



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 199 33 552 B4 2004.12.02

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 199 33 552.4

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: H01L 33/00

(22) Anmelddatum: 16.07.1999

H01S 5/323

(43) Offenlegungstag: 03.02.2000

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 02.12.2004

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(30) Unionspriorität:

10-205125 21.07.1998 JP

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

DE 196 48 955 A1

DE 196 29 720 A1

US 56 79 965 A

DE-B.: Gerthsen, Kneser, Vogel, "Physik", 14.  
Aufl., Springer-Verlag Berlin, 1982, ISBN 3-540113  
11369-X S. 112-113;  
S.Sivalav et al: Effect of oxygen on the physical  
parameters of RF sputtered ZnO thinfilm. In: J.Phys.  
D: Appl. Phys. 22(1989), S.1768-1772;

(71) Patentinhaber:

Murata Mfg. Co., Ltd., Nagaokakyo, Kyoto, JP

(74) Vertreter:

Rechts- und Patentanwälte Lorenz Seidler Gossel,  
80538 München

(72) Erfinder:

Kadota, Michio, Nagaokakyo, Kyoto, JP

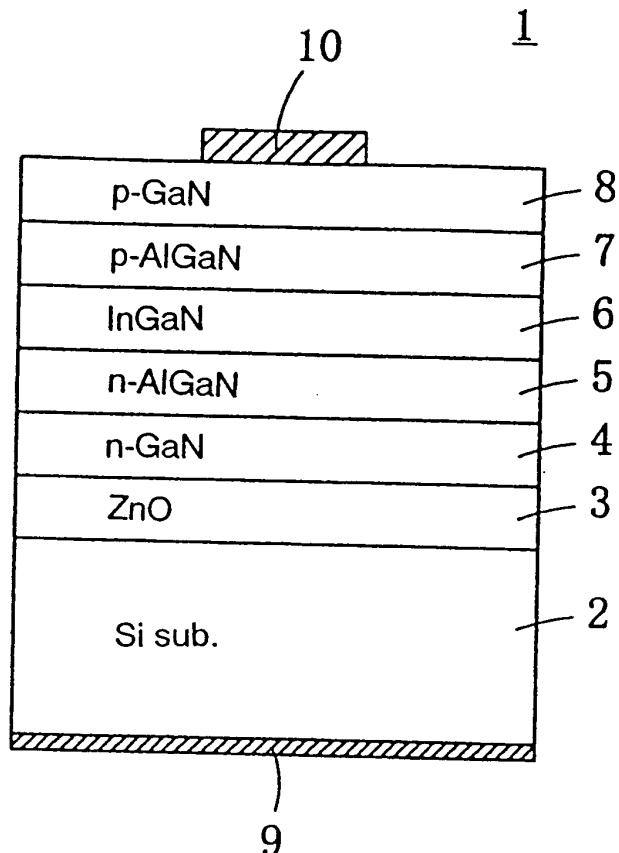
(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung einer optoelektronischen Halbleitervorrichtung mit einer ZnO-Pufferlage**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung einer optoelektronischen Halbleitervorrichtung, die eine ZnO-Pufferlage und eine Halbleiterverbindungsfläche, die durch  $In_xGa_yAl_zN$  mit  $x + y + z = 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$  und  $0 \leq z \leq 1$  dargestellt ist, umfaßt, mit den folgenden Schritten zur Einstellung der Gitterkonstanten der ZnO-Pufferlage:

wenn die Gitterkonstante in Richtung der a-Achse der Halbleiterverbindung kleiner als die Gitterkonstante in Richtung der a-Achse eines ZnO-Einkristalls ist, wird die Gitterkonstante in Richtung der c-Achse der ZnO-Pufferlage größer gemacht als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in Richtung der c-Achse, und

wenn die Gitterkonstante der Halbleiterverbindung in Richtung der a-Achse größer als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in Richtung der a-Achse ist, wird die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in Richtung der c-Achse kleiner gemacht als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in Richtung der c-Achse,

wodurch die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in Richtung der a-Achse annähernd gleich der Gitterkonstante der...



## Beschreibung

**[0001]** Diese Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung einer optoelektronischen Halbleitervorrichtung (im folgenden auch „Halbleiterphotonikvorrichtung“). Insbesondere betrifft diese Erfindung die Herstellung einer Halbleiterphotonikvorrichtung, die eine Halbleiterverbindung aus den Gruppen III-V, z. B. GaN, InGaN, GaAIN oder InGaAIN, verwendet.

### Stand der Technik

**[0002]** Als Materialien für Halbleiterphotonikvorrichtungen, wie Leuchtdioden (LEDs) und Halbleiterlaserdioden (LDs), die blaues oder ultraviolettes Licht emittieren, sind Halbleiterverbindungen bekannt, die sich durch die allgemeine Formel  $In_xGa_yAl_zN$  darstellen lassen, worin  $x + y + z = 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$  und  $0 \leq z \leq 1$  sind. Weil die Halbleiterverbindungen solche mit direktem Übergang sind, weisen sie einen starken Lumineszenzefekt auf. Außerdem haben sie Aufmerksamkeit als Stoffe für lichtemittierende Vorrichtungen erregt, da die Lumineszenzwellenlänge durch den Gehalt an Indium einstellbar ist.

**[0003]** Weil es schwierig ist, große  $In_xGa_yAl_zN$ -Einkristalle herzustellen, wird bei der Produktion des Kristallfilms ein sogenannter Heteroepitaxial-Wachstumsprozess verwendet, bei dem ein  $In_xGa_yAl_zN$ -Film auf einem aus verschiedenen Materialien bestehenden Substrat gezüchtet wird, und typischerweise wird dieser Kristallfilm auf einem C-Ebenen-Saphirsubstrat gezüchtet. Weil das C-Ebenen-Saphirsubstrat teuer ist und ein großer Gitterversatz zwischen dem C-Ebenen-Saphirsubstrat und dem  $In_xGa_yAl_zN$ -Film auftritt (beispielsweise reicht der Gitterversatz für GaN bis zu 16,1%), bilden sich in dem gezüchteten Kristall unvermeidbar viele Kristallfehler mit einer Fehlstellendichte von  $10^8/cm^2$  bis  $10^{11}/cm^2$ , und deshalb lässt sich kein hochwertiger Kristallfilm mit hoher Kristallinität bilden.

**[0004]** Um diese Schwierigkeit zu überwinden, hat man ein Verfahren zur Bildung eines Kristalls mit verringerter Anzahl von Fehlstellen vorgeschlagen, bei dem der Gitterversatz bei der Abscheidung von  $In_xGa_yAl_zN$  auf einem C-Ebenen-Saphirsubstrat dadurch verringert wird, dass eine polykristalline oder amorphe AlN-Pufferschicht oder eine bei niedriger Temperatur abgeschiedene GaN-Pufferschicht auf das C-Ebenen-Saphirsubstrat aufgebracht wird. Da dieses Verfahren den Gitterversatz nicht nur zwischen dem C-Ebenen-Saphirsubstrat und der Pufferlage sondern auch zwischen der Pufferlage und dem  $In_xGa_yAl_zN$  verringern kann, lässt sich ein Kristallfilm mit wenigen Fehlstellen bilden. Das bei diesem Verfahren verwendete C-Ebenen-Saphirsubstrat ist jedoch teuer und, da der Aufbau kompliziert ist, sind hohe Herstellungskosten unvermeidlich.

