivierung des Dotierstoffs in der obersten der oberen Schichten auf der Seite der Halbleiterbestrahlungsoberfläche bei. Der Halbleiterlaser mit einem größeren Absorbtionskoeffizienten in das Silicium trägt zur Diffusion und Aktivierung des Dotierstoffs in eine tiefe Schicht bei.

**[0032]** Wenn das Substrat während der Laserbestrahlung von dem Gestell abgekoppelt bzw. losgelöst ist, ist der Kühleffekt durch Wärmeleitung zum Gestell hin vermindert, was bewirkt, dass die Temperatur des Substrats ansteigt. Indem jedoch ein Laserstrahl eingestrahlt wird, während der Wafer an dem elektrostatischen Einspanngestell fixiert ist, ist es möglich, einen Anstieg der Temperatur des Substrats während der Laserbestrahlung zu unterdrücken. Dieser Effekt ist bei einem dünnen Wafer mit der Dicke in der Größenordnung von 70 µm erkennbar. Insbesondere dann, wenn Lithium als Dotierstoff verwendet wird, ist diese Konfiguration bevorzugt, da die Diffusion von Lithium gesteuert werden kann, indem die Temperatur des Substrats während der Laserbestrahlung unterhalb von 100°C gehalten wird.

**[0033]** Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements ist es möglich, einen Vorteil insofern zu erzielen, als das Auftreten des Ausfalls eines Bauteils verhindert werden kann. Es ist außerdem möglich, einen weiteren Vorteil insofern zu erzielen, als ein Halbleiterelement mit zufriedenstellenden Bauelementcharakteristika hergestellt werden kann. Außerdem ist es möglich, einen weiteren Vorteil insofern zu erzielen, als ein Brechen eines Bauelements durch Wärme, die während der Laserbestrahlung erzeugt wird, verhindert werden kann.

#### KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0034]** Die Erfindung wird unter Bezug auf bestimmte bevorzugte Ausführungsformen und die Zeichnung beschrieben. Es zeigen:

**[0035]** [Fig. 1](#) eine Impulsform eines gepulsten Laserstrahls in einer ersten Ausführungsform;

**[0036]** [Fig. 2](#) ein Konzentrationsprofil (einzelne Schicht) in der Tiefenrichtung eines gemäß der ers-

ten Ausführungsform erhaltenen Siliciumhalbleiters;

[0037] [Fig. 3](#) ein Konzentrationsprofil (einzelne Schicht) in der Tiefenrichtung eines Siliciumhalbleiters, wenn das Glühen in einem elektrischen Ofen ausgeführt wird;

[0038] [Fig. 4](#) ein Konzentrationsprofil (aufeinanderfolgende Schichten) in der Tiefenrichtung eines gemäß der ersten Ausführungsform erhaltenen Siliciumhalbleiters;

[0039] [Fig. 5](#) eine Impulsform eines gepulsten Laserstrahls und eine kontinuierliche Oszillation eines Halbleiterlasers in einer zweiten Ausführungsform;

[0040] [Fig. 6](#) ein Konzentrationsprofil (einzelne Schicht) in der Tiefenrichtung eines gemäß der zweiten Ausführungsform erhaltenen Siliciumhalbleiters;

[0041] [Fig. 7](#) ein Konzentrationsprofil (aufeinanderfolgende Schichten) in der Tiefenrichtung eines gemäß der zweiten Ausführungsform erhaltenen Siliciumhalbleiters;

[0042] [Fig. 8](#) einen Zustand, in dem ein Wafer an einem elektromagnetischen Einspanngestell fixiert ist;

[0043] [Fig. 9](#) einen Zustand, in dem der Wafer von dem Gestell losgelöst ist;

[0044] [Fig. 10](#) die Temperaturcharakteristik eines Diffusionskoeffizienten für Silicium von Schwefel, Selen, Wasserstoff, Arsen und Phosphor;

[0045] [Fig. 11](#) Diffusionstiefen von Lithium, Schwefel, Selen, Wasserstoff und Phosphor;

[0046] [Fig. 12](#) ein Beispiel einer Struktur eines NPT-Typ-IGBTs im Querschnitt;

[0047] [Fig. 13](#) ein Beispiel einer Struktur eines SF-Typ-IGBTs im Querschnitt;

[0048] [Fig. 14](#) eine Querschnittsansicht, die einen Zustand zeigt, nachdem ein Oberseitenprozess abgeschlossen worden ist;

[0049] [Fig. 15](#) eine Querschnittsansicht, die einen Zustand bei einem Substratabschleifprozess zeigt;

[0050] [Fig. 16](#) eine Querschnittsansicht, die einen Zustand bei einem Ionenimplantationsprozess auf der Seite der Unterseite zeigt;

[0051] [Fig. 17](#) eine Querschnittsansicht, die einen Zustand bei einem Glühprozess der Unterseite zeigt;

[0052] [Fig. 18](#) eine Querschnittsansicht, die einen Zustand bei einem Bildungsprozess des Unterseiten-

elektrodenfilms zeigt; und

[0053] [Fig. 19](#) ein Beispiel einer Struktur eines rückwärtssperrenden IGBTs im Querschnitt.

## BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0054] Nachstehend werden bevorzugte erfindungsgemäße Ausführungsformen eines Verfahrens zur Herstellung eines Halbleiterelements ausführlich unter Bezug auf die Zeichnung beschrieben. Obwohl dies nicht besonders hierauf beschränkt ist, wird in beispielhafter Weise der Fall der Herstellung eines FS-Typ-IGBTs beschrieben.

### Erste Ausführungsform

[0055] Bei einer ersten Ausführungsform wird Lithium als Dotierstoff verwendet, um die n<sup>+</sup>-Schicht **10a** in dem Ionenimplantationsschritt zur Bildung einer n-Pufferschicht und einer p<sup>+</sup>-Kollektorschicht gemäß der Darstellung in [Fig. 16](#) zu bilden. Falls die n<sup>+</sup>-Schicht **10a** und die p<sup>+</sup>-Schicht **8a** aktiviert werden und eine in Kontakt mit der Unterseitelektrode gelangende Oberseitenkontaktschicht nach diesem Ionenimplantationsschritt geschaffen wird, werden zwei Nur-Festkörper-YAG2ω-Laser (Wellenlänge: 532 nm) verwendet, um das Laserglühen im Schritt der Aktivierung der Oberseitenkontaktschicht auszuführen.

[0056] [Fig. 1](#) zeigt eine Impulsform eines gepulsten Laserstrahls, der von jedem der zwei Laserbestrahlungsvorrichtungen abgestrahlt wird. Wie in [Fig. 1](#) gezeigt, beträgt, wenn Laserstrahlen ausgestrahlt werden, die volle Breite bei halbem Maximum FWHM (entsprechend der Impulsbreite) der zwei Laser beispielsweise 100 ns. Des Weiteren ist die Strahlungsenergiegedichte sowohl des ersten Lasers (erster Impuls) als auch des zweiten Lasers (zweiter Impuls) beispielsweise 1,5 J/cm<sup>2</sup>, so dass die Laserstrahlungsenergiegedichte insgesamt 3 J/cm<sup>2</sup> beträgt. Außerdem beträgt die Verzögerungszeit des zweiten Impulses bezüglich des ersten Impulses beispielsweise 500 ns. Des Weiteren beträgt das Überlappungsverhältnis der Impulse sowohl für den ersten als auch für den zweiten Laser beispielsweise 90%.

