



(10) **DE 10 2012 201 917 A1** 2012.08.23

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2012 201 917.0**

(22) Anmeldetag: **09.02.2012**

(43) Offenlegungstag: **23.08.2012**

(51) Int Cl.: **H01L 29/207** (2012.01)

H01L 29/778 (2012.01)

H01L 21/203 (2012.01)

(30) Unionspriorität:

2011-035291	22.02.2011	JP
2011-099031	27.04.2011	JP
2011-117552	26.05.2011	JP
2011-248155	14.11.2011	JP

(71) Anmelder:

Covalent Materials Corp., Tokyo, JP

(74) Vertreter:

HOFFMANN - EITLE, 81925, München, DE

(72) Erfinder:

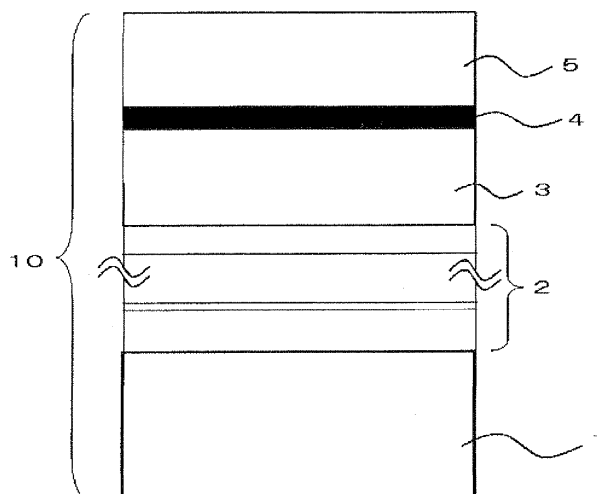
**Yoshida, Akira, Hadano-shi, Kanagawa, JP;
Komiya, Jun, Hadano-shi, Kanagawa, JP; Abe,
Yoshihisa, Hadano-shi, Kanagawa, JP; Oishi,
Hiroshi, Hadano-shi, Kanagawa, JP; Eriguchi,
Kenichi, Hadano-shi, Kanagawa, JP; Suzuki,
Shunichi, Hadano-shi, Kanagawa, JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Nitrid-Halbleitersubstrat und Verfahren zu dessen Herstellung**

(57) Zusammenfassung: Diese Erfindung beschreibt ein Nitrid-Halbleitersubstrat, das für eine Vorrichtung mit hoher Durchbruchsspannung vom normalerweise abgeschalteten Typ geeignet ist, und ein Verfahren zur Herstellung des Substrates, wobei eine höhere Schwellenspannung und eine Verbesserung beim Stromkollaps erzielt werden.

Bei einem Nitrid-Halbleitersubstrat 10 mit einem Substrat 1, einer Pufferschicht 2, gebildet auf einer Hauptebene des Substrates 1, einer Zwischenschicht 3, gebildet auf der Pufferschicht 2, einer Elektronentransportschicht 4, gebildet auf der Zwischenschicht 3, und einer Elektronenzuführschicht 5, gebildet auf der Elektronentransportschicht 4, hat die Zwischenschicht 3 eine Dicke von 200—1500 nm und eine Kohlenstoffkonzentration von 5×10^{16} Atome/cm³ bis 1×10^{18} Atome/cm³ und ist aus $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0,05 \leq x \leq 0,24$) und die Elektronentransportschicht 4 hat eine Dicke von 5—200 nm und ist aus $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0,04$)



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

[0001] Diese Erfindung betrifft ein Nitrid-Halbleiter-substrat für einen Nitrid-Halbleiter, der als Elektrennvorrichtung mit hoher Geschwindigkeit und hoher Durchbruchsspannung geeignet ist.

Beschreibung des Standes der Technik

[0002] Nitrid-Halbleiter wie Galliumnitrid (GaN), Aluminiumnitrid (AlN), etc. haben außerordentliche Eigenschaften wie hohe Elektronenmobilität, hohe Wärmeresistenz, etc. und können daher geeignet für einen Hochelektronenmobilitätstransistor (HEMT: High Electron Mobility Transistor), einen Heterojunction-Feldeffekt-Transistor (HFET: Heterojunction Field Effect Transistor) beispielsweise eingesetzt werden.

[0003] Insbesondere gibt es ein zunehmendes Bedürfnis für die Verbesserung von verschiedenen elektrischen Eigenschaften bei der HEMT-Struktur vom normalerweise ausgeschalteten Typ, worin ein Nitrid-Halbleiter verwendet wird. Um dieses Bedürfnis zu erfüllen, sind mehrere Technologien bekannt.

[0004] Beispielsweise offenbart die japanische offengelegte Patentanmeldung 2001-196575 eine Technologie, worin zur Verminderung einer Leckstromkomponente, verursacht durch Führen des verbleibenden Trägers in einer Pufferschicht aus GaN, und zur Erhöhung einer Abzweigeigenschaft eines Transistors in einem GaN-Feldeffekt-Transistor, eine AlGa_N-Schicht in der GaN-Pufferschicht einer Heterostruktur angeordnet wird, worin die GaN-Pufferschicht, eine Kanalschicht aus GaN oder eine Kombination von InGa_N und GaN und eine AlGa_N-Schicht auf einem Saphirsubstrat oder SiC-Substrat gebildet sind und ein AlN-Gehalt in der AlGa_N-Schicht kleiner ist als ein AlN-Gehalt in der AlGa_N-Schicht an der Oberfläche.

[0005] Weiterhin offenbart die japanische veröffentlichte Patentanmeldung 2008-010803 eine Nitrid-Halbleiter-Feldeffekt-Transistortechnologie, worin eine Al_xGa_{1-x}N-Schicht, eine GaN-Schicht und eine Al_yGa_{1-y}N-Schicht in dieser Reihenfolge in der +c-Richtung der Kristallorientierung gestapelt sind, um einen verstärkten Betrieb zu erhalten, der in der Lage ist, die Schwellenspannung zu steuern, und ein Gatebereich einen Kanal aus einer Doppel-Heterostruktur hat, wobei eine Verringerung stattfindet, wenn $x \geq y$.

[0006] Als Feldeffekttransistor, der den Stromkollaps steuern kann, offenbart weiterhin die japanische veröffentlichte Patentanmeldung 2010-123899 eine

HEMT-Struktur, worin eine erste Nitrid-Halbleiterschicht, bestehend aus einem ersten Nitrid-Halbleiter, und eine zweite Nitrid-Halbleiterschicht, die auf der ersten Nitrid-Halbleiterschicht gebildet ist und aus einem zweiten Nitrid-Halbleiter besteht, einen größeren Bandabschnitt als der erste Nitrid-Halbleiter aufweist, vorgesehen sind, und die erste Nitrid-Halbleiterschicht eine Fläche hat, deren Penetrationsdislokationsdichte sich in der Stapelrichtung erhöht.

[0007] In den letzten Jahren gibt es übrigens ein Bedürfnis für die Verbesserung der Schwellenspannung und Verbesserung des Stromkollapses in einem Heterojunction-Feldeffekt-Transistor vom normalerweise ausgeschalteten Typ.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Auf der anderen Seite ist die in JP-A-2001-196575 beschriebene Technologie wirksam für die Verbesserung einer Abschnüreeigenschaft, aber ist nicht notwendigerweise ausreichend in Bezug auf die Verbesserung der Schwellenspannung und Stromkollaps.

[0009] Obwohl JP-A-2008-010803 offenbart, dass die Technologie die Schwellenspannung steuern kann, entspricht sie noch nicht ausreichend einem Bedürfnis für den Erhalt einer höheren Schwellenspannung.

