



(10) **DE 10 2016 114 250 B4** 2020.04.16

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 114 250.6**  
(22) Anmeldetag: **02.08.2016**  
(43) Offenlegungstag: **08.02.2018**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **16.04.2020**

(51) Int Cl.: **C30B 25/18** (2006.01)  
**C30B 29/38** (2006.01)  
**C30B 29/40** (2006.01)  
**C30B 29/20** (2006.01)  
**H01L 33/02** (2010.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Forschungsverbund Berlin e.V., 12489 Berlin, DE**

(74) Vertreter:  
**Gulde & Partner Patent- und  
Rechtsanwaltskanzlei mbB, 10179 Berlin, DE**

(72) Erfinder:  
**Hagedorn, Sylvia, Dr., 12555 Berlin, DE; Weyers,  
Markus, Prof. Dr., 15745 Wildau, DE; Gargouri,  
Hassan, Dr., 12524 Berlin, DE**

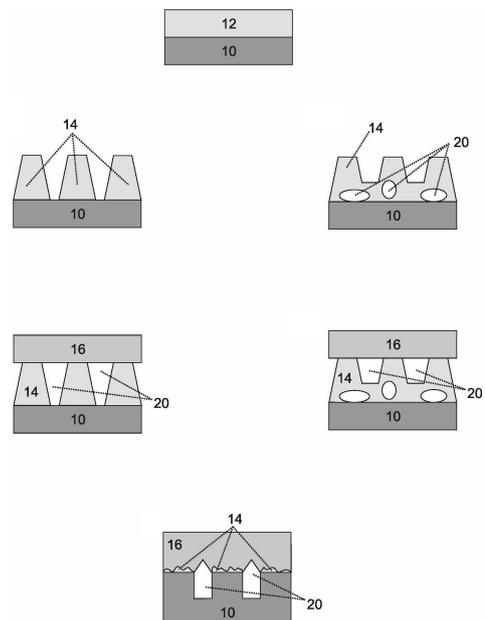
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	100 34 263	A1
US	7 244 520	B2
US	7 776 636	B2
US	2012 / 0 187 540	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines mit einem Halbleitermaterial beschichteten Saphirsubstrats, nach dem Verfahren erhältliches beschichtetes Saphirsubstrat sowie Verwendung eines solchen Substrat in einer Leuchtdiode**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung eines mit einem Halbleitermaterial beschichteten Saphirsubstrats, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- Bereitstellen eines Saphirsubstrats;
- Abscheiden von alternierenden Schichten aus amorphem AlN und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> auf dem Saphirsubstrat mittels Atomlagenabscheidung (ALD), wobei als erste Schicht eine Schicht aus amorphem Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> abgeschieden wird;
- anschließendes thermisch induziertes Kristallisieren der abgeschiedenen Schichten; und
- Abscheiden eines nitridischen Halbleitermaterials auf Basis von Aluminium, Gallium und Indium, wobei das Halbleitermaterial im Schritt d) mittels Gasphasenepitaxie (VPE) abgeschieden wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines mit einem Halbleitermaterial beschichteten Saphirsubstrats, ein nach dem Verfahren erhaltliches beschichtetes Saphirsubstrat sowie eine Leuchtdiode, die ein solches Substrat enthält.

## Technologischer Hintergrund

**[0002]** Leuchtdioden (LED) sind lichtemittierende Halbleiter-Bauelemente, deren elektrische Eigenschaften einer Diode entsprechen. Fließt durch die Diode elektrischer Strom in Durchlassrichtung, so strahlt sie Licht, Infrarotstrahlung oder auch Ultraviolettstrahlung mit einer vom Halbleitermaterial und der Dotierung abhängigen Wellenlänge ab. Durch die gezielte Auswahl des Halbleitermaterials und der Dotierung können die Eigenschaften des erzeugten Lichtes, insbesondere der Spektralbereich und die Effizienz, beeinflusst werden. Für ultraviolettes Licht emittierende LED (kurz UV-LED) werden beispielsweise als Halbleitermaterialien Aluminiumnitrid (AlN), Aluminiumgalliumnitrid (AlGaIn) und Aluminiumgalliumindiumnitrid (AlGaInN) verwendet. Die Entwicklung von UV-LED ist von besonderer Bedeutung, da sie Anwendungen in vielen Bereichen ermöglichen. Dazu zählen beispielsweise die Entkeimung von Wasser, Desinfektion von Lebensmitteln, therapeutische Anwendungen, wie Lichttherapie, analytische Verfahren, wie Fluoreszenzmikroskopie oder der Einsatz als Strahlquellen für die optische Freiraumkommunikation.