**[0005]** Man hat ein SiC-Substrat untersucht und einen geringen Gitterversatz festgestellt (z. B. ist der Gitterversatz für GaN 3,5%). Jedoch ist das SiC-Substrat verhältnismäßig teuer im Vergleich mit dem C-Ebenen-Saphirsubstrat (sein Preis ist annähernd zehn mal so hoch wie der Preis für das C-Ebenen-Saphirsubstrat).

**[0006]** Dementsprechend wurde die Herstellung einer Halbleiterphotonikvorrichtung auf einem billigen Si- oder Glassubstrat gewünscht. Ein mögliches Verfahren besteht in der Abscheidung einer ZnO-Pufferlage auf einem Si- oder Glassubstrat und dem Aufbringen einer GaN-Lage auf der ZnO-Pufferlage, dem die Bildung einer  $In_xGa_yAl_zN$ -Halbleiterlage folgt, die Licht auf der GaN-Lage emittiert (oder durch Aufbringen einer eine GaN-Lage enthaltenden  $In_xGa_yAl_zN$ -Halbleiterlage). Da die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in a-Achsenrichtung (nachstehend als "a-Konstante" bezeichnet) und die Gitterkonstante in c-Achsenrichtung (die nachstehend als "c-Konstante" bezeichnet ist) jeweils fast gleich der a-Konstanten und der c-Konstanten von GaN sind, kann die Bildung einer GaN-Lage mit verringerten Gitterfehlstellen in Betracht gezogen werden. Der ZnO-Kristall ist hexagonal und er wächst so, dass die c-Achsenrichtung senkrecht zur Oberfläche des Si- oder Glassubstrats steht, wohingegen die a-Achse parallel zur Oberfläche des Si- oder Glassubstrats liegt.

**Tabelle 1**

Kristall	a-Konstante	c-Konstante
GaN	$3,1860 \times 10^{-10}$ m	$5,1780 \times 10^{-10}$ m
ZnO	$3,24982 \times 10^{-10}$ m	$5,20661 \times 10^{-10}$ m

**[0007]** Eine Vorrichtung mit einer auf einem Si-Substrat aufgebrachten ZnO-Pufferlage verursacht Substratkosten, die nur etwa 1/10 derjenigen eines C-Ebenen-Saphirsubstrats betragen, und deshalb kann die angestrebt Kostenverringerung erreicht werden. Da das Si-Substrat im Gegensatz zu dem isolierenden C-Ebe-

nen-Saphir elektrisch leitfähig sein kann, lässt sich eine p-Elektrode und eine n-Elektrode auf der Oberseite und der Unterseite der Vorrichtung vorsehen und dadurch der Aufbau vereinfachen.

**[0008]** Ein Gitterversatz von 2% ist zwischen der auf dem Si-Substrat gebildeten ZnO-Pufferlage und der GaN-Lage immer noch vorhanden, wie die Tabelle 1 zeigt, obwohl diese 2% kleiner sind als in einer Kombination von GaN mit einem C-Ebenen-Saphirsubstrat oder einem SiC-Substrat. Deshalb bleiben immer noch die durch diesen Gitterversatz hervorgerufenen Kristallfehler.

**[0009]** US 5,679,965 A beschreibt eine optoelektronische Halbleitervorrichtung mit einem Substrat, einer ZnO-Pufferlage auf dem Substrat und einer auf der ZnO-Pufferlage liegenden Halbleiterverbindung, dargestellt durch  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$ , wobei  $x + y + z = 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$  und  $0 \leq z \leq 1$  sind.

**[0010]** S. Srivastav, CVR Vasant Kumar and A. Mansingh: Effekt of oxygen on the physical parameters of RF sputtered ZnO thin film, J. Phys. D.: Appl. Phys. 22 (1989), Seiten 1768 bis 1772 beschreibt die Vergrößerung der Gitterkonstanten in a- und c-Richtung durch den Einbau von Sauerstoff auf Zwischengitterplätzen von ZnO-Filmen durch Einstellen der Prozeßparameter.

#### Aufgabenstellung

**[0011]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die oben beschriebenen technischen Schwierigkeiten zu überwinden.

**[0012]** Diese Aufgabe wird mit einem Verfahren zur Herstellung einer optoelektronischen Halbleitervorrichtung mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst. Die Unteransprüche sind auf vorteilhafte Ausgestaltungen gerichtet.

**[0013]** Das erfindungsgemäße Verfahren bildet einen ZnO-Film auf einem Substrat, indem die Gitterkonstante in a-Achsenrichtung dieses ZnO-Films durch die Gitterkonstante des ZnO-Films in c-Achsenrichtung gesteuert oder geregelt wird.

**[0014]** Die ZnO-Pufferlage hat vorzugsweise eine Gitterkonstante von annähernd  $5,2070 \cdot 10^{-10}$  m oder größer. in Richtung der c-Achse.

**[0015]** Es ist zu bevorzugen, daß die ZnO-Pufferlage eine Gitterkonstante von etwa  $5,21$  bis  $5,28 \cdot 10^{-10}$  m in Richtung der c-Achse und eine Gitterkonstante in a-Achsenrichtung von annähernd  $3,24$  bis  $3,17 \cdot 10^{-10}$  m hat.

#### Ausführungsbeispiel

**[0016]** Um die Erfindung zu veranschaulichen, sind in den Zeichnungsfiguren einige bevorzugte Ausführungsbeispiele dargestellt, jedoch sollten diese so verstanden werden, dass die Erfindung nicht auf die dargestellten genauereren Anordnungen und Vorrichtungen beschränkt ist.

**[0017]** **Fig. 1** zeigt eine Querschnittsdarstellung einer Konfiguration einer Halbleiterphotonikvorrichtung hergestellt mit einem Verfahren dieser Erfindung.

**[0018]** **Fig. 2** ist eine Umrissdarstellung eines die Abscheidung einer ZnO-Pufferlage auf einem Siliciumsubstrat ausführenden Vakuumzerstäubungssystems.

**[0019]** **Fig. 3** ist eine graphische Darstellung, die die Beziehung zwischen der c-Konstanten einer auf dem Siliciumsubstrat gebildeten ZnO-Pufferlage und dem Gasströmungsratenverhältnis  $S(\text{O}_2)/[S(\text{Ar}) + S(\text{O}_2)]$  zeigt.

**[0020]** **Fig. 4** ist eine graphische Darstellung, die die Beziehung zwischen der a-Konstanten und der c-Konstanten einer auf einem Siliciumsubstrat gebildeten ZnO-Pufferlage zeigt.

**[0021]** **Fig. 5** zeigt eine Ansicht einer Konfiguration einer anderen mit dieser Erfindung gebildeten Halbleiterphotonikvorrichtung.

**[0022]** **Fig. 6** zeigt eine Ansicht noch einer weiteren mit dieser Erfindung gebildeten Halbleiterphotonikvorrichtung.

**[0023]** **Fig.** 7 zeigt eine graphische Darstellung, die die Beziehung zwischen der a-Konstanten und der Zusammensetzung von  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  veranschaulicht.

