



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 11 2004 002 033 T5 2006.09.21

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: WO 2005/041287
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: 11 2004 002 033.6
(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/JP2004/016186
(86) PCT-Anmeldetag: 25.10.2004
(87) PCT-Veröffentlichungstag: 06.05.2005
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: 21.09.2006

(51) Int Cl.⁸: H01L 21/331 (2006.01)
H01L 21/329 (2006.01)
H01L 21/02 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2003-365736 27.10.2003 JP

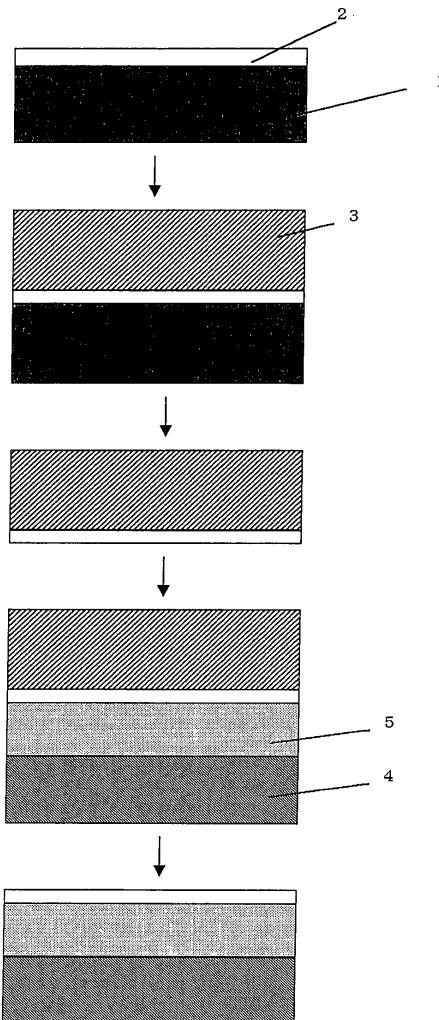
(74) Vertreter:
Henkel, Feiler & Hänel, 80333 München

(71) Anmelder:
Sumitomo Chemical Co. Ltd., Tokio/Tokyo, JP

(72) Erfinder:
Hata, Masahiko, Tsuchiura, Ibaraki, JP; Ono,
Yoshinobu, Ibaraki, JP; Ueda, Kazumasa,
Tsuchiura, Ibaraki, JP

(54) Bezeichnung: Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats, das die folgenden Stufen umfasst:
(a) epitaktisches Aufwachsen einer Verbindungshalbleiterfunktionsschicht 2 auf ein Substrat 1,
(b) Binden eines Trägersubstrats 3 an die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht 2,
(c) Polieren des Substrats 1 und eines Teils der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht 2 auf der mit dem Substrat 1 in Kontakt stehenden Seite zur Entfernung derselben,
(d) Binden eines wärmeleitenden Substrats 4 mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als der des Substrats 1 an die freigelegte Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht 2, die in Stufe (c) bereitgestellt wurde, unter Bildung eines Mehrschichtsubstrats und
(e) Trennen des Trägersubstrats 3 von dem Mehrschichtsubstrat.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats.

[0002] Ein Verbindungshalbleitersubstrat wird zur Herstellung elektronischer Bauelemente, wie Feldeffekttransistoren, Heteroübergangsbipolartransistoren und dgl., verwendet. Es ist bekannt, dass, wenn diese elektronischen Bauelemente mit hoher Stromdichte betrieben werden, die Temperatur der elektronischen Bauelemente steigt, was zu einer Verschlechterung der Eigenschaften der elektronischen Bauelemente, wie Stromverstärkungsfaktor eines Transistors und Gleichrichtungseigenschaft einer Diode, und Verschlechterung der Zuverlässigkeit führt. Um die Temperaturerhöhung der elektronischen Bauelemente zu verringern, wurde ein Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats, das im Hinblick auf Wärmeabstrahlung hervorragend ist, untersucht.

[0003] Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung eines Verfahrens zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats, das im Hinblick auf Wärmeabstrahlung hervorragend ist.

[0004] Die Erfinder der vorliegenden Erfindung untersuchten ein Verfahren zur problemlosen Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats, das im Hinblick auf Wärmeabstrahlung hervorragend ist, und infolgedessen zur Durchführung der Erfindung führte.

[0005] Das heißt, die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats bereit, das die Stufen (a)–(e) umfasst:

- (a) epitaktisches Aufwachsen einer Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** auf ein Substrat **1**,
- (b) Binden eines Trägersubstrats **3** an die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**,
- (c) Polieren des Substrats **1** und eines Teils der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** auf der mit dem Substrat **1** in Kontakt stehenden Seite zur Entfernung derselben,
- (d) Binden eines wärmeleitenden Substrats **4** mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als der des Substrats **1** an die freigelegte Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**, die in Stufe (c) bereitgestellt wurde, unter Bildung eines Mehrschichtsubstrats und
- (e) Trennen des Trägersubstrats **3** von dem Mehrschichtsubstrat.

[0006] Ferner stellt die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats bereit, das die Stufen (f)–(h) umfasst:

- (f) epitaktisches Aufwachsen einer Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** auf ein Substrat **21**,
- (g) Binden eines wärmeleitenden Substrats **23** mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als der des Substrats **21** an die Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** und
- (h) Polieren des Substrats **21** und eines Teils der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** auf der mit dem Substrat **21** in Kontakt stehenden Seite zur Entfernung derselben.

[0007] Das Verbindungshalbleitersubstrat, das durch das Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung erhalten wurde, ist im Hinblick auf Wärmeabstrahlung hervorragend. Das Verbindungshalbleitersubstrat wird als Material zur Herstellung elektronischer Bauelemente, wie Transistoren und Heteroübergangsbipolartransistoren mit einem hohen Stromverstärkungsfaktor und Dioden hervorragender Gleichrichtungseigenschaft, verwendet. Diese elektronischen Bauelemente sind in Bezug auf Eigenschaften und Zuverlässigkeit hervorragend, da die Temperaturerhöhung ihrer Bauelemente verringert ist, auch wenn sie bei hoher Stromdichte betrieben werden.

[0008] [Fig. 1](#) zeigt eine Ausführungsform (Beispiel 1) der vorliegenden Erfindung.

[0009] [Fig. 2](#) zeigt eine Ausführungsform (Beispiel 2) der vorliegenden Erfindung.

[0010] [Fig. 3](#) zeigt eine Querschnittsstruktur einer pn-Übergangsdiode, die in Beispiel 2 erhalten wurde.

[0011] [Fig. 4](#) zeigt Strom-Spannung-Kennlinien der in Beispiel 2 erhaltenen pn-Übergangsdiode.

[0012] [Fig. 5](#) zeigt eine Querschnittsstruktur einer pn-Übergangsdiode, die in Vergleichsbeispiel 2 erhalten wurde.