[0010] Weiterhin kann die in JP-A-2010-123899 beschriebene Technologie den Stromkollaps steuern, aber dies ist nicht ausreichend in Bezug auf die Verbesserung der Schwellenspannung.

[0011] Diese Erfindung tritt angesichts solcher technischer Probleme auf und bezweckt, ein Nitrid-Halbleitersubstrat, das sowohl eine höhere Schwellenspannung als auch Verbesserung bezüglich des Stromkollapses ermöglicht und für eine Hochdurchbruchsspannungsvorrichtung vom normalerweise abgeschalteten Typ geeignet ist, und ein Verfahren zur Herstellung des Substrates anzugeben.

[0012] Das Nitrid-Halbleitersubstrat gemäß dieser Erfindung ist ein Nitrid-Halbleitersubstrat mit einem Substrat, einer Pufferschicht, gebildet auf einer Hauptebene des erwähnten Substrates, einer Zwischenschicht, gebildet auf der erwähnten Pufferschicht, einer Elektronentransportschicht, gebildet auf der Zwischenschicht, und einer Elektronenzuführungsschicht, gebildet auf der Elektronentransportschicht, worin die Zwischenschicht eine Dicke von 200–1500 nm und eine Kohlenstoffkonzentration von 5×10^{16} Atomen/cm³ bis 1×10^{18} Atomen/cm³ hat und aus Al_xGa_{1-x}N ($0,05 \leq x \leq 0,24$) erzeugt ist, und wobei die Elektronentransportschicht eine Dicke von 5–200 nm hat und aus Al_yGa_{1-y}N ($0 \leq y \leq 0,04$) erzeugt ist.

[0013] Eine solche Struktur ergibt ein Nitrid-Halbleitersubstrat, das sowohl eine höhere Schwellenspannung als auch eine Verbesserung beim Stromkollaps ermöglicht und für eine Vorrichtung mit hoher Durchbruchspannung vom normalerweise abgeschalteten Typ geeignet ist.

[0014] Bezüglich des Nitrid-Halbleitersubstrates entsprechend dieser Erfindung ist es bevorzugt, dass AlN-Abstandsschichten jeweils zwischen der Zwischenschicht und der Elektronentransportschicht und zwischen der Elektronentransportschicht und der Elektronenzuführungsschicht angeordnet sind.

[0015] Weiterhin besteht die Pufferschicht aus einer anfänglichen Pufferschicht und wiederholt niedergeschlagenen Schichten, gebildet auf der genannten anfänglichen Pufferschicht, wobei die anfängliche Pufferschicht so ist, dass eine AlN-Schicht und eine $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z \leq 1$)-Schicht in dieser Reihenfolge gestapelt sind, wobei die wiederholt niedergeschlagenen Schichten so sind, dass GaN-Schichten und AlN-Schichten wiederholt in dieser Reihenfolge mehrere Male gestapelt sind, eine andere GaN-Schicht weiterhin gebildet ist, unter Erhalt eines Satzes von Verbundschichten, und eine Vielzahl von Sätzen sind gestapelt.

[0016] Das bevorzugte Verfahren zur Herstellung des Nitrid-Halbleitersubstrates gemäß dieser Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung eines Nitrid-Halbleitersubstrates unter Anwendung eines Dampfniederschlagsverfahrens, worin eine Temperatur zum Zeitpunkt der Bildung der Zwischenschicht auf der Pufferschicht 970–1250°C ist.

[0017] Das Nitrid-Halbleitersubstrat gemäß dieser Erfindung umfasst die Zwischenschicht zwischen der Pufferschicht und der Elektronentransportschicht, unter Erhalt des Nitrid-Halbleitersubstrates, das sowohl eine höhere Schwellenspannung als auch eine Verbesserung beim Stromkollaps ermöglicht und für eine Vorrichtung mit hoher Durchbruchspannung vom normalerweise abgeschalteten Typ geeignet ist.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0018] [Fig. 1](#) ist eine schematische Ansicht eines Nitrid-Halbleitersubstrates gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung.

[0019] [Fig. 2](#) ist eine schematische Ansicht eines Nitrid-Halbleitersubstrates gemäß einem anderen bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung.

[0020] [Fig. 3](#) ist eine schematische Ansicht eines Nitrid-Halbleitersubstrates gemäß einem anderen bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung.

[0021] [Fig. 4](#) ist eine Tabelle, die Herstellungsbedingungen und die Ausführungsergebnisse der Proben 1–32 zeigt.

[0022] [Fig. 5](#) ist eine Tabelle, die die Herstellungsbedingungen und die Auswertungsergebnisse der Proben 1, 2 und 33–38 zeigt.

Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

[0023] Nachfolgend werden die bevorzugten Ausführungsbeispiele dieser Erfindung detailliert unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben.

[0024] [Fig. 1](#) ist eine schematische Ansicht eines Nitrid-Halbleitersubstrates gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung.

[0025] Ein Nitrid-Halbleitersubstrat **10** gemäß dieser Erfindung ist das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** mit einem Substrat **1**, einer Pufferschicht **2**, die auf einer Hauptebene des Substrates **1** gebildet ist, einer Zwischenschicht **3**, die auf der Pufferschicht **2** gebildet ist, einer Elektronentransportschicht **4**, die auf der Zwischenschicht **3** gebildet ist, und einer Elektronenzuführungsschicht **5**, die auf der Elektronentransportschicht **4** gebildet ist, worin die Zwischenschicht **3** eine Dicke von 200–1500 nm und eine Kohlenstoffkonzentration von 5×10^{16} Atomen/cm³ bis 1×10^{18} Atomen/cm³ hat und aus $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0,05 \leq x \leq 0,24$) erzeugt ist, und worin die Elektronentransportschicht **4** eine Dicke von 5–200 nm hat und aus $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0,04$) erzeugt ist.

[0026] Verschiedene Typen von Einkristallmaterialien, hergestellt durch gut bekannte Technologien, können für das Substrat **1** als Basissubstrat zur Bildung des Nitrid-Halbleiters verwendet werden. Als Beispiele der Materialien können Silizium (Si), Siliziumcarbid (SiC), Saphir (Al_2O_3) und Galliumnitrid (GaN) erwähnt werden.

[0027] Das Substrat **1** ist vorteilhaft, weil ein Si-Einkristallsubstrat leicht erhalten werden kann. Beispielsweise kann ein Einkristall, hergestellt durch das Czochralski-Verfahren (CZ-Verfahren) oder Flottierzonverfahren (FZ-Verfahren), oder ein Substrat, erzeugt durch verschiedene Verfahren wie Dampfniederschlagsverfahren, Laminationsverfahren, etc. verwendet werden. Angesichts der Eigenschaften, die das Nitrid-Halbleitersubstrat beeinflussen, kann dies weiterhin nach geeignetem Steuern einer Dicke des Si-Einkristallsubstrates, eines Oberflächenzustandes, der Konzentration und Verteilung der Dotiermittel wie Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoff, Phosphor, Bor, etc., die im Substrat enthalten sind, und verschiedener Kristalldefekte verwendet werden.

[0028] Die Pufferschicht **2** wird auf der einen Hauptebene des Substrates **1** gebildet. Wenn der Si-Einkristall beim Substrat **1** angewandt wird, sind Gitterkonstanten und thermische Expansionskoeffizienten von Si und der Nitrid-Halbleiter verschieden, wodurch Kristalldefekte wie beachtliche Krümmung, Riss, Gleiten, etc. in dem Nitrid-Halbleitersubstrat **10** verursacht werden. Um dies zu verhindern wird die Pufferschicht **2** zwischen dem Substrat **1** und der Nitrid-Halbleiterschicht gebildet, die eine Vorrichtung bilden.