[0057] Diese Bedingungen der Laserbestrahlung werden nach Maßgabe der Diffusionstiefe und des Aktivierungsverhältnisses des Dotierstoffes je nach Erfordernis gewählt, um eine gewünschte Charakteristik zu erzielen. Um einen gepulsten Laserstrahl einzustrahlen, kann die Lichtquelle selbst blinken, oder es kann ein Laserstrahl über eine für die Aktivierung erforderliche Zeitspanne durch Öffnen und Schließen einer Blende oder dergleichen eingestrahlt werden, während die Lichtquelle kontinuierlich Licht emittiert. Der gepulste Laserstrahl, auf dem bei die-

ser Beschreibung Bezug genommen wird, kann durch beide Verfahren gebildet werden. Nachstehend wird nun der Fall beschrieben, dass eine einzelne dotierte Schicht (nachstehend als einzelne Schicht bezeichnet) durch Laserglühen aktiviert wird. Hierbei wird der Fall der Bildung einer n-Pufferschicht (n-Feldstoppschicht) in einem FS-Typ-IGBT als einzelne Schicht als Beispiel herangezogen. Anfangs werden Lithiumionen ( $\text{Li}^+$ ) im Ionenimplantationsschritt in einen Siliciumhalbleiter implantiert. Dabei beträgt die Dosis an Lithium  $1 \times 10^{14} \text{ (cm}^{-2}\text{)}$ , und die Beschleunigungsenergie beträgt 100 keV. Gepulste Laserstrahlen werden dann unter den Bedingungen der Laserbestrahlung (vgl. [Fig. 1](#)) unter Verwendung von zwei Laserbestrahlungsvorrichtungen auf die Lithiumimplantationsoberfläche gestrahlt.

**[0058]** [Fig. 2](#) zeigt das Ergebnis der Messung des Konzentrationsprofils in der Tiefenrichtung von der Laserbestrahlungsfläche in dem Siliciumhalbleiter aus, die in dieser Weise durch die Ausbreitungswiderstandsmethode gewonnen wurde. In [Fig. 2](#) ist die Tiefe  $0 \mu\text{m}$  die Laserbestrahlungsfläche (das Gleiche kann für die [Fig. 4](#), [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) gesagt werden). Aus [Fig. 2](#) ist ersichtlich, dass das Lithium ungefähr  $12 \mu\text{m}$  von der Laserbestrahlungsfläche aus in die Tiefe diffundiert ist. Es ist möglich, die Diffusionstiefe und die Konzentration des Lithiums durch Ändern der Verzögerungszeit des zweiten Impulses bezüglich des ersten Impulses und der Strahlungsenergiedichte sowohl des ersten als auch des zweiten Impulses einzustellen.

**[0059]** Für Vergleichszwecke zeigt [Fig. 3](#) das Ergebnis der Messung durch die Ausbreitungswiderstandsmethode des Konzentrationsprofils in der Tiefenrichtung von der Ionenimplantationsoberfläche in dem Siliciumhalbleiter, der durch Implantieren von Lithiumionen unter den gleichen Implantationsbedingungen, gefolgt durch Glühen in einem elektrischen Ofen bei  $450^\circ\text{C}$  für eine Stunde, hergestellt wurde. In [Fig. 3](#) ist die Tiefe  $0 \mu\text{m}$  die Ionenimplantationsoberfläche. Aus [Fig. 3](#) ist ersichtlich, dass wegen der Wärmebehandlung über einen langen Zeitraum an der Oberfläche (bei der Tiefe von  $0 \mu\text{m}$ ), wo Lithium implantiert wurde, Lithium aus dem Siliciumhalbleiter austritt. Außerdem tritt, da der Diffusionskoeffizient von Lithium groß ist, das Problem auf, dass die Konzentration an der Oberfläche (bei der Tiefe von  $t \mu\text{m}$ ) auf der Seite, die von der Implantationsoberfläche abgewandt ist, zunimmt. Ein solches Problem tritt nicht auf, wenn das oben beschriebene Laserglühen ausgeführt wird.

**[0060]** Ein Fall der Bildung der n-Pufferschicht (n-Feldstoppschicht) und der  $p^+$ -Kollektorschicht in dem FS-Typ-IGBT als aufeinanderfolgende Schichten wird als Beispiel herangezogen. Anfangs werden in dem Ionenimplantationsschritt Lithiumionen ( $\text{Li}^+$ ) mit einer Dosis von  $1 \times 10^{14} \text{ (cm}^{-2}\text{)}$  und einer Be-

schleunigungsenergie von 100 keV in den Siliciumhalbleiter implantiert. Borionen ( $\text{B}^+$ ) werden kontinuierlich in den Siliciumhalbleiter mit einer Dosis von  $1 \times 10^{15} \text{ (cm}^{-2}\text{)}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV implantiert. Dann werden gepulste Laserstrahlen auf die Ionenimplantationsoberfläche unter den oben beschriebenen Laserbestrahlungsbedingungen (vgl. [Fig. 1](#)) unter Verwendung der zwei Laserbestrahlungsvorrichtungen eingestrahlt.

**[0061]** [Fig. 4](#) zeigt das Ergebnis der Messung des Konzentrationsprofils in der Tiefenrichtung von der Laserbestrahlungsfläche in dem Siliciumhalbleiter aus, die in dieser Weise durch die Ausbreitungswiderstandsmethode gewonnen wurde. Aus [Fig. 4](#) ist ersichtlich, dass Lithium ungefähr  $10 \mu\text{m}$  von der Laserbestrahlungsfläche aus in die Tiefe diffundiert ist. Der Grund, warum die Konzentration und die Diffusionstiefe von Lithium im Vergleich zu dem in [Fig. 2](#) gezeigten Fall der einzelnen Schicht geringfügig reduziert ist, liegt darin, dass die Diffusion von Lithium durch die  $p^+$ -Kollektorschicht abgeschwächt wird. Auch für die aufeinanderfolgenden Schichten ist es möglich, die Diffusionstiefe und die Konzentration des Lithiums durch Ändern der Verzögerungszeiten des zweiten Impulses bezüglich des ersten Impulses und der Strahlungsenergiedichte sowohl des ersten als auch des zweiten Impulses einzustellen.

#### Zweite Ausführungsform

**[0062]** Bei einer zweiten Ausführungsform wird ein Halbleiterlaser (Wellenlänge: 800 nm) anstatt eines der zwei Nur-Festkörper-YAG2 $\omega$ -Laser (Wellenlänge: 532 nm), der bei der ersten Ausführungsform verwendet wurde, verwendet. Lithium wird als Dotierstoff zur Bildung der  $n^+$ -Schicht **10a** verwendet.

**[0063]** [Fig. 5](#) zeigt die Impulsform eines von dem Nur-Festkörper-YAG2 $\omega$ -Laser abgestrahlten gepulsten Laserstrahls und die kontinuierliche Oszillation des Halbleiterlasers. Wie in [Fig. 5](#) gezeigt, beträgt die volle Breite bei halbem Maximum FWHM (entsprechend der Impulsbreite) des Nur-Festkörper-YAG2 $\omega$ -Lasers beispielsweise 100 ns, wenn Laserstrahlen abgestrahlt werden. Des Weiteren beträgt die Strahlungsenergiedichte des Nur-Festkörper-YAG2 $\omega$ -Lasers beispielsweise  $1,5 \text{ J/cm}^2$ . Während der Waferbearbeitung wird von dem Halbleiterlaser ein Laserstrahl mit einer Strahlungsenergiedichte von beispielsweise  $5 \text{ J/cm}^2$  auf die gesamte Waferoberfläche gestrahlt. Des Weiteren ist das Überlappungsverhältnis der Impulse des Nur-Festkörper-YAG2 $\omega$ -Lasers beispielsweise 90%.