**[0024]** **Fig.** 8 ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der a-Konstanten und der Zusammensetzung von  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ .

**[0025]** **Fig.** 9 ist eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen der a-Konstanten und der Zusammensetzung von  $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_z\text{N}$ .

**[0026]** Eine direkte Steuerung der Gitterkonstanten des auf einem Silicium- oder Glassubstrat abgeschiedenen ZnO-Films in Richtung der a-Achse hat sich wegen den Auswirkungen der Gitterkonstanten des Substrats als schwierig herausgestellt. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Bildung eines ZnO-Films kann die Gitterkonstante des ZnO-Films in a-Achsenrichtung durch die Gitterkonstante des ZnO-Films in c-Achsenrichtung gesteuert werden. Die Gitterkonstante des ZnO-Films in c-Achsenrichtung lässt sich wiederum durch eine Steuerung oder Regelung von Parametern bei der Abscheidung des ZnO-Films einstellen.

**[0027]** Dieses Verfahren lässt sich bei der Herstellung einer Halbleiterphotonikvorrichtung anwenden, die eine durch  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  dargestellte Halbleiterverbindung verwendet, worin  $x + y + z = 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$  und  $0 \leq z \leq 1$  sind. Wenn die Gitterkonstante in a-Achsenrichtung der auf einer ZnO-Pufferlage gebildeten Halbleiterverbindung kleiner als die Gitterkonstante eines ZnO-Einkristalls in a-Achsenrichtung ist, kann die Gitterkonstante einer ZnO-Pufferlage in c-Achsenrichtung so eingestellt werden, dass sie größer ist als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in c-Achsenrichtung. Im Gegensatz kann die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in c-Achsenrichtung so eingestellt werden, dass sie kleiner als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in c-Achsenrichtung ist, wenn die Gitterkonstante der auf der ZnO-Pufferlage gebildeten Halbleiterverbindung in a-Achsenrichtung größer als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in a-Achsenrichtung ist. Da die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in a-Achsenrichtung annähernd gleich der Gitterkonstanten der Halbleiterverbindung in a-Achsenrichtung ist, kann eine Halbleiterverbindung mit hoher Kristallinität auf der ZnO-Pufferlage gebildet werden.

**[0028]** Als eine aktuelle Anwendung wird bei einer Halbleiterphotonikvorrichtung auf einem Substrat eine ZnO-Pufferlage, die in c-Achsenrichtung eine Gitterkonstante von  $5,2070 \times 10^{-10} \text{ m}$  oder mehr hat, und eine GaN-Lage auf der ZnO-Pufferlage gebildet, wobei die Halbleiterphotonikvorrichtung eine Halbleiterverbindung verwendet, die durch  $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_z\text{N}$  dargestellt ist, worin  $x + y + z = 1$ ,  $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$  und  $0 \leq z \leq 1$  sind.

**[0029]** Wenn die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in c-Achsenrichtung so gesteuert wird, dass sie annähernd  $5,2070 \times 10^{-10} \text{ m}$  oder mehr beträgt, kann die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in a-Achsenrichtung gesteuert werden, dass sie kleiner ist als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in a-Achsenrichtung. Da der Unterschied zwischen der Gitterkonstanten der ZnO-Pufferlage in a-Achsenrichtung und der Gitterkonstanten der GaN-Lage im Vergleich mit den bekannten Verfahren verringert werden kann, kann auch der Gittersatz zwischen der ZnO-Pufferlage und der GaN-Lage verringert werden.

**[0030]** Wenn die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in c-Achsenrichtung in einem Bereich von annähernd 5,21 bis  $5,28 \times 10^{-10} \text{ m}$  liegt, wird die Gitterkonstante in a-Achsenrichtung gesteuert, dass sie in einem Bereich von annähernd 3,24 bis  $3,17 \times 10^{-10} \text{ m}$  und damit näher an der Gitterkonstanten der GaN-Lage liegt.

**[0031]** **Fig.** 1 zeigt eine gemäß der Erfindung gebildete Halbleiterphotonikvorrichtung **1**, die eine Doppel-Heteroübergangsstruktur hat und die eine lichtemittierende Diode oder eine Oberflächenemissionslaserdiode darstellt und mit einer InGaN-Lage **6** als Lumineszenzlage versehen ist. In der Halbleiterphotonikvorrichtung **1** sind eine ZnO-Pufferlage **3**, die einen kleinen spezifischen Widerstand hat, auf einem leitenden Si-Substrat **2** und weiterhin eine n-leitende GaN-Lage **4**, eine n-leitende AlGaN-Lage **5**, eine InGaN-Lage (Lumineszenzlage) **6**, eine p-leitende AlGaN-Lage **7** und eine p-leitende GaN-Lage **8** auf der ZnO-Pufferlage **3** in dieser Reihenfolge abgeschieden. Dabei bilden die n-leitende GaN-Lage, die n-leitende AlGaN-Lage **5**, die InGaN-Lage (Lumineszenzlage) **6**, die p-leitende AlGaN-Lage **7** und die p-leitende GaN-Lage **8** eine Struktur mit Doppel-Heteroübergang. Weiterhin sind eine n-leitende Elektrode **9** auf der gesamten unteren Oberfläche des Si-Substrats **2** und eine p-leitende Elektrode **10** partiell auf der oberen Oberfläche der p-leitenden GaN-Lage **8** vorgesehen. Beim Anlegen einer Spannung zwischen der p-Elektrode **10** und der n-Elektrode **9** wird Strom von der p-Elektrode **10** in die InGaN-Lage **6** injiziert, um Licht auszusenden, und das von der InGaN-Lage **6** ausgesendete Licht tritt aus dem nicht mit der p-Elektrode **10** versehenen Bereich der p-GaN-Lage **8** nach außen.

**[0032]** In solch einer Halbleiterphotonikvorrichtung **1** ist es, wie für das bekannte Beispiel beschrieben wurde, wichtig, den Gitterversatz zwischen der auf dem Si-Substrat **2** gebildeten ZnO-Pufferlage **3** und der n-leitenden GaN-Lage **4** soweit wie möglich zu verringern. Deshalb wird die ZnO-Pufferlage **3** bei dieser Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens in der nachstehend beschriebenen Weise gebildet.

**[0033]** Die ZnO-Pufferlage **3** wird statt durch einen Verdampfungsprozess, einen CVD-Prozess oder einen Ionenplattierprozess durch einen Sputter-Prozess (Kathodenerstäubung im Vakuum) auf dem Si-Substrat **2** gebildet. Bezogen auf **Fig. 2** sind in einem zur Abscheidung der ZnO-Pufferlage **3** dienenden Sputtersystem **11** eine Kathode **13** und eine Anode **14** in einer Kammer **12**, Zn oder ZnO als Target **15** auf der Kathode **13** und das Si-Substrat **2** auf der Anode **14** vorgesehen. In die Kammer **12** führen eine Röhre **16** für die Zuleitung von Ar-Gas, eine Röhre **17** für die Zuleitung von O<sub>2</sub>-Gas, und eine Abgasleitung **18** führt aus der Kammer **12**. Die Strömungsrate des Argongases und des O<sub>2</sub>-Gases lässt sich durch Regelventile **19** und **20** regeln bzw. steuern. Das Sputtersystem **11** hat eine (in der Zeichnung) nicht gezeigte Temperaturregeleinheit, um die Substratheiztemperatur Tc konstant zu halten.