[0013] [Fig. 6](#) zeigt Strom-Spannung-Kennlinien der in Vergleichsbeispiel 2 erhaltenen pn-Übergangsdiode.

[0014] In [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#) stellt die Längsachse den Stromwert I, der zwischen einer p-Elektrode und einer n-Elektrode fließt, wobei die Einheit A (Ampere) ist, und die Horizontalachse die Spannung V dar, die an die p-Elektrode und die n-Elektrode angelegt ist, wobei die Einheit V (Volt) beträgt.

[0015] Das Verfahren I zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats umfasst die Stufen (a) bis (e).

[0016] Beispiele für das in der Stufe (a) verwendete Substrat umfassen Einkristallsubstrate, wie Einkristall-GaAs, Einkristall-InP oder Saphir. Als diese Substrate **1** können im Handel erhältliche Produkte verwendet werden. Ein Substrat **1**, dessen Oberfläche aufgereinigt wurde, wird vorzugsweise verwendet.

[0017] Die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** in der Stufe (a) wächst epitaktisch auf. Beispiele für das epitaktische Aufwachsen umfassen metallorganisch-chemische Gasphasenabscheidung (MOCVD), Molekularstrahlepitaxie, chemische Gasphasenabscheidung eines Halogenids (die ein halogenhaltiges Gas als Ausgangsmaterial verwendet), Hydridgasphasenepitaxie, Flüssigphasenepitaxie. Vorzugsweise besteht die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** aus mindestens zwei Schichten. Noch besser umfassen die jeweiligen Schichten mindestens ein Element der Gruppe III, das aus der Gruppe von In, Ga und Al ausgewählt ist, und mindestens ein Element der Gruppe V, das aus der Gruppe von N, P, As und Sb ausgewählt ist. In der vorliegenden Beschreibung sind Elemente mit Ausnahme von In, Ga, Al, N, P, As und Sb Dotierungsstoffe. In der vorliegenden Beschreibung werden in Bezug auf Schichten, die die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** bilden, Schichten, die im Hinblick auf Zusammensetzung oder Dotierungskonzentration verschieden sind, als verschieden betrachtet. Daher umfassen Beispiele für die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** eine Schicht, die aus einer Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2A** besteht, und eine Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2B** mit der gleichen Zusammensetzung wie die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2A** und einer von dieser verschiedenen Dotierungskonzentration.

[0018] Eine Trägersubstrat **3** wird in der Stufe (b) an eine epitaktisch aufgewachsene Oberfläche der Verbindungshalbleiterschicht, die die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** enthält, gebunden. Das Trägersubstrat **3** ist ein Substrat, das dem Verbindungshalbleitersubstrat zusätzliche Festigkeit geben soll, um dessen Brechen in den folgenden Stufen zu verhindern, und es kann eine ausreichende mechanische Festigkeit benötigen. Beispiele für das Trägersubstrat **3** umfassen Isolierglas und Keramik, wie Quarz und Saphir, und ein Halbleitermaterial, wie Si und Ge.

[0019] Das Binden in der Stufe (d) kann durch Verwendung eines Klebstoffs durchgeführt werden. Der Klebstoff ist einer, der eine so ausreichende Bindefestigkeit ergibt, dass das Trägersubstrat **3** in der folgenden Stufe (c) nicht von der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** getrennt wird und das Trägersubstrat **3** in der Stufe (e) von der Oberfläche des epitaktischen Aufwachsens entfernt wird, ohne chemische und physikalische Veränderungen auf der Oberfläche des epitaktischen Aufwachsens zu ergeben (ohne Bewirken chemischer und physikalischer Schädigungen) und Beispiele hierfür umfassen Electron Wax und Klebeband.

[0020] In der Stufe (c) werden das Substrat **1** und ein Teil der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**, der sich angrenzend zu dem Substrat **1** befindet, zum Entfernen poliert bzw. abgeschliffen. Beispiele für die zu polierende Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** umfassen eine Schicht (Pufferschicht und dgl.), die für das Kristallwachstum günstig ist, wenn das epitaktische Aufwachsen durchgeführt wird. Beispiele für Polieren umfassen mechanisches Polieren, chemisch-mechanisches Polieren, chemisches Polieren. Das mechanische Polieren wird durch Pressen eines zu polierenden Materials gegen eine Poliermaschine mit einem geeigneten Druck in Gegenwart eines Poliermaterials oder einer Polierchemikalie durchgeführt. Das chemisch-mechanische Polieren wird durch Kombination von mechanischem Polieren mit dem Auflösen einer zu polierenden Oberfläche unter Verwendung einer Polierchemikalie und Aufsprühen einer Flüssigkeit, wie Wasser, die das Poliermaterial oder die Polierchemikalie enthält, auf die Umgebung einer Grenzfläche zwischen einem Substrat und einer Verbindungshalbleiterfunktionsschicht als enger Strom mit hohem Druck und anschließendes Trennen des Substrats von der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht über das chemische und mechanische Polierverfahren durchgeführt. Das chemische Polieren wird durch Korrosion und Auflösen mit flüssigen Polierchemikalien oder durch Korrosion und Verflüchtigen mit einem Gas durchgeführt.

[0021] In der Stufe (d) wird ein wärmeleitendes Substrat **4** mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als der des Substrats **1** an die Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**, die freiliegt, nachdem das gesamte Substrat **1** und ein Teil der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**, der sich angrenzend zum Substrat **1** befindet, entfernt wurden, gebunden. Das wärmeleitende Substrat **4** kann üblicherweise die gleiche Größe wie das Substrat **1** oder eine größere Größe als das Substrat **1** aufweisen. Beispiele für das wärmeleitende Substrat **4** umfassen Diamant, Siliciumcarbid (SiC), Aluminiumnitrid (AlN), Bornitrid (BN), Silicium (Si), ein Metall,

wie Al, Cu, Fe, Mo und W, ein Metalloxid und ein Metallborid. Das Metall kann eine Legierung sein und Beispiele hierfür umfassen mindestens zwei Legierungen, die aus der Gruppe von Al, Cu, Fe, Mo und W ausgewählt sind. Das wärmeleitende Substrat **4** umfasst vorzugsweise Diamant, SiC, AlN, BN, Si, Al, Cu, Fe, Mo, W und eine Legierung dieser Metalle.

[0022] Das wärmeleitende Substrat **4** umfasst vorzugsweise ein polykristallines Si-Substrat, das durch chemische Gasphasenabscheidung (CVD) oder ein Sinterverfahren erhalten wurde; ein Substrat, das mit einer polykristallinen oder amorphen Diamantdünnsschicht (im folgenden als "Diamantsubstrat" bezeichnet) mit einer Dicke von nicht mehr als etwa 300 µm, vorzugsweise nicht mehr als etwa 150 µm und nicht weniger als etwa 50 µm auf einem Einkristall-Si-Substrat, polykristallinen Si-Substrat oder Keramiksubstrat (SiC, AlN, BN und dgl.) gebildet wurde; ein polykristallines oder amorphes SiC, AlN und BN, die durch CVD oder ein Sinterverfahren erhalten wurden.