**[0064]** Diese Laserbestrahlungsbedingungen werden so ausgewählt, wie sie nach Maßgabe der Diffusionstiefe und des Aktivierungsverhältnisses des Dotierstoffs erforderlich sind, um die gewünschte Charakteristik zu erzielen. Nachstehend wird nun der Fall

beschrieben, dass eine einzelne Schicht durch Laserglühen aktiviert wird. Hierbei wird ein Fall der Bildung der n-Pufferschicht (n-Feldstoppschicht) in dem FS-Typ-IGBT als einzelne Schicht als Beispiel herangezogen. Anfangs werden beim Ionenimplantationsschritt Lithiumionen ( $\text{Li}^+$ ) mit einer Dosis von  $1 \times 10^{14}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) und einer Beschleunigungsenergie von 100 keV in den Siliciumhalbleiter implantiert. Dann werden Strahlen von dem Nur-Festkörper-YAG2 $\omega$ -Laser und dem Halbleiterlaser unter den oben beschriebenen Laserbestrahlungsbedingungen (vgl. [Fig. 5](#)) auf die Lithiumimplantationsoberfläche gestrahlt. Die Strahlungsenergiegedichte des Halbleiterlasers beträgt  $3 \text{ J/cm}^2$ .

**[0065]** [Fig. 6](#) zeigt das Ergebnis der Messung des Konzentrationsprofils in der Tiefenrichtung von der Laserbestrahlungsoberfläche in dem Siliciumhalbleiter, das in dieser Weise durch die Ausbreitungswiderstandsmethode gewonnen wurde. Aus [Fig. 6](#) ist ersichtlich, dass Lithium etwa  $20 \mu\text{m}$  von der Laserbestrahlungsoberfläche aus in die Tiefe diffundiert ist. Es ist möglich, die Diffusionstiefe und die Konzentration des Lithiums durch Ändern der Strahlungsenergiegedichte des Nur-Festkörperlasers und des Halbleiterlasers einzustellen. Ein Vergleich zwischen dem in [Fig. 6](#) gezeigten Ergebnis und dem in [Fig. 2](#) gezeigten Ergebnis ergibt, dass die Effektivität bei dem in [Fig. 6](#) gezeigten Ergebnis ausreichend höher ist. Außerdem treten auch bei dieser zweiten Ausführungsform ebenso wie bei der ersten Ausführungsform verschiedene Probleme nicht auf, die sonst auftreten, wenn das Glühen über eine lange Zeit in einem elektrischen Ofen ausgeführt wird.

**[0066]** Als nächstes wird ein Fall der Bildung der n-Pufferschicht (n-Feldstoppschicht) der  $p^+$ -Kollektorschicht in dem FS-Typ-IGBT als aufeinanderfolgende Schichten als Beispiel herangezogen. Anfangs werden in die Ionenimplantationsschicht Lithiumionen ( $\text{Li}^+$ ) mit einer Dosis von  $1 \times 10^{14}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) und einer Beschleunigungsenergie von 100 keV in den Siliciumhalbleiter implantiert. Borionen ( $\text{B}^+$ ) werden mit einer Dosis von  $1 \times 10^{15}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ) und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV kontinuierlich in den Siliciumhalbleiter implantiert. Ein gepulster Laserstrahl wird aus dem Nur-Festkörper-YAG2 $\omega$ -Laser bei einer Strahlungsenergiegedichte von  $1,5 \text{ J/cm}^2$  auf die Ionenimplantationsoberfläche gestrahlt, während ein Laserstrahl mit einer Strahlungsenergiegedichte von  $3 \text{ J/cm}^2$  aus dem Halbleiterlaser auf die gesamte Ionenimplantationsoberfläche gestrahlt wird.

**[0067]** [Fig. 7](#) zeigt das Ergebnis der Messung des Konzentrationsprofils in der Tiefenrichtung von der Laserbestrahlungsoberfläche in dem Siliciumhalbleiter aus, das in dieser Weise durch die Ausbreitungswiderstandsmethode gewonnen wurde. Aus [Fig. 7](#) ist ersichtlich, dass Lithium etwa  $18 \mu\text{m}$  von der Laserbestrahlungsoberfläche aus in die Tiefenrichtung dif-

fundiert ist. Der Grund, warum die Konzentration und Diffusionstiefe des Lithiums im Vergleich zu dem in [Fig. 6](#) gezeigten Fall der einzelnen Schicht etwas reduziert ist, ist der Gleiche, wie bei der ersten Ausführungsform beschrieben wurde. Auch für die aufeinanderfolgenden Schichten ist es möglich, die Diffusionstiefe und die Konzentration des Lithiums durch Ändern der Strahlungsenergiegedichte aus dem Nur-Festkörperlaser und dem Halbleiterlaser einzustellen.

**[0068]** Bei der oben beschriebenen ersten und zweiten Ausführungsform ist es übrigens bevorzugt, den Wafer **22** gemäß Darstellung in [Fig. 8](#) fest an einem elektrostatischen Einspanngestell **21** zu befestigen, wenn das Laserglühen ausgeführt wird. Andererseits kann sich der dünne Wafer **22** in der in [Fig. 9](#) gezeigten Weise von dem Gestell **21** lösen bzw. abkoppeln. Wenn der Wafer **22** abgelöst ist, erfolgt die Wärmeleitung des Wafers **22** auf das Gestell **21** nicht in einfacher Weise während der Laserbestrahlung, was dem Glüheffekt vermindert. Als Ergebnis steigt die Temperatur des Wafers **22** auf der Oberfläche auf der von Laserbestrahlungsoberfläche abgewandten Seite, das heißt auf der vom Gestell **21** abgewandten Oberfläche, an. Auf dieser Oberfläche ist die Gate-Struktur oder ähnliches mittels des Oberseitenprozesses gebildet worden.

**[0069]** Falls beispielsweise das Verfahren der zweiten Ausführungsform auf einen Wafer mit einer Dicke von  $70 \mu\text{m}$  angewendet wird, kann die Temperatur des Wafers auf der Oberseite bis auf etwa  $500^\circ\text{C}$  ansteigen, wenn der Wafer losgelöst ist. Wenn die Temperatur zu hoch wird, schmelzen die Oberseitenelektrode und der darauf gebildete Isolatorschutzfilm, und das Bauelement ist beschädigt, was seine Funktionsfähigkeit zerstört. Im Gegensatz dazu ist es durch Einstrahlung von Laserstrahlen, während der Wafer **22** fest an dem elektrostatischen Einspanngestell **21** befestigt ist, möglich, die Temperatur des Wafers an der Oberseite auf etwa  $200^\circ\text{C}$  oder weniger zu begrenzen. Dies beseitigt den Einfluss der Laserbestrahlung auf die Oberseite des Bauelements.

**[0070]** Im Fall eines dünnen Wafers mit einer Dicke in der Größenordnung von etwa  $70 \mu\text{m}$  ist dieser Effekt erkennbar. Die vorstehend beschriebene Konfiguration ist insbesondere in einem Fall bevorzugt, in dem Lithium als Dotierstoff verwendet wird, da die Diffusion von Lithium durch Halten der Temperatur des Substrats während der Laserbestrahlung unterhalb von  $100^\circ\text{C}$  gesteuert werden kann. Wie beschrieben worden ist, ist es effizient, ein Bauelement herzustellen, bei dem das Laserglühen ausgeführt wird, während der Wafer **22** an dem elektrostatischen Einspanngestell **21** befestigt bzw. fixiert ist.

**[0071]** Bei der ersten Ausführungsform und der zweiten Ausführungsform wurde Lithium als Dotier-

stoff verwendet. Stattdessen können jedoch auch Schwefel (S), Selen (Se) oder Wasserstoff (H) als Dotierstoff verwendet werden. [Fig. 10](#) zeigt die Temperaturcharakteristik bezüglich des Diffusionskoeffizienten von Schwefel, Selen und Wasserstoff sowie zum Vergleich von Arsen und Phosphor für Silicium. In [Fig. 10](#) stellt die obere horizontale Achse die Temperatur  $T$  in Grad ( $^{\circ}\text{C}$ ) dar, und die untere horizontale Achse stellt das Inverse ( $\text{K}^{-1}$ ) der absoluten Temperatur dar. Die vertikale Achse stellt den Diffusionskoeffizienten dar.