**[0034]** Das Ar-Gas und das O<sub>2</sub>-Gas werden mit vorgegebenen Strömungsraten der Kammer **12** zugeführt, während das Gas aus der Kammer **12** durch den Abgaskanal so abgeführt wird, dass der Druck in der Kammer konstant bleibt. Während das Substrat auf einer vorbestimmten konstanten Temperatur gehalten wird, wird eine Hochfrequenzspannung zwischen der Anode **14** und der Kathode **13** zur Plasmaerzeugung zwischen den Elektroden **13** und **14** angelegt. Plasmaionen **21** prallen auf das Target und setzen Zn oder ZnO **22** frei. Vom Target freigesetztes Zn oder ZnO, welches durch Oxidation des vom Target freigesetzten Zn mittels des O<sub>2</sub>-Gases gebildet wird, scheidet sich auf der Oberfläche des Si-Substrats ab und bildet eine polykristalline ZnO-Pufferlage **3**.

**[0035]** **Fig. 3** zeigt die Änderung der c-Konstanten der ZnO-Pufferlage **3** bezogen auf das Verhältnis S(O<sub>2</sub>)/[S(Ar) + S(O<sub>2</sub>)], worin S(O<sub>2</sub>) die Strömungsrate von O<sub>2</sub>-Gas und S(Ar) die Strömungsrate von Ar-Gas bei der Bildung der ZnO-Pufferlage **3** auf der Oberfläche des Si-Substrats **2** angeben. Die Strömungsrate St in **Fig. 3** gibt die Gesamtströmungsrate S(Ar) + S(O<sub>2</sub>) an. **Fig. 4** zeigt die Beziehung zwischen der a-Konstanten und der c-Konstanten der auf dem Si-Substrat **2** gebildeten ZnO-Pufferlage **3**.

**[0036]** Da die a-Konstante und die c-Konstante des ZnO-Einkristalls jeweils  $3,24982 \times 10^{-10}$  m und  $5,20661 \times 10^{-10}$  m sind (in **Fig. 4** sind die Gitterkonstanten des ZnO-Einkristalls durch Dreiecke angedeutet; siehe auch Tabelle 1), und die a-Konstante der GaN-Lage  $3,1860 \times 10^{-10}$  m ist (die Gitterkonstante von GaN ist in **Fig. 4** durch Quadrate angedeutet; siehe Tabelle 1), kann gemäß **Fig. 4** die a-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** statt in der Nähe des ZnO-Einkristalls annähernd gleich der a-Konstanten der GaN-Lage **4** durch die Einstellung der c-Konstanten der ZnO-Pufferlage **3** auf annähernd  $5,2070 \times 10^{-10}$  m oder mehr werden. Insbesondere wird die c-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** auf annähernd  $5,21$  bis  $5,28 \times 10^{-10}$  m eingestellt, so dass die a-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** annähernd  $3,17$  bis  $3,24 \times 10^{-10}$  m beträgt, was annähernd gleich der a-Konstanten der GaN-Lage **4** ist. Mehr bevorzugt, kann die a-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** im wesentlichen gleich der a-Konstanten der GaN-Lage **4** sein, wenn die c-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** annähernd  $5,26 \times 10^{-10}$  m ist.

**[0037]** Die in **Fig. 3** gezeigten Daten beweisen, dass die c-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** innerhalb des oben erwähnten gewünschten Bereichs eingestellt werden kann, wenn die Gasströmungsrate St = S(Ar) + S(O<sub>2</sub>), das Gasströmungsratenverhältnis S(O<sub>2</sub>)/[S(Ar) + S(O<sub>2</sub>)] und die Substratheiztemperatur Tc gesteuert oder geregelt werden. In dem Sputtersystem **11**, in dem sich die in **Fig. 3** gezeigten Werte erzielen lassen, stellt sich das Gasströmungsratenverhältnis S(O<sub>2</sub>)/[S(Ar) + S(O<sub>2</sub>)] zu annähernd 50% ein, wenn die Gasströmungsrate St = S(Ar) + S(O<sub>2</sub>) =  $5 \times 10^{-7}$  m<sup>3</sup>/s und die Substratheiztemperatur Tc annähernd 400°C betragen. Auf diese Weise kann die c-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** zu annähernd  $5,262 \times 10^{-7}$  m und die entsprechende a-Konstante annähernd gleich der a-Konstanten, d. h.  $3,1860 \times 10^{-10}$  m der GaN-Lage **4** eingestellt werden.

**[0038]** Die Beziehung zwischen der c-Konstanten und der a-Konstanten der ZnO-Pufferlage bleibt unverändert, obwohl die Beziehung zwischen der c-Konstanten der ZnO-Pufferlage **3** und den Steuer- oder Regelparametern des Filmabscheidungssystems mit der Struktur des Systems variiert. Deshalb kann die a-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** in der Nähe der a-Konstanten der GaN-Lage **4** durch geeignete Regelung der Parameter des Abscheidesystems so gelegt werden, dass die c-Konstante der ZnO-Pufferlage **3** einen gewünschten Wert hat.

**[0039]** Diese Erfindung lässt sich auch bei anderen Vorrichtungen anwenden, die keine Halbleiterphotonikvorrichtung mit der Doppel-Heteroübergangsstruktur der InGaN-Lage **6** sind, wie sie in **Fig. 1** gezeigt ist. Z. B. können bei einer Halbleiterphotonikvorrichtung **31**, wie sie **Fig. 5** zeigt, eine ZnO-Pufferlage **33** auf einem

Si-Substrat **32**, darauf eine n-leitenden GaN-Lage **34** und eine p-leitende GaN-Lage **35** abgeschieden werden, und eine n-leitende Elektrode **36** kann auf der unteren Oberfläche des Si-Substrats **32** und ein p-leitende Elektrode **27** auf der p-leitenden GaN-Lage **35** gebildet werden. Auch läßt sich eine Lumineszenzlicht erzeugende Vorrichtung herstellen, die eine Struktur haben kann, in der eine ZnO-Pufferlage, eine bei niedriger Temperatur abgeschiedene GaN-Pufferlage, eine n-leitende GaN-Lage und eine p-leitende GaN-Lage auf einem Glassubstrat abgeschieden sind, obwohl dies in der Zeichnung nicht dargestellt ist.

**[0040]** Die Vorrichtung kann eine Halbleiterphotonikvorrichtung **41**, z. B. eine Laserdiode oder eine lichtemittierende Diode vom Kantenemissionstyp sein, wie sie in **Fig. 6** gezeigt ist, bei der eine ZnO-Pufferlage **43** auf einem Si-Substrat **42**, eine Mantellage **44** aus n-leitendem GaN, eine aktive Lage **45** aus p-leitendem GaN, und eine Mantellage **46** aus p-leitendem GaN abgeschieden sind und bei der ein SiO<sub>2</sub>-Film **47** auf der p-leitenden GaN-Mantellage **46** (mit Ausnahme des Mittelbereiches der p-leitenden GaN-Mantellage **46**), eine p-leitende Elektrode **48** über dem SiO<sub>2</sub>-Film **47** und der p-leitenden GaN-Mantellage **46** und eine n-leitende Elektrode **49** auf der unteren Oberfläche des Si-Substrats **42** gebildet sind.