**[0003]** Bei der Herstellung der UV-LED-Halbleiter werden verschiedene Epitaxie-Verfahren eingesetzt. Epitaxie ist eine Form des Kristallwachstums, bei der mindestens eine kristallographische Orientierung des wachsenden Kristalls einer Orientierung des kristallinen Substrates entspricht. Aus verschiedenen Gründen wird in der Praxis zur Herstellung von UV-LED auf Fremdsubstrate ausgewichen, d.h. auf Substrate, die nicht auf GaN oder AlN basieren. Hauptsächlich finden dabei Saphir und SiC Verwendung. Im Falle einer solchen Heteroepitaxie stellt das strukturierte Wachstum eine Möglichkeit dar, die Nachteile der verwendeten Fremdsubstrate auszugleichen, indem es einerseits die Kristallgitter von Substrat und Epitaxieschicht teilweise entkoppelt und andererseits die Ausbreitung von an der Grenzfläche entstandenen Versetzungen verhindern kann. Für das strukturierte Wachstum stehen dabei eine Reihe alternativer Verfahren zur Verfügung. Für AlN, AlGaIn, AlGaInN und GaN umfasst dies insbesondere das epitaktische laterale Überwachsen (epitaxial lateral overgrowth ELO). Bekannte ELO-Prozesse sehen dabei als Zwischenschritt die Abscheidung einer dünnen epitaktischen Schicht aus beispielsweise GaN auf dem Fremdsubstrat sowie eine prozesstechnologische Strukturierung dessen vor. Es wäre jedoch

schon aus ökonomischer Sicht vorteilhaft, wenn auf einen solchen Epitaxieschritt und Strukturierungsprozess verzichtet werden könnte. US 2012/0187540 A1 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines mit einem Halbleitermaterial beschichteten Saphirsubstrats. Zwischen dem Substrat und dem Halbleitermaterial wird eine alternierende Abfolge von Schichten der Zusammensetzung  $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) und des Material des Substrats abgeschieden. Hierdurch soll eine graduelle Anpassung der Kristallstrukturen von Substrat und Halbleitermaterial erreicht werden. Weitere Beispiele zu Herstellungserfahren nitridischer Halbleiterschichten auf Saphirsubstraten finden sich in US 7 244 520 B2, US 2005/0142876 A1, DE 10034263 A1 und US 7 776 636 B2. Weitere Verweise ergeben sich aus den nachfolgenden Veröffentlichungen der Nicht-Patentliteratur: H. Amano et al., Appl. Phys. Lett. 48(5), 353 (1986); K. Ueno et al., Appl. Phys. Express 4(1), 015501 (2011); K. Kawaguchi et al. Jpn. J. Appl. Phys. 44(11L), L1400 (2005); O. Reentilä et al., J. Cryst. Growth 310(23), 4932 (2008); H. Li et al., J. Cryst. Growth 383, 72 (2013); V. Kueller et al., Phys Status Solidi C 84(6), 496 (2012); M. Imura et al., Jpn. J. Appl. Phys. 45, 8639 (2006); H. Wang et al., J. Electronic Materials 41(3), 466 (2012); K. Nakano et al., Phys. Status Solidi A 203(7), 1632 (2006), H. Hirayama et al., Phys. Status Solidi C 6(S2), S356 (2009); R. Dalmau, J. Electrochem. Soc. 158(5), H530 (2011); V. Kueller et al., J. Cryst. Growth 315(1), 200 (2011); S.-M. Kim et al., Optics Express 17, 14791 (2009); S. Y. Chou, US5772905 A; P. Dong et al., Appl. Phys. Lett. 102, 241113 (2013); M. Conroy et al., J. Mater. Chem. C 3, 431 (2015).

