(19) **Bundesrepublik Deutschland**
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 60 2004 006 043 T2** 2007.12.27

(12) # Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 467 404 B1**
(21) Deutsches Aktenzeichen: **60 2004 006 043.7**
(96) Europäisches Aktenzeichen: **04 250 979.4**
(96) Europäischer Anmeldetag: **24.02.2004**
(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **13.10.2004**
(97) Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA: **25.04.2007**
(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.12.2007**

(51) Int Cl.[8]: ***H01L 21/306*** (2006.01)
H01J 9/02 (2006.01)
G02B 6/12 (2006.01)
H01J 1/304 (2006.01)
H01L 21/20 (2006.01)
C23F 1/40 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
397799 **26.03.2003** **US**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Lucent Technologies Inc., Murray Hill, N.J., US

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

(72) Erfinder:
Chowdhury, Aref, Springfield, New Jersey 07081, US; Ng, Hock Min, Westfield, New Jersey 07090, US; Slusher, Richard Elliott, Lebanon, New Jersey 08833, US

(54) Bezeichnung: **Gruppe III-Nitridschichten mit strukturierten Oberflächen**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung betrifft elektrische und optische Bauelemente, die kristalline Gruppe III-Nitride umfassen.

ERÖRTERUNG DES STANDES DER TECHNIK

[0002] Halbleiter aus kristallinem Gruppe III-Nitrid werden sowohl in elektrischen als auch in optischen Bauelementen verwendet.

[0003] In Bezug auf elektrische Bauelemente, sind Gruppe III-Nitride verwendet worden, um Feldemitter herzustellen. Ein Feldemitter ist eine leitfähige Struktur mit einer scharfen Spitze. Die scharfe Spitze produziert ein hohes elektrisches Feld als Antwort auf das Geladenwerden. Das hohe elektrische Feld führt zu Elektronenemission aus der Spitze. Aus diesem Grund kann eine Anordnung von Feldemittern einen Leuchtbildschirm betreiben.

[0004] Ein Verfahren des Standes der Technik fertigt Anordnungen von Feldemittern aus Gruppe III-Nitriden. Gruppe III-Nitride weisen aufgrund der Stabilität der Bindung zwischen dem Gruppe III-Atom und Stickstoff chemische und mechanische Stabilität auf. Eine derartige Stabilität ist in Bauelementen, die eine Anordnung von Feldemittern verwenden, sehr wünschenswert.

[0005] Das Verfahren des Standes der Technik wächst die Feldemitter aus Gruppe III-Nitriden. Das Wachstumsverfahren umfasst das epitaxiale Wachsen einer Galliumnitrid-(GaN)-schicht auf einem Saphirsubstrat, Bilden einer SiO_2-Maske auf der GaN-Schicht und epitaxiales Wachsen pyramidaler GaN-Feldemitter in kreisförmigen Fenstern der Maske. Obwohl das Wachstumsverfahren Feldemitter von einheitlicher Größe produziert, weisen die Feldemitter keine sehr scharfen Spitzen auf. Schärfere Spitzen sind wünschenswert, um höhere Elektronenemissionsraten und geringere Schaltspannungen zu produzieren.

[0006] Mit Bezug auf optische Bauelemente, weisen Gruppe III-Nitride hohe Brechungsindizes auf. Materialien mit hohen Brechungsindizes sind bei der Herstellung von photonischen Bandlückenstrukturen wünschenswert. Für eine feste photonische Bandlücke ermöglichen derartige Materialien die Herstellung einer photonischen Bandlückenstruktur mit größeren Merkmalsabmaßen als sie möglich sein würden, wenn die Struktur aus einem Material mit einem geringeren Brechungsindex hergestellt wäre.

[0007] Ein Verfahren zum Herstellen einer planaren photonischen Bandlückenstruktur umfasst das Trockenätzen einer glatten Schicht eines Gruppe III-Nitrids. Die chemische Stabilität der Gruppe III-Nitride führt leider dazu, dass Trockenätzmittel eine geringe Selektivität für das Gruppe III-Nitrid gegenüber dem Maskenmaterial aufweisen. Aus diesem Grund produziert ein Trockenätzen kein tiefes Oberflächenrelief in einer Schicht eines Gruppe III-Nitrids. Das Trockenätzverfahren produziert daher nur dünne planare photonische Bandlückenstrukturen aus Gruppe III-Nitriden.

[0008] Licht kantenkoppelt leider nicht effizient mit dünnen planaren Strukturen. Aus diesem Grund ist es wünschenswert, ein Verfahren zu haben, das in der Lage ist, eine photonische Bandlückenstruktur mit einem höheren Oberflächenrelief aus einem Gruppe III-Nitrid zu fertigen.

[0009] US-Patentschrift 5 915 164 ist auf ein Verfahren zum Herstellen von Halbleiterbauelementen gerichtet, wobei p-leitendes GaN auf einem Substrat gebildet wird, und halbisolierendes AlN auf dem p-leitenden GaN gebildet wird, wobei n-leitendes GaN auf dem p-leitenden GaN und teilweise unterhalb des AlN gebildet wird. Hocheffiziente Hochleistungs- und Hochspannungshalbleiterbauelemente werden durch dieses Verfahren gebildet, die bessere oder ähnliche Eigenschaften wie Siliciumhalbleiter aufweisen.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG

[0010] Hierin weist eine gemusterte Fläche eine Anordnung von Deformationen darin auf, z.B. eine Anordnung von Löchern, Gräben oder physikalisch rauen Bereichen.

[0011] Verschiedene Ausführungsformen stellen Verfahren zum Fertigen von Schichten eines Gruppe III-Nitrids mit gemusterten Flächen bereit. Die gemusterten Flächen stellen den resultierenden Strukturen Funktionalitäten bereit. Die Fertigungsverfahren nutzen die Empfindlichkeit der stickstoffpolaren (N-polaren) Gruppe III-Nitrid-Schichten für Angriff durch starke Basen aus. Die Verfahren verwenden basische Lösungen, um eine Schicht eines Gruppe III-Nitrids auf eine Art und Weise nass zu ätzen, die eine gemusterte Fläche produziert. Beispielhafte gemusterte Flächen stellen photonische Bandlückenstrukturen und Feldemitteranordnungen bereit.