[0029] Für die Pufferschicht **2** können die optimale Struktur und das Material geeignet auf der Basis der Verwendung und der erforderlichen Spezifizierung des zu erzeugenden Nitrid-Halbleitersubstrates **10** ausgewählt werden. Erfindungsgemäß können verschiedene Arten an Nitrid-Halbleitern beispielsweise verwendet werden. Es kann auch eine Stapelstruktur aus dem Nitrid-Halbleiter mit zumindest einer Schicht aus Nitrid-Halbleitern, umfassend Al verwendet werden, weil eine hohe Substrateigenschaft leicht erhalten werden kann.

[0030] **Fig. 3** zeigt eine schematische Ansicht des Nitrid-Halbleitersubstrates mit einem bevorzugten Ausführungsbeispiel der Pufferschicht. Wie in **Fig. 3** gezeigt ist, ist es besonders bevorzugt, dass die Struktur der Pufferschicht **2** eine anfängliche (bzw. ursprüngliche oder erste) Pufferschicht **21** hat, worin eine AlN-Schicht **211** und eine $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z \leq 1$)-Schicht **212** in dieser Reihenfolge gestapelt sind, und wiederholt niedergeschlagene Schichten **22**, die auf der anfänglichen Pufferschicht **21** gebildet sind. Die wiederholt niedergeschlagenen Schichten **22** sind so, dass die GaN-Schichten **221** und die AlN-Schichten **222** wiederholt in dieser Reihenfolge mehrere Male gestapelt sind, eine andere GaN-Schicht **223** weiter gebildet ist, unter Erzeugung eines Satzes von Verbundschichten **220** und eine Vielzahl von solchen Sätzen werden gestapelt.

[0031] Die Zwischenschicht, die zur Verbesserung einer Eigenschaft dient, wird auf der Pufferschicht **2** gebildet, und die Elektronentransportschicht **4** wird auf dieser Zwischenschicht **3** gebildet. Weiterhin wird die Elektronenzuführschicht **5** darauf gebildet. Diese Struktur ist ähnlich zu den Substratstrukturen eines bekannten HEMT, etc. Auf diese Weise wird das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** entsprechend einem Ausführungsbeispiel dieser Erfindung gebildet.

[0032] Die Zwischenschicht **3** hat eine Dicke von 200–1500 nm und eine Kohlenstoffkonzentration von 5×10^{16} Atomen/cm³ bis 1×10^{18} Atomen/cm³ und ist aus $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0,05 \leq x \leq 0,24$).

[0033] Allgemein kann ein Verfahren zur Erhöhung der Schwellenspannung eine Erhöhung der Energiedifferenz zwischen einem Leiterband und dem Fer-

mi-Niveau in der Zwischenschicht **3**, gebildet zwischen der Pufferschicht **2** und der Elektronentransportschicht **4**, sein. Um dies zu erfüllen ist es notwendig, eine Elektronendichte in der Zwischenschicht **3** zu reduzieren. Als Beispiel der Reduktion kann ein Verfahren zur Verhinderung der Erzeugung eines Defektes in der Zwischenschicht **3** erwähnt werden.

[0034] Wenn $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ für die Zwischenschicht **3** verwendet wird, ist eine bestimmte Menge der Filmdicke zum Realisieren eines normalerweise ausgeschalteten Zustandes erforderlich. Übrigens ist $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ selbst ein Material, das einen Defekt verursachen kann, wenn es als Film durch ein Dampfniederschlagsverfahren gebildet wird. Aus diesem Grund erhöhen sich die Elektronen, die in der Schicht, die als Film gebildet ist, enthalten sind, und das Fermi-Niveau wird hoch. Wenn die Filmdicke erhöht wird, erhöht sich eine Menge der Elektronen, die in der Schicht, die als Film gebildet ist, enthalten sind, in Proportion zu dieser Dicke, so dass die Verbesserung der Schwellenspannung nicht erwartet werden kann.

[0035] Dann wird erfindungsgemäß eine Dicke der Zwischenschicht **3** auf 200–1500 nm eingestellt. Bevorzugt ist sie von 800–1200 nm.

[0036] Eine Filmdicke von weniger als 200 nm ist so unzureichend für den Erhalt einer Menge von Elektronen, die die Wirkung dieser Erfindung ermöglichen, so dass dies nicht bevorzugt ist. Auf der anderen Seite fällt die Durchbruchsspannung, wenn sie 1500 nm übersteigt, dies ist auch nicht bevorzugt.

[0037] Eine Kohlenstoffkonzentration in der Zwischenschicht **3** ist bevorzugt von 5×10^{16} Atome/cm³ bis 1×10^{18} Atome/cm³. Mehr bevorzugt ist sie von 1×10^{17} Atome/cm³ bis 5×10^{17} Atome/cm³.

[0038] Die Kohlenstoffkonzentrationen werden durch Durchschnittswerte, gemessen in der Dickenrichtung des Substrates, durch bekannte Konzentrationsmessverfahren wie Verbreitungsresistenz(SR)-Messverfahren und Sekundärionen-Massenspektrometrie(SIMS)-Verfahren. Wenn nichts anderes angegeben ist, ist dies durch einen Wert dargestellt, gemessen an einem Punkt in dem Zentrum der einen Hauptebene des Substrates. Jedoch ist es möglich, Werte zu verwenden, die an multiplen Punkten in der einen Hauptebene des Substrates gemessen sind, falls erforderlich.

[0039] Kohlenstoff, der geeignet in der Zwischenschicht **3** enthalten ist, hat die Wirkung zur Verhinderung der Erhöhung des Fermi-Levels, verursacht durch einen Defekt, und zur Erhöhung eines Leitungsbandes der Elektronentransportschicht **4**, die direkt auf der Zwischenschicht **3** gebildet ist.

[0040] Bei einer Kohlenstoffkonzentration von weniger als 5×10^{16} Atome/cm³ wird die ausreichende Wirkung zur Erhöhung des Leitungsbandes nicht erhalten. Bei einer Konzentration von mehr als 1×10^{18} Atome/cm³ gibt es die Befürchtung, dass die hohe Kohlenstoffkonzentration die Kollapseigenschaft verschlechtern kann. Daher ist dies nicht bevorzugt.

[0041] Es ist zu beachten, dass eine Halbwertsbreite einer Röntgenbeugungskurve der Zwischenschicht **3** entsprechend dieser Erfindung bevorzugt 600 Sekunden oder weniger bei der AlGa_{0,02}N(002)-Ebene ist. Wenn die Halbwertsbreite dieser Röntgenbeugungskurve 600 Sekunden übersteigt, gibt es die Befürchtung, dass die Verbesserung der Schwellenspannung inhibiert wird, weil die Kristallinität der Zwischenschicht **3** gering ist.

[0042] Weiterhin ist es bevorzugt, dass x von Al_xGa_{1-x}N in der Zwischenschicht 0,05 bis 0,24 ist. Mehr bevorzugt ist es von 0,15 bis 0,23.

[0043] Wenn x von Al_xGa_{1-x}N klein ist, d. h. der Al-Gehalt zu gering ist, wird die Menge der Verschiebung der Schwellenspannung gering, so dass dies nicht bevorzugt ist. Wenn auf der anderen Seite der Al-Gehalt zu groß ist, wird die Kollapseigenschaft verschlechtert, so dass dies auch nicht bevorzugt ist.