[0023] Von diesen ist das Diamantsubstrat bevorzugt, wobei ein Diamantsubstrat, dessen Diamantdünnsschicht amorph ist, noch besser ist. Das Diamantsubstrat ist relativ einfach erhältlich, weist hohe Wärmeleitfähigkeit (> 1000 W/mK) auf und enthält ein Si-Substrat oder Keramiksubstrat mit hoher Festigkeit, weshalb die Handhabungsfähigkeit gut ist.

[0024] Beim Betrieb elektronischer Bauelemente tritt zusammen mit der Erzeugung von Wärme ein Temperaturgradient von einer Seite der elektronischen Bauelemente zur Seite des wärmeleitenden Substrats **4** auf. Dann wird aufgrund eines Unterschieds des Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** und dem wärmeleitenden Substrat **4**, das an die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** gebunden ist, eine Zug- oder Druckbelastung induziert und daher weist das wärmeleitende Substrat **4** vorzugsweise einen Wärmeausdehnungskoeffizienten auf, der nahe dem der Verbindungshalbleiterfunktionschicht **2** liegt.

[0025] Ferner weist das wärmeleitende Substrat **4** eine Wärmeleitfähigkeit von nicht weniger als etwa 100 W/mK, vorzugsweise nicht weniger als etwa 150 W/mK, noch besser nicht weniger als etwa 500 W/mK auf, was höher als die Wärmeleitfähigkeit des Substrats **1** (etwa 40 W/mK bis etwa 70 W/mK), beispielsweise ein GaAs-Einkristallsubstrat, InP-Einkristallsubstrat und Saphirsubstrat, ist.

[0026] Im Falle der Herstellung eines elektronischen Hochfrequenzbauelements aus dem Verbindungshalbleitersubstrat weist das wärmeleitende Substrat **4** in dem Verbindungshalbleitersubstrat im Hinblick auf eine Verringerung des dielektrischen Verlustes bei höheren Frequenzen einen spezifischen Widerstand von vorzugsweise nicht weniger als etwa $10^3 \Omega\text{cm}$, noch besser nicht weniger als etwa $10^5 \Omega\text{cm}$ auf. Dagegen kann bei Anwendungen, die keinen niedrigen dielektrischen Verlust bei hohen Frequenzen erfordern, das wärmeleitende Substrat **4** verschiedene Halbleiter, Keramiken (SiC, AlN, BN und dgl.), elektrisch leitende Materialien (Metall, Metalloxid, Metallborid und dgl.) sein.

[0027] Das Binden in der Stufe (d) kann unter Verwendung eines Klebstoffs durchgeführt werden und durch ein Verfahren ohne die Verwendung des Klebstoffs durchgeführt werden. Im Falle der Verwendung des Klebstoffs umfassen Beispiele für den Klebstoff einen anorganischen Klebstoff, wie ein Metall mit niedrigem Schmelzpunkt (In, Sn oder Lot und dgl.); einen organischen Klebstoff, wie ein wärmehärtendes Harz, photopolymerisables Harz, Electron Wax (Wax "W", hergestellt von Apiezon, und dgl.), vorzugsweise den organischen Klebstoff. Wenn sowohl das wärmeleitende Substrat **4** als auch die Verbindungshalbleiterfunktionschicht **2** optisch transparent sind, kann der das photopolymerisbare Harz enthaltende Klebstoff verwendet werden. Der Klebstoff weist vorzugsweise eine Schichtdicke einer Stärke auf, die die Wärmeübertragung von der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** zum wärmeleitenden Substrat **4** nicht beeinträchtigt.

[0028] In der Stufe (d) wird vor dem Verbinden der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** mit dem wärmeleitenden Substrat **4** mindestens eine der Bindungsflächen von diesen vorzugsweise einer Aufreinigungsbehandlung oder chemischen Behandlung unterzogen. Auch wird mindestens eine der wie oben behandelten Bindungsflächen vorzugsweise einer Wärmebehandlung unterzogen. Diese Behandlungen ermöglichen eine direkte Verbindung der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** mit dem wärmeleitenden Substrat **4** (siehe beispielsweise Journal of Optical Physics and Materials, Band 6, Nr. 1, 1997, S. 19–48). Bei direktem Verbinden ist der Unterschied des Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** und dem wärmeleitenden Substrat **4** vorzugsweise klein.

[0029] In der Stufe (e) wird das Trägersubstrat **3** von dem Mehrschichtsubstrat, das das wärmeleitende Substrat **4**, die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** und das Trägersubstrat **3** in dieser Reihenfolge umfasst,

das in Stufe (d) erhalten wurde, getrennt, wobei ein Verbindungshalbleitersubstrat erhalten wird. Die Trennung kann beispielsweise durch ein Verfahren des Schmelzens des Klebstoffs durch Erhitzen durchgeführt werden. Im Falle von Electron Wax kann das Electron Wax durch Erhitzen geschmolzen werden, anschließend das Trägersubstrat **3** abgetrennt werden, und danach das auf dem Verbindungshalbleitersubstrat verbleibende Electron Wax unter Verwendung eines organischen Lösemittels entfernt werden.

[0030] Ein Verfahren II zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats der vorliegenden Erfindung umfasst die Stufen (f) bis (h).

[0031] Die Stufe (f) kann gemäß dem Verfahren von Stufe (a) durchgeführt werden. Das Substrat **21** besteht aus dem gleichen Substrat wie das Substrat **1**.

[0032] In der Stufe (g) kann gemäß Stufe (d) eine Verbindungshalbleiterschicht **22** unter Verwendung eines Klebstoffs an ein wärmeleitendes Substrat **23** gebunden werden und eine Verbindungshalbleiterschicht **22** an ein wärmeleitendes Substrat **23** durch ein Verfahren ohne die Verwendung des Klebstoffs gebunden werden. Für den Klebstoff kann der in der Stufe (d) verwendete Klebstoff verwendet werden. Eine Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** und ein wärmeleitendes Substrat **23** entsprechen der Verbindungshalbleiterfunktionschicht **3** bzw. dem wärmeleitenden Substrat **4**.

[0033] In der Stufe (h) können gemäß Stufe (c) ein Substrat **21** und ein Teil der Verbindungshalbleiterschicht **22**, der sich angrenzend zum Substrat **21** befindet, zum Entfernen poliert werden. Das Polieren kann gemäß dem Verfahren von Stufe (c) durchgeführt werden.

