



(10) **DE 10 2018 115 224 A1** 2020.01.02

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2018 115 224.8**

(22) Anmeldetag: **25.06.2018**

(43) Offenlegungstag: **02.01.2020**

(51) Int Cl.: **H01L 29/80** (2006.01)

H01L 29/20 (2006.01)

H01L 29/43 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, 39106
Magdeburg, DE**

(72) Erfinder:
**Dadgar, Armin, Prof., 10555 Berlin, DE;
Strittmatter, André, Prof., 14548 Schwielowsee,
DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 2009 / 0 159 929 A1
US 2017 / 0 317 184 A1

**LEE, E.W. [u.a.]: Layer-transferred Mos2/GaN
PN diodes. In: Appl.Phys.Lett, 2015, 103595-
1-103505-4.**

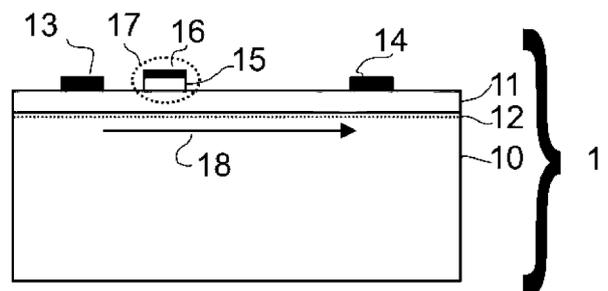
**SHIBATA, D. [u.a.]: 1.7 KV/1.0 mWcm2
Normally-off Vertical GaN Transistor on GaN
Substrate with Regrown p-GaN/AlGaN/GaN
Semipolar Gate Structure. In: Proceeding 2016
IEEE International Device Meeting, 2016, 10.1.1-
10.1.3.**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Halbleitertransistorbauelement**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Halbleitertransistorbauelement (1, 2) in einem ersten Materialsystem der Gruppe-III-Nitride (10, 11, 20, 21, 22) mit einem Gatekontakt (17, 27), enthaltend eine p-leitfähige Schicht in einem zweiten Materialsystem (15, 23), aufweisend eine Volumenlöcherkonzentration oberhalb von $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein selbstsperrendes Halbleitertransistorbauelement oder Halbleitertransistorbauelementmodul im System $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$, mit $0 \leq x, y \leq 1$, $x+y \leq 1$.

[0002] Gruppe-III-Nitrid basierte Transistoren werden für Hochfrequenzanwendungen bis in den Bereich von 100 GHz sowie als Leistungsbaulemente, insbesondere für Schaltnetzteile eingesetzt. Dabei werden auf Systemseite Transistoren bevorzugt, welche selbstsperrend sind und im Fall eines Defekts keinen Strom durchlassen. Im System der Gruppe-III-Nitride ist dies jedoch bis heute ein nur unbefriedigend gelöstes Problem. Derzeit wird entweder lokal die aktive Schicht unter dem Gatekontakt teilweise oder ganz entfernt, eine p-GaN Schicht aufgebracht oder das selbstsperrende Verhalten mittels einer aufwendigeren elektronischen Schaltung realisiert. Prinzipiell ist das Konzept der p-leitenden GaN Schicht einfach, hier werden die Elektronen im Kanal durch das Feld der unter dem Gate befindlichen Schicht verdrängt und durch Anlegen einer Spannung kann dieses geschaltet werden.

[0003] Jedoch sind die Löcherkonzentrationen im p-GaN mit Werten unter 10^{18} cm^{-3} recht niedrig und das sperrende Verhalten der damit realisierten Bauelemente oft unbefriedigend.

[0004] Dies wird nun erfindungsgemäß für ein Halbleitertransistorbauelement (**1, 2**) in einem ersten Materialsystem der Gruppe-III-Nitride (**10, 11, 20, 21, 22**) mit einem Gatekontakt (**17, 27**), enthaltend eine p-leitfähige Schicht in einem zweiten Materialsystem (**15, 23**), aufweisend eine Volumenlöcherkonzentration oberhalb von $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ gelöst. Dazu werden Chalkogenide als zweites Materialsystem (**15, 23**) oder Metallhalogenide als zweites Materialsystem (**15, 23**) eingesetzt.