**[0072]** Alternativ können zwei oder mehrere unter den Stoffen Lithium, Schwefel und Selen als Dotierstoff verwendet werden. [Fig. 11](#) zeigt die Diffusionstiefe jedes Dotierstoffs in einem Fall, in dem die zweite Ausführungsform unter Verwendung von Lithium, Wasserstoff, Schwefel und Selen sowie Phosphor als Referenz eingesetzt wird. Für jeden Dotierstoff beträgt die Dosis bei der Ionenimplantation  $1 \times 10^{14}$  ( $\text{cm}^{-2}$ ). Die Strahlungsenergiegedichte des Halbleiterlasers beträgt  $3 \text{ J/cm}^2$ , und die Strahlungsenergiegedichte des Nur-Festkörper-YAG2 $\omega$ -Lasers beträgt  $1,5 \text{ J/cm}^2$ . Wie aus [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) ersichtlich ist, weisen Lithium, Wasserstoff, Schwefel und Selen im Vergleich zu Phosphor und Arsen, die gewöhnlich als Dotierstoff beim Herstellungsprozess eines Siliciumhalbleiters verwendet werden, große Diffusionskoeffizienten für Silicium auf und diffundieren daher tiefer in das Silicium hinein.

**[0073]** Wie beschrieben worden ist, diffundiert bei jeder Ausführungsform der Dotierstoff mit einem großen Diffusionskoeffizienten, wie Lithium, Schwefel, Selen und Wasserstoff, auf Grund der während der Laserbestrahlung im Aktivierungsschritt erzeugten Wärme sofort in der Tiefenrichtung. Da außerdem keine lange andauernde Wärmebehandlung ausgeführt wird, durchdringt der Dotierstoff das Substrat nicht und tritt somit nicht aus. Außerdem ist es durch Verwendung mehrerer Laserbestrahlungsvorrichtungen wie bei der ersten Ausführungsform oder durch Kombinieren eines Festkörperlasers und eines Halbleiterlasers wie bei der zweiten Ausführungsform möglich, die Einstrahlungszeit eines Laserstrahls zu steuern, wodurch es ermöglicht wird, die Diffusion oder die Aktivierung eines Dotierstoffs mit einem großen Diffusionskoeffizienten einzustellen. Gemäß der zweiten Ausführungsform trägt insbesondere der Festkörperlaser mit einer kurzen Wellenlänge zur Aktivierung des Dotierstoffs auf der obersten Oberflächenschicht auf der Seite der Laserbestrahlungsoberfläche bei, und der Halbleiterlaser mit einem großen Absorptionskoeffizienten für Silicium trägt zur Diffusion und zur Aktivierung des Dotierstoffs in eine tiefe Schicht bei.

**[0074]** Da der Dotierstoff wie Lithium, Schwefel und Selen für die Aktivierung tiefer in das Silicium hinein diffundiert werden kann als zuvor, kann somit bei-

spielsweise die n-Pufferschicht in dem FS-Typ-IGBT dicker als zuvor gebildet werden. Es ist genauer gesagt möglich, die n-Pufferschicht korrekt ohne den Einfluss einer Fehlstelle oder von Schmutz während der Prozessschritte zu bilden, was wiederum das Auftreten eines Versagens des Bauelements verhindern kann. Außerdem ist es möglich, ein Halbleiterelement mit zufriedenstellenden Bauelementcharakteristika herzustellen. Darüber hinaus ist es durch Ausführen der Laserbestrahlung unter Fixierung des Lasers an dem elektrostatischen Einspanngestell nicht nur möglich, das Brechen eines Bauelements, das durch während der Laserbestrahlung erzeugte Wärme verursacht wird, zu verhindern, sondern es ist auch möglich, die Diffusion des Lithiums zu steuern.

**[0075]** Ein Vergleich zwischen der ersten Ausführungsform ([Fig. 2](#) und [Fig. 4](#)) und der zweiten Ausführungsform ([Fig. 6](#) und [Fig. 7](#)) zeigt, dass der Dotierstoff bei der zweiten Ausführungsform tiefer in das Silicium hinein diffundiert als bei der ersten Ausführungsform. Außerdem zeigt [Fig. 11](#), dass Lithium am weitesten in das Silicium hinein diffundiert. Es ist daher am stärksten bevorzugt, Lithium als Dotierstoff zu verwenden und das Laserglühn durch Kombinieren des Festkörperlasers und des Halbleiterlasers auszuführen.

**[0076]** Es ist festzuhalten, dass die Erfindung nicht auf die oben beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist und in verschiedener Weise modifiziert werden kann. So sind beispielsweise die bei den Ausführungsformen als die Ionenimplantationsbedingungen und die Laserbestrahlungsbedingungen spezifizierten Zahlenwerte nur Beispiele, und die Erfindung ist nicht auf diese Werte beschränkt. Außerdem ist das Laserglühverfahren der Erfindung nicht auf den Fall des Diffundierens und Aktivierens des n-leitenden Dotierstoffs beschränkt, sondern es ist auch effizient, einen gleitenden Dotierstoff mit einem großen Diffusionskoeffizienten, beispielsweise Aluminium (Al), Zink (Zn) und Gallium (Ga), zu diffundieren und zu aktivieren.

**[0077]** Aus der einzelnen Schicht und den pn-aufeinanderfolgenden Schichten, die aus einer p-Typ-dotierten Schicht und einer n-Typ-dotierten Schicht hergestellt sind, ist die Erfindung auch einsetzbar bei nn-aufeinanderfolgenden Schichten, die aus einer n-Typ-dotierten Schicht und einer n-Typ-dotierten Schicht gebildet sind, bei np-aufeinanderfolgenden Schichten, die aus einer n-Typ-dotierten Schicht und p-Typ-dotierten Schicht gebildet sind, bei aufeinanderfolgenden Schichten, die aus einer mit Argon versehenen Schicht (Ar-Schicht), in die Argon ( $\text{Ar}^+$ ) als Dotierstoff implantiert ist, und einer p-Typ-dotierten Schicht gebildet sind, oder bei aufeinanderfolgenden Schichten, die aus einer Ar-Schicht und einer n-Typ-dotierten Schicht gebildet sind. Außerdem können als Nur-Festkörperlaser statt des YAG2 $\omega$ -La-

sers auch YLF2 $\omega$ -, YVO4(2 $\omega$ )-, YAG3 $\omega$ -, YLF3 $\omega$ - und YVO4(3 $\omega$ )-Laser verwendet werden. Des Weiteren können XeCl-, KrF- und KeF-Laser als Excimer-Laser anstatt des Nur-Festkörperlasers verwendet werden. Außerdem kann auch eine aus einer einzelnen Schicht (Kollektorschicht) gebildete p-Schicht in dem NPT-Typ-IGBT oder dem rückwärtssperrenden IGBT durch das Laserglühverfahren der Erfindung aktiviert werden. Des Weiteren ist die Anwendung der Erfindung nicht auf die IGBTs beschränkt, sondern die Erfindung ist auch anwendbar bei der Herstellung eines Halbleiterelements wie eines IC und eines MOS.

**[0078]** Wie beschrieben worden ist, ist das Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements gemäß der Erfindung nützlich für die Herstellung eines Halbleiterelements mit einer geringen Dicke des Bauelements und ist insbesondere geeignet zur Herstellung von IGBTs, die bei industriellen Anwendungen verwendet werden, wie unter anderem Vorrichtungen wie Mehrzweck-Umrichter, Wechselstromservovorrichtungen, unterbrechungsfreie Stromversorgungen (UPS) und Schaltnetzteile, sowie auch bei Endverbraucheranwendungen, wie unter anderem Vorrichtungen wie Mikrowellenherde, elektrische Reiskocher und Stroboskope.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- JP 2005-223301 A [\[0023\]](#)
- US 7135387 [\[0023\]](#)
- JP 2006-351659 A [\[0023\]](#)
- JP 2002-520885 A [\[0023\]](#)
- US 6441408 [\[0023\]](#)

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements, umfassend:

Implantieren von Ionen eines Dotierstoffs mit einem großen Diffusionskoeffizienten in einen Halbleiter; und

Einstrahlen mehrerer gepulster Laserstrahlen unter Verwendung mehrerer Laserbestrahlungsvorrichtungen beim Aktivieren einer dotierten Schicht, in die der Dotierstoff implantiert worden ist, auf eine einzelne dotierte Schicht oder aufeinanderfolgende Schichten, die aus mehreren dotierten Schichten mit dem gleichen Leitungstyp oder mit unterschiedlichen Leitungstypen hergestellt sind.

2. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements, umfassend:

Implantieren von Ionen eines Dotierstoffs mit einem großen Diffusionskoeffizienten in einen Halbleiter; und

Einstrahlen von Laserstrahlen aus einem Festkörperlaser oder einem Excimer-Laser sowie aus einem Halbleiterlaser beim Aktivieren einer dotierten Schicht, in die der Dotierstoff implantiert worden ist, auf eine einzelne dotierte Schicht oder aufeinanderfolgende Schichten, die aus mehreren dotierten Schichten mit dem gleichen Leitungstyp oder mit unterschiedlichen Leitungstypen hergestellt sind.

3. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements nach Anspruch 2, bei dem ein gepulster Laserstrahl von dem Festkörperlaser oder dem Excimer-Laser eingestrahlt wird, während ein Laserstrahl von dem Halbleiterlaser kontinuierlich eingestrahlt wird.

4. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements nach Anspruch 3, bei dem ein Laserstrahl aus dem Halbleiterlaser auf die gesamte Waferoberfläche eingestrahlt wird.

5. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Dotierstoff einen oder mehrere Stoffe aus der Lithium-, Schwefel-, Selen- und Wasserstoff enthaltenden Gruppe ist.

6. Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterelements nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem ein Wafer (**22**) während der Laserbestrahlung auf einem elektrostatischen Einspanngestell (**21**) befestigt wird.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

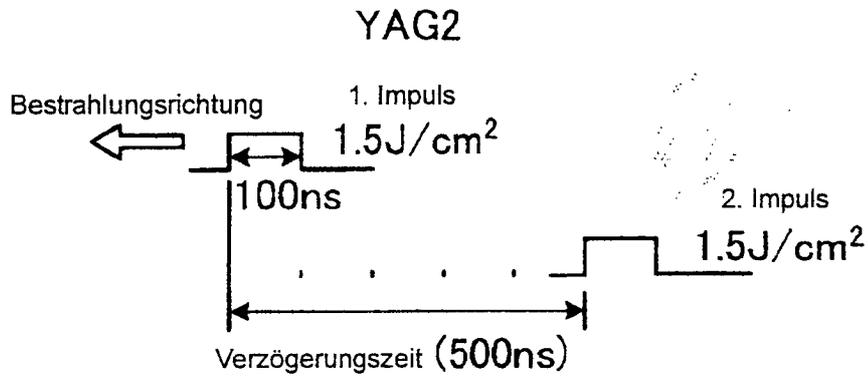


FIG. 2

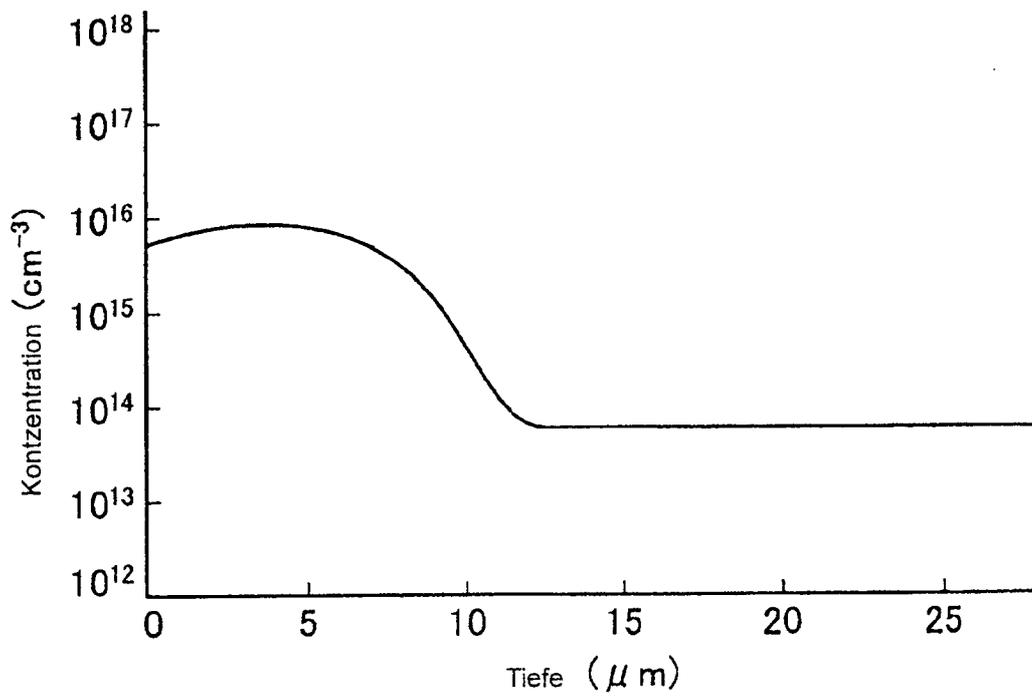


FIG. 3

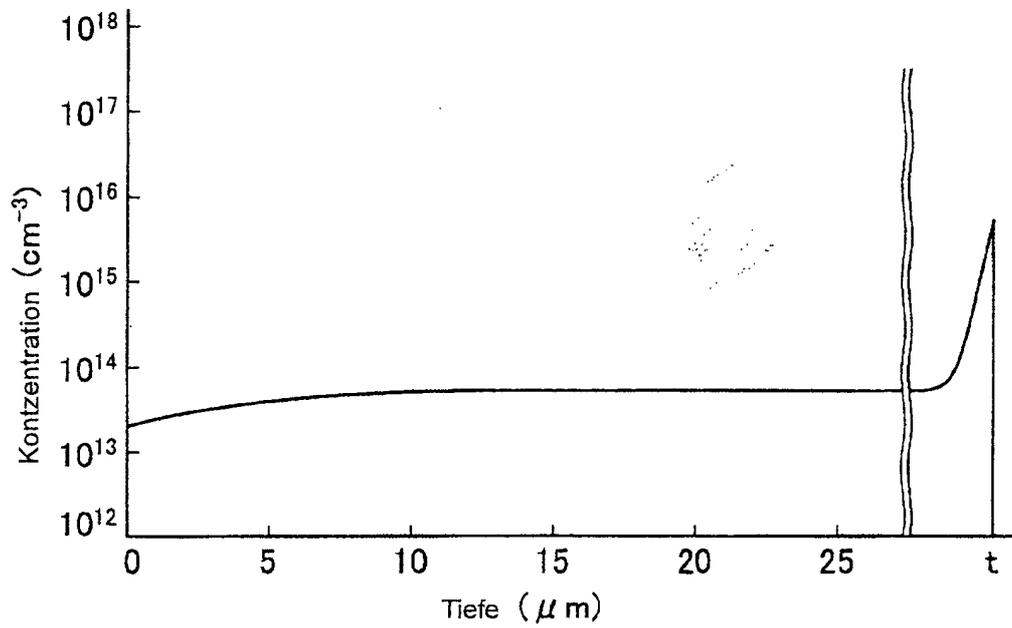
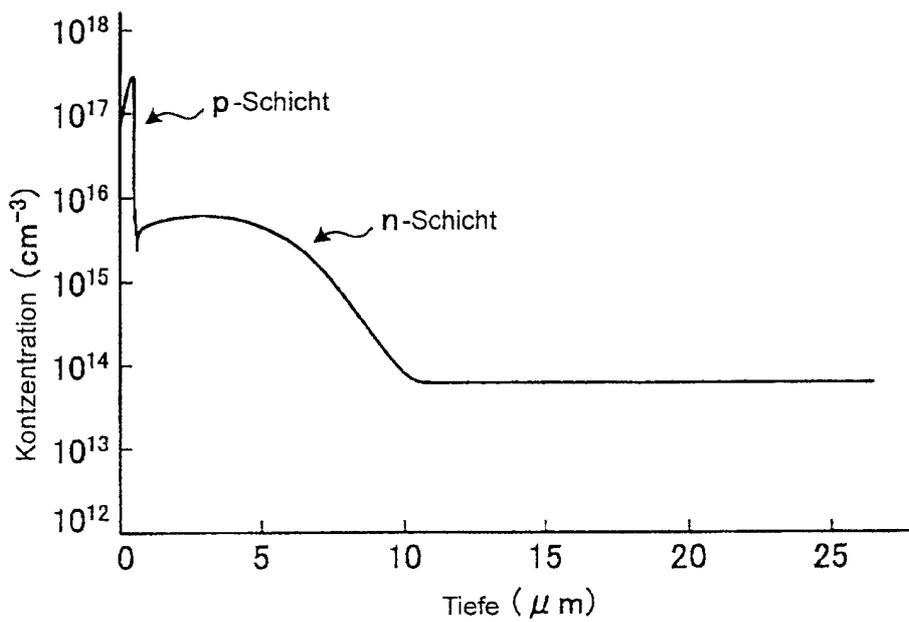
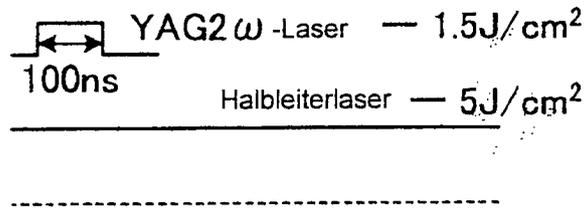