**[0041]** Obwohl in den oben beschriebenen Beispielen GaN auf einem ZnO-Film gebildet wird, läßt sich diese Erfindung auch bei Fällen anwenden, bei denen InGaN, InAlGaN oder AlGaN direkt auf einem ZnO-Film abgeschieden wird. Z. B. kann übereinstimmend mit der in **Fig. 4** gezeigten graphischen Darstellung die a-Konstante des ZnO-Films nahe der a-Konstanten von In<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>N liegen, wenn die c-Konstante des ZnO-Films  $5,155 \times 10^{-10}$  m bis  $5,205 \times 10^{-10}$  m beträgt, da die a-Konstante von In<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>N annähernd  $3,26 \times 10^{-10}$  m ist, was sich aus dem in **Fig. 7** gezeigten Verhältnis zwischen der a-Konstanten und der Zusammensetzung von In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ableiten läßt.

**[0042]** Da die a-Konstante von Al<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>N annähernd  $3,176 \times 10^{-10}$  m ist, was sich aus der in **Fig. 8** gezeigten Beziehung zwischen der a-Konstanten und der Zusammensetzung von Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N ergibt, kann übereinstimmend mit der in **Fig. 4** gezeigten graphischen Darstellung die a-Konstante des ZnO-Films nahe der a-Konstanten von Al<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,8</sub>N liegen, wenn die c-Konstante des ZnO-Films  $5,27 \times 10^{-10}$  m bis  $5,28 \times 10^{-10}$  m beträgt.

**[0043]** Weil die a-Konstante von In<sub>0,2</sub>Al<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,6</sub>N annähernd  $3,245 \times 10^{-10}$  m ist, was sich aus der in **Fig. 9** gezeigten Beziehung zwischen der a-Konstanten und der Zusammensetzung von In<sub>x</sub>Al<sub>y</sub>Ga<sub>z</sub>N (worin x + y + z = 1 sind) ableiten läßt, kann gemäß der in **Fig. 4** gezeigten graphischen Darstellung die a-Konstante des ZnO-Films in der Nähe der a-Konstanten von In<sub>0,2</sub>Al<sub>0,2</sub>Ga<sub>0,6</sub>N liegen, wenn die c-Konstante des ZnO-Films  $5,19 \times 10^{-10}$  m bis  $5,22 \times 10^{-10}$  m beträgt. In diesem Beispiel ist ein Fall beschrieben, wo x = 0,2, y = 0,2 und z = 0,6 sind. Eine optimierte c-Achsenlänge von ZnO läßt sich aus den in den **Fig. 4-9** gezeigten graphischen Darstellungen in jedem anderen Fall ableiten und eine Steuerung oder Regelung ausführen, um diesen optimierten Wert zu erzielen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung einer optoelektronischen Halbleitervorrichtung, die eine ZnO-Pufferlage und eine Halbleiterverbindungsfrage, die durch In<sub>x</sub>Ga<sub>y</sub>Al<sub>z</sub>N mit x + y + z = 1, 0 ≤ x ≤ 1, 0 ≤ y ≤ 1 und 0 ≤ z ≤ 1 dar gestellt ist, umfaßt, mit den folgenden Schritten zur Einstellung der Gitterkonstanten der ZnO-Pufferlage: wenn die Gitterkonstante in Richtung der a-Achse der Halbleiterverbindung kleiner als die Gitterkonstante in Richtung der a-Achse eines ZnO-Einkristalls ist, wird die Gitterkonstante in Richtung der c-Achse der ZnO-Pufferlage größer gemacht als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in Richtung der c-Achse, und wenn die Gitterkonstante der Halbleiterverbindung in Richtung der a-Achse größer als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in Richtung der a-Achse ist, wird die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in Richtung der c-Achse kleiner gemacht als die Gitterkonstante des ZnO-Einkristalls in Richtung der c-Achse, wodurch die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in Richtung der a-Achse annähernd gleich der Gitterkonstante der Halbleiterverbindung in Richtung der a-Achse gemacht wird, wobei die ZnO-Pufferlage durch Vakuumzerstäubung gebildet wird und die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage in c-Achsenrichtung durch Regelung oder Steuerung der Vakuumzerstäubungsparameter beim ZnO-Vakuum-zerstäubungsprozess eingestellt wird.

2. Herstellungsverfahren für eine optoelektronische Halbleitervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gitterkonstante der ZnO-Pufferlage zu  $5,2070 \times 10^{-10}$  m oder größer in Richtung der c-Achse eingestellt wird.

3. Herstellungsverfahren für eine optoelektronische Halbleitervorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der gesteuerte oder geregelte Vakuumzerstäubungsparameter die Gas-

DE 199 33 552 B4 2004.12.02

flußrate oder die Temperatur oder beide Parameter sind.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