[0012] Ein Verfahren und eine Vorrichtung gemäß der Erfindung sind wie in den unabhängigen Ansprüchen dargelegt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0013] Fig. 1A ist eine Querschnittsansicht einer planaren Struktur für eine Feldemitteranordnung eines Gruppe III-Nitrids;

[0014] Fig. 1B ist eine Querschnittsansicht einer weiteren planaren Struktur für eine Feldemitteranordnung von Gruppe III-Nitrid-Feldemittern;

[0015] Fig. 1C zeigt einen Flachbildschirm, der die Feldemissionsanordnung von Fig. 1A oder Fig. 1B umfasst;

[0016] Fig. 2 ist eine Querschnittsansicht einer Struktur, die eine Schicht eines Gruppe III-Nitrids umfasst, die periodisch mit Löchern oder Gräben gemustert ist;

[0017] Fig. 2A ist eine Draufsicht einer Ausführungsform eines photonischen Bandlücken-Bauelements, das eine Struktur umfasst, die durch die Struktur von Fig. 2 dargestellt ist;

[0018] Fig. 2B ist eine Draufsicht einer weiteren Ausführungsform eines photonischen Bandlücken-Bauelements, das eine Struktur umfasst, die durch die Struktur von Fig. 2 dargestellt ist;

[0019] Fig. 2C ist eine Draufsicht einer weiteren Ausführungsform eines photonischen Bandlücken-Bauelements, das eine Struktur umfasst, die durch die Struktur von Fig. 2 dargestellt ist;

[0020] **Fig.** 3 ist ein Ablaufdiagramm, das ein Verfahren zum Fertigen von Strukturen mit gemusterten Schichten eines Gruppe III-Nitrids, wie in den Fig. 1A–Fig. 1B, Fig. 2, Fig. 2A und Fig. 2B gezeigt, veranschaulicht;

[0021] Fig. 4 ist eine schrägansichtige rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (SEM) einer Struktur, die durch eine Ausführungsform des Verfahrens von **Fig.** 3 hergestellt wurde, wobei die Nassätzzeit kurz ist;

[0022] Fig. 5 ist eine Draufsicht-SEM einer Struktur, die durch eine Ausführungsform des Verfahrens von **Fig.** 3 hergestellt wurde, wobei die Nassätzzeit von mittlerer Länge ist;

[0023] Fig. 6 ist eine Draufsicht-SEM einer Struktur, die durch eine Ausführungsform des Verfahrens von **Fig.** 3 hergestellt wurde, wobei die Nassätzzeit lang ist;

[0024] Fig. 7 ist ein Ablaufdiagramm für ein spezifisches Verfahren zum Fertigen von GaN-Strukturen mit gemusterten Schichten, wie in den Fig. 1A–Fig. 1B, Fig. 2, Fig. 2A und Fig. 2B gezeigt.

[0025] In den Figuren und dem Text beziehen sich gleiche Bezugszahlen auf ähnliche Elemente.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER VERANSCHAULICHENDEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0026] Die chemische Stabilität der Bindung zwischen Gruppe III-Metallen und Stickstoff führt dazu, dass Gruppe III-Nitrid-Halbleiter gegenüber vielen Ätzmitteln chemisch beständig sind. Wässrige Lösungen starker Basen ätzen trotzdem eine stickstoffpolare Oberfläche einer Schicht eines Gruppe III-Nitrids. Derartige Nassätzmittel sind in der Lage, eine Gruppe III-Nitrid-Schicht, die bereits polaritätsgemustert worden ist, mit einem Muster zu versehen. Beispielhafte gemusterte Flächen produzieren Feldemitteranordnungen, wie in den Fig. 1A–Fig. 1B gezeigt, und Bandlückenstrukturen, wie in den Fig. 2, Fig. 2A und Fig. 2B gezeigt.

[0027] Fig. 1A zeigt eine Feldemitteranordnung **10A**. Die Feldemitteranordnung **10A** umfasst ein Substrat **12** und ein regelmäßiges Muster von lateral zwischen einander verteilten säulenförmigen ersten und zweiten Bereichen **14**, **15**. Die ersten und zweiten Bereiche **14**, **15** bedecken eine planare Fläche **17** des Substrats **12**. Das Substrat **12** ist ein kristallines Material, wie Siliciumcarbid (SiC) oder (0 0 0 1)-Ebene-Saphir. Die ersten und zweiten Bereiche **15**, **16** umfassen jeweils die (0 0 0 1)-Polaritäts- und (0 0 0 $\bar{1}$)-Polaritätsformen eines Gruppe III-Nitrids. Das Gruppe III-Nitrid der Bereiche **14**, **15** weist eine breite Gitterfehlanpassung mit der planaren Fläche **17** des Substrats **12** auf.

[0028] Hierin werden die (0 0 0 $\bar{1}$)-Polaritäts- und (0 0 0 1)-Polaritätsformen eines Gruppe III-Nitrids als die N-polare und metallpolare Form bezeichnet. Die N-polare und metallpolare Form weisen entgegengesetzte Eigenpolarisationen auf. Die freien Oberflächen der flachen N-polaren und metallpolaren Schichten terminieren jeweils mit einer Schicht aus Stickstoffatomen bzw. Gruppe III-Metallatomen.

[0029] Die ersten und zweiten säulenförmigen Bereiche **14**, **15** weisen physikalisch verschiedene Oberflächen auf und bilden daher eine gemusterte Schicht des Gruppe III-Nitrids auf dem Substrat **12**. Die ersten Bereiche **14** umfassen eine oder mehrere hexagonale Pyramiden **16** des Gruppe III-Nitrids. Die ersten Bereiche **14** weisen daher nicht flache bloßgelegte Oberflächen auf, die scharfe Spitzen **20** umfassen. Die zweiten Bereiche **15** umfassen glatte Schichten des Gruppe III-Nitrids und sind frei von pyramidalen Strukturen. Die bloßgelegten Flächen **22** der zweiten Bereiche **15** sind daher glatt und flach. Die Flächen **22** der zweiten Bereiche **15** befinden sich auch weiter oberhalb der planaren Fläche **17** des Substrats **12** als die höchsten Spitzen **20** in den ersten Bereichen **14**.

[0030] Die hexagonalen Pyramiden **16** der ersten Bereiche **14** weisen scharfe apikale Punkte **20** auf

und können daher als Feldemitter fungieren. Die apikalen Spitzen **20** weisen Durchmesser von weniger als 100 Nanometer (nm) auf. In Ausführungsformen, wobei das Gruppe III-Nitrid GaN ist, weisen die Pyramiden **16** Spitzen **20** mit Durchmessern von weniger als etwa 20 nm–30 nm und Seitenflächen, die Winkel von etwa 56°–58° mit der planaren Fläche **17** bilden, auf. Die Pyramiden **16** weisen sechs Seitenflächen auf, die (1 0 $\bar{1}$ $\bar{1}$)-Facetten sind.

