



(10) **DE 10 2004 030 268 B4** 2013.02.21

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 030 268.5**  
(22) Anmeldetag: **23.06.2004**  
(43) Offenlegungstag: **13.01.2005**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **21.02.2013**

(51) Int Cl.: **H01L 21/268** (2006.01)  
**H01L 21/336** (2006.01)  
**H01L 21/331** (2006.01)  
**H01L 21/324** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:  
**2003/179725**      **24.06.2003**    **JP**  
**2004/001670**      **07.01.2004**    **JP**

(72) Erfinder:  
**Nakazawa, Haruo, Tokio/Tokyo, JP; Kirisawa, Mitsuki, Tokio/Tokyo, JP; Shimoyama, Kazuo, Tokio/Tokyo, JP**

(73) Patentinhaber:  
**Fuji Electric Co., Ltd, Kawasaki-shi, JP**

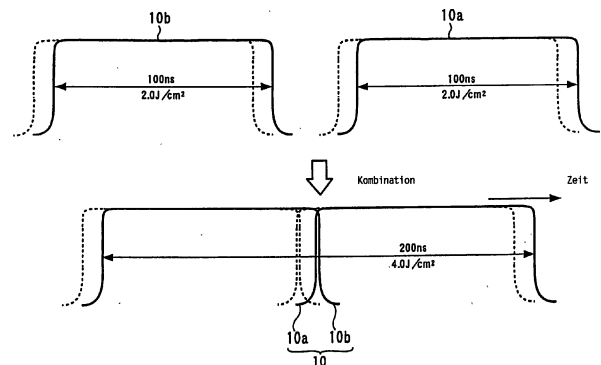
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

(74) Vertreter:  
**BOEHMERT & BOEHMERT, 28209, Bremen, DE**

**US 2003 / 0 089 691 A1**  
**JP 9 063 974 A**  
**JP 2003 059 856 A**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements, umfassend den Verfahrensschritt der Aktivierung eines dotierten Schichtbereichs, in den Verunreinigungen eingeführt wurden, durch einen Laserstrahl, wobei beim Aktivieren des dotierten Schichtbereichs eine Mehrzahl von Laserstrahlungsanordnungen, von denen jede die Bestrahlung mit einem gepulsten Laserstrahl durchführt, eine aufeinanderfolgende Bestrahlung des dotierten Schichtbereichs für jede Bestrahlungsfläche hiervon mit einer Mehrzahl von gepulsten Strahlen, die einen ersten gepulsten Laserstrahl einer ersten Laserstrahlvorrichtung und einen zweiten gepulsten Laserstrahl einer zweiten Laserstrahlvorrichtung umfasst, durchführt und hierdurch den dotierten Schichtbereich aktiviert; und wobei die gepulsten Strahlen eine rechteckige Impulsform mit gleicher Bestrahlungsenergie-dichte und gleicher Halbwertsbreite und eine örtliche Überlappungsrelation bezüglich des dotierten Schichtbereiches zwischen 50% und 98% haben und eine Verzögerungszeit vom Abstrahlen des ersten gepulsten Laserstrahls der ersten Laserstrahlvorrichtung bis zum Abstrahlen des zweiten gepulsten Laserstrahls der zweiten Laserstrahlvorrichtung zwischen 0 ns und 5000 ns liegt oder zwischen 0 ns and 10000 ns bei Verwendung einer YAG Laserstrahlvorrichtung...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements, und zwar im speziellen eines Elements wie eines IC (integral circuit, integrierter Schaltkreis), eines MOS (metal oxide semiconductor, Metall-Oxid-Halbleiter) oder eines IGBT (insulated gate bipolar transistor, Bipolartransistor mit isolierter Steuerelektrode).

**[0002]** In den letzten Jahren wurden sehr üblich in wichtigen Abschnitten eines Rechners oder einer Kommunikationsvorrichtung integrierte Schaltkreise (ICs) verwendet, in denen jeweils eine Anzahl von Transistoren und Widerständen so miteinander verbunden sind, daß sie auf einem Chip zu integrierende elektrische Schaltkreise bilden. Unter diesen ICs werden solche, die Leistungs-Halbleiterelemente enthalten, als Leistungs-ICs bezeichnet.

**[0003]** Ein IGBT ist ein Leistungselement, das mit beiden Charakteristiken ausgestattet ist: mit der hohen Schaltgeschwindigkeit und der Spannungssteuerung eines MOSFET und der niedrigen Ein-Spannung eines Bipolartransistors. Der IGBT hat sein Anwendungsgebiet von einem industriellen Feld, das Bauteile wie Allzweck-Inverter Wechselstrom-Servovorrichtungen, nicht-unterbrechbare Stromquellen (UPS, uninterruptible power sources) und schaltende Stromquellen einschließt, ausgedehnt auf Kundenanwendungsfelder einschließlich Mikrowellenbereichen, elektrischen Reiskochern und Radartechnik (Strobes). Zusätzlich schreitet die Entwicklung zu IGBTs der nächsten Generation fort. So wird ein IGBT mit einer neuen Chipstruktur mit noch niedrigerer Ein-Spannung entwickelt, um hierdurch Bauteile herzustellen, die solche IGBTs anwenden, die verminderten Verlust und einen erhöhten Wirkungsgrad aufweisen.

**[0004]** Die IGBT-Strukturen können hauptsächlich klassifiziert werden in solche mit Sperrschichtberührung Raumladungszonendurchgriff (PT, punch through), solche ohne Sperrschichtberührung (NPT, non punch through) und solche der Feldstop-Art (FS, field stop). Weiterhin haben nahezu alle der gegenwärtig in Massenproduktion hergestellten IGBTs eine vertikale Doppeldiffusionsstruktur mit n-Kanal, außer einem Teil von ihnen, die für Audioleistungsverstärker verwendet werden und eine p-Kanal-Struktur haben. Im folgenden bezieht sich mit Ausnahme von speziell spezifizierten Fällen der Ausdruck "IGBT" auf einen n-Typ-IGBT.

**[0005]** Ein PT-IGBT hat eine Struktur, bei der zwischen einem p<sup>+</sup>-epitaxialen Substrat und einer n<sup>-</sup>-Schicht (n-leitende aktive Schicht) eine n<sup>+</sup>-Schicht (n-Pufferschicht) vorhanden ist, um zu ermöglichen, daß eine Verarmungsschicht in der n-leitenden aktiven Schicht die n-leitende Pufferschicht erreicht. Dies

wird zu einer Grundstruktur als Haupttendenz bei den IGBTs. Jedoch kommt für einen IGBT der Serie für beispielsweise 600 V Durchbruchspannung, obwohl es für die n-leitende aktive Schicht ausreicht, wenn sie mit einer Dicke in der Größenordnung von 70 µm gestaltet wird, die Gesamtdicke einschließlich des p<sup>+</sup>-epitaxialen Substratteils in die Größenordnung von 200 µm bis 300 µm, was ziemlich erheblich ist und zur Entwicklung des NPT-IGBT und des FS-IGBT geführt hat. Bei beiden Arten wird kein epitaxiales Substrat verwendet, sondern ein FZ-Substrat, das aus einem Kristall gebildet wird, der durch das FZ-Verfahren (Schwebezone, floating zone) gebildet wird, um darin eine flache, also seichte p<sup>+</sup>-leitende Kollektorschicht zu bilden, die mit einer niedrigen Dosis dotiert ist, um dünner zu sein und mit niedrigen Kosten herstellbar zu sein.

**[0006]** Für die Herstellung eines solchen IGBT zeigen sich jedoch hinsichtlich der Realisierung einer geringen Dicke in der Größenordnung von 70 µm viele technische Gesichtspunkte des Herstellungsprozesses, insbesondere das Problem des sich Biegens oder Werfens der Scheibe aufgrund erforderliche Prozeßschritte wie des Bodenflächenschleifens, der Ionenimplantation an der Unterseite und einer unterseitigen Wärmebehandlung, der sogenannten Temperung, zur Aktivierung.

**[0007]** Als einen dieser technischen Gesichtspunkte des Herstellungsprozesses wird hingewiesen auf die Aktivierung einer p-leitend dotierten Schicht (p-Schicht) oder einer n-leitend dotierten Schicht (n-Schicht), eine Technik, die bei der Herstellung verschiedener Arten von Halbleiterelementen einschließlich IGBTs, wie sie hier als Beispiele genannt sind, angewandt wird. Für die Aktivierung sind bisher verschiedene Verfahrensweisen untersucht worden, darunter ein Verfahren mit einer elektrischen Heizvorrichtung und ein Verfahren der Durchführung der Aktivierung des dotierten Schichtbereichs durch eine Temperung mit Hilfe eines Lasers. Beispielsweise wurde ein Verfahren untersucht, bei dem die Scheibe auf einer Trägerunterlage mit Hilfe eines Klebeblattes zum Verhindern eines Bruchs der Scheibe befestigt wurde und dann mit einem Laserstrahl bestrahlt wurde, um die p-Schicht und die n-Schicht zu aktivieren; oder ein Verfahren, bei dem die Aktivierung unter Verwendung der dritten Harmonischen eines YAG-Lasers (Yttrium-Aluminium-Granat, YAG3ω-Laser) durchgeführt wurde, usw. (siehe beispielsweise JP A-2003-59856, Absätze Nr. 0014 bis 0025, [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#)).

**[0008]** Diese Laser-Temperung wurde früher durch Bestrahlen der Scheibe mit einem Einzelimpuls-Laserstrahl bei einer festen Periode für jede Bestrahlungsfläche durchgeführt und es wurden verschiedene Laserbestrahlungsgeräte und verschiedene Laser-Temperungsverfahren, sogenannte Ausheizver-

fahren, vorgeschlagen (z. B. JP-A-2001-185507, Absätze 0009 bis 0014, [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#); JP-A-2003-109912, Absätze 0033 bis 0034, [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#); JP A-10-275781, Absätze 0014 bis 0018, [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#); JP-A-5-62924, Absätze 0012 bis 0016, [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#); JP A-2001-156018, Absätze 0040 bis 0076, [Fig. 4](#) und [Fig. 5](#); und JP-A-2000-349042, Absätze 0026, 0027 und 0034, [Fig. 2](#), [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#)). Bei diesen früheren Vorschlägen wurden u. a. folgende Techniken versucht: Justierung der Dauer des einzelnen Impulses durch Verwendung einer Mehrzahl von Laseroszillatoren für Laserstrahlquellen zum Synthetisieren von Laserstrahlen bei einem Laserbetrieb in den jeweiligen Laseroszillatoren (JP A-2001-185504, JP-A-2003-109912); Einstellen der Impulsbreite (Halbbreite) eines gepulsten Strahls mit einer Mehrzahl von Spitzen (JP A-10-275781); Erhöhen der Fläche eines bestrahlten Bereichs durch Durchführung einer gleichzeitigen Bestrahlung mit Laserstrahlen auf den selben Bereich (JP A-5-62924); Gleichförmigmachung der Verteilung der Bestrahlungsenergie eines YAG-Laserstrahls (JP-A-2001-156018); und Zurückwerfen eines von einem Laserbestrahlungsobjekt reflektierten Laserstrahls durch einen Spiegel zum erneuten Bestrahlen des Bestrahlungsobjekts mit dem zurückgeworfenen Laserstrahl (JP-A-2000-349042).

**[0009]** Druckschrift JP 2003-59856 A betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements. In dem Verfahren gemäß JP 2003-59856 A kommt ein Laserstrahl zum Einsatz, um implantierte Störstellen zu aktivieren. Hierzu wird ein einzelner Laserpuls verwendet.

**[0010]** Druckschrift US 2003/0089691 A1 betrifft ebenfalls ein Verfahren zur Laserbehandlung eines Halbleiterbauelements zur Aktivierung von Störstellen. Dieses Verfahren zielt darauf ab, benachbarte Strahlen räumlich so zu überlappen, dass an jedem bestrahlten Punkt des Bauelements eine ausreichende Intensität zur Aktivierung bereitgestellt wird. Dies wird mit Hilfe der in [Fig. 2](#) dargestellten Vorrichtung erreicht. Die von den Lichtquellen **101a-c** jeweils ausgehenden Laserstrahlen werden von den Linsen **105a-d** derart räumlich aufgeweitet, dass eine rechteckige Fläche **109** mit einer in etwa homogenen Energiedichte bestrahlt wird.

**[0011]** Druckschrift JP 09-063974 A betrifft ein Verfahren zur Bildung von dotierten Schichten in einem Halbleitersubstrats unter Verwendung von zwei gepulsten Laserstrahlen, die eine unterschiedliche Bestrahlungsdichten und unterschiedliche Pulsbreiten aufweisen.

**[0012]** Der Erfindung liegt die Lösung der im folgenden dargelegten Probleme zugrunde. Beim Aktivieren der p-Schicht und der n-Schicht kann im Fall der

Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung, die oben erwähnt wurde, die p-Schicht nicht in hohem Maß aktiviert werden. Das Verfahren mit Verwendung eines Klebstoffblatts, für das die zulässige Temperatur üblicherweise nur bis zu 200°C beträgt, zum Verhindern eines Bruchs der Scheibe ist dann unmöglich, wenn die TEMPERUNG mit dem elektrischen Heizgerät bei 300°C oder mehr durchgeführt werden soll.

**[0013]** Sollen indessen die p-Schicht und die n-Schicht durch eine Laserbehandlung anstelle der elektrischen Heizeinrichtung aktiviert werden, so kann eine Bestrahlung mit einem kurz-einzelgepulsten Laserstrahl mit einer Halbwertsbreite, also der Breite beim halben Maximumwert, von 100 ns oder weniger wie beispielsweise der gepulste Strahl des Exzimerlasers, von der Oberfläche aus nur einen flachen, untiefen Bereich aktivieren. Beispielsweise ist eine ausreichende Aktivierung bis zur n-Schicht unmöglich bei aufeinanderfolgenden pn-Schichten an der Bodenseite des FS-IGBTs, bei dem die p-Schicht und die n-Schicht in dieser Reihenfolge von der Bodenfläche her aufeinanderfolgend vorhanden sind. Wird die Bestrahlung mit einem Laserstrahl eines Gesamt-Feststoff-Lasers wie dem YAG3w-Laser durchgeführt, und zwar in Form eines Einzelimpulses, so benötigt die Bestrahlung, die mit einem Strahlenpunkt beispielsweise mit einem Durchmesser in der Größenordnung von 0,9 mm durchgeführt wird, eine lange Bestrahlungszeit. Die Bearbeitungszeit für eine einzige Scheibe beträgt insofern immerhin einige Stunden. Die Temperung einer 5-Zoll-Scheibe, um ein Beispiel zu nennen, benötigt eine Zeit in der Größenordnung von zwei Stunden. Wird aber eine Bestrahlungsfläche mit einem Laserstrahl bestrahlt, dessen Strahlungsenergie erhöht worden ist, so bleiben manchmal Spuren einer Werkbeschädigung durch die Laserbestrahlung auf der Scheibenoberfläche zurück.

**[0014]** Eine Laserbestrahlungsvorrichtung, die die Bestrahlung mit einem Laserstrahl mit einer Wellenlänge im Bereich von 300 nm bis 600 nm durchführt, kann ein Substrat, das darin implantiert Verunreinigungen enthält, bis zu einem tiefen Bereich aktivieren, ohne zu verursachen, daß der Laserstrahl durch das Substrat hindurchtritt. Es ist jedoch nicht leicht, eine Laserbestrahlungsvorrichtung neu zu erstellen, die die Bestrahlung mit dem genannten Laserstrahl in einem Impuls mit einer Halbwertsbreite von 100 ns oder mehr durchführen kann. Die genannte Probleme werden durch ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements nach Anspruch 1 gelöst. Die Ansprüche 2 bis 12 beziehen sich auf weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung.

**[0015]** Die Erfindung wurde unter Berücksichtigung des Vorstehenden gemacht mit dem Ziel, ein Verfah-

ren zum Herstellen eines Halbleiterelements anzugeben, wobei nach diesem Verfahren in kurzer Zeit eine Region wie eine p-Schicht, eine n-Schicht oder pn-Folgeschichten, die als dotierter Schichtbereich in einem Halbleiterelement gebildet sind, stabil aktiviert werden kann.

**[0016]** Zum Lösen der obigen Probleme und zum Erreichen des genannten Ziels dient erfindungsgemäß ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements, umfassend den Verfahrensschritt der Aktivierung eines dotierten Schichtbereichs, in den Verunreinigungen eingeführt wurden, durch einen Laserstrahl, wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, daß beim Aktivieren des dotierten Schichtbereichs eine Mehrzahl von Laserstrahlungsvorrichtungen, von denen jede die Bestrahlung mit einem gepulsten Laserstrahl durchführt, dazu verwendet werden, eine aufeinanderfolgende Bestrahlung des dotierten Schichtbereichs für jede Bestrahlungsfläche hiervon mit einer Mehrzahl der gepulsten Strahlen durchzuführen und hierdurch den dotierten Schichtbereich zu aktivieren.

**[0017]** Gemäß diesem Herstellungsverfahren werden zum Aktivieren eines dotierten Schichtbereichs unter Laseranwendung mehrere Laserstrahlungsvorrichtungen verwendet. Der dotierte Schichtbereich wird in einer Bestrahlungsfläche aufeinanderfolgend mit einer Mehrzahl von gepulsten Strahlen bestrahlt, die von den jeweiligen Laserstrahlungsvorrichtungen abgestrahlt werden. Durch aufeinanderfolgendes Bestrahlen des dotierten Schichtbereichs mit den gepulsten Strahlen von einer Mehrzahl von Laserstrahlungsvorrichtungen wird der gleiche Effekt erzielt wie bei der Bestrahlung des dotierten Schichtbereichs mit einem einzigen gepulsten Strahl, der eine lange Halbwertsbreite hat. Dies verursacht einen Temperungs- oder Ausheizeffekt, der von einem flachen Bereich zu einem tiefen Bereich im dotierten Schichtbereich ausgeübt wird.

**[0018]** Das Aktivieren des dotierten Schichtbereichs durch Anwendung einer Mehrzahl von Laserstrahlungsvorrichtungen führt zum erfindungsgemäßen Effekt, daß der dotierte Schichtbereich in der Bestrahlungsfläche aufeinanderfolgend mit einer Mehrzahl von gepulsten Strahlen bestrahlt wird, die von den jeweiligen Laserstrahlungsvorrichtungen ausgesendet werden, wodurch der dotierte Schichtbereich aktiviert wird. Der erzielte Effekt ist der gleiche wie der der Bestrahlung des dotierten Schichtbereichs mit einem einzigen gepulsten Strahl mit einer langen Halbwertsbreite zur Ermöglichung der Realisierung einer Aktivierung hoher Rate von einem flachen Bereich fortschreitend zu einem tiefen Bereich des dotierten Schichtbereichs. Es kann also ein Halbleiterelement mit einer p-Schicht oder einer n-Schicht als dotierter Schichtbereich und ein Halbleiterelement mit aufeinanderfolgenden dotierten Schichten wie pn-Folge-

schichten als dotierter Schichtbereich innerhalb einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden stabil aktiviert werden, um es möglich zu machen, daß Halbleiterelemente mit überlegenen Bauteilcharakteristiken hergestellt werden.

**[0019]** Weitere Einzelheiten, Vorteile und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung bevorzugter Durchführungsbeispiele im Vergleich zum Stand der Technik unter Bezugnahme auf die Zeichnung. Es zeigen:

**[0020]** [Fig. 1](#) eine Impulsform eines Äquivalents zu einem einzigen gepulsten Laserstrahl, die durch aufeinanderfolgendes zeitliches Kombinieren jeweiliger gepulster Laserstrahlen erhalten wird, die von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen ausgesendet werden;

**[0021]** [Fig. 2](#) die Impulsform eines gepulsten Laserstrahls, der von einer einzigen Laserstrahlungsvorrichtung abgegeben wird;

**[0022]** [Fig. 3](#) ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Halbwertsbreite eines gepulsten Laserstrahls und der Aktivierungsrelation, wenn die Aktivierung unter Verwendung eines XeCl-Lasers durchgeführt wird, zeigt;

**[0023]** [Fig. 4](#) ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Halbwertsbreite eines gepulsten Laserstrahls und der Aktivierungsrelation, wenn die Aktivierung unter Verwendung eines YAG2 $\omega$ -Lasers durchgeführt wird, zeigt;

**[0024]** [Fig. 5](#) die Impulsform eines gepulsten Laserstrahls, der von einer Laserstrahlungsvorrichtung abgegeben wird, mit niedriger Überlappungsrelation;

**[0025]** [Fig. 6](#) Impulsformen, die entstanden sind durch aufeinanderfolgendes Kombinieren jeweiliger gepulster Laserstrahlen, die von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen abgegeben werden, mit niedriger Überlappungsrelation;

**[0026]** [Fig. 7](#) ein Diagramm der Bor-Konzentrationsverteilung in einer p-Schicht;

**[0027]** [Fig. 8](#) ein Diagramm der Bor-Konzentrationsverteilung, wenn die Bestrahlung mit dem XeCl-Laser mit sich ändernder Bestrahlungsenergiedichte durchgeführt wird;

**[0028]** [Fig. 9](#) ein Diagramm der Bor-Konzentrationsverteilung, wenn die Bestrahlung mit dem YAG2 $\omega$ -Laser mit sich ändernder Bestrahlungsenergiedichte durchgeführt wird;

**[0029]** [Fig. 10](#) ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Bestrahlungsenergiedichte und der Ak-

tivierungsrelation zeigt, wenn die Aktivierung unter Verwendung des XeCl-Lasers durchgeführt wird;

[0030] [Fig. 11](#) ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Bestrahlungsenergie und der Aktivierungsrelation zeigt, wenn die Aktivierung unter Verwendung des YAG2 $\omega$ -Lasers durchgeführt wird;

[0031] [Fig. 12](#) ein Diagramm der Bor-Konzentrationsverteilung, wenn die Bestrahlung mit dem XeCl-Laser mit veränderlicher Verzögerungszeit durchgeführt wird;

[0032] [Fig. 13](#) ein Diagramm der Bor-Konzentrationsverteilung, wenn die Bestrahlung mit dem YAG2 $\omega$ -Laser mit veränderlicher Verzögerungszeit durchgeführt wird;

[0033] [Fig. 14](#) ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Verzögerungszeit und der Aktivierungsrelation, wenn die Aktivierung unter Verwendung des XeCl-Lasers durchgeführt wird, zeigt;

[0034] [Fig. 15](#) ein Diagramm, das die Beziehung zwischen der Verzögerungszeit und der Aktivierungsrelation, wenn die Aktivierung unter Verwendung des YAG2 $\omega$ -Lasers durchgeführt wird, zeigt;

[0035] [Fig. 16](#) ein schematisches Diagramm einer Impulsform mit Gauß'scher Verteilung und des Zustands eines FZ-N-Substrats, wenn ein gepulster Laserstrahl mit dieser Impulsform verwendet wird;

[0036] [Fig. 17](#) ein schematisches Diagramm einer rechteckigen Impulsform und des Zustands des FZ-N-Substrats, wenn ein gepulster Laserstrahl mit dieser Impulsform verwendet wird;

[0037] [Fig. 18](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren, wenn eine Oberflächenkontaktschicht gebildet wird;

[0038] [Fig. 19](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei aufeinanderfolgenden pp-Schichten;

[0039] [Fig. 20](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei aufeinanderfolgenden nn-Schichten;

[0040] [Fig. 21](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei einer p-Schicht in einer aufeinanderfolgenden Schichtung einer Ar-Schicht und der p-Schicht;

[0041] [Fig. 22](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei einer p-Schicht in einer aufeinanderfolgenden Schichtung der p-Schicht und einer Ar-Schicht;

[0042] [Fig. 23](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei einer n-Schicht in einer aufeinanderfolgenden Schichtung einer Ar-Schicht und der n-Schicht;

[0043] [Fig. 24](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei einer n-Schicht in aufeinanderfolgender Schichtung der n-Schicht und einer Ar-Schicht;

[0044] [Fig. 25](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei einer p-Schicht in aufeinanderfolgender Schichtung einer Si-Schicht und der p-Schicht;

[0045] [Fig. 26](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei einer p-Schicht in aufeinanderfolgender Schichtung der p-Schicht und einer Si-Schicht;

[0046] [Fig. 27](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei einer n-Schicht in aufeinanderfolgender Schichtung einer Si-Schicht und der n-Schicht;

[0047] [Fig. 28](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren bei einer n-Schicht in aufeinanderfolgender Schichtung der n-Schicht und einer Si-Schicht;

[0048] [Fig. 29](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Verzögerungszeiten gepulster Strahlen bei der Aktivierung von drei aufeinanderfolgenden Schichten;

[0049] [Fig. 30](#) die Beziehung zwischen den Bestrahlungsenergie und einer Verzögerungszeit um zwei gepulste Strahlen;

[0050] [Fig. 31](#) ein Diagramm der Beziehung der Bor-Konzentrationsverteilung zur Verzögerungszeit der gepulsten Strahlen bei der Aktivierung einer einzelnen p-Schicht;

[0051] [Fig. 32](#) ein Diagramm der Beziehung der Verunreinigungs-Konzentrationsverteilung zu den Überlappungsrelationen der gepulsten Strahlen bei der



Aktivierung von drei aufeinanderfolgenden Schichten;

[0052] **Fig. 33** ein Diagramm der Beziehung der Bor-Konzentrationsverteilung zu den Überlappungsrelationen der gepulsten Strahlen bei der Aktivierung einer einzelnen p-Schicht;

[0053] **Fig. 34** ein Beispiel des Aufbaus eines NPT-IGBTs im Querschnitt;

[0054] **Fig. 35** ein Beispiel des Aufbaus eines FS-IGBTs im Querschnitt;

[0055] **Fig. 36** eine Querschnittsansicht, die den Zustand nach der Vollendung eines Oberseiten-Bearbeitungsschritts zeigt;

[0056] **Fig. 37** eine Querschnittsansicht, die den Zustand bei der Substratschleif-Bearbeitung zeigt;

[0057] **Fig. 38** eine Querschnittsansicht, die den Zustand beim Vorgang der Ionenimplantation an der Unterseite darstellt;

[0058] **Fig. 39** eine Querschnittsansicht, die den Zustand bei einem Temperungsvorgang an der Unterseite darstellt;

[0059] **Fig. 40** einen Querschnitt, der den Zustand bei der Elektrodenschicht-Bildungsverarbeitung an der Oberseite darstellt;

[0060] **Fig. 41** ein Beispiel eines in Rückwärtsrichtung sperrenden IGBT im Querschnitt.

[0061] Zunächst werden anhand von Beispielen Halbleiterbauelemente und ihre Herstellungsschritte gezeigt, bei deren Herstellung ein Aktivierungsschritt erforderlich ist, und werden hierbei auftretende Probleme beschrieben.

[0062] **Fig. 34** zeigt im Querschnitt ein Beispiel der Struktur eines NPT-IGBT **100**.

[0063] Dieser NPT-IGBT **100** von **Fig. 34** hat einen Aufbau mit einem n-leitenden FZ (FZ-N) Substrat **101**, an dessen Oberseite sich eine Steuerelektrode **103** aus einem Material wie Polysilizium befindet, wobei dazwischen ein Steuerelektrodenoxidfilm **102** aus einem Material wie SiO<sub>2</sub> angeordnet ist. Bei diesem Aufbau befindet sich auf der Steuerelektrode **103** eine oberseitige Elektrode **105** aus beispielsweise einem Aluminiumsiliziumfilm, und dazwischen noch eine Zwischenschicht-Isolatorschicht **104** aus einem Material wie BPSG (boro-phospho silicate glass, Borphosphorsilicat-Glas). Oberseitig im Substrat **101** sind eine p<sup>+</sup>-Basisschicht **106** und in dieser eine n<sup>+</sup>-Emitterschicht **107** gebildet. An der Unterseite des Substrats **101** ist eine p<sup>+</sup>-leitende Kollektorschicht **108** gebildet, an deren Unterseite wiederum eine Flächenelektrode **109** durch Laminieren verschiedener Arten von Metallfilmen gebildet ist. Oberflächenangrenzende untiefe Schichten werden im folgenden als flache Schichten bezeichnet, im Gegensatz zu den darunterliegenden tiefen Schichten.

torschicht **108** gebildet, an deren Unterseite wiederum eine Flächenelektrode **109** durch Laminieren verschiedener Arten von Metallfilmen gebildet ist. Oberflächenangrenzende untiefe Schichten werden im folgenden als flache Schichten bezeichnet, im Gegensatz zu den darunterliegenden tiefen Schichten.

[0064] Bei dem NPT-IGBT **100** mit dieser Struktur wird als die p<sup>+</sup>-leitende Kollektorschicht **108** ein flacher, also untiefer Niedrigpegel-Injektion-p<sup>+</sup>-Kollektor verwendet, der mit niedriger Dosis dotiert ist. Bei diesem NPT-IGBT **100** gibt es kein epitaxiales Substrat, so daß er insgesamt deutlich dünner wird als der in der Beschreibungseinleitung genannte PT-IGBT.

[0065] Beim NPT-Aufbau kann die Löcherinjektionsrate gesteuert werden, um ein Hochgeschwindigkeitsschalten ohne Durchführung einer Steuerung der Lebenszeit der Löcher durchzuführen. Andererseits wird der Wert der Ein-Spannung, der von der Dicke und dem spezifischen Widerstand einer n-leitenden aktiven Schicht abhängt, etwas höher. Die Verwendung des FZ-Substrats anstelle des oben genannten p<sup>+</sup>-epitaxialen Substrats erlaubt die Herstellung der Chips mit der NPT-Struktur zu verminderten Kosten.

[0066] **Fig. 35** zeigt im Querschnitt einen Aufbau eines FS-IGBTs **200**. In **Fig. 35** sind die selben Bestandteile wie die in **Fig. 34** gezeigten mit gleichen Bezugszeichen und Angaben bezeichnet und in's einzelne gehende erneute Erläuterungen können unterbleiben.

[0067] Für diesen FS-IGBT **200** von **Fig. 35** wird ebenso wie beim oberbeschriebenen NPT-IGBT anstelle des ebenfalls schon beschriebenen p<sup>+</sup>-epitaxialen Substrats ein FZ-N-Substrat **101** verwendet, wobei seine gesamte Dicke in die Größenordnung von 100 µm bis 200 µm kommt. Wie beim PT-IGBT ist die n-leitende aktive Schicht mit einer Dicke in der Größenordnung von 70 µm hergestellt, in Abhängigkeit von der Durchbruchspannung und Ladungsträgerverarmung. Für den Zweck ist im IGBT **200** an der Unterseite des FZ-N-Substrats **101** eine n<sup>+</sup>-leitende Schicht **201** (n-Pufferschicht) gebildet, auf der dann die p<sup>+</sup>-Kollektorschicht **108** und die untere Flächenelektrode **109** gebildet sind. Bei diesem IGBT **200** ist wie beim obenbeschriebenen IGBT **100** eine Lebensdauersteuerung nicht notwendig.

[0068] Für den Zweck der Erniedrigung der Ein-Spannung gibt es auch die Bauart eines IGBTs mit einer Grabenstruktur, nämlich mit einem schmalen und tiefen Graben, der an der Oberseite des IGBTs zusammen mit einer MOS-Steuerelektrode, die an der Seitenwand des Grabens sitzt, gebildet ist, wobei dieser IGBT mit einem IGBT einer FS-Struktur kombiniert ist. In jüngerer Zeit ist durch eine Entwurfsoptimierung eine Dickenreduktion erzielt worden.

[0069] Nachdem in [Fig. 35](#) der FS-IGBT **200** als Beispiel gezeigt wurde, wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die [Fig. 35](#) bis [Fig. 40](#) ein Beispiel eines Verfahrens zum Herstellen des IGBT beschrieben. [Fig. 36](#) zeigt in einer Querschnittsansicht den Zustand nach der Vollendung der Prozessschritte an der Oberseite, und [Fig. 37](#) zeigt in gleicher Darstellung den Zustand beim Prozessschritt des Schleifens des Substrats. [Fig. 38](#) zeigt in gleicher Weise den Zustand während der unterseitigen Ionenimplantation, [Fig. 39](#) den Zustand bei einer unterseitigen Wärmebehandlung, der sogenannten Temperung, und [Fig. 40](#) den Zustand im Verfahrensschritt der Elektrodenfilmbildung an der Oberseite. In den [Fig. 36](#) bis [Fig. 40](#) sind die gleichen Bestandteile wie die von [Fig. 34](#) und [Fig. 35](#) mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet und sie werden nicht erneut im einzelnen beschrieben.

[0070] Die Verfahrensschritte zum Bilden des FS-IGBT **200** können grob klassifiziert werden in einen Oberseitenprozeß und einen Unterseitenprozeß. Zunächst wird unter Bezugnahme auf [Fig. 36](#) der oberseitige Prozeß erläutert.

[0071] Beim oberseitigen Prozeß werden auf der Oberseite des FZ-N-Substrats **101** in dieser Reihenfolge SiO<sub>2</sub> und Polysilizium aufgebracht. Diese aufgetragenen Materialien werden dann so verarbeitet, daß sie ein Fenster bekommen, das durch sie, also durch den Steuerelektrodenoxidfilm **102** und die Steuer-  
elektrode **103** hindurchdringt. Hierauf wird auf der Oberfläche BPSG zur Bildung der Zwischenschicht-Isolatorschicht **104** aufgebracht. Im nächsten Verarbeitungsschritt wird in dieser Schicht **104** ein Fenster gebildet. Dies ergibt den Aufbau der isolierten Steuer-  
elektrode, die auf der Oberseite des FZ-N-Substrats **101** gebildet ist.

[0072] Als nächstes wird auf der Oberseite des FZ-N-Substrats **101** die p<sup>+</sup>-leitende Basisschicht **106** gebildet, in der dann weiterhin die n<sup>+</sup>-leitende Emitter-  
schicht **107** gebildet wird. Sodann wird ein Aluminium-Silizium-Film so abgelagert, daß er in Kontakt mit der n<sup>+</sup>-leitenden Emitter-  
schicht **7** steht, und wird dadurch zur Oberflächenelektrode **105**, die die Emitter-  
elektrode werden soll. Der Aluminium-Silizium-Film wird dann bei einer niedrigen Temperatur in der Größenordnung von 400°C bis 500°C wärmebehandelt, zum Erzielen einer Verbindung untereinander mit stabiler Kompatibilität und niederem Widerstand.

[0073] Obwohl er in den [Fig. 35](#) und [Fig. 36](#) nicht dargestellt ist, wird auf der Oberseitenelektrode **105** ein Isolierschutzfilm aufgebracht, wobei ein Material wie Polyimid verwendet wird, das die Oberfläche der Elektrode **105** überdeckt.