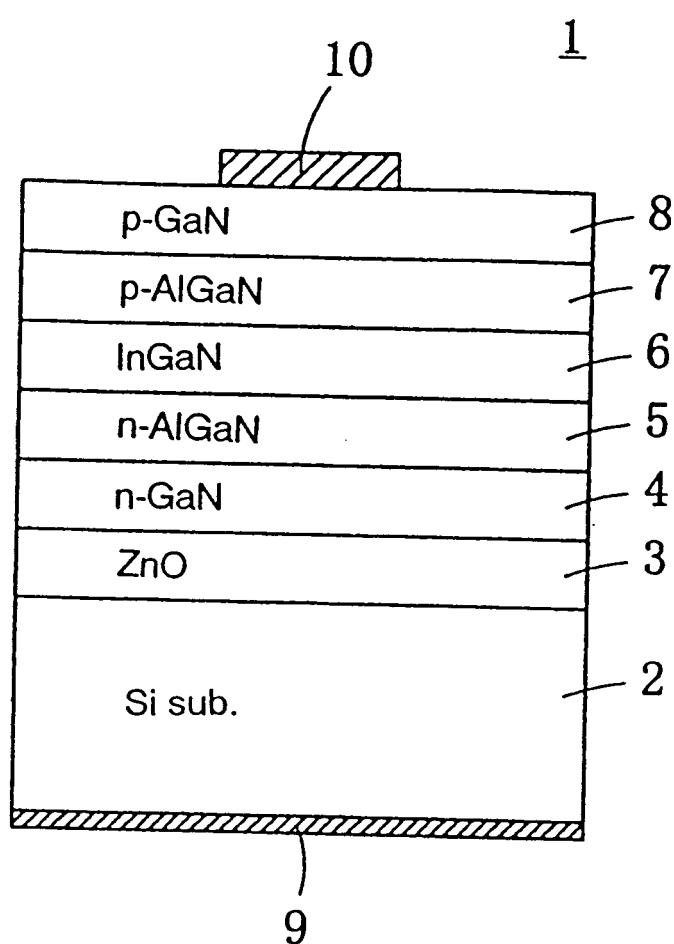


FIG. 2

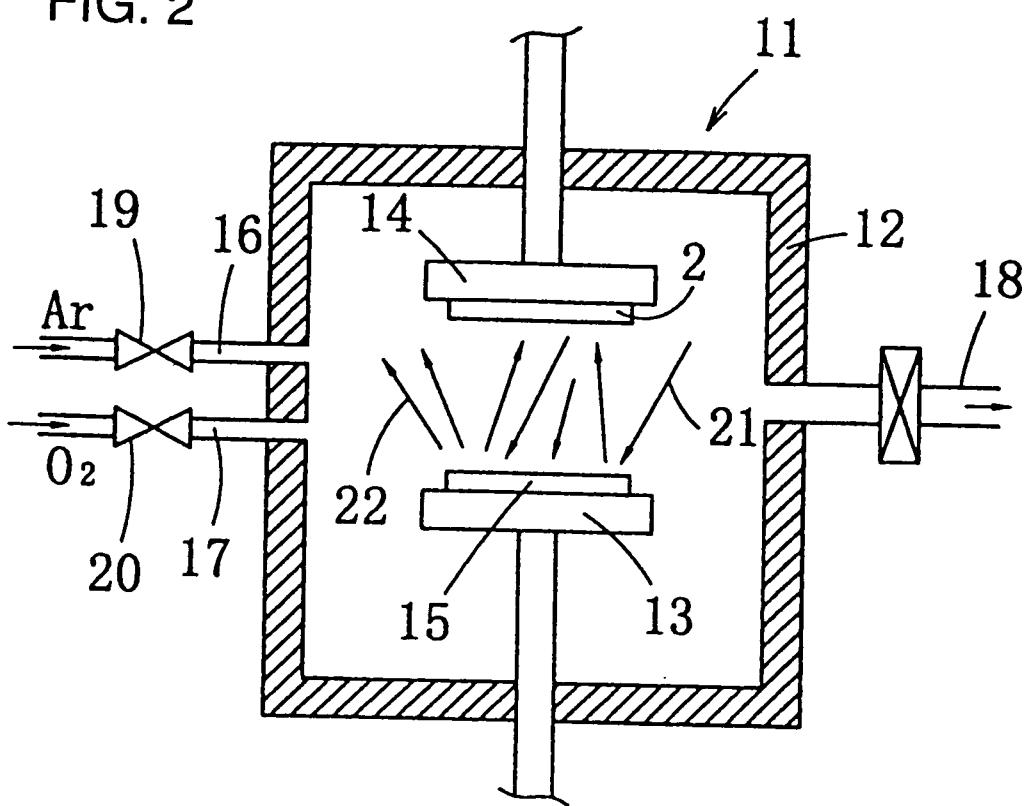


FIG. 3

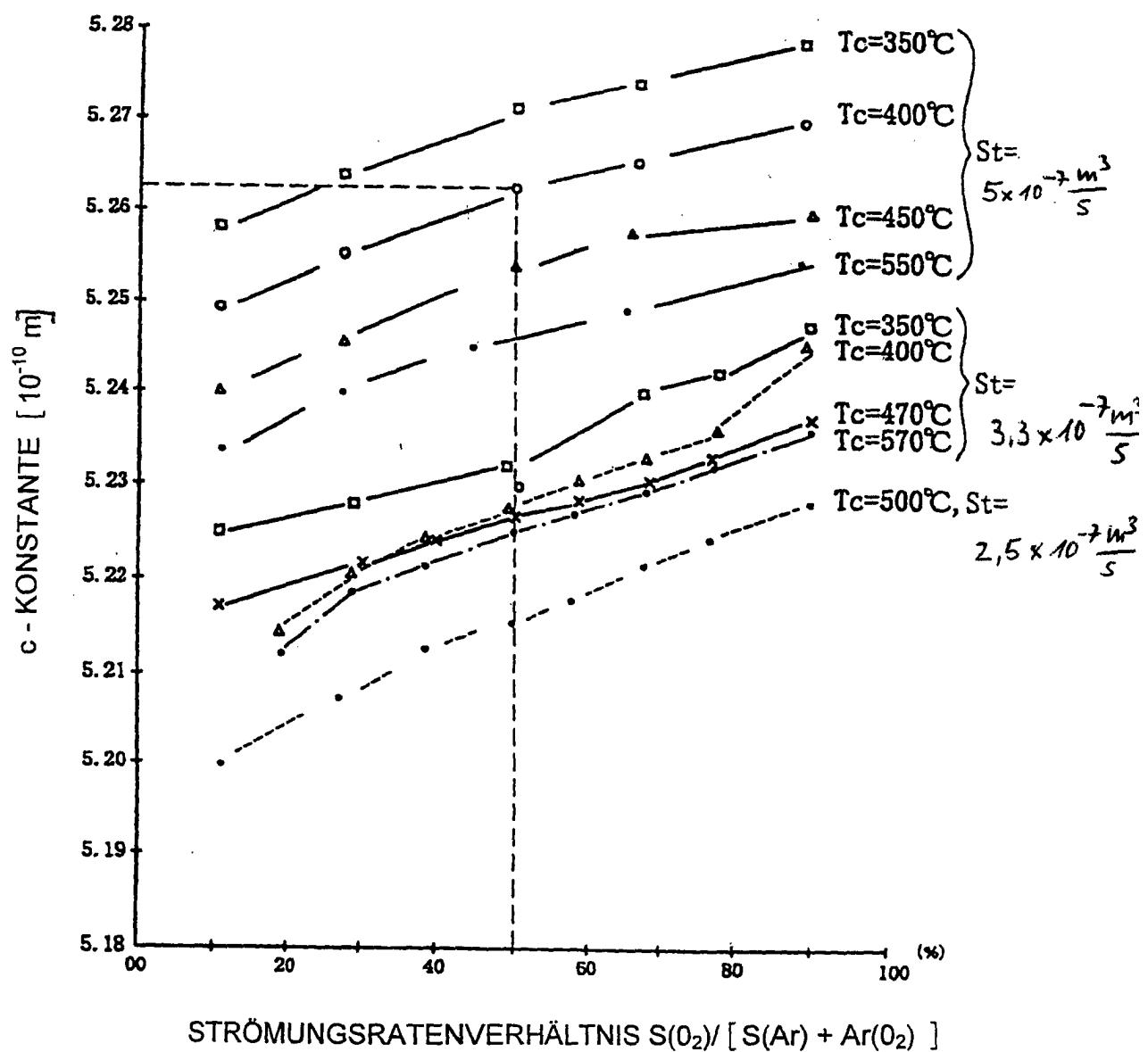