[0034] Bei dem Verbindungshalbleitersubstrat, das durch das Verfahren I und II zur Herstellung des Verbindungshalbleitersubstrats der vorliegenden Erfindung erhalten wurde, kann der periphere Bereich im Hinblick auf das Verhindern eines Brechens und Versagens des Verbindungshalbleitersubstrats bei der Herstellung oder dem Transport von Produkten weggeschnitten werden, und es kann, falls nötig, zu Formen geformt werden, die für Herstellungsstufen elektronischer Bauelemente geeignet sind. Das Wegschneiden des peripheren Bereichs kann nach einer letzten Stufe des Verfahrens zur Herstellung des Verbindungshalbleitersubstrats der vorliegenden Erfindung oder in der Mitte dieser Stufen durchgeführt werden.

[0035] Ferner ist das Verbindungshalbleitersubstrat, das durch das Verfahren I (oder II) zur Herstellung des Verbindungshalbleitersubstrats der vorliegenden Erfindung erhalten wurde, üblicherweise im Hinblick auf Abmessung und Form das gleiche wie das Substrat **1** (oder **21**); herkömmliche Einrichtungen sind als Einrichtung zur Herstellung der elektronischen Bauelemente unter Verwendung dieses Verbindungshalbleitersubstrats verwendbar.

[0036] Ein Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Bauelements der vorliegenden Erfindung umfasst die Stufe der Ausbildung einer Elektrode auf dem wie oben erhaltenen Verbindungshalbleitersubstrat.

[0037] Das Ausbilden der Elektrode kann beispielsweise durch ein Verfahren der Gasphasenabscheidung eines Metalls (Au, Ti, Ni, Al, Ge und dgl.) auf der Verbindungshalbleiterschicht **2** (oder **22**) des Verbindungshalbleitersubstrats durchgeführt werden. Falls nötig, kann ein Trockenätzen oder eine Behandlung mit Königswasser bei der Bildung der Elektrode durchgeführt werden.

[0038] Die vorliegende Erfindung wird durch die folgenden Beispiele, die nicht als Begrenzung des Umfangs der vorliegenden Erfindung betrachtet werden sollen, detaillierter beschrieben.

Beispiel 1

Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats

[0039] [Fig. 1](#) zeigt ein Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleiters

[0040] Auf einem halbisolierenden Einkristall-GaAs-Substrat **1** mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 630 µm, das im Handel erhältlich ist, wurde eine Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** für einen Heteroübergangsbipolartransistor durch metallorganische Gasphasenthermozersetzung unter Verwendung von Wasserstoffgas als Träger,

Trimethylgallium, Triethylgallium, Trimethylaluminium und Trimethylindium als Ausgangsmaterial, das ein Element der Gruppe III enthält,

Arsin und Phosphin als Ausgangsmaterial, das ein Element der Gruppe V enthält, und Disilan (n-Typ-Steuerung) und Trichlorbrommethan (p-Typ-Steuerung) als Ausgangsmaterial eines Dotierungsstoffs zur Leitfähigkeitssteuerung aufwachsen gelassen, wobei ein Verbindungshalbleiterschichtsubstrat produziert wurde.

[0041] Die Schichtstruktur der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** wird im folgenden in der Reihenfolge von der Seite des Substrats **1** aus beschrieben:

undotierte GaAs-Schicht	50 nm
undotierte AlAs-Schicht	50 nm
undotierte GaAs-Schicht	500 nm
Si-dotierte (Elektronendichte $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) n-GaAs-Subkollektorschicht	500 nm
Si-dotierte (Elektronendichte $1 \times 10^{16}/\text{cm}^3$) n-GaAs-Kollektorschicht	500 nm
C-dotierte (Dichte positiver Löcher $4 \times 10^{19}/\text{cm}^3$) p-GaAs-Basisschicht	80 nm
Si-dotierte (Elektronendichte $3 \times 10^{17}/\text{cm}^3$) n-InGaP-Emitterschicht	30 nm
Si-dotierte (Elektronendichte $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) n-GaAs-Subemitterschicht	100 nm
Si-dotierte (Elektronendichte $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$) n-In _x Ga _{1-x} As ($x = 0$ bis 0,5, Gradientenstruktur)-Kontaktschicht	100 nm

[0042] In [Fig. 1](#) sind diese Schichten als Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** als Ganzes angegeben.

[0043] Ein transparentes Quarzträgersubstrat **3** mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 500 µm wurde auf eine heiße Platte, die auf etwa 100 °C erhitzt war, gegeben und anschließend wurde Electron Wax appliziert und gelöst. Eine Oberfläche des epitaktischen Aufwachsens der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** des Verbindungshalbleiterschichtsubstrats wurde an das Trägersubstrat **3** als Bindungsfläche gebunden. Hierbei wurde eine Last von etwa 5 kg über eine Spannvorrichtung von der Rückseite des Verbindungshalbleiterschichtsubstrats ausgeübt, anschließend das Electron Wax gleichförmig auf die Bindungsfläche appliziert und danach das Erhitzen der heißen Platte beendet, wodurch das Electron Wax verfestigt wurde, wobei ein von dem transparenten Quarzträgersubstrat **3** getragenes Mehrschichtsubstrat erhalten wurde. Das Mehrschichtsubstrat wies eine Dicke von 1130 µm auf, die unter Verwendung einer Messlehre ermittelt wurde.

[0044] Das Trägersubstrat **3** des Mehrschichtsubstrats wurde auf einer Poliermaschine fixiert und ein GaAs-Substrat **1** wurde etwa 20 min einem mechanischen Polieren unterzogen, um etwa 580 µm zu entfernen. Das Mehrschichtsubstrat wurde von der Poliermaschine abgenommen und mit Wasser gewaschen. Dann wurde das Mehrschichtsubstrat in eine Ätzlösung auf Citronensäure/Wasserstoffperoxid/Wasser-Basis getaut und 4 h geätzt und anschließend wurde das GaAs-Substrat **1** und die gesamte epitaktisch aufgewachsene GaAs-Schicht, die sich auf der Substratseite einer AlAs-Schicht befindet, gelöst. Nach dem Waschen mit Wasser wurde das Mehrschichtsubstrat **3** min in eine 5%-ige wässrige HF-Lösung zur Entfernung der AlAs-Schicht getaut.