## Zusammenfassung der Erfindung

**[0004]** Eine oder mehrere Nachteile des Standes der Technik lassen sich mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines mit einem Halbleitermaterial beschichteten Saphirsubstrats beheben oder zumindest mindern. Dazu umfasst das Verfahren die Schritte:

- a) Bereitstellen eines Saphirsubstrats;
- b) Abscheiden von alternierenden Schichten aus amorphem AlN und  $Al_2O_3$  auf dem Saphirsubstrat mittels Atomlagenabscheidung (ALD), wobei als erste Schicht eine Schicht aus amorphem  $Al_2O_3$  abgeschieden wird;
- c) anschließendes thermisch induziertes Kristallisieren der abgeschiedenen Schichten; und
- d) Abscheiden eines nitridischen Halbleitermaterials auf Basis von Aluminium, Gallium und Indium, wobei das Halbleitermaterial im Schritt d) mittels Gasphasenepitaxie (VPE) abgeschieden wird.

**[0005]** Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass eine Konditionierung von Saphiroberflächen

für das nachfolgende Wachstum von Halbleitermaterialien, wie insbesondere AlN, durch Atomlagenabscheidung (ALD) erfolgen kann. Dazu wird amorphes AlN und/oder  $\text{Al}_2\text{O}_3$  direkt auf dem Substrat abgeschieden. Das Material wird dabei schichtweise aufgetragen, wobei die einzelnen Schichten aus reinem AlN beziehungsweise  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oder einem Gemisch derselben, das heißt  $(\text{AlN})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  ( $0 < x < 1$ ), bestehen können. Durch anschließendes Tempern erfolgt eine Umwandlung der abgeschiedenen amorphen Schichten in kristallines Material mit epitaktischem Bezug zum Substrat sowie eine damit einhergehende Eigenstrukturierung des Materials im Nanometerbereich. Mit anderen Worten, die Verwendung eines ALD Materials ermöglicht eine definierte Konditionierung der Grenzfläche Substrat/Halbleitermaterial, dessen Abscheidung nachfolgend mittels Gasphasenepitaxie (VPE) erfolgt. Dadurch können einheitliche Nukleationsbedingungen und das Wachstum von ausschließlich Al-polarem Material (Vermeidung einer Zentrumaufrauung) in der VPE erreicht werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch die Eigenstrukturierung beim Tempern Hohlräume entstehen, die beim Überwachsen im nachfolgenden VPE-Abscheidungsprozess erhalten bleiben.

**[0006]** Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren werden im Schritt b) alternierende Schichten aus amorphem AlN und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  auf dem Saphirsubstrat abgeschieden. Es hat sich gezeigt, dass das abwechselnde Abscheiden von amorphen Schichten aus AlN bzw.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  bei der nachfolgenden thermisch induzierten Kristallisation besonders zuverlässig zur gewünschten Eigenstrukturierung des Materials führt, wobei die Oberflächeneigenschaften durch die gesamte Oberfläche des Saphirsubstrates nur geringfügig divergieren.

**[0007]** Dabei wird eine erste Schicht aus amorphem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  abgeschieden. Es hat sich gezeigt, dass ein direktes Abscheiden von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  auf dem Saphirsubstrat für die Konditionierung der Grenzfläche von Vorteil ist.

**[0008]** Nach einer weiteren bevorzugten Verfahrensvariante ist vorgesehen, dass als letzte Schicht eine Schicht aus amorphem AlN abgeschieden wird. Diese Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens hat insbesondere den Vorteil, dass die konditionierten, ALD-beschichteten Substrate anschließend mittels Lithographie oder Plasmaätzen so strukturiert werden können, dass an gewünschten Oberflächenbereichen bereits eine AlN-Keimschicht vorhanden ist, die beispielsweise für ein sich anschließendes laterales Überwachsen (ELO VPE) genutzt werden kann. Dementsprechend ist vor der prozesstechnologischen Strukturierung kein separater VPE-Schritt mehr nötig.