FIG. 4

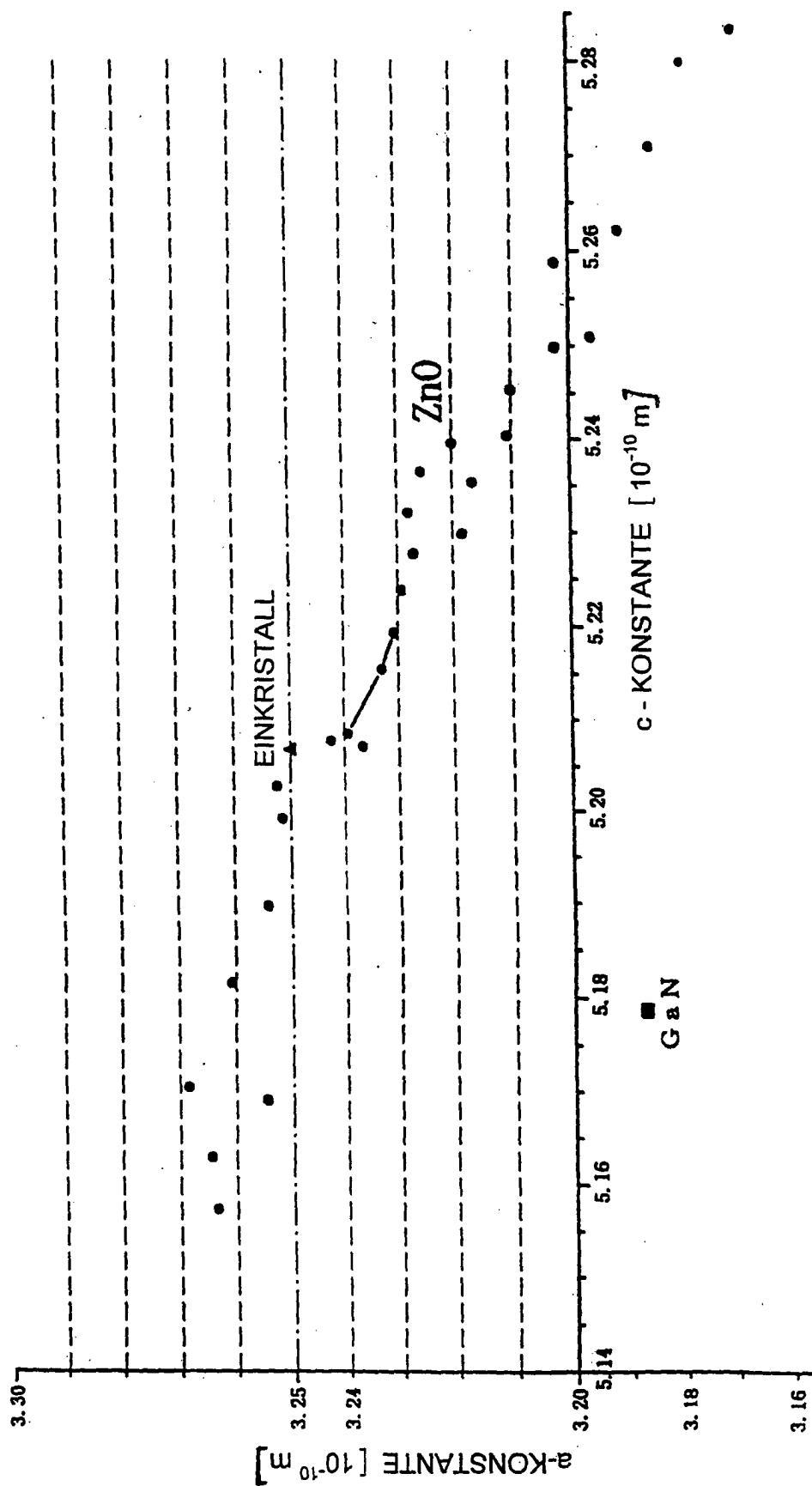


FIG. 5

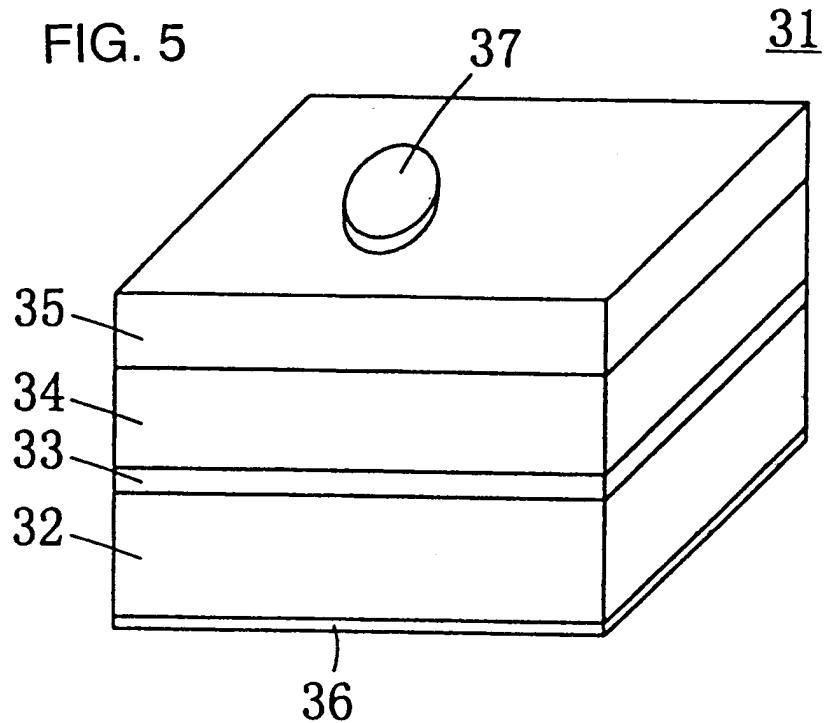


FIG. 6