[0045] Auf einem Einkristall-Si-Substrat **4** mit einem Durchmesser von etwa 100 mm und einer Dicke von etwa 500 µm, das im Handel erhältlich ist, wurde eine isolierende Diamantdünnschicht **5** eines hohen Widerstands mit einer Dicke von etwa 50 µm durch Plasma-CVD unter Verwendung von Wasserstoff und Methan als Ausgangsmaterial ausgebildet. Die Diamantdünnschicht **5** wurde einem Spiegelglanzpolieren unterzogen, wobei eine Oberfläche erhalten wurde. Eine wässrige Polyimidlösung wurde durch Schleuderbeschichtung auf die Oberfläche aufgetragen, wobei eine beschichtete Oberfläche erhalten wurde. Die beschichtete Oberfläche wurde mit einer polierten Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** (die durch Entfernen eines Einkristall-GaAs-Substrats **1** erhalten wurde, an das Trägersubstrat **3** gebunden war und dadurch getragen wurde) in Kontakt gebracht. Danach wurde durch Erhitzen auf etwa 100 °C unter Verbinden beider Oberflächen, gleichzeitig unter Lösen von Electron Wax das Trägersubstrat **3** entfernt. Das Erhitzen wurde unter den Bedingungen einer Stickstoffatmosphäre, einer angelegten Last von etwa 20 kg, einer Temperatur von etwa 300 °C und einer Zeitspanne von 1 h durchgeführt, um ein Verbindungshalbleitersubstrat mit einer ausreichenden Bindungsfestigkeit zu erhalten.

Herstellung und Beurteilung eines Transistors

[0046] Eine Oberfläche des epitaktischen Aufwachsens der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** des Verbindungshalbleitersubstrats wurde durch Ultraschallreinigung mit Aceton gereinigt, und danach wurde ein Heteroübergangsbipolartransistor, dessen Abmessung der Emitteroberfläche $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ beträgt, unter Verwendung herkömmlicher Lithographie hergestellt. AuGe/Ni/Au wurde als Kollektormetall verwendet und Ti/Au wurde als Emittormetall und Basismetall verwendet. Der Stromverstärkungsfaktor betrug 148 bei einer Kollektorstromdichte von $1 \text{kA/cm}^2\text{h}$.

Vergleichsbeispiel 1

[0047] Die Verfahren gemäß "Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats" von Beispiel 1 wurden durchgeführt, wobei jedoch das GaAs-Einkristallsubstrat **1** nicht entfernt wurde und das wärmeleitende Substrat **4** nicht daran gebunden wurde, wobei ein Verbindungshalbleitersubstrat erhalten wurde.

[0048] Das Verbindungshalbleitersubstrat wurde den Verfahren gemäß "Herstellung und Beurteilung eines Transistors" von Beispiel 1 unterworfen. Der erhaltene Heteroübergangsbipolartransistor, dessen Dimension der Emitteroberfläche $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ betrug, wies einen Stromverstärkungsfaktor **132** bei einer Kollektorstromdichte von $1 \text{kA/cm}^2\text{h}$ auf.

Beispiel 2

Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats

[0049] Auf ein isolierendes Einkristall-Saphirsubstrat **1'** mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Dicke von $500 \mu\text{m}$, das im Handel erhältlich ist, wurde eine Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2'** für eine pn-Übergangsdiode durch metallorganische Gasphasenthermozersetzung unter Verwendung von Wasserstoffgas als Träger,

Trimethylgallium und Trimethylaluminium als Ausgangsmaterial, das ein Element der Gruppe III enthält, Ammoniak als Ausgangsmaterial, das ein Element der Gruppe V enthält, und

Silan (n-Typ-Steuerung) und Bis(cyclopentadienyl)magnesium (p-Typ-Steuerung) als Ausgangsmaterial eines Dotierungsstoffs zur Leitfähigkeitssteuerung aufwachsen gelassen, wobei ein Verbindungshalbleiterschichtsubstrat produziert wurde.

[0050] Die Schichtstruktur der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2'** wird im folgenden in der Reihenfolge von der Seite des Substrats **1'** aus beschrieben (siehe [Fig. 2](#)):

undotierte GaN-Pufferschicht 2a	20 nm
undotierte GaN-Schicht 2b	500 nm
Si-dotierte (Elektronendichte $3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) n-GaN-Schicht 2c	5000 nm
undotierte GaN-Schicht 2d	50 nm
undotierter $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x = 0,05$)-Schicht 2e	30 nm
Mg-dotierte (Dichte positiver Löcher $8 \times 10^{18}/\text{cm}^3$) p-GaN-Schicht 2f	80 nm

[0051] Das Verbindungshalbleiterschichtsubstrat wurde 10 min bei etwa 500°C unter Stickstoffgasatmosphäre einer Wärmebehandlung unterzogen, um die p-GaN-Schicht **2f** zu aktivieren.

[0052] Ein transparentes Quarzträgersubstrat **3'** mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Dicke von $500 \mu\text{m}$ wurde auf eine heiße Platte, die auf etwa 100°C erhitzt war, gegeben und anschließend wurde Electron Wax appliziert und gelöst.

[0053] Eine Oberfläche des epitaktischen Aufwachsens der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2'** des Verbindungshalbleiterschichtsubstrats wurde an das Trägersubstrat **3'** als Bindungsfläche gebunden. Hierbei wurde eine Last von etwa 5 kg über eine Spannvorrichtung von der Rückseite des Verbindungshalbleiterschichtsubstrats ausgeübt, anschließend das Electron Wax gleichförmig auf die Bindungsfläche appliziert und danach das Erhitzen der heißen Platte beendet, wodurch das Electron Wax verfestigt wurde, wobei ein von dem Trägersubstrat **3'** getragenes Mehrschichtsubstrat erhalten wurde. Das Mehrschichtsubstrat wies eine Dicke von $1006 \mu\text{m}$ auf, die unter Verwendung einer Messlehre ermittelt wurde.

[0054] Das Trägersubstrat **3'** des Mehrschichtsubstrats wurde auf einer Poliermaschine fixiert und das Saphirsubstrat **1'** wurde etwa 40 min einem mechanischen Polieren unterzogen, um etwa 480 µm und ferner 22 µm unter Verwendung eines Polierens mit einem feineren Schleifmittel, das durch ein Poliermittel und ein Polierkissen ausgetauscht wurde, zu entfernen. Das Verbindungshalbleiterschichtsubstrat wurde von der Poliermaschine abgenommen und das Mehrschichtsubstrat wurde mit Wasser gewaschen und ferner mit Königswasser gewaschen. Dann wurde die GaN-Oberfläche, die mit etwa 0,5 µm freigelegt war, einem chemischen Polieren unterzogen, mit Wasser gewaschen und getrocknet, wobei das Verbindungshalbleiterschichtsubstrat erhalten wurde.

