



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 022 502 A1** 2008.11.20

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 022 502.9**

(22) Anmeldetag: **07.05.2008**

(43) Offenlegungstag: **20.11.2008**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 21/22** (2006.01)

H01L 21/265 (2006.01)

H01L 21/24 (2006.01)

H01L 21/74 (2006.01)

H01L 21/328 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
11/748,327 14.05.2007 US

(71) Anmelder:
Infineon Technologies AG, 85579 Neubiberg, DE

(74) Vertreter:
Schoppe, Zimmermann, Stöckeler & Zinkler, 82049 Pullach

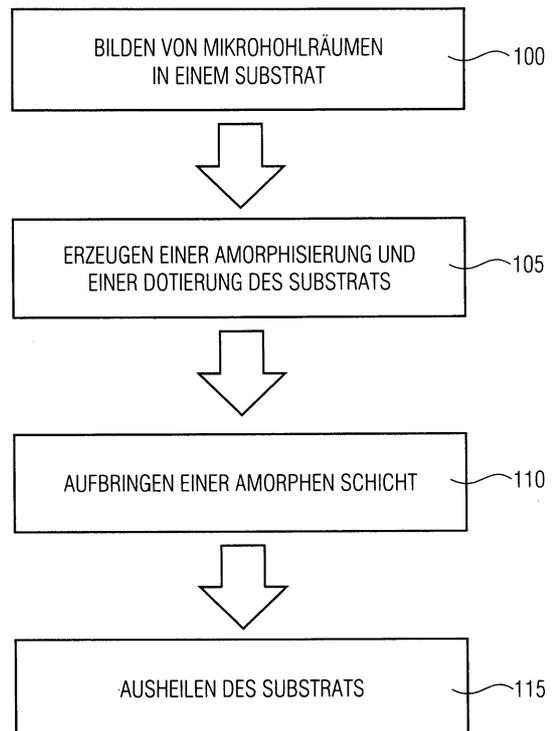
(72) Erfinder:
Giles, Luis-Felipe, 80469 München, DE; Goldbach, Matthias, 01127 Dresden, DE; Bartels, Martin, 01109 Dresden, DE; Küpper, Paul, 85625 Glonn, DE

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat**

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat umfasst ein Bilden einer Mehrzahl von Mikrohohlräumen in einem Substrat, ein Erzeugen einer Amorphisierung des Substrats, um kristallographische Defekte zu bilden, und eine Dotierung des Substrats mit Dotierungsatomen, ein Aufbringen einer amorphen Schicht auf das Substrat und ein Ausheilen des Substrats, derart, dass zumindest ein Teil der kristallographischen Defekte unter Verwendung der Mikrohohlräume beseitigt wird. Das Halbleiterelement wird unter Verwendung der Dotierungsatome gebildet.



Beschreibung

- [0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements.
- [0002] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren zum Herstellen einer integrierten Schaltung mit verbesserten Charakteristika zu schaffen.
- [0003] Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und Anspruch 25 gelöst.
- [0004] Verschiedene Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden unten detaillierter mit Bezug auf die zugehörigen Figuren erläutert.
- [0005] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:
- [0006] [Fig. 1](#) ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat mittels eines Aufbringens einer amorphen Schicht;
- [0007] [Fig. 2](#) ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat durch ein Ausheilen des Substrats bei einer Temperatur von weniger als 600°C;
- [0008] [Fig. 3](#) ein Flussdiagramm eines anderen Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat;
- [0009] [Fig. 4](#) eine Implantationsbeschädigung aus einer Voramorphisierung, die Dotierungskonzentrationsprofile von Bor (B) und Germanium (Ge⁺) und die Richtung des Festphasenepitaxialwiederaufwachstums (SPER; SPER = Solid-Phase Epitaxial Regrowth);
- [0010] [Fig. 5](#) die Bildung von Zwischengitteratomen (Interstitialen) in Folge des Ausheilens;
- [0011] [Fig. 6a–Fig. 6d](#) die gemessenen Bordotierungsprofile in einem voramorphisierten Siliziumsubstrat für unterschiedliche Ausheiltemperaturen;
- [0012] [Fig. 7a–Fig. 7d](#) die gemessenen Phosphordotierprofile in einem voramorphisierten Siliziumsubstrat für unterschiedliche Ausheiltemperaturen;
- [0013] [Fig. 8](#) in einem Diagramm das bisherige Verständnis einer Aufwärtsdiffusion bzw. Bergauf-Diffusion in einem Substrat;
- [0014] [Fig. 9](#) ein Diagramm mit einem neuen Verständnis einer Aufwärtsdiffusion in einem Substrat;
- [0015] [Fig. 10](#) ein Diagramm, das die Beseitigung der Aufwärtsdiffusion während eines Ausheilens durch ein Einbringen von Mikrohohlräumen zeigt;
- [0016] [Fig. 11](#) schematisch den Endzustand des Substrats nach dem Beseitigen der Zwischengitteratome;
- [0017] [Fig. 12a](#) als ein anderes Ausführungsbeispiel des Verfahrens zum Herstellen eines Halbleiterelements einen ersten Zustand eines Erzeugens eines FET (Feldeffekttransistors) mit einem Gateoxid, das vor einem Bilden der Mikrohohlräume aufgebracht wird;
- [0018] [Fig. 12b](#) einen weiteren Zustand bei der Herstellung eines FET;
- [0019] [Fig. 12c](#) einen weiteren Zustand bei der Herstellung eines FET;
- [0020] [Fig. 12d](#) einen FET, der mit dem Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements hergestellt wurde;
- [0021] [Fig. 13a](#) als ein anderes Ausführungsbeispiel des Verfahrens zum Herstellen eines Halbleiterelements einen ersten Zustand eines Herstellens eines FET mit Mikrohohlräumen, die vor einem Aufbringen eines Gateoxids gebildet werden;
- [0022] [Fig. 13b](#) einen weiteren Zustand bei der Herstellung eines FET;
- [0023] [Fig. 13c](#) einen weiteren Zustand bei der Herstellung eines FET; und
- [0024] [Fig. 13d](#) einen FET, der mit dem Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements hergestellt wurde.
- [0025] Mit Bezug auf die zugehörigen [Fig. 1](#) bis [Fig. 13d](#) werden Ausführungsbeispiele, die sich auf das Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat beziehen, unten detailliert gezeigt.
- [0026] Mit Bezug auf [Fig. 1](#) ist in dem Flussdiagramm eine detaillierte Erläuterung des Verfahrens zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat gegeben. Dieses Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat weist ein Bilden **100** einer Mehrzahl von Mikrohohlräumen in dem Substrat, ein Erzeugen **105** einer Amorphisierung des Substrats, um kristallographische Defekte zu bilden, und einer Dotierung des Substrats mit Dotieratomen, ein Aufbringen **110** einer amorphen Schicht auf das Substrat, ein Ausheilen **115** des Substrats, derart, dass zumindest ein Teil der kristallographischen Defekte unter Verwendung der Mikrohohl-

räume beseitigt wird, und wobei das Halbleiterelement unter Verwendung der Dotieratome gebildet wird, auf.

[0027] Die Mikrohohlräume in dem Substrat können auf unterschiedliche Arten gebildet werden. Beispielsweise kann das Bilden durch ein Implantieren von Ionen in das Substrat vorgenommen werden. Durch ein Implantieren von Wasserstoffatomen mit einer Dosis größer 10^{16} cm⁻² in ein Siliziumsubstrat werden beispielsweise Mikrohohlräume in demselben gebildet. Anstelle von Wasserstoffionen (H₂⁺-Ionen) können andere Ionen verwendet werden, wie Heliumionen (He⁺-Ionen), Fluorionen (F⁺-Ionen), Neonionen (Ne⁺-Ionen), Chlorionen (Cl⁺-Ionen) oder Argonionen (Ar⁺-Ionen).

[0028] Das Implantieren von Ionen in das Substrat ist ein einfacher und zuverlässiger Mechanismus, um die Mikrohohlräume zu bilden. Die Mikrohohlräume in dem Substrat können beispielsweise in allen drei Dimensionen eine Größe in dem Mikrometerbereich aufweisen. Die Erstreckung der Mikrohohlräume kann beispielsweise in eine oder zwei Dimensionen in einem Mikrometerbereich und in der dritten Dimension in dem Nanometerbereich liegen. Die Mikrohohlräume können jedoch auch eine Erstreckung in dem Nanometerbereich in alle drei Dimensionen aufweisen.

[0029] Die Mikrohohlräume in dem Substrat können als Senken für kristallographische Defekte wirken, die während eines Dotierens und Amorphisierens des Substrats erzeugt werden.

[0030] Die Mikrohohlräume, die in dem Kristallgitter des Substrats gebildet sind, sind temperaturstabil, selbst bei einem Anwenden eines Hochtemperaturschritts von mehr als 1000°C nach dem Bilden der Mikrohohlräume.

[0031] Ferner können die Mikrohohlräume die transiente Anreicherungsdiffusion (TED = Transient Enhance Diffusion) der implantierten Dotieratome verringern, die für gewöhnlich durch die Eigenzwischengitteratomübersättigung bewirkt wird, die den kristallographischen Defekten zugeordnet ist.

[0032] Das Erzeugen einer Amorphisierung des Substrats, um kristallographische Defekte zu bilden, und einer Dotierung des Substrats mit Dotieratomen **105** kann die Verwendung von Amorphisierungssionen zu einer Voramorphisierung des Substrats aufweisen, beispielsweise gefolgt von einer Niedrigenergieimplantation von p-Typ-Dotierstoffen. Die Amorphisierung des Substrats und die Dotierung des Substrats können ein Implantieren von Boratomen, Phosphoratomen oder Arsenatomen in das Substrat aufweisen. Das Implantieren von Boratomen kann die Einbringung von Borionen in das Substrat, ein Ein-

bringen von Borfluorid (BF₂) oder ein Einbringen von Borclustern (B_xH_y) aufweisen.

[0033] Das Erzeugen einer Amorphisierung des Substrats, um kristallographische Defekte zu bilden, kann entweder durch ein Verwenden von Amorphisierungssionen für eine Voramorphisierung des Substrats, gefolgt von einem Dotieren mit Dotieratomen, oder durch ein Dotieren des Substrats mit Dotieratomen erfolgen, was abgesehen von dem Dotieren auch eine Amorphisierung des Substrats bewirken kann. Als Dotieratome können beispielsweise Boratome, Phosphoratome oder Arsenatome verwendet werden.

[0034] Das Erzeugen der Amorphisierung und das Bilden der Mikrohohlräume wird durchgeführt, derart, dass die Mikrohohlräume nahe der Grenzfläche bzw. Schnittstelle einer kristallinen Region des Substrats und einer amorphen Region des Substrats, die durch die Amorphisierung des Substrats gebildet ist, gebildet sind. Deshalb wird die Amorphisierung durchgeführt, derart, dass eine vergrabene kristallographische Defektschicht nahe der Region der Mehrzahl der Mikrohohlräume gebildet ist.

[0035] Mittels des Implantierens der Amorphisierungssionen, beispielsweise Germaniumionen (Ge⁺-Ionen) in der kristallinen Region des Substrats werden kristallographische Defekte erzeugt. So genannte Zwischengitteratome werden nahe der Grenzfläche zwischen der amorphen Region und der kristallinen Region gebildet, was eine Deaktivierung von Dotieratomen bewirken kann und zu einer transienten Anreicherungsdiffusion (TED) in dem Substrat führen kann. Aufgrund der Position derselben nahe an der Grenzfläche zwischen der amorphen Region und der kristallinen Region des Substrats werden die Zwischengitteratome auch „Endbereich“-Defekte (EOR-Defekte, EOR = End-Of-Range) genannt.

[0036] Sowohl die Dotiermitteldeaktivierung als auch die TED werden durch eine Eigenzwischengitteratomübersättigung bewirkt, die durch den Implantationsprozess selbst erzeugt wird.

[0037] In dem Kontext dieser Anmeldung bezieht sich der Begriff „Eigenzwischengitteratom“ auf einen spezifischen Typ eines eindimensionalen Punktdefekts in einem Kristallgitter. Insbesondere soll ein Eigenzwischengitteratom ein Atom sein, das bei einer Position zwischen normalen Gitteratomen, d. h. einem Zwischenraum, angeordnet ist. Der Begriff „eigen“ gibt an, dass das Zwischengitteratom von der gleichen Art wie die normalen Gitteratome ist. In einem Siliziumsubstrat beispielsweise würde sich ein Eigenzwischengitteratom auf ein Siliziumatom beziehen, das an einem Zwischenraum bzw. Zwischengitterplatz aufgenommen ist. In der folgenden Beschreibung werden die Begriffe „Eigenzwischengitteratom“,

„Zwischengitteratom“ und „Zwischengitteratomtypdefekte“ austauschbar verwendet.

[0038] Zum Herstellen eines Halbleiterelements sind weder die Deaktivierung der Dotieratome, beispielsweise Boratome, noch die transiente Anreicherungsdiffusion erwünscht. Die Dotierungsdeaktivierung bei niedrigen Temperaturen tritt aufgrund der Bildung von unbeweglichen Dotiermittelzwischengitteratomclustern auf. Die Quelle von Zwischengitteratomen, die für die Bildung von Dotiermittelzwischengitteratomclustern nötig ist, ist in der Endbereichbeschädigung zu sehen, die nahe an der ursprünglichen Grenzfläche zwischen der amorphen Region und der kristallinen Region des Substrats positioniert ist.