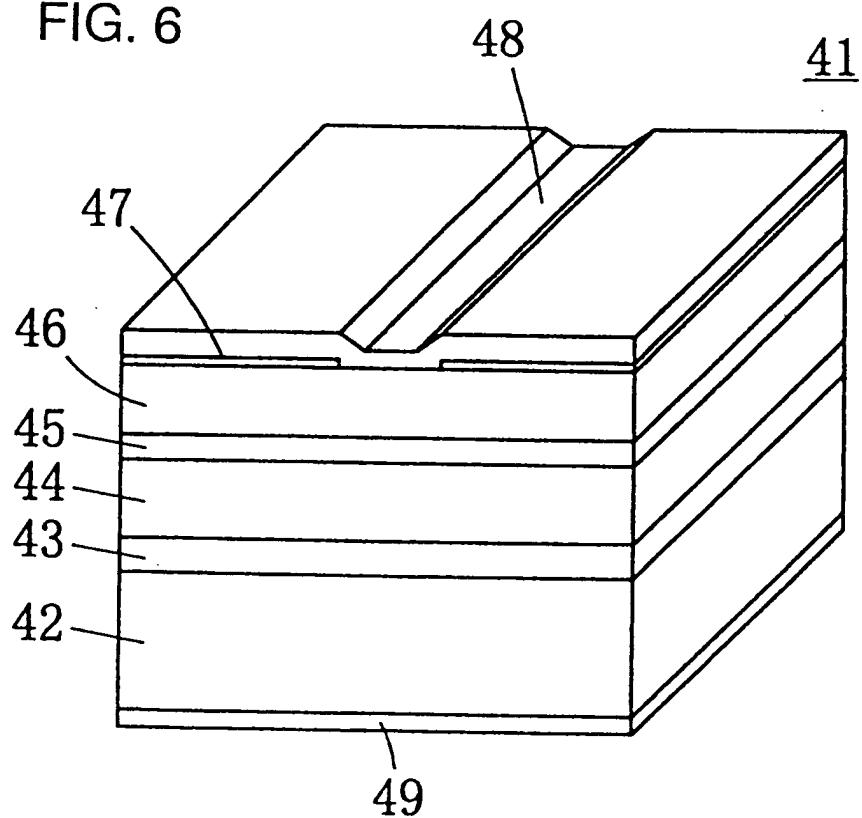


FIG. 7

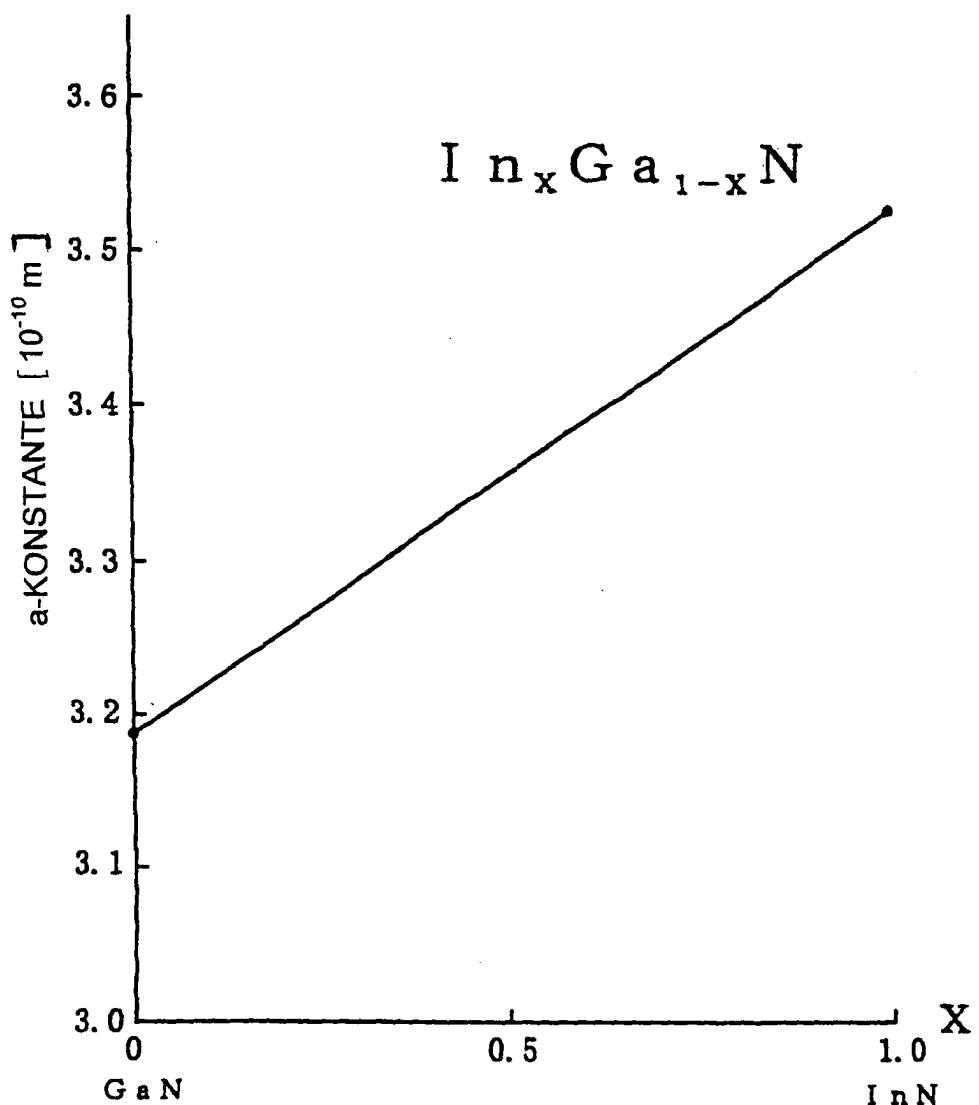


FIG. 8

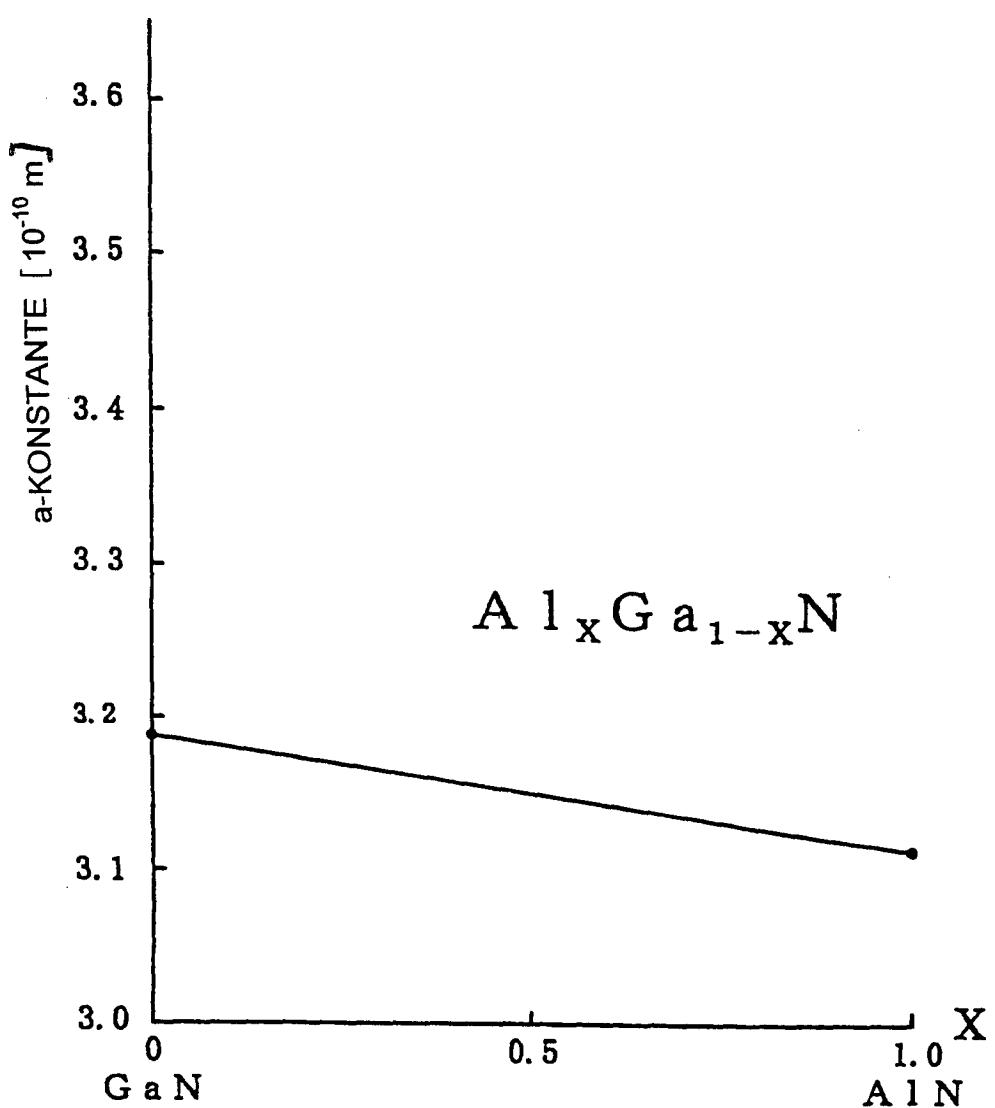


FIG. 9