[0031] Innerhalb eines einzelnen ersten Bereichs **14** ist die Verteilung der hexagonalen Pyramiden **16** und apikalen Spitzen **20** willkürlich. Verschiedene erste Bereiche **14** können verschiedene Anzahlen der hexagonalen Pyramiden **16** aufweisen. Die Größen der ersten Bereiche **14** sind konstant, da die dazwischen verteilten zweiten Bereiche **15** die gleiche Größe und eine regelmäßige laterale Verteilung aufweisen.

[0032] In den zweiten Bereichen **15** ruht die Schicht des ersten Gruppe III-Nitrids auf einer viel dünneren Basisschicht **18**, die aus einem zweiten Gruppe III-Nitrid hergestellt ist. Das zweite Gruppe III-Nitrid weist eine breite Gitterfehlanpassung mit der planaren Fläche **17** des Substrats **12** auf. Noch wichtiger ist es, dass das zweite Gruppe III-Nitrid mit Metallpolarität auf der Fläche **17** des Substrats **12** wächst.

[0033] Fig. 1B zeigt eine alternative Ausführungsform einer Feldemitteranordnung **10B**. Die Feldemitteranordnung **10B** umfasst ein Substrat **12** und ein regelmäßiges Muster zwischen einander verteilter säulenförmiger erster und zweiter Bereiche **14**, **15**, wie bereits mit Bezug auf Fig. 1A beschrieben. In der Feldemitteranordnung **10B** umfassen die zweiten Bereiche **14** überlappende hexagonale Pyramiden **16** anstatt der isolierten Pyramiden **16** wie in der Feldemitteranordnung **10A**. Die Pyramiden **16** weisen zudem einen Bereich von Größen auf und ruhen auf einer dicken Schicht **19** eines N-polaren Gruppe III-Nitrids anstatt direkt auf der planaren Fläche **17** wie in der Feldemitteranordnung **10A** der Fig. 1A. In der Feldemitteranordnung **10B** weisen die hexagonalen Pyramiden **16** noch scharfe apikale Punkte **20** auf und können daher noch effektiv als Feldemitter fungieren. Die apikalen Spitzen **20** sind noch niedriger als die bloßgelegten oberen Flächen **22** der zweiten Bereiche **15**.

[0034] Fig. 1C zeigt eine Ausführungsform eines Flachbildschirms **24**. Der Bildschirm **24** umfasst eine Feldemitteranordnung **10**, z.B. Anordnung **10A** oder **10B** der Fig. 1A und Fig. 1B. Der Bildschirm **24** umfasst auch metallische Elektroden **26** und einen Leuchtschirm **28**. Die metallischen Elektroden **26** werden von der flachen oberen Fläche **22** der zweiten Bereiche **15** der Feldemitteranordnung getragen. Die oberen Flächen **22** tragen die metallischen Elektroden **26** entlang einer Ebene, die dichter an dem Leuchtschirm **28** ist als die Spitzen **20** selbst. Aus diesem Grund sind die metallischen Elektroden **26** in der Lage, die Emission von Elektronen von der Feldemitteranordnung zu steuern. Die metallischen Elektroden **26** fungieren als Steuergatter für Feldemitter in angrenzenden ersten Bereichen **14**. Das Tragen der metallischen Elektroden **26** auf den zweiten Bereichen **22** vermeidet günstigerweise eine Notwendigkeit, die Elektroden an den einzelnen Spitzen **20** selbstauszurichten. Ein derartiger Ausrichtungsprozess würde kompliziert sein, da die Positionen der Spitzen **20** in den einzelnen ersten Bereichen **14** willkürlich sind.

[0035] Fig. 2 zeigt eine weitere Struktur **30**, die eine gemusterte Schicht **32** eines ersten Gruppe III-Nitrids aufweist. Die Schicht **32** befindet sich auf einer planaren Fläche **17** des kristallinen Substrats **12**, z.B. der (0 0 0 1)-Ebene eines Saphirsubstrats. Die Schicht **32** umfasst eine regelmäßige Anordnung identischer säulenförmiger Löcher oder Gräben **34**. Die Löcher oder Gräben **34** weisen im Wesentlichen rechteckige Querschnitte auf und durchlaufen die gesamte Dicke der Schicht **32**. Die Schicht **32** ruht auf einer gemusterten Basisschicht **18**. Die Basisschicht **18** ist ein zweites kristallines Gruppe III-Nitrid mit einer verschiedenen Legierungszusammensetzung als das erste Gruppe III-Nitrid. Die Basisschicht **18** richtet sich epitaxial auf der planaren Fläche **17** aus, um gruppe-III-metallpolar zu sein.

[0036] Für das Schichtenpaar **18** und **32** sind beispielhafte Paare zweiter und erster Gruppe III-Nitrid-Halbleiter: das Paar AlN und GaN oder das Paar AlN und AlGaN.

[0037] Die Schicht **32** weist eine Dicke auf, die typischerweise 100–10.000 mal die Dicke der Basisschicht **18** ist. Eine beispielhafte GaN-Schicht **32** weist eine Dicke von 30 µm oder mehr auf und eine beispielhafte AlN-Basisschicht **18** weist eine Dicke von nur etwa 20 nm–30 nm auf. Die Basisschicht **18** muss nur dick genug sein, um die Polarisation einer anderen Schicht, die sich auf der Basisschicht **18** befindet, auszurichten.

[0038] In optischen Bauelementen, fungiert die Schicht **32** gewöhnlich als ein optischer Kern eines planaren Wellenleiters. Der Wellenleiter empfängt Eingangslicht **36** über eine Kante **37** und sendet Ausgangslicht **38** über eine gegenüberliegende Kante **39** aus. Eine derartige Kantenkopplung der Schicht **32** an Lichtleitfasern und andere optische Wellenleiter ist effizienter für Ausführungsformen, wobei die Schicht **32** dicker ist. Es ist daher vorteilhaft, dass die Schicht **32** verhältnismäßig dick sein kann, d.h. 30 µm oder mehr, da eine derartige dickere Schicht **32** eine effiziente Endkopplung an Standardlichtleitfasern und -wellenleiter ermöglicht.

[0039] Die gemusterte dicke Schicht **32** kann z.B. eine dicke photonische Bandlückenstruktur sein. Dicke photonische Bandlückenstrukturen stellen eine effizientere optische Kantenkopplung bereit als dünnere photonische Bandlückenstrukturen, die durch Trockenätzen hergestellt werden können.