[0039] Eine Möglichkeit, um beide oben erwähnte Phänomene zu beseitigen, d. h. die transiente Anreicherungsdiffusion und die Dotiermitteldeaktivierung, besteht darin, die Quelle von Zwischengitteratomen vollständig zu unterdrücken. Um eine TED und eine Dotiermitteldeaktivierung zu verringern, wird eine Implantation als Borfluorid, Kohlenstoff und Fluor in Verbindung mit beispielsweise einer Germanium-Voramorphisierung vorgenommen. Da sowohl Fluor als auch Kohlenstoff bekanntlich durch zwischengitteratomartige Mechanismen diffundieren, kann die Kopplung von Fluor oder Kohlenstoff innerhalb von Zwischengitteratomen helfen, die Gesamteigenzwischengitteratomübersättigung zu verringern, die für die TED verantwortlich ist. Der oben erwähnte Implantationsansatz ist jedoch nicht in der Lage, die TED vollständig zu unterdrücken, weil derselbe die Quelle des Problems nicht vollständig beseitigt, die tatsächlich in den überschüssigen Zwischengitteratomen liegt, die an der Kristallin/Amorph-Grenzfläche positioniert sind.

[0040] Das Aufbringen einer amorphen Schicht auf das Substrat **110** kann bei einer Temperatur von weniger als 500°C durchgeführt werden, beispielsweise bei 450°C. Als eine amorphe Schicht kann beispielsweise Silizium auf das Substrat in einer Dicke zwischen 5 nm und 100 nm aufgebracht werden. Der Zweck der dünnen amorphen Schicht kann darin liegen, die Dotieratomkonzentration nahe der Oberfläche des Substrats zu schützen.

[0041] Nahe der Grenzfläche zwischen zwei unterschiedlichen Substratmaterialien oder zwischen Substrat und Luft, beispielsweise zwischen kristallinem Silizium und amorphem Silizium, oder zwischen amorphem Silizium und Luft, oder zwischen kristallinem Silizium und Luft, oder zwischen Silizium und Siliziumdioxid, kann eine Veränderung bei dem Dotierprofil auftreten. Während eines Temperaturschritts ist beispielsweise eine Anreicherung oder eine Segregation von Dotieratomen nahe der Grenzfläche zu beobachten.

[0042] Das Ausheilen bzw. das Erwärmen des Substrats **115** wird durchgeführt, um zumindest einen Teil der amorphisierten Region im Rahmen des Festphasenepitaxialwiederaufwachsens (SPER) zu rekristallisieren. Mittels des SPER kann zumindest ein Teil der Zwischengitteratome ausgeheilt werden. Es sind jedoch normalerweise immer noch einige Zwischengitteratome bzw. Endbereichdefekte an der Grenze zwischen der amorphen Region und der kristallinen Region des Substrats übrig. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren können dennoch die Endbereichdefekte durch die implantierten Mikrohohlräume verringert oder beseitigt werden. Das Ausheilen im Rahmen des SPER-Prozesses kann beispielsweise bei einer Temperatur von weniger als 650°C oder weniger als 580°C durchgeführt werden. Das Ausheilen des Substrats kann durchgeführt werden, derart, dass die amorphe Schicht, die zuvor aufgebracht wurde, ebenfalls rekristallisiert wird.

[0043] [Fig. 2](#) zeigt ein Flussdiagramm gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung, das erneut ein Bilden **100** von Mikrohohlräumen in einem Substrat, ein Erzeugen **105** einer Amorphisierung und einer Dotierung eines Substrats und ein Ausheilen **115** des Substrats bei einer Temperatur von weniger als 600°C aufweist. Bei diesem Ausführungsbeispiel wurde ein Substrat, beispielsweise ein Siliziumsubstrat, unter Verwendung von Germaniumionen als Implantationen voramorphisiert, gefolgt von einer Implantation von Dotieratomen, beispielsweise mittels eines Einbringens von Borionen oder eines Einbringens von Borfluoridionen in das Substrat **105**, ohne ein Aufbringen einer amorphen Schicht auf das Substrat, und das Ausheilen bzw. das SPER des Substrats **115** wird bei einer Temperatur von weniger als 600°C durchgeführt. Das optimierte SPER bei niedriger Temperatur ($T < 600^{\circ}\text{C}$) oder beispielsweise auch bei $T < 580^{\circ}\text{C}$ ermöglicht die Rekristallisierung der amorphen Region des Substrats ohne einen erheblichen Dotieratomverlust. Dieser optimierte SPER-Prozess wird benötigt, um sicherzustellen, dass das Wie-Implantiert-Dotieratomprofil, beispielsweise Borprofil, unbeweglich bleibt.

[0044] Die Mikrohohlräume, die in dem Substrat **100** gebildet sind, wirken als Senken für die Zwischengitteratome, weswegen eine Aufwärtsdiffusion während der Niedertemperaturverarbeitung und auch während einer weiteren Probenverarbeitung unterdrückt ist, wobei das Dotierprofil der Dotieratome beinahe so wie implantiert bleiben kann. Dies zeigt, dass die Aufwärtsdiffusion zu der Substratoberfläche dem SPER-Prozess nicht inhärent ist, und dass es unter bestimmten Umständen möglich ist, dieselbe beinahe vollständig zu unterdrücken. Der physikalische Prozess, der zu einer Aufwärtsdiffusion führt, ist die Migration von Eigenzwischengitteratomen von der Endbereichdefektregion (EOR-Defektregion) zu der Oberfläche. Da Bor hauptsächlich durch ein Paaren

mit Eigenzwischengitteratomen diffundiert, ermöglicht ein großer Fluss von Zwischengitteratomen zu der Oberfläche, dass die Boratome, die an dem Ende der Konzentration positioniert sind, gegen den Gradienten einer Bor-Konzentration diffundieren. Die technologische Bedeutung eines Unterdrückens einer Aufwärtsdiffusion und als eine direkte Folge eines Borverlustes ist ziemlich hoch, da dasselbe ein Element einer Instabilität des Prozesses beseitigt, was besonders bedeutsam ist, wenn ein Technologietransfer betrachtet wird.

[0045] [Fig. 3](#) zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat. Diese Figur weist weitere mögliche Prozesse für das Verfahren zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat auf. Nach dem Bilden von Mikrohöhlräumen in einem Substrat, wie es oben erwähnt ist, kann eine Oxidschicht **102** auf das Substrat aufgebracht werden, die als ein Schirmoxid wirkt, um eine bestimmte Streuung der Atome bei den nachfolgenden Implantationsschritten und deshalb eine Verringerung der Kanalbildung zu erreichen. Das Aufbringen einer Schirmoxidschicht kann bereits vor dem Bilden der Mikrohöhlräume in dem Substrat stattfinden. Beispielsweise durch ein Verwenden eines 10 nm dicken Schirmoxids kann eine H_2^+ -Ionenimplantation mit einer Implantationsenergie von $E = 10 \text{ keV}$ und einer Implantationsdosis $\Phi = 10^{16} \text{ H}_2^+/\text{cm}^2$ eine Tiefe von näherungsweise 100 nm erreichen. Gemäß einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung könnte die Oxidschicht auch als eine zusätzliche Maske wirken, um die laterale Ausdehnung der Mikrohöhlraumregion und/oder der Amorphisierungs-/Dotierungszone in dem Substrat zu begrenzen.

[0046] Nach dem Erzeugen einer Amorphisierung und einer Dotierung des Substrats **105** kann die oben erwähnte aufgebrauchte Oxidschicht oder Maske mittels einer herkömmlichen Einrichtung entfernt werden **108**.

[0047] Wie es in [Fig. 1](#) gezeigt ist, kann eine amorphe Schicht auf das Substrat mit dem Ziel aufgebracht werden, die Dotieratomkonzentration nahe der Oberfläche des Halbleiterelements zu schützen. Wie es oben beschrieben ist, wird das Ausheilen des Substrats **115** ausgeführt, um eine Rekristallisierung, die zuvor amorphisiert wurde, durch ein Festphasenepitaxialwiederaufwachsen (SPER) zu ermöglichen. Das Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat kann weitere Prozessschritte aufweisen, beispielsweise ein Aufbringen von Tetraethylorthosilikat (TEOS) **120** und ein Aufbringen von Nitrid **125** für einen Nitridabstandhalteraufbau. Ferner kann die Herstellung eines Halbleiterelements einen weiteren Erwärmungsprozess des Substrats **130** aufweisen, beispielsweise einen schnellen thermischen

Prozess (RTP, RTP = Rapid Thermal Process), ein Laserausheilen oder ein Blitzausheilen.

[0048] [Fig. 4](#) zeigt die Ionenkonzentration in einer logarithmischen Darstellung in einem Siliziumsubstrat, aufgetragen entlang der y-Achse des Diagramms, wobei die Dotieratomkonzentration von der Tiefe in dem Substrat abhängt, die entlang der x-Achse des Diagramms aufgetragen ist, wobei die Hauptoberfläche des Substrats sich auf der linken Seite des Diagramms befindet.

[0049] Es wird angenommen, dass die Oberflächenregion **203** des Diagramms des Substrats unter Verwendung von Germaniumionen als Implantationen mit einem Konzentrationsprofil, wie es in dem Diagramm durch eine Kurve **204** gezeigt ist, voramorphisiert wurde. Es wird ferner angenommen, dass, nachdem die Voramorphisierung ausgeführt wurde, Boratome in das Substrat implantiert wurden, beispielsweise mittels eines Einbringens von Borionen oder eines Einbringens von Bor-Fluor-Ionen in das Substrat. Das jeweilige Konzentrationsprofil der Boratome ist durch die Kurve **205** dargestellt. Wie es in [Fig. 1](#) gezeigt ist, wurde die Ge^+ -Ionenimplantation in das Substrat in einer derartigen Weise ausgeführt, dass nach der Implantation sowohl die amorphisierten Regionen **203** als auch die kristalline übrige Region **206** des Substrats Germanium enthalten. Während der Implantation der Ge^+ -Ionen in die kristalline Region **206** des Substrats werden kristallographische Gitterbeschädigungen, auch Kristallgitterdefekte genannt, erzeugt. Derartige Zwischengitteratomtypdefekte oder Zwischengitteratome **210** (siehe [Fig. 5](#)) werden innerhalb der kristallinen Region **206** des Substrats in Folge der Implantation von Germaniumionen gebildet.

[0050] Ein nachfolgender Ausheilprozess wird für gewöhnlich ausgeführt, um eine Rekristallisierung eines Abschnitts der amorphisierten Region **203** während eines Festphasenepitaxialwiederaufwachsprozesses (SPER-Prozesses) zu ermöglichen, wie es durch den Pfeil **209** in [Fig. 4](#) angegeben ist. Zusätzlich werden einige der Zwischengitteratome, die durch die implantierte Beschädigung gebildet sind, beseitigt. Es werden jedoch nicht alle derselben beseitigt. Insbesondere verbleiben in einer Grenzregion **208** an der Grenzfläche zwischen der amorphen Region **203** und der kristallinen Region **206** so genannte Endbereich-Zwischengitteratomtypdefekte **210**. Anders ausgedrückt verbleiben selbst nach dem SPER-Schritt immer noch Endbereich-Zwischengitteratombeschädigungen an dem Ende des Implantatprofils **201**.

[0051] [Fig. 5](#) zeigt eine Situation auf ein Ausheilen hin. Auf das Ausheilen hin sind die Zwischengitteratome in den Zwischengitteratomtypdefekten **210** zusammengedrängt, was eine transiente Anreicherung

rungsdiffusion (TED) und eine Dotieratomdeaktivierung vorantreiben kann.

[0052] Die Zwischengitteratomtypdefekte **210** können eine transiente Anreicherungsdiffusion von Dotieratomen, beispielsweise Boratomen in [Fig. 5](#), bewirken und ferner sind dieselben die Ursache für eine unerwünschte Deaktivierung der Dotieratome. Sowohl die Deaktivierung der Dotieratome als auch die TED sind eine Folge von ein und demselben Mechanismus, nämlich der Übersättigung kristallographischer Gitterdefekte, die durch den Implantationsprozess erzeugt ist. Während des folgenden Festphasenepitaxialwiederaufwachstums beseitigt der Kristallisationsprozess für gewöhnlich einen Teil der Zwischengitteratome, aber nicht alle derselben werden ausgeheilt. Insbesondere verbleiben die Endbereichdefekte an der Grenze zwischen der amorphen Region **203** und der kristallinen Region **206**.

[0053] Ferner ist zu beachten, dass die Zwischengitteratomtypdefekte **210** teilweise in die Richtung zu der Hauptoberfläche des Substrats hin (der linken Seite in [Fig. 5](#)) diffundieren.

[0054] Als ein Substrat kann ein Siliziumsubstrat verwendet werden, beispielsweise ein (100)-Siliziumsubstrat oder ein (111)-Siliziumsubstrat.

[0055] [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) zeigen ein gemessenes Bordotierungsprofil in einem Siliziumsubstrat abhängig von der Tiefe in dem Substrat für unterschiedliche Ausheiltemperaturen. Die gezeigten Bordotierungskonzentrationsprofile sind typische Kurven, wie dieselben zum Herstellen ultraflacher Übergänge (Junctions) bei bestimmten Halbleiterelementen gebildet sind. [Fig. 6a](#) zeigt eine Bordotierungskonzentration **218** wie implantiert. Für die weitere Verarbeitung des Halbleiterelements wäre es erwünscht, dass das Dotierprofil sich nicht veränderte und bliebe wie implantiert. Das Dotierprofil innerhalb des Substrats verändert sich bei einem Anlegen einer Temperatur von 800°C für eine Stunde **220** für den nachfolgenden Ausheilprozess, um die Rekristallisierung des amorphen Teils des Substrats durchzuführen (siehe [Fig. 6b](#)). Der Mechanismus, der zu der gezeigten Veränderung des Bordotierprofils führt, ist die so genannte transiente Anreicherungsdiffusion. Die transiente Anreicherungsdiffusion (TED) der implantierten Dotieratome, in diesem Fall Bor, wird normalerweise durch kristallographische Defekte bewirkt. Verglichen mit der Wie-Implantiert-Kurve **218** weist die Kurve **220** eine andere Differenz **222** auf, die durch die oben erwähnte Aufwärtsdiffusion bewirkt ist.