[0044] Es ist zu beachten, dass die Zwischenschicht **3** nicht nur aus einer einzelnen Schicht mit einer Al_xGa_{1-x}N-Zusammensetzung sein kann, sondern auch aus einer Multischichtstruktur, bestehend aus einer Vielzahl von Al_xGa_{1-x}N-Schichten, worin die Al-Gehalte "x" unterschiedlich sind. Weiterhin können Al-Konzentrationen so angeordnet sein, dass sie sich gleichmäßig in der Dickenrichtung ändern (d. h. sich erhöhen oder vermindern).

[0045] Die Elektronentransportschicht **4**, die direkt auf der Zwischenschicht **3** angeordnet ist, hat eine Dicke von 5–200 nm und ist aus Al_yGa_{1-y}N ($0 \leq y \leq 0,04$).

[0046] Bevorzugt ist eine Dicke der Elektronentransportschicht **4** von 5–200 nm. Mehr bevorzugt ist sie von 10–150 nm.

[0047] Wenn die Dicke der Elektronentransportschicht **4** weniger als 5 nm ist, ist diese ein zu dünner Film, dass im Allgemeinen ein gleichmäßiger Film gebildet wird. Somit gibt es die Befürchtung, dass die Eigenschaft verschlechtert werden kann wegen der ungleichmäßigen Filmdicke, was nicht bevorzugt ist. Wenn auf der anderen Seite die Filmdicke 200 nm übersteigt, wird eine ausreichende Wirkung zur Erhöhung des Leitungsbandes nicht erhalten, so dass die Wirkung der Verbesserung der Schwellenspannung vermindert wird. Dies ist auch nicht bevorzugt.

[0048] Bezüglich des Al-Gehaltes der Elektronentransportschicht **4** aus Al_yGa_{1-y}N ist y bevorzugt von 0 bis 0,04. Mehr bevorzugt ist sie aus GaN, worin y 0 ist. Ein größerer Al-Gehalt ist nicht bevorzugt, weil es die Befürchtung gibt, dass die Elektronenmobilität sich vermindern kann.

[0049] Es ist zu beachten, dass die Kohlenstoffkonzentration der Elektronentransportschicht **4** nicht besonders beschränkt ist, jedoch ist sie bevorzugt von 5×10^{16} Atome/cm³ bis 1×10^{18} Atome/cm³. Mehr bevorzugt ist sie von 1×10^{17} Atome/cm³ bis 5×10^{17} Atome/cm³.

[0050] Die hohe Kohlenstoffkonzentration vermindert die Anhebung des Fermi-Niveaus, das durch einen Defekt verursacht wird. Als ein Beispiel ist dies effektiv für die Erhöhung des Leitungsbandes der GaN-Schicht, gebildet als Elektronentransportschicht **4**.

[0051] Jedoch ermöglicht eine Kohlenstoffkonzentration von weniger als 5×10^{16} Atome/cm³ nicht die ausreichenden Wirkungen zur Verhinderung der Erhöhung des Fermi-Niveaus, verursacht durch einen Defekt, und der Erhöhung des Leitungsbandes der GaN-Schicht, gebildet als Elektronentransportschicht, was nicht bevorzugt ist. Auf der anderen Seite gibt es bei einer Konzentration von mehr als 1×10^{18} Atome/cm³ die Befürchtung, dass die hohe Kohlenstoffkonzentration die Kollapseigenschaft verschlechtern kann. Dies ist auch nicht bevorzugt.

[0052] Weiterhin wird die Elektronenzufuhrschicht **5** auf der Elektronentransportschicht **4** gebildet. In dem Nitrid-Halbleitersubstrat gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung kann die Elektronenzufuhrschicht **5** unter Verwendung einer Schicht gebildet werden, die eine HEMT-Struktur vom normalerweise abgeschalteten Typ hat und aus verschiedenen Arten von Materialien und Zusammensetzungen erzeugt ist. Als Material der Elektronenzufuhrschicht **5** ist ein Nitrid-Halbleiter bevorzugt. Als Beispiel kann AlGa_{0,3}N, das einen willkürlichen Al-Gehalt hat, verwendet werden.

[0053] Somit besteht das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** entsprechend einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung aus der optimalen Kombination der Filmdicke und der Kohlenstoffkonzentration der Zwischenschicht **3** und der Filmdicke und Zusammensetzung der Elektronentransportschicht **4**, die mit der Zwischenschicht **3** in Kontakt steht, unter Erhalt der hohen Schwellenspannung, was nicht konventionell ist.

[0054] [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Ansicht des Nitrid-Halbleitersubstrates gemäß einem anderen bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0055] Wie in [Fig. 2](#) gezeigt, können bei dem Nitrid-Halbleitersubstrat **10** gemäß einem anderen bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung AlN-Abstandsschichten **6** weiterhin zwischen der Zwischenschicht **3** und die Elektronentransportschicht **4** und zwischen der Elektronentransportschicht **4** und die Elektronenzuführschicht **5** angeordnet sein.

[0056] Die AlN-Abstandsschicht **6** führt hauptsächlich zu der Wirkung, dass die Verschiebung der Schwellenspannung erhöht wird. Erfindungsgemäß existieren in einer Situation, bei der die Zwischenschicht **3** direkt unter der Elektronentransportschicht **4** existiert, die AlN-Abstandsschichten **6**, um die Elektronentransportschicht **4** in Sandwichform zu umgeben, wodurch die Wirkung der Erhöhung der Verschiebung der Schwellenspannung weiter entfaltet wird. Es ist zu bemerken, dass die Filmdicke der AlN-Abstandsschicht **6** bevorzugt von 0,2–2 nm ist. Eine Filmdicke von weniger als 0,2 nm verschlechtert die Steuerbarkeit der Filmdicke und dies ist nicht bevorzugt. Wenn sie 2 nm übersteigt, gibt es die Befürchtung, dass die Elektronenmobilität verschlechtert werden kann. Dies ist auch nicht bevorzugt.

[0057] Es ist bevorzugt, dass die AlN-Abstandsschichten **6** jeweils zwischen der Zwischenschicht **3** und der Elektronentransportschicht **4** und zwischen der Elektronentransportschicht **4** und der Elektronenzuführschicht **5** angeordnet sind. Denn es gibt die Möglichkeit, dass nur eine von diesen keine ausreichende Wirkung zur Erhöhung der Verschiebung der Schwellenspannung verursacht.

[0058] Weiterhin umfasst ein geeignetes Verfahren zur Herstellung des Nitrid-Halbleitersubstrates **10** gemäß dieser Erfindung die Bildung der Pufferschicht **2** auf einer Hauptebene des Substrates **1** unter Anwendung des Dampfniederschlagsverfahrens, Bildung der Zwischenschicht **3** auf der Pufferschicht **2**, Bildung der Elektronentransportschicht **4** auf der Zwischenschicht **3** und Bildung der Elektronenzuführschicht **5** auf der Elektronentransportschicht **4**, und eine Temperatur zum Zeitpunkt der Bildung der Zwischenschicht **3** ist von 970–1250°C.

[0059] Für das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** werden die Pufferschicht **2**, die Zwischenschicht **3**, die Elektronentransportschicht **4** und die Elektronenzuführschicht **5** nacheinander durch Dampfniederschlagsverfahren auf der einen Hauptebene gebildet, wie einem Si-Substrat, etc. Obwohl ein bekanntes Verfahren, das bei der Herstellung eines Halbleitersubstrates konventionell verwendet wird, bei dem Dampfniederschlagsverfahren angewandt werden kann, wird bevorzugt ein metallorganisches chemisches Dampfniederschlagsverfahren (MOCVD) verwendet.