[0074] Als nächstes wird unter Bezugnahme auf die [Fig. 37](#) bis [Fig. 40](#) die Bearbeitung der Boden- oder

Unterseite erläutert. Beim in [Fig. 37](#) dargestellten Verfahrensschritt zum Bearbeiten der Unterseite wird das FZ-N-Substrat **101** zunächst von der Unterfläche her bis auf die gewünschte Dicke reduziert, indem ein unterseitiges Abschleifen oder Abätzen durchgeführt wird und hierdurch eine verdünnte Scheibe erhalten wird.

[0075] Als nächstes werden, wie in [Fig. 38](#) gezeigt ist, auf der Unterseitenfläche des Substrats **101** Phosphorionen (P<sup>+</sup>) und Borionen (B<sup>+</sup>) in dieser Reihenfolge implantiert, um eine n<sup>+</sup>-leitende Schicht **201a** und eine p<sup>+</sup>-leitende Schicht **108a** zu bilden, die anschließend durch Verwendung einer elektrischen Heizvorrichtung getempert (wärmebehandelt) werden, und zwar bei einer niedrigen Temperatur von 350°C bis 500°C. Dies aktiviert die phosphorimplantierte n<sup>+</sup>-leitende Schicht **201a** und die borimplantierte p<sup>+</sup>-leitende Schicht **108a** dazu, wie in [Fig. 39](#) dargestellt, die n<sup>+</sup>-leitende Pufferschicht **201** bzw. die p<sup>+</sup>-leitende Kollektorschicht **108** an der Unterseite des FZ-N-Substrats **101** zu bilden.

[0076] Anschließend wird, wie in [Fig. 40](#) gezeigt ist, auf der Außenfläche der p<sup>+</sup>-leitenden Kollektorschicht **108** die unterseitige Flächenelektrode **109** gebildet, die aus einer Kombination von Metallschichten wie einer Aluminiumschicht, einer Titanschicht, einer Nickelschicht und einer Goldschicht aufgebaut ist.

[0077] Schließlich wird die Scheibe einer Zerteilung unterworfen und ergibt chipartige Stücke. Dann werden auf jedem der chipartigen Stücke auf der Oberfläche der oberseitigen Elektrode **105** Aluminiumdrahtelektroden mit Hilfe eines Ultraschall-Drahtbonders fixiert. Die unterseitige Elektrode **109** wird dahingegen mit einem spezifizierten Befestigungsstück verbunden, wobei dazwischen eine Lötmittelschicht angeordnet wird.

[0078] Nebenbei bemerkt, gibt es seit einigen Jahren im "limelight" einen Matrixkonverter, der eine direkte Wechselstrom/Wechselstrom-Umsetzung ohne das Zwischenprodukt eines Gleichstroms durchführt. Anders als die noch früheren Inverter benötigt der Matrixkonverter keinen Kondensator, um den Vorteil der reduzierten Abgabe von Oberwellen zu erbringen. Jedoch benötigt ein Wechselstromeingang einen Halbleiterschalter mit einer hohen Durchbruchspannung in Rückwärtsrichtung. Bei Verwendung eines IGBT nach einer früheren Bauart muß deshalb in Serie hierzu eine in Rückwärtsrichtung sperrende Diode geschaltet werden.

[0079] [Fig. 41](#) zeigt ein Beispiel eines in Rückwärtsrichtung sperrenden IGBT **300** im Querschnitt. In [Fig. 41](#) sind die gleichen Bestandteile mit gleichen Bezugszeichen wie in [Fig. 34](#) bezeichnet und werden hier nicht erneut im einzelnen beschrieben.

**[0080]** Der in Rückwärtsrichtung sperrende IGBT **300** von [Fig. 41](#) hat im wesentlichen ein Verhalten, das dem der vorher beschriebenen Art folgt, und ist noch mit einer p<sup>+</sup>-leitenden Isolier trennschicht **301** versehen, die zusätzlich ausgebildet ist, um so eine hohe Durchbruchspannung in Rückwärtsrichtung zu schaffen. Für den IGBT **300** mit diesem Aufbau bedarf es keiner in Reihe geschalteten Diode, und er ermöglicht, daß der Leitungsverlust auf die Hälfte reduziert wird. Dies trägt erheblich zu einer Erhöhung des Umwandlungswirkungsgrads des Matrixkonverters bei. Die Technologie des Bilden einer tiefen Übergangsschicht mit einer Tiefe von 100 µm oder mehr und die Technologie der Herstellung einer sehr dünnen Scheibe mit einer Dicke von 100 µm oder weniger werden miteinander kombiniert, um die Herstellung eines in Rückwärtsrichtung sperrenden IGBT hoher Betriebsleistung zu ermöglichen. Die Herstellung von Schichten so geringer Dicke ist jedoch insbesondere wegen der Gefahr des sich Biegens und Werfens der Scheibe problematisch, wie in der Beschreibungseinleitung dargelegt wurde.

**[0081]** Mit Hilfe der Erfindung sind die dargelegten Probleme lösbar. Im folgenden werden Durchführungsbeispiele der Erfindung aufgezeigt. Als erstes wird eine erste Durchführungsweise erläutert.

**[0082]** Für diese erste Durchführungsweise bezieht sich die Beschreibung auf den folgenden Fall als Beispiel, nämlich, daß eine p-leitende dotierte Schicht (p-Schicht), die in einer un tiefen, also flachen Region an der Unterseite des FZ-N-Substrats eines FS-IGBTs gebildet ist, und eine n-leitende dotierte Schicht (n-Schicht), die in einer an die p-Region anschließenden tiefliegenden Region gebildet ist, durch eine Laser-Temperatur aktiviert werden

**[0083]** Im Rahmen der Erfindung werden zunächst die dotierten Schichten durch Einbringen von Verunreinigung des p-Typs und des n-Typs in das FZ-N-Substrat des FS-IGBTs an dessen Unterseite gebildet und wird dann die Aktivierung durch Tempern der Schichten durch Bestrahlung des Substrats mit gepulsten Laserstrahlen durchgeführt. Die Bestrahlung erfolgt durch aufeinanderfolgendes Kombinieren (Synthetisieren) der gepulsten Laserstrahlen, die getrennt von einer Mehrzahl von Laserstrahlungsgeräten abgegeben werden. Jeder der gepulsten Laserstrahlen hat eine Wellenlänge zwischen 300 nm und 600 nm. Vorzugsweise werden die gepulsten Laserstrahlen auf das FZ-N-Substrat durch die Laserstrahlungsgeräte so projiziert, daß die Halbwertsbreite eines Äquivalents in Form eines einzigen Impulses, also eines fiktiven äquivalenten Monoimpulses, gebildet durch aufeinanderfolgende zeitliche Kombination der jeweiligen gepulsten Laserstrahlen, einen Wert zwischen 100 ns und 1.000 ns annimmt.

**[0084]** Die Laserstrahlungsgeräte werden also so verwendet, daß sie zeitlich aufeinanderfolgend eine Bestrahlungsfläche des FZ-N-Substrats mit den gepulsten Laserstrahlen bestrahlen. Dies erweitert die Halbwertsbreite des äquivalenten einzigen Impulses, gebildet durch das aufeinanderfolgende Kombinieren der jeweiligen gepulsten Laserstrahlen. Der erzielte Effekt ist somit der gleiche wie wenn ein einzelner gepulster Strahl mit einer langen Halbwertsbreite projiziert wird. Als Ergebnis kann der Temperungseffekt auch in einem tiefen Bereich des FZ-N-Substrats ausgeübt werden, um die Aktivierung der dotierten Schichten zu beschleunigen, was nicht nur die p-Schicht in dem flachen Bereich in hohem Maß aktivieren kann, sondern auch die n-Schicht im tiefen Bereich ausreichend aktivieren kann. Durch die Anwendung des Verfahrens können pn-Folgeschichten, in denen die p-Schicht und die n-Schicht aufeinanderfolgend ausgebildet sind, auf Anrieb sofort aktiviert werden. Als Laserbestrahlungsgeräte können viele existierende Vorrichtungen verwendet werden, ohne daß jeweils irgendwelche speziellen Umwandlungen gefordert werden.

**[0085]** Die Angabe, daß eine aufeinanderfolgende Bestrahlung mit einer Mehrzahl von gepulsten Strahlen erfolgt, soll sowohl den Fall einer Bestrahlung einer einzigen Bestrahlungsfläche des FZ-N-Substrats mit einem vorausgehenden gepulsten Strahl und einem nachfolgenden gepulsten Strahl, die ohne Belassung eines dazwischenliegenden Zeitintervalls aufgestrahlt werden, als auch den Fall umfassen, daß ein spezifiziertes Zeitintervall zwischen der Aufstrahlung des vorausgehenden gepulsten Strahls und der Aufstrahlung des nachfolgenden gepulsten Strahls belassen wird. Liegt das zwischen dem vorausgehenden und dem nachfolgenden gepulsten Strahl liegende Zeitintervall innerhalb der spezifizierten Dauer, so ist es möglich, den selben Effekt zu erzielen wie im Fall, daß die Bestrahlung mit einem einzigen gepulsten Strahl mit langer Halbwertsbreite durchgeführt wird.

**[0086]** Hierbei ist der Grund, daß man den Wellenlängenbereich jedes gepulsten Laserstrahls zwischen 300 nm und 600 nm wählt, der, daß ein gepulster Laserstrahl mit einer Wellenlänge unter 300 nm die tiefliegenden Bereiche im FZ-N-Substrat nicht aktivieren kann und der Strahl mit einer Wellenlänge über 600 nm ohne Bewirkung einer Aktivierung durch das FZ-N-Substrat (z. B. 630 µm dick) hindurchtritt. Und der Grund, daß man die Halbwertsbreite des Äquivalents des gepulsten Strahls, der durch aufeinanderfolgende Kombination jeweiliger gepulster Laserstrahlen gebildet wird, zwischen 100 ns und 1000 ns wählt, ist, daß wenn man diese Halbwertsbreite zu 100 ns oder mehr wählt, eine Erhöhung im Aktivierungsverhältnis, im folgenden als Aktivierungsrelation bezeichnet, möglich ist, während wenn man die Halbwertsbreite über 1.000 ns wählt,



die Problematik der Bereitstellung einer passenden Zahl von Laserstrahlungsgeräten, die für die Realisierung so hoher Werte der Halbwertsbreite erforderlich sind, auftritt. Um die Halbwertsbreite des Äquivalents des durch aufeinanderfolgende Kombination jeweiliger gepulster Laserstrahlen gebildeten gepulsten Strahl zu verlängern, werden entsprechend mehr Laserstrahlungsgeräte benötigt. Im Prinzip ist die Erhöhung der Halbwertsbreite auf über 1.000 ns aber durchaus möglich.

**[0087]** Für den zur Temperung verwendeten gepulsten Laser wird der XeCl-Laser als Exzimer-Laser verwendet, oder wird die zweite Harmonische des YAG-Lasers (YAG2 $\omega$ -Laser) als ein Vollständig-Feststoff-Laser verwendet. Beide dieser Laser haben gepulste Strahlungsausgänge in der Größenordnung von mehreren zig mJ/Puls (beim oben genannten YAG3 $\omega$ -Laser in der Größenordnung von 1 mJ/Puls). Es kann also eine Bestrahlungsfläche von 1 mm<sup>2</sup> oder mehr behandelt werden. Beispielsweise kann mit dem YAG2 $\omega$ -Laser eine Bestrahlungsfläche in der Größenordnung von 10 mm<sup>2</sup> behandelt werden, was eine zur Temperung einer Fünf-Zoll-Scheibe erforderliche Zeit in der Größenordnung von fünf Minuten zur Folge hat. Dies ist ein großer Unterschied gegenüber dem YAG3 $\omega$ -Laser.

**[0088]** Es wird nun der Effekt des Halbwerts des ausgestrahlten gepulsten Strahls des Lasers, der zur Aktivierung verwendet wird, erläutert, wenn die pn-Folgeschichten unter Verwendung des XeCl-Lasers oder des YAG2 $\omega$ -Lasers aktiviert werden.

**[0089]** Sowohl beim XeCl-Laser als auch beim YAG2 $\omega$ -Laser wird jeder der von den von Laserstrahlungsrichtungen abgegebenen gepulsten Laserstrahlen optisch so justiert, daß seine Impulsform angenähert rechteckig wird. Die jeweiligen gepulsten Laserstrahlen sind bei der Laserbestrahlung auf das FZ-N-Substrat zu richten, wobei man es so einrichtet, daß sie sich örtlich mit einem spezifizierten Überlappungsverhältnis, im folgenden als Überlappungsrelation bezeichnet, überlappen, so daß keine unbestrahlten Bereiche auf dem Substrat zurückbleiben. Die gepulsten Laserstrahlen mit jeweils angenähert rechteckiger räumlicher Strahlungsenergieverteilung werden mit einer Überlappungsrelation von 90% aufgestrahlt. Über die Impulsform und die Überlappungsrelation gibt es später genauere Darlegungen.

**[0090]** **Fig. 2** zeigt die Impulsform eines von einer der Laserstrahlungsrichtungen abgegebenen gepulsten Laserstrahls **10a**. Dieser von einer einzigen Laserstrahlungsrichtung abgegebene Laserstrahl **10a** ist sowohl räumlich als auch zeitlich angenähert rechteckig. Bei einer räumlichen Überlappung solcher gepulster Laserstrahlen mit einer Überlappungsrelation von 90%, wie es einerseits durch eine

gepunktete und andererseits durch eine durchgezogene Linie dargestellt ist, wird das FZ-N-Substrat in zwei Richtungen (X-Richtung und Y Richtung) überstrichen.

**[0091]** **Fig. 1** zeigt die Impulsform eines äquivalenten einzelnen gepulsten Laserstrahls, der durch aufeinanderfolgende zeitliche Kombination der von zwei Laserstrahlungsrichtungen abgestrahlten gepulsten Laserstrahlen gebildet wird.

**[0092]** Werden in der in **Fig. 1** gezeigten Weise zwei Laserstrahlungsgeräte zum Abstrahlen jeweiliger gepulster Laserstrahlen verwendet, so werden der angenähert rechteckige gepulste Laserstrahl **10a** von der ersten Vorrichtung und ein angenähert rechteckiger gepulster Laserstrahl **10b** von der zweiten Vorrichtung zeitlich aufeinanderfolgend so kombiniert, daß ein gepulster Laserstrahl **10** gebildet wird, der äquivalent einem einzigen langen und angenähert rechteckigen Impuls ist. Dies bedeutet, daß die Zeit (Verzögerungszeit) vom Abstrahlen des gepulsten Laserstrahls **10a** der ersten Vorrichtung bis zum Abstrahlen des gepulsten Laserstrahls **10b** der zweiten Vorrichtung so bemessen ist, daß sie angenähert gleich der Halbwertsbreite des gepulsten Laserstrahls **10a** wird.

**[0093]** Beispielsweise haben entsprechend **Fig. 1** die jeweiligen von den beiden Laserstrahlungsrichtungen abgegebenen gepulsten Laserstrahlen **10a** und **10b** übereinstimmend eine Halbwertsbreite von 100 ns und eine Strahlungsenergiegedichte von 2,0 J/cm<sup>2</sup>. In diesem Fall erfolgt die Bestrahlung mit einer Verzögerungszeit, also einem Zeitversatz zwischen den zu kombinierenden Impulsen, nämlich zwischen den gepulsten Laserstrahlen **10a** und **10b**, die vom ersten bzw. zweiten Laserstrahlungsgerät abgegeben werden, von 100 ns. Dies macht den gepulsten Laserstrahl **10** äquivalent einem gepulsten Laserstrahl mit einer Halbwertsbreite von 200 ns und einer Strahlungsenergiegedichte von 4,0 J/cm<sup>2</sup>; er wird auf einen dotierten Schichtbereich im FZ-N-Substrat gerichtet, während man mit ihm das Substrat in der gegebenen Richtung mit einer Überlappungsrelation von 90% überstreicht. Das gleiche gilt, wenn drei oder mehr Laserstrahlungsrichtungen verwendet werden.

**[0094]** Im Fall der Verwendung des XeCl-Lasers für die Aktivierung, wird für die Bestrahlung mit gepulsten Strahlen aus einer Mehrzahl von XeCl-Laser-Strahlungsrichtungen, die zeitlich aufeinanderfolgend kombiniert werden, die gesamte Bestrahlungsenergie zu 4,0 J/cm<sup>2</sup> gewählt. Werden zwei der Laserstrahlungsgeräte verwendet, von denen jedes eine Bestrahlung mit dem XeCl-Laser mit einer Halbwertsbreite von 50 ns für den einzelnen Impuls durchführt, so wird die Halbwertsbreite äquivalent einem einzigen gepulsten Strahl, der nach aufeinanderfolgender Kombination der jeweiligen gepulsten Strahlen von

den Strahlungsgeräten erhalten wird, zu 100 ns gemacht. Durch Verwendung von vier solchen Laserstrahlungsgeräten wird die Bestrahlung durchgeführt mit den gepulsten Strahlen der XeCl-Laser mit einer Halbwertsbreite von 200 ns für äquivalent einem einzigen Impuls, erhalten nach dem aufeinanderfolgenden zeitlichen Kombinieren der jeweiligen gepulsten Strahlen der XeCl-Laser der Strahlungsvorrichtungen. Werden acht solcher Laserstrahlungsgeräte verwendet, so wird die Bestrahlung durchgeführt mit den gepulsten Strahlen der acht XeCl-Laser mit einer resultierenden Halbwertsbreite von 400 ns für den äquivalenten einzigen Impuls, erhalten nach dem aufeinanderfolgenden zeitlichen Kombinieren der jeweiligen gepulsten Strahlen der XeCl-Laser der Strahlungsvorrichtungen.

**[0095]** Im Fall der Verwendung eines YAG2 $\omega$ -Lasers für die Aktivierung tritt bei der aufeinanderfolgenden zeitlichen Kombination der gepulsten, von einer Mehrzahl von Laserstrahlungsgeräten abgegebenen Strahlen eine gesamte Bestrahlungsenergiedichte von 4,0 J/cm<sup>2</sup> auf. Während bei Verwendung eines einzigen Laserstrahlungsgeräts mit einem YAG2 $\omega$ -Laser die Laserstrahlung mit gepulsten Strahlen mit einer Halbwertsbreite von 100 ns für den einzelnen Impuls durchgeführt wird, ergibt sich durch die Verwendung von zwei Laserstrahlungsgeräten nach der Kombination für den äquivalenten einen Impuls eine Halbwertsbreite von 200 ns. Werden vier Bestrahlungsvorrichtungen verwendet, so beträgt die entsprechende Halbwertsbreite 400 ns.

**[0096]** Sowohl beim XeCl-Laser als auch beim YAG2 $\omega$ -Laser ist der Wert der auf die einzelne Laserstrahlungsvorrichtung entfallenden Strahlungsenergiedichte die gesamte Bestrahlungsenergiedichte geteilt durch die Zahl der Vorrichtungen. Soll beispielsweise bei Verwendung von XeCl-Lasern durch zwei Laserstrahlungsvorrichtungen eine Gesamtbestrahlungsenergiedichte von 4,0 J/cm<sup>2</sup> erzielt werden, so muß durch die einzelne Laserstrahlungsvorrichtung der Laserstrahl eine Bestrahlungsenergiedichte von 2,0 J/cm<sup>2</sup> abgeben.

**[0097]** [Fig. 3](#) zeigt als Diagramm die Beziehung zwischen der Halbwertsbreite des gepulsten Laserstrahls und der Aktivierungsrelation, wenn die Aktivierung unter Verwendung von XeCl-Lasern durchgeführt wird. [Fig. 4](#) zeigt die gleiche Beziehung für YAG2 $\omega$ -Laser. In den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) sind auf der horizontalen Achse die Halbwertsbreite (ns) und auf der vertikalen Achse die Aktivierungsrelation (%) aufgetragen. Die p-Schicht ist gebildet worden durch Implantieren von Borionen an der Unterseite des FZ-N-Substrats mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15}$  cm<sup>-2</sup> und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV, und die n-Schicht ist gebildet worden durch Implantieren von Phosphorionen in das FZ-N-Substrat mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13}$  cm<sup>-2</sup> und einer Beschleunigungsenergie

von 240 keV, wodurch das FZ-N-Substrat mit der p-Schicht in seinem flachen Bereich und der n-Schicht in seinem tiefen Bereich gebildet wurde.

**[0098]** Im Fall der Aktivierung von pn-Folgeschichten durch Verwendung des XeCl-Lasers wird die Anzahl der Laserstrahlungsvorrichtungen erhöht, damit die Halbwertsbreite des auf das FZ-N-Substrat gestrahlten gepulsten Laserstrahls erhöht wird auf 50 ns, 100 ns, 200 ns und 400 ns. Dies bewirkt, daß, wie [Fig. 3](#) zeigt, die Aktivierungsrelation in der p-Schicht für die Halbwertsbreite von 50 ns (bei einer einzigen Laserstrahlungsvorrichtung) oder mehr einen hohen Wert über 50% erzielt. Wie ebenfalls [Fig. 3](#) zeigt, kommt die Aktivierungsrelation in der n-Schicht bei einer Halbwertsbreite von 100 ns (bei zwei Laserstrahlungsvorrichtungen) oder mehr auf einen Wert über 50%. Im Fall der Aktivierung der pn-Folgeschichten unter Verwendung des YAG2 $\omega$ -Lasers wird die Halbwertsbreite des gepulsten Laserstrahls erhöht auf 100 ns, 200 ns und 400 ns. Dies ergibt, wie [Fig. 4](#) zeigt, für die Aktivierungsrelationen sowohl in der p-Schicht als auch in der n-Schicht für die Halbwertsbreite von 100 ns (mit einer einzigen Laserstrahlungsvorrichtung) oder mehr einen Wert über 50%. Der Grund, warum die Aktivierungsrelation bei Verwendung des YAG2 $\omega$ -Lasers höher wird als bei Verwendung des XeCl-Lasers, beruht auf einem Wellenlängeneffekt, da die Wellenlänge beim XeCl-Laser mit 308 nm kürzer ist als beim YAG2 $\omega$ -Laser mit 532 nm.

**[0099]** Aus den in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellten Resultaten ergibt sich, daß die im flachen Bereich im FZ-N-Substrat gebildete p-Schicht sowohl bei Verwendung des XeCl-Lasers als auch des YAG2 $\omega$ -Lasers durch einen oder zwei Laserstrahlungsvorrichtungen ausreichend aktiviert werden kann. Im Vergleich hierzu ist festzustellen, daß die Aktivierung der n-Schicht im tiefen Bereich im FZ-N-Substrat effektiv durch Erhöhen der Zahl der Laserstrahlungsvorrichtungen zum Erhöhen der Halbwertsbreite des den gepulsten Strahlen äquivalenten einzelnen Strahls mit guter Effizienz durchgeführt werden kann.

**[0100]** Wenn, wie in der Vergangenheit, eine Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung bei einer Temperatur von 400°C durchgeführt wird, beträgt, wie die [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) zeigen, die Aktivierungsrelation in der p-Schicht 2% und in der n-Schicht 40%. Sowohl bei Verwendung des XeCl-Lasers als auch des YAG2 $\omega$ -Lasers können also durch Bestrahlen der pn-Folgeschichten mit einem gepulsten Laserstrahl äquivalent einem einzelnen angenähert rechteckigen Impuls der Halbwertsbreite von 100 ns oder mehr sowohl die p-Schicht als auch die n-Schicht mit einer höheren Aktivierungsrelation aktiviert werden, als sie in der Vergangenheit durch eine Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung erzielt wurde.

**[0101]** Mit einem solchen Bestrahlungsverfahren kann auch bei der Technologie der Bildung einer dünnen Scheibe und beim Verfahren des Befestigen der Scheibe auf einer Trägerunterlage durch ein Klebeblatt die Aktivierung der p-Schicht und der n-Schicht in einer sehr kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden realisiert werden. Außerdem kann bei der Herstellung eines Halbleiterelements wie eines IGBTs eine tiefe dotierte Schicht in einem FZ-Substrat ohne Verwendung eines epitaxialen Substrats gebildet werden, und können beim Herstellen des FS-IGBTs die p-Schicht und die n-Schicht, die an der Unterseite gebildet sind, ohne Ausübung eines thermischen Effekts auf die Oberseite, auf der Bauelementstrukturen wie Transistoren bereits gebildet sind, hergestellt werden.

**[0102]** Wird kein Klebeblatt verwendet, so kann die erfindungsgemäße Aktivierung auch in Kombination mit der Aktivierung durch eine elektrische Heizvorrichtung durchgeführt werden.

**[0103]** Im Vorhergehenden wurde der Fall erläutert, daß die Bestrahlung mit gepulsten Strahlen durchgeführt wird, von denen jeder eine Bestrahlungsenergieverteilung äquivalent zu einem einzelnen angenähert rechteckigen Impuls hat, der mit einer örtlichen Überlappungsrelation von 90% zur Überlappung gebracht wird. Bei der Bestrahlung wurde die gesamte Bestrahlungsenergie-dichte zu  $4,0 \text{ J/cm}^2$  gewählt und wurde die Verzögerungszeit zwischen den aufeinanderfolgenden zur Kombination zu bringenden gepulsten Strahlen als gleich der Halbwertsbreite eines einzelnen Impulses, bevor er kombiniert wird, gewählt. Die folgende Beschreibung befaßt sich im einzelnen mit den Effekten der Überlappungsrelation des gepulsten Laserstrahls, der Bestrahlungsenergie-dichte und der Verzögerungszeit, wobei diese Parameter Effekte auf die Aktivierung der pn-Folgeschichten haben.

**[0104]** Die erste Betrachtung gilt der örtlichen Überlappungsrelation bei der Laserbestrahlung.

**[0105]** [Fig. 5](#) zeigt die Impulsform eines von einer einzigen Laserstrahlungs-vorrichtung abgestrahlten gepulsten Laserstrahls mit einer niedrigen Überlappungsrelation. [Fig. 6](#) zeigt die Impulsformen, die durch aufeinanderfolgendes Kombinieren jeweiliger gepulster Laserstrahlen entstehen, die von zwei Laserstrahlungs-vorrichtungen abgestrahlt werden, bei niedriger Überlappungsrelation. [Fig. 5](#) betrifft den Fall, daß ein gepulster Strahl **20a**, der von einer einzelnen Laserstrahlungs-vorrichtung abgegeben wird, räumlich und zeitlich eine Trapezform hat und daß mit diesem gepulsten Laserstrahl das FZ-N-Substrat in zwei Richtungen (X und Y Richtung) mit einer Überlappungsrelation von 50% überstrichen wird. Im Fall von [Fig. 6](#) wird ein gepulster Strahl **20** durch die aufeinanderfolgende Kombination der jeweils eben-

falls um 50% überlappten gepulsten Strahlen **20a** und **20b**, die von den beiden Laserstrahlungs-vorrichtungen abgegeben werden, gebildet, wobei, obwohl die gepulsten Strahlen **20a** und **20b** aufeinanderfolgend kombiniert werden, eine Lücke in Form eines diskontinuierlichen Teils **30** auftritt. Die Bestrahlung des FZ-N-Substrats mit einem derartigen gepulsten Strahl **20** hat also Variationen in der auf den dotierten Schichtbereich einwirkenden Bestrahlungsenergie zur Folge, mit dem Ergebnis der Produktion von ungleichmäßig bestrahlten Teilen.

**[0106]** Im Gegensatz hierzu wird dann, wenn die Bestrahlung mit den rechteckig gepulsten Strahlen **10a** und **10b** gemäß [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) mit hoher Überlappungsrelation durchgeführt wird, das FZ-N-Substrat durch den gepulsten Strahl **10** – der äquivalent zu einem einzigen Puls, der durch die aufeinanderfolgend kombinierten gepulsten Strahlen **10a** und **10b** gebildet wird, ist – gleichmäßig bestrahlt. Hierdurch wird in jedem Bereich die auf den dotierten Schichtbereich einwirkende Bestrahlungsenergie gleichförmig und es werden keine ungleichmäßig bestrahlten Teile hergestellt.

**[0107]** [Fig. 7](#) zeigt als Diagramm die Borkonzentrationsverteilung in der p-Schicht. In [Fig. 7](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe von der Unterfläche des FZ-N-Substrats in  $\mu\text{m}$  und auf der vertikalen Achse die Borkonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Die Kurven zeigen als durchgezogene Linie die Borkonzentrationsverteilung, wenn keine ungleichmäßig bestrahlten Teile erzeugt worden sind, und als gepunktete Linie die Borkonzentrationsverteilung, wenn ungleichmäßig bestrahlte Teile erzeugt wurden. Die Implantation der Borionen wurde an der Unterseitenfläche des Substrats unter den folgenden Bedingungen durchgeführt: Mit der obengenannten Bestrahlungsdosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV. Bei der Aktivierung der p-Schicht betrug die Bestrahlungsenergie-dichte  $4,0 \text{ J/cm}^2$ . Die Borkonzentrationsverteilung wurde mit dem SR-Verfahren (spreading resistance method, Ausbreitungswiderstandverfahren) gemessen.

**[0108]** Bei einer Bestrahlung mit dem trapezförmigen gepulsten Strahl **20** gemäß [Fig. 6](#) mit niedriger Überlappungsrelation ergeben sich ungleichmäßig bestrahlte Teile, die es unmöglich machen, eine stabile Borkonzentrationsverteilung über die p-Schicht zu erzielen, wie [Fig. 7](#) zeigt. Im Gegensatz hierzu entstehen dann, wenn die Bestrahlung mit dem rechteckförmigen gepulsten Strahl **10**, wie er in [Fig. 1](#) gezeigt ist, mit hoher Überlappungsrelation durchgeführt wird, keine ungleichmäßig bestrahlten Teile und man kann eine stabile Borkonzentrationsverteilung erhalten. Dies macht es möglich, stabile gewünschte Bauelementencharakteristiken zu erhalten, wodurch man die Massenproduktivität von FS-IGBTs verbessern kann.

**[0109]** Als nächstes wird die Energiedichte bei der Laserbestrahlung untersucht. **Fig. 8** zeigt als Diagramm die Borkonzentrationsverteilung, wenn die Bestrahlung mit XeCl-Lasern durchgeführt wird, wobei die Bestrahlungsenergiedichte variiert wird. In **Fig. 8** sind auf der horizontalen Achse die Tiefe von der Oberseite des Substrats her in  $\mu\text{m}$  und auf der vertikalen Achse die Borkonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Den Ergebnissen von **Fig. 8** liegt eine Laserbestrahlung mit zwei Laserstrahlungsrichtungen zugrunde, die XeCl-Laser verwenden, wobei die Verzögerungszeit zu 50 ns gewählt wird, was gleich der Halbwertsbreite des von einer der Laserstrahlungsrichtungen abgegebenen gepulsten Strahls des XeCl-Lasers ist. Die Überlappungsrelation bei der Laserbestrahlung wurde zu 90% gewählt. Die Implantation der Borionen in das FZ-N-Substrat wurde mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV durchgeführt. Die Borkonzentrationsverteilung wurde mit dem SR-Verfahren gemessen.

**[0110]** Bei der Bestrahlung ergaben sich die in **Fig. 8** dargestellten Ergebnisse mit einer gesamten Bestrahlungsenergiedichte der XeCl-Laser-Bestrahlung in einem Variationsbereich von  $1,0 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$ . Gemäß den Ergebnissen von **Fig. 8** erhöht sich die Borkonzentration mit einer Erhöhung der gesamten Bestrahlungsenergiedichte, wobei die Ergebnisse dargestellt sind für  $1,0 \text{ J/cm}^2$ ,  $1,2 \text{ J/cm}^2$ ,  $1,5 \text{ J/cm}^2$ ,  $2,0 \text{ J/cm}^2$  und  $4,0 \text{ J/cm}^2$ .

**[0111]** Üblicherweise ist im Fall des FS-IGBT die Oberflächenkonzentration der p-Schicht vorzugsweise  $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  oder mehr und vorzugsweise wenigstens  $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  unter Berücksichtigung des Ohm'schen Kontakts (Kontaktwiderstand) mit der unterseitigen Elektrodenschicht. Aus den in **Fig. 8** dargestellten Ergebnissen ergibt sich, daß, wenn die gesamte Bestrahlungsenergiedichte  $1,0 \text{ J/cm}^2$  beträgt, die Borkonzentration unter  $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  kommt und die Aktivierung niedrig ist. Bei einer gesamten Strahlungsenergiedichte von  $1,5 \text{ J/cm}^2$  oder mehr ergibt sich indessen, daß die Borkonzentration höher als  $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  wird und fast gesättigt ist. Man kann also sagen, daß eine ausreichende Aktivierung durchgeführt ist. Überschreitet andererseits die gesamte Bestrahlungsenergiedichte den Wert von  $4,0 \text{ J/cm}^2$ , so wird sie zu hoch, da die Bestrahlungsenergiedichte für eine gegebene Bestrahlungsfläche durch die Laserbestrahlung dann bewirkt, daß die Oberflächentemperatur des FZ-N-Substrats den Schmelzpunkt des Siliziums ( $1.415^\circ\text{C}$ ) überschreitet. Dies hat zur Folge, daß die Oberfläche des Substrats schmilzt und dann wieder fest wird, was zu erheblichen Variationen in der Borkonzentrationsverteilung führt.

**[0112]** Aus obigem ergibt sich, daß die gesamte Bestrahlungsenergiedichte bei der Bestrahlung mit dem XeCl-Laser zum Aktivieren der pn-Folgeschich-

ten vorzugsweise so festgelegt wird, daß sie innerhalb des Bereichs von  $1,2 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$  und vorzugsweise innerhalb des Bereichs von  $1,5 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$  liegt. Wenn z. B. zwei die Bestrahlung mit dem XeCl-Laser durchführenden Laserstrahlungsrichtungen dazu verwendet werden, eine gesamte Strahlungsenergiedichte von  $4,0 \text{ J/cm}^2$ , wie oben angegeben, zu erbringen, so wird von jeder Laserstrahlungsrichtung ein XeCl-Laserstrahl mit einer Strahlungsenergiedichte von  $2,0 \text{ J/cm}^2$  abgestrahlt. Im Fall der Verwendung einer Mehrzahl von Laserstrahlungsrichtungen auf diese Weise ist es wünschenswert, daß die Bestrahlungsenergiedichte des von jeder einzelnen Laserstrahlungsrichtung abgegebenen XeCl-Laserstrahls über die Vorrichtungen gleichmäßig verteilt ist.