[0040] Die Fig. 2A und Fig. 2B zeigen zwei beispielhafte planare photonische Bandlückenstrukturen **30A**, **30B**. Querschnittsansichten durch die Strukturen **30A** und **30B** sind in Fig. 2 getreu dargestellt. Die Strukturen **30A** und **30B** umfassen eine Schicht **32** eines metallpolaren Gruppe III-Nitrids, d.h. (0 0 0 1)-Ebene-Gruppe III-Nitrids. Die Schicht **32** befindet sich auf der oberen Fläche des kristallinen Substrats **12**, das in Fig. 2 gezeigt ist. Die Schicht **32** ist durch eine Anordnung von im Wesentlichen identischen säulenförmigen Merkmalen **34A**, **34B** gemustert. Die säulenförmigen Merkmale **34A**, **34B** sind Löcher und Gräben in den Strukturen **30A** bzw. **30B**.

[0041] Die Löcher **34A** und Gräben **34B** bilden regelmäßige Anordnungen, die ein bzw. zwei diskrete Gittersymmetrien aufweisen. Aus diesem Grund produzieren die Löcher **34A** und Gräben **34B** entsprechende 2-dimensionale und 1-dimensionale periodische Modulationen des Brechungsindexes der Schicht **32**. Die Brechungsindexmodulationen produzieren eine photonische Bandlückenstruktur für ausgewählte Gitterlängen in den Anordnungen. Gitterlängen, die ungerade ganzzahlige Mehrfache von ¼-mal der effektiven Wellenlänge des Eingangslichts in dem Medium sind, produzieren photonische Bandlückenstrukturen.

[0042] Fig. 2C zeigt eine photonische Bandlückenstruktur **30C**, die der photonischen Bandlückenstruktur **30A** von Fig. 2A ähnelt, mit der Ausnahme, dass die Löcher und die Gruppe III-Nitrid-Materialschicht vertauscht sind. In der Struktur **30C** ist die Schicht **32C** des Gruppe III-Nitrids eine zweidimensionale Anordnung isolierter Säulen. Zwischen den Gruppe III-Nitrid-Säulen ist ein miteinander verbundenes zweidimensionales Muster der Gräben **34C**. Die Gräben **34C** isolieren die Säulen von einander.

[0043] **Fig.** 3 veranschaulicht ein Verfahren **40** zum Fertigen einer Struktur mit einer gemusterten Schicht eines Gruppe III-Nitrids, z.B. wie in Fig. 1A–Fig. 1B, Fig. 2, Fig. 2A oder Fig. 2B gezeigt.

[0044] Das Verfahren **40** umfasst das Bilden einer ersten Metallpolaritätsschicht eines ersten Gruppe III-Nitrids auf einer ausgewählten planaren Fläche eines kristallinen Substrats (Schritt **42**). Das Bilden der Schicht umfasst das Ausführen eines epitaxialen Wachstums eines ersten Gruppe III-Nitrids und lithographisches Mustern der Schicht. Die Zusammensetzung des ersten Gruppe III-Nitrids wird ausgewählt, um zu gewährleisten, dass das epitaxiale Wachstum eine Metallpolaritätsschicht produziert. Das Mustern produziert ein regelmäßiges Muster identischer Löcher oder Gräben, die einen Teil des Substrats durch die Schicht bloßlegen.

[0045] Als nächstes umfasst das Verfahren **40** das epitaxiale Wachsen einer dickeren zweiten Schicht eines zweiten Gruppe III-Nitrids über der ersten Schicht und dem bloßgelegten Teil des Substrats (Schritt **44**). Über der ersten Schicht wächst die zweite Schicht mit Metallpolarität. Über dem bloßgelegten Teil des Substrats wächst die zweite Schicht mit N-Polarität. Das erste und das zweite Gruppe III-Nitrid weisen verschiedene Legierungszusammensetzungen auf, z.B. AlN und GaN, und weisen eine breite Gitterfehlanpassung mit dem Substrat auf.

[0046] Schließlich umfasst das Verfahren **40** auch das Aussetzen der zweiten Schicht einer wässrigen Lösung einer starken Base, wie Kaliumhydroxid (KOH) oder Natriumhydroxid (NaOH) (Schritt **46**). Die wässrige Lösung mustert die zweite Schicht durch selektives Ätzen N-polarer Oberflächen. Wässrige Lösungen starker Basen ätzen metallpolare Oberflächen von Gruppe III-Nitriden nicht bedeutsam. Die Form der Musterung hängt qualitativ von der Ätzzeit und der Konzentration des Ätzmittels ab.

[0047] Fig. 4 ist eine rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (SEM) einer polaritätsgestreiften GaN-Schicht **50**, die mit einer 2 molaren wässrigen Lösung von KOH für 45 Minuten nassgeätzt wurde. Die GaN-Schicht wurde bei einer Temperatur von etwa 90 °C während des Nassätzens gehalten.

[0048] Die geätzte GaN-Schicht **50** weist N-polare GaN-Streifen **52** und Ga-polare GaN-Streifen **54** auf. Die verhältnismäßig kurze Ätzzeit hat erhebliches Material von den N-polaren GaN-Streifen **52** entfernt, ohne erhebliches Material von den Ga-polaren GaN-Streifen **54** zu entfernen. In den N-polaren Streifen **52** produziert das Ätzen eine Oberfläche, die aus dicht gepackten hexagonalen GaN-Pyramiden, z.B. wie in Fig. 1B gezeigt, gebildet wird. Die Pyramiden weisen verschiedene Größen und scharfe apikale Spitzen mit Durchmessern von etwa 20–30 nm oder weniger auf.

[0049] Messungen deuten darauf hin, dass die Pyramidendichte, ρ_Δ, mit der Ätztemperatur, T, variiert, da:
$[\rho_\Delta]^{-1} = [\rho_\Delta]^{-1}\exp(-E_a/k_BT)$, wobei k_B die Boltzmann-Konstante ist. Für eine 2 molare Lösung von KOH, eine Ätzung von 15 Minuten und Temperaturen zwischen 25 °C und 100 °C zeigen Messungen, dass die Aktivierungsenergie E_a gleich etwa 0,587 eV ist.

[0050] Die Erfinder glauben, dass das nasse KOH-Ätzen eine Verteilung von gepackten hexago-

nalen GaN-Pyramiden zum Teil aufgrund der Ga-polaren GaN-Streifen **54**, die nicht geätzt werden, produziert. Insbesondere begrenzen die Ga-polaren Streifen die N-polaren Streifen **52** lateral, sodass das Ätzmittel die obere Fläche der N-polaren Streifen **52** attackiert anstatt deren Seitenflächen. Das KOH-Nassätzen produziert eine dichte Packung scharfspitziger hexagonaler GaN-Pyramiden, wenn die N-polaren GaN-Streifen **52** Breiten von etwa 7 µm aufweisen. Man nimmt an, dass eine dichte Packung hexagonaler Pyramiden auch aus einem nassen KOH-Ätzen von GaN-Flächen resultiert, wobei N-polare GaN-Streifen eine Breite von etwa 100 µm oder weniger aufweisen. Man nimmt jedoch nicht an, dass ein nasses KOH-Ätzen von nicht begrenztem planarflächigen N-polaren GaN eine dichte Packung von scharfspitzigen, hexagonalen GaN-Pyramiden produziert.