[0055] Auf einem Einkristall-Si-Substrat **4'** mit einem Durchmesser von 50 mm und einer Dicke von etwa 500 µm, das im Handel erhältlich ist, wurde eine isolierende Diamantdünnschicht **5'** eines hohen Widerstands mit einer Dicke von etwa 50 µm durch Plasma-CVD unter Verwendung von Wasserstoff und Methan als Ausgangsmaterial ausgebildet. Die Diamantdünnschicht **5'** wurde einem Spiegelglanzpolieren unterzogen, wobei eine Oberfläche erhalten wurde. Eine wässrige Polyimidlösung wurde durch Schleuderbeschichtung auf die Oberfläche aufgetragen, wobei eine beschichtete Oberfläche erhalten wurde. Die beschichtete Oberfläche wurde mit einer polierten Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** in Kontakt gebracht. Danach wurde durch Erhitzen auf etwa 100 °C unter Verbinden beider Oberflächen, gleichzeitig unter Lösen von Electron Wax das Trägersubstrat **3'** entfernt. Das Erhitzen wurde unter den Bedingungen einer Stickstoffatmosphäre, einer angelegten Last von etwa 20 kg, einer Temperatur von etwa 300 °C und einer Zeitspanne von 1 h durchgeführt, um ein Verbindungshalbleitersubstrat mit einer ausreichenden Bindungsfestigkeit zu erhalten.

Herstellung und Beurteilung einer Diode

[0056] Eine Au/Ni-Elektrode mit einem Durchmesser von 300 µm wurde auf die Oberfläche einer p-GaN-Schicht **2f** aufgedampft und dann 5 min einer Wärmebehandlung bei 400 °C unterzogen, wobei eine ohmsche Elektrode des p-Typs Ep gebildet wurde. Die Peripherie der ohmschen Elektrode des p-Typs Ep des Verbindungshalbleitersubstrats wurde durch Trockenätzen um etwa 1000 nm entfernt und durch eine Behandlung mit Königswasser um 50 nm zurückgeätzt. Al-Metall wurde zu 500 nm auf die Oberfläche aufgedampft und anschließend wurde eine ohmsche Elektrode des n-Typs En gebildet, wobei eine GaN/AlGaN-pn-Heteroübergangsdiode von Mesa-Struktur produziert wurde, die eine mit der n-GaN-Seite verbundene ohmsche Elektrode der n-Seite aus Aluminium En und die mit p-GaN verbundene ohmsche Elektrode der p-Seite Ep umfasste. Die Querschnittsstruktur hiervon ist in [Fig. 3](#) angegeben. Die Strom-Spannung-Kennlinie der Diode wurde an den erhaltenen vier Prüflingen ermittelt. Die Ergebnisse sind in [Fig. 4](#) angegeben.

Vergleichsbeispiel 2

[0057] Die Verfahren gemäß "Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats" von Beispiel 2 wurden durchgeführt, wobei jedoch das Saphirsubstrat **1'** nicht entfernt wurde und das wärmeleitende Substrat nicht daran gebunden wurde (mit einer auf einem Einkristall-Si-Substrat **4'** gebildeten isolierenden Diamantdünnschicht hohen Widerstands **5'**), wobei ein Verbindungshalbleitersubstrat erhalten wurde.

[0058] Das Verbindungshalbleitersubstrat wurde den Verfahren gemäß "Herstellung und Beurteilung einer Diode" von Beispiel 2 unterzogen, wobei eine GaN/AlGaN-pn-Heteroübergangsdiode einer Mesa-Struktur erhalten wurde, die eine mit der n-GaN-Seite verbundene ohmsche Elektrode der n-Seite aus Aluminium und die mit p-GaN verbundene ohmsche Elektrode der p-Seite umfasste. Die Querschnittsstruktur der gebildeten Diode ist in [Fig. 5](#) angegeben. In [Fig. 5](#) steht **1'** für ein Saphirsubstrat, **2a** für eine undotierte GaN-Pufferschicht, **2b** für eine undotierte GaN-Schicht, **2c** für eine Si-dotierte n-GaN-Schicht, **2d** für eine undotierte GaN-Schicht, **2e** für undotiertes $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x = 0,05$), **2f** für eine Mg-dotierte p-GaN-Schicht, Ep für eine ohmsche Elektrode der p-Seite, En für eine ohmsche Elektrode der n-Seite.

[0059] Die Strom-Spannung-Kennlinie der Diode wurde an den erhaltenen vier Prüflingen ermittelt. Die Ergebnisse sind in [Fig. 6](#) angegeben.

[0060] Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, ist die Diode (Beispiel 2), die durch das Verfahren zur Herstellung des Verbindungshalbleiters der vorliegenden Erfindung erhalten wurde, groß im Hinblick auf den Stromwert der Seite einer Vorspannung in Vorwärtsrichtung (angelegter Spannungswert der Horizontalachse $> 0 \text{ V}$) und klein im Hinblick auf den Leckstromwert der Seite einer Vorspannung in Umkehrrichtung (angelegter Spannungswert der Horizontalachse $< 0 \text{ V}$) und ferner hervorragend im Hinblick auf die Gleichrichtungseigenschaft.

[0061] Wie in [Fig. 6](#) gezeigt ist, ist die durch ein herkömmliches Verfahren erhaltene Diode (Vergleichsbei-

spiel 2) klein im Hinblick auf den Stromwert der Seite einer Vorspannung in Vorwärtsrichtung und groß im Hinblick auf den Leckstromwert der Seite einer Vorspannung in Umkehrrichtung.

Zusammenfassung

[0062] Beschrieben wird ein Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats. Das Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats umfasst die Stufen:

- (a) epitaktisches Aufwachsen einer Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** auf ein Substrat **1**,
- (b) Binden eines Trägersubstrats **3** an die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**,
- (c) Polieren des Substrats **1** und eines Teils der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** auf der mit dem Substrat **1** in Kontakt stehenden Seite zur Entfernung derselben,
- (d) Binden eines wärmeleitenden Substrats **4** mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als der des Substrats **1** an die freigelegte Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**, die in Stufe (c) bereitgestellt wurde, unter Bildung eines Mehrschichtsubstrats und
- (e) Trennen des Trägersubstrats **3** von dem Mehrschichtsubstrat.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats, das die folgenden Stufen umfasst:

- (a) epitaktisches Aufwachsen einer Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** auf ein Substrat **1**,
- (b) Binden eines Trägersubstrats **3** an die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**,
- (c) Polieren des Substrats **1** und eines Teils der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** auf der mit dem Substrat **1** in Kontakt stehenden Seite zur Entfernung derselben,
- (d) Binden eines wärmeleitenden Substrats **4** mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als der des Substrats **1** an die freigelegte Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2**, die in Stufe (c) bereitgestellt wurde, unter Bildung eines Mehrschichtsubstrats und
- (e) Trennen des Trägersubstrats **3** von dem Mehrschichtsubstrat.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** mindestens zwei Schichten umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **2** mindestens ein Element, das aus der Gruppe von In, Ga und Al ausgewählt ist, und mindestens eines, das aus der Gruppe von N, P, As und Sb ausgewählt ist, umfasst.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das wärmeleitende Substrat **4** mindestens eines, das aus der Gruppe von Al, Cu, Fe, Mo, W, Diamant, SiC, AlN, BN und Si ausgewählt ist, umfasst.