**[0113]** **Fig. 9** zeigt als Diagramm die Borkonzentrationsverteilung, wenn die Bestrahlung mit dem YAG2 $\omega$ -Laser durchgeführt wird, wobei die Bestrahlungsenergiedichte variiert wird. In **Fig. 9** sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in  $\mu\text{m}$  von der Oberseite des FZ-N-Substrats und auf der vertikalen Achse die Borkonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Die Figur zeigt die Ergebnisse, wenn die Laserbestrahlung unter Verwendung von zwei Laserbestrahlungsrichtungen mit YAG2 $\omega$ -Lasern durchgeführt wird, wobei die Verzögerungszeit mit 100 ns angenommen wird, was gleich der Halbwertsbreite des gepulsten Strahls des von jeder der Laserstrahlungsrichtungen abgegebenen YAG2 $\omega$ -Laserstrahlen ist. Darüber hinaus wird die Überlappungsrelation der Laserbestrahlung zu 90% angenommen. Die Implantation der Borionen in das FZ-N-Substrat wurde mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV durchgeführt. Die Borkonzentrationsverteilung wurde mit dem SR-Verfahren gemessen.

**[0114]** In **Fig. 9** sind die Bestrahlungsergebnisse für unterschiedliche gesamte Bestrahlungsenergiedichten der YAG2 $\omega$ -Laserbestrahlung von  $1,0 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$  gezeigt. Wie man sieht, erhöht sich die Borkonzentration mit einer Erhöhung der gesamten Bestrahlungsenergiedichte vom Wert  $1,0 \text{ J/cm}^2$  über  $1,2 \text{ J/cm}^2$ ,  $1,5 \text{ J/cm}^2$  und  $2,0 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$ .

**[0115]** **Fig. 9** zeigt, daß ebenso wie im Fall der Verwendung des XeCl-Lasers bei einer gesamten Bestrahlungsenergiedichte von nur  $1,0 \text{ J/cm}^2$  die Borkonzentration niedrig ist und auch die Aktivierung niedrig bleibt. Wenn die gesamte Bestrahlungsenergiedichte  $1,5 \text{ J/cm}^2$  überschreitet, wird die Borkonzentration aber hoch und nahezu gesättigt. Aus den gleichen Gründen wie beim XeCl-Laser führt eine gesamte Bestrahlungsenergiedichte über  $4,0 \text{ J/cm}^2$  zu großen Unterschiedlichkeiten in der Borkonzentrationsverteilung.

**[0116]** Hieraus ergibt sich, daß die gesamte Bestrahlungsenergiedichte bei der YAG2 $\omega$ -Laserbestrah-



lung zum Aktivieren der pn-Folgeschichten vorzugsweise so festgelegt wird, daß sie innerhalb des Bereichs von  $1,2 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$  und vorzugsweise im Bereich zwischen  $1,5 \text{ J/cm}^2$  und  $4,0 \text{ J/cm}^2$  liegt. Zum Erzielen einer gesamten Bestrahlungsenergie-dichte von  $4,0 \text{ J/cm}^2$  bei Verwendung von beispielsweise zwei Laserstrahlungs-vorrichtungen, die die Bestrahlung mit YAG2 $\omega$ -Lasern durchführen, werden die YAG2 $\omega$ -Laserstrahlen mit einer Bestrahlungsenergie-dichte von jeweils  $2,0 \text{ J/cm}^2$  in gleicher Weise von jeder Laserstrahlungs-vorrichtung abgestrahlt.

[0117] Bezugnehmend auf die Fig. 8 und Fig. 9, ist der Grund, daß die Diffusionstiefe des Bors bei Verwendung des YAG2 $\omega$ -Lasers im Vergleich zur Diffusionstiefe beim XeCl-Laser in der Größenordnung von  $0,1 \mu\text{m}$  größer ist, die Differenz zwischen den Wellenlängen der beiden Laser. Während nämlich der YAG2 $\omega$ -Laser eine Wellenlänge von  $532 \text{ nm}$  hat, beträgt die kürzere Wellenlänge des XeCl-Lasers nur  $308 \text{ nm}$ .

[0118] Fig. 10 zeigt als Diagramm die Beziehung zwischen der Bestrahlungsenergie-dichte und der Aktivierungsrelation, wenn die Aktivierung mit XeCl-Lasern durchgeführt wird, und Fig. 11 zeigt die gleiche Beziehung, wenn die Bestrahlung mit YAG2 $\omega$ -Lasern durchgeführt wird. In beiden Fig. 10 und Fig. 11 sind auf der horizontalen Achse die gesamte Bestrahlungsenergie-dichte in  $\text{J/cm}^2$  und auf der vertikalen Achse die Aktivierungsrelation in % aufgetragen. In diesem Fall ist die p-Schicht gebildet durch Implantieren der Borionen an der Unterseite des FZ-N-Substrats mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von  $50 \text{ keV}$ , und ist die n-Schicht gebildet durch Implantieren von Phosphorionen in das FZ-N-Substrat mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von  $240 \text{ keV}$ . Hierdurch wird im FZ-N-Substrat die p-Schicht in einem flachen, oberflächennahen Bereich und die n-Schicht in einem tiefen Bereich gebildet.

[0119] Wird im Fall der Aktivierung der pn-Folgeschichten unter Verwendung des XeCl-Lasers die gesamte Strahlungsenergie-dichte schrittweise verändert, so zeigt die Aktivierungsrelation sowohl für die p-Schicht als auch für die n-Schicht, wie in Fig. 10 zu sehen ist, einen hohen Wert aber  $50\%$ , wenn die gesamte Strahlungsenergie-dichte innerhalb des Bereichs von  $1,5 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$  liegt. Fig. 11 zeigt für die gleiche Situation und für die Verwendung von YAG2 $\omega$ -Lasern ebenfalls eine hohe Aktivierungsrelation aber  $50\%$  für die gesamte Bestrahlungsenergie-dichte im Bereich von  $1,5 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$ . Der Grund, warum die Aktivierungsrelation bei der Verwendung von YAG2 $\omega$ -Lasern höher ist als bei Verwendung von XeCl-Lasern ist wiederum der Wellenlängenunterschied, nämlich  $532 \text{ nm}$  beim YAG2 $\omega$ -Laser und  $308 \text{ nm}$  beim XeCl-Laser.

[0120] Die Fig. 10 und Fig. 11 zeigen auch die Aktivierungsrelation bei Verwendung einer elektrischen Heizvorrichtung und bei einer Temperatur von  $400^\circ\text{C}$ . Hierbei beträgt die Aktivierungsrelation in der p-Schicht  $2\%$  und in der n-Schicht  $40\%$ . Wird ein XeCl-Laser mit einer gesamte Bestrahlungsenergie-dichte von  $1,2 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$  verwendet, so ergibt sich eine Aktivierungsrelation sowohl in der p-Schicht als auch in der n-Schicht oder in einer von beiden oberhalb der Aktivierungsrelation, die durch die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung erzielt wird. Auch bei Verwendung des YAG2 $\omega$ -Lasers und Aufwendung einer gesamten Bestrahlungsenergie-dichte von  $1,2 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$  werden die Aktivierungsrelationen in der p-Schicht und in der n-Schicht oder in einer von beiden Schichten über der durch das Tempern mit der elektrischen Heizvorrichtung erzielten Aktivierungsrelation erhalten.

[0121] Die in den Fig. 10 und Fig. 11 dargestellten Ergebnisse zeigen, daß die p-Schicht und die n-Schicht in den pn-Folgeschichten, die im FZ-N-Substrat gebildet sind, durch Verwendung eines beliebigen der beiden Laser, XeCl-Laser oder YAG2 $\omega$ -Laser, mit einer höheren Aktivierungsrelation durchgeführt werden kann, als es beim Stand der Technik möglich war, wenn die gesamte Bestrahlungsenergie-dichte im Bereich von  $1,2 \text{ J/cm}^2$  bis  $4,0 \text{ J/cm}^2$  liegt.

[0122] Als nächstes wird die Verzögerungszeit bei der Laserbestrahlung näher untersucht.

[0123] Fig. 12 zeigt als Diagramm die Borkonzentrationsverteilung, wenn die Bestrahlung mit dem XeCl-Laser durchgeführt wird und die Verzögerungszeit verändert wird. In Fig. 12 sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in  $\mu\text{m}$  von der oberen Außenfläche des FZ-N-Substrats und auf der vertikalen Achse die Borkonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Fig. 12 zeigt die Ergebnisse, wenn die Bestrahlung unter Verwendung von zwei Laserbestrahlungs-vorrichtungen mit XeCl-Lasern durchgeführt wurde, mit einer gesamten Bestrahlungsenergie-dichte von  $2,0 \text{ J/cm}^2$ . Die Überlappungsrelation bei der Laserbestrahlung wurde auf  $90^\circ$  eingestellt. Die Implantierung der Borionen wurde am FZ-N-Substrat mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von  $50 \text{ keV}$  durchgeführt. Die Borkonzentrationsverteilung wurde durch das SR-Verfahren gemessen.

[0124] Bei der Bestrahlung, die zu den Ergebnissen von Fig. 12 führte, wurde die Verzögerungszeit zwischen den separat von den beiden Laserstrahlungs-vorrichtungen abgestrahlten gepulsten Laserstrahlen der XeCl Laser zwischen  $0 \text{ ns}$  und  $5.000 \text{ ns}$  verändert. Wie Fig. 12 zeigt, wird die Borkonzentration höher, wenn die Verzögerungszeit von  $0 \text{ ns}$  (keine Verzögerung) auf  $50 \text{ ns}$  erhöht wird, und erniedrigt sich bei einer weiteren Erhöhung der Verzögerungszeit auf Werte von  $250 \text{ ns}$ ,  $2.500 \text{ ns}$  und  $5.000 \text{ ns}$ , also

auf Werte über 50 ns. Es ist leicht vorherzusagen, daß dann, wenn die Verzögerungszeit 5.000 ns übersteigt, eine Borkonzentration von  $1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  oder höher nicht mehr erreicht werden kann, die aber erforderlich ist, wenn die Herstellung eines Ohm'schen Kontaktes vorgesehen werden soll.

**[0125]** Der Grund hierfür ist folgender: Wenn die Verzögerungszeit kurz ist, also die Zeit von der Abstrahlung des vorhergehenden gepulsten Strahls bis zur Abstrahlung eines nachfolgenden gepulsten Strahls kurz ist, werden die gepulsten Strahlen äquivalent zu einem einzigen gepulsten Strahl mit einer hohen Halbwertsbreite, wie es oben in [Fig. 1](#) gezeigt ist. Die Temperatur des laserbestrahlten FZ-N-Substrats kann also für eine verhältnismäßig lange Zeit auf einem für die Aktivierung erforderlichen Wert gehalten werden. Ist indessen die Verzögerungszeit zu lang, so bleibt zwischen der Abstrahlung des vorhergehenden Strahls bis zur Abstrahlung des nachfolgenden gepulsten Strahls ein Intervall. Eine zu lange Verzögerungszeit macht es also unmöglich, während dieser Verzögerungszeit die für die Aktivierung notwendige Substrattemperatur aufrechtzuerhalten. Nur einige Verzögerungszeitwerte lassen einen Effekt erzielen, der gleich dem Effekt ist, den man erhält, wenn eine einzige Laserstrahlungsanordnung zum Durchführen der Laserbestrahlung verwendet wird. In diesem Fall nimmt die Borkonzentration ab und die Aktivierungsrelation sinkt. Die Verzögerungszeit bei der Bestrahlung mit XeCl-Lasern wird vorzugsweise im Bereich von 0 ns bis 5.000 ns und noch mehr bevorzugt im Bereich von 0 ns bis 2.500 ns festgelegt.

**[0126]** [Fig. 13](#) zeigt als Diagramm die Borkonzentrationsverteilung, wenn die Bestrahlung mit dem YAG2ω-Laser durchgeführt wird und die Verzögerungszeit verändert wird. In [Fig. 13](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in  $\mu\text{m}$  von der oberen Außenfläche des FZ-N-Substrats und auf der vertikalen Achse die Borkonzentration in  $\text{m}^{-3}$  aufgetragen. [Fig. 13](#) zeigt die Ergebnisse, wenn die Bestrahlung unter Verwendung von zwei Laserbestrahlungsanordnungen mit YAG2ω-Lasern durchgeführt wurde, mit einer gesamten Bestrahlungsenergie von  $2,0 \text{ J/cm}^2$ . Die Überlappungsrelation bei der Laserbestrahlung wurde auf  $90^\circ$  eingestellt. Die Implantierung der Borionen wurde am FZ-N-Substrat mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV durchgeführt. Die Borkonzentrationsverteilung wurde durch das SR-Verfahren gemessen.

**[0127]** Bei der Bestrahlung, die zu den Ergebnissen von [Fig. 13](#) führte, wurde die Verzögerungszeit zwischen den separat von den beiden Laserstrahlungsanordnungen abgestrahlten gepulsten Laserstrahlen der YAG2ω-Laser zwischen 0 ns und 10.000 ns verändert. Wie [Fig. 13](#) zeigt, wird die Borkonzentration höher, wenn die Verzögerungszeit von 0 ns auf 100 ns erhöht wird, und erniedrigt sich mit einer Er-

höhung der Verzögerungszeit auf Werte von 5.000 ns und 10.000 ns, also auf Werte über 100 ns. Übersteigt die Verzögerungszeit 10.000 ns, so kann es sich leicht ergeben, daß eine Borkonzentration von wenigstens  $5 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  nicht mehr erreicht werden kann. Der Grund dafür, daß die Borkonzentration auf diese Weise abnimmt, wenn die Verzögerungszeit länger wird, ist derselbe wie der unter Bezugnahme auf [Fig. 12](#) für die Verwendung von XeCl-Lasern erläuterte Grund. Aus den in [Fig. 13](#) gezeigten Ergebnissen ergibt sich, daß die Verzögerungszeit bei der Bestrahlung mit YAG2ω-Lasern vorzugsweise innerhalb des Bereichs von 0 ns bis 10.000 ns und noch bevorzugter im Bereich von 0 ns bis 5.000 ns festgelegt wird.

**[0128]** Das Diagramm von [Fig. 14](#) zeigt die Beziehung zwischen der Verzögerungszeit und der Aktivierungsrelation, wenn die Aktivierung unter Verwendung von XeCl-Lasern durchgeführt wird. Das Diagramm von [Fig. 15](#) zeigt die gleiche Beziehung bei Verwendung von YAG2ω-Lasern. In den [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) sind auf der horizontalen Achse die Verzögerungszeit in ns und auf der vertikalen Achse die Aktivierungsrelation in % aufgetragen. Die p-Schicht ist durch Implantieren von Borionen an der Unterfläche des FZ-N-Substrats mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV gebildet worden, und die n-Schicht ist durch Implantieren von Phosphorionen in das FZ-N-Substrat mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  mit einer Beschleunigungsenergie von 240 keV gebildet worden. Hierdurch ist das FZ-N-Substrat mit der p-Schicht in seinem flachen Bereich und der n-Schicht in seinem tiefen Bereich gebildet worden.

**[0129]** Bei der Aktivierung der pn-Folgeschichten unter Verwendung des XeCl-Lasers zeigen, wenn die Verzögerungszeit schrittweise verändert wird, wie in [Fig. 14](#) dargestellt ist, für die Verzögerungszeit zwischen 0 ns und 2.500 ns die Aktivierungsrelationen sowohl der p-Schicht als auch der n-Schicht einen hohen Wert über 50%, der jedoch bei einer Verzögerungszeit von 5.000 ns unter 50% liegt. Auch im Fall der Aktivierung der pn-Folgeschichten unter Verwendung des YAG2ω-Lasers haben, wie [Fig. 15](#) zeigt, die Aktivierungsrelationen sowohl der p-Schicht als auch der n-Schicht für eine Verzögerungszeit zwischen 0 ns und 5.000 ns einen hohen Wert über 50%, jedoch liegt die Aktivierungsrelation bei einer Verzögerungszeit von 10.000 ns unter 50%. Der Grund dafür, daß die Aktivierungsrelation bei Verwendung des YAG2ω-Lasers höher wird als bei Verwendung des XeCl-Lasers, ist, daß der XeCl-Laser im Vergleich zum YAG2ω-Laser, dessen Wellenlänge 532 nm beträgt, eine kürzere Wellenlänge hat, die 308 nm beträgt.

**[0130]** Wird, wie in den [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) auch noch gezeigt ist, das Tempern mit einer elektrischen

Heizvorrichtung bei einer Temperatur von 400°C durchgeführt, so ergibt sich die Aktivierungsrelation in der p-Schicht zu 2% und in der n-Schicht zu 40%. Die Aktivierungsrelationen sowohl in der p-Schicht als auch in der n-Schicht oder in einer der Schichten können im Fall der Verwendung von XeCl-Lasern, wie in [Fig. 14](#) gezeigt ist, mit einer Verzögerungszeit im Bereich von 0 ns bis 5.000 ns über den Wert angehoben werden, der durch eine Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung erhalten wird. Auch im Fall der Verwendung von YAG2ω-Lasern können, wie [Fig. 15](#) zeigt, mit einer Verzögerungszeit von 0 ns bis 10.000 ns die Aktivierungsrelationen in sowohl der p-Schicht als auch der n-Schicht oder in einer der Schichten über den Wert gebracht werden, die durch ein Tempern mit einer elektrischen Heizvorrichtung erzielt wird.

**[0131]** Aus den in den [Fig. 14](#) und [Fig. 15](#) gezeigten Ergebnissen ergibt sich, daß die Verzögerungszeit für eine zufriedenstellende Aktivierung der pn-Folgeschichten im FZ-N-Substrat bei Verwendung entweder des XeCl-Lasers oder des YAG2ω-Lasers innerhalb des Bereichs von 0 ns bis 5.000 ns festgelegt werden kann. Durch das Durchführen der Bestrahlung auf diese Weise so, daß die Verzögerungszeit zwischen mehreren gepulsten Strahlen zwischen 0 ns (keine Verzögerungszeit) und 5.000 ns zu liegen kommt, können die pn-Folgeschichten aktiviert werden, ohne die Substrattemperatur unter die für die Aktivierung notwendige Temperatur zu erniedrigen.

**[0132]** Wie oben dargelegt, können bei der Aktivierung der pn-Folgeschichten unter Verwendung von Laserstrahlungsanordnungen, wenn die Impulsform des gepulsten Laserstrahls angenähert rechteckig gemacht wird, sowohl die Überlappungsrelation als auch die Bestrahlungsenergiedichte als auch die Verzögerungszeit bei der Laserbestrahlung optimiert werden. Die pn-Folgeschichten können effektiv und stabil mit einer hohen Aktivierungsrelation aktiviert werden, wodurch die FS-IGBTs mit überlegenen Vorrichtungscharakteristiken hergestellt werden können.

**[0133]** Bei der Durchführung des Lasertempens durch Bestrahlen mit einem gepulsten Laserstrahl führt die Verwendung eines Strahls mit einer Impulsform, die angenähert einer allgemeinen Gauß'schen Verteilung gleicht, gelegentlich dazu, daß auf dem FZ-N-Substrat Spuren einer Bearbeitungsschädigung zurückbleiben.

**[0134]** [Fig. 16](#) zeigt schematisch die Impulsform **40** der Gauß'schen Verteilung und den Zustand eines FZ-N-Substrats **50**, wenn ein gepulster Laserstrahl mit dieser Impulsform verwendet wird. [Fig. 17](#) zeigt schematisch eine rechteckige Impulsform **60** und den Zustand des FZ-N-Substrats **50**, wenn ein gepulster Laserstrahl mit dieser Impulsform verwendet wird.

Wenn beispielsweise die Aktivierung durch Bestrahlung mit einem gepulsten Laserstrahl mit der Impulsform **40** der Gauß'schen Verteilung mit einer Halbwertsbreite von 100 ns und einer Bestrahlungsenergiedichte von 4,0 J/cm<sup>2</sup> durchgeführt wird, so bleibt an einer Stelle des FZ-N-Substrats, die der Position der höchsten Bestrahlungsenergieintensität des gepulsten Laserstrahls entspricht, eine Bearbeitungsspur-Schädigung **51** zurück. Aufgrund der Überlappungsrelation der gepulsten Laserstrahlen entsteht also eine Mehrzahl dieser Bearbeitungsspur-Schädigungen **51** auf dem Substrat **50**.

**[0135]** Es wird deshalb eine optische Justierung durchgeführt, bei der eine spezifische Maske verwendet wird, die dazu dient, einen rechteckigen Impuls zu formen. Ferner wird die von der einzelnen Laserstrahlungsanordnung beigesteuerte Bestrahlungsenergiedichte erniedrigt, wobei aufgrund der Verwendung einer Mehrzahl von Laserstrahlungsanordnungen dann doch die geforderte Bestrahlungsenergie geliefert wird. Beispielsweise wird, wie [Fig. 17](#) zeigt, die Laserbestrahlung unter Verwendung von zwei Laserstrahlungsanordnungen durchgeführt, um zeitlich aufeinanderfolgend jeweilige rechteckig gepulste Strahlen **60a** und **60b** zu kombinieren, von denen jeder eine Halbwertsbreite von 100 ns und eine Strahlungsenergiedichte von 2,0 J/cm<sup>2</sup> hat, wobei durch die Kombination der gepulsten Strahl **60** entsteht, der eine gesamte Halbwertsbreite von 200 ns und eine gesamte Strahlungsenergiedichte von 4,0 J/cm<sup>2</sup> hat. Dies ermöglicht es, eine Bestrahlung durchzuführen, die die Erzeugung von Spuren einer Bearbeitungsschädigung auf dem FS-N-Substrat **50** verhindern kann, während doch eine für die Temperung ausreichende Bestrahlungsenergiedichte aufrechterhalten wird. Insofern kann der FS-IGBT hergestellt werden, ohne daß ein zusätzlicher Arbeitsschritt angewandt wird, um vom FZ-N-Substrat die Folgen der Bearbeitungsspur-Schädigung zu entfernen.

**[0136]** Bisher wurde der Fall beschrieben, daß als Laser zur Aktivierung der pn-Folgeschichten XeCl-Laser oder YAG2ω-Laser verwendet werden. Von diesen beiden wird die Verwendung des YAG2ω-Lasers bevorzugt, durch den ein gepulster Strahl mit großer Halbwertsbreite erhalten werden kann. Die Laserstrahlungsanordnungen mit YAG2ω-Lasern sind leichter zu einer Gruppe kombinierbar als die XeCl-Laser und liefern einen gepulsten Strahl mit einem Halbwert, der 100 ns sein kann, pro Vorrichtung, was nur eine geringe Anzahl von Vorrichtungen für eine ausreichende Aktivierung notwendig macht. Weiterhin ergibt der gepulste Strahl des YAG2ω-Lasers keine Punktbestrahlung, wie sie bei der Bestrahlung mit einem gepulsten Strahl des YAG3ω-Lasers beobachtet wurde, der in der Vergangenheit verwendet wurde, so daß die Aktivierung jeder Scheibe in einer weiterhin kürzeren Zeit durchgeführt werden kann, was in taktischer Hinsicht vorteilhaft ist.

**[0137]** Wie oben dargelegt, kann gemäß der Erfindung durch die Durchführung der Bestrahlung mit einem gepulsten Laserstrahl mit angenähert rechteckiger Impulsform ein hervorragender FS-IGBT gebildet werden, ohne jede Spur von Bearbeitungsschädigung und mit einer stabilen Verunreinigungs-konzentrationsverteilung in der dotierten Schichtregion.

**[0138]** Die vorgehenden Erläuterungen beziehen sich auf den Fall, daß pn-Folgeschichten, die beispielsweise in einem FS-IGBT gebildet sind, augenblicklich aktiviert werden. Die Erfindung ist jedoch auch anwendbar auf die Aktivierung einer einzelnen Schicht, einer p-Schicht oder einer n-Schicht, oder auch anderer pp-Folgeschichten oder nn-Folgeschichten. Unabhängig davon, ob die Oberseite oder die Unterseite des FZ-Substrats im FS-IGBT betroffen ist, kann der dotierte Schichtbereich wie beispielsweise die pn-Folgeschichten innerhalb einer sehr kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden aktiviert werden. Außerdem ist die Erfindung nicht auf den FS-IGBT beschränkt, sondern kann auch angewandt werden auf einen PT-IGBT einen NPT-IGBT, einen in Rückwärtsrichtung sperrenden IGBT, eine Freilaufdiode (FWD, Free Wheeling Diode), bei der die äußerste Oberflächenschicht eine n-Schicht wird, und auf zahlreiche andere Halbleiterelemente mit dotierten Schichtbereichen, die durch eine Lasertemperatur aktiviert werden sollen.

**[0139]** Als nächstes wird eine zweite Durchführungsform beschrieben.

**[0140]** Die zweite Durchführungsform wird im einzelnen unter Bezugnahme auf den folgenden beispielhaften Fall beschrieben. In diesem Fall wird auf der p-Schicht in den pn-Folgeschichten, die im FZ-N-Substrat des FS-IGBTs gebildet sind, eine als P-Schicht bezeichnete Oberflächenkontaktschicht gebildet, um einen Ohm'schen Kontakt mit der Unterseitenelektrode zu schaffen. Eine solche Oberflächenkontaktschicht wird gebildet durch Implantieren von Phosphorionen und Borionen in das FZ-N-Substrat in dieser Reihenfolge, bevor dann Borfluoridionen ( $\text{BF}_2^+$ ) implantiert werden, um die Aktivierung durchzuführen.

**[0141]** [Fig. 18](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungs-konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren beim Bilden der Oberflächenkontaktschicht.

**[0142]** In [Fig. 18](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe von der Oberseite des FZ-N-Substrats in  $\mu\text{m}$  und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungs-konzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Im FZ-N-Substrat sind die Phosphorionen für die n-Schicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV implantiert worden, sodann die Borionen für die p-Schicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15}$

$\text{cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV implantiert worden und schließlich die Borfluoridionen für die Oberflächenkontaktschicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 80 keV implantiert worden. Nachdem diese drei aufeinanderfolgenden Schichten im FZ-N-Substrat gebildet waren, wurde die jeweilige Verunreinigungs-konzentration mit Hilfe des SR-Verfahrens sowohl für den Fall einer Temperung mit einem elektrischen Heizgerät als auch für den Fall der Lasertemperung gemessen. Zum Vergleich wurde auch die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung für den Fall der Temperung mit dem elektrischen Heizgerät, aber ohne Implantierung von Borfluoridionen, untersucht. Die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung wurde bei  $400^\circ\text{C}$  für die Dauer einer Stunde durchgeführt und die Lasertemperung wurde unter Verwendung von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen mit YAG2 $\omega$ -Lasern durchgeführt, wobei die Bestrahlungsenergie-dichte des gepulsten Strahls jeder Laserstrahlungsvorrichtung  $2,0 \text{ J/cm}^2$ , die gesamte Bestrahlungsenergie-dichte  $4,0 \text{ J/cm}^2$  und die Halbwertszeit 100 ns betragen. Die Untersuchungen betrafen Fälle mit der Verzögerungszeit 0 ns und 300 ns und mit einer Laserbestrahlungs-Überlappungsrelation von 90%.

**[0143]** In [Fig. 18](#) ist die jeweilige Verunreinigungs-konzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: elektrische Heizvorrichtung ohne Implantieren von Borfluoridionen (durchgezogene Linie); elektrische Heizvorrichtung-Temperung bei Implantierung von Fluoridionen (gepunktete Linie); Lasertemperung bei Implantierung von Borfluoridionen und mit der Verzögerungszeit 0 ns (langkurzkurz-gestrichelte Linie); und Lasertemperung bei Implantierung von Borfluoridionen und der Verzögerungszeit von 300 ns (gleichmäßig gestrichelte Linie).

**[0144]** Wie [Fig. 18](#) zeigt, erhöht sich durch das Implantieren der Borfluoridionen, selbst wenn nur mit einem elektrischen Heizgerät getempert wird, die Verunreinigungs-konzentration im flachen Bereich des FZ-N-Substrats. Dies kommt daher, daß die Implantierung von Borfluoridionen die mit den Borfluoridionen implantierte Schicht amorph macht, wodurch die Diffusion der Verunreinigungen beschleunigt wird. Die Verunreinigungs-konzentration im flachen Bereich wird dann weiter erhöht durch Durchführung der Aktivierung mit Hilfe der Lasertemperatur anstelle der elektrischen Heizvorrichtung-Temperung. Um den Kontakt mit dem Unterseiten-Elektrodenkopf zu halten, beträgt die Borkonzentration in der Oberflächenkontaktschicht vorzugsweise mindestens  $1 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ . Durch die Lasertemperatur kann die flache Region von der Oberseite des FZ-N-Substrats her mit einer noch höheren Verunreinigungs-konzentration dotiert werden.



**[0145]** Wird darüber hinaus die Verzögerungszeit bei der durch die Lasertemperatur durchgeführten Aktivierung zu 300 ns bestimmt, so können auch die p-Schicht und die n-Schicht auf der Seite, die tiefer liegen als die Oberflächenkontaktschicht, mit einer hohen Verunreinigungskonzentration in einer Höhe äquivalent der durch das elektrische Heizvorrichtung-Tempere erzielen Konzentration dotiert werden. Dies kommt daher, daß die bei der Laserbestrahlung in der Oberflächenkontaktschicht absorbierte Wärme zur darunterliegenden p-Schicht übertragen wird und dann weiterhin zur darunter liegenden n-Schicht übertragen wird, wo sie absorbiert wird.

**[0146]** Bei der hier durchgeführten Lasertemperatur werden die gepulsten Strahlen mit einer angepaßten Verzögerungszeit abgestrahlt. Die Aktivierung der Verunreinigungen kann also durch einen gepulsten Strahl durchgeführt werden, der äquivalent dem Strahl mit einer erhöhten Halbwertsbreite ist, wie oben beschrieben wurde. Gleichzeitig wird die Zeit der Wärmeübertragung länger als im Fall der Laserbestrahlung mit einem einzigen gepulsten Strahl, so daß das Substrat innerhalb einer kurzen Zeit in einer, von der vom Laser zu bestrahlenden Oberfläche her tiefen, Region aktiviert werden kann. Durch eine Durchführung der Bestrahlung mit den aufeinanderfolgend abgegebenen gepulsten Strahlen kann ein amorpher Zustand oder ein Zustand mit verbliebenen Kristalldefekten, die durch die Schwierigkeit bei der Rekristallisation der mit den Borfluoridionen implantierten Schicht nur durch den vorhergehenden gepulsten Strahl bewirkt werden, in einen rekristallisierten Zustand übergeführt werden und durch nachfolgende gepulste Strahlen zu einem noch fortgeschrittener kristallisierten Zustand gebracht werden. Dies ermöglicht die Herstellung des flachen Bereichs, der mit einer hohen Borkonzentration dotiert ist, von der Oberfläche aus.

**[0147]** Der Grund dafür, daß dann, wenn die Lasertemperatur mit einer Verzögerungszeit von 0 ns durchgeführt wird, die tiefe Region nicht mit einer so hohen Verunreinigungskonzentration dotiert wird, ist, daß es mit gleichzeitig abgestrahlten gepulsten Strahlen schwierig ist, den Rekristallisationseffekt zu erhalten, und eine momentane Bestrahlung der Oberflächenseite mit gleichzeitig abgestrahlten Laserstrahlen hoher Energie eine Wärme erzeugt, die nur schwer durch Weiterleitung zu der tiefen Region übertragen werden kann.

**[0148]** In dieser Weise wird die Erfindung nicht nur auf den Fall der Aktivierung von pn-Folgeschichten angewandt, wie es bei der ersten Durchführungsform erläutert wurde, sondern auch auf den Fall der Aktivierung der Oberflächenkontaktschicht, die zusätzlich auf den pn-Folgeschichten gebildet wurde, wie es anhand der zweiten Durchführungsform erläutert wurde, gemäß der sowohl der flache Bereich als auch

der tiefere Bereich von der Substratoberfläche her effektiv aktiviert werden kann.

**[0149]** Als nächstes wird eine dritte Durchführungsform beschrieben.

**[0150]** Zur Erläuterung der dritten Durchführungsform wird der Fall beschrieben, daß aufeinanderfolgende Schichten gleichen Leitfähigkeitstyps aktiviert werden.

**[0151]** Wenn, beispielsweise beim Herstellungsprozeß, Fremdpartikel erzeugt und an der Substratoberfläche angebracht werden, können die Verunreinigungen nicht an einer Fläche implantiert werden, an der diese Partikel sitzen, selbst wenn eine Ionenimplantation durchgeführt wird. Hierdurch wird mit einiger Wahrscheinlichkeit das Problem erzeugt, daß nach der Aktivierung eine ungleichmäßige Verunreinigungskonzentration zurückbleibt. Zum Zweck der Vermeidung eines Einflusses der Partikel kann zwar eine Ionenimplantation unter einer hohen Beschleunigungsspannung durchgeführt wird, dies führt aber zu einer erniedrigten Verunreinigungskonzentration im flachen Bereich mit der Folge, daß möglicherweise der Kontakt mit der Unterseitelektrode verfehlt wird. Um den Einfluß der Partikel so weit als möglich zu unterbinden, werden vorzugsweise Schichten mit gleichem Leitfähigkeitstyp in der Richtung der Tiefe aufeinanderfolgend gebildet und dann aktiviert. Dies ermöglicht es, Verunreinigungen bis zu einem Bereich mit einer Tiefe zu aktivieren, die die Tiefe der vorhandenen Partikel übertrifft.

**[0152]** Es wird zunächst die Aktivierung von pp-Folgeschichten erläutert, wobei die p-Schichten aufeinanderfolgend hergestellt werden

**[0153]** [Fig. 19](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungskonzentrationsverteilungen zu den Aktivierungsmethoden um die pp-Folgeschichten.

**[0154]** In [Fig. 19](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseite des FZ-N-Substrats und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Es wurden hier am FZ-N-Substrat Borionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV implantiert, um eine einzige p-Schicht zu bilden. Am FZ-N-Substrat wurden weiterhin Borionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV, und weitere Borionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV implantiert, um die pp-Folgeschichten zu erzeugen. Für die so gebildeten einzelnen p-Schichten und pp-Folgeschichten wurde die Verunreinigungskonzentrationsverteilung durch das SR-Verfahren gemessen, nachdem ein Tempere mit einer elektrischen Heizvorrichtung bzw mit einem Laser durchgeführt wurde. Das Tempere mit der elektri-

schen Heizvorrichtung wurde bei 400°C eine Stunde lang durchgeführt und das Lasertempn wurde unter Verwendung von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen mit YAG2ω-Lasern durchgeführt, wobei die Bestrahlungsenergie des gepulsten Strahls jeder Laserstrahlungsvorrichtung 2,0 J/cm<sup>2</sup>, die gesamte Bestrahlungsenergie 4,0 J/cm<sup>2</sup> und die Halbwertsbreite 100 ns betragen. Die Verzögerungszeit wurde auf 300 ns festgesetzt und die Überlappungsrelation der Laserstrahlung auf 90% festgesetzt.