[0051] Fig. 5 ist ein SEM-Bild, das eine polaritätsgestreifte GaN-Schicht **50** zeigt, die mit einer 4 molaren wässrigen Lösung von KOH für 60 Minuten nassgeätzt wurde. Die GaN-Schicht wurde wiederum bei einer Temperatur von etwa 90 °C während des Nassätzens gehalten.

[0052] Das intensivere Ätzen hat das gesamte Material von den N-polaren GaN-Streifen **52** entfernt, mit Ausnahme isolierter hexagonaler GaN-Pyramiden **56**. Das Nassätzen stoppte auf dem unterliegenden kristallinen Saphirsubstrat. Dieses Ätzen mittlerer Länge produzierte eine Musterung wie die von Fig. 1A, mindestens innerhalb einzelner N-polarer GaN-Streifen **52**. Innerhalb dieser Bereiche weisen die hexagonalen GaN-Pyramiden **56** eine willkürliche Verteilung auf.

[0053] Fig. 6 ist ein SEM-Bild einer polaritätsgestreiften GaN-Schicht **50**, die mit einer 4 molaren wässrigen Lösung von KOH für mehr als 60 Minuten nassgeätzt wurde. Die GaN-Schicht wird wiederum bei einer Temperatur von etwa 25 °C–125 °C und vorzugsweise etwa 90 °C während des Nassätzens gehalten.

[0054] Dieses längere Ätzen hat die ursprünglichen N-polaren GaN-Streifen **52** vollständig entfernt. Als Ergebnis separieren im Wesentlichen vertikale Gräben die nicht geätzten Ga-polaren Streifen **54**. Die Seitenwände der Ga-polaren Streifen **54** sind nicht völlig vertikal, da das Nassätzmittel langsam die Seitenwände der Ga-polaren GaN-Schichten attackiert. Wässrige Lösungen mit höheren Konzentrationen an KOH als 4 molar neigen dazu, bloßgelegte Seiten- und Endflächen der Ga-polaren Streifen **54** zu erodieren. Die resultierende Struktur weist eine gemusterte Ga-polare Schicht eines Gruppe III-Nitrids wie Strukturen **30**, **30A** und **30B** der Fig. 2, Fig. 2A und Fig. 2B auf.

[0055] Fig. 7 veranschaulicht ein Verfahren **60** zum Fertigen von GaN-Strukturen, die mechanisch gemustert werden, wie in den Fig. 1A, Fig. 1B, Fig. 2, Fig. 2A und Fig. 2B. Das Verfahren **60** umfasst das Herstellen eines planaren Saphir-Wachstumssubstrats (Schritt **62**), das Wachsen und Mustern einer Ga-polaritätsausrichtenden Schicht auf dem Substrat (Schritt **64**) und das epitaxiale Wachsen einer polaritätsgemusterten GaN-Schicht über der ausrichtenden Schicht (Schritt **66**). Das Verfahren **60** umfasst auch das Nassätzen der GaN-Schicht, um mechanische Musterung durch selektives Entfernen von GaN in den N-Phase-Bereichen zu produzieren (Schritt **68**).

[0056] In Schritt **62** umfasst das Herstellen des Saphir-Wachstumssubstrats das Reinigen einer Fläche der (0 0 0 1)-Ebene eines kristallinen Saphirsubstrats. Das Reinigen umfasst das Waschen der Fläche für 1 Minute in einer wässrigen Reinigungslösung. Das Mischen einer ersten wässrigen Lösung mit etwa 96 Gew.-% H_2SO_4 mit einer zweiten wässrigen Lösung mit etwa 30 Gew.-% H_2O_2 produziert die wässrige Reinigungslösung. Während des Mischens werden etwa 10 Volumenteile der ersten Lösung mit einem Volumenteil der zweiten Lösung vereinigt. Das Reinigen umfasst auch das Abspülen der gewaschenen Fläche mit entionisiertem Wasser und dann Schleudertrocknen des Saphir-Wachstumssubstrats.

[0057] In Schritt **62** umfasst das Herstellen des Wachstumssubstrats auch das Entgasen des Saphirsubstrats in der Pufferkammer eines Molekularstrahlepitaxie-(MBE)-systems bei etwa 200 °C. Das Entgasen dauert an, bis der Kammerdruck unterhalb etwa $6{,}7 \times 10^{-7}$ Pa (5×10^{-9} Torr) liegt. Nach dem Entgasen wird das Saphirsubstrat in die Wachstumskammer des plasmaunterstützten MBE-Systems transferiert.

[0058] In Schritt **64** umfasst das Wachsen und Mustern einer Ga-polaritätsausrichtenden Schicht das Durchführen eines MBE-Wachstums einer AlN-Schicht auf dem Saphirsubstrat. (Unterschritt **64a**). Um das MBE-Wachstum durchzuführen, wird die Temperatur der Wachstumskammer bei einer Geschwindigkeit von etwa 8 °C pro Minute auf eine Endtemperatur von etwa 720 °C erhöht. Das Saphirsubstrat wird bei einer einheitlichen Temperatur mit Hilfe einer 300 nm dicken Schicht aus Titan, die auf der Rückseitenfläche aufgebracht ist, gehalten.

[0059] Das MBE-System wächst die AlN-Schicht zu einer Dicke von etwa 20 nm bis 30 nm. Diese dünne AlN-Schicht ist ausreichend dick, um die gesamte bloßgelegte Fläche des Saphirsubstrats zu bedecken. In dem Molekularstrahlepitaxiesystem Modell 32P, hergestellt von der Firma Riber aus 133 Boulevard National, Boite Postale 231, 92503 Rueil Malmaison, Frankreich, sind die Wachstumsbedingun-

gen: Al-Effusionszellentemperatur von etwa 1050 °C, Stickstoff-Strömungsgeschwindigkeit von etwa 2 sccm und einer HF-Leistung von etwa 500 Watt (W).

[0060] In Schritt **64** umfasst das Bilden der gemusterten AlN-Schicht **12** das Durchführen eines MBE-Wachstums von etwa 50 nm an schützendem GaN auf der bereits gewachsenen AlN-Schicht (Unterschritt **64b**). Die GaN-Schicht schützt das unterliegende AlN vor Oxidation während der anschließenden Entfernung des Substrats aus der MBE-Wachstumskammer. Die Wachstumsbedingungen für die GaN-Schicht ähneln denen für das MBE-Wachstum der AlN-Schicht, mit der Ausnahme, dass die Temperatur in der Ga-Effusionszelle anstatt in der Al-Effusionszelle erhöht wird. Während dieses Wachstums weist die Ga-Effusionszelle eine Temperatur von etwa 1000 °C bis etwa 1020 °C auf.