[0060] Bei der Zwischenschicht **3** ist es durch Optimieren der Kristallinität und der Filmdicke ebenso wie

der Kohlenstoffkonzentration möglich, die Schwellenspannung deutlich zu verbessern. Insbesondere kann für die Steuerung der Kristallinität die genaue Steuerung mit der Filmbildungstemperatur durchgeführt werden, wenn ein Dampfniederschlagsverfahren angewandt wird.

[0061] Es ist zu beachten, dass dann, wenn ein Dampfniederschlagsverfahren, insbesondere das MOCVD-Verfahren verwendet wird, eine Quelle von Kohlenstoff in den Materialien, die für das MOCVD-Verfahren verwendet werden, enthalten ist, so dass die Kohlenstoffkonzentration ebenfalls durch genaues Steuern der Wachstumstemperatur, einer Materialzufuhrfließrate, Wachstumszeit, etc. zur Optimierung eingestellt werden kann.

[0062] Wenn eine Filmbildungstemperatur der Zwischenschicht **3** weniger als 970°C ist, kann eine notwendige Kristallinität nicht erhalten werden, was nicht bevorzugt ist. Wenn sie auf der anderen Seite 1250°C übersteigt, kann eine gleichmäßige Wachstumsrate nicht erhalten werden, und die Homogenität der Filmdicken wird vermindert oder die Steuerbarkeit der Al-Konzentration wird verschlechtert, was auch nicht bevorzugt ist. Bevorzugt ist sie von 980–1030°C.

[0063] Es ist zu beachten, dass eine Wachstumstemperatur für jede Schicht, mit Ausnahme der Zwischenschicht **3**, nicht notwendigerweise beschränkt ist, aber geeignet entsprechend den erforderlichen Eigenschaften des Nitrid-Halbleitersubstrates eingestellt werden kann.

[0064] In dem Nitrid-Halbleitersubstrat **10** gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel dieser Erfindung sind das Substrat **1**, die Pufferschicht **2**, die Zwischenschicht **3**, die Elektronentransportschicht **4** und die Elektronenzuführschicht **5** essentielle Komponenten. Eine oder mehrere Schichten, die geeignet aus verschiedenen Arten von Nitrid-Halbleitern bestehen, können zwischen dem Substrat **1** und der Pufferschicht **2** oder auf die Elektronenzuführschicht **5** nach Erfordernis oder um verschiedene Eigenschaften zu erzielen, zugegeben werden.

[0065] Wie oben beschrieben kann diese Erfindung ein Nitrid-Halbleitersubstrat, das sowohl eine höhere Schwellenspannung als auch eine Verbesserung beim Stromkollaps ermöglicht und für eine Vorrichtung mit hoher Durchbruchsspannung vom normalerweise abgeschalteten Typ geeignet ist, und ein geeignetes Verfahren zur Herstellung des Substrates angeben.

[0066] Weiterhin ist das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** dieser Erfindung vorteilhaft, weil die Wirkung der Verbesserung der Schwellenspannung durch Kombinieren der Struktur mit einer kleineren Anzahl von Schichten als vorher und die Wachstumstemperatur-

Steuertechnik gehalten werden, was eine einfache und genaue Steuerung ermöglicht.

[0067] Nachfolgend werden die bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die Beispiele beschrieben; jedoch ist diese Erfindung nicht hierauf beschränkt.

(Experiment 1)

[0068] Ein Nitrid-Halbleitersubstrat **10** mit einer Schichtstruktur gemäß [Fig. 1](#) wurde durch folgende Verfahren hergestellt. Als allgemeines Herstellungsverfahren wurde ein Substrat **1** aus einem Si-Einkristall mit einem Durchmesser von 3 inch und einem n-Dotiertyp, einer Dicke von 625 µm und einer Ebenenrichtung (100) in eine MOCVD-Anlage gegeben. Als Materialien für den Nitrid-Halbleiter wurden Trimethylgallium (TMG), Trimethylalluminium (TMA), Ammoniak (NH₃) und Methan (CH₄) verwendet. Gemäß der zu bildenden Schicht wurden diese Materialien selektiv und geeignet verwendet, und eine Dampfniederschlagstemperatur wurde auf 1000°C zur Bildung einer jeden Schicht erhöht. Zusätzlich wurde die Zusammensetzung und die Einstellung einer Dicke einer jeden Schicht durch Auswahl der Materialien und Einstellen einer Fließrate, eines Drucks und der Zufuhrzeit erzielt.

[0069] Eine AlN-Einkristallschicht wurde auf dem Substrat **1** gebildet, unter Erhalt einer Kohlenstoffkonzentration von 5×10^{19} Atome/cm³ und einer Dicke von 20 nm. Anschließend wurde eine Al_{0,2}Ga_{0,8}N-Einkristallschicht gestapelt, unter Erhalt einer Kohlenstoffkonzentration von 5×10^{19} Atome/cm³ und einer Dicke von 80 nm. Diese Vorgänge wurden alternierend durch ähnliche Vorgänge zur Bildung der Pufferschichten **2** wiederholt, worin insgesamt 20 Schichten, umfassend jeweils 10 Schichten, gestapelt wurden.

[0070] Die Zwischenschicht **3** aus einer Einzelschicht wurde auf dieser Pufferschicht **2** bei einer Dampfniederschlagstemperatur von 1000°C gebildet, unter Erhalt einer Dicke von 1000 nm, einer Al_xGa_{1-x}N (x = 0,20)-Zusammensetzung und einer Kohlenstoffkonzentration von 1×10^{17} Atome/cm³. Anschließend wurde die Elektronentransportschicht **4** aus einer GaN-Einkristallschicht mit einer Dicke von 100 nm und einer Kohlenstoffkonzentration von 1×10^{17} Atome/cm³ gebildet. Weiterhin wurde die Elektronenzuführschicht **5** aus einem Al_{0,25}Ga_{0,75}N-Einkristall unter Erhalt einer Dicke von 30 nm und einer Kohlenstoffkonzentration von 5×10^{17} Atomen/cm³ gebildet. Somit wurde das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** der Probe 1 erhalten.

[0071] Weiterhin wurde die Nitrid-Halbleiterschicht aus einer einzelnen Schicht als Zwischenschicht **3** bei einer Dampfniederschlagstemperatur von 900°C

unter Erhalt einer Dicke von 1000 nm, einer Al_xGa_{1-x}N (x = 0)-Zusammensetzung und einer Kohlenstoffkonzentration von 1×10^{17} Atomen/cm³ zum Vergleich niedergeschlagen. Mit Ausnahme davon wurden ähnliche Vorgänge wie bei der Probe 1 für den Erhalt der Probe 2 durchgeführt.

[0072] Die Schwellenspannungen und der Stromkollaps der Nitrid-Halbleitersubstrate **10** bei den Proben 1 und 2 wurden jeweils gemessen und zum Vergleich bewertet. Die Fabrikationsbedingungen und Auswertungsergebnisse sind in der folgenden Tabelle 1 gezeigt.

[0073] Die Messungen der Schwellenspannungen wurden durchgeführt, so dass Schottky-Elektroden (Ni/Au) von Vertiefungsgates und ohmsche Elektroden (Ti/Al) als Quellen und Rinnen auf den Elektronenzuführschichten **5** der jeweilig gebildeten Nitrid-Halbleitersubstrate **10** gebildet wurden, die Elementtrennung wurde durchgeführt und I-V-Messung wurde durch ein Kurventracer bei Raumtemperatur nach Bildung von Vorrichtungen von Transistoren vom elektrischen Feldeffekttyp durchgeführt.

[0074] Spannungswerte zeigen, wie sehr sich die Schwellenspannungen verschoben, wenn ein Wert bei Probe 2 auf 0 V, der die Referenzspannung war, eingestellt wurde.