[0155] Fig. 19 zeigt die jeweilige Verunreinigungs-konzentrationsverteilung für folgende Fälle: Tempn mit einer elektrischen Heizvorrichtung bei einer einzigen p-Schicht (durchgezogene Linie), Tempn mit einer elektrischen Heizvorrichtung bei pp-Folgeschichten (gepunktete Linie), Lasertempn bei einer einzigen p-Schicht (lang-kurz-kurz-gestrichelte Linie) und Lasertempn bei pp-Folgeschichten (gleichmäßig gestrichelte Linie).

[0156] Wie Fig. 19 zeigt, liefert das Tempn mit einer elektrischen Heizvorrichtung bei einer einzigen p-Schicht, auf die die Implantierung mit hoher Beschleunigungsenergie durchgeführt wird, eine Verunreinigungs-konzentration, die im flachen Bereich an der Oberflächenseite des Substrats entsprechend der Reichweite der implantierten Ionen niedriger wird. Selbst bei einer an der einzigen p-Schicht durchgeführten Lasertempn kann die Schicht nicht aktiviert werden. Das bei pp-Folgeschichten durchgeführte Tempn mit der elektrischen Heizvorrichtung erhöht die Verunreinigungs-konzentration im tiefen Bereich, liefert jedoch eine unzureichende Verunreinigungs-konzentration im flachen Bereich. Im Gegensatz hierzu erhöht das Lasertempn bei den pp-Folgeschichten erheblich die Verunreinigungs-konzentration im flachen Bereich und ermöglicht gleichzeitig, daß die Verunreinigungs-konzentration in einem noch tieferen Bereich hoch bleibt. Der Grund hierfür ist, daß in gleicher Weise, wie es für die zweite Durchführungsform erklärt wurde, das hier durchgeführte Lasertempn die Aktivierung der Verunreinigungen mit einem gepulsten Strahl mit großer Halbwertsbreite, der gebildet wird durch aufeinanderfolgend abgestrahlte gepulste Strahlen, beschleunigt, und gleichzeitig aktiviert die über eine lange Zeit übertragene Wärme die Verunreinigungen bis zu einem tiefen Bereich in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden, und eine durch den vorhergehenden gepulsten Strahl amorph gemachte Schicht wird durch den nachfolgenden gepulsten Strahl rekristallisiert.

[0157] Diese Aktivierung der pp-Folgeschichten durch das Lasertempn ist speziell effektiv für ein Bauteil wie ein NPT-IGBT oder ein in Rückwärtsrichtung sperrender IGBT, bei denen nur die p-Schicht aktiviert werden muß, und für die Bildung der pp-Fol-

geschichten, bei denen es Probleme hinsichtlich einer Beeinträchtigung durch Partikel gibt.

[0158] Im Anschluß hieran wird die Aktivierung von nn-Folgeschichten beschrieben, bei denen die n-Schichten aufeinanderfolgend gebildet werden.

[0159] Fig. 20 zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungs-konzentrationsverteilung zu verschiedenen Aktivierungsverfahren bei nn-Folgeschichten.

[0160] In Fig. 20 sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungs-konzentration in cm<sup>-3</sup> aufgetragen. Es werden im FZ-N-Substrat Phosphorionen mit einer Dosis von 1·10<sup>13</sup> cm<sup>-2</sup> und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV implantiert, um eine einzelne n-Schicht zu bilden, dann wurden am FZ-N-Substrat Phosphorionen mit einer Dosis von 1·10<sup>13</sup> cm<sup>-2</sup> und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV implantiert, und dann wurden weitere Phosphorionen mit einer Dosis von 1·10<sup>15</sup> cm<sup>-2</sup> und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV implantiert und weitere Phosphorionen mit einer Dosis von 1·10<sup>15</sup> cm<sup>-2</sup> und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV implantiert, um die nn-Folgeschichten zu bilden. Für die so gebildete einzelne n-Schicht und für die so gebildeten nn-Folgeschichten wurden die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung und die Temperung mittels Laserstrahl durchgeführt und die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung wurde mit dem SR-Verfahren gemessen. Die Bedingungen bei der Temperung mittels elektrischer Heizvorrichtung und mittels Laser waren die gleichen wie die bei der Aktivierung der oben beschriebenen pp-Folgeschichten.

[0161] In Fig. 20 ist die jeweilige Verunreinigungs-konzentrationsverteilung für die folgenden Fälle angegeben: Tempn mit elektrischer Heizvorrichtung an der Einzel-n-Schicht (durchgezogene Linie); Tempn mit elektrischer Heizvorrichtung an den nn-Folgeschichten (gepunktete Linie); Tempn der Einzel-n-Schicht mittels Laser (lang-kurz-gestrichelte Linie); und Temperung mittels Laser an den nn-Folgeschichten (gestrichelte Linie).

[0162] Wie Fig. 20 zeigt, liefert die an der einzelnen n-Schicht, bei der die Implantation mit hoher Beschleunigungsenergie durchgeführt wird, durchgeführte Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung, eine die Verunreinigungs-konzentration, die infolge der Reichweite der implantierten Ionen im flachen Bereich an der Oberseitenfläche des Substrats niedriger wird. Auch bei der an der einzelnen n-Schicht durchgeführten Temperung mittels Laser kann die Schicht nicht aktiviert werden. Die an den nn-Folgeschichten durchgeführte Temperung mit elektrischer Heizvorrichtung erhöht die Verunreini-

gungskonzentration sowohl im flachen Bereich als auch im tiefen Bereich. Und die mit Laser an den nn-Folgeschichten durchgeführte Temperung erhöht die Verunreinigungskonzentration im flachen Bereich ganz erheblich. Der Grund hierfür ist, daß ebenso wie im Fall der Aktivierung der oben beschriebenen pp-Folgeschichten die Aktivierung durch den gepulsten Strahl mit einer großen Halbwertsbreite durchgeführt wird, wodurch die Wärme für eine lange Zeit übertragen wird und die Rekristallisation der amorphen Schicht bei der Laserbestrahlung induziert wird.

**[0163]** Diese Aktivierung der nn-Folgeschichten durch die Laser Temperung ist insbesondere effektiv für ein Bauelement wie eine FWD, bei der nur die n-Schicht aktiviert werden muß, und für die Formierung von nn-Folgeschichten, bei denen die Beeinträchtigung durch Partikel ein Problem bilden kann.

**[0164]** Wie anhand der dritten Durchführungsform erläutert wurde, können durch Anwendung der Erfindung sowohl beim Bilden von pp-Folgeschichten als auch beim Bilden von nn-Folgeschichten sowohl der flache Bereich als auch der tiefere Bereich von der Substratoberfläche aus effektiv aktiviert werden.

**[0165]** Nachfolgend wird eine vierte Durchführungsform erläutert.

**[0166]** Für die vierte Durchführungsform wird der Fall erläutert, daß die folgenden aufeinanderfolgenden Schichten aktiviert werden sollen: Eine argoninduzierte Schicht (Ar-Schicht), in die Argonionen ( $\text{Ar}^+$ ) als Verunreinigungen implantiert wurden, eine p-Schicht, und aufeinanderfolgende Schichten aus Ar-Schicht und n-Schicht. Dies ist wie bei der dritten Durchführungsform auch effektiv, wenn zur Vermeidung des Effekts von Partikeln Verunreinigungen in einen Bereich mit einer Tiefe, die die Tiefe der vorhandenen Partikel übertrifft, implantiert werden. Bei der vierten Durchführungsform werden jedoch nur die p-Schicht oder die n-Schicht, die im Wechsel zur Ar-Schicht vorliegt, aktiviert.

**[0167]** Zuerst wird der Fall beschrieben, daß in einem flachen Bereich der aufeinanderfolgenden Ar- und p-Schichten, in die zuerst Argonionen und dann Borionen implantiert werden, die p-Schicht aktiviert werden soll.

**[0168]** [Fig. 21](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungskonzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren an der p-Schicht in den aufeinanderfolgenden Schichten Ar-Schicht und p-Schicht.

**[0169]** In [Fig. 21](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. In das FZ-N-Substrat wurden zuerst Argonionen mit einer Dosis

von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV implantiert, und wurden dann Borionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 150 keV implantiert, um die aufeinanderfolgenden Schichten, nämlich die Ar-Schicht und die p-Schicht, zu bilden. In den so gebildeten aufeinanderfolgenden Schichten der Ar-Schicht und der p-Schicht wird die Verunreinigungskonzentrationsverteilung mit dem SR-Verfahren für den Fall gemessen, daß eine Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung oder mit einer Laserbestrahlung durchgeführt wurde. Das Tempern mit der elektrischen Heizvorrichtung wird bei  $400^\circ\text{C}$  für die Dauer einer Stunde durchgeführt und die Temperung mittels Laser wird für die Verwendung von zwei Laserstrahlungsapparaturen mit YAG2w-Lasern durchgeführt, wobei die Bestrahlungsenergie des gepulsten Laserstrahls jeder Laserstrahlungsapparatur  $2,0 \text{ J/cm}^2$ , die gesamte Bestrahlungsenergie  $4,0 \text{ J/cm}^2$  und die Halbwertsbreite 100 ns betragen. Die Verzögerungszeit wird auf 300 ns gesetzt und die Überlappungsrelation der Laserbestrahlung beträgt 90%.

**[0170]** In [Fig. 21](#) ist die jeweilige Verunreinigungskonzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung (gepunktete Linie) und Temperung mit Hilfe eines Lasers (kurz-kurz-lang-gestrichelte Linie). Zum Vergleich ist zusätzlich die Verunreinigungskonzentrationsverteilung (durchgehende Linie) für den Fall eingezeichnet, daß das Tempern mit der elektrischen Heizvorrichtung nur mit der p-Schicht durchgeführt wird, die gebildet ist durch das Implantieren von Verunreinigungen unter den genannten Bedingungen (Dosis von  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  und Beschleunigungsenergie von 150 keV) ohne Bilden der Ar-Schicht.

**[0171]** Durch das Durchführen der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung kann, wenn die Ar-Schicht gebildet ist, die Verunreinigungskonzentration im Vergleich zum Fall ohne Ar-Schicht höher werden. Durch die Durchführung der Laser-Temperung können jedoch bei vorhandener Ar-Schicht die Verunreinigungskonzentrationen sowohl im flachen Bereich als auch im tiefen Bereich von der Substratoberfläche aus noch weiter erhöht werden. Durch die Lasertemperung können Verunreinigungsatome, die im flachen Bereich implantiert sind, zum tieferen Bereich aktiviert werden. Außerdem ist durch die Lasertemperung eine Aktivierung in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden möglich.

**[0172]** Als nächstes wird der Fall der Aktivierung der p-Schicht in einem tiefen Bereich der aufeinanderfolgenden Schichten von p-Schicht und Ar-Schicht beschrieben, wobei in diese aufeinanderfolgenden Schichten zuerst Borionen und dann Argonionen implantiert werden.

**[0173]** [Fig. 22](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungs-konzentrationsverteilung zu den Aktivierungsverfahren für die p-Schicht in den aufeinanderfolgenden Schichten von p-Schicht und Ar-Schicht.

**[0174]** In [Fig. 22](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungs-konzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Es erfolgt hier am FZ-N-Substrat zuerst eine Implantierung von Borionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV und dann eine Implantierung von Argonionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV zur Bildung der aufeinanderfolgenden Schichten von p-Schicht und Ar-Schicht. An diesen aufeinanderfolgenden Schichten von p-Schicht und Ar-Schicht wird die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung mit dem SR-Verfahren gemessen, wenn eine Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung oder eine Temperung mit Laserbestrahlung durchgeführt wird. Die Bedingungen der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung und der Temperung mit der Laserbestrahlung sind die gleichen wie die oben im Fall der Aktivierung der dort beschriebenen aufeinanderfolgenden Schichten aus Ar-Schicht und p-Schicht.

**[0175]** In [Fig. 22](#) ist die jeweilige Verunreinigungs-konzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung (gepunktete Linie) und Temperung durch Laserbestrahlung (kurz-kurz-lang-gestrichelte Linie). Außerdem ist zum Vergleichszweck in [Fig. 22](#) auch noch die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung (als durchgehende Linie) für den Fall gezeigt, daß eine Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung bei nur der p-Schicht durchgeführt wird, indem Verunreinigungsionen unter den oben genannten Bedingungen (eine Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und eine Beschleunigungsenergie von 240 keV) ohne Vorhandensein der Ar-Schicht gebildet wird.

**[0176]** Unabhängig davon, ob die Ar-Schicht gebildet wird oder nicht, erweist sich die Verunreinigungs-konzentration im flachen Bereich von der Substratoberfläche aus bei der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung als niedrig, so daß dieser Bereich nicht ausreichend aktiviert werden kann. Wird andererseits, wenn die Ar-Schicht hergestellt ist, die Temperung durch Laserbestrahlung durchgeführt, so erhöht sich die Verunreinigungs-konzentration im flachen Bereich, und die im tiefen Bereich ist ebenfalls hoch. Dies kommt daher, daß die Aktivierung durch den gepulsten Strahl mit einer großen Halbwertsbreite durchgeführt wird, wodurch die Wärmeübertragungszeit lang wird und die Rekristallisation der amorphen Schicht bei der Laserbestrahlung induziert wird. Bei der Laserbestrahlung wird die Ar-

Schicht bis zu einer Temperatur in der Größenordnung von  $1.400^\circ\text{C}$  erhitzt, was bewirkt, daß das Argon als ein Edelgas verdampft und die p-Schicht zum Verbleiben an der Substratoberfläche gebracht wird. Durch die Laser-Temperung können die im tiefen Bereich implantierten Verunreinigungs-atome zum flachen Bereich hin und weiter bis zur Substratoberfläche aktiviert werden. Außerdem ist durch die Laser-Temperung die Aktivierung in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden möglich. Eine solche Aktivierung durch Laser-Temperung ist insbesondere effektiv für ein Bauelement wie ein NPT-IGBT oder ein in Rückwärtsrichtung sperrender IGBT, bei dem nur die p-Schicht aktiviert werden muß, und für die Bildung der p-Schicht, die durch Partikel beeinträchtigt sein kann.

**[0177]** Im folgenden wird der Fall der Aktivierung der n-Schicht in einem flachen Bereich der aufeinanderfolgenden Schichten von Ar-Schicht und n-Schicht beschrieben, wobei in die aufeinanderfolgenden Schichten zuerst die Argonionen und dann Phosphorionen implantiert werden.

**[0178]** [Fig. 23](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungs-konzentrationsverteilung zu verschiedenen Aktivierungsverfahren bei der n-Schicht in der Schichtenfolge von Ar-Schicht und n-Schicht.

**[0179]** In [Fig. 23](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungs-konzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Es wurden hier zuerst Argonionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV in das FZ-N-Substrat implantiert und dann wurden mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 150 keV Phosphorionen implantiert, um die Schichtenfolge der Ar-Schicht und der n-Schicht zu bilden. An dieser Schichtenfolge wurde eine Temperung einerseits mit einer elektrischen Heizvorrichtung und andererseits mit einer Laserbestrahlung durchgeführt und die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung wurde nach dem SR-Verfahren gemessen. Die Bedingungen der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung bzw. mit dem Laser waren die gleichen wie die im Fall der Aktivierung der oben beschriebenen Schichtenfolge aus der Ar-Schicht und der p-Schicht.

**[0180]** In [Fig. 23](#) ist die jeweilige Verunreinigungs-konzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung (gepunktete Linie) und zum Temperung mit Hilfe der Laserbestrahlung (lang-kurz-gestrichelte Linie), und zum Vergleich ist in [Fig. 23](#) außerdem (als durchgezogene Linie) die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung im Fall dargestellt, daß die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt wurde, und zwar bei Vorhandensein von nur der n-Schicht,



die gebildet wurde durch Implantieren von Verunreinigungen unter den oben angegebenen Bedingungen (Dosis  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  und Beschleunigungsenergie von 150 keV), ohne Bildung der Ar-Schicht.

**[0181]** Wird im Fall, daß die Ar-Schicht gebildet worden ist, die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt, so kann man erreichen, daß die Verunreinigungskonzentration im Vergleich zum Fall ohne Ar-Schicht höher ist. Jedoch kann durch Durchführung der Temperung mit der Laserbestrahlung bei vorhandener Ar-Schicht die Verunreinigungskonzentration sowohl im flachen Bereich als auch im tiefen Bereich, von der Substratoberfläche aus, noch weiter erhöht werden. Durch die Laser-Temperung können also Verunreinigungsatome, die im flachen Bereich implantiert sind, zum tieferen Bereich aktiviert werden. Außerdem ist durch die Laser-Temperung eine Aktivierung in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden möglich.

**[0182]** Im folgenden wird der Fall beschrieben, daß die n-Schicht in einem tiefen Bereich der Schichtenfolge aus der n-Schicht und der Ar-Schicht aktiviert wird, wobei zuerst in diese Schichtenfolge Phosphorien und dann Argonionen implantiert wurden.

**[0183]** [Fig. 24](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungskonzentrationsverteilung zu verschiedenen Aktivierungsverfahren bei der n-Schicht in der Schichtenfolge von n-Schicht und Ar-Schicht.

**[0184]** In [Fig. 24](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Es wurden hier zuerst Phosphorien mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV in das FZ-N-Substrat implantiert und dann wurden mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV Argonionen implantiert, um die Schichtenfolge der n-Schicht und der Ar-Schicht zu bilden. An dieser Schichtenfolge wurde eine Temperung einerseits mit einer elektrischen Heizvorrichtung und andererseits mit einer Laserbestrahlung durchgeführt und die Verunreinigungskonzentrationsverteilung wurde nach dem SR-Verfahren gemessen. Die Bedingungen der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung bzw. mit dem Laser waren die gleichen wie die im Fall der Aktivierung der p-Schicht im flachen Bereich der oben beschriebenen Schichtenfolge aus der Ar-Schicht und der p-Schicht.

**[0185]** In [Fig. 24](#) ist die jeweilige Verunreinigungskonzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung (gepunktete Linie) und Temperung mit Hilfe der Laserbestrahlung (lang-kurz-gestrichelte Linie), und zum Vergleich ist in [Fig. 23](#) außerdem (als durchgezogene Linie) die Verunreinigungskonzentrations-

verteilung im Fall dargestellt, daß die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt wurde, und zwar bei Vorhandensein von nur der n-Schicht die gebildet wurde durch Implantieren von Verunreinigungen unter den oben angegebenen Bedingungen (Dosis  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und Beschleunigungsenergie von 240 keV), ohne Bildung der Ar-Schicht.

**[0186]** Unabhängig davon, ob die Ar-Schicht gebildet wird oder nicht, erweist sich die Verunreinigungskonzentration im flachen Bereich von der Substratoberfläche aus bei der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung als niedrig, so daß dieser Bereich nicht ausreichend aktiviert werden kann. Wird andererseits, wenn die Ar-Schicht hergestellt ist, die Temperung durch Laserbestrahlung durchgeführt, so erhöht sich die Verunreinigungskonzentration im flachen Bereich, und die im tiefen Bereich ist ebenfalls hoch. Dies kommt daher, daß die Aktivierung durch den gepulsten Strahl mit einer großen Halbwertsbreite durchgeführt wird, wodurch die Wärmeübertragungszeit lang wird und die Rekristallisation der amorphen Schicht bei der Laserbestrahlung induziert wird. Bei der Laserbestrahlung verdampft das Argon und die p-Schicht verbleibt an der Substratoberflächenseite. Durch die Laser-Temperung können die im tiefen Bereich implantierten Verunreinigungsatome zum flachen Bereich aktiviert werden. Außerdem ist durch die Laser-Temperung die Aktivierung in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden möglich. Eine solche Aktivierung durch Laser-Temperung ist insbesondere effektiv für ein Bauelement wie ein FWD, bei dem nur die n-Schicht aktiviert werden muß, und für die Bildung der n-Schicht, die durch Partikel beeinträchtigt sein kann.

**[0187]** Phosphor zeigt als Element, das schwerer ist als Bor, einen geringeren Segregationseffekt als Bor. Bei gleicher Dosis und Beschleunigungsenergie wird also bei Verwendung von Phosphor die Verunreinigungskonzentration auf der Oberflächenseite niedriger und die Diffusionstiefe flacher als im Fall der Verwendung von Bor.

**[0188]** Wie erläutert, können nach dem Implantieren zuerst von Argonionen und dann von Borionen oder Phosphorien, oder nach dem Implantieren zuerst von Borionen oder Phosphorien und dann von Argonionen, die p-Schicht und die n-Schicht aktiviert werden. Der Grund hierfür ist, daß der Bereich, in den Argonionen implantiert werden, eine amorphe Schicht wird, und die amorphe Ar-Schicht sich bei der Temperung so verhält, daß die Aktivierung der p-Schicht und der n-Schicht, in die die jeweiligen Verunreinigungen vor oder nach der Implantierung der Argonionen implantiert worden sind, beschleunigt wird. Dies ist auch insofern sehr effektiv, als bei der Durchführung der Temperung mit den aufeinanderfolgend abgestrahlten gepulsten Laserstrahlen die p-Schicht und die n-Schicht in sehr kurzer Zeit in der

Größenordnung von Nanosekunden aktiviert werden können, wobei insbesondere mit der Aktivierung der Schicht auf der tiefen Seite die Verunreinigungskonzentration im flachen Bereich an der Substratoberflächenseite hoch gemacht werden kann.

**[0189]** Wie anhand der vierten Durchführungsform beschrieben wurde, können auch im Fall der Aktivierung der Schichtenfolge der Ar-Schicht und der p-Schicht und der Schichtenfolge der Ar-Schicht und der n-Schicht durch Anwendung der Erfindung sowohl der flache Bereich als auch der tiefere Bereich von der Substratoberfläche her effektiv aktiviert werden.

**[0190]** Als nächstes wird eine fünfte Durchführungsform beschrieben.

**[0191]** Bei der Beschreibung der fünften Durchführungsform wird der Fall behandelt, daß eine Schichtenfolge einer siliziuminduzierten Schicht (Si-Schicht), in die als Verunreinigungen Siliziumionen ( $\text{Si}^+$ ) implantiert wurden, und einer p-Schicht, und weiterhin folgender Schichten aus Si-Schicht und n-Schicht aktiviert werden Dies ist ebenso wie bei der vierten Durchführungsform auch dann effektiv, wenn die Verunreinigungen in einem Bereich implantiert sind, der tiefer ist als die vorhandenen Partikel, und es werden nur die p-Schicht oder die n-Schicht in der Schichtenfolge aktiviert.

**[0192]** Als erstes wird der Fall der Aktivierung der p-Schicht, die eine flache Region der aufeinanderfolgenden Schichten von Si-Schicht und p-Schicht wird, beschrieben, wobei in die aufeinanderfolgenden Schichten zuerst die Siliziumionen und dann Borionen implantiert werden.

**[0193]** **Fig. 25** zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungskonzentrationsverteilung zu verschiedenen Aktivierungsverfahren bei der p-Schicht in der Schichtenfolge von Si-Schicht und p-Schicht.

**[0194]** In **Fig. 25** sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Es wurden hier zuerst Siliziumionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV in das FZ-N-Substrat implantiert und dann wurden mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 150 keV Borionen implantiert, um die Schichtenfolge der Si-Schicht und der p-Schicht zu bilden. An dieser Schichtenfolge wurde eine Temperung einerseits mit einer elektrischen Heizvorrichtung und andererseits mit einer Laserbestrahlung durchgeführt und die Verunreinigungskonzentrationsverteilung wurde nach dem SR-Verfahren gemessen. Die Bedingungen der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung bzw. mit dem Laser wa-

ren die gleichen wie die im Fall der vierten Durchführungsform. Nämlich erfolgt die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung bei  $400^\circ\text{C}$  eine Stunde lang und die Temperung mit der Laserbestrahlung unter Verwendung von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen mit YAG2 $\omega$ -Lasern mit einer Bestrahlungsenergiedichte des gepulsten Strahls jeder Laserstrahlungsvorrichtung in Höhe von  $2,0 \text{ J/cm}^2$ , einer gesamten Bestrahlungsenergiedichte in Höhe von  $4,0 \text{ J/cm}^2$  und einer Halbwertsbreite von 100 ns. Die Verzögerungszeit beträgt 300 ns und die Überlappungsrelation der Laserbestrahlung beträgt 90%.

**[0195]** In **Fig. 25** ist die jeweilige Verunreinigungskonzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung (gepunktete Linie) und Temperung mit Hilfe der Laserbestrahlung (lang-kurz-gestrichelte Linie), und zum Vergleich ist in **Fig. 25** außerdem (als durchgezogene Linie) die Verunreinigungskonzentrationsverteilung im Fall dargestellt, daß die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt wurde, und zwar bei Vorhandensein von nur der n-Schicht, die gebildet wurde durch Implantieren von Verunreinigungen unter den oben angegebenen Bedingungen (Dosis  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  und Beschleunigungsenergie von 150 keV), ohne Bildung der Si-Schicht.

**[0196]** Wird im Fall, daß die Si-Schicht gebildet worden ist, die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt, so kann man erreichen, daß die Verunreinigungskonzentration im Vergleich zum Fall ohne Si-Schicht höher ist. Jedoch kann durch Durchführung der Temperung mit der Laserbestrahlung bei vorhandener Si-Schicht die Verunreinigungskonzentration sowohl im flachen Bereich als auch im tiefen Bereich, von der Substratoberfläche aus, noch weiter erhöht werden. Durch die Laser-Temperung können also Verunreinigungsatome, die im flachen Bereich implantiert sind, zum tieferen Bereich aktiviert werden. Außerdem ist durch die Laser-Temperung eine Aktivierung in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden möglich.

**[0197]** Im folgenden wird der Fall beschrieben, daß die p-Schicht in einem tiefen Bereich der Schichtfolge aus der p-Schicht und der Si-Schicht aktiviert wird, wobei zuerst in diese Schichtenfolge Borionen und dann Siliziumionen implantiert werden.

**[0198]** **Fig. 26** zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungskonzentrationsverteilung zu verschiedenen Aktivierungsverfahren bei der p-Schicht in der Schichtenfolge von p-Schicht und Si-Schicht.

**[0199]** In **Fig. 26** sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Es wurden hier zuerst Borionen mit einer Dosis von

$1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV in das FZ-N-Substrat implantiert und dann wurden mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV Siliziumionen implantiert, um die Schichtenfolge der p-Schicht und der Si-Schicht zu bilden. An dieser Schichtenfolge wurde eine Temperung einerseits mit einer elektrischen Heizvorrichtung und andererseits mit einer Laserbestrahlung durchgeführt und die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung wurde nach dem SR-Verfahren gemessen. Die Bedingungen der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung bzw. mit dem Laser waren die gleichen wie die im Fall der Aktivierung der oben beschriebenen Schichtenfolge aus der Si-Schicht und der p-Schicht.

**[0200]** In [Fig. 26](#) ist die jeweilige Verunreinigungs-konzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung (gepunktete Linie) und Temperung mit Hilfe der Laserbestrahlung (lang-kurz-gestrichelte Linie), und zum Vergleich ist in [Fig. 26](#) außerdem (als durchgezogene Linie) die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung im Fall dargestellt, daß die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt wurde, und zwar bei Vorhandensein von nur der p-Schicht, die gebildet wurde durch Implantieren von Verunreinigungsionen unter den oben angegebenen Bedingungen (Dosis  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und Beschleunigungsenergie von 240 keV), ohne Bildung der Si-Schicht.

**[0201]** Unabhängig davon, ob die Si-Schicht gebildet wird oder nicht, erweist sich die Verunreinigungs-konzentration im flachen Bereich von der Substratoberfläche aus bei der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung als niedrig, so daß dieser Bereich rocht ausreichend aktiviert werden kann. Wird andererseits bei vorhandener Si-Schicht die Temperung durch Laserbestrahlung durchgeführt, so erhöht sich die Verunreinigungs-konzentration im flachen Bereich und die im tiefen Bereich ist ebenfalls hoch. Dies kommt daher, daß die Aktivierung durch den gepulsten Strahl mit einer großen Halbwertsbreite durchgeführt wird, wodurch die Wärmeübertragungszeit lang wird und die Rekristallisation der amorphen Schicht bei der Laserbestrahlung induziert wird. Durch die Laser-Temperung können die im tiefen Bereich implantierten Verunreinigungsatome zum flachen Bereich aktiviert werden. Außerdem ist die Aktivierung in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden möglich. Eine solche Aktivierung durch Laser Temperung ist insbesondere effektiv für ein Bauelement wie ein NPT-IGBT oder ein NPT-IGBT oder einen in Rückwärtsrichtung sperrender IGBT, bei dem nur die p-Schicht aktiviert werden muß, und für die Bildung der p-Schicht, die durch Partikel beeinträchtigt sein kann.

**[0202]** Im folgenden wird der Fall beschrieben, daß die n-Schicht in einem flachen Bereich der Schicht-

folge aus der Si-Schicht und der n-Schicht aktiviert wird, wobei zuerst in diese Schichtenfolge Siliziumionen und dann Phosphorionen implantiert werden.

**[0203]** [Fig. 27](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungs-konzentrationsverteilung zu verschiedenen Aktivierungsverfahren an der n-Schicht in der Schichtenfolge von Si-Schicht und n-Schicht.

**[0204]** In [Fig. 27](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungs-konzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Es wurden hier zuerst Siliziumionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV in das FZ-N-Substrat implantiert und dann wurden mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 150 keV Phosphorionen implantiert, um die Schichtenfolge der Si-Schicht und der n-Schicht zu bilden. An dieser Schichtenfolge wurde eine Temperung einerseits mit einer elektrischen Heizvorrichtung und andererseits mit einer Laserbestrahlung durchgeführt und die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung wurde nach dem SR-Verfahren gemessen. Die Bedingungen der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung bzw. mit dem Laser waren die gleichen wie die im Fall der Aktivierung der oben beschriebenen Schichtenfolge aus der Si-Schicht und der p-Schicht.

**[0205]** In [Fig. 27](#) ist die jeweilige Verunreinigungs-konzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung (gepunktete Linie) und Temperung mit Hilfe der Laserbestrahlung (lang-kurz-gestrichelte Linie), und zum Vergleich ist in [Fig. 27](#) außerdem (als durchgezogene Linie) die Verunreinigungs-konzentrationsverteilung im Fall dargestellt, daß die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt wurde, und zwar bei Vorhandensein von nur der n-Schicht, die gebildet wurde durch Implantieren von Verunreinigungsionen unter den oben angegebenen Bedingungen (Dosis  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  und Beschleunigungsenergie von 150 keV), ohne Bildung der Si-Schicht.

**[0206]** Wird im Fall, daß die Si-Schicht gebildet worden ist, die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt, so kann man erreichen, daß die Verunreinigungs-konzentration im Vergleich zum Fall ohne Si-Schicht höher ist. Jedoch kann durch Durchführung der Temperung mit der Laserbestrahlung bei vorhandener Si-Schicht die Verunreinigungs-konzentration speziell im flachen Bereich, von der Substratoberfläche aus, noch weiter erhöht werden. Durch die Laser-Temperung können also Verunreinigungsatome, die im flachen Bereich implantiert sind, zum tieferen Bereich aktiviert werden. Außerdem ist eine Aktivierung in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden möglich.

**[0207]** Im folgenden wird der Fall beschrieben, daß die n-Schicht in einem tiefen Bereich der Schichtfolge aus der n-Schicht und der Si-Schicht aktiviert wird, wobei zuerst in diese Schichtenfolge Phosphorionen und dann Siliziumionen implantiert werden.

**[0208]** **Fig. 28** zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungskonzentrationsverteilung zu verschiedenen Aktivierungsverfahren an der n-Schicht in der Schichtenfolge von n-Schicht und Si-Schicht.

**[0209]** In **Fig. 28** sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in  $\mu\text{m}$  von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Es wurden hier zuerst Phosphorionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV in das FZ-N-Substrat implantiert und dann wurden mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV Siliziumionen implantiert, um die Schichtenfolge der n-Schicht und der Si-Schicht zu bilden. An dieser Schichtenfolge wurde eine Temperung einerseits mit einer elektrischen Heizvorrichtung und andererseits mit einer Laserbestrahlung durchgeführt und die Verunreinigungskonzentrationsverteilung wurde nach dem SR-Verfahren gemessen. Die Bedingungen der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung bzw. mit dem Laser waren die gleichen wie die im Fall der Aktivierung der oben beschriebenen Schichtenfolge aus der Si-Schicht und der p-Schicht.

**[0210]** In **Fig. 28** ist die jeweilige Verunreinigungskonzentrationsverteilung für die folgenden Fälle dargestellt: Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung (gepunktete Linie) und Temperung mit Hilfe der Laserbestrahlung (lang-kurz-gestrichelte Linie), und zum Vergleich ist in **Fig. 28** außerdem (als durchgezogene Linie) die Verunreinigungskonzentrationsverteilung im Fall dargestellt, daß die Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung durchgeführt wurde, und zwar bei Vorhandensein von nur der n-Schicht, die gebildet wurde durch Implantieren von Verunreinigungen unter den oben angegebenen Bedingungen (Dosis  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und Beschleunigungsenergie von 240 keV), ohne Bildung der Si-Schicht.

**[0211]** Unabhängig davon, ob die Si-Schicht gebildet wird oder nicht, erweist sich die Verunreinigungskonzentration im flachen Bereich von der Substratoberfläche aus bei der Temperung mit der elektrischen Heizvorrichtung als niedrig, so daß dieser Bereich nicht ausreichend aktiviert werden kann. Wird andererseits bei Vorhandensein der Si-Schicht die Temperung durch Laserbestrahlung durchgeführt, so erhöht sich die Verunreinigungskonzentration im flachen Bereich und die im tiefen Bereich ist ebenfalls hoch. Dies kommt daher, daß die Aktivierung durch den gepulsten Strahl mit einer großen Halbwertsbreite durchgeführt wird, wodurch die Wärmeübertragungszeit lang

wird und die Rekristallisation der amorphen Schicht bei der Laserbestrahlung induziert wird. Durch die Laser-Temperung können die im tiefen Bereich implantierten Verunreinigungsatome zum flachen Bereich aktiviert werden. Außerdem ist die Aktivierung in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden möglich. Eine solche Aktivierung durch Laser-Temperung ist insbesondere effektiv für ein Bauelement wie eine FWD, bei der nur die n-Schicht aktiviert werden muß, und für die Bildung der n-Schicht, die durch Partikel beeinträchtigt sein kann.