[0056] Im Gegensatz zu der TED ist die Aufwärtsdiffusion bereits bei einer Ausheiltemperatur von 700°C zu sehen, die eine Stunde lang angelegt ist (siehe [Fig. 6c](#)). Die Aufwärtsdiffusion führt zu einer Verschiebung der Bordotierungskonzentration zu der

Richtung der Substratoberfläche hin, wie es durch ein Vergleichen der Kurve **218**, die die Bordotierungskonzentration wie implantiert zeigt, und der Kurve **224** nach einer Aufwärtsdiffusion der Boratome zu sehen ist.

[0057] In [Fig. 6d](#) ist gezeigt, dass ein optimierter thermischer SPER-Prozess bei 600°C eine Stunde lang nicht zu einer Veränderung bei der Bordotierungsprofilkurve führt. Die Bor-Wie-Implantiert-Kurve **218** und die Kurve **226** nach dem Ausheilen bei 600°C für eine Stunde sind beinahe identisch.

[0058] Wie es oben erwähnt ist, ist die Dotierung des Substrats mit Dotieratomen nicht lediglich auf Boratome beschränkt, sondern auch auf andere n-Typ-Dotiermittel, wie beispielsweise Phosphoratome. Folglich zeigen [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7d](#) gemessene Phosphordotierungsprofile abhängig von der Tiefe des Substrats für unterschiedliche Ausheiltemperaturen. [Fig. 7a](#) zeigt das Phosphordotierungsprofil wie implantiert abhängig von der Tiefe in dem Substrat.

[0059] [Fig. 7b](#) zeigt die Dotierungsprofilkurve **230** für das Phosphordotiermittel wie implantiert verglichen mit dem Dotierungsprofil **232** nach einem Ausheilen des Substrats eine Stunde lang bei 800°C. Die Dotierungsprofilkurve **232** nach dem Ausheilen weist erneut eine erhebliche Veränderung verglichen mit der Kurve **230** auf, die durch die Aufwärtsdiffusion und die TED bewirkt ist.

[0060] Ein Ausheilen für eine Stunde bei 700°C kann zu einer deutlichen Aufwärtsdiffusion führen, wie es in [Fig. 7c](#) in einem Vergleich der Kurve **234** mit **230** zu sehen ist.

[0061] [Fig. 7d](#) zeigt klar, dass ein Ausheilen bei 600°C für eine Stunde nicht zu irgendeiner erheblichen Veränderung bei der Phosphordotierungsprofilkurve führt. Das exakte Diffusionsverhalten der jeweiligen Dotierungsatome hängt natürlich von den jeweiligen chemischen und physikalischen Eigenschaften der Dotierungsatome ab. Deshalb kann die Dotierung des Substrats mit unterschiedlichen Arten von Dotierungsatomen durchgeführt werden.

[0062] Um die Implantationsbeschädigung auszuheilen, die durch die Amorphisierungsimpantation und/oder durch die Dotierungsimpantation bewirkt ist, und um die Dotierungsatome zu aktivieren, wird normalerweise häufig ein Schritt höherer Temperatur bei einer Temperatur von mehr als 1300°C angewandt. Dieser schnelle thermische Prozess kann eine Lasererwärmung oder eine Blitzerwärmung aufweisen. Ein Nachteil dieses Verfahrens besteht in der Deaktivierung der Dotierungsatome während eines nachfolgenden Niedertemperaturausheilprozesses. Die Deaktivierung der Dotierungsatome bei niedrigen Temperaturen tritt aufgrund der Bildung von unbe-

weglichen Dotierungsatom-Zwischengitteratomclustern auf. Die Quelle von Zwischengitteratomen, die für die Bildung der Dotierungsatom-Zwischengitteratomcluster benötigt werden, besteht in den oben erwähnten Endbereichdefekten.

[0063] [Fig. 8](#) zeigt ein Diagramm des bisherigen Verständnisses einer Aufwärtsdiffusion. Dieses bisherige Verständnis basierte beispielsweise für Boratome in Silizium auf der Annahme, dass während eines Ausheilens mit Festphasenepitaxialwiederaufwachsen Bor durch die sich bewegende Front einer Rekristallisierung aus der Struktur gedrückt wurde. Die sich bewegende Front des Festphasenepitaxialwiederaufwachsens ist in [Fig. 8](#) schematisch durch Pfeile **238** und die jeweilige Verschiebung der Bordotierungsprofilkurve **240** in die Richtung zu der angenommenen Siliziumsubstratoberfläche (auf der linken Seite in [Fig. 8](#)) gezeigt.

[0064] [Fig. 9](#) zeigt ein Diagramm des neuen physikalischen Verständnisses einer Aufwärtsdiffusion, das auf der Erkenntnis basiert, dass Zwischengitteratome **210**, die von dem Endbereichdefektband **208** emittiert werden, die Quelle der Aufwärtsdiffusion sind. Die Zwischengitteratomtypdefekte **210** diffundieren teilweise in die Richtung zu der Oberfläche des Siliziumsubstrats hin, und deshalb in die Richtung zu der amorphen Region **203** hin. Diese Zwischengitteratomtypdefektdiffusion ist in [Fig. 9](#) als ein Zwischengitteratomfluss **245** gezeigt. Da ein Zwischengitteratomfluss die Grundursache der Aufwärtsdiffusion der Dotierungsatome ist, beispielsweise der Boratome, wird eine Verringerung eines Zwischengitteratomflusses die Aufwärtsdiffusion verringern oder sogar beseitigen.

[0065] Gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung gibt [Fig. 10](#) eine Gesamtübersicht des Bordotierprofils **205**, des Germaniumprofils **204**, der amorphen Siliziumregion **203**, der kristallinen Siliziumregion **206**, der Endbereichdefektzone **208**, der Zwischengitteratome **210** und der Mikrohohlräume **250a–250d**.

[0066] Wie es in [Fig. 4](#) gezeigt ist, sind die Mikrohohlräume **250a–250d** in einer örtlichen Nähe der Zwischengitteratome **210**, oder vielmehr der Endbereichdefektzone **208**, die später erwartet und gebildet wird, gebildet, wobei die Mikrohohlräume **250a–250d** so nahe an den später gebildeten Zwischengitteratomen **210** oder vielmehr der Endbereichdefektzone **208** gebildet sind, um als Senken für die Zwischengitteratome **210** zu dienen. Anders ausgedrückt werden die Zwischengitteratomtypdefekte **210** mittels der Mikrohohlräume **250a–250d** aufgelöst. Dieser Prozess ist durch Pfeile **252a–252d** und **254a–254d** symbolisch dargestellt. Die Mikrohohlräume **250a–250d** bilden eine Quelle von Leerstellen, die durch die Pfeile **252a–252d** gezeigt sind und die als Senken für die

Zwischengitteratome dienen, was durch die Pfeile **254a–254d** dargestellt ist.

[0067] Der Beseitigungsprozess kann als ein temperaturgestützter Prozess unter Verwendung einer schnellen thermischen Ausheilung (RTA = Rapid Thermal Anneal) ausgeführt werden. Somit kann zumindest teilweise ein sehr einfacher Standardmechanismus zum Beseitigen der unerwünschten Zwischengitteratomtypdefekte **210** verwendet werden. Die Mikrohohlräume **250a–250d** bilden eine Art künstlicher Oberflächenregion innerhalb des Substrats, die bekanntlich als eine Senke für Zwischengitteratome wirkt. Endbereichdefekte sind vielmehr Zwischengitteratomtypdefekte, die eine hohe Instabilität nahe an der Oberfläche eines Substrats aufweisen, weshalb die Mikrohohlräume mit der künstlichen Oberfläche innerhalb des Substrats als Senken für die Zwischengitteratomtypdefekte wirken.

[0068] [Fig. 11](#) zeigt den symbolischen Endzustand des Substrats nach dem Beseitigen der Zwischengitteratomtypdefekte **210**, wohingegen angenommen wird, dass die Mikrohohlräume **250a–250d** nach der Beseitigung der Zwischengitteratomtypdefekte immer noch in dem Substrat verbleiben. Das Dotierungsprofil für Bor **205** und die Germaniumionen **204**, die amorphisierte Zone **203** und die kristalline Zone **206** sind immer noch zu sehen, da das SPER bei der [Fig. 11](#) nicht durchgeführt wird.

[0069] Ein Halbleiterelement, das in einem Substrat gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellt ist, kann beispielsweise zumindest einen flachen Übergang in dem Substrat aufweisen, wobei der flache Übergang Dotierungsatome aufweist. Unterhalb des flachen Übergangs sind die oben erwähnten Mikrohohlräume in dem Substrat gebildet. Die Prozessabfolgen zum Herstellen eines Halbleiterelements in einem Substrat können in einen herkömmlichen Komplementäroxidhalbleiterprozess (CMOS-Prozess; CMOS = Complementary Metal Oxide Semiconductor) integriert werden. Als Dotierungsatome können prinzipiell unterschiedliche Arten von Dotierungsatomen verwendet werden, beispielsweise Boratome, Phosphoratome oder Arsenatome. Zusätzlich oder alternativ können ferner Fluoratome oder Kohlenstoffatome verwendet werden. Diese Dotierungsatome können beispielsweise in das Substrat implantiert werden oder es ist auch denkbar, dass die Dotierung auf eine andere Weise durchgeführt wird, die bei einer Halbleiterverarbeitung verwendet wird.

[0070] Zumindest eine Region des Halbleiterelements, in der die Dotieratome in das Substrat implantiert sind, bildet einen flachen Übergang oder einen ultraflachen Übergang des Halbleiterelements. Das Halbleiterelement kann als ein Transistor gebildet sein, beispielsweise als ein Feldeffekttransistor (FET).

[0071] Gemäß diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann zumindest eine Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, eine Source-Region oder eine Drain-Region des Feldeffekttransistors bilden. Somit kann eine erste Region, in der die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, als eine Source-Region des Feldeffekttransistors gebildet sein, und kann eine zweite Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, als eine Drain-Region des Feldeffekttransistors gebildet sein. Das Substrat kann ein Siliziumsubstrat sein, beispielsweise ein (100)-Siliziumsubstrat oder ein (111)-Siliziumsubstrat.

[0072] Es ist denkbar, dass in dem Kontext der Fertigung eines Feldeffekttransistors nach dem Bilden der Mikrohohlräume eine Gate-Isolation oder vielmehr ein Gate-Dielektrikum gebildet werden kann, beispielsweise eine Gateoxidschicht auf der Kanalregion des Feldeffekttransistors. Es ist jedoch auch denkbar, dass das Gate-Dielektrikum zuerst und die Mikrohohlräume danach gebildet werden. In diesem Fall kann das Gate-Dielektrikum als eine Maske wirken und selbst nach dem Bilden der Mikrohohlräume durch ein Implantieren von Ionen die Region unterhalb des Gate-Dielektrikums frei von Mikrohohlräumen bleiben.

[0073] [Fig. 12a](#) zeigt in einem Diagramm, wobei die y-Achse die Substrattiefe zeigt und eine x-Achse die laterale Position in dem Substrat zeigt, ein Substrat mit kleinen Mikrohohlräumen, die als kleine Platten **320** gebildet sind, während eine Gatestruktur **300** gebildet wurde, bevor die Mikrohohlräume gebildet wurden, und damit vor einer H_2^+ -Ionenimplantation **310**. Die H_2^+ -Ionen sind mit einer Implantationsdosis $\Phi = 2 \times 10^{16} H_2/cm^{-2}$ und mit einer Implantationsenergie von $E = 20$ keV oder alternativ mit einer Implantationsdosis $\Phi = 1,3 \times 10^{16} H_2/cm^{-2}$ und einer Implantationsenergie $E = 120$ keV implantiert. Die Gatestruktur **300** wird in einem herkömmlichen Prozessschritt durch ein Oxidieren der Oberfläche des Siliziumsubstrats **330** und ein Aufbringen von Polysilizium gebildet. Mittels eines Strukturierens der Polysiliziumschicht und der Siliziumoxidschicht wird die Gatestruktur mit einem Gateoxid und einer Gateelektrode gebildet. Die Region unterhalb der Gatestruktur **300** verbleibt selbst nach der H_2^+ -Ionenimplantation ohne H_2^+ -Ionen, da die Gatestruktur **300** während der H_2^+ -Ionenimplantation als eine Art von Maske wirkt. [Fig. 12b](#) zeigt das Halbleiterelement nach einem Ausheilen desselben für 1 h bei $T = 700^\circ C$, um die H_2^+ -Ionen auszudiffundieren, und beispielsweise ein Bilden größerer Mikrohohlräume **350** durch ein Ausheilen der kleinen Platten **320** für 1 s bei $1100^\circ C$.

[0074] In [Fig. 12c](#) wird die gezeigte Struktur in der Oberflächenregion herunter bis zu einer Tiefe von näherungsweise 50 nm bis 200 nm, beispielsweise bis

herunter zu einer Tiefe von näherungsweise 100 nm, durch ein Implantieren von Ge^+ -Ionen **321** amorphisiert, so dass das vormals kristalline (100)-Siliziumsubstrat **330** eine amorphe Region **203**, die sich näherungsweise zu den Mikrohohlräumen **350** erstreckt, und eine kristalline Region **206** aufweist. Der näherungsweise Abstand zwischen den Mikrohohlräumen **350** und der unteren Grenze der amorphen Region **203** beträgt etwa 10 nm und 20 nm. Bei diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung werden die Ge^+ -Ionen **321** mit einer Implantationsenergie von $E = 120$ keV und einer Implantationsdosis von $\Phi = 10^{15} cm^{-2}$ implantiert.

[0075] In [Fig. 12d](#) sind eine Source-Region **360** und eine Drain-Region **370** durch ein Verwenden der Gatestruktur **300** als einer Maske für die nachfolgende Borimplantation **380** in der amorphen Region **203** gebildet (siehe [Fig. 12d](#)). Somit ist ein Feldeffekttransistor (FET) gebildet, der weniger Zwischengitteratome als gewöhnlich gefertigte FETs aufweist. Zusätzlich ist die TED in dem FET verringert, wie es oben erläutert ist.

[0076] In [Fig. 12a–Fig. 12d](#) wird die H_2^+ -Ionenimplantation und die Erwärmung, um Mikrohohlräume aus kleinen Platten zu bilden, vor der Amorphisierung des Substrats **330** durchgeführt.