[0075] Zur Bewertung der Verbesserung beim Stromkollaps wurde die Kollapsmessung durch Strommessung vor und nach Auferlegung von Stressspannung zwischen den Elektroden verwendet. Durch das SIMS-Verfahren wurde die Kohlenstoffkonzentration bei einem Punkt in dem Zentrum der Hauptebeine des Substrates gemessen.

[0076] Als Ergebnis war ein Shiftwert der Schwellenspannung der Probe 1 3,0 V. Somit wurde bestätigt, dass das Vorsehen der Struktur gemäß dieser Erfindung die Schwellenspannung im Vergleich zur konventionellen Struktur verbesserte. Weiterhin ist ersichtlich, dass die Verbesserungswirkung beim Stromkollaps bei Probe 1 ebenfalls besser ist als bei Probe 2.

(Experiment 2)

[0077] Der Al-Gehalt, die Filmdicke und die Kohlenstoffkonzentration der Zwischenschicht **3** und die Filmdicke und die Kohlenstoffkonzentration der Elektronentransportschicht **4** wurden geändert. Mit Ausnahme davon wurde das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** ähnlich wie bei Probe 1 hergestellt und bewertet.

[0078] Die Herstellungsbedingungen und Auswertungsergebnisse sind in der folgenden Tabelle 1 gezeigt und zusätzlich sind andere Eigenschaften als die oben erwähnten beiden Auswertungskriterien sol-

che, die sich etwas änderten, in der Spalte mit Bemerkungen aufgelistet. Bei mehreren Proben sind die Röntgenbeugungskurven-Halbwertsbreiten als Referenz angegeben.

[0079] Die Durchbruchsspannungen wurden unter Verwendung des Kurventracers bewertet. Ein Wert von 150 V pro Mikrometer oder mehr wurde mit "gut" bewertet auf der Basis des Durchbruchsspannungswertes bei Probe 1 und einer, der geringer war, wurde mit "vermindert" bewertet.

[0080] Der Stromkollaps wurde im Vergleich zu Probe 1 dann, wenn der Stromwert nach Auferlegung der Stressspannung gleich oder größer war als eine Hälfte des Stromwertes vor dem Auferlegen der Stromkollaps, mit "gut" bewertet. Wenn er weniger als die Hälfte war, wurde der Stromkollaps mit "vermindert" bewertet.

(Experiment 3)

[0081] Die Pufferschicht **2** wurde so angeordnet, dass sie eine Struktur aufwies, die unten angegeben ist. Mit Ausnahme davon wurde das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** ähnlich wie Probe 1 hergestellt, unter Erhalt der Probe 30.

[0082] Die Pufferschicht **2** bei Probe 30 wurde mit einer anfänglichen Pufferschicht wiederholt und niedergeschlagen Schichten vorgesehen. Als anfängliche Pufferschicht wurde eine AlN-Einkristallschicht unter Erhalt einer Dicke von 100 nm gestapelt und eine $\text{Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{N}$ -Einkristallschicht wurde gestapelt, unter Erhalt einer Dicke von 200 nm. Als wiederholt niedergeschlagene Schichten wurde eine GaN-Einkristallschicht mit einer Dicke von 25 nm gebildet; anschließend wurde eine AlN-Einkristallschicht gestapelt, unter Erhalt einer Dicke von 5 nm. Nach alternierendem Wiederholen dieser Vorgänge mit Hilfe des ähnlichen Verfahrens zum Stapeln einer Gesamtmenge von 12 Schichten, umfassend jeweils 5 Schichten, wurde eine andere GaN-Schicht mit einer Dicke von 220 nm gebildet. Mit der Annahme, dass dies ein Satz von Verbundschichten ist, wurden sechs Sätze wiederholt gestapelt.

[0083] Weiterhin wurde bei Probe 30 die Ebenenrichtung (100) des Substrates **1** aus einem Si-Einkristall in (111) geändert. Mit Ausnahme davon wurde gleichermaßen wie bei Beispiel 30 das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** hergestellt, unter Erhalt der Probe 31.

[0084] Weiterhin wurde die Struktur der Pufferschicht **2** so angeordnet, dass sie ähnlich war wie bei Probe 30. Mit Ausnahme davon wurde das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** gleichermaßen wie bei Probe 2 hergestellt, unter Erhalt der Probe 32.

[0085] Für die Nitrid-Halbleitersubstrate **10** der Proben 30 und 31 wurden die Schwellenspannungen, Stromkollapse und Durchbruchsspannungen auf der Basis von Probe 32 verglichen. Die Herstellungsbedingungen und Auswertungsergebnisse sind in Tabelle 1 gezeigt ([Fig. 3](#)).

[0086] Aufgrund der Ergebnisse von Tabelle 1 ist ersichtlich, dass die Schwellenspannungen und Stromkollapse verbessert waren und ebenfalls die Durchbruchsspannungen die guten Eigenschaften innerhalb des bevorzugten Umfangs dieser Erfindung ermöglichten.

[0087] Auf der anderen Seite hatten bei den Proben, die von dem bevorzugten Umfang dieser Erfindung abwichen, einige schlechte Eigenschaften in Bezug auf zumindest einen Teil der Schwellenspannung und Stromkollapsverbesserung ebenso wie Durchbruchsspannung.

[0088] Zusätzlich ermöglichte die Probe 24, dass alle genannten Eigenschaften gut waren, aber der Widerstand der Vorrichtung erhöhte sich.

[0089] Weil kein Unterschied der Eigenschaften zwischen den Proben 30 und 31 gesehen wurde, wurde bestätigt, dass der Unterschied in der Ebenenrichtung des Substrates **1**, erzeugt aus einem Si-Einkristall, die Eigenschaften des Nitrid-Halbleitersubstrates **10** nicht beeinflussen.

(Experiment 4)

[0090] Die Filmbildungstemperatur für die Zwischenschicht **3** wurde geändert. Mit Ausnahme davon wurde das Nitrid-Halbleitersubstrat **10** gleichermaßen wie bei Probe 1 hergestellt und bewertet. Die Herstellungsbedingungen und die Auswertungsergebnisse sind in Tabelle 2 gezeigt ([Fig. 4](#)).

[0091] Aufgrund der Ergebnisse von Tabelle 2 ist ersichtlich, dass dann, wenn die Probe außerhalb des Umfangs dieser Erfindung ist, ein beachtlicher Unterschied bei der Schwellenspannung insbesondere auf der Niedertemperaturseite im Vergleich zu der Probe innerhalb des Umfangs dieser Erfindung ist. Weiterhin wurden einige Unterschiede beim Stromkollaps und der Durchbruchsspannung gesehen.

(Experiment 5)

[0092] Beim Nitrid-Halbleitersubstrat **10** bei Probe 1 wurde die AlN-Abstandsschicht **6** mit einer Dicke von 1 nm zwischen den Positionen, die in [Fig. 2](#) gezeigt sind, angeordnet. AlN wurde kontinuierlich als Film beim Herstellungsverfahren bei Probe 1 niedergeschlagen, und die Wachstumstemperatur wurde auf 1000°C gestellt.

[0093] Wenn die gleiche Auswertung wie bei Probe 1 für dieses Substrat durchgeführt wurde, war die Verschiebung der Schwellenspannung 4,5 V. Demzufolge ist ersichtlich, dass dies besser ist als bei der Probe 1 in Bezug auf die Verschiebung der Schwellenspannung.