**[0212]** Wie oben erläutert, können nach Implantierung zuerst von Siliziumionen und dann von Borionen oder Phosphorionen oder nach Implantierung zuerst von Borionen oder Phosphorionen und dann von Siliziumionen die p-Schicht und die n-Schicht aktiviert werden. Die Grund hierfür ist der gleiche wie der für die Aktivierung bei Verwendung der Ar-Schicht, wie oben im Zusammenhang mit der vierten Durchführungsform erläutert wurde. Die Aktivierung ist somit sehr effektiv, da der flache Bereich zusammen mit dem tiefen Bereich in einer sehr kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden aktiviert werden kann.

**[0213]** Der Effekt der Implantierung von Siliziumionen ist bereits dokumentiert worden (Nakada u. a., J. Appl. Phys., 81(6), 15. März 1997). Die erfindungsgemäße Lasertemperung ermöglicht es jedoch, ohne Durchführung einer mehrstufigen Implantation und einer zeitlich ausgedehnten Temperung, wie es der Publikation entspricht, einen flachen Bereich und einen tieferen Bereich an der Substratoberflächenfläche in kurzer Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden zu aktivieren.

**[0214]** Wie anhand der fünften Durchführungsform erläutert wurde, können durch Anwendung der Erfindung auch im Fall der Aktivierung der Schichtenfolge aus der Si-Schicht und der p-Schicht und der Schichtenfolge aus der Si-Schicht und der n-Schicht sowohl der flache Bereich als auch der tiefere Bereich von der Substratoberfläche aus effektiv aktiviert werden.

**[0215]** Die Bedingungen der Lasertemperung, wie sie anhand der zweiten bis fünften Durchführungsformen erläutert wurden, können innerhalb des Bereichs modifiziert werden, der für die erste Durchführungsform beschrieben wurde. Mit den innerhalb des Wertebereichs liegenden Bedingungen können die selben Ergebnisse erzielt werden wie die anhand der zweiten bis fünften Durchführungsform beschriebenen.

**[0216]** In gleicher Weise wie es anhand der ersten Durchführungsform beschrieben wurde, kann auch bei der zweiten bis fünften Durchführungsform im Rahmen der Technologie der Herstellung einer dünnen Scheibe durch das Verfahren der Befestigung



der Scheibe auf einem Trägersubstrat durch ein Klebeblatt, die Aktivierung der p-Schicht und der n-Schicht in sehr kurzer Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden realisiert werden. Außerdem kann bei der Herstellung eines Halbleiterelements wie eines IGBTs im FZ-Substrat eine tiefe dotierte Schicht gebildet werden, ohne ein epitaxiales Substrat zu verwenden. Weiterhin können bei der Herstellung von FS-IGBTs die p-Schicht und die n-Schicht an der Unterseite aktiviert werden, ohne einen thermischen Effekt auf die Oberseite auszuüben, an der Elementenstrukturen wie Transistoren bereits gebildet sein können.

**[0217]** Auch wenn kein Klebeblatt verwendet wird, kann das Tempern durch Laserbestrahlung zusammen mit dem Tempern durch eine elektrische Heizvorrichtung durchgeführt werden. In diesem Fall kann die Temperung durch die elektrische Heizvorrichtung unabhängig davon veranstaltet werden, ob sie vor oder nach der Laser-Temperung durchgeführt wird.

**[0218]** Als nächstes werden anhand einer sechsten und einer siebten Durchführungsform Erläuterungen zur Verzögerungszeit und zur Überlappungsrelation der gepulsten Strahlen bei der Aktivierung dotierter Schichtbereiche durch Lasertemperung gegeben.

**[0219]** Zunächst wird die sechste Durchführungsform beschrieben. Es wird hier anhand eines beispielhaften Falls eine in's einzelne gehende Erläuterung der Abläufe in Abhängigkeit von der Verzögerungszeit des gepulsten Strahls gegeben. Hierbei werden drei aufeinanderfolgende Schichten aktiviert, wobei wie bei der oben erläuterten zweiten Durchführungsform als Oberflächen-Kontaktschicht eine p-Schicht auf einer pn-Schichtenfolge durch Implantieren von Phosphorionen, Borionen und Borfluoridionen im FZ-N-Substrat des FS-IGBTs gebildet wurde.

**[0220]** [Fig. 29](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungskonzentrationsverteilung zur Verzögerungszeit der gepulsten Strahlen bei der Aktivierung der drei aufeinanderfolgenden Schichten.

**[0221]** In [Fig. 29](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in  $\mu\text{m}$  von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Im FZ-N-Substrat wurden Phosphorionen für die n-Schicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV ferner Borionen für die p-Schicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV und Borfluoridionen für die Oberflächenkontaktschicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 80 keV implantiert. An dem FZ-N-Substrat, in dem die aufeinanderfolgenden drei Schichten gebildet wurden, wurde die Verunreinigungskonzentrationsverteilung mit dem SR-Verfahren gemessen,

nachdem eine Temperung durch Laserbestrahlung mit unterschiedlichen Verzögerungszeiten des gepulsten Strahls durchgeführt wurde. Zum Vergleich wurde auch eine Temperung mit einem elektrischen Heizgerät durchgeführt und auch hierfür die Verunreinigungskonzentrationsverteilung gemessen.

**[0222]** Es wurde hierbei die Laser-Temperung bei Verwendung von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen mit YAG2 $\omega$ -Lasern durchgeführt, wobei die Bestrahlungsenergiedichte des gepulsten Strahls jeder Laserstrahlungsvorrichtung  $2,0 \text{ J/cm}^2$  betrug, die gesamte Bestrahlungsenergiedichte also  $4,0 \text{ J/cm}^2$  betrug und die Halbwertsbreite auf 100 ns gesetzt wurde. [Fig. 29](#) zeigt die jeweiligen Verunreinigungskonzentrationsverteilungen nach der Bestrahlung unter Verwendung dieser YAG2 $\omega$ -Laserstrahlungsvorrichtungen mit Verzögerungszeiten des gepulsten Strahls von keiner Verzögerung (0 ns), einer Verzögerung gleich der Halbwertsbreite (100 ns), einer Verzögerung gleich der zweifachen Halbwertsbreite (200 ns), der dreifachen Halbwertsbreite (300 ns) und der achtfachen Halbwertsbreite (800 ns).

**[0223]** Wenn beispielsweise im Fall, daß der von jeder der beiden Laserstrahlungsvorrichtungen abgestrahlte gepulste YAG2 $\omega$ -Laser-Strahl eine Bestrahlungsenergiedichte von  $2,0 \text{ J/cm}^2$ , eine Halbwertsbreite von 100 ns und eine Verzögerungszeit von 300 ns hat, wie es in [Fig. 30](#) veranschaulicht ist, sind ein vorauslaufender Strahlungsimpuls **10c** und ein nachfolgender Strahlungsimpuls **10d**, die von den jeweiligen Laserstrahlungsvorrichtungen abgestrahlt werden, voneinander um 300 ns beabstandet, wobei die gesamte Bestrahlungsenergiedichte  $4,0 \text{ J/cm}^2$  wird.

**[0224]** Bei den in [Fig. 29](#) dargestellten Ergebnissen der Verunreinigungskonzentrationsmessungen wird die Überlappungsrelation der gepulsten Strahlen der jeweiligen Laserstrahlungsvorrichtungen konstant mit 90% angenommen. Die durch die Temperung mit einer elektrischen Heizvorrichtung erzielte Verunreinigungskonzentrationsverteilung, die dargestellt wurde, wurde erhalten durch eine Temperung bei  $400^\circ\text{C}$  eine Stunde lang.

**[0225]** Aus [Fig. 29](#) ergibt sich, daß die n-Schicht in dem von der Oberfläche her tiefen Bereich stärker aktiviert wird, wenn die Verzögerungszeiten, in dieser Reihenfolge, 0 ns, 100 ns, 200 ns, 800 ns, 500 ns und 300 ns betragen. Die Verunreinigungskonzentration ist besonders hoch, wenn die Verzögerungszeiten mit 500 ns und 300 ns festgesetzt werden. Dies zeigt, daß die Wärme, wenn die Verzögerungszeiten die oben genannten Werte haben, mit sehr guter Effizienz zum tiefen Bereich übertragen werden kann. Die in der Oberflächenkontaktschicht erzeugte und darin absorbierte Wärme wird zur darunter befindli-

chen p-Schicht und weiter zur darunter befindlichen n-Schicht übertragen und in dieser absorbiert.

**[0226]** Im Vergleich hierzu ist die Erhöhung der Verunreinigungskonzentration in der n-Schicht im tiefen Bereich nicht so deutlich, wenn die Verzögerungszeiten 0 ns und 100 ns betragen. Dies kommt daher daß die Verzögerungszeiten zwischen den gepulsten Strahlen in diesen Fällen im Vergleich zu den Verzögerungszeiten von 500 ns und 300 ns in den oben genannten Fällen kürzer sind. Diese kürzeren Verzögerungszeiten erschweren das Erzielen des Effekts der Rekristallisierung der amorphen Schicht durch Laserbestrahlung. Auch wirkt sich die Ableitung so aus, daß die Wärme nur schwer zum tiefen Bereich übertragen werden kann. Und eine bis auf 800 ns verlängerte Verzögerungszeit macht es unmöglich, die Substrattemperatur aufrechtzuerhalten, die zur Aktivierung erforderlich ist, so daß die Erhöhung der Verunreinigungskonzentration im tiefen Bereich unterbleibt.

**[0227]** Somit ist für die Lasertemperatur der drei aufeinanderfolgenden im FS-IGBT gebildeten Schichten festzustellen, daß der Effekt der Erhöhung der Verunreinigungskonzentration erheblich wird, wenn die Verzögerungszeit des abgestrahlten gepulsten Strahls innerhalb eines Bereichs von 300 ns bis 500 ns liegt.

**[0228]** Im folgenden wird zur Verzögerungszeit des gepulsten Strahls eine genauere Erklärung anhand eines beispielhaften Falles gegeben. In diesem Fall wird eine einzelne p-Schicht, die an der Unterseite eines NPT-IGBTs oder eines in Rückwärtsrichtung sperrenden IGBTs gebildet ist, aktiviert.

**[0229]** [Fig. 31](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Borkonzentrationsverteilung zur Verzögerungszeit der gepulsten Strahlen bei der Aktivierung der einzelnen p-Schicht.

**[0230]** In [Fig. 31](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in um von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Borkonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Im FZ-N-Substrat wurden die Borionen mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV implantiert. Nachdem am FZ-N-Substrat, in dem diese einzelne p-Schicht gebildet wurde, eine Temperatur durch Laserbestrahlung mit unterschiedlichen Verzögerungszeiten des gepulsten Strahls durchgeführt wurde, wurde mit dem SR-Verfahren die jeweilige Verunreinigungskonzentrationsverteilung gemessen.

**[0231]** Die Laser-Temperatur wurde durchgeführt unter Verwendung von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen mit YAG2 $\omega$ -Lasern, wobei die Bestrahlungsdichte des gepulsten Strahls jeder Laser-

strahlungsvorrichtung  $1,0 \text{ J/cm}^2$  und somit die gesamte Bestrahlungsdichte  $2,0 \text{ J/cm}^2$  betrug und die Halbwertsbreite 100 ns betrug. [Fig. 31](#) zeigt die jeweiligen Verunreinigungskonzentrationsverteilungen, wenn die Laserbestrahlung unter Verwendung von YAG2 $\omega$ -Laserbestrahlungsvorrichtungen mit den folgenden Verzögerungszeiten der gepulsten Strahlen durchgeführt wurde: keine Verzögerung (0 ns), Verzögerungen gleich der Halbwertsbreite (100 ns), der zweifachen Halbwertsbreite (200 ns), der dreifachen Halbwertsbreite (300 ns), der fünffachen Halbwertsbreite (500 ns) und der achtfachen Halbwertsbreite (800 ns). Die Überlappungsrelation der gepulsten Strahlen der jeweiligen Laserstrahlungsvorrichtungen wurde konstant auf 90% festgesetzt.

**[0232]** Aus [Fig. 31](#) ergibt sich ebenso wie aus [Fig. 29](#), daß die n-Schicht im von der Oberfläche aus tiefen Bereich stärker aktiviert wird, wenn die Verzögerungszeiten in dieser Reihenfolge 0 ns, 100 ns, 200 ns, 800 ns, 500 ns und 300 ns betragen. Speziell wird die Verunreinigungskonzentration hoch, wenn die Verzögerungszeiten 500 ns und 300 ns betragen. In dieser einzelnen p-Schicht wird die Aktivierungsrelation üblicherweise 70% oder mehr unabhängig von der Verzögerungszeit. Beträgt die Verzögerungszeit 500 ns, so wird die Aktivierungsrelation 91%, und mit einer Verzögerungszeit von 300 ns wird die Aktivierungsrelation 92%. Mit diesen beiden Verzögerungszeiten kann man hohe Aktivierungsrelationen, von 90% und mehr erzielen. Mit Verzögerungszeiten von 0 ns und 100 ns bewirkt die kurze Verzögerungszeit zwischen den gepulsten Strahlen, daß die durch den Laser bestrahlte p-Schicht im amorphen Zustand verbleibt. Wird jedoch die Laserbestrahlung mit adäquaten Verzögerungszeiten durchgeführt, die als 300 ns und 500 ns gegeben sind, so wird die Rekristallisation der amorphen Schicht beschleunigt und die Bildung der p-Schicht mit wenigen Defekten möglich. Ebenso wie im in [Fig. 29](#) gezeigten Fall wird es jedoch bei einer Erhöhung der Verzögerungszeit auf 800 ns unmöglich, die für die Aktivierung erforderliche Substrattemperatur aufrechtzuerhalten, wodurch die Erhöhung der Verunreinigungskonzentration im tiefen Bereich unterbleibt.

**[0233]** Es ist also festzustellen, daß im Fall der Laser-Temperatur der einzelnen p-Schicht, die im NPT-IGBT oder im in Rückwärtsrichtung sperrenden IGBT gebildet ist, bei einer Verzögerungszeit des abgestrahlten gepulsten Strahls im Bereich von 300 ns bis 500 ns ein erheblicher Effekt der Erhöhung der Verunreinigungskonzentration auftritt.

**[0234]** Die sechste Durchführungsform wurde unter Bezugnahme auf den Fall, daß YAG2 $\omega$ -Laser verwendet werden, beschrieben; jedoch ergibt sich auch im Fall der Verwendung von XeCl-Lasern mit gepulsten Strahlen einer Halbwertsbreite von 50 ns für den

einzelnen Impuls in gleicher Weise der Effekt der Erhöhung der Verunreinigungskonzentration in dem dotierten Schichtbereich besonders erheblich, wenn die Verzögerungszeit des abgestrahlten gepulsten Strahls im Wertebereich von 150 ns bis 250 ns liegt.

**[0235]** Es ist deshalb bei der Aktivierung durch Laser-Temperung unter Verwendung von XeCl-Lasern oder von YAG2 $\omega$ -Lasern zu bevorzugen, daß der Wertebereich der Verzögerungszeit das Dreifache bis Fünffache der Halbwertsbreite des gepulsten Strahls beträgt. Dies kann die Anforderungen wie die nach einer ausreichenden Wärmeübertragung von der Substratoberfläche zum tiefen Bereich, nach einer Kristallisation im dotierten Schichtbereich und nach einer Aufrechterhaltung der Substrattemperatur erfüllen.

**[0236]** Im folgenden wird eine siebte Durchführungsform beschrieben. Hierbei wird anhand eines ersten Beispiels eine in's einzelne gehende Erläuterung hinsichtlich der Überlappungsrelation des gepulsten Strahls gegeben. Beim Beispielsfall werden drei aufeinanderfolgende Schichten aktiviert, nämlich ist wie bei der sechsten Durchführungsform eine p-Schicht als Oberflächenkontaktschicht auf pn-Folgeschichten durch Implantieren von Phosphorionen, Borionen und Borfluoridionen in das FZ-N-Substrat des FS-IGBTs gebildet worden.

**[0237]** [Fig. 32](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Verunreinigungskonzentrationsverteilung zur Überlappungsrelation der gepulsten Strahlen bei der Aktivierung der drei aufeinanderfolgenden Schichten.

**[0238]** In [Fig. 32](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in  $\mu\text{m}$  von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats aus und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. In das FZ-N-Substrat sind Phosphorionen für die n-Schicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 240 keV, Borionen für die p-Schicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV und Borfluoridionen für die Oberflächenkontaktschicht mit einer Dosis von  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 80 keV implantiert worden. Es wurde eine Lasertemperung durchgeführt, wobei die Überlappungsrelation der gepulsten Strahlen verändert wurde, und mit Hilfe des SR-Verfahrens wurden die Verunreinigungskonzentrationsverteilungen gemessen.

**[0239]** Die Lasertemperung wurde durchgeführt unter Verwendung von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen mit YAG2 $\omega$ -Lasern, mit einer Bestrahlungsdichte des gepulsten Strahls jeder Laserstrahlungsvorrichtung von  $2,0 \text{ J/cm}^2$  und somit einer gesamten Bestrahlungsdichte von  $4,0 \text{ J/cm}^2$  und mit einer Halbwertsbreite von 100 ns. Die [Fig. 32](#) zeigt die jeweilige Verunreinigungskonzentrations-

verteilung, wenn die Laserbestrahlung unter Verwendung dieser YAG2 $\omega$ -Laserbestrahlungsvorrichtungen mit Überlappungsrelationen der gepulsten Strahlen von 50%, 75%, 90%, 95% und 98% durchgeführt wurde. Bei den Messungen der Verunreinigungskonzentrationsverteilung, deren Ergebnisse in [Fig. 32](#) dargestellt sind, wurde die Verzögerungszeit zwischen den gepulsten Strahlen der jeweiligen Laserstrahlungsvorrichtungen konstant auf 300 ns festgesetzt.

**[0240]** Aus [Fig. 32](#) ergibt sich, daß die Aktivierung des tiefen Bereichs bei einer Überlappungsrelation von 50% beginnt. Wird die Überlappungsrelation erhöht, so steigt die Verunreinigungskonzentration in der n-Schicht im tiefen Bereich. Dies kommt daher, daß die Zahl der Bestrahlungen des selben Bereichs sich mit einer Erhöhung der Überlappungsrelation erhöht, wodurch die Wärme leicht auch in den tiefen Bereich übertragen wird. Es ist festzustellen, daß die Wärme bei einer Überlappungsrelation von 50% noch nicht effektiv in den tiefen Bereich übertragen wird, jedoch bei einer Überlappungsrelation von 75% oder höher effektiv in den tiefen Bereich übertragen werden kann.

**[0241]** Es wird also bei der Lasertemperung der aufeinanderfolgenden drei im FS-IGBT gebildeten Schichten der Effekt der Erhöhung der Verunreinigungskonzentration dann erheblich, wenn die Überlappungsrelation der abgestrahlten gepulsten Strahlen im Wertebereich zwischen 75% und 98% liegt. Bei einer Überlappungsrelation von 98% zeigt die Verunreinigungskonzentration wenig Änderung gegenüber der bei der Überlappungsrelation von 95%, was charakteristischerweise ein gesättigter Zustand wird. Je höher die Überlappungsrelation gemacht wird, umso länger wird die Zeit zum Bearbeiten einer Scheibe. Es kann deshalb behauptet werden, daß es wenig Vorteil bringt, die Überlappungsrelation bis auf 98% zu erhöhen.

**[0242]** Im folgenden wird die Überlappungsrelation anhand eines zweiten Beispiels im einzelnen untersucht. In diesem zweiten Beispielsfall wird wie bei der sechsten Durchführungsform eine einzelne p-Schicht aktiviert, die an der Unterseite eines NPT-IGBTs oder eines in Rückwärtsrichtung sperrenden IGBTs ausgebildet ist.

**[0243]** [Fig. 33](#) zeigt als Diagramm die Beziehung der Borkonzentrationsverteilung zur Überlappungsrelation der gepulsten Strahlen bei der Aktivierung der einzelnen p-Schicht.

**[0244]** In [Fig. 33](#) sind auf der horizontalen Achse die Tiefe in  $\mu\text{m}$  von der Oberseitenfläche des FZ-N-Substrats und auf der vertikalen Achse die Verunreinigungskonzentration in  $\text{cm}^{-3}$  aufgetragen. Im FZ-N-Substrat sind Borionen mit einer Dosis von

$1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  und einer Beschleunigungsenergie von 50 keV implantiert worden. Es wurde eine Lasertemperatur mit unterschiedlichen Überlappungsrelationen der gepulsten Strahlen durchgeführt. Durch das SR-Verfahren wurde die Verunreinigungskonzentrationsverteilung im FZ-N-Substrat mit der einzelnen p-Schicht gemessen.

**[0245]** Die Lasertemperatur wurde durchgeführt unter Verwendung von zwei Laserstrahlungsvorrichtungen mit YAG2 $\omega$ -Lasern, mit einer Bestrahlungsenergiedichte des gepulsten Strahls jeder Laserstrahlungsvorrichtung von  $1,0 \text{ J/cm}^2$  und somit einer gesamten Bestrahlungsenergiedichte von  $2,0 \text{ J/cm}^2$  und mit einer Halbwertsbreite von 100 ns. Die [Fig. 33](#) zeigt die jeweilige Verunreinigungskonzentrationsverteilung, wenn die Laserbestrahlung unter Verwendung dieser YAG2 $\omega$ -Laserbestrahlungsvorrichtungen mit Überlappungsrelationen der gepulsten Strahlen von 50%, 75%, 90%, 95% und 98% durchgeführt wurde. Die Verzögerungszeit zwischen den gepulsten Strahlen der jeweiligen Laserstrahlungsvorrichtungen konstant auf 300 ns festgesetzt.

**[0246]** Aus [Fig. 33](#) ergibt sich, daß die Borkonzentration hoch ist, aber daß wenig Veränderung in der Borkonzentrationsverteilung beobachtet wird, wenn die Überlappungsrelation 75% oder mehr beträgt. Dies kommt daher, daß der dotierte Schichtbereich als Objekt der Aktivierung eine einzelne Schicht ist. Die Aktivierungsrelation wird zu 80%, selbst bei einer Überlappungsrelation von 50%. Bei einer Überlappungsrelation von 75% oder höher wird die Aktivierungsrelation 90% oder höher. Wird die Überlappungsrelation erhöht, so wird die Rekristallisation der amorphen Schicht beschleunigt, wodurch es möglich wird, eine p-Schicht mit wenig Defekten zu bilden.

**[0247]** Bei der Lasertemperatur der einzelnen im NPT-IGBT oder im in Rückwärtsrichtung sperrenden IGBT gebildeten p-Schicht wird, wenn die Überlappungsrelation der abgestrahlten gepulsten Strahlen im Wertebereich zwischen 50% und 98% liegt, der Effekt der Erhöhung der Borkonzentration erheblich.

**[0248]** Die siebte Durchführungsform wurde unter Bezugnahme auf den Fall, daß YAG2 $\omega$ -Laser verwendet werden, beschrieben; jedoch ergibt sich auch im Fall der Verwendung von XeCl-Lasern in gleicher Weise der Effekt der Erhöhung der Verunreinigungskonzentration in dem dotierten Schichtbereich besonders erheblich, wenn die Überlappungsrelation der abgestrahlten gepulsten Strahlen im Wertebereich zwischen 50% und 98% und speziell zwischen 75% und 95% liegt. Aus den obigen Darlegungen ergibt sich, daß bei der Aktivierung durch Lasertemperatur unter Verwendung von XeCl-Lasern oder YAG2 $\omega$ -Lasern die Überlappungsrelation der gepulsten Strahlen vorzugsweise im Wertebereich zwischen 50%

und 98% und noch bevorzugter zwischen 75% und 95% eingestellt wird.

**[0249]** In den obigen Darlegungen wird unter "Überlappungsrelation" das Verhältnis verstanden, zu dem die gepulsten Strahlen in der Abtastrichtung der gepulsten Strahlen in der Laserbestrahlung zur Überlappung gebracht werden. Wird z. B. bei der üblichen Laserbestrahlung die Abtastrichtung in der X-Richtung definiert, so werden die gepulsten Strahlen mit einer passenden Überlappungsrelation in der X-Richtung überlappt, während sie in der Y-Richtung nur um ein sehr kleines Maß zur Überlappung gebracht werden (in der Größenordnung von 0,5 mm). Wenn es für die für die Lasertemperatur benötigte Zeit keine spezielle Begrenzung gibt, kann die Aktivierung mit hohen Überlappungsrelationen sowohl in der X-Richtung als auch in der Y-Richtung durchgeführt werden.

**[0250]** In gleicher Weise wie es oben für die erste bis fünfte Durchführungsform erläutert wurde, kann auch bei der sechsten und siebten Durchführungsform mit der Technologie der Bildung einer dünnen Scheibe durch das Verfahren der Befestigung der Scheibe auf einem Trägersubstrat durch ein Klebeblatt die Aktivierung der p-Schicht und der n-Schicht in einer sehr kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden realisiert werden. Auch im Fall, daß kein Klebeblatt verwendet wird, kann natürlich die Lasertemperatur zusammen mit der Temperatur durch eine elektrische Heizvorrichtung durchgeführt werden.

**[0251]** Außerdem können die im Zusammenhang mit der sechsten und der siebten Durchführungsform erläuterten Lasertemperaturbedingungen (Verzögerungszeiten und Überlappungsrelationen) auch auf die Lasertemperatur der ersten bis fünften Durchführungsform angewandt werden.

**[0252]** Bei den obigen Darlegungen wurden die Erläuterungen anhand eines IGBTs als Beispiel ausgeführt. Die Erfindung ist jedoch nicht auf IGBTs begrenzt, sondern kann in breitem Umfang auf alle integrierten Schaltkreise zum Aktivieren von pn-Folgeschichten, pp-Folgeschichten, nn-Folgeschichten, einer p-Schicht oder einer n-Schicht angewandt werden, die sich von einem flachen Bereich bis zu einem tiefen Bereich erstrecken, und zwar in einer kurzen Zeit in der Größenordnung von Nanosekunden unabhängig davon, ob die Schicht an der Oberseite oder an der Unterseite liegt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements, umfassend den Verfahrensschritt der Aktivierung eines dotierten Schichtbereichs, in den Verunreinigungen eingeführt wurden, durch einen Laserstrahl, wobei beim Aktivieren des dotierten Schichtbereichs eine Mehrzahl von Laserstrahlungsvorrich-



tungen, von denen jede die Bestrahlung mit einem gepulsten Laserstrahl durchführt, eine aufeinanderfolgende Bestrahlung des dotierten Schichtbereichs für jede Bestrahlungsfläche hiervon mit einer Mehrzahl von gepulsten Strahlen, die einen ersten gepulsten Laserstrahl einer ersten Laserstrahlvorrichtung und einen zweiten gepulsten Laserstrahl einer zweiten Laserstrahlvorrichtung umfasst, durchführt und hierdurch den dotierten Schichtbereich aktiviert; und wobei die gepulsten Strahlen eine rechteckige Impulsform mit gleicher Bestrahlungsenergiedichte und gleicher Halbwertsbreite und eine örtliche Überlappungsrelation bezüglich des dotierten Schichtbereiches zwischen 50% und 98% haben und eine Verzögerungszeit vom Abstrahlen des ersten gepulsten Laserstrahls der ersten Laserstrahlvorrichtung bis zum Abstrahlen des zweiten gepulsten Laserstrahls der zweiten Laserstrahlvorrichtung zwischen 0 ns und 5000 ns liegt oder zwischen 0 ns and 10000 ns bei Verwendung einer YAG Laserstrahlvorrichtung liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der dotierte Schichtbereich als pn-Folgeschichten vorliegt, die aufeinanderfolgend gebildet sind mit einer p-leitend dotierten Schicht, in die p-Typ-Verunreinigungen eingeführt sind, und einer n-leitend dotierten Schicht, in die n-Typ-Verunreinigungen eingeführt sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der dotierte Schichtbereich als aufeinanderfolgende Schichten vorliegt, die aufeinanderfolgend mit dotierten Schichten des gleichen Leitfähigkeitstyps gebildet sind, in die Verunreinigungen gleichen Leitfähigkeitstyps mit einer Dosis und einer Höhe der Beschleunigungsenergie eingeführt werden, die für die Schichten unterschiedlich sind.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der dotierte Schichtbereich als aufeinanderfolgende Schichten vorliegt, die aufeinanderfolgend gebildet sind mit einer argondotierten Schicht, in die Argon eingeführt ist, und einer p-leitend dotierten Schicht, in die p-Typ-Verunreinigungen eingeführt sind.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der dotierte Schichtbereich als aufeinanderfolgende Schichten vorliegt, die aufeinanderfolgend gebildet sind mit einer argondotierten Schicht, in die Argon eingeführt ist, und einer n-leitend dotierten Schicht, in die n-Typ-Verunreinigungen eingeführt sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der dotierte Schichtbereich als aufeinanderfolgende Schichten vorliegt, die aufeinanderfolgend gebildet sind mit einer siliziumdotierten Schicht, in die Silizium eingeführt ist, und ei-

ner p-leitend dotierten Schicht, in die p-Typ-Verunreinigungen eingeführt sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der dotierte Schichtbereich als aufeinanderfolgende Schichten vorliegt, die aufeinanderfolgend gebildet sind mit einer siliziumdotierten Schicht, in die Silizium eingeführt ist, und einer n-leitend dotierten Schicht, in die n-Typ-Verunreinigungen eingeführt sind.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß man die gepulsten Strahlen mit einer Überlappungsrelation zwischen 75% und 95% zur Überlappung bringt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß man für die gepulsten Laserstrahlen Strahlen mit einer Wellenlänge zwischen 300 nm und 600 nm verwendet.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß man den dotierten Schichtbereich aufeinanderfolgend mit gepulsten Strahlen mit einer gesamten Bestrahlungsenergiedichte zwischen 1,2 J/cm<sup>2</sup> und 4,0 J/cm<sup>2</sup> bestrahlt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß man den dotierten Schichtbereich aufeinanderfolgend mit den gepulsten Strahlen mit einer Verzögerungszeit im Wertebereich vom Dreifachen bis zum Fünffachen der Halbwertsbreite des gepulsten Strahls bestrahlt.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß man als den gepulsten Laserstrahl den Strahl der zweiten Harmonischen eines YAG2 $\omega$ -Lasers verwendet.