**[0009]** Vorzugsweise werden im Schritt b) 2 bis 50 Schichten, insbesondere 10 bis 30 Schichten abgeschieden. Eine Schichtdicke von einzelnen Schichten aus amorphem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  liegt insbesondere im Bereich von 0,2 bis 25 nm. Bevorzugt ist ferner, dass eine Schichtdicke von einzelnen Schichten aus amorphem AlN im Bereich von 1,3 bis 20 nm liegt. Eine kumulierte Schichtdicke aller abgeschiedenen amorphen Schichten liegt vorzugsweise im Bereich von 1 bis 200 nm, insbesondere im Bereich von 10 bis 100 nm.

**[0010]** Weiterhin ist bevorzugt, wenn im Schritt d) AlN, AlGaN, AlGaInN oder GaN als Halbleitermaterial abgeschieden wird. Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich demnach besonders für die Abscheidung von nitridischen Halbleitermaterialien auf Basis von Aluminium, Gallium und Indium. Auf der in definierter Weise durch das ALD-Material konditionierten Substratoberfläche kann beispielsweise AlN mittels metallorganischer Gasphasenepitaxie (MOVPE) abgeschieden werden. Auf diese Weise kann insbesondere Inversionsdomänen und einem veränderlichen Nukleationsverhalten entgegengewirkt werden. Die mit dem ALD-Material entstehende Aufrauung der Grenzfläche Saphir/Halbleitermaterial im Nanometerbereich trägt zur Versetzungsreduktion bei und vermindert bei der Verwendung als LED-Substrat insbesondere die Totalreflektion an der Grenzfläche.

**[0011]** Das Halbleitermaterial im Schritt d) wird mittels Gasphasenepitaxie (VPE) abgeschieden. Ferner ist bevorzugt, wenn das Abscheiden des Halbleitermaterials im Schritt d) durch epitaktisch laterales Überwachsen (ELO) erfolgt. Durch die Eigenstrukturierung beim thermisch induzierten Kristallisieren können beim Überwachsen des ALD-Materials mittels VPE Hohlräume entstehen, die ein laterales Überwachsen ermöglichen und somit zu einer Versetzungsreduktion führen. Weiterhin ist dadurch ein Übergang zwischen abgeschiedenen Halbleitermaterial und Substrat geschwächt und so ein Ablösen des Substrates vom Halbleitermaterial erleichtert.

**[0012]** Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein nach dem Verfahren hergestelltes oder herstellbares beschichtetes Saphirsubstrat. Das über das Verfahren erhältliche beschichtete Saphirsubstrat weist eine wenige Nanometer breite Grenzschicht zwischen dem eigentlichen Saphirsubstrat und einer aufgetragenen Schicht aus einem Halbleitermaterial auf. Die Grenzschicht besteht aus dem abgeschiedenen und kristallisierten ALD-Material. In Folge des Fertigungsprozesses weist die Grenzschicht eine gegenüber dem darunter liegendem Saphirsubstrat erhöhte Porosität und Rauigkeit auf. Beim Übersichten mit dem Halbleitermaterial können zusätzliche Hohlräume entstehen, die ein weiteres Charakteristikum des beschichteten Saphirsubstrats darstellen. Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass beim Kristal-

lisieren der ALD-Schichten auch Hohlräume in der ALD-Schicht selbst entstehen können.

**[0013]** Schließlich stellt die Verwendung eines Saphirsubstrats der vorab beschriebenen Ausführung in einer Leuchtdiode (LED) einen weiteren Aspekt der Erfindung dar. Die Konditionierung der Saphiroberfläche führt unter anderem zu einer Erhöhung der Rauigkeit der Grenzfläche hin zum Halbleitermaterial, woraus wiederum eine verringerte Totalreflektion bei der Lichtauskopplung aus LED-Strukturen resultiert. Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Leuchtdioden weisen zwischen Saphirsubstrat und Halbleitermaterial charakteristische Hohlräume auf, die beim lateralen Überwachsen mittels Gasphasenepitaxie (VPE) entstehen.

**[0014]** Weitere bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung lassen sich der folgenden Beschreibung entnehmen.

#### Figurenliste

**[0015]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines Ausführungsbeispiels und dazugehöriger Zeichnungen näher erläutert.

**Fig. 1** zeigt schematisiert einzelne Prozessschritte des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines mit einem Halbleitermaterial beschichteten Saphirsubstrats.

**Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung eines Schichtstapels aus alternierenden mittels ALD abgeschiedenen Einzelschichten (schematische Darstellung).

**Fig. 3** zeigt  $2\Theta/\omega$ -Messungen zur Identifikation von Netzebenen parallel zur Probenoberfläche.

**Fig. 4** zeigt eine Aufnahme der Oberfläche einer abgeschiedenen Halbleiterschicht aus AlN mittels Rasterkraftmikroskop (AFM).

**Fig. 5** zeigt eine Aufnahme eines Querschnitts durch die Oberfläche einer abgeschiedenen Halbleiterschicht aus AlN, Grenzfläche und Saphirsubstrat mittels Rasterelektronenmikroskop (REM).

#### Detaillierte Beschreibung der Erfindung

**[0016]** Der **Fig. 1** ist stark schematisiert der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines mit einem Halbleitermaterial beschichteten Saphirsubstrats **10** zu entnehmen. Das in einer geeigneten Beschichtungsanlage bereitgestellte Saphirsubstrat **10** wird mittels Atomlagenabscheidung (ALD) mit einem amorphen Material aus AlN und/oder  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und/oder  $(\text{AlN})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_{1-x}$  bedeckt. Die entstehende amorphe Schicht **12** weist eine Schichtdicke im Nanometerbereich auf (**Fig. 1(a)**). Das abgeschiedene ALD-Material wird anschließend durch Tempern kris-

tallisiert. Dabei hat es sich gezeigt, dass der thermische Behandlungsschritt zu einer Eigenstrukturierung führt, die sich durch eine signifikante Erhöhung der Oberflächenrauigkeit charakterisieren lässt. Der **Fig. 1(b)** ist stark schematisiert eine solche Oberflächenstruktur mit dem getemperten ALD-Material, im Weiteren als Grenzschicht **14** bezeichnet, zu entnehmen. Je nach Temperbedingungen können auch Hohlräume im ALD-Material entstehen (**Fig. 1(b\*)**). Diese Hohlräume konnten mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) nachgewiesen werden. Das getemperte ALD-Material weist einen epitaktischen Bezug zum Substrat **10** auf.

**[0017]** Wird nun die Grenzschicht **14** mittels Gasphasenepitaxie (VPE) mit einer Schicht **16** aus einem Halbleitermaterial überschichtet, so entstehen Hohlräume **18** an der Grenzfläche **14** zwischen dem Substrat **10** und der Halbleiterschicht **16** (siehe **Fig. 1 (c)** und **Fig. 1 (c\*)**).

**[0018]** Gegebenenfalls kann mittels Lithographie und Plasmaätzen eine weitere Strukturierung der gemäß **Fig. 1(b)** konditionierten Substratoberfläche erfolgen. Beispielsweise können Gräben **20** auf der Oberfläche erzeugt werden. Alternativ oder ergänzend kann, sofern eine Oberseite der Grenzschicht **14** aus AlN besteht, durch die genannten Maßnahmen auch eine AlN-Keimschicht für das nachfolgende Aufwachsen der Halbleitermaterialschicht **16** erzeugt werden.

**[0019]** Nachfolgend wird die Erfindung anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert:

Auf c-planar orientiertem epi-ready Saphir mit einem Fehlschnitt von  $0,2^\circ$  Richtung m wurden AlN und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schichten mittels plasmaunterstützter ALD (PEALD) abgeschieden. Die PEALD erfolgte bei einem Prozessdruck von 20 hPa. Als Ausgangsstoffe wurden Trimethylaluminium (TMAI) und  $\text{NH}_3$  (für die AlN-Abscheidung) beziehungsweise  $\text{O}_2$  (für die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Abscheidung), sowie  $\text{N}_2$  als Spülgas verwendet. Bei  $350^\circ\text{C}$  wurde ein Multilayerstack mit alternierender Schichtabfolge entsprechend **Fig. 2** mit jeweils 20 Wachstumszyklen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und jeweils 20 Zyklen AlN abgeschieden. Die Schichtdicken wurden mit Hilfe eines spektroskopischen Ellipsometers bestimmt. Für die erste  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schicht ergibt sich eine Schichtdicke von 0,9 nm, die folgenden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schichten sind 1,0 nm dick. Die Dicke der AlN-Schichten beträgt jeweils 3,7 nm.