[0094] Das Nitrid-Halbleitersubstrat entsprechend dieser Erfindung ist geeignet als Nitrid-Halbleitersubstrat, das für einen Nitrid-Halbleiter verwendet wird, der für einen Inverter zum Steuern eines großen Stromes und für eine Elektronenvorrichtung mit hoher Geschwindigkeit und hoher Durchbruchsspannung geeignet ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- JP 2001-196575 [[0004](#)]
- JP 2008-010803 [[0005](#)]
- JP 2010-123899 [[0006](#)]
- JP 2001-196575 A [[0008](#)]
- JP 2008-010803 A [[0009](#)]
- JP 2010-123899 A [[0010](#)]

Patentansprüche

1. Nitrid-Halbleitersubstrat **(10)** mit einem Substrat **(1)**, einer Pufferschicht **(2)**, gebildet auf einer Hauptebene des Substrates **(1)**, einer Zwischenschicht **(3)**, gebildet auf der Pufferschicht **(2)**, einer Elektronentransportschicht **(4)**, gebildet auf der Zwischenschicht **(3)** und einer Elektronenzuführschicht **(5)**, gebildet auf der Elektronentransportschicht **(4)**, worin die Zwischenschicht **(3)** eine Dicke von 200–1500 nm und eine Kohlenstoffkonzentration von 5×10^{16} Atome/cm³ bis 1×10^{18} Atome/cm³ hat und aus $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0,05 \leq x \leq 0,24$) erzeugt ist, wobei die Elektronentransportschicht **(4)** eine Dicke von 5–200 nm hat und aus $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ($0 \leq y \leq 0,04$) erzeugt ist.

2. Nitrid-Halbleitersubstrat **(10)** nach Anspruch 1, worin AlN-Abstandsschichten **(6)** jeweils zwischen der Zwischenschicht **(3)** und der Elektronentransportschicht **(4)** und zwischen der Elektronentransportschicht **(4)** und der Elektronenzuführschicht **(5)** angeordnet sind.

3. Nitrid-Halbleitersubstrat **(10)** nach Anspruch 1 oder 2, worin die Pufferschicht **(2)** eine ursprüngliche Pufferschicht **(21)** und wiederholt niedergeschlagene Schichten **(22)**, gebildet auf der ursprünglichen Pufferschicht **(21)**, umfasst, wobei die ursprüngliche Pufferschicht **(21)** so ist, dass eine AlN-Schicht **(211)** und eine $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ ($0 \leq z \leq 1$)-Schicht **(212)** in dieser Reihenfolge gestapelt sind, wobei die wiederholt angeordneten Schichten **(22)** so sind, dass GaN-Schichten **(221)** und AlN-Schichten **(222)** wiederholt in dieser Reihenfolge mehrere Male gestapelt sind, eine andere GaN-Schicht **(223)** weiterhin gebildet ist, unter Erhalt eines Satzes von Verbundschichten **(220)** und wobei eine Vielzahl von Sätzen gestapelt ist.

4. Verfahren zur Herstellung des Nitrid-Halbleitersubstrates **(10)** nach einem der Ansprüche 1 bis 3 durch ein Dampfniederschlagsverfahren, worin eine Temperatur zum Zeitpunkt der Bildung der Zwischenschicht **(3)** auf der Pufferschicht **(2)** von 970–1250°C ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