Es folgen 21 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

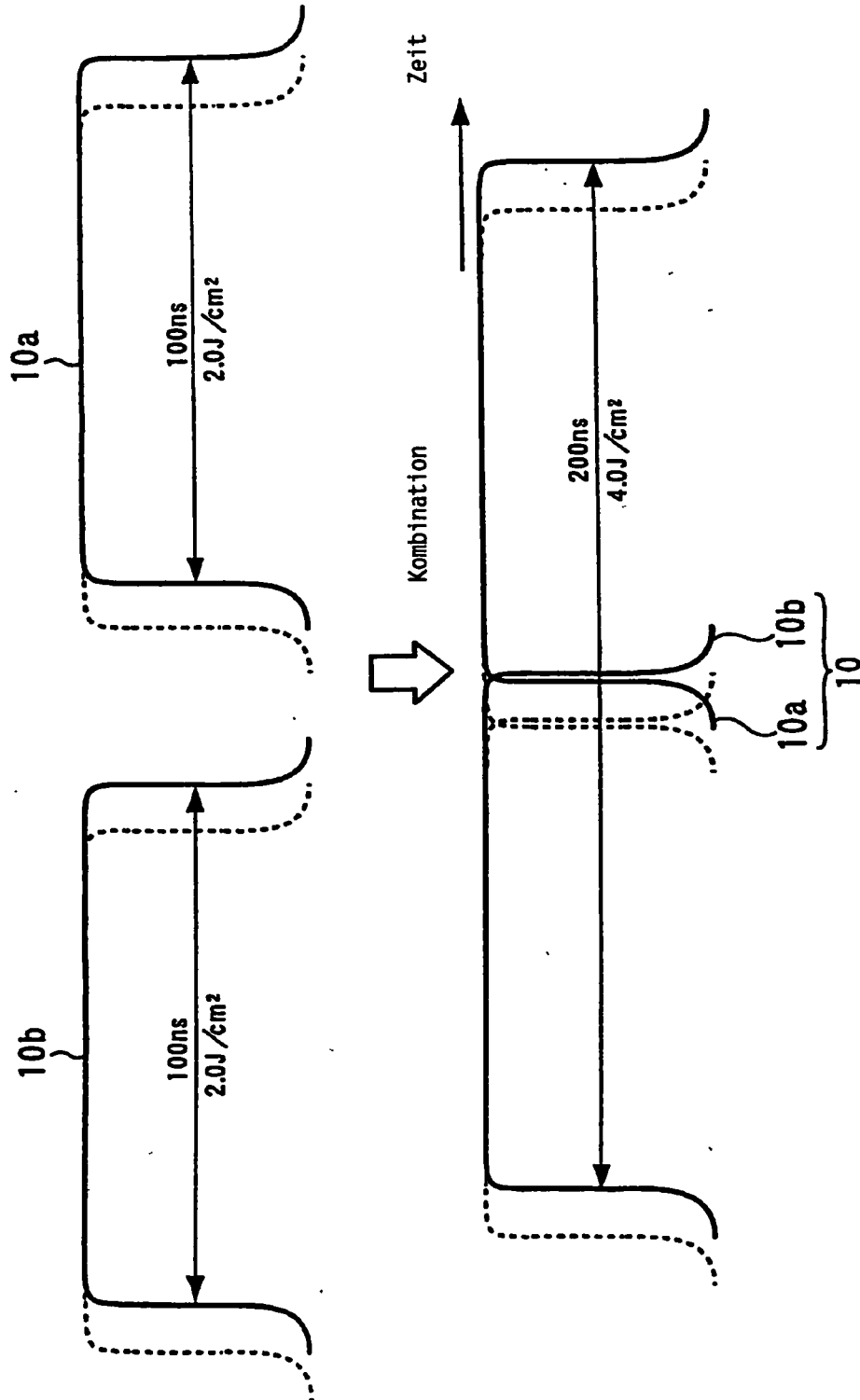


Fig. 1

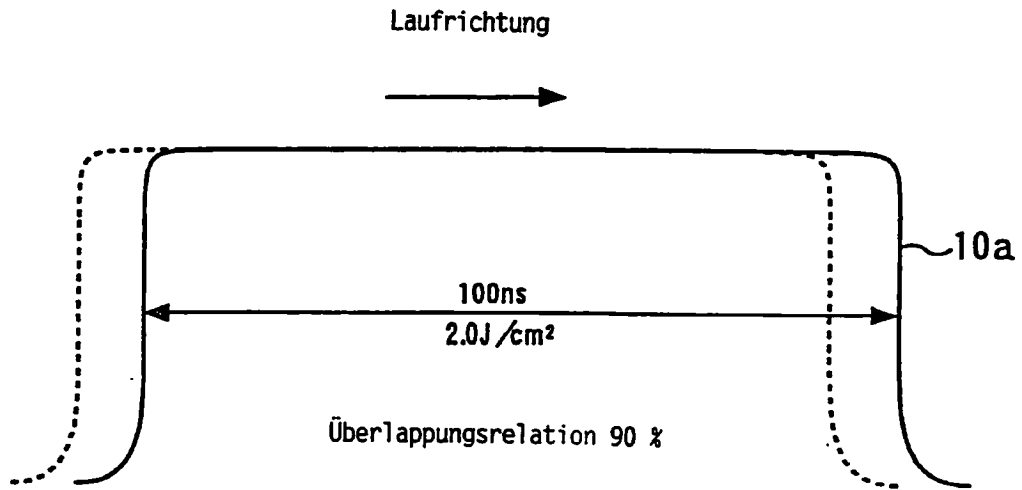


Fig. 2

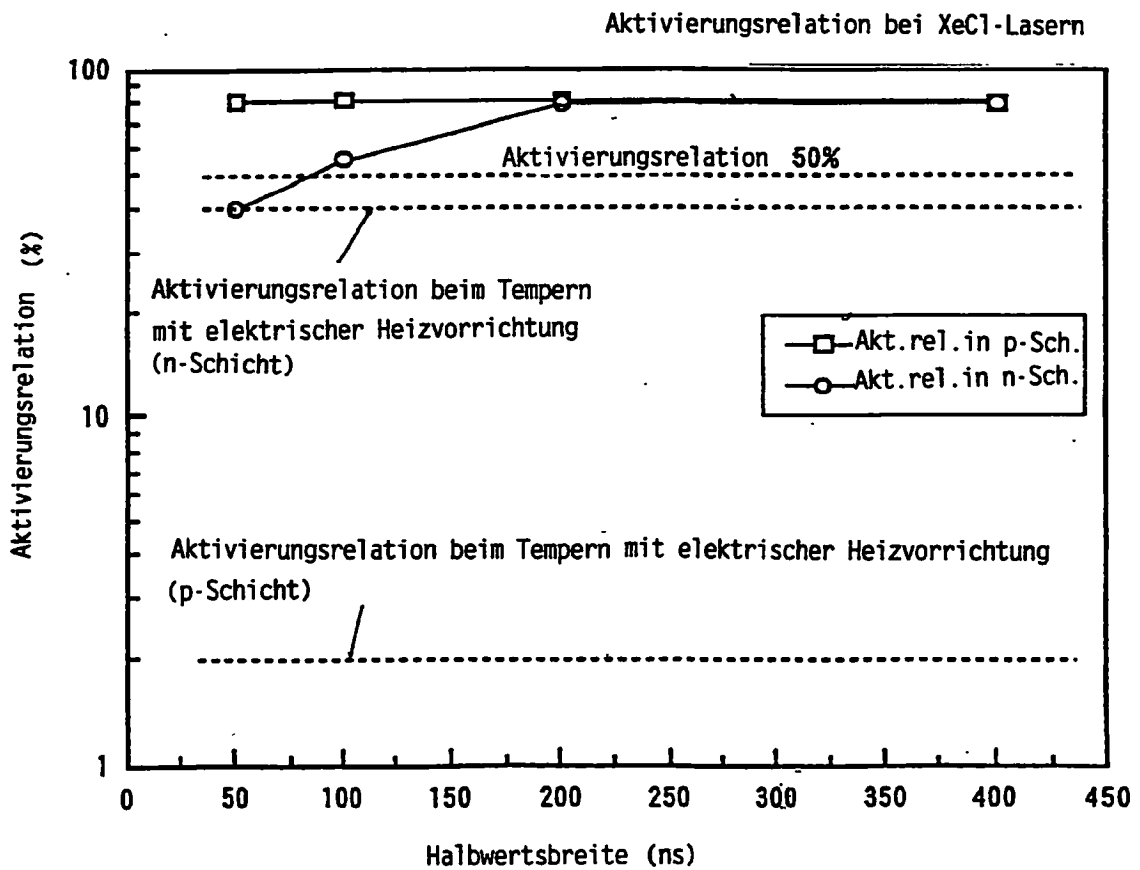
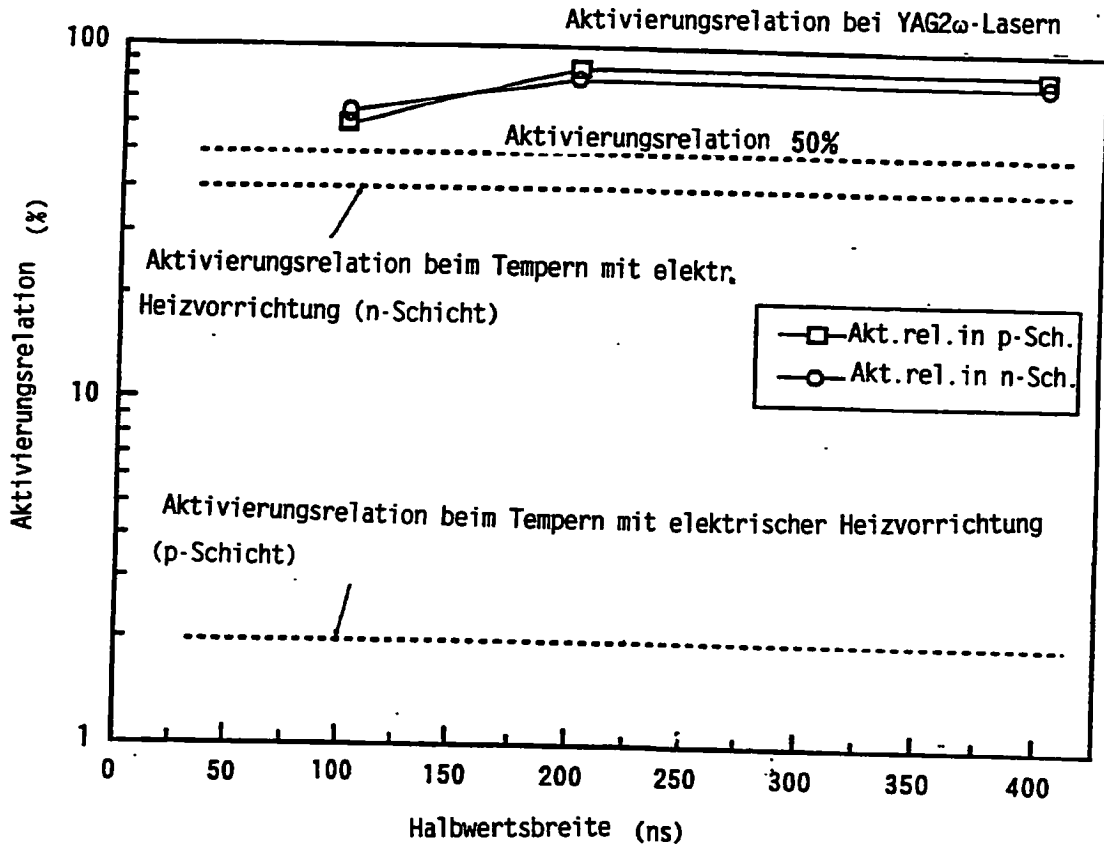
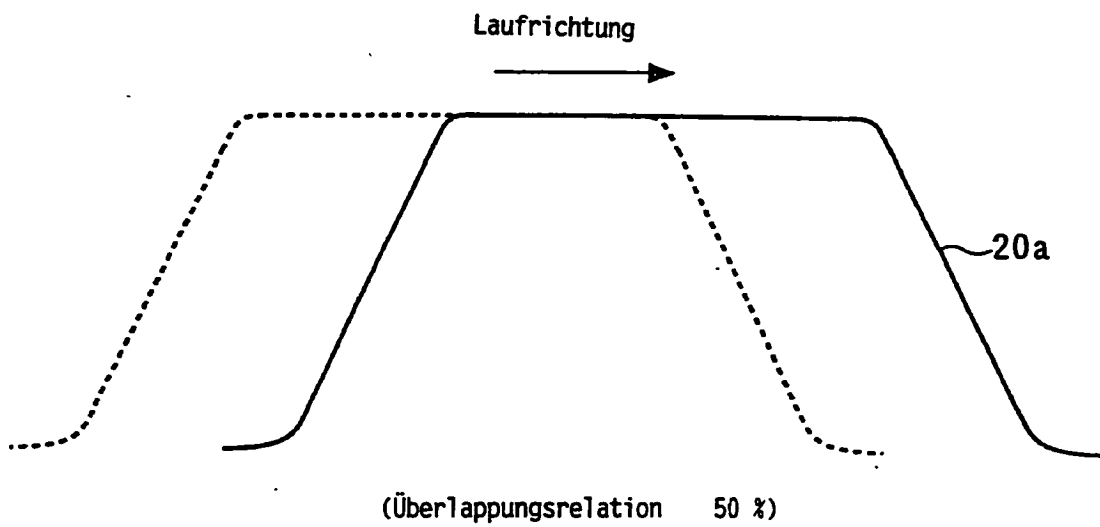


Fig. 3



**Fig. 4**



**Fig. 5**



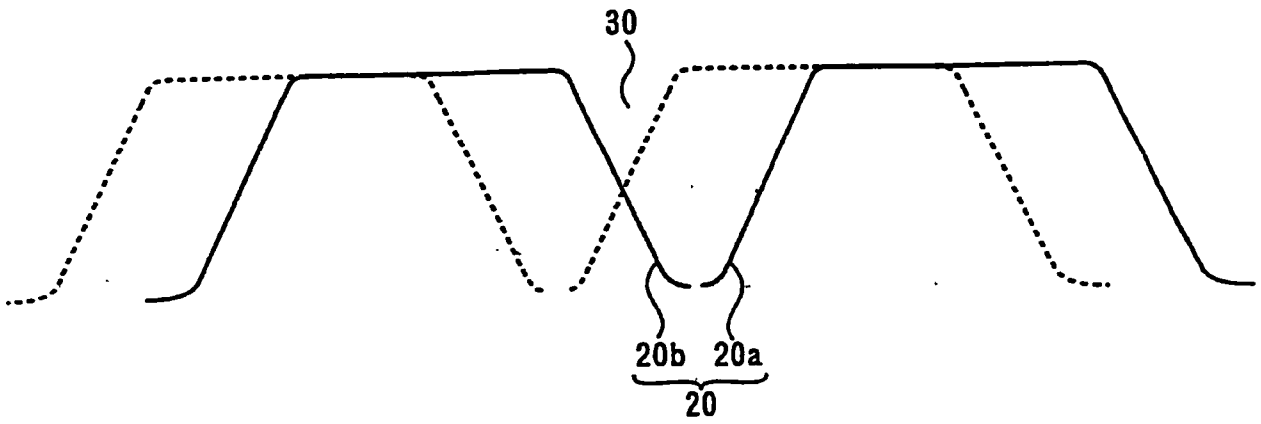


Fig. 6

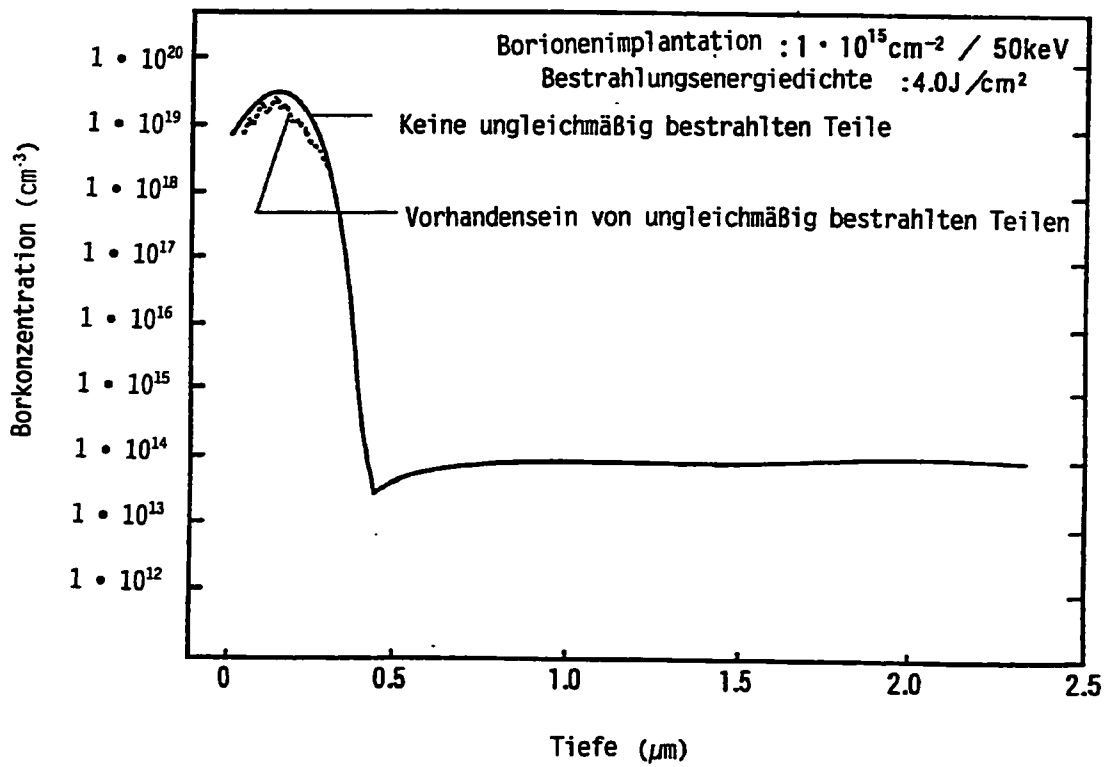
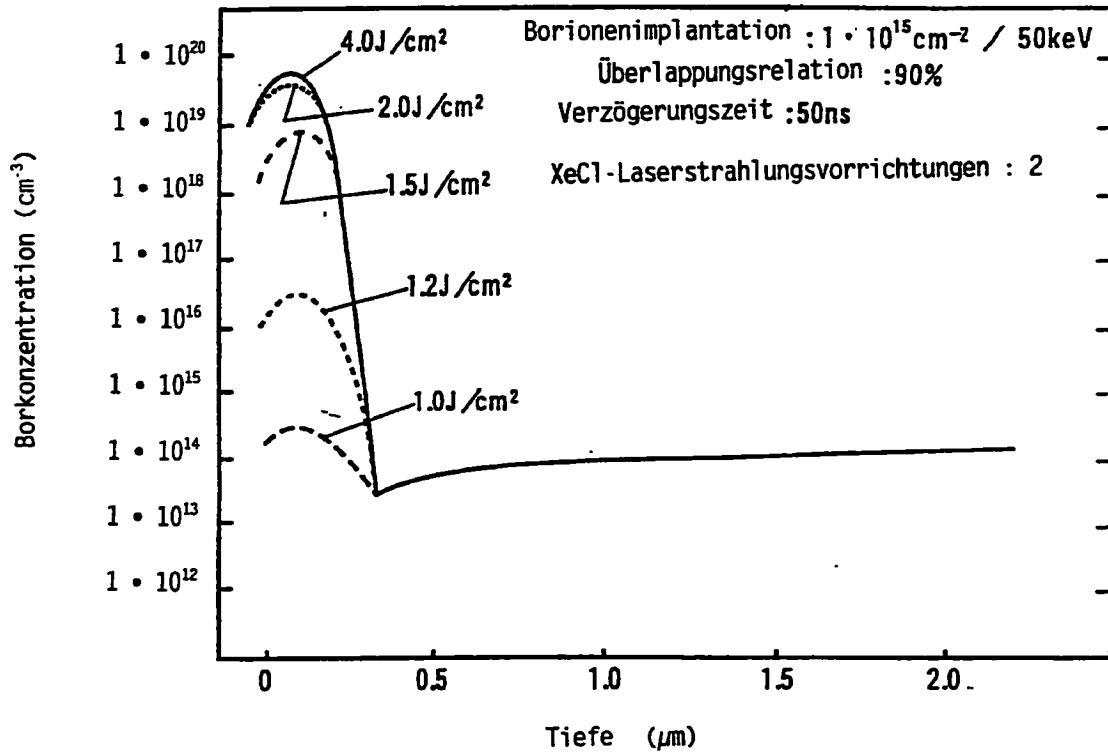
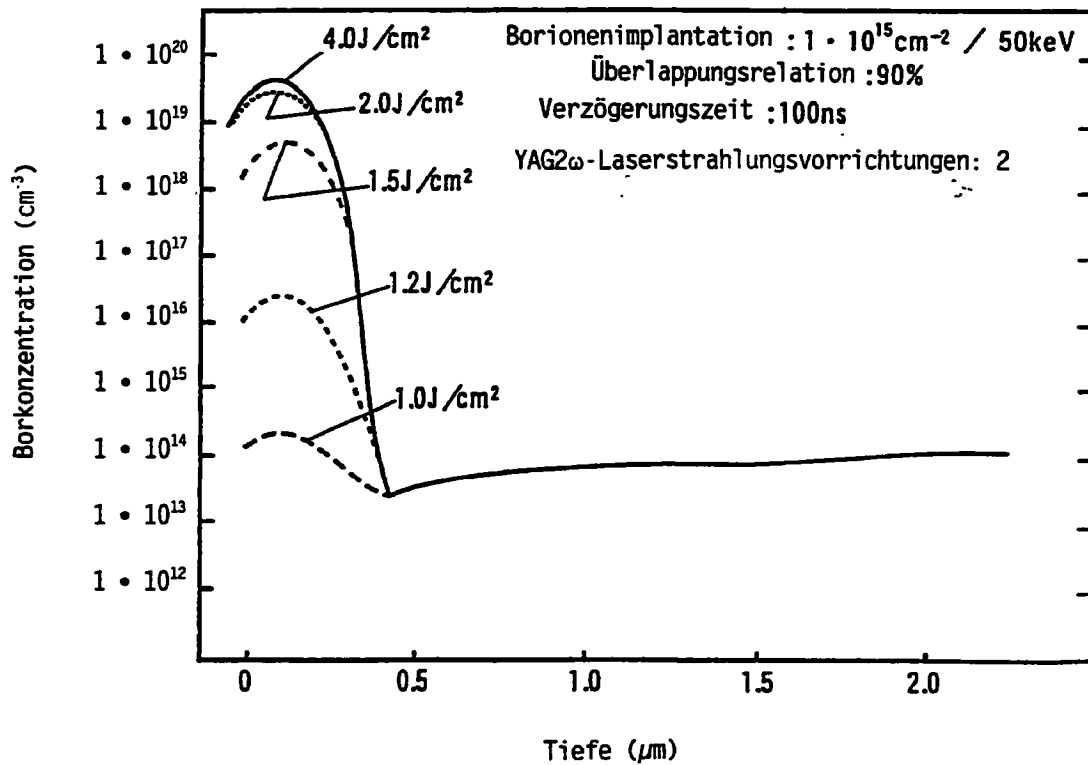


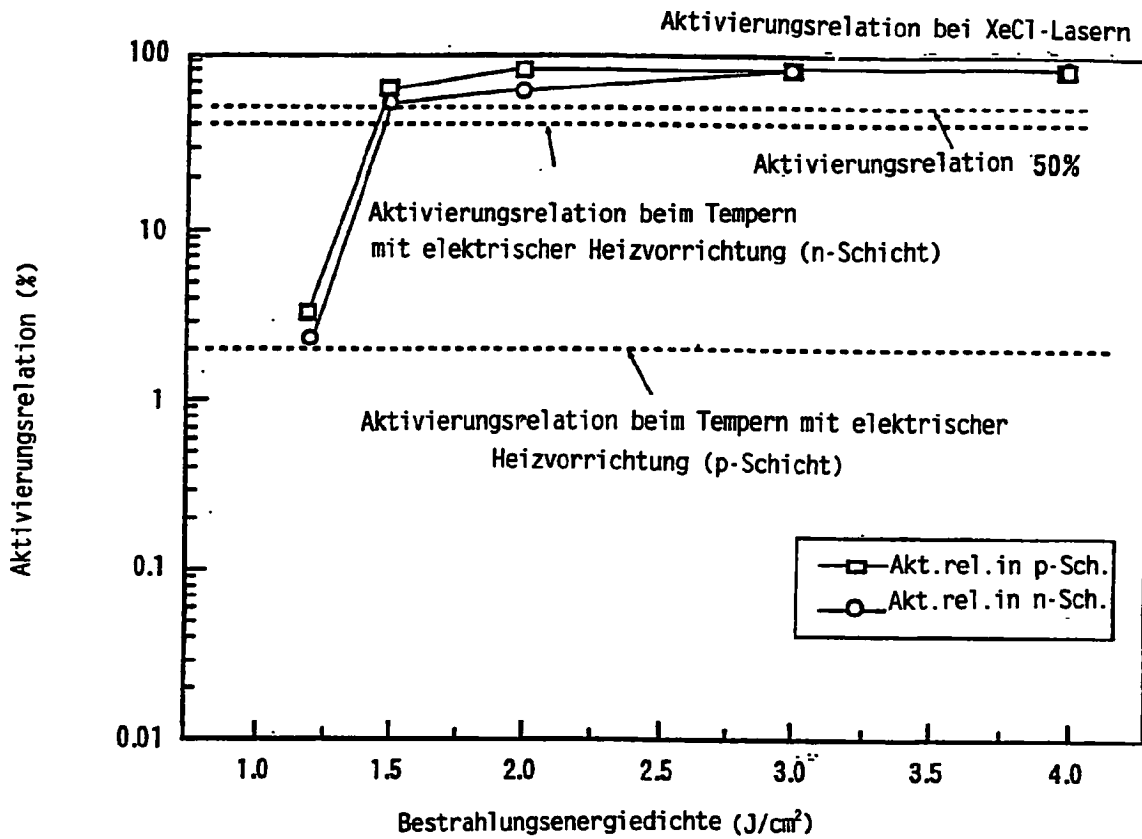
Fig. 7



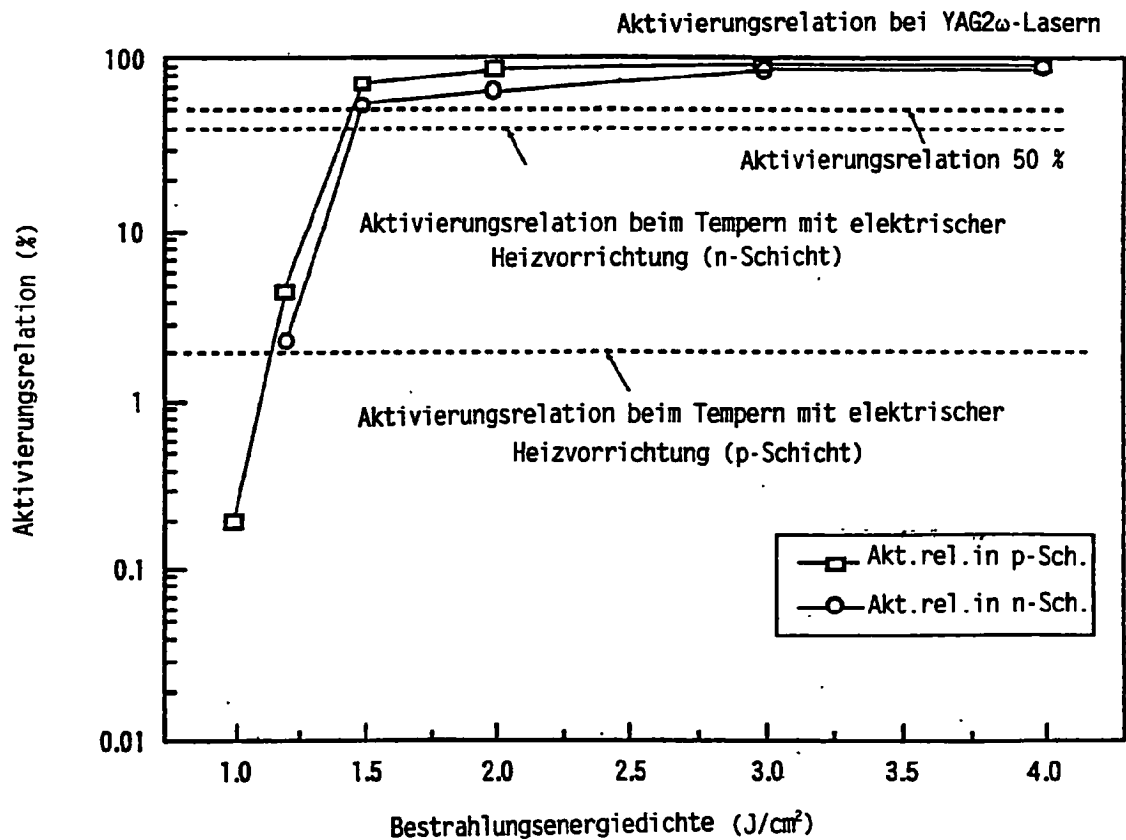
**Fig. 8**



**Fig. 9**



**Fig. 10**



**Fig. 11**

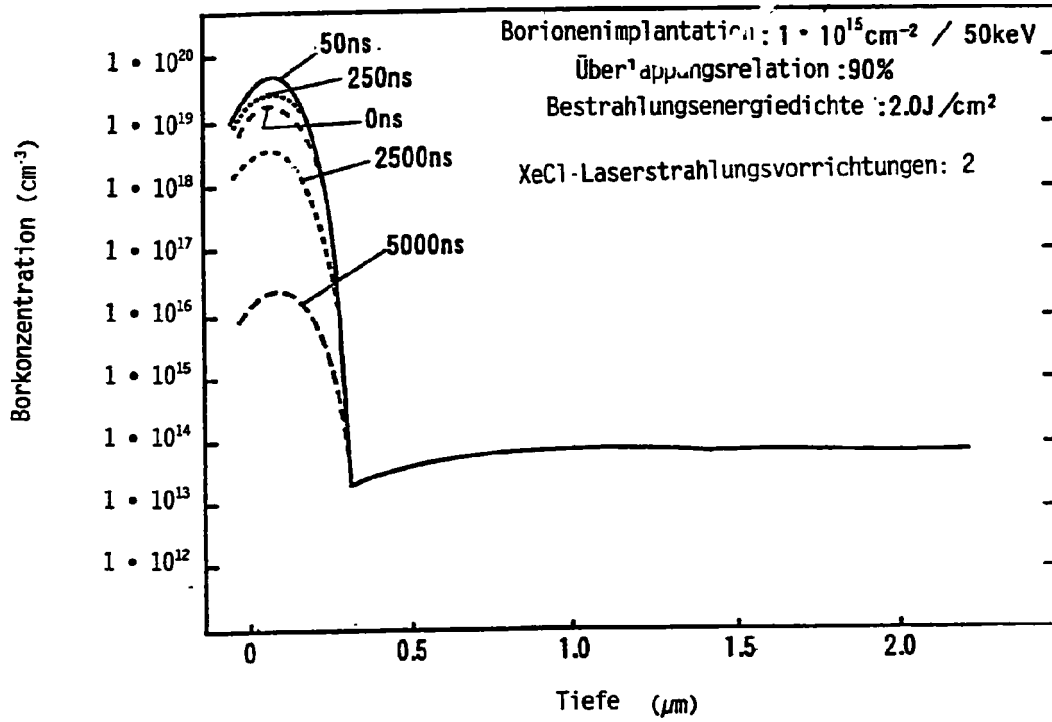


Fig. 12

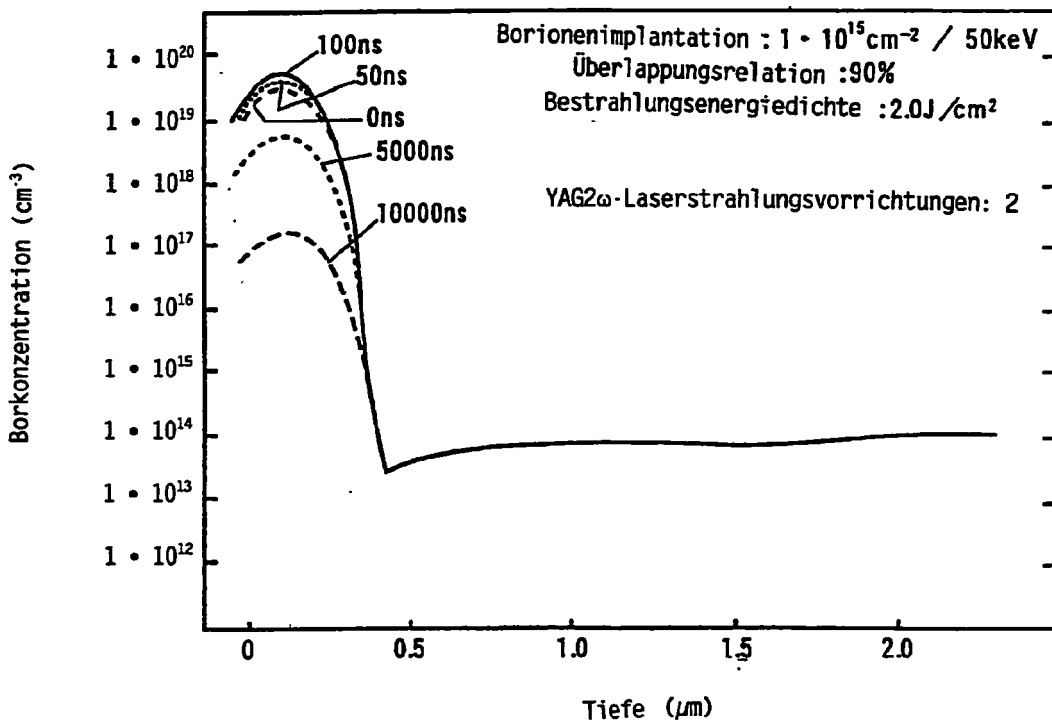


Fig. 13



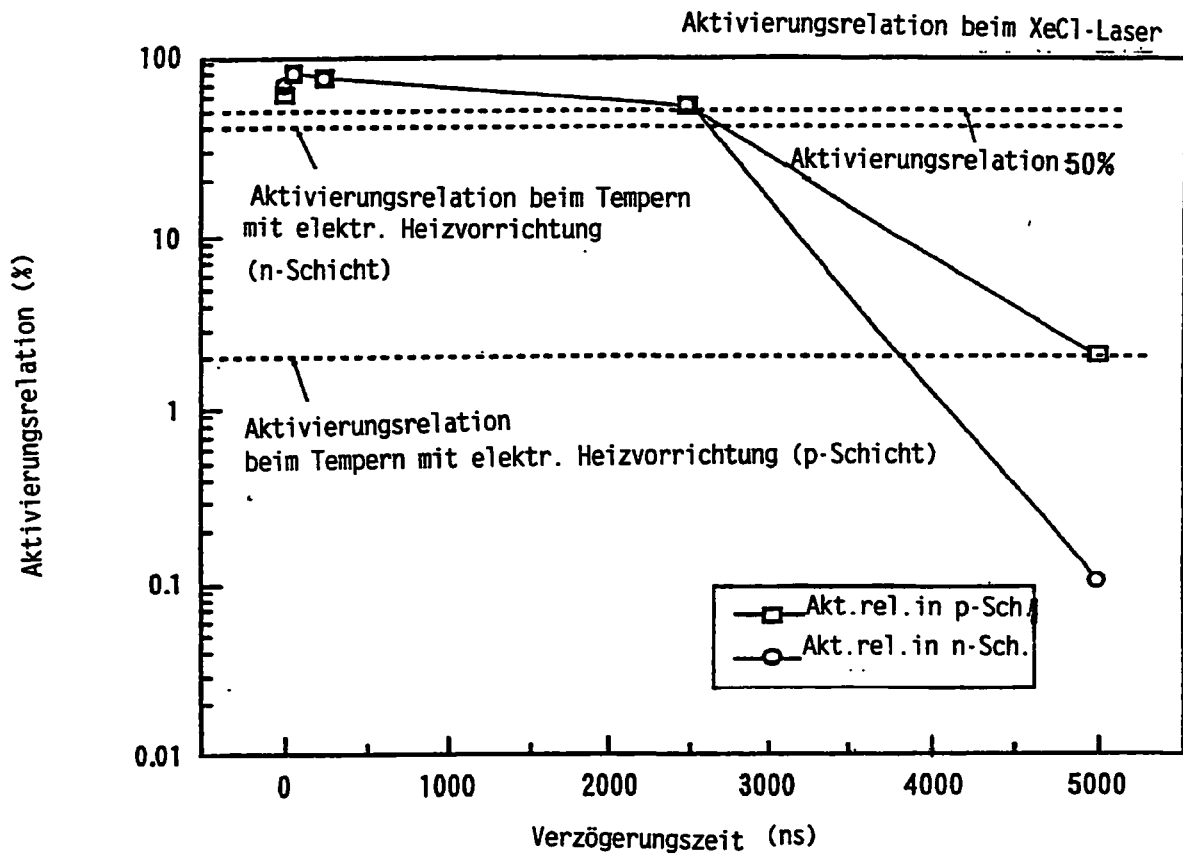


Fig. 14

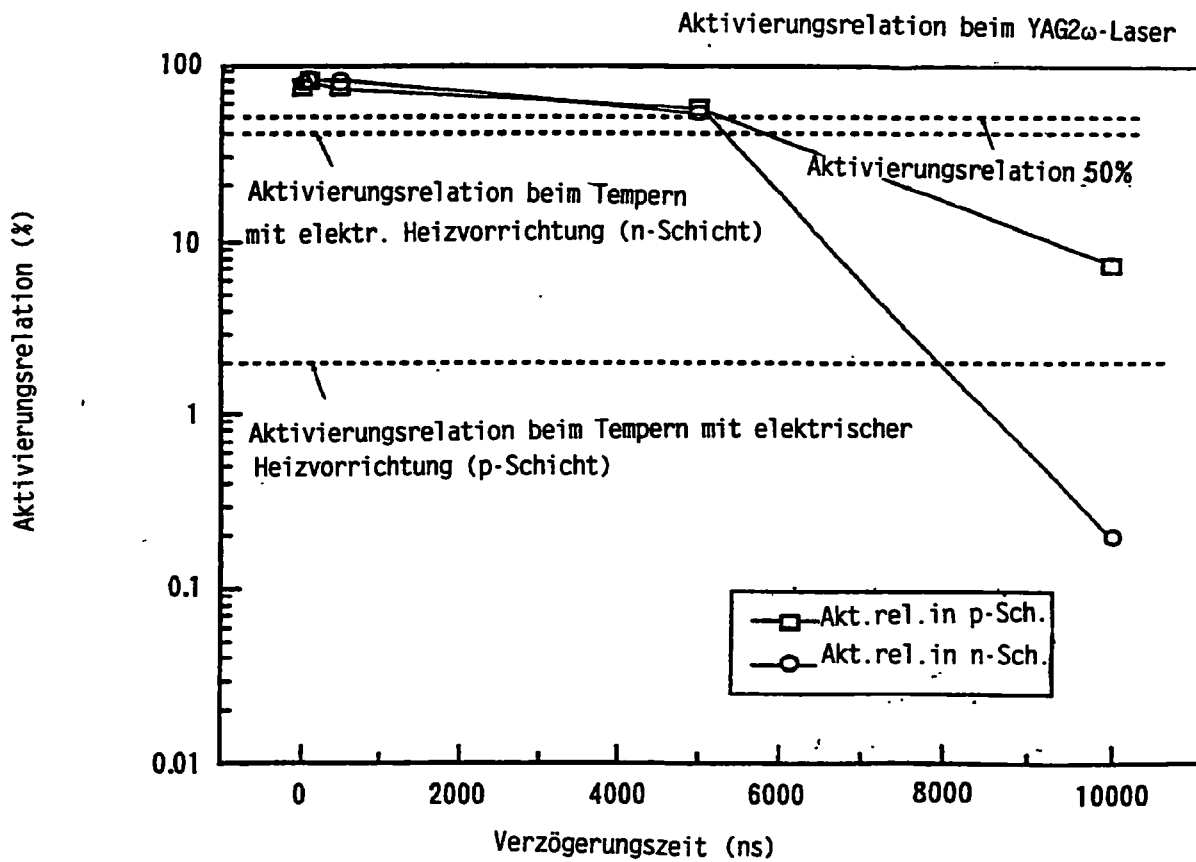


Fig. 15

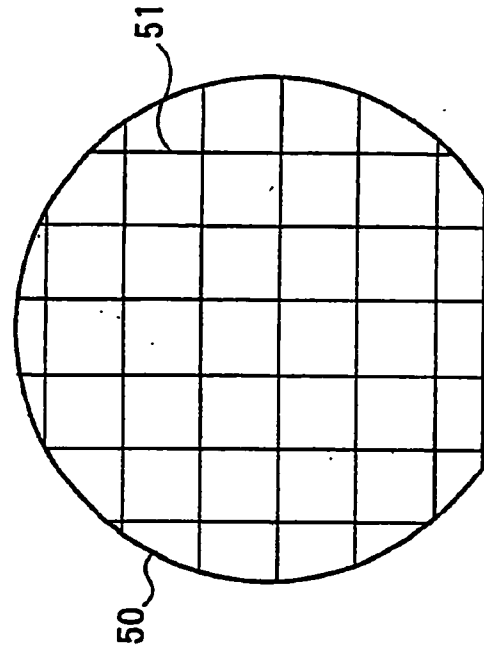
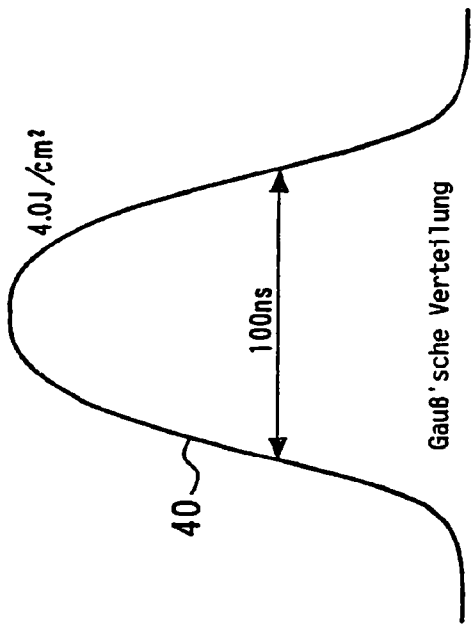