**[0020]** Die Probe wurde vor dem Tempern mittels Röntgenbeugung (XRD) hinsichtlich der Kristallinität des Materials untersucht. Es wurden keine AlN-Peaks unter symmetrischen  $2\Theta/\omega$ -Messbedingungen (**Fig. 3**, Messung (a)) gefunden. Die Probe wurde bei einer Prozesstemperatur ( $T_{\text{proc}}$ ) von  $1380^\circ\text{C}$  unter  $\text{H}_2$ -Umgebung und einem Druck von 150 hPa in ei-

ner Anlage zur metallorganischen Gasphasenepitaxie (MOVPE) für 1,5 min getempert.  $2\Theta/\omega$ -Messungen mit symmetrischer XRD-Messanordnung zeigen einen deutlichen 002 Reflex des AlN (**Fig. 3**, Messung (b)) und somit, dass durch das Tempern AlN mit c-planarer Orientierung ausgebildet wird. Durch das Tempern erfolgt eine Umwandlung des amorphen PEALD-Materials in kristallines Material.

**[0021]** Die 1,5 min getemperte Multilayerstack-Probe wurde mit 720 nm AlN überwachsen. Dazu wurde zunächst bei 980°C eine 50 nm dicke Standard-Nukleationsschicht gewachsen und im Anschluss daran bei 1200°C weitere 670 nm AlN. **Fig. 4** zeigt eine Rasterkraftmikroskop-Aufnahme (AFM) der glatten AlN-Oberfläche, mit einem rms-Wert von 0,35 nm. Die Halbwertsbreite der 002 und 302 XRD  $\omega$ -Rockingkurven betragen 979" und 3607". Der Probenquerschnitt im REM (**Fig. 5**) zeigt deutlich die Ausbildung von durchschnittlich 35 nm hohen Hohlräumen an der Grenzfläche zwischen AlN und Saphir. Zusammen mit den aus den Röntgenmessungen gewonnenen Informationen lässt dies auf die Ausbildung einer löchri-gen c-planar orientierten AlN-Schicht durch das Tempern schließen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines mit einem Halbleitermaterial beschichteten Saphirsubstrats, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

- a) Bereitstellen eines Saphirsubstrats;
- b) Abscheiden von alternierenden Schichten aus amorphem AlN und  $Al_2O_3$  auf dem Saphirsubstrat mittels Atomlagenabscheidung (ALD), wobei als erste Schicht eine Schicht aus amorphem  $Al_2O_3$  abgeschieden wird;
- c) anschließendes thermisch induziertes Kristallisieren der abgeschiedenen Schichten; und
- d) Abscheiden eines nitridischen Halbleitermaterials auf Basis von Aluminium, Gallium und Indium, wobei das Halbleitermaterial im Schritt d) mittels Gasphasenepitaxie (VPE) abgeschieden wird.

2. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem als letzte Schicht eine Schicht aus amorphem AlN abgeschieden wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem im Schritt b) 2 bis 50 Schichten abgeschieden werden.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Schichtdicke von einzelnen Schichten aus amorphem  $Al_2O_3$  im Bereich von 0,2 bis 25 nm liegt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine Schichtdicke von einzelnen

Schichten aus amorphem AlN im Bereich von 1,3 bis 20 nm liegt.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem eine kumulierte Schichtdicke aller abgeschiedenen amorphen Schichten im Bereich von 1,5 bis 200 nm liegt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem im Schritt d) AlN, AlGaIn, AlGaInN oder GaN als Halbleitermaterial abgeschieden wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das Abscheiden des Halbleitermaterials im Schritt d) durch epitaktisch laterales Überwachsen (ELO) erfolgt.