FIG. 4



# FIG. 5



# FIG. 6

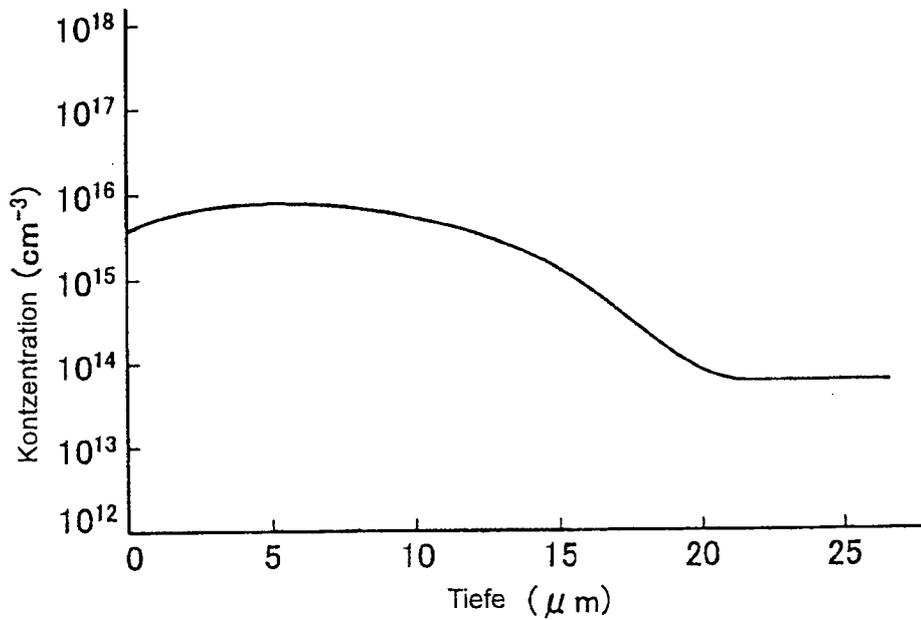


FIG. 7

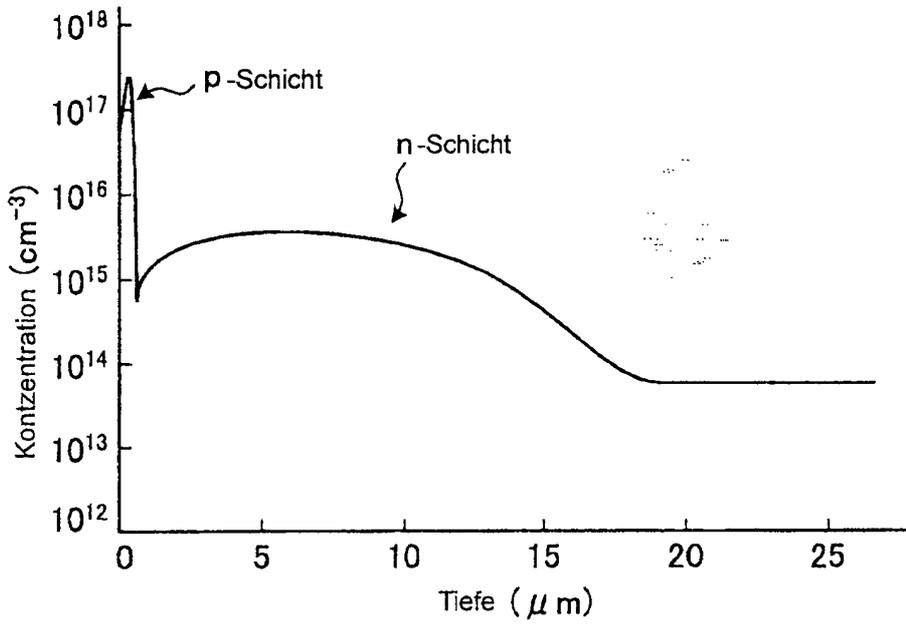


FIG. 8

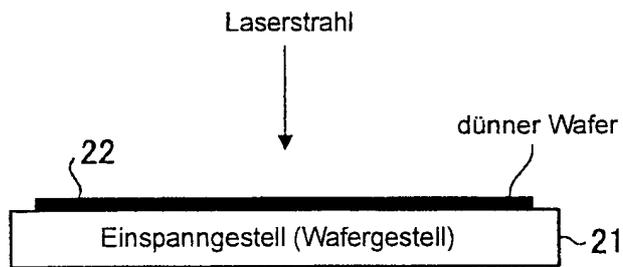


FIG. 9

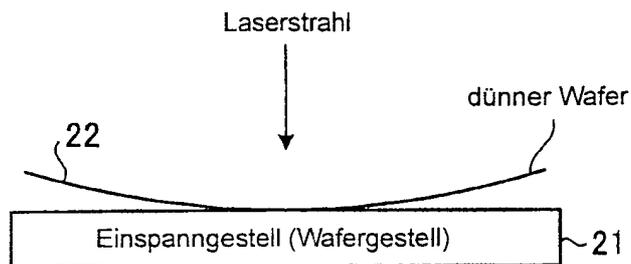


FIG. 10