Fig. 16

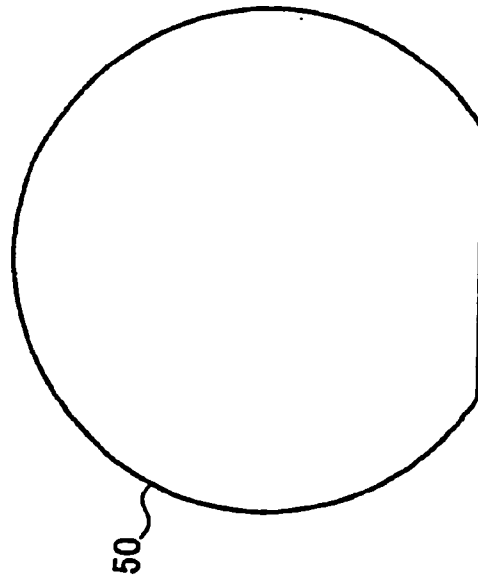
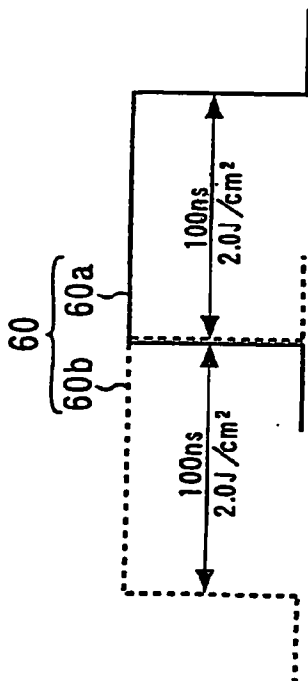


Fig. 17

Phosphorionenimplantation:  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Borionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 50\text{keV}$   
 Borfluoridionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 80\text{keV}$

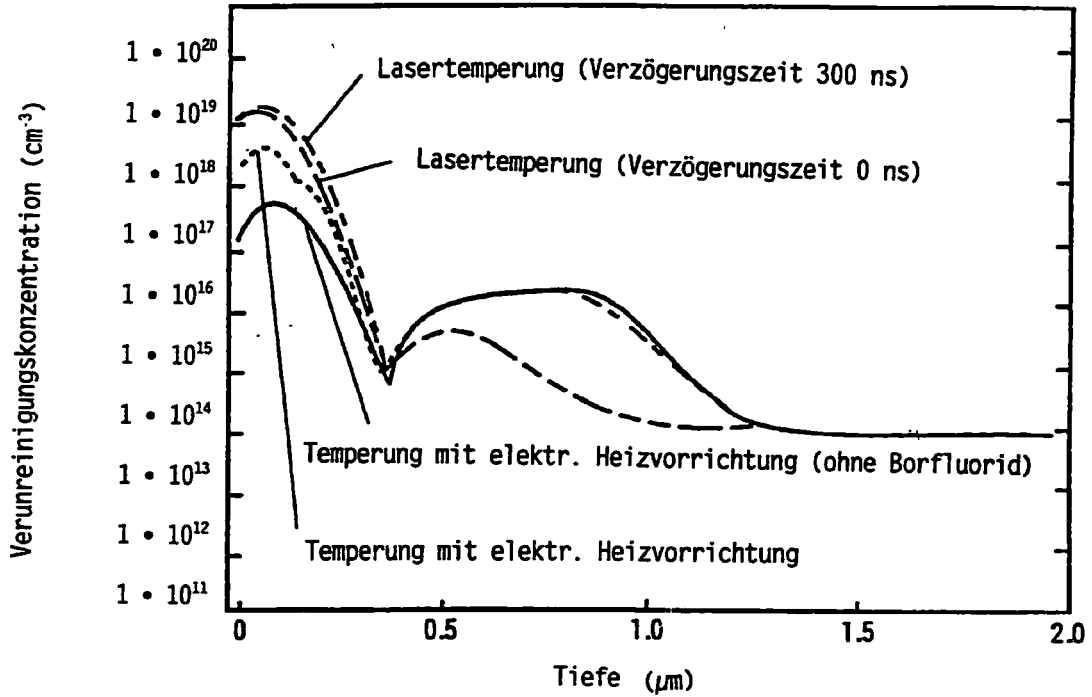


Fig. 18

Borionenimplantation:  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Borionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 50\text{keV}$

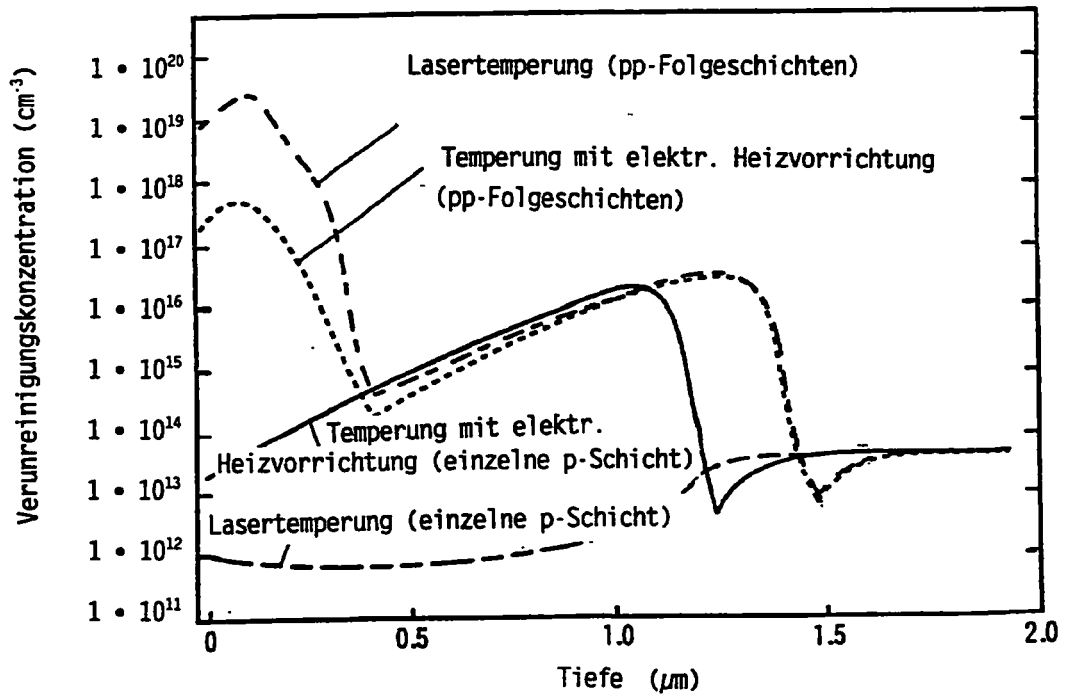
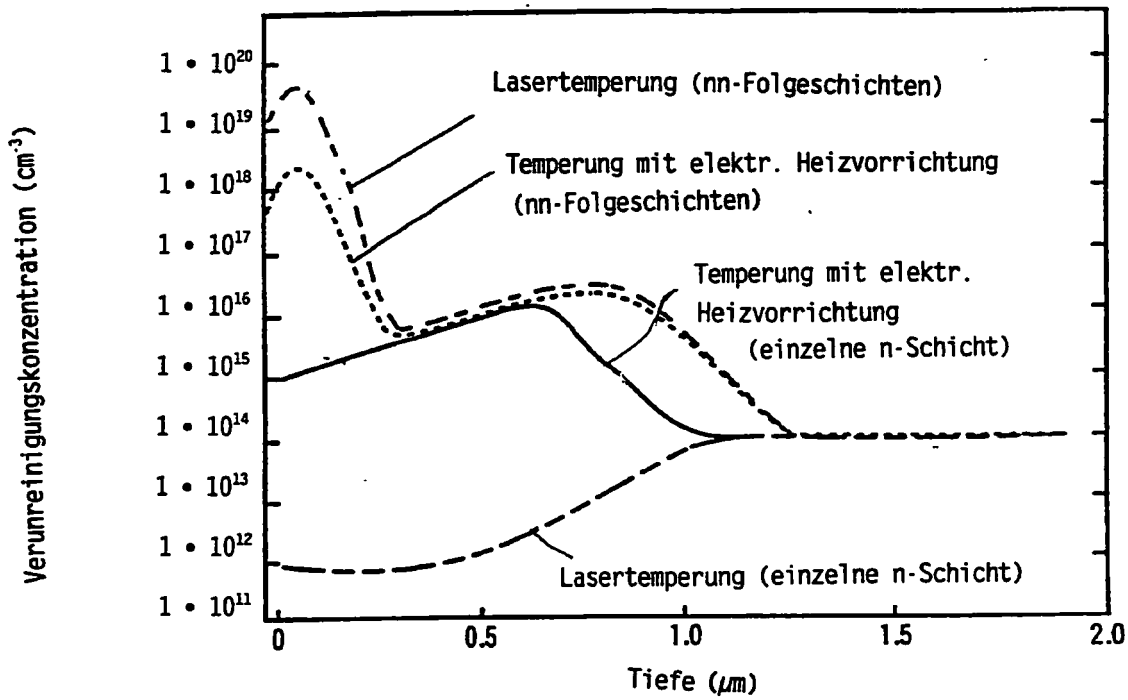


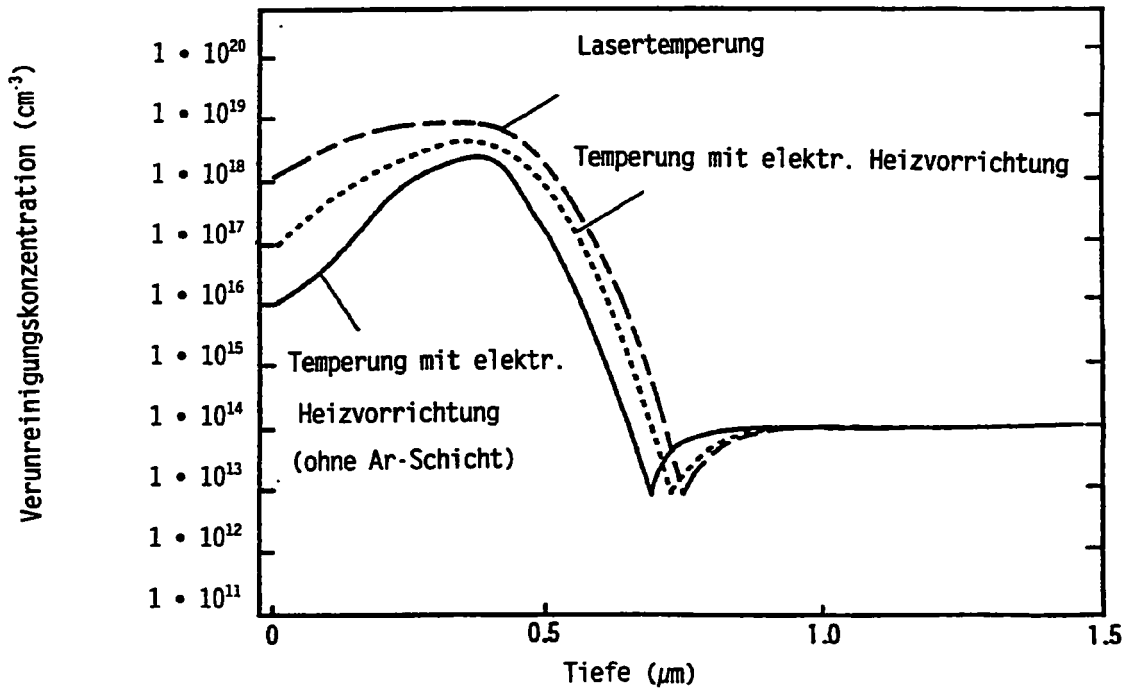
Fig. 19

Phosphorionenimplantation:  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Phosphorionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 50\text{keV}$



**Fig. 20**

Argonionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Borionenimplantation:  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} / 150\text{keV}$



**Fig. 21**



Borionenimplantation:  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Argonionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 50\text{keV}$

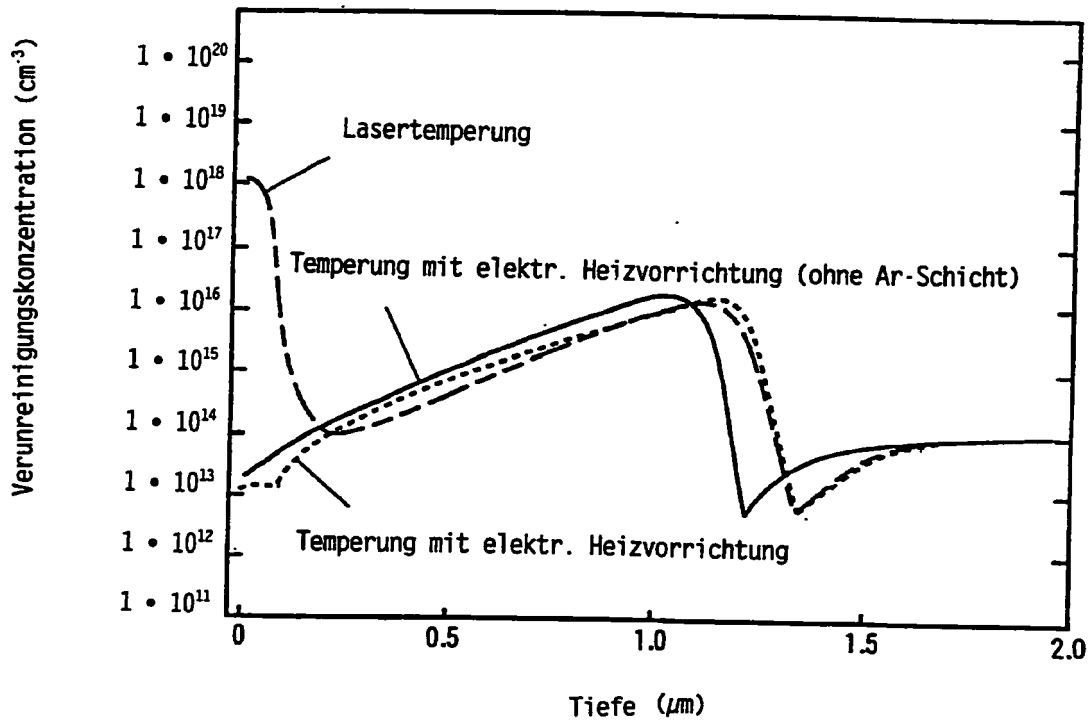


Fig. 22

Argonionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Phosphorionenimplantation:  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} / 150\text{keV}$

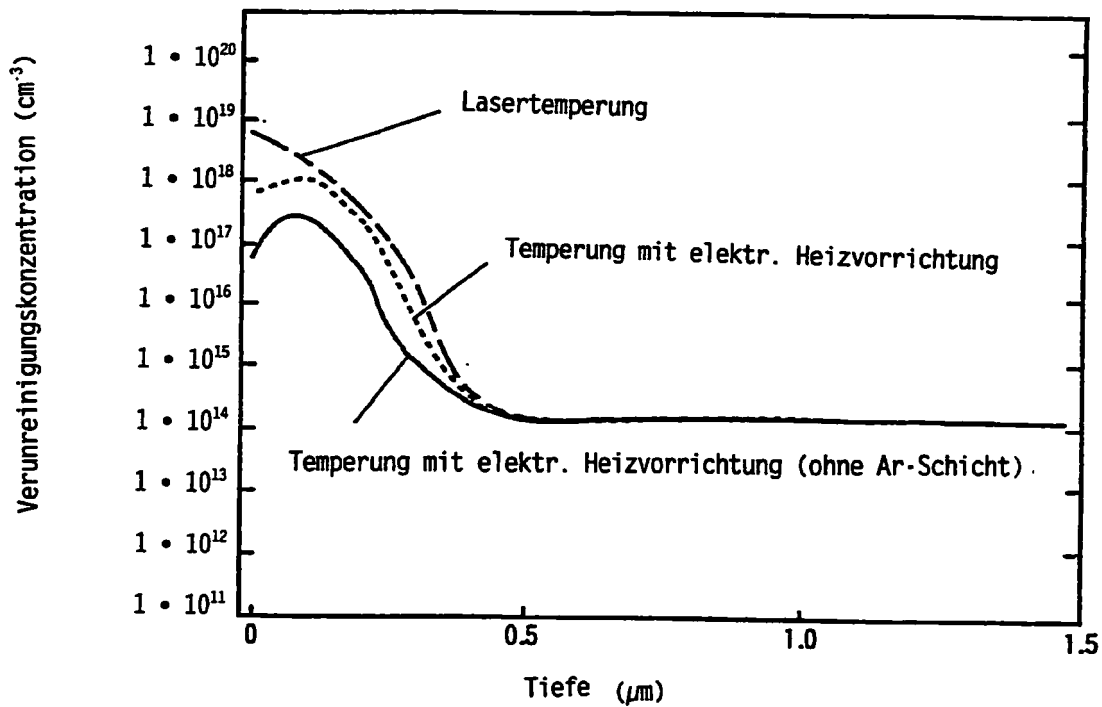


Fig. 23

Phosphorionenimplantation:  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Argonionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 50\text{keV}$

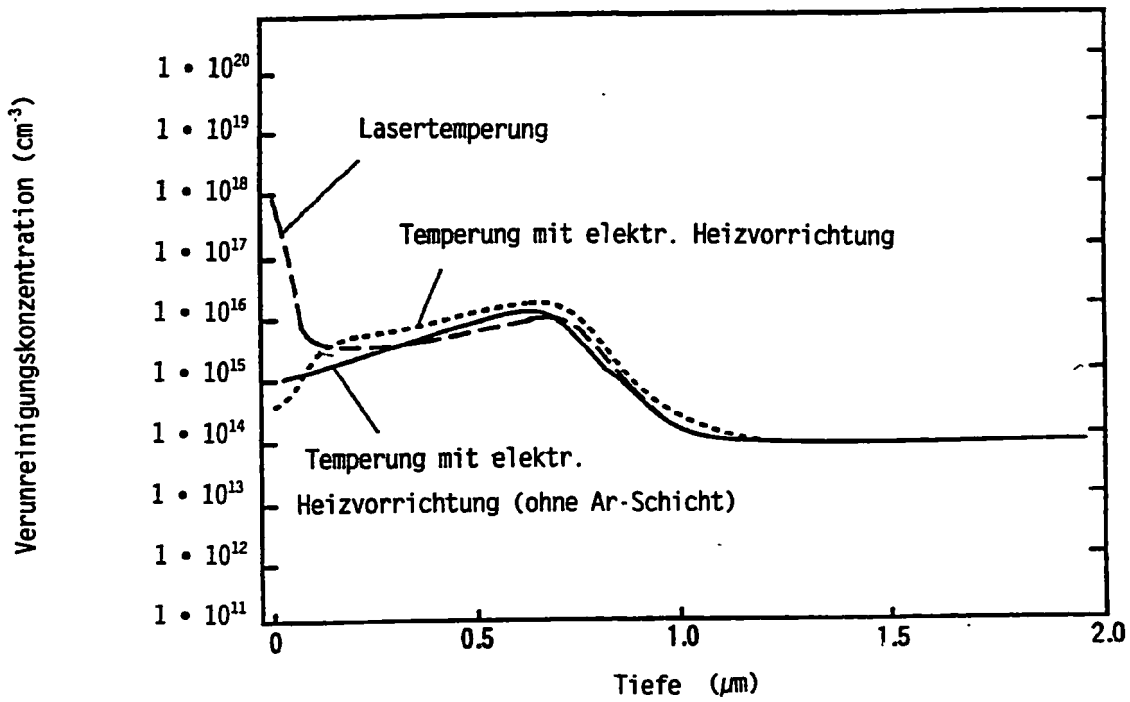


Fig. 24

Siliziumionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Borionenimplantation:  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2} / 150\text{keV}$

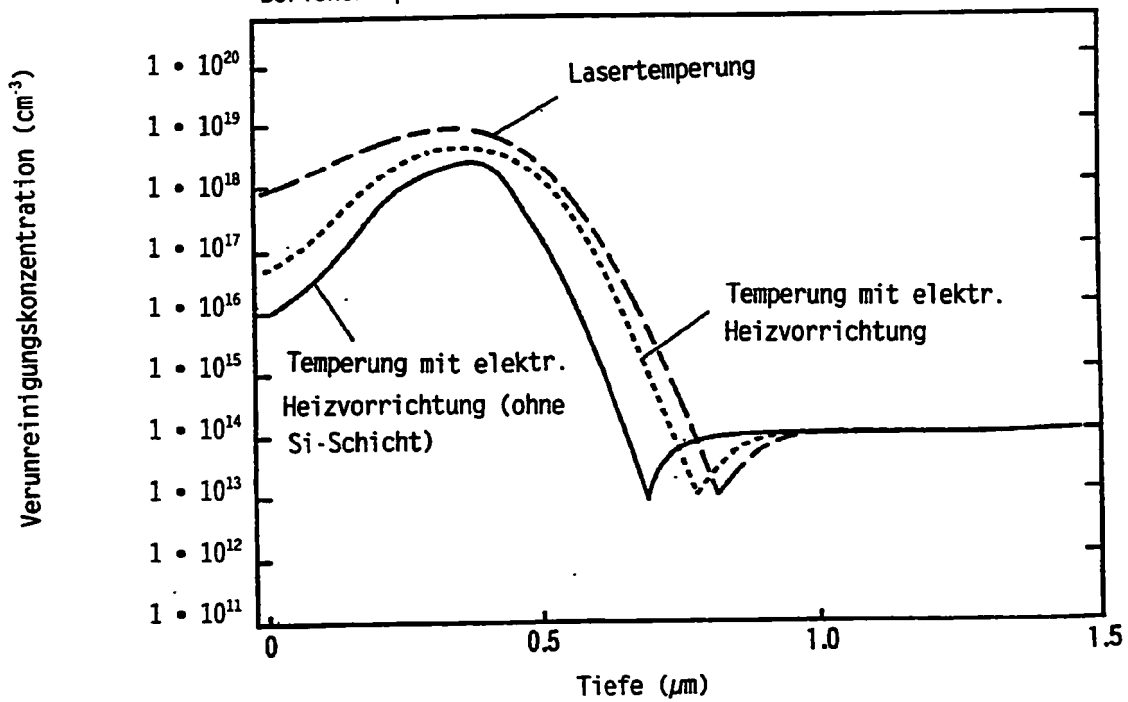
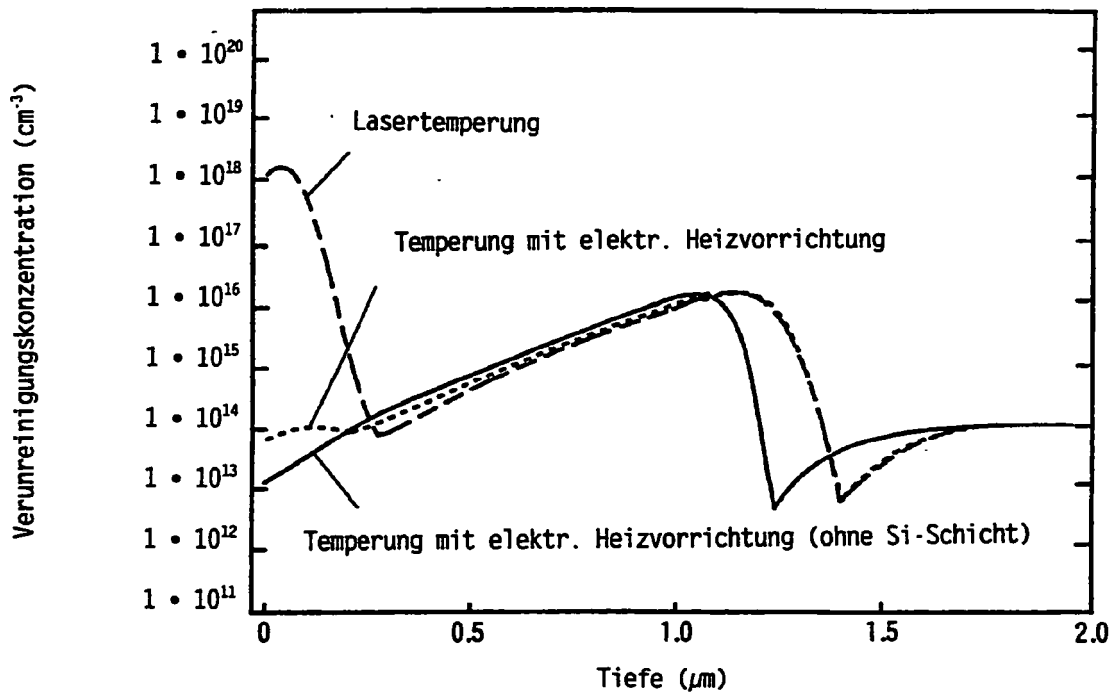


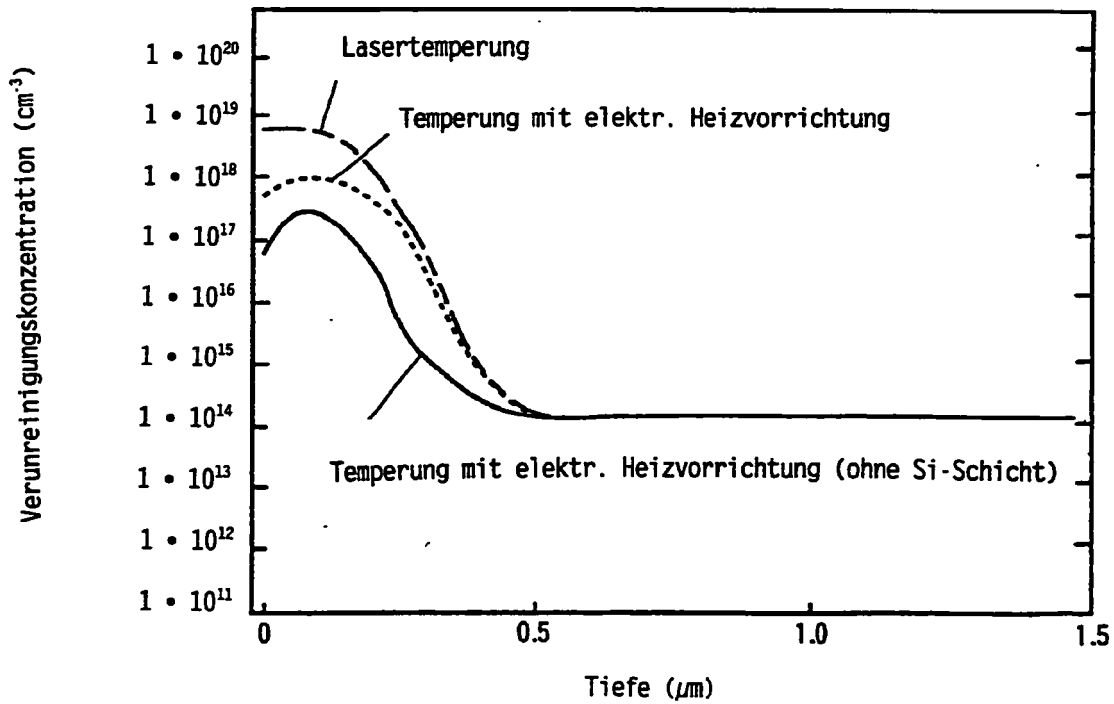
Fig. 25

Borionenimplantation:  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2}$  / 240keV  
 Siliziumionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  / 50keV



**Fig. 26**

Siliziumionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  / 240keV  
 Phosphorionenimplantation:  $1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-2}$  / 150keV



**Fig. 27**

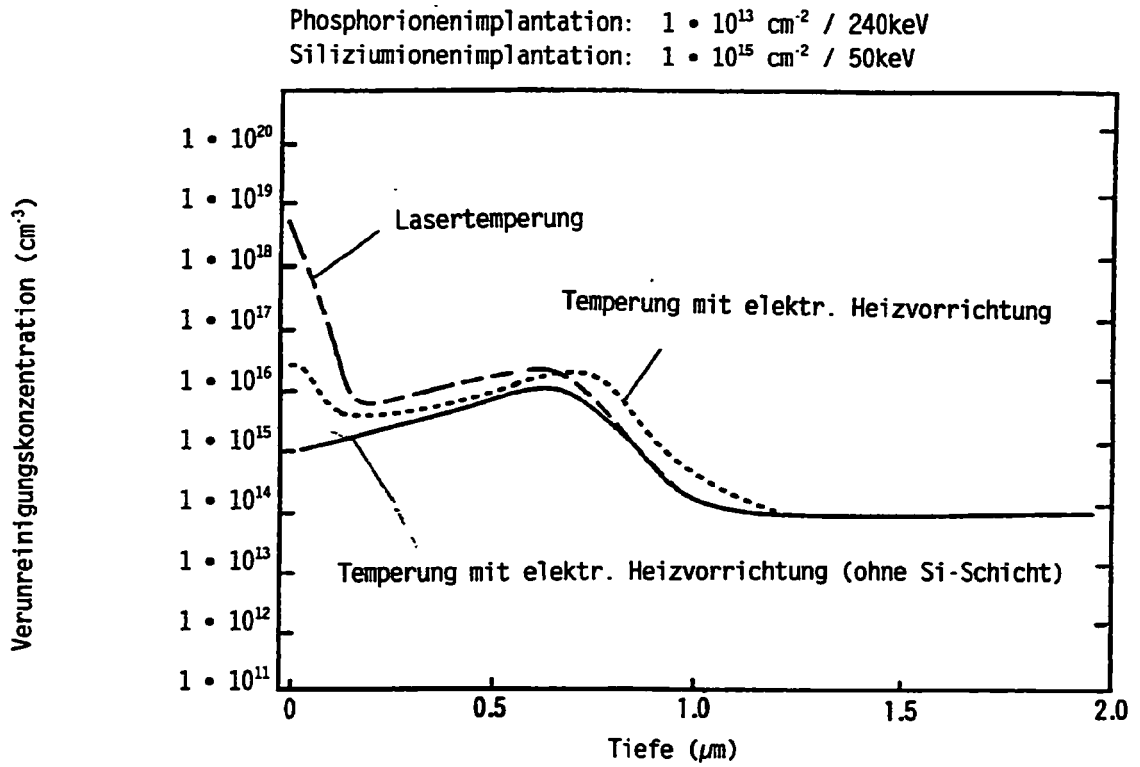


Fig. 28

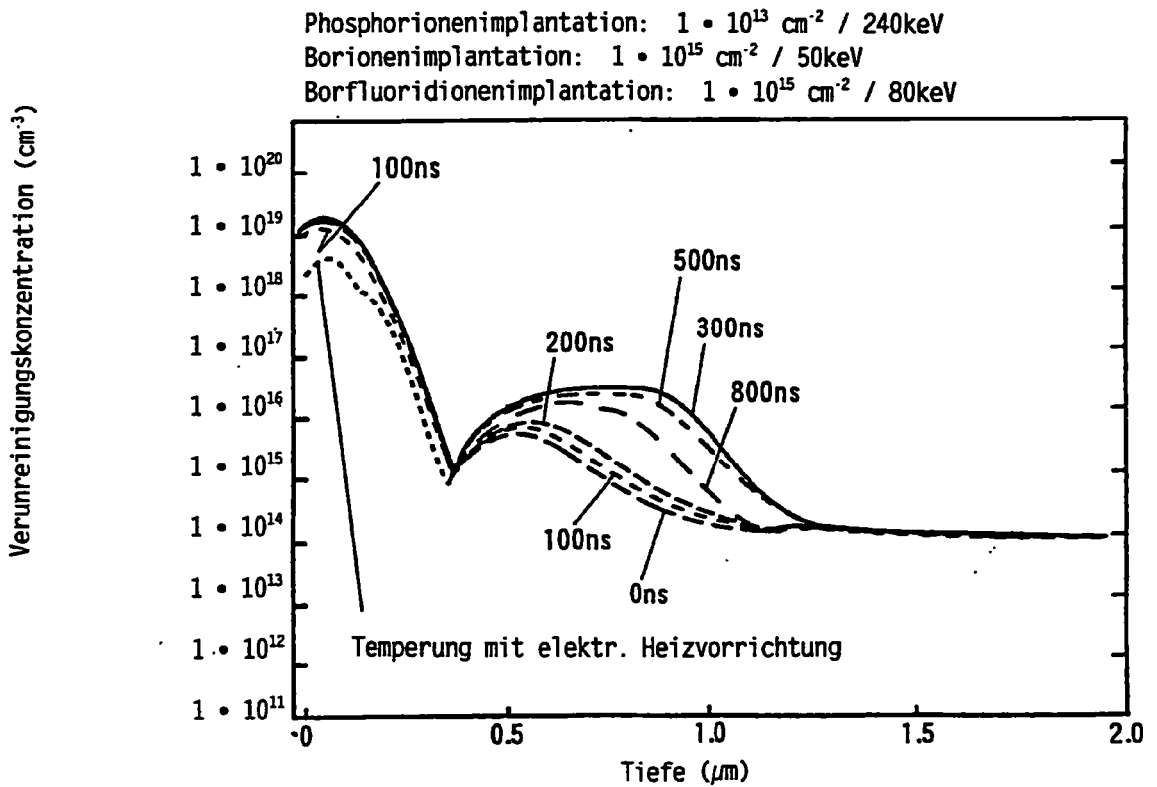
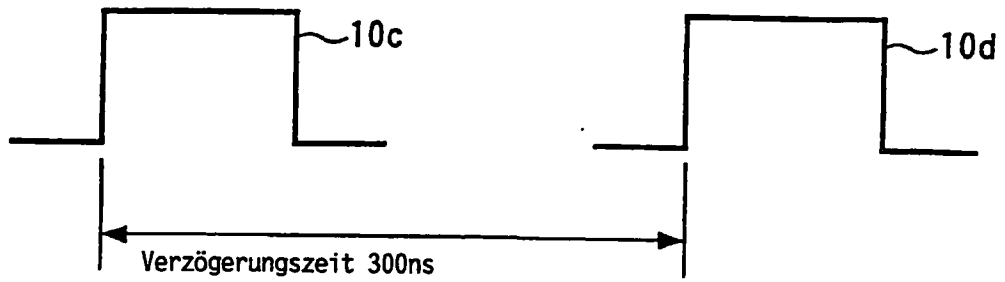