5. Verfahren zur Herstellung eines Verbindungshalbleitersubstrats, das die folgenden Stufen umfasst:

- (f) epitaktisches Aufwachsen einer Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** auf ein Substrat **21**,
- (g) Binden eines wärmeleitenden Substrats **23** mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit als der des Substrats **21** an die Oberfläche der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** und
- (h) Polieren des Substrats **21** und eines Teils der Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** auf der mit dem Substrat **21** in Kontakt stehenden Seite zur Entfernung derselben.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** mindestens zwei Schichten umfasst.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, wobei die Verbindungshalbleiterfunktionsschicht **22** mindestens ein Element, das aus der Gruppe von In, Ga und Al ausgewählt ist, und mindestens ein Element, das aus der Gruppe von N, P, As und Sb ausgewählt ist, umfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei das wärmeleitende Substrat **23** mindestens eines, das aus der Gruppe von Al, Cu, Fe, Mo, W, Diamant, SiC, AlN, BN und Si ausgewählt ist, umfasst.

9. Verfahren zur Herstellung eines elektronischen Bauelements, das die Stufen in dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und eine Stufe der Ausbildung einer Elektrode auf dem gebildeten Verbindungshalbleitersubstrat umfasst.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

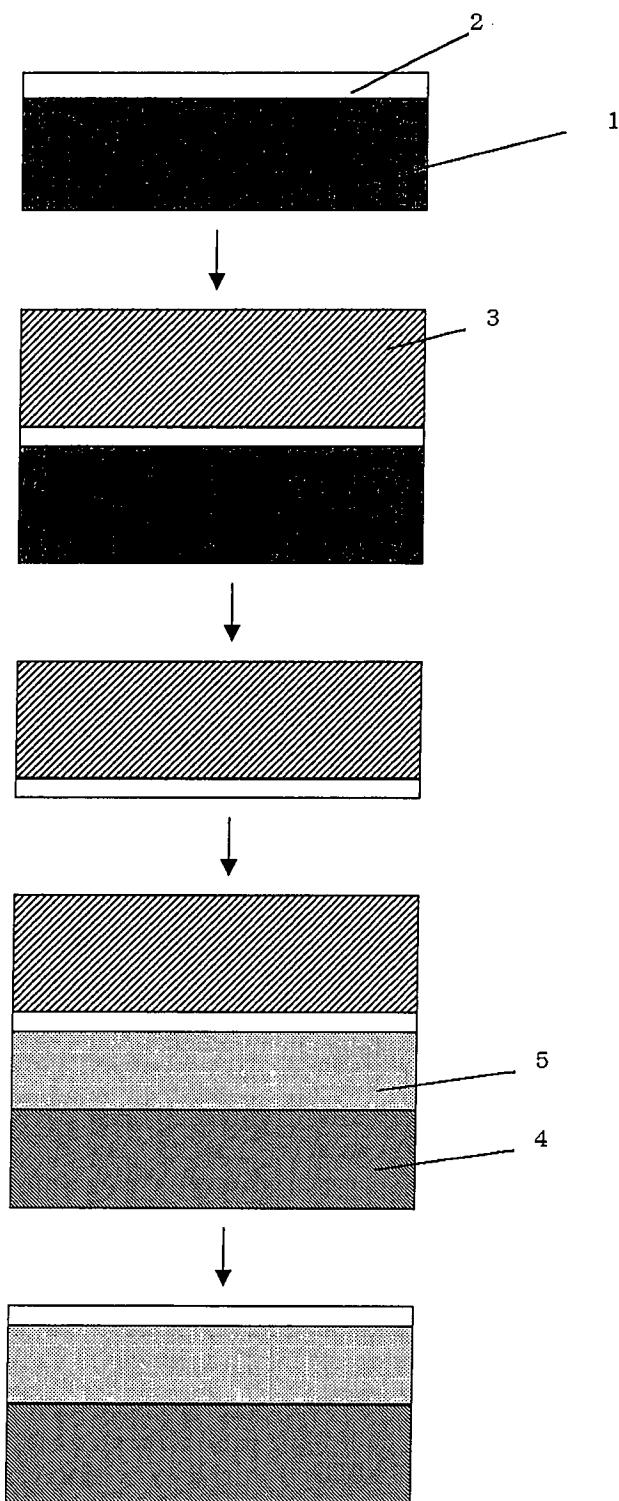


Fig. 2

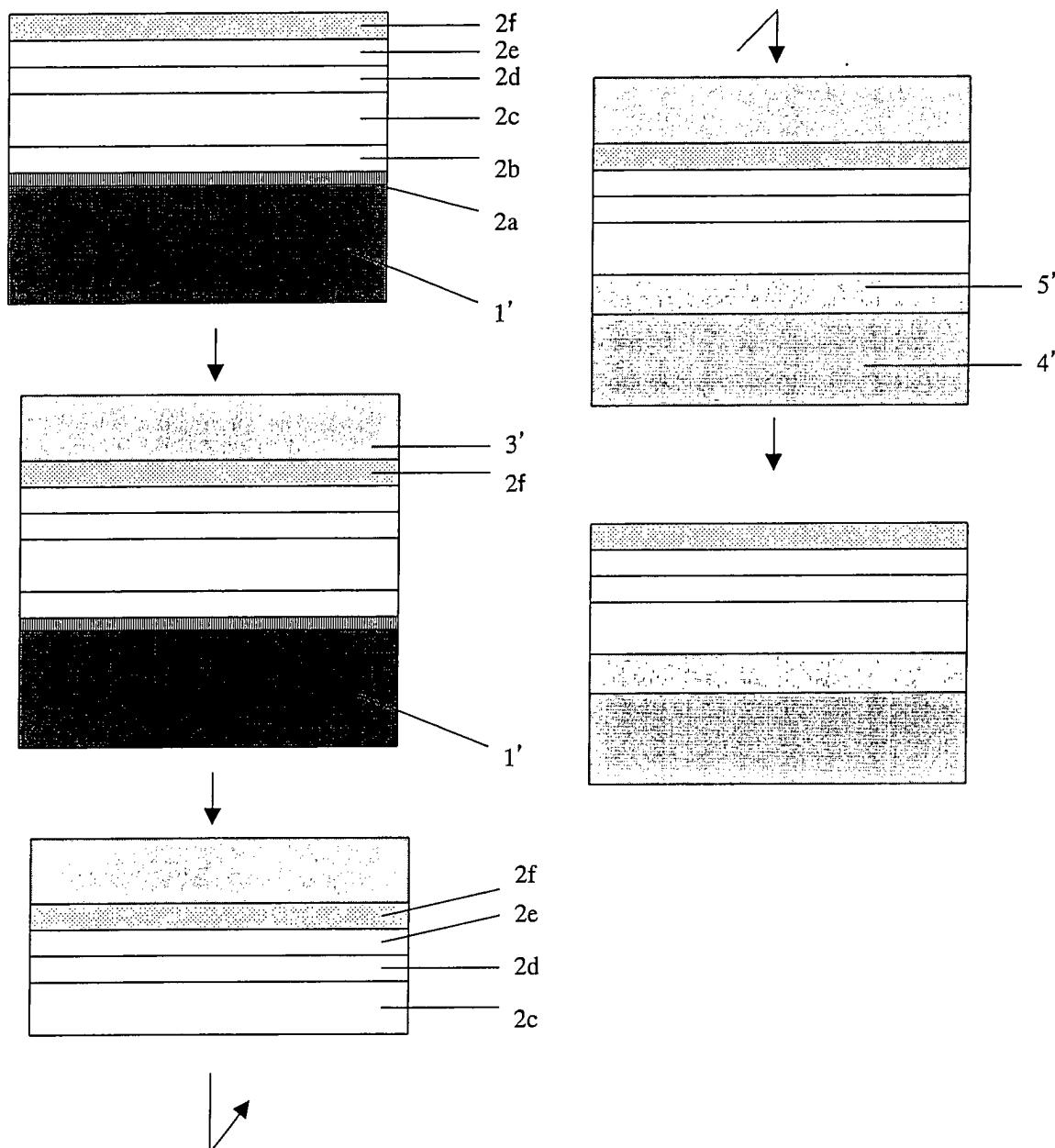


Fig. 3

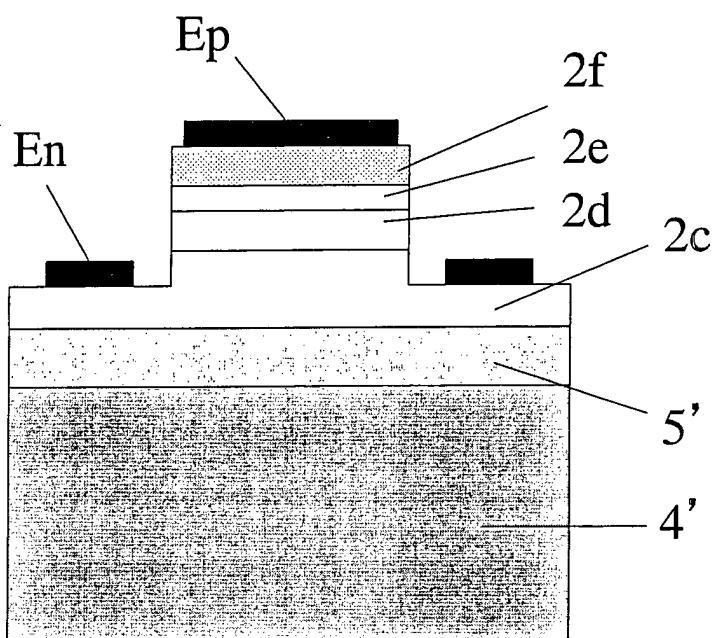


Fig. 4

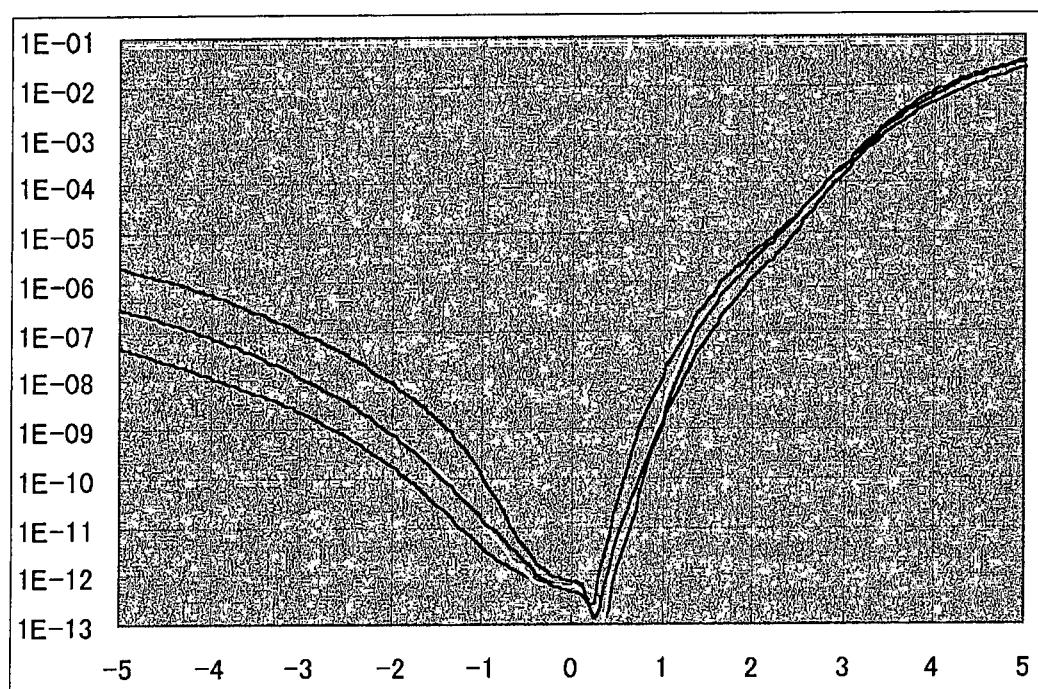


Fig. 5

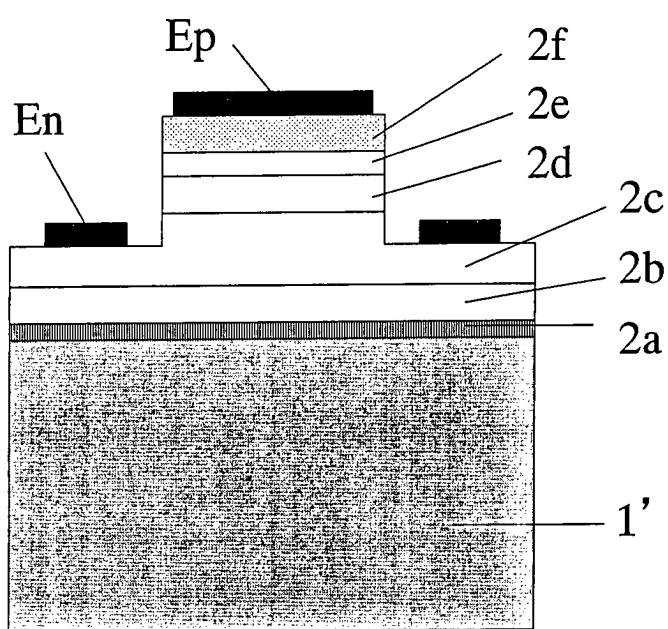


Fig. 6