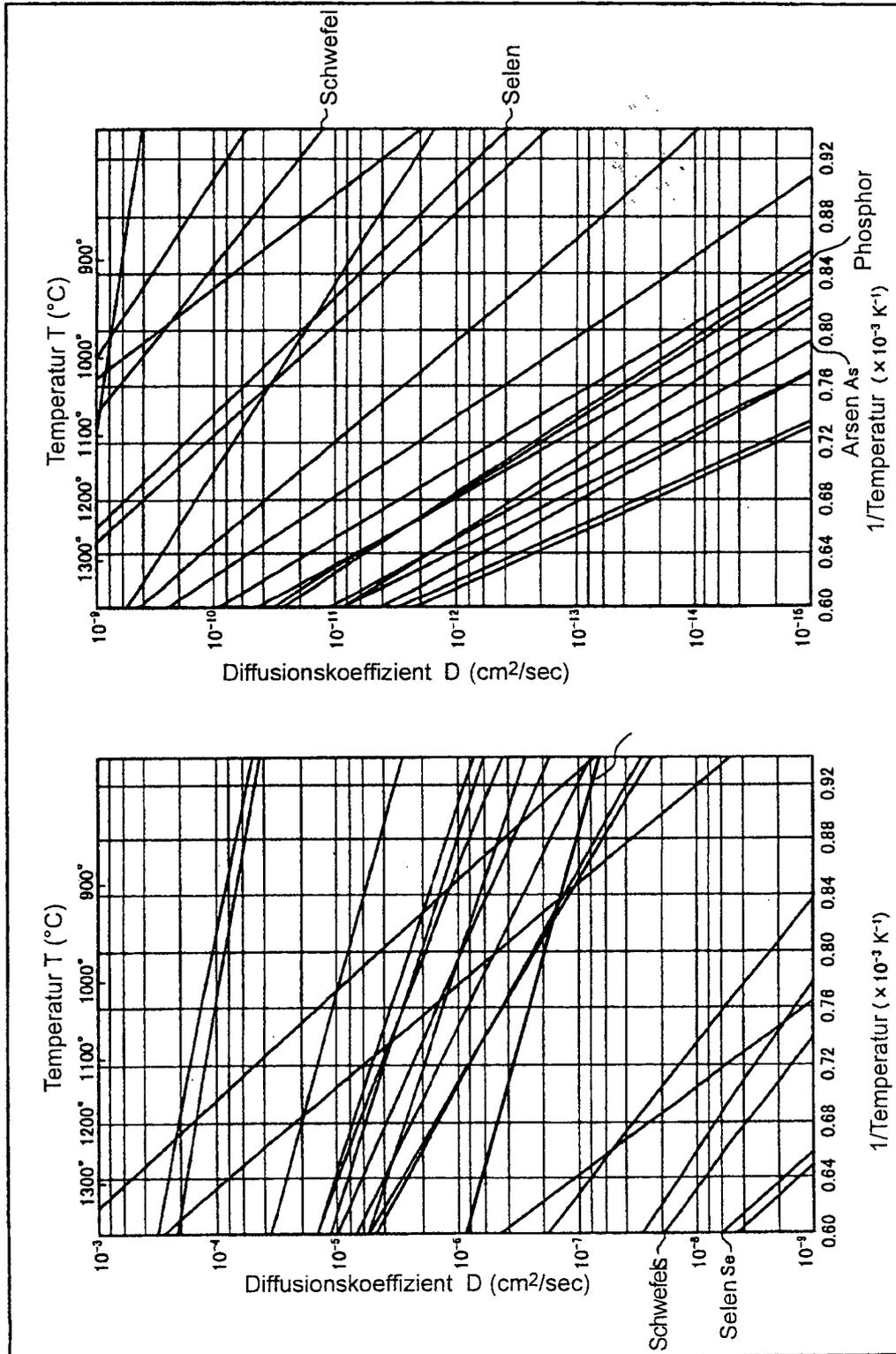


FIG. 11

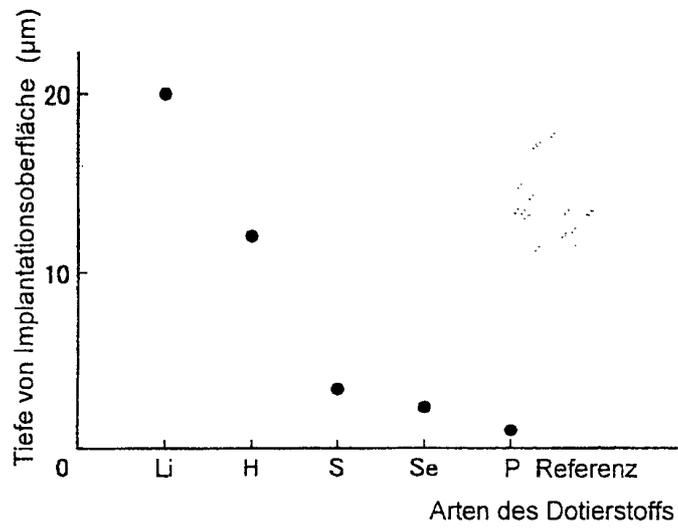


FIG. 12

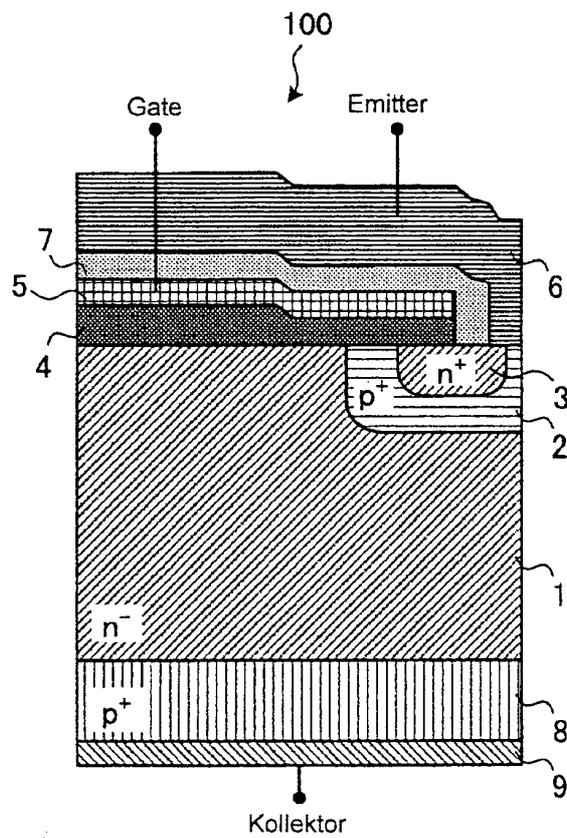


FIG. 13

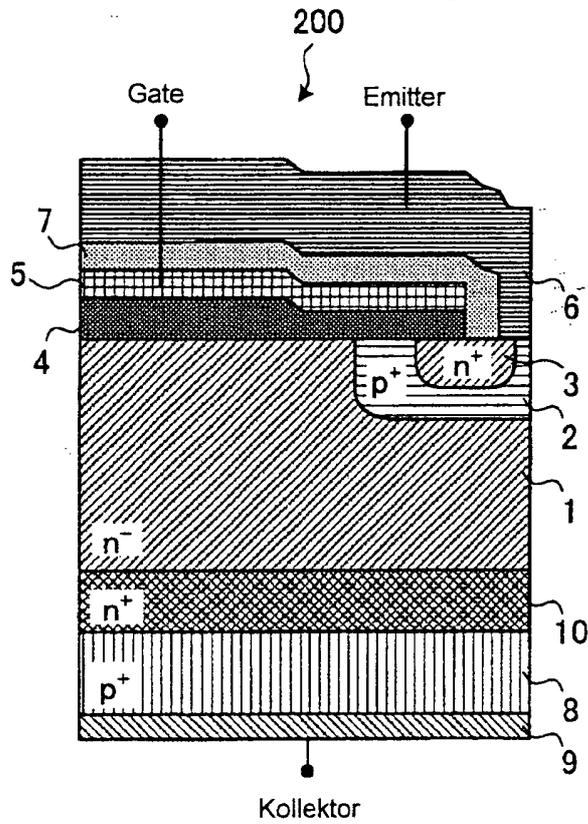


FIG. 14

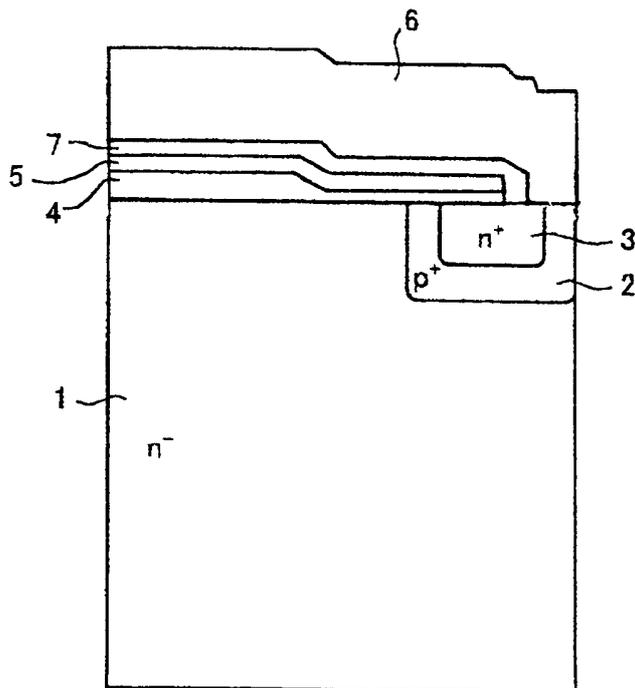