[0061] Nach dem Abkühlen des Saphirsubstrats auf etwa 200 °C wird die GaN/AlN-Schicht mit einer regelmäßigen Anordnung von Fenstern, die gewählte Teile des Saphirsubstrats bloßlegen, lithographisch gemustert (Unterschritt **64c**). Der Musterungsschritt umfasst das Bilden einer Photoresistmaske auf der GaN-Schicht und dann Durchführen eines herkömmlichen chlorbasierenden Plasmaätzens, um nicht maskierte Teile der GaN/AlN-Schicht zu entfernen. Beispielhafte Bedingungen für das Plasmaätzen sind: Leistung der HF-Quelle von etwa 300–500 Watt, Vorspannung der Quelle von 100 Volt bis 200 Volt, Chlor-Argon-Strömungsgeschwindigkeit von etwa 10–25 sccm (wobei 20 % bis 50 % der Strömung Argon ist) und ein Gasdruck von etwa 0,13 Pa (1 Millitorr) bis etwa 1,3 Pa (10 Millitorr). Das Plasmaätzen produziert ein vorgewähltes Muster von GaN-bedeckten AlN-Bereichen.

[0062] Nach dem Plasmaätzen wird das Saphirsubstrat mit einem Muster von GaN-bedeckten AlN-Bereichen in einer wässrigen Lösung von HCl gereinigt, in entionisiertem Wasser abgespült und mit Stickstoff trocken geblasen. Diese wässrige Reinigungslösung umfasst zwischen etwa 36,5 Gew.-% HCl und etwa 48 Gew.-% HCl. Die oben beschriebenen Schritte werden dann wieder verwendet, um das Saphirsubstrat erneut in das MBE-System einzuführen.

[0063] In Schritt **66** umfasst das epitaxiale Wachsen einer GaN-Schicht das Durchführen eines plasmaverstärkten MBE-Wachstums einer GaN-Schicht zu einer Dicke von etwa 2 µm oder mehr. Während des MBE-Wachstums sind die Systembedingungen: Ga-Effusionszellentemperatur von etwa 1000 °C bis etwa 1020 °C, Stickstoff-Strömungsgeschwindigkeit von etwa 2 sccm und HF-Leistung von etwa 500 Watt (W). Während dieses Wachstums initiieren die GaN-bedeckten AlN-Bereiche das Wachstum des Ga-polaren GaN und die bloßgelegten Bereiche des Saphirsubstrats **10** initiieren das Wachstum des N-polaren GaN.

[0064] In Schritt **68** umfasst das anisotrope Nassätzen das Eintauchen der GaN-Schicht und des Substrats in eine wässrige Lösung von KOH. Beispielhafte Nassätzungen verwenden 1 bis 4 molare wässrige Lösungen von KOH und Ätzzeiträume von etwa 15 Minuten bis 60 Minuten bei Temperaturen von 100 °C. Die Konzentration von KOH und die Ätzzeit bestimmen die qualitative Form der resultierenden mechanischen Musterung, wie in den Fig. 4–Fig. 6 veranschaulicht. Die Nassätzung entfernt selektiv GaN mit N-Polarität. Dennoch können Nassätzungen mit basischeren wässrigen Lösungen als 4 molares KOH die Endflächen der Ga-polaren Bereiche der ursprünglichen GaN-Schicht erodieren.

Patentansprüche

1. Verfahren, umfassend:
Bereitstellen eines kristallinen Substrats (**12**) mit einer planaren Fläche (**17**);
Bilden einer ersten Schicht (**18**) eines ersten Gruppe III-Nitrids auf der planaren Fläche, wobei die erste Schicht eine einfache Polarität und ein Muster aus Löchern oder Gräben, die einen Teil des Substrats bloßlegen, aufweist;
dann epitaxiales Wachsen einer zweiten Schicht (**15**, **16**; **32**) eines zweiten Gruppe III-Nitrids auf der ersten Schicht und dem bloßgelegten Teil des Substrats, wobei das erste und das zweite Gruppe III-Nitrid verschiedene Legierungszusammensetzungen aufweisen, wobei der Teil der zweiten Schicht über der ersten Schicht Metallpolarität aufweist und der Teil der zweiten Schicht auf dem Substrat N-Polarität aufweist; und
Aussetzen der zweiten Schicht einer wässrigen Lösung einer Base, um die zweite Schicht mit einem Muster zu versehen, um eine Anordnung von Deformationen darin aufzuweisen, wobei die Lösung selektiv N-polare Flächen der zweiten Schicht ätzt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die einfache Polarität eine Gruppe III-Metallpolarität ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die zweite Schicht aus einem ersten und einem zweiten Bereich besteht, wobei sich der erste Bereich auf dem bloßgelegten Teil des Substrats befindet, und sich der zweite Bereich auf der ersten Schicht befindet; und wobei das Aussetzen Pyramiden in einem des ersten und zweiten Bereichs produziert und eine glatte Schicht in dem anderen des ersten und zweiten Bereichs produziert.

4. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Aussetzen eine Anordnung von säulenförmigen Löchern oder Gräben in der zweiten Schicht eines zweiten Gruppe III-Nitrids produziert.

5. Vorrichtung, umfassend:
ein kristallines Substrat (**12**) mit einer planaren Fläche (**17**);
eine Schicht (**18**) eines ersten Gruppe III-Nitrids, die sich auf der planaren Fläche befindet, wobei die Schicht eine Anordnung von Deformationen darin aufweist; und
eine Schicht (**15**, **16**; **32**) eines zweiten Gruppe III-Nitrids, die sich auf der Schicht eines ersten Gruppe III-Nitrids befindet, wobei die Schicht eines zweiten Gruppe III-Nitrids ein Muster aus säulenförmigen Löchern oder Gräben darin aufweist; und
wobei die Löcher oder Gräben eine regelmäßige Anordnung bilden; und
wobei das erste und das zweite Gruppe III-Nitrid verschiedene Legierungszusammensetzungen aufweisen, wobei die zweite Schicht Metallpolarität aufweist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei die Bodenflächen mindestens einiger der Löcher oder Gräben die planare Fläche kontaktieren.