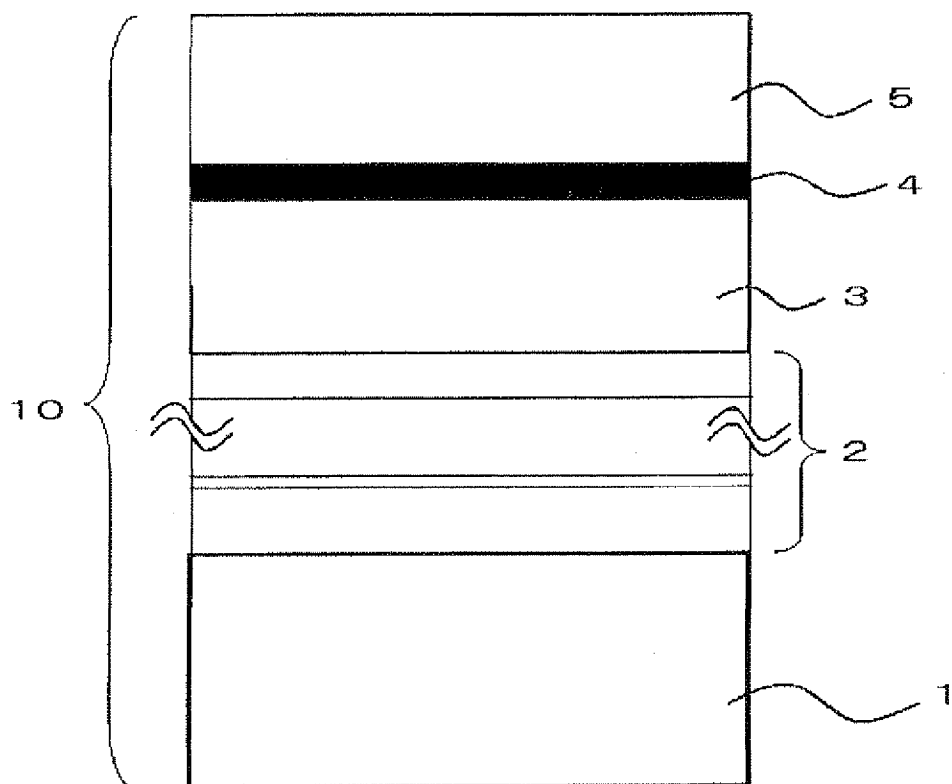


FIG. 2

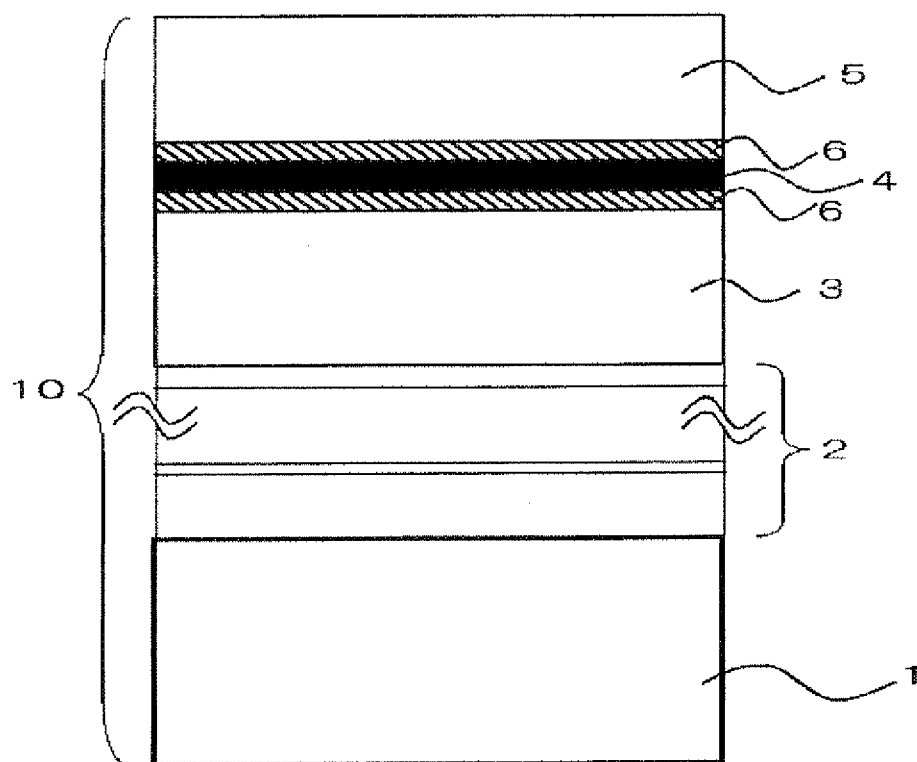


FIG. 3

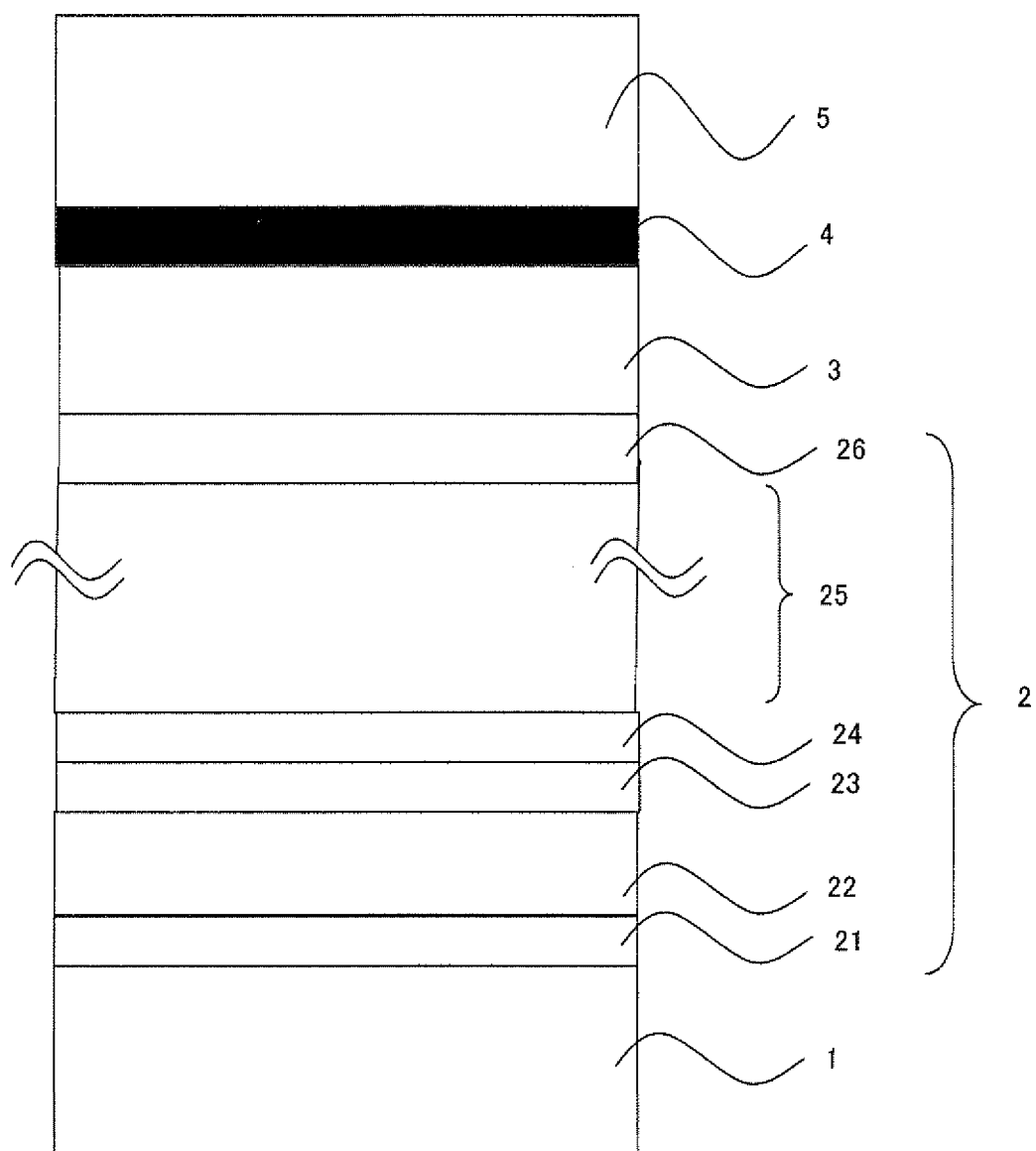


FIG. 4
[Tabelle 1]

	Proben-Nr.	Zwischenschicht 3 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$			Elektronen-transport-schicht 4 $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$		Bewertung			Bemerkungen
		x	Filmdicke (nm)	Kohlenstoff-Konzentration ($\times 10^{17}$ Atome/cm ³)	y	Filmdicke (nm)	Schwellen-spannung-Verschiebungswert (V)	Verbesserung des Stromkollapses	Widerstands-spannung	
Experiment 1	1	0,20	1000	1	0	100	3,0	Gut	700V (Gesamtdicke 4 μm) (Referenz)	Zwischenschicht 3: Filmbildungstemperatur 1000°C
	2	0	1000	500	0	100	0 (Referenz)	Gut		Zwischenschicht 3: Filmbildungstemperatur 900°C
Experiment 2	3	0,04					1,5	Gut	Gut	AlGaN(002) Halbwertsbreite: 430
	4	0,05					2,5	Gut	Gut	
	5	0,14			0	100	3,0	Gut	Gut	
	6	0,20	1000	1			3,0	Gut	Gut	
	7	0,23					3,0	Gut	Gut	
	8	0,24					3,0	Gut	Gut	AlGaN(002) Halbwertsbreite: 420 s
	9	0,25					3,0	Gut	Gut	
	10		100				3,0	Vermindert	Vermindert	
	11		200				3,0	Vermindert	Gut	
	12	0,20	1200	1	0	100	3,0	Gut	Gut	
	13		1500				3,0	Gut	Gut	AlGaN(002) Halbwertsbreite: 420 s
	14		2000				3,0	Gut	Vermindert	
	15			0,1			3,0	Gut	Vermindert	
	16			0,5			3,0	Gut	Gut	
	17			1,2	0	100	3,0	Gut	Gut	
	18			10			3,0	Gut	Gut	AlGaN(002) Halbwertsbreite: 420 s
	19	0,20	1000	20			3,0	Vermindert	Gut	

Fortsetzung Tabelle 1

Experiment 2	20	0,20	1000	1	0,005	100	3,0	Gut	Gut
	21						3,0	Gut	Gut
	22						3,0	Gut	Gut
	23						3,0	Gut	Gut
	24	0,20	1000	1	0	3	3,0	Gut	Gut
	25						3,0	Gut	Gut
	26						3,0	Gut	Gut
	27						3,0	Gut	Gut
	28						2,2	Gut	Gut
	29						1,5	Gut	Gut
Experiment 3	30	0,20	1000	1	0	100	3,0	Gut	Zwischenschicht 3: Filmbildungstemperatur 1000°C
	31						3,0	Gut	Substrat 1 Si (111)
	32						0 (Referenz)	Gut	(Referenz) Zwischenschicht 3: Filmbildungstemperatur 900°C

FIG. 5
[Tabelle 2]

	Proben-Nr.	Zwischenschicht 3 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$	Bewertung			Referenz
		Filmbildungstemperatur (°C)	Schwellen- spannungs- Verschiebungs- wert (V)	Verbesserung des Stromkollapses	Widerstands- spannung	
Experiment 1	1	1000	3,0	Gut	700V (Gesamtdicke 4 μm) (Referenz)	AlGaIn(002) Halbwertsbreite: 450 Sekunden
	2	900	0 (Referenz)	Gut		
Experiment 4	33	930	1,5	Sehr schlecht	Gut	
	34	950	1,5	Reduziert	Gut	
	35	970	3,0	Gut	Gut	
	36	1100	3,0	Gut	Gut	
	37	1250	3,0	Gut	Gut	
	38	1300	3,0	Gut	Reduziert	