[0077] [Fig. 13a–Fig. 13d](#) zeigen bei einem anderen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung einen weiteren Prozess, um einen FET herzustellen. Im Gegensatz zu [Fig. 12a–Fig. 12d](#) wird die Gatestruktur **300** nach dem Bilden der Mikrohohlräume **350** gebildet, während das Verfahren zum Durchführen der einzelnen Schritte identisch mit dem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung von [Fig. 12a–Fig. 12d](#) ist, weshalb die einzelnen Schritte nicht erneut detailliert beschrieben sind.

[0078] Wie es in [Fig. 13a](#) gezeigt ist, werden die H_2^+ -Ionen in das Substrat implantiert, derart, dass die Mikrohohlräume beispielsweise als kleine Platten **320** gebildet werden. Da es keine Gatestruktur **300** während der H_2^+ -Ionenimplantation gibt, wird eine kontinuierliche Struktur von Mikrohohlräumen, beispielsweise in der Form kleiner Platten **320**, in dem Substrat gebildet.

[0079] Gemäß dem oben erwähnten Verfahren können wiederum größere Hohlräume **350** gebildet werden, wie es in [Fig. 13b](#) gezeigt ist.

[0080] Danach kann die Gatestruktur **300** beispielsweise gemäß dem Verfahren gebildet werden, das in Verbindung mit [Fig. 12a](#) beschrieben ist, und wie es in [Fig. 13c](#) gezeigt ist.

[0081] In [Fig. 13d](#) bildet die Gatestruktur **300** eine Maske für die nachfolgende Borimplantation **380** in

der amorphen Region **203**, um eine Source-Region **360** und eine jeweilige Drain-Region **370** zu erzeugen, so dass der Feldeffekttransistor abgeschlossen ist.

[0082] Somit ist ein Feldeffekttransistor (FET) gebildet, der weniger Zwischengitteratome als gewöhnlich gefertigte FETs aufweist. Zusätzlich ist die TED bei dem FET reduziert, wie es oben erläutert ist.

[0083] Wie bereits erwähnt, werden durch das Bilden der Mikrohohlräume, die als Senken für Zwischengitteratomtypdefekte wirken, die transiente Anreicherungsdiffusion und auch die Dotierungsatomdeaktivierung verringert oder beseitigt. Aus diesem Grund sind keine Hochtemperaturprozesse mehr nötig. Dies bietet eine Mehrzahl von Möglichkeiten, einen geeigneten schnellen thermischen Prozess zu wählen.

[0084] Die Größe der Mikrohohlräume in dem Substrat kann durch die exakten Implantations- und Ausheilbedingungen abgestimmt werden. Im Allgemeinen kann die Länge und die Breite der Mikrohohlräume in der Größenordnung von beispielsweise 10 nm liegen und kann die Höhe der Mikrohohlräume in der Größenordnung von 0,54 nm liegen. Mittels der Implantationsdosis und/oder der Implantationsenergie kann die Tiefe und die Ausdehnung der Region, in der die Mikrohohlräume in dem Substrat gebildet sind, beeinflusst werden. Beispielsweise können die Ionen mit einer Energie zwischen 10 keV und 150 keV und mit einer Implantationsdosis von näherungsweise 10^{15} cm^{-2} und 10^{18} cm^{-2} implantiert werden. Ferner kann das Ausheilen zu einer Diffusion der implantierten Voramorphisierungionen in der Form von neutralen Atomen oder vielmehr Molekülen führen. In dem Fall der implantierten H_2^+ -Ionen beispielsweise könnten durch das Ausheilen H_2 -Moleküle gebildet werden.

[0085] Bis jetzt wurde die Aufwärtsdiffusion von Dotierungsatomen, beispielsweise Boratomen, als ein inhärenter Nachteil des SPER-Prozesses behandelt. Deshalb besteht einer der bedeutsamsten Aspekte der Erfindung darin, eine Aufwärtsdiffusion während einer Niedertemperaturverarbeitung wirksam zu unterdrücken und sicherzustellen, dass die Aufwärtsdiffusion während einer weiteren thermischen Verarbeitung nicht auftritt. Eine Aufwärtsdiffusion ist dem SPER-Prozess nicht inhärent und kann unter bestimmten Umständen, wie es oben beschrieben ist, vollständig unterdrückt werden. Es wurde deutlich identifiziert, dass der physikalische Prozess, der zu einer Aufwärtsdiffusion führt, die Migration von Eigenzwischengitteratomen von den Endbereichsregionen zu der Oberfläche des Substrats ist. Da beispielsweise Bor hauptsächlich durch ein Paaren mit Zwischengitteratomen diffundiert, ermöglicht ein großer Fluss von Zwischengitteratomen zu einer Ober-

fläche hin, dass die Boratome, die an dem Ende der Konzentration positioniert sind, gegen den Gradienten einer Borkonzentration diffundieren. Die Bedeutung eines Unterdrückens einer Aufwärtsdiffusion und als eine direkte Folge eines Borverlusts durch eine Deaktivierung ist ziemlich hoch, da dasselbe ein Element einer Instabilität für den Prozess beseitigt, was besonders bedeutsam ist, wenn ein Technologietransfer betrachtet wird. Durch das Reduzieren des Borverlusts beispielsweise könnte der stark mit Bor implantierte Prozess, der gegenwärtig zum Erzeugen der ultraflachen stark dotierten p+/n-Übergänge verwendet wird, stark reduziert werden, und als eine direkte Folge eine beträchtliche Durchsatzserhöhung. Insbesondere wenn Niedrigenergieimplantate, beispielsweise für Bor 0,5 keV, benötigt werden, sind Strahlen mit hohem Strom für gewöhnlich nicht ohne weiteres zu erreichen und deshalb hat eine Verringerung um einen Faktor von 10 bei der Dosis eine beträchtliche Auswirkung auf die Gesamtimplantationszeit.

[0086] Eine Aufwärtsdiffusion wird während weiterer Temperaturprozesse, beispielsweise während des grundlegenden Aufbaus von Nitrid oder RTP-Prozessen, durch ein Unterdrücken der Zwischengitteratommigration zu der Oberfläche des Substrats hin unterdrückt. Der Fluss von Zwischengitteratomen zu der Oberfläche hin wird durch eine Einbringung einer hohen Anzahl von Senken für Zwischengitteratome in der Region einer hohen Zwischengitteratomkonzentration mittels einer Mikrohohlraumtechnik beseitigt. Das gleiche Verhalten kann beispielsweise verwendet werden, um eine Phosphoraufwärtsdiffusion zu unterdrücken. Die Mikrohohlräume und ein optimierter SPER-Prozess, die in den Prozessablauf vor TEOS und einem Nitridabstandhalteraufbau integriert sind, werden benötigt, um sicherzustellen, dass ein Dotierungsatomprofil wie implantiert, beispielsweise das Borprofil, unbeweglich bleibt. Sowohl eine Aufwärts- als auch eine normale Diffusion werden durch ein Verwenden einer Prozessstemperatur von weniger als 600°C verhindert.

[0087] Um eine Dotierungsatomsegregation, beispielsweise eine Borsegregation, zu vermeiden, wird an der Substrat-Luft-Grenzfläche oder beispielsweise an einer Silizium/Siliziumdioxid-Grenzfläche, eine dünne amorphe Schicht bei geringen Temperaturen ($T < 500^\circ\text{C}$), beispielsweise bei $T = 450^\circ\text{C}$, aufgebracht. Die dünne amorphe Schicht behält eine integrierte Dotierungsatomdosis durch ein Vermeiden einer Niedertemperatur-Dotierungsatomsegregation oder -ansammlung an der Grenzfläche unverändert bei.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen einer integrierten

Schaltung, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

Bilden (**100**) einer Mehrzahl von Mikrohohlräumen in einem Substrat;

Erzeugen (**105**) einer Amorphisierung des Substrats, um kristallographische Defekte zu bilden, und einer Dotierung des Substrats mit Dotierungsatomen;

Aufbringen (**110**) einer amorphen Schicht über dem Substrat; und

Ausheilen (**115**) des Substrats, derart, dass zumindest ein Teil der kristallographischen Defekte unter Verwendung der Mikrohohlräume beseitigt wird; wobei ein Halbleiterelement unter Verwendung der Dotierungsatome gebildet wird.

2. Verfahren gemäß Anspruch 1, bei dem das Bilden (**100**) der Mehrzahl von Mikrohohlräumen ein Implantieren von Ionen in das Substrat aufweist.

3. Verfahren gemäß Anspruch 2, bei dem das Implantieren von Ionen ein Implantieren von H_2^+ -, He^+ -, F^+ -, Ne^+ -, Cl^+ - oder Ar^+ -Ionen aufweist.

4. Verfahren gemäß Anspruch 2 oder 3, bei dem das Implantieren von Ionen ein Verwenden einer Implantationsdosis zwischen näherungsweise 10^{15} cm^{-2} und 10^{18} cm^{-2} aufweist.

5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 2 bis 4, bei dem das Implantieren von Ionen ein Implantieren mit einer Energie zwischen 10 keV und 150 keV aufweist.

6. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das Ausheilen (**115**) ein Ausheilen bei einer Temperatur von weniger als 650°C aufweist.

7. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem das Erzeugen (**105**) der Amorphisierung ein Amorphisieren des Substrats herunter bis zu einer Tiefe niedriger als 500 nm aufweist.

8. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das Erzeugen (**105**) der Amorphisierung des Substrats ein Verwenden von Amorphisierungsisonen aufweist.

9. Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem die Amorphisierungsisonen Germaniumionen und/oder Siliziumionen aufweisen.

10. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem die Mikrohohlräume sich nahe einer Grenzfläche zwischen einer kristallinen Region des Substrats und einer amorphen Region des Substrats befinden, die durch eine Amorphisierung des Substrats gebildet ist.

11. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem das Erzeugen (**105**) der Amorphisierung

des Substrats, um eine Dotierung des Substrats zu bilden, ein Implantieren eines oder mehrerer von Boratomen, Phosphoratomen oder Arsenatomen in das Substrat aufweist.

12. Verfahren gemäß Anspruch 11, bei dem das Implantieren ein Einbringen von Borionen in das Substrat oder ein Einbringen von Borfluoridionen in das Substrat oder ein Einbringen von Borclustern in das Substrat aufweist.

13. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 12, bei dem zumindest eine Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, einen flachen Übergang des Halbleiterelements bildet.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem das Halbleiterelement einen Transistor aufweist.

15. Verfahren gemäß Anspruch 14, bei dem das Halbleiterelement einen Feldeffekttransistor aufweist.

16. Verfahren gemäß Anspruch 15, bei dem zumindest eine Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, eine Source-Region oder eine Drain-Region des Feldeffekttransistors bildet.

17. Verfahren gemäß Anspruch 16, wobei eine erste Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, eine Source-Region des Feldeffekttransistors bildet; und wobei eine zweite Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, eine Drain-Region des Feldeffekttransistors bildet.

18. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17, bei dem das Substrat ein Siliziumsubstrat aufweist.

19. Verfahren gemäß Anspruch 18, bei dem das Substrat ein (100)-Siliziumsubstrat oder ein (111)-Siliziumsubstrat ist.

20. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 19, bei dem das Aufbringen (**110**) einer amorphen Schicht ein Aufbringen bei einer Temperatur von weniger als 500°C aufweist.

21. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 20, bei dem das Aufbringen (**110**) einer amorphen Schicht ein Aufbringen von Silizium aufweist.

22. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 21, bei dem das Aufbringen (**110**) einer amorphen Schicht ein Aufbringen der amorphen Schicht bis zu einer Dicke zwischen 5 nm und 100 nm aufweist.

23. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 22, das ferner ein Durchführen einer TEOS- und einer Nitridabstandshalteraufbringung (**120, 125**) nach dem Ausheilen (**115**) aufweist.

24. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 23, bei dem das Erzeugen (**105**) einer Amorphisierung ein Bilden einer vergrabenen kristallographischen Defektschicht nahe einer Region der Mehrzahl von Mikrohohlräumen aufweist.

25. Verfahren zum Herstellen einer integrierten Schaltung, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:
Bilden (**100**) einer Mehrzahl von Mikrohohlräumen in einem Substrat;
Erzeugen (**105**) einer Amorphisierung des Substrats, um kristallographische Defekte zu bilden, und einer Dotierung des Substrats mit Dotierungsatomen; und
Ausheilen (**115**) des Substrats bei einer Temperatur von weniger als 600°C, derart, dass zumindest ein Teil der kristallographischen Defekte unter Verwendung der Mikrohohlräume beseitigt wird;
wobei das Halbleiterelement unter Verwendung der Dotierungsatome gebildet wird.

26. Verfahren gemäß Anspruch 25, bei dem das Bilden (**100**) der Mehrzahl von Mikrohohlräumen ein Implantieren von Ionen in das Substrat aufweist.

27. Verfahren gemäß Anspruch 25 oder 26, bei dem das Erzeugen (**105**) der Amorphisierung des Substrats durchgeführt wird, derart, dass das Substrat bis zu einer Tiefe niedriger als 500 nm amorphisiert wird.

28. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 25 bis 27, bei dem das Erzeugen (**105**) der Amorphisierung des Substrats ein Verwenden von Amorphisierungsionen aufweist.

29. Verfahren gemäß Anspruch 28, bei dem die Amorphisierungsionen Germaniumionen und/oder Siliziumionen aufweisen.

30. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 25 bis 29, bei dem das Erzeugen (**105**) der Amorphisierung des Substrats, um die Dotierung des Substrats zu bilden, ein Implantieren von entweder Boratomen, Phosphoratomen oder Arsenatomen in das Substrat aufweist.

31. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 25 bis 30, bei dem das Implantieren ein Einbringen von Borionen in das Substrat oder ein Einbringen von Borfluoridionen in das Substrat oder ein Einbringen von Borclustern in das Substrat aufweist.

32. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 25 bis 31, bei dem zumindest eine Region, innerhalb de-

rer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, einen flachen Übergang des Halbleiterelements bildet.

33. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 25 bis 32, bei dem das Halbleiterelement einen Transistor aufweist.

34. Verfahren gemäß Anspruch 33, bei dem das Halbleiterelement einen Feldeffekttransistor aufweist.

35. Verfahren gemäß Anspruch 34, bei dem zumindest eine Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, eine Source-Region oder eine Drain-Region des Feldeffekttransistors bildet.

36. Verfahren gemäß Anspruch 35, wobei eine erste Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, eine Source-Region des Feldeffekttransistors bildet; und wobei eine zweite Region, innerhalb derer die Dotierungsatome in das Substrat implantiert sind, eine Drain-Region des Feldeffekttransistors bildet.

37. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 25 bis 36, bei dem das Substrat ein Siliziumsubstrat ist.

38. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 25 bis 37, das ferner ein Aufbringen (**120, 125**) eines TEOS- und eines Nitridabstandshalters nach dem Ausheilen (**115**) aufweist.

39. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 25 bis 38, bei dem die Amorphisierung durchgeführt wird, derart, dass eine vergrabene kristallographische Defektschicht nahe der Region der Mehrzahl von Mikrohohlräumen gebildet ist.

Es folgen 17 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

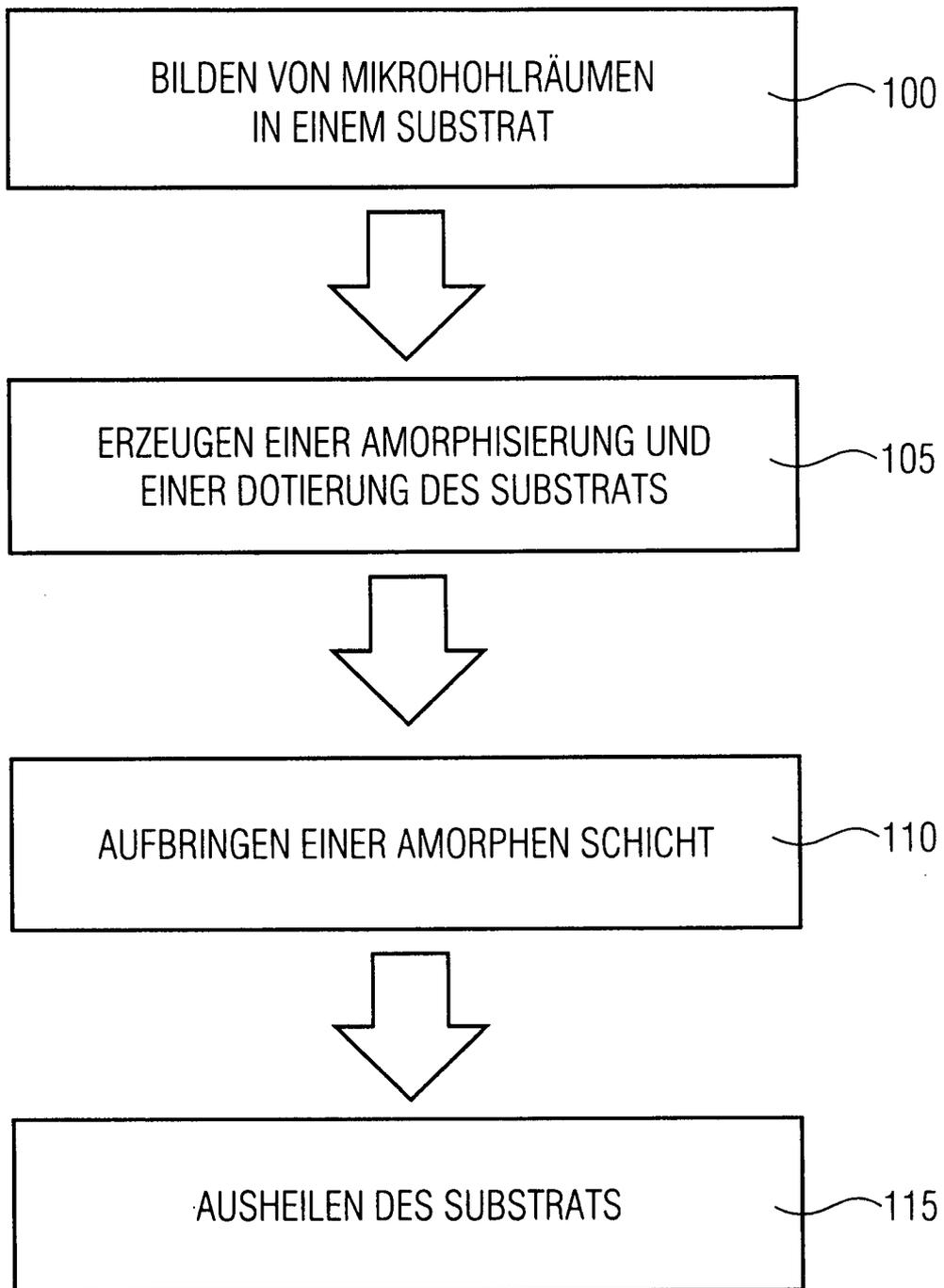


FIG 1

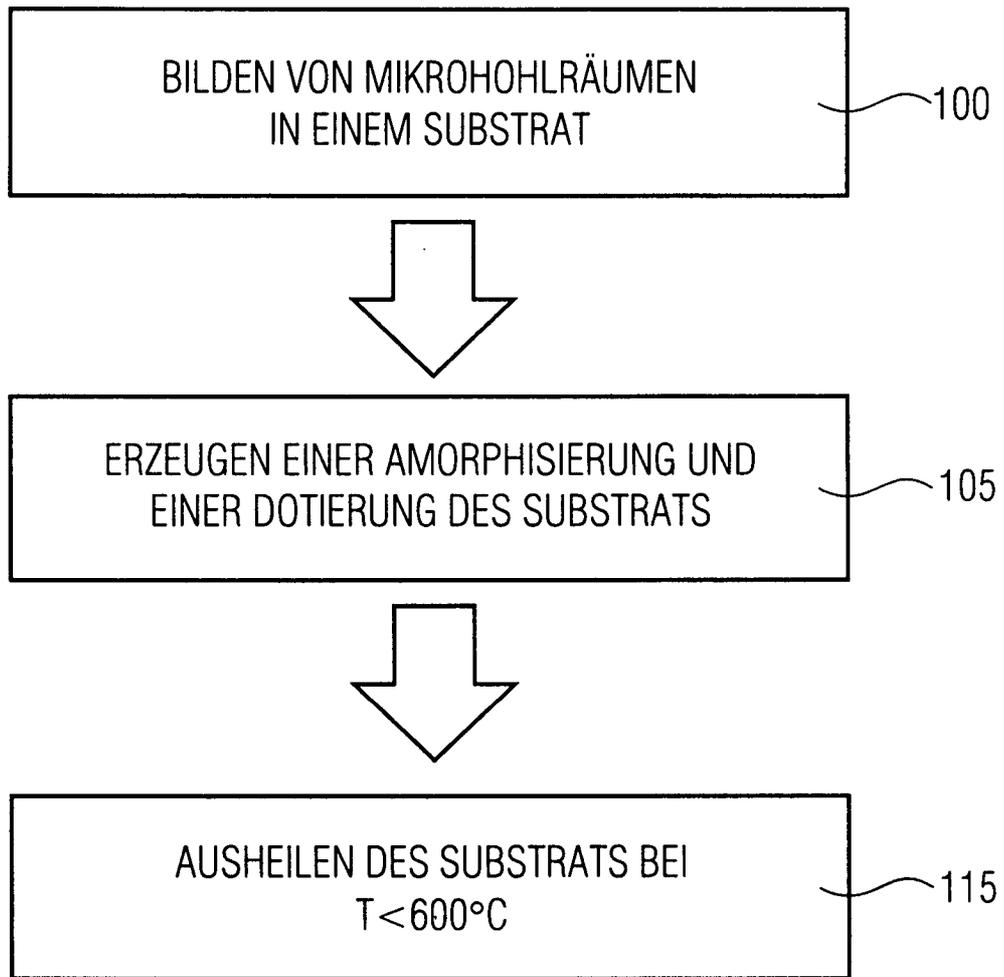


FIG 2

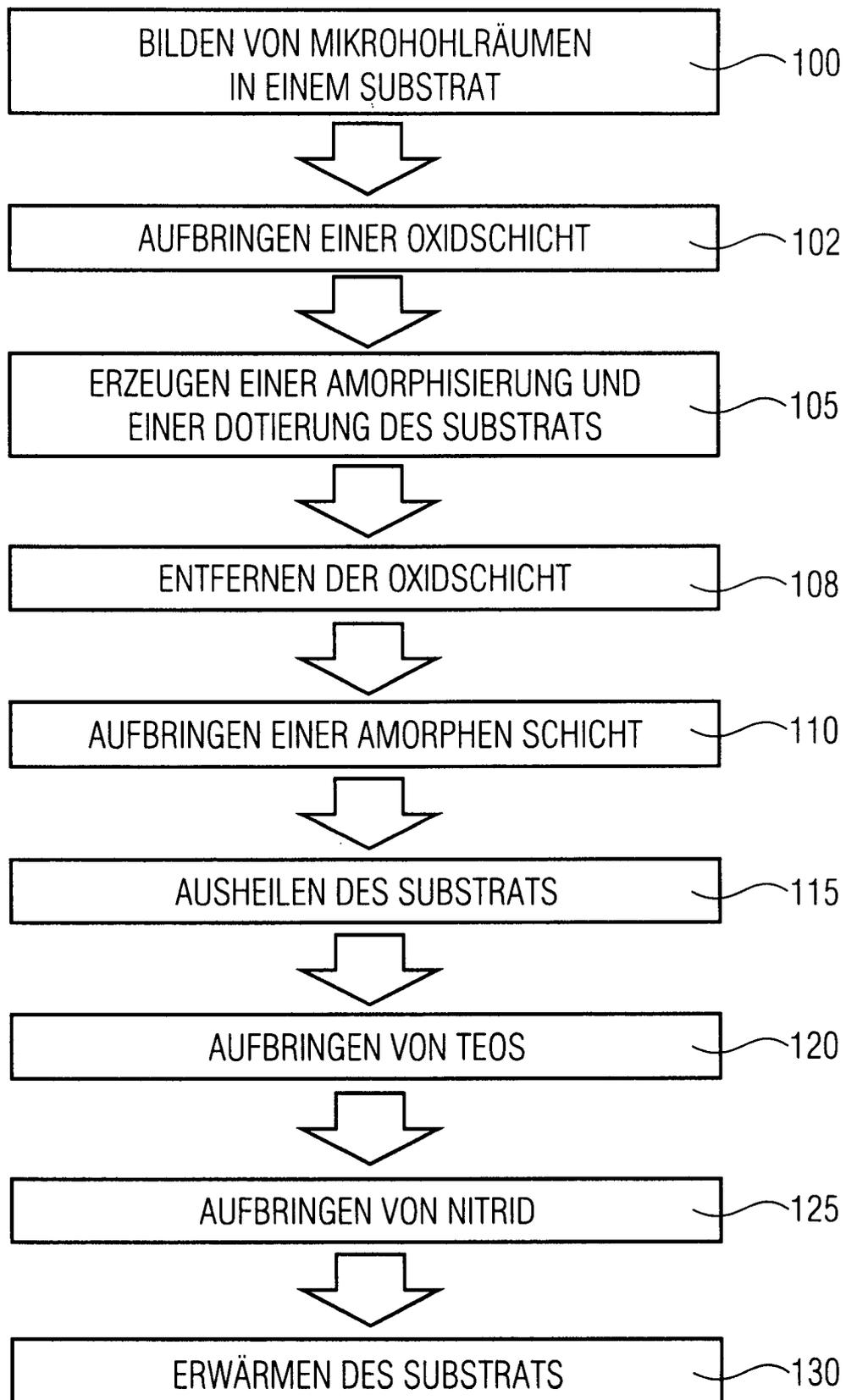


FIG 3

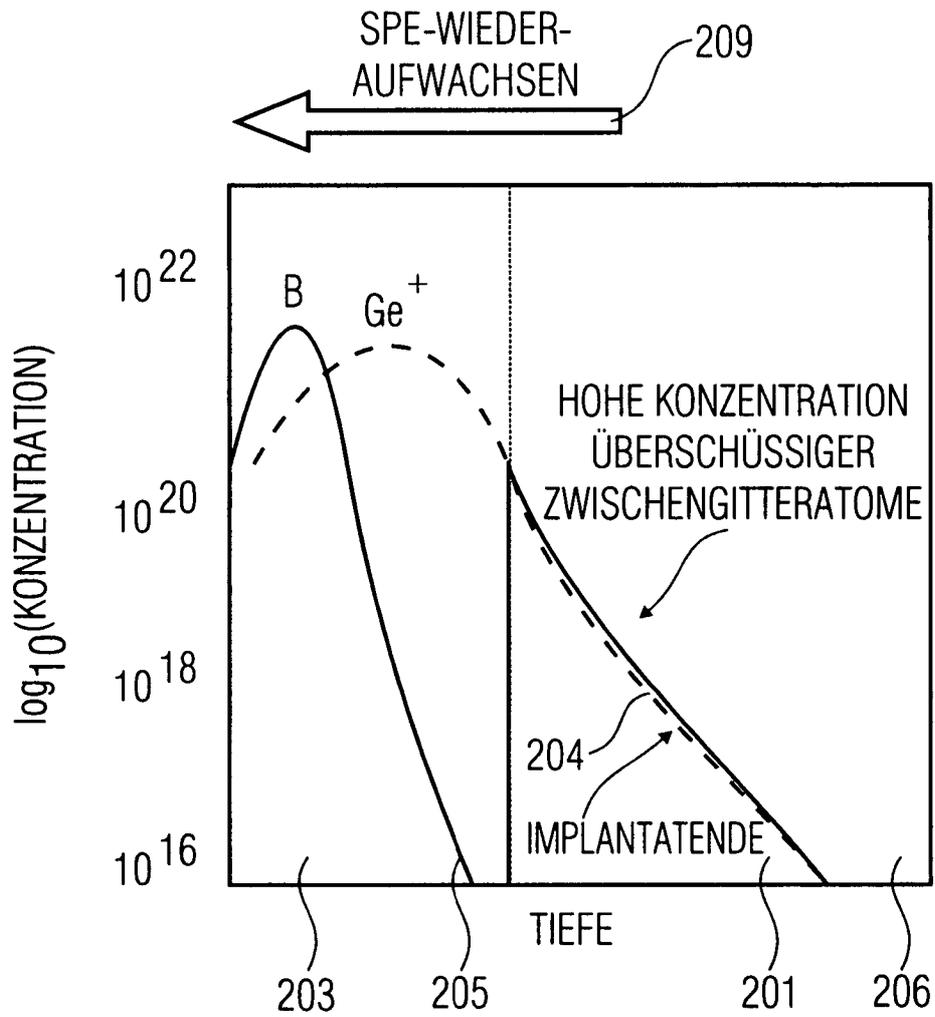


FIG 4

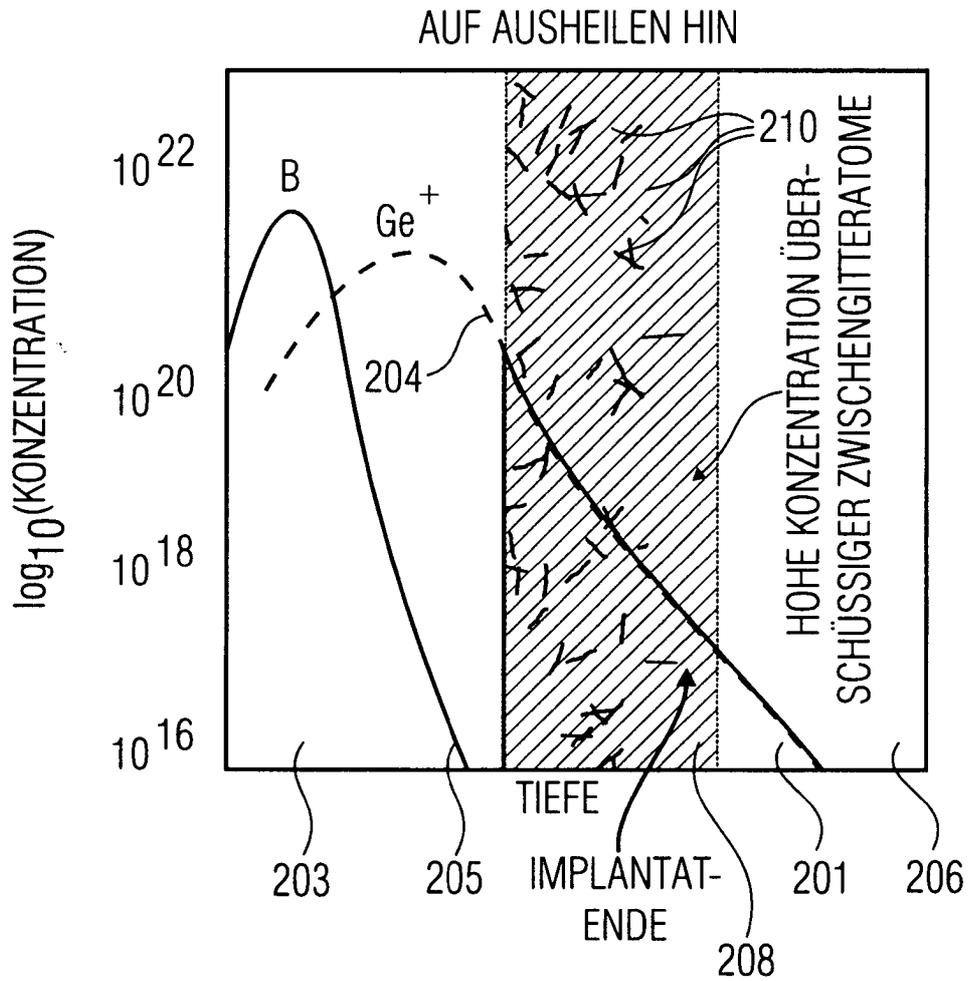


FIG 5

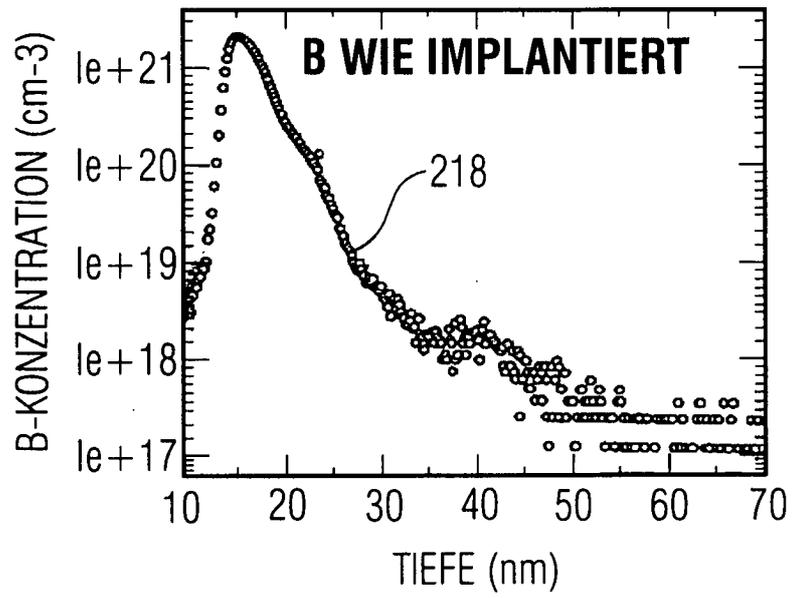


FIG 6A

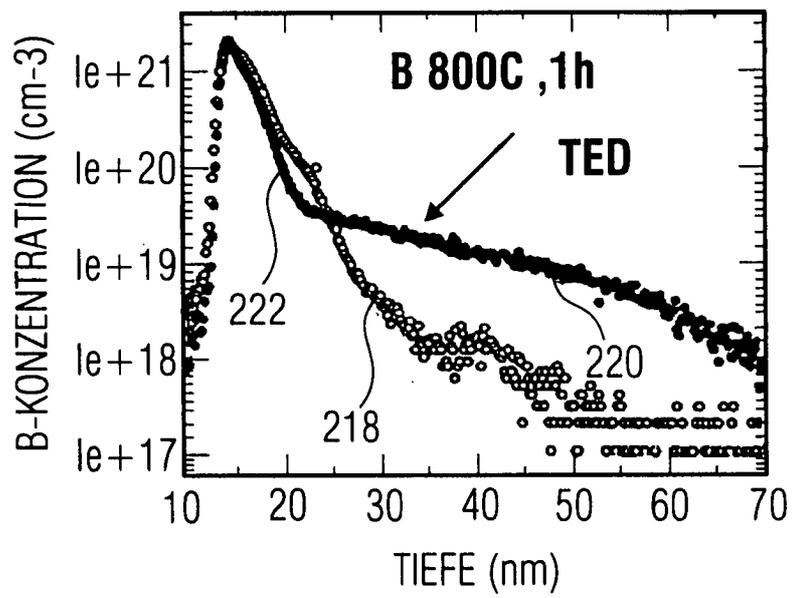


FIG 6B

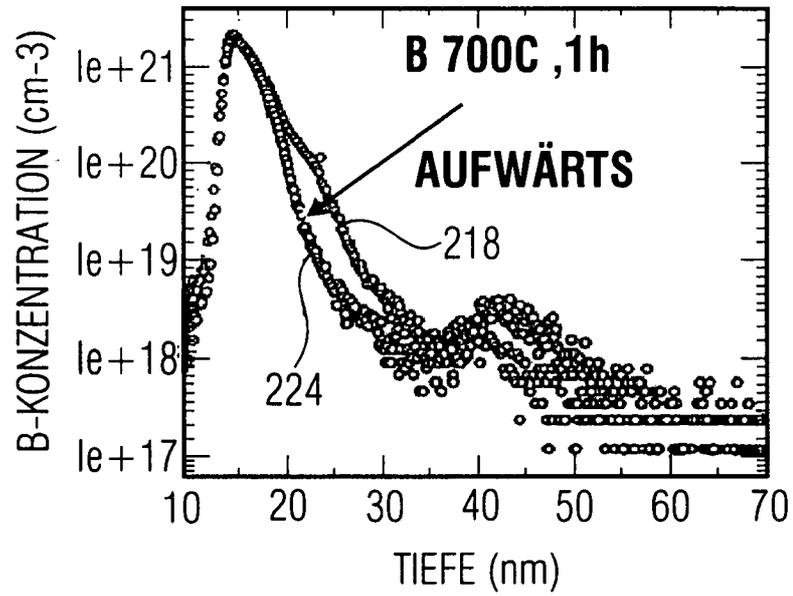


FIG 6C

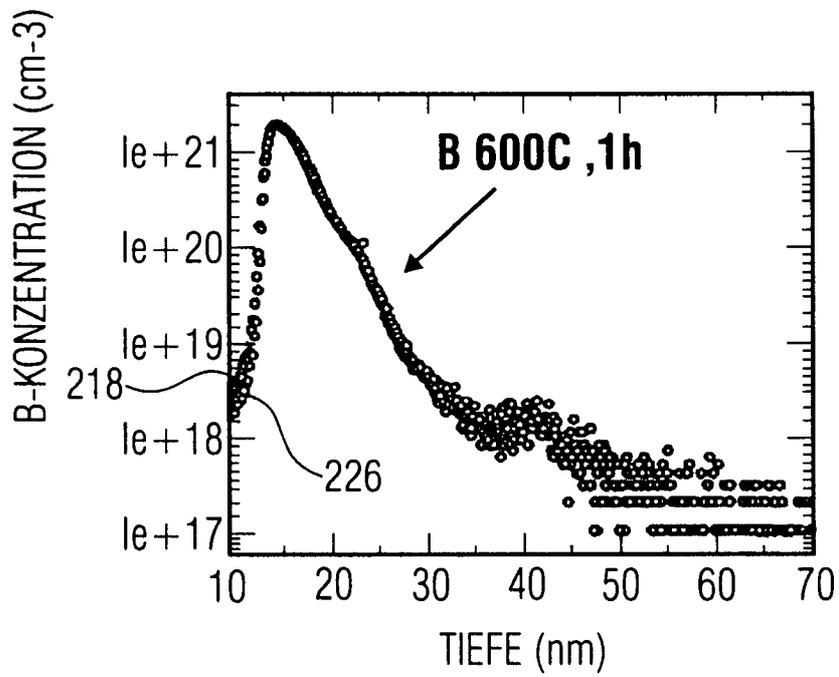


FIG 6D

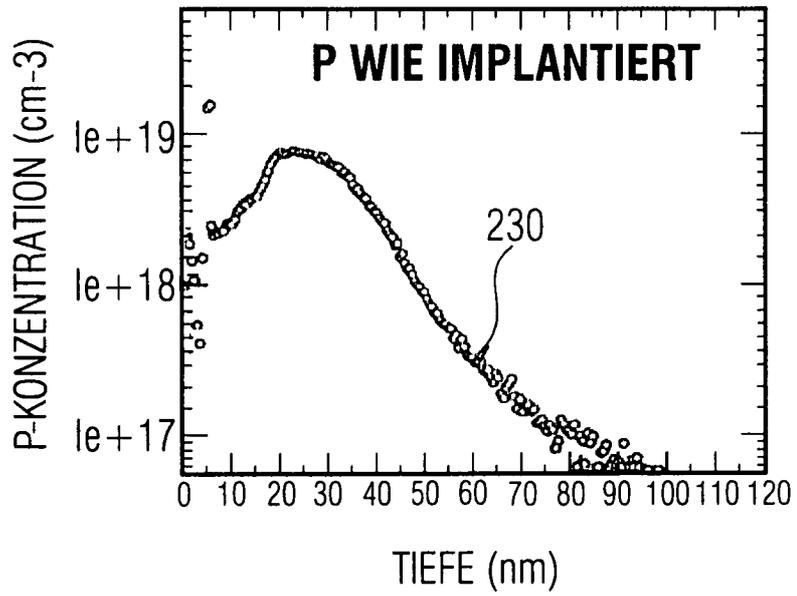


FIG 7A

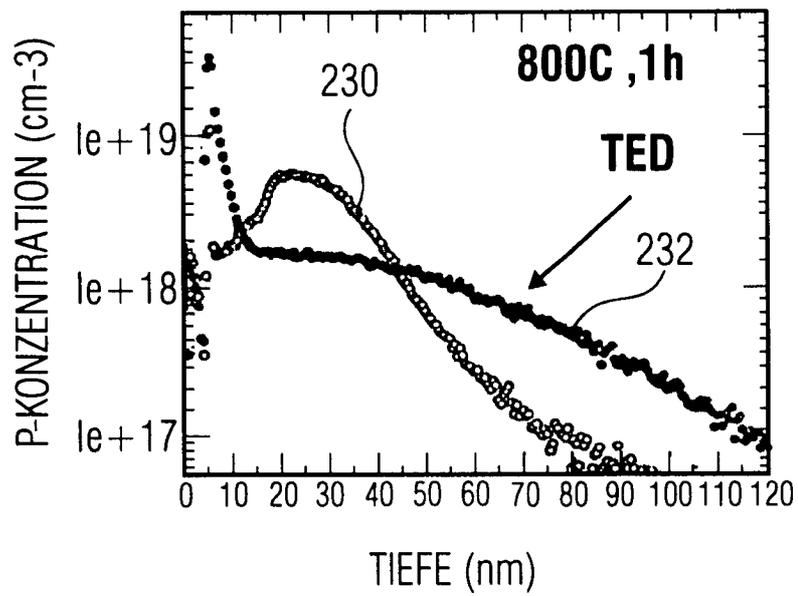


FIG 7B

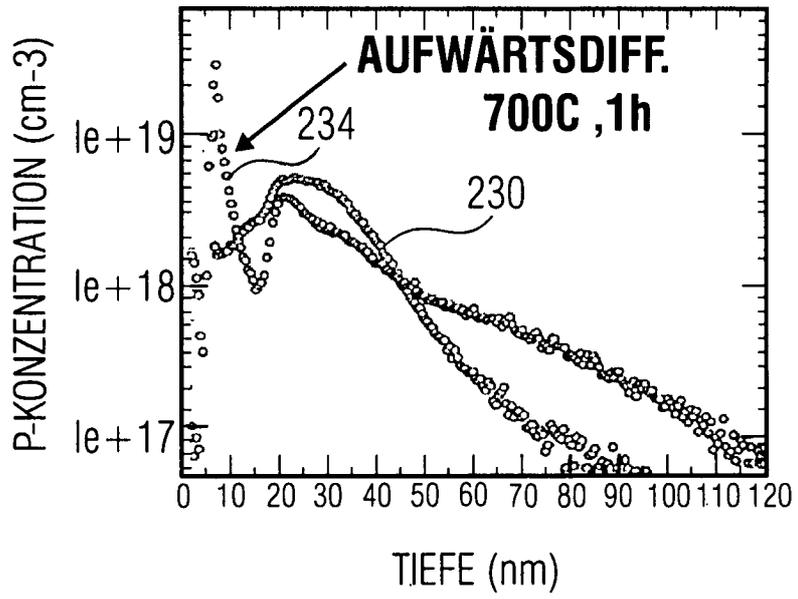