7. Vorrichtung nach Anspruch 5, die ferner umfasst:
mehrere pyramidale Feldemitter des zweiten Gruppe III-Nitrids, die sich in den säulenförmigen Löchern oder Gräben befinden; und
wobei die Schicht des zweiten Gruppe III-Nitrid-Halbleiters frei von pyramidalen Oberflächenstrukturen ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei das erste Gruppe III-Nitrid Aluminium umfasst und das zweite Gruppe III-Nitrid Gallium umfasst.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, die ferner umfasst:
einen Leuchtschirm, der positioniert ist, um Elektronen aufzunehmen, die von den pyramidalen Feldemittern ausgesandt werden; und
mehrere Steuerelektroden, die sich zwischen der Schicht des zweiten Gruppe III-Nitrids und dem Leuchtschirm befinden.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1A

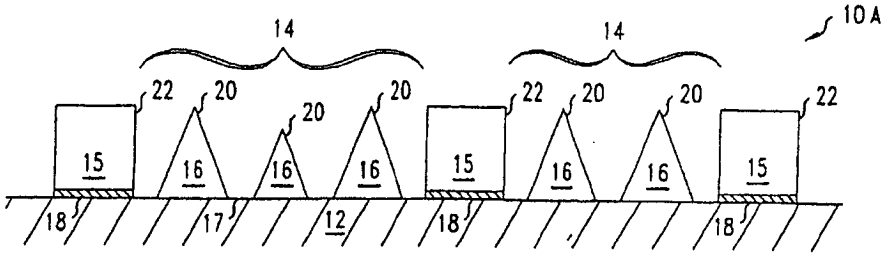


FIG. 1B

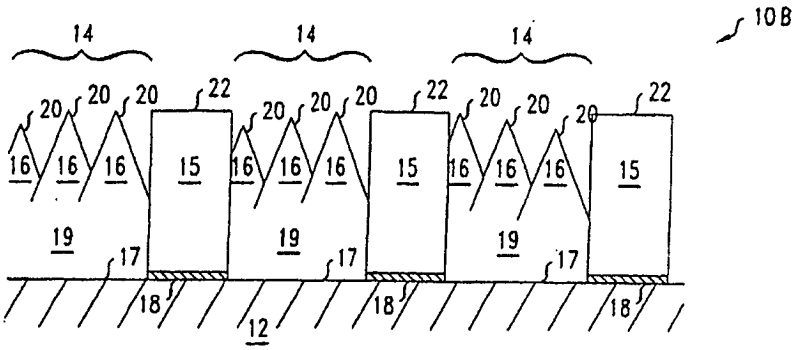


FIG. 1C

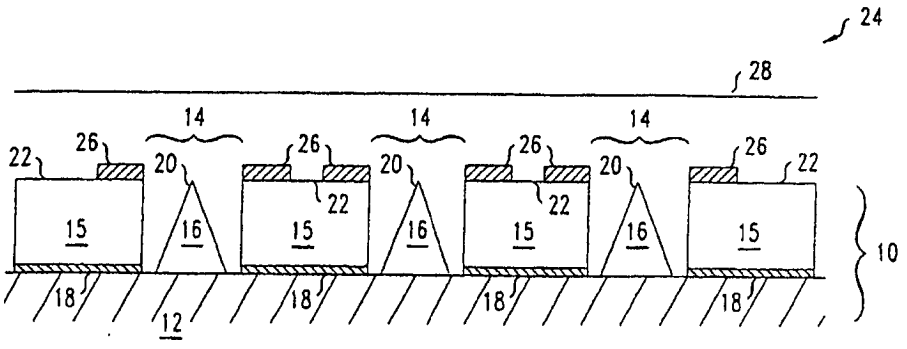


FIG. 2

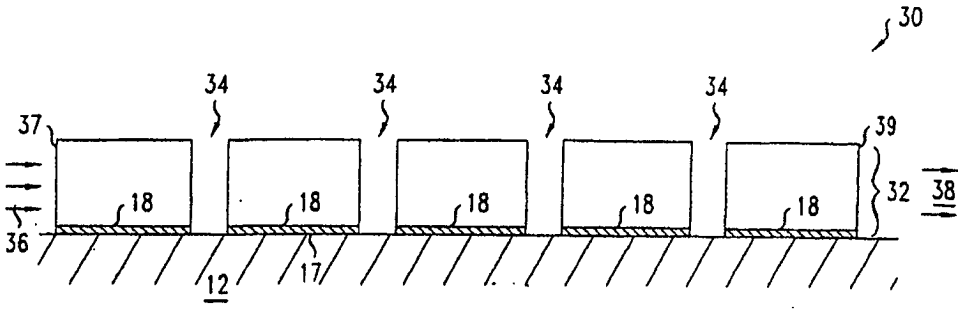

30
34
34
34
34
37
39
18
18
18
18
18
32
38
36
12
17

FIG. 2A

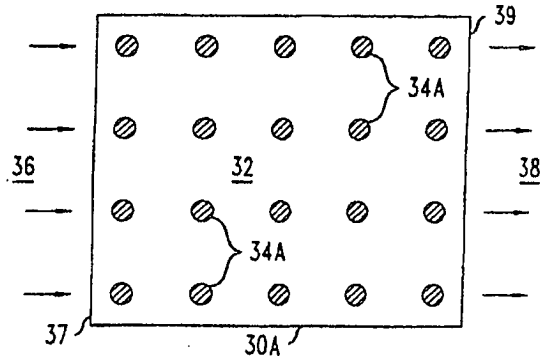

39
34A
36
32
38
34A
37
30A

FIG. 2B

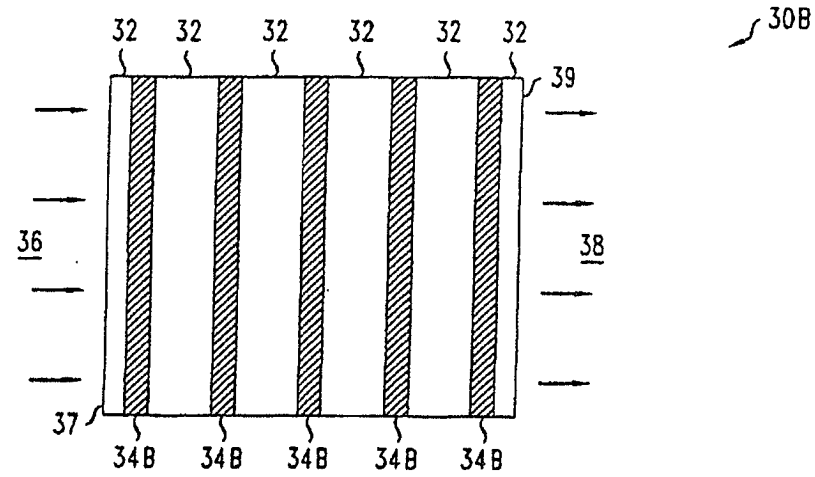
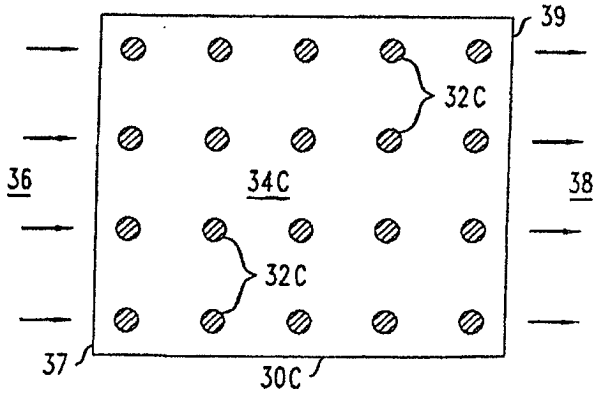