Fig. 29

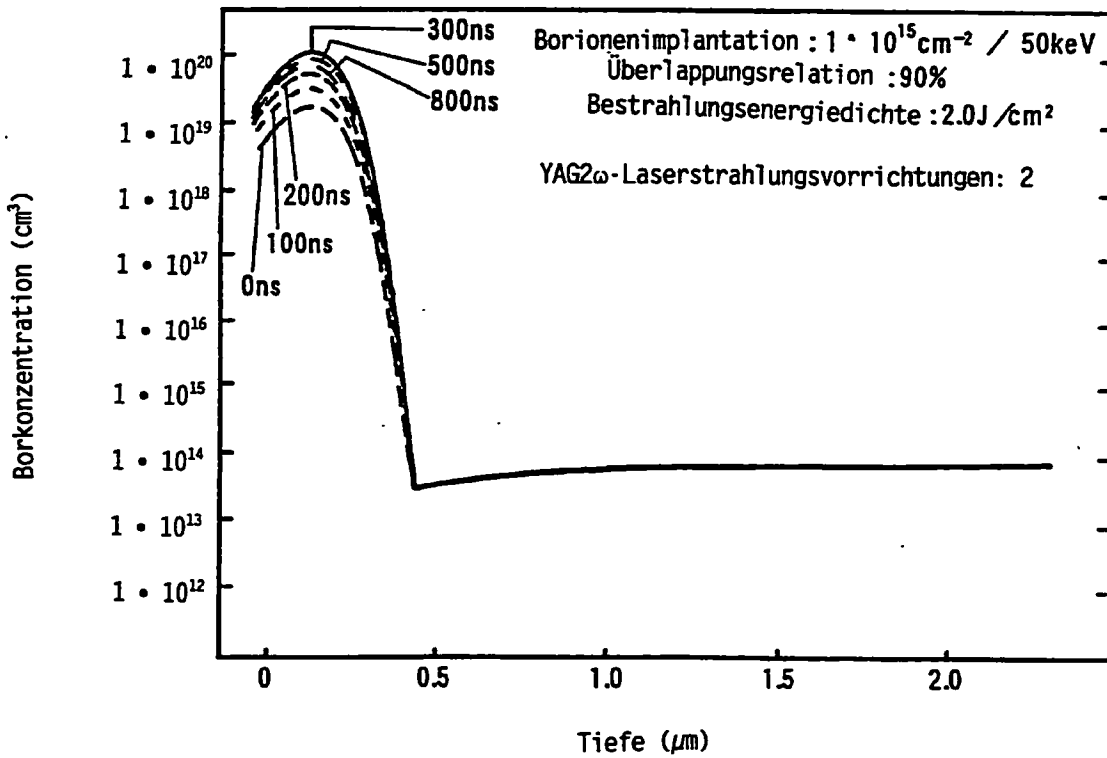
Vorhergehender Impuls  
 Bestrahlungsenergiedichte  $2.0\text{J}/\text{cm}^2$   
 Halbwertsbreite  $100\text{ns}$

Nachfolgender Impuls  
 Bestrahlungsenergiedichte  $2.0\text{J}/\text{cm}^2$   
 Halbwertsbreite  $100\text{ns}$



Gesamte Bestrahlungsenergiedichte =  $4.0\text{J}/\text{cm}^2$

**Fig. 30**



**Fig. 31**



Phosphorionenimplantation:  $1 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-2} / 240\text{keV}$   
 Borionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 50\text{keV}$   
 Borfluoridionenimplantation:  $1 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2} / 80\text{keV}$

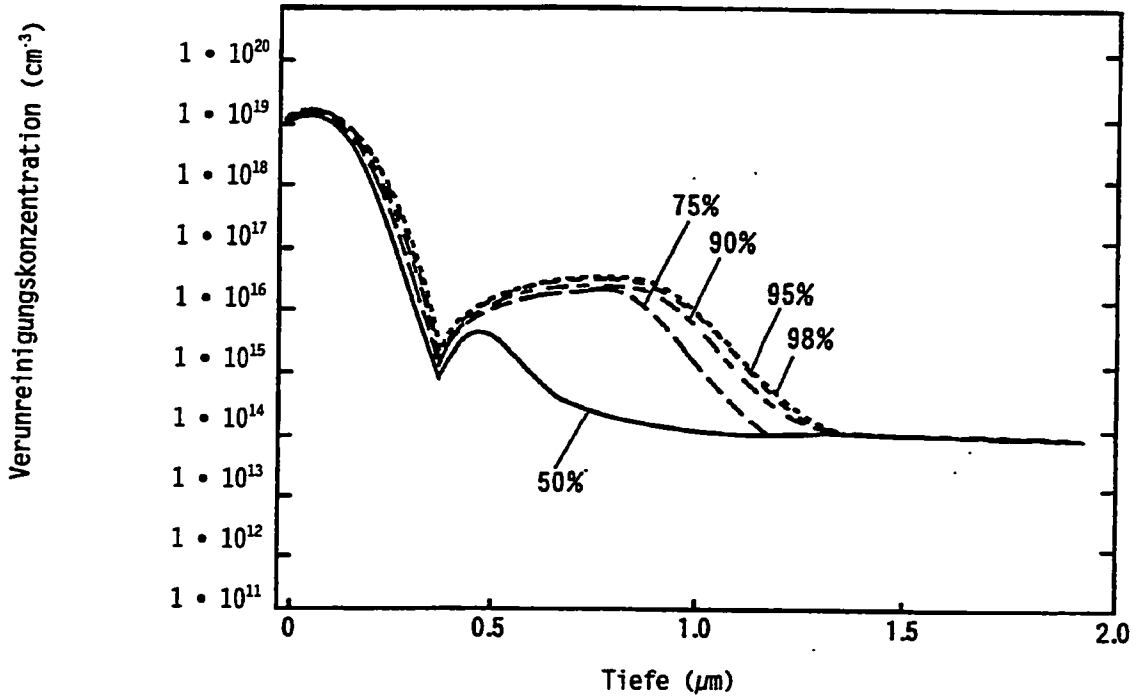


Fig. 32

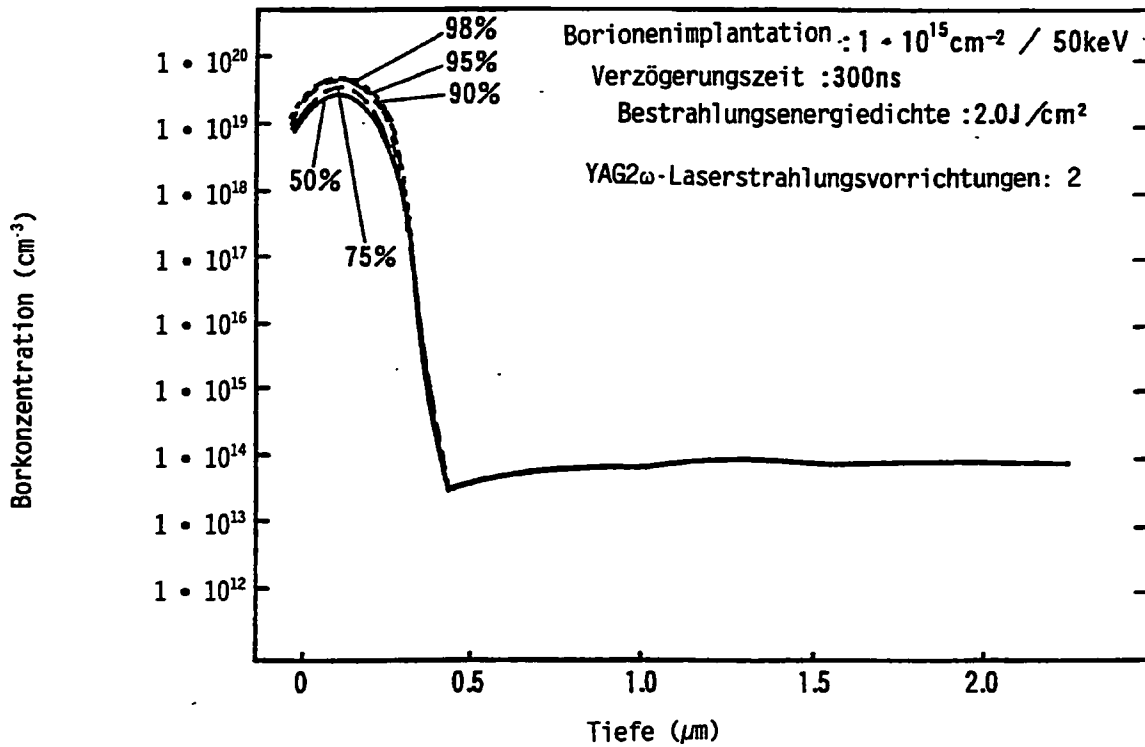


Fig. 33

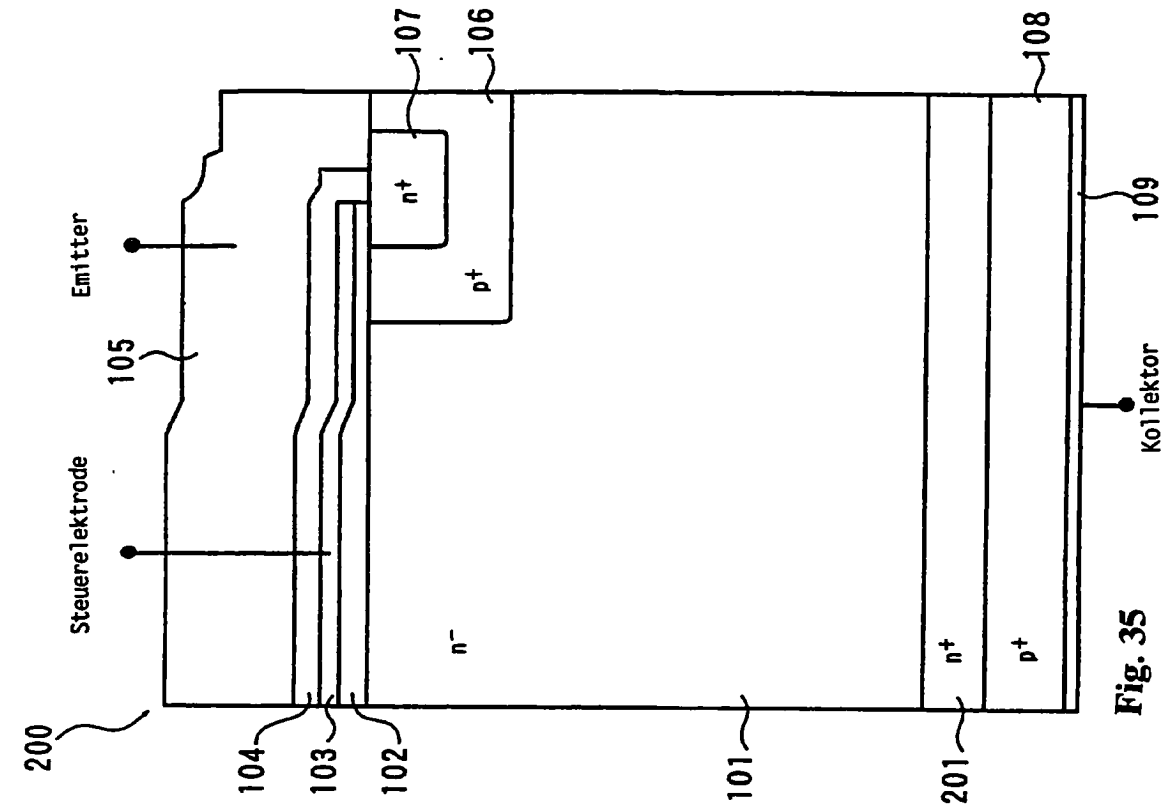


Fig. 35

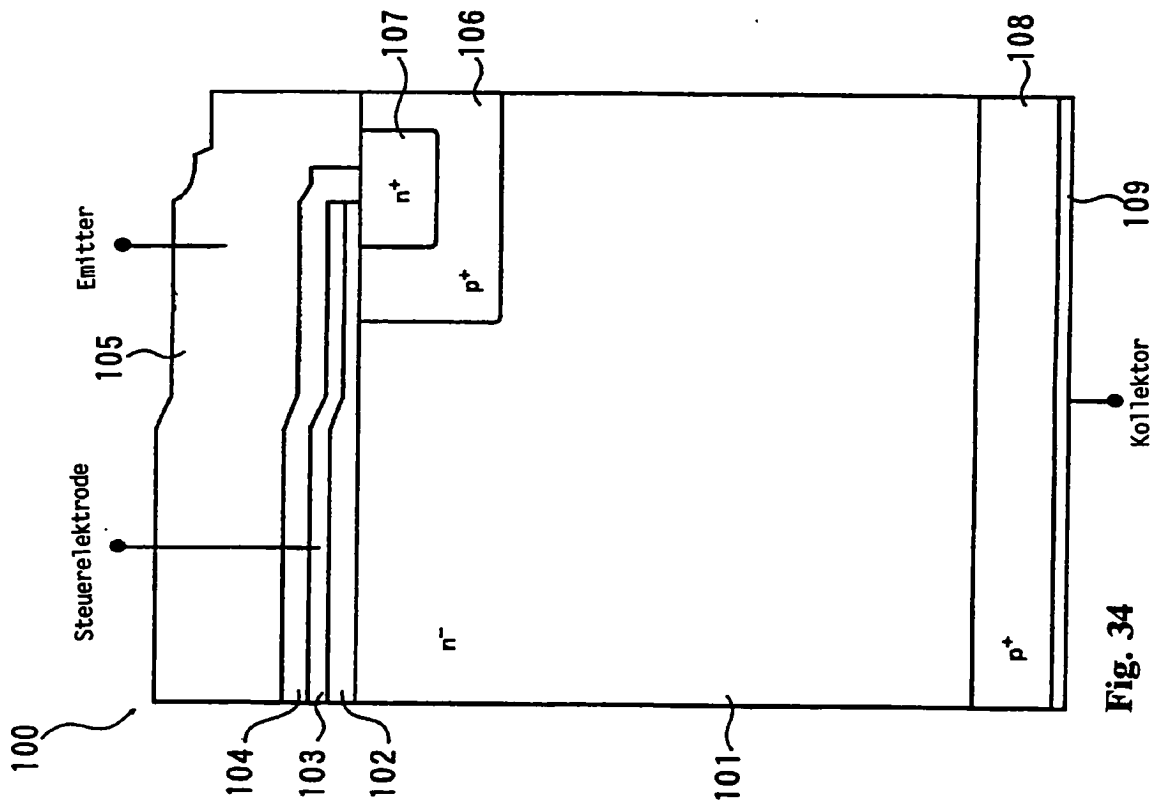


Fig. 34

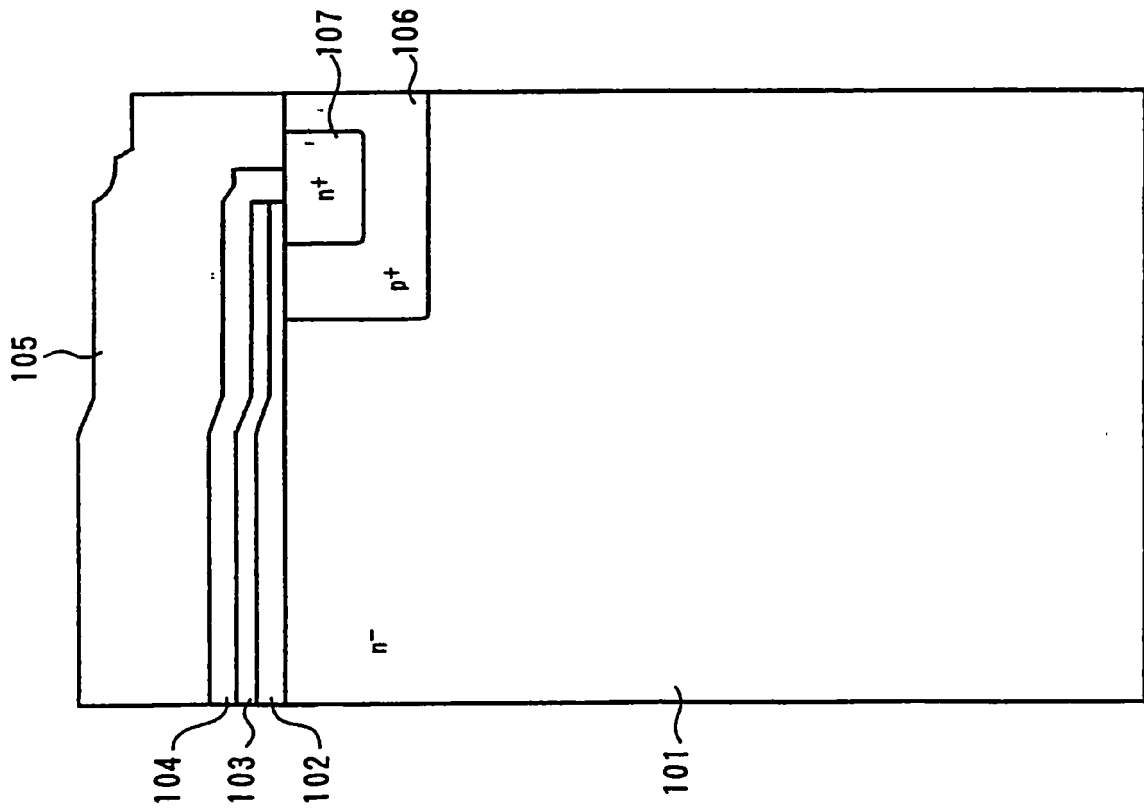


Fig. 36

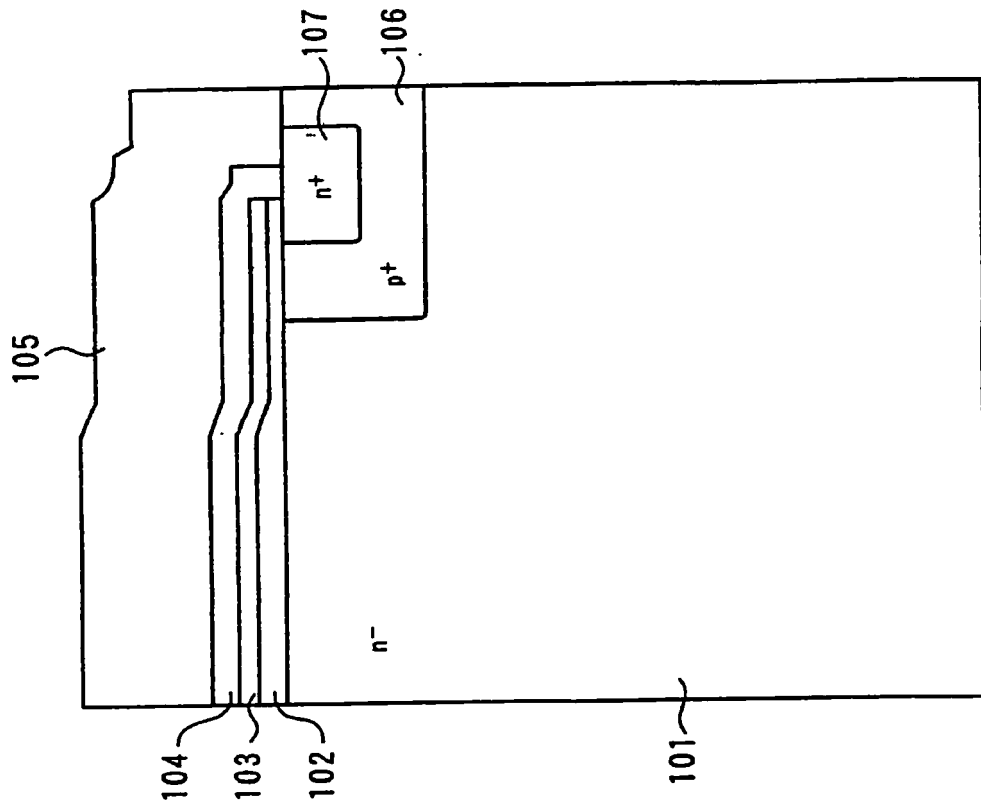


Fig. 37

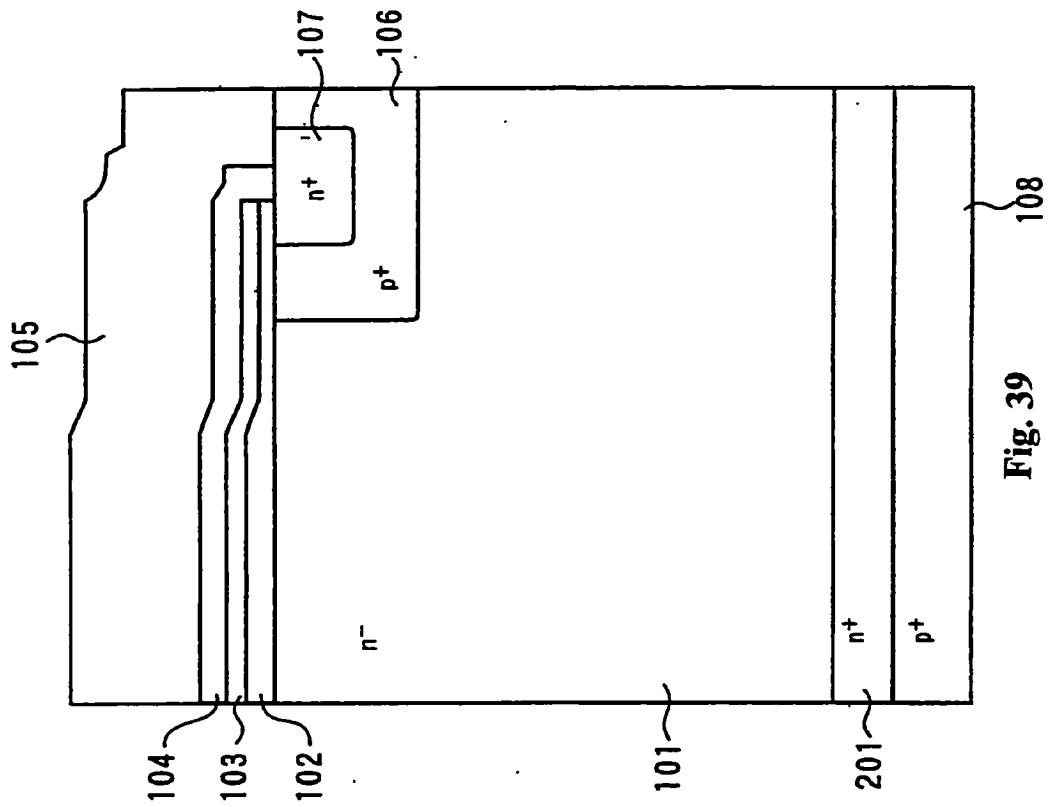


Fig. 39

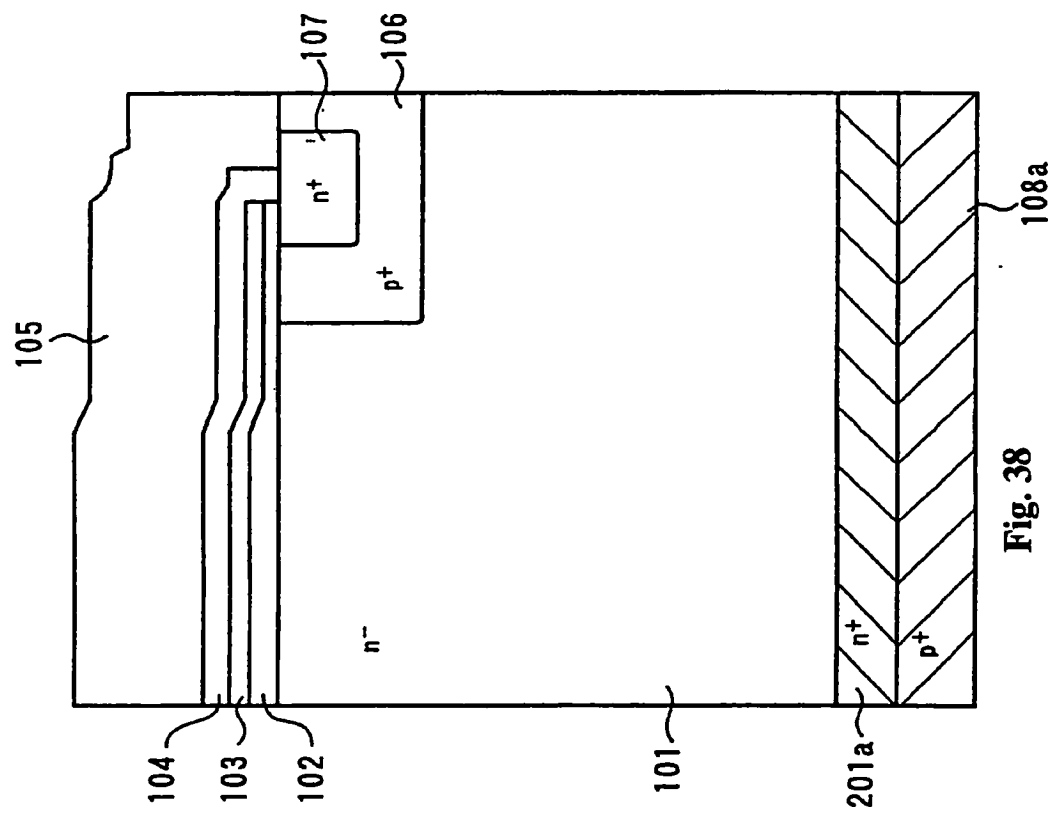


Fig. 38

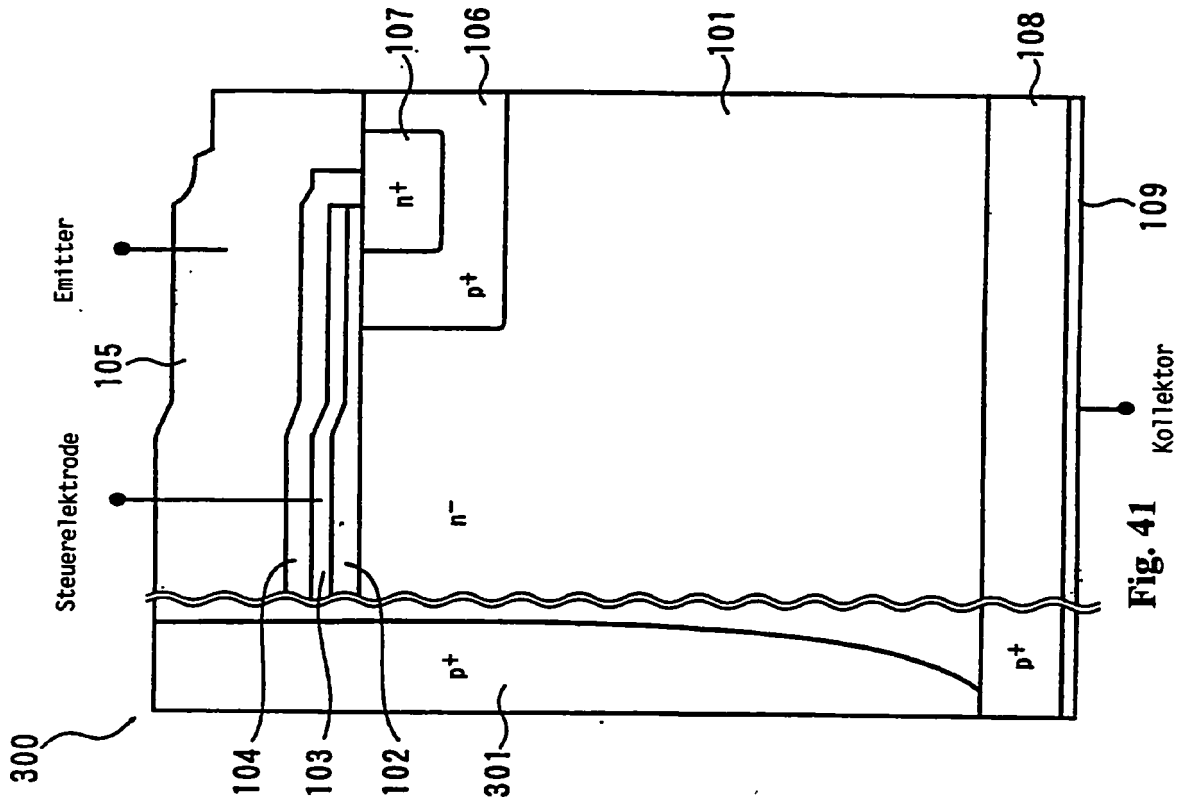


Fig. 41

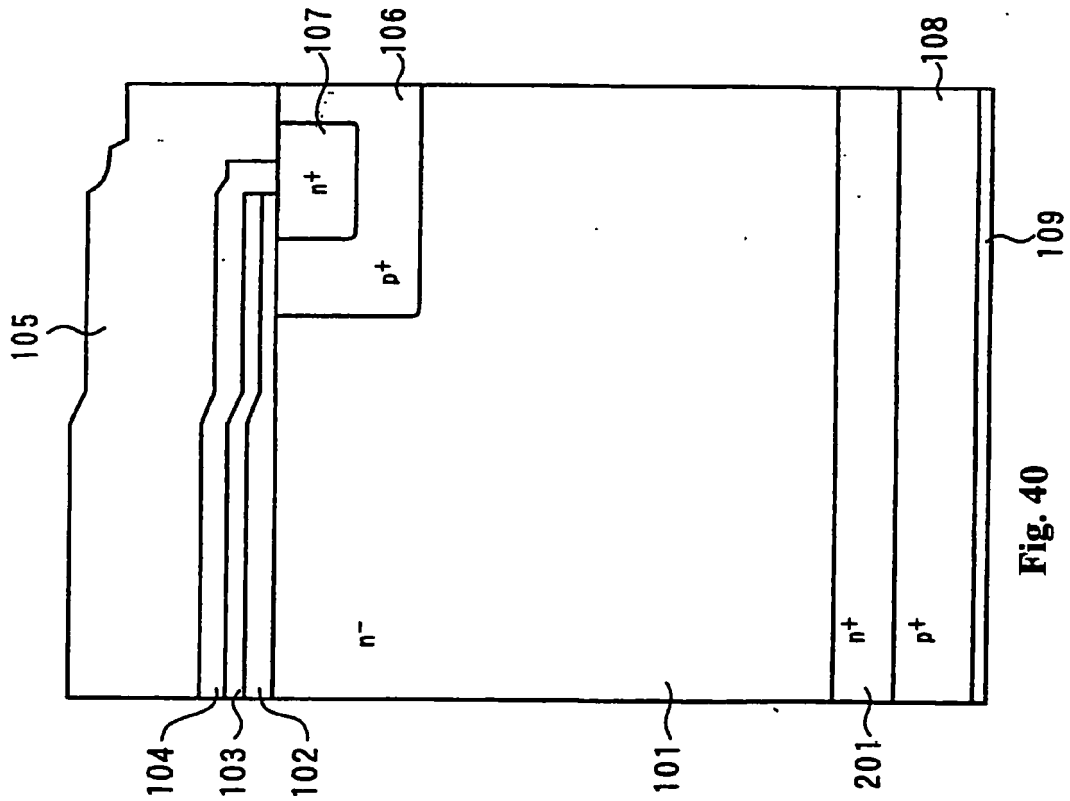


Fig. 40