FIG 7C

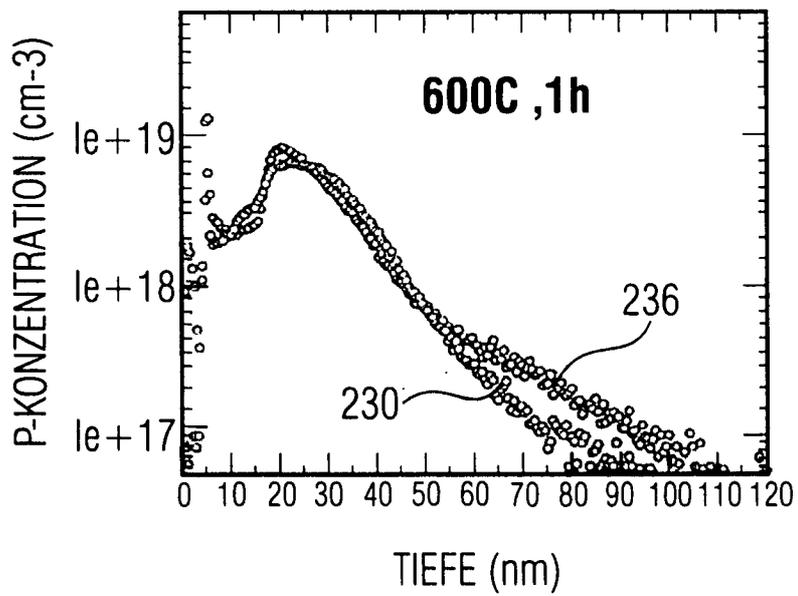


FIG 7D

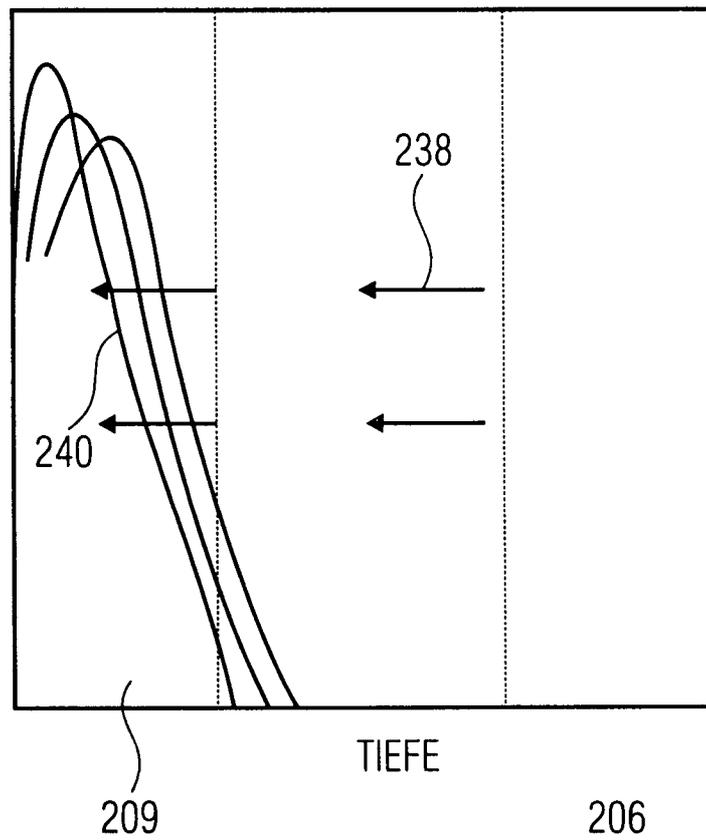


FIG 8

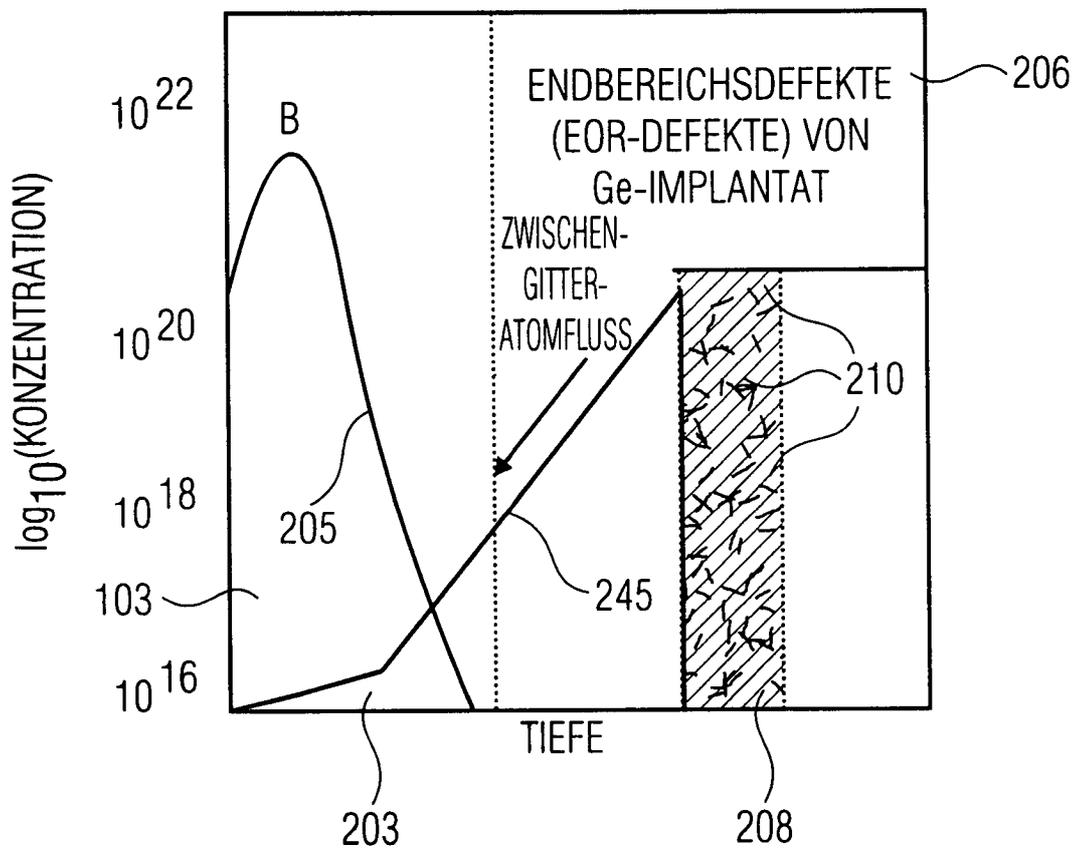


FIG 9

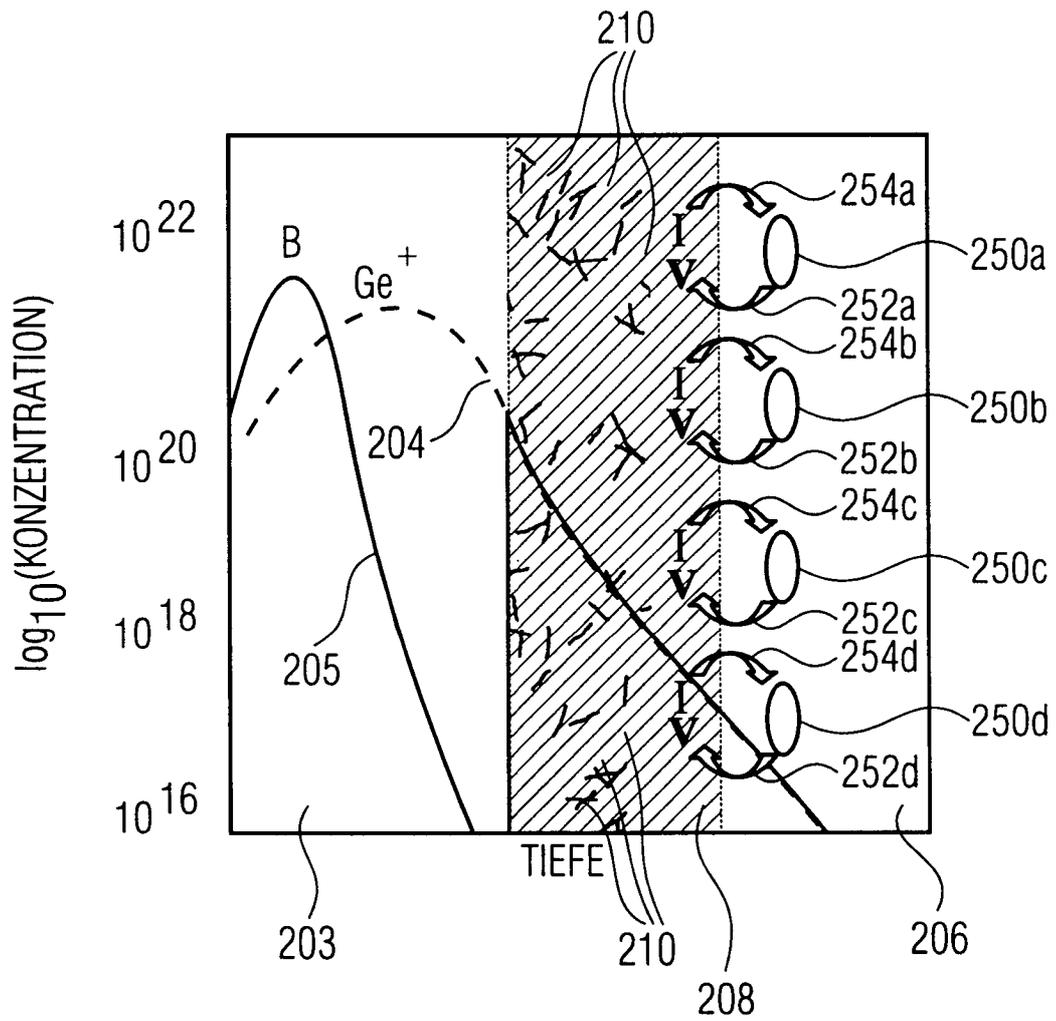


FIG 10

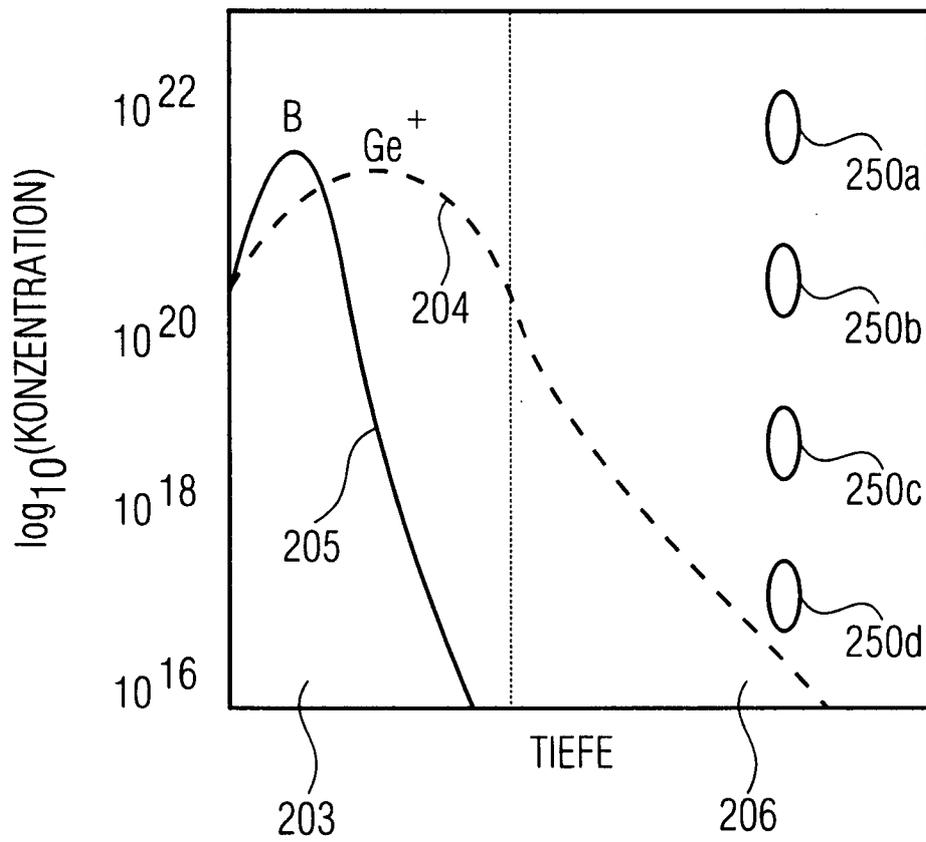


FIG 11

FIG 12A

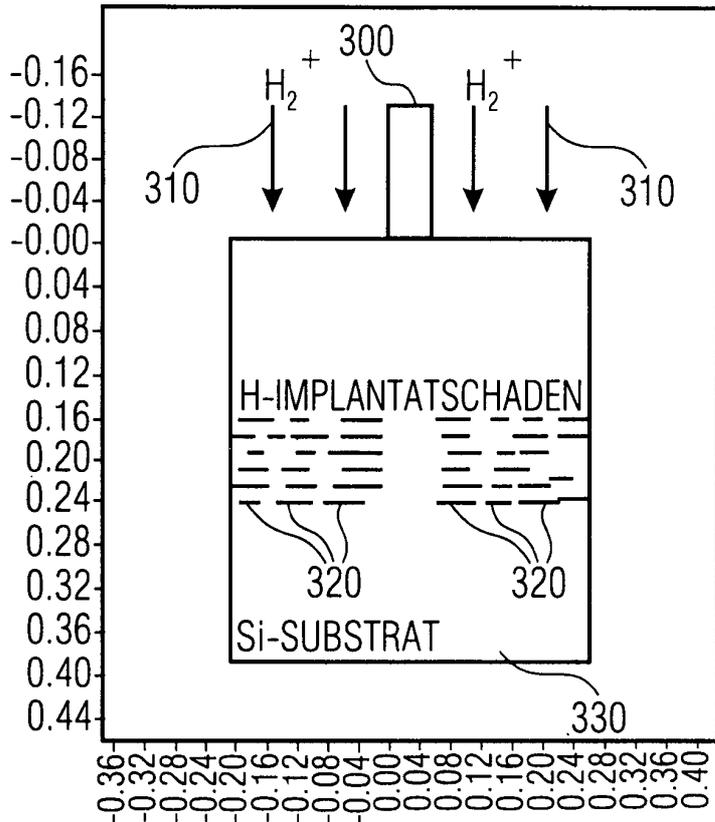


FIG 12B

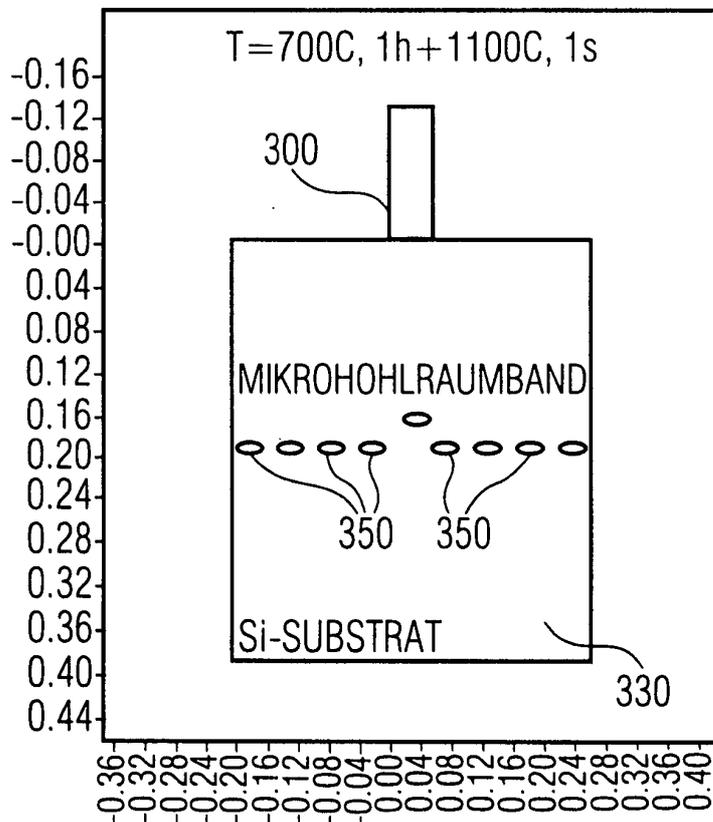


FIG 12C

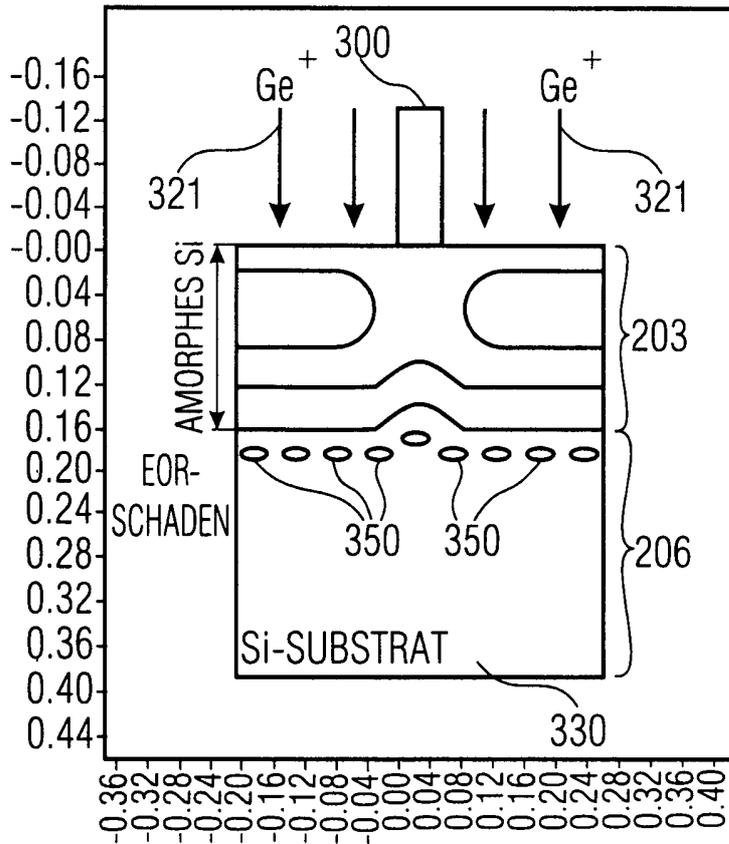


FIG 12D

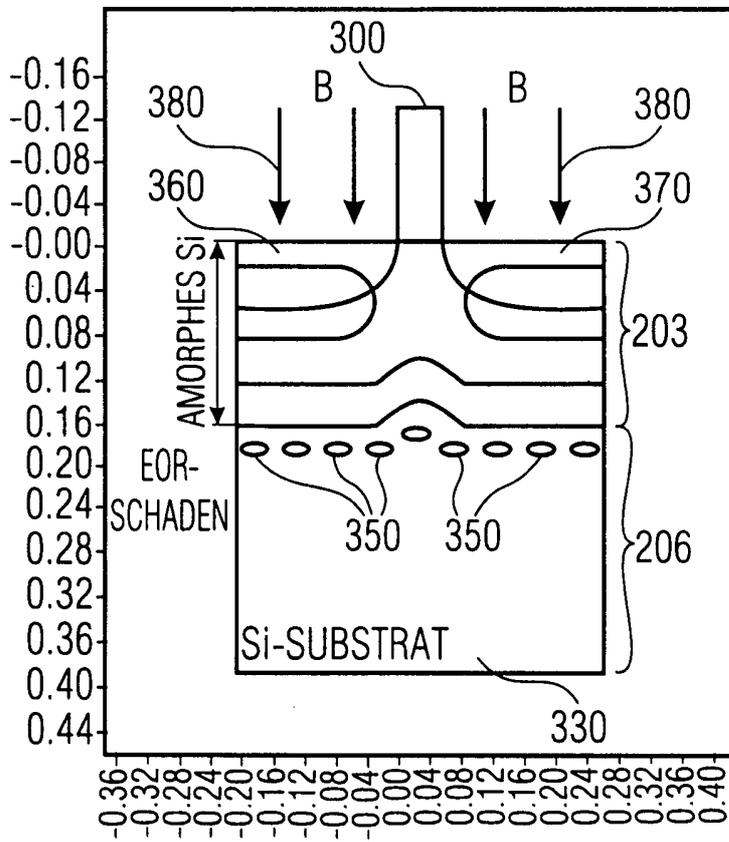


FIG 13A

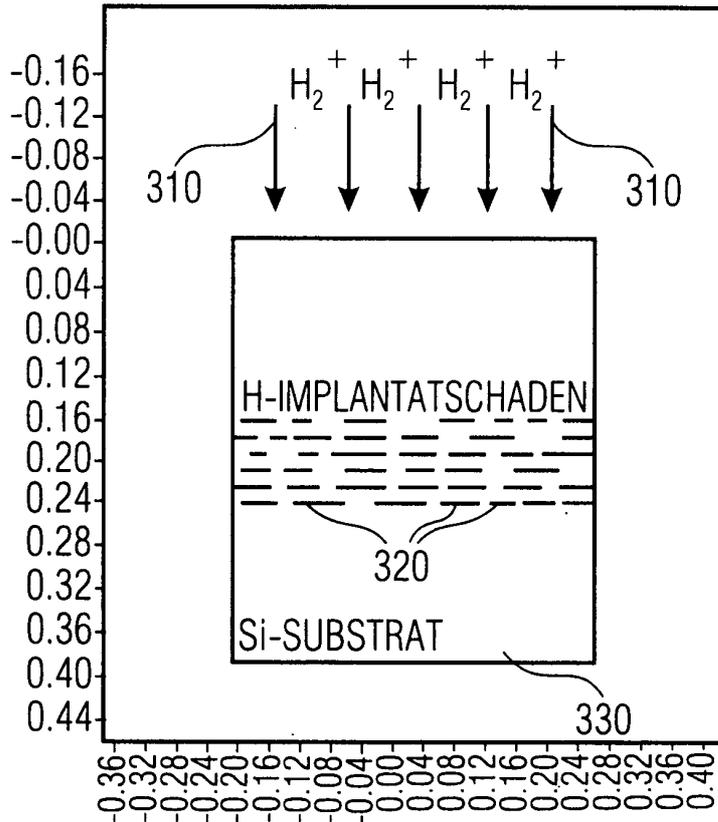


FIG 113B

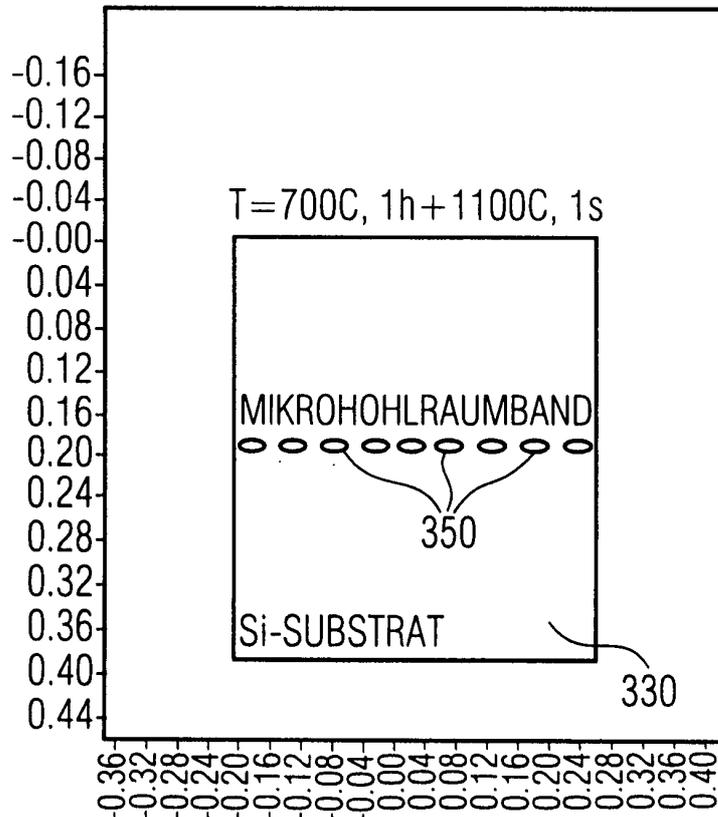


FIG 13C

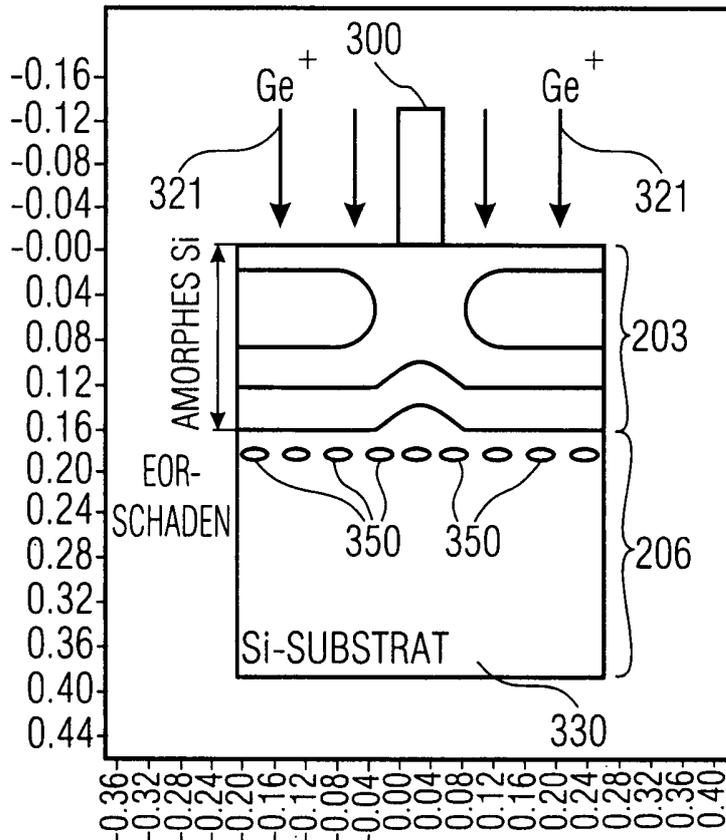


FIG 13D