32
32
32
32
32
32
30B
39
36
38
37
34B
34B
34B
34B
34B

FIG. 2C


39
32C
36
34C
38
32C
37
30C

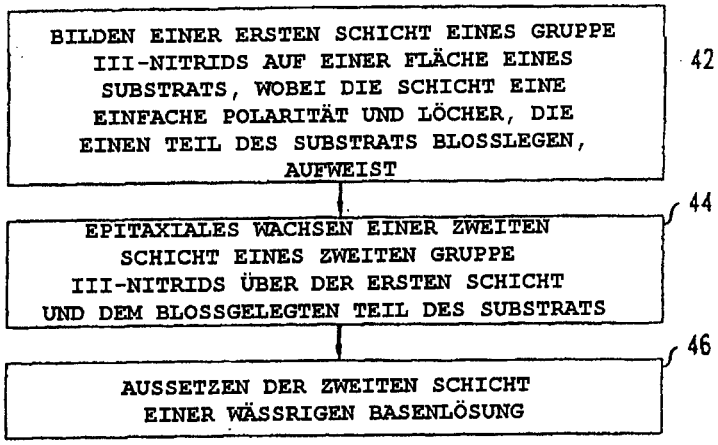

BILDEN EINER ERSTEN SCHICHT EINES GRUPPE III-NITRIDS AUF EINER FLÄCHE EINES SUBSTRATS, WOBEI DIE SCHICHT EINE EINFACHE POLARITÄT UND LÖCHER, DIE EINEN TEIL DES SUBSTRATS BLOSSLEGEN, AUFWEIST
42
40
EPITAXIALES WACHSEN EINER ZWEITEN SCHICHT EINES ZWEITEN GRUPPE III-NITRIDS ÜBER DER ERSTEN SCHICHT UND DEM BLOSSGELEGTEN TEIL DES SUBSTRATS
44
AUSSETZEN DER ZWEITEN SCHICHT EINER WÄSSRIGEN BASENLÖSUNG
46

FIG. 7

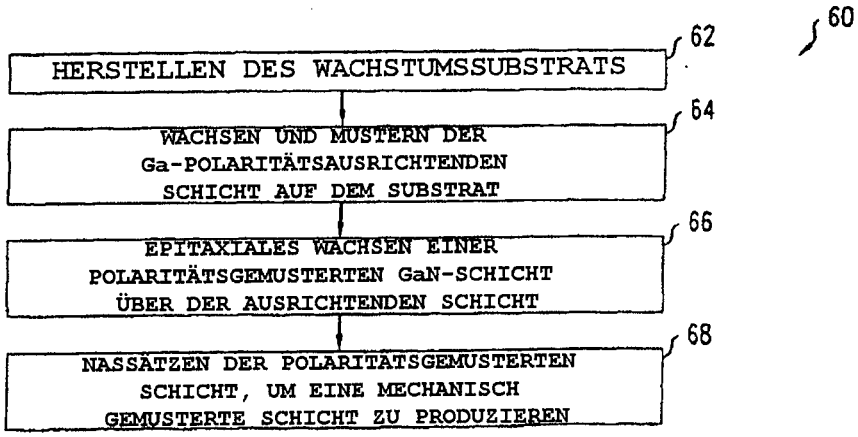

HERSTELLEN DES WACHSTUMSSUBSTRATS
62
60
WACHSEN UND MUSTERN DER Ga-POLARITÄTSAUSRICHTENDEN SCHICHT AUF DEM SUBSTRAT
64
EPITAXIALES WACHSEN EINER POLARITÄTSGEMUSTERTEN GaN-SCHICHT ÜBER DER AUSRICHTENDEN SCHICHT
66
NASSÄTZEN DER POLARITÄTSGEMUSTERTEN SCHICHT, UM EINE MECHANISCH GEMUSTERTE SCHICHT ZU PRODUZIEREN
68

FIG. 4

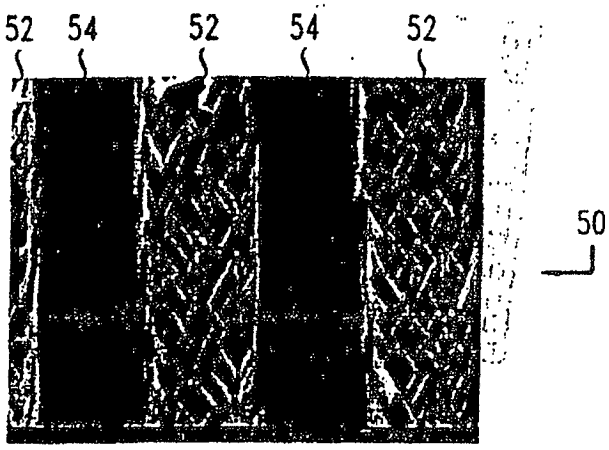


FIG. 5

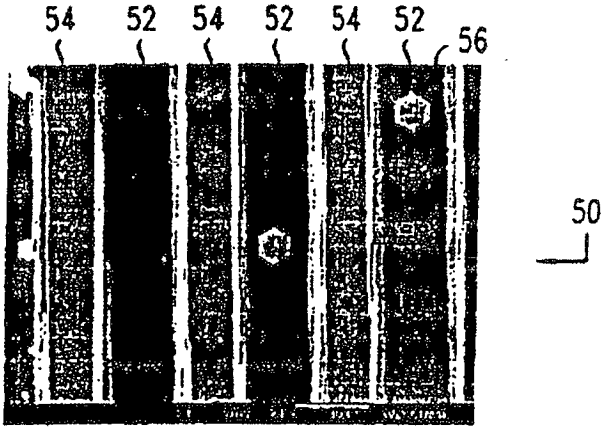


FIG. 6