9. Saphirsubstrat, hergestellt nach einem Verfahren gemäß Anspruch 1.

10. Verwendung eines Saphirsubstrats gemäß Anspruch 9 in einer Leuchtdiode (LED).

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

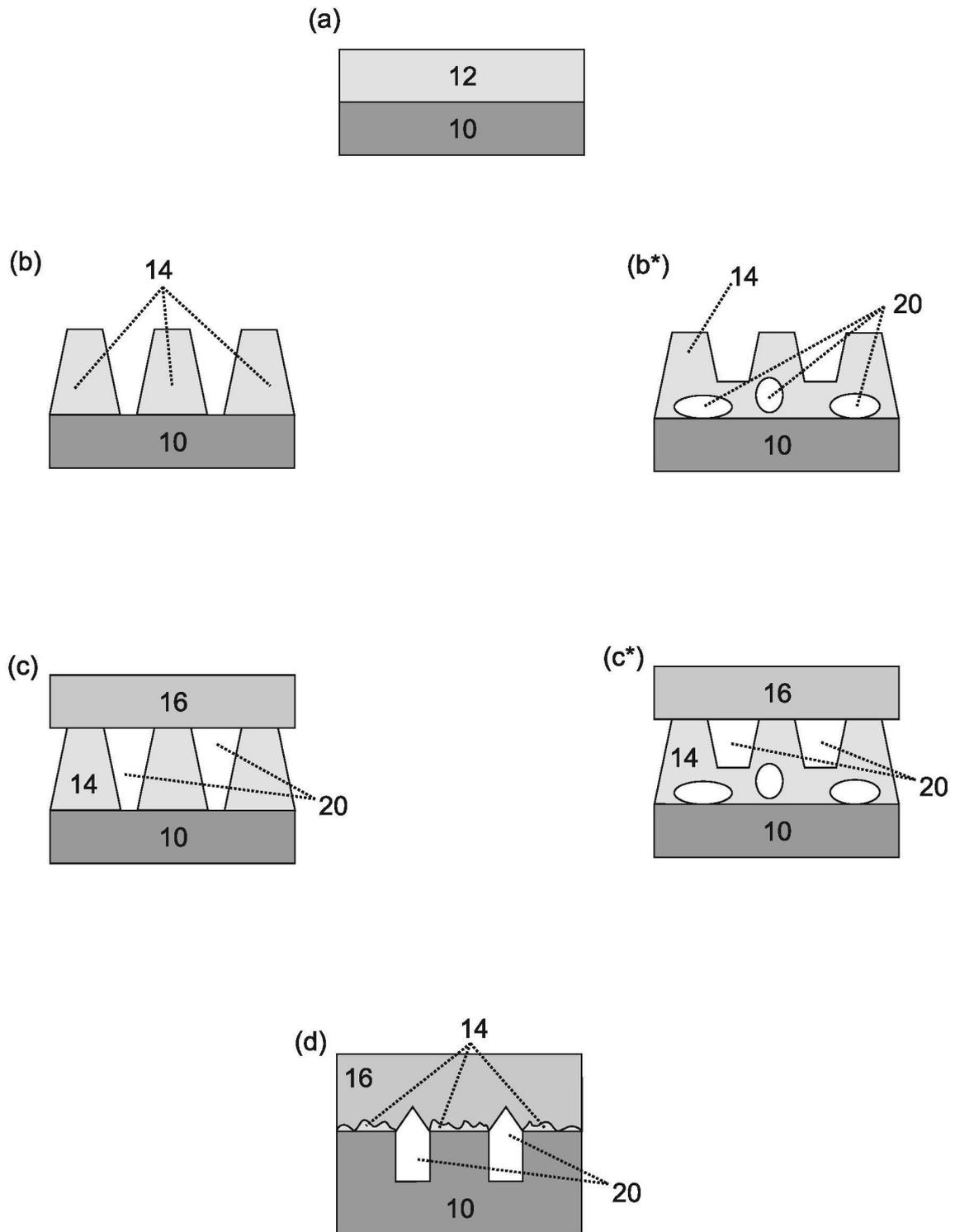


Fig. 1



Fig. 2

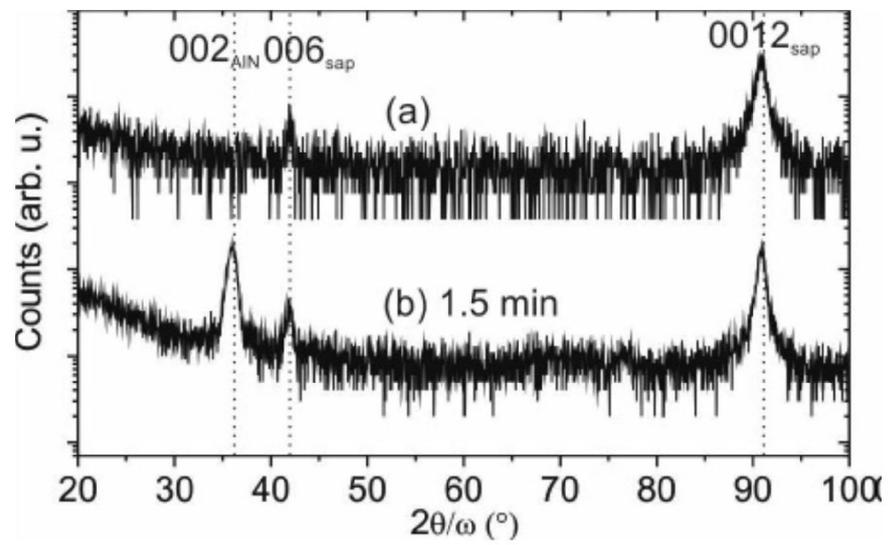


Fig. 3

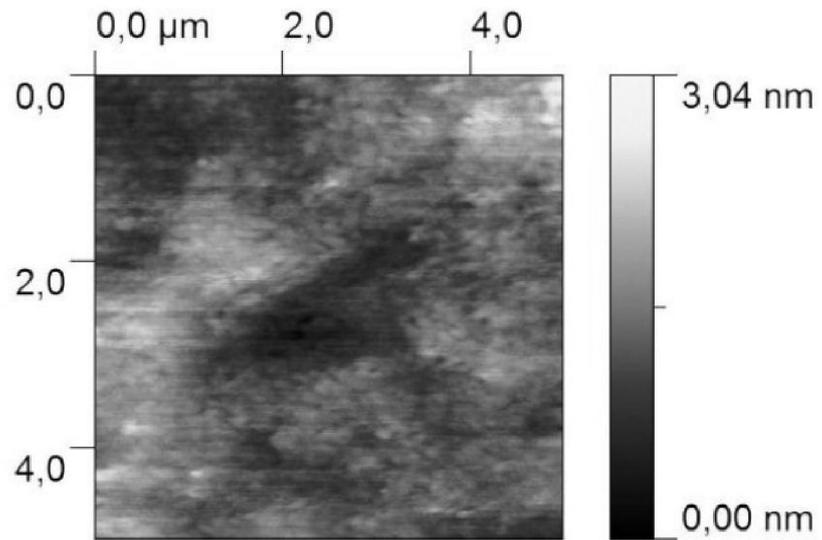


Fig. 4

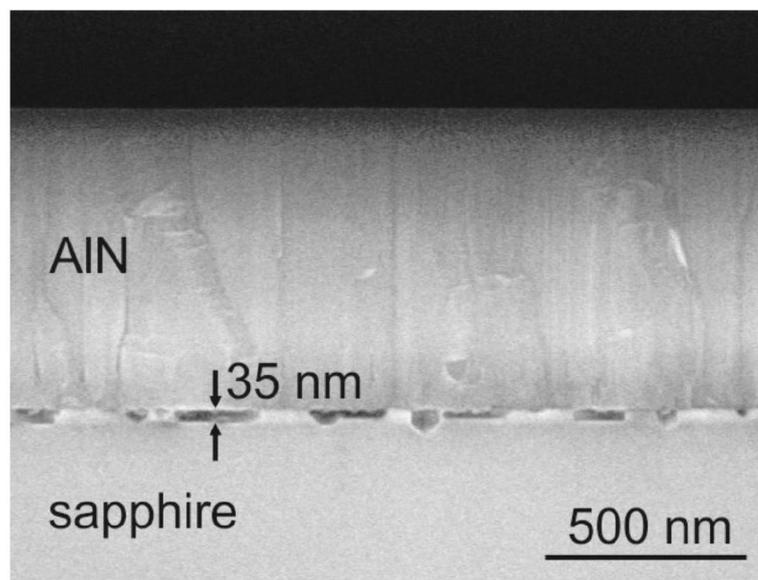


Fig. 5