FIG. 15

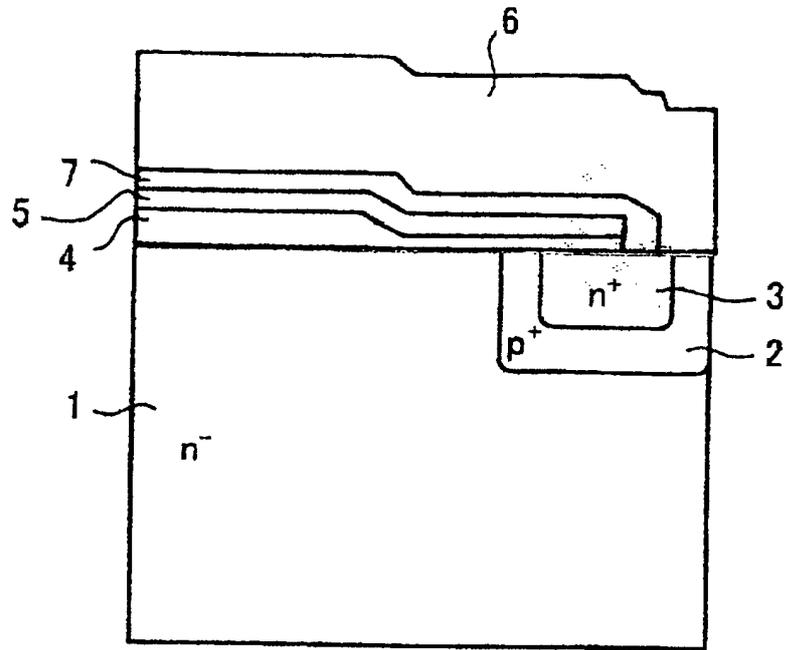


FIG. 16

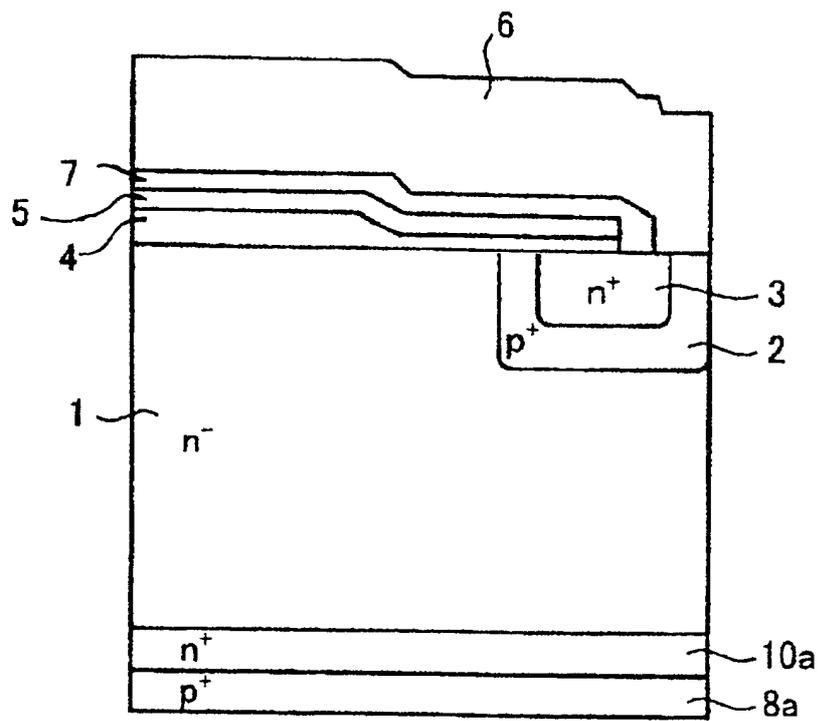


FIG. 17

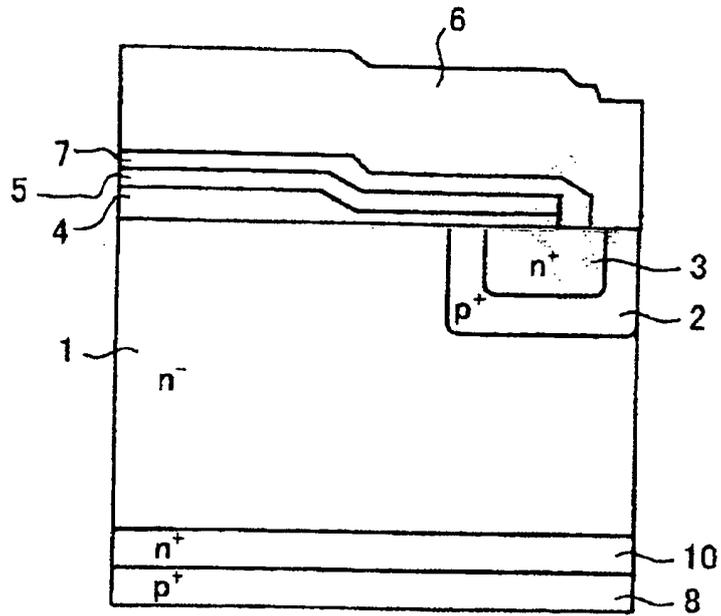


FIG. 18

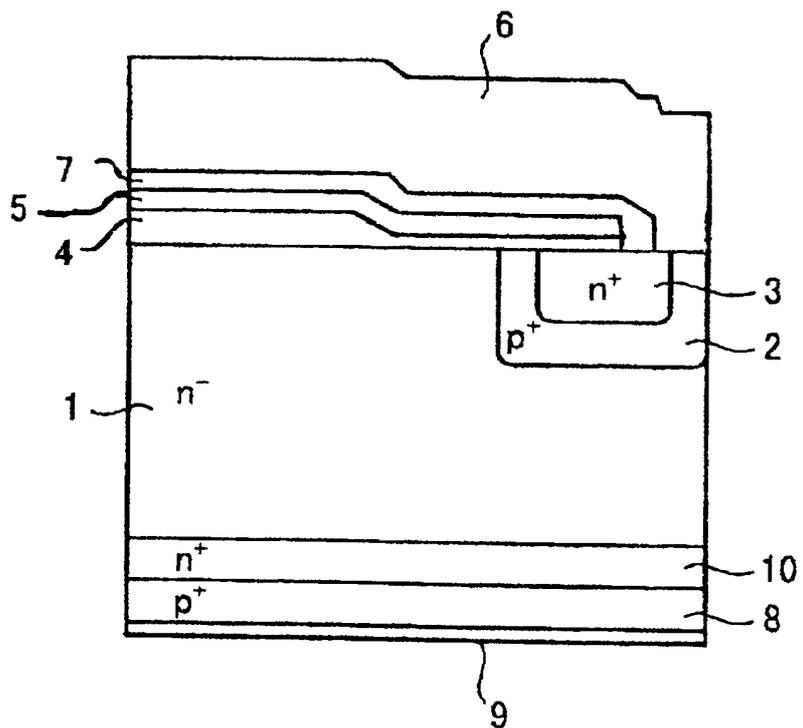


FIG. 19