[0005] In diesen Materialsystemen weisen viele Verbindungen Löcherkonzentrationen deutlich über 10^{19} cm^{-3} auf, wobei grundsätzlich schon Werte etwas über denen des GaN:Mg für eine erfindungsgemäße Funktion ausreichen.

[0006] Diese Materialien können einfach z. B. durch Gasphasendeposition, Sputtern, oder Umwandeln im Dampf, wie z. B. Cu durch Ioddampf zu CuI wird, realisiert werden. Prinzipiell sind viele Verfahren möglich auch aus Lösungen können diese Verbindungen teilweise aufgebracht werden.

[0007] Durch die Wahl des Stoffes und seiner Komposition lässt sich bei vielen dieser Materialien die Bandlückenenergie aber auch der Bandoffset zu den Bändern des GaN einstellen. Damit lässt sich das elektrische Verhalten dieser Schicht unter einem me-

tallischen Gatekontakt bzw. direkt als Gatekontakt beeinflussen.

[0008] Vorteilhafterweise ist das zweite Materialsystem (**15, 23**) in dem Bauelement durch Chalkogenide ausgebildet.

[0009] Nach einer weiteren Ausbildungsform der Erfindung ist das Bauelement (**1, 2**) durch Metallhalogenide als zweites Materialsystem (**15, 23**) gekennzeichnet.

[0010] Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass das Bauelement (**1, 2**), gekennzeichnet ist durch die Auslegung des Bauelements (**1**) als horizontaler Feldeffekttransistor oder die Auslegung des Bauelements (**2**) als vertikale Transistorstruktur. Es handelt sich hierbei um eine horizontale oder vertikale Ausrichtung zum Substrat, also parallel dazu oder senkrecht dazu.

[0011] Vorgeschlagen wird ein Bauelementmodul, umfassend zumindest ein Bauelement (**1, 2**).

[0012] Als Materialien eignen sich p-leitende Oxide und Chalkopyrite die ausreichend hohe Löcherkonzentrationen erzielen. Ausreichend sind Werte von $\geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$. Neben diesen beiden Stoffgruppen gehören auch p-leitende Metallhalogenide wie das CuI oder AgI bzw. Legierungen davon dazu. Von den Oxiden sind insbesondere, aber nicht ausschließlich interessant, ZnRh_2O_4 , CuAlO_2 , SrCu_2O_2 , SrCrO_3 , $\text{Cu}_x\text{Cr}_{1-x}\text{MgO}_2$, $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CrO}_3$, $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$, CuScO_{2+x} , ZnRhO_4 , $\text{CuY}_{1-x}\text{Ca}_x\text{O}_3$, AgCoO_2 , $\text{Mg}_x\text{Cr}_{2-x}\text{O}_3$, CuGaO_2 , $\text{Ag}(\text{In,Ga,Al})\text{O}_2$, $\text{Ag}_x(\text{In,Ga,Al})_{2-x}\text{O}_3$ sowie Legierungen dieser Stoffe. Ebenfalls zählen dazu p-leitende Verbindungen im System $(\text{Cu,Ag})(\text{Al, In,Ga})(\text{S, Se, O})_2$.

[0013] Im Folgenden werden zwei Ausführungsbeispiele und die Beschreibung der zugehörigen Figuren von erfindungsgemäßen Feldeffekttransistoren aufgeführt.

[0014] Fig. 1 zeigt schematisch im Querschnitt eine mögliche Auslegung des Bauelements (**1**) als horizontaler Feldeffekttransistor. Dabei handelt es sich um ein Bauelement mit Stromfluss parallel zum Substrat auf das die Schichtenfolge aufgewachsen wurde. Im System der Gruppe-III-Nitride ist dies die derzeit gebräuchlichste Ausführungsform. **10** ist der Puffer, der mehrere Schichten enthalten kann, die auch durch einen Dotanden wie z. B. C kompensiert sein können. **11** ist eine Schicht im System Al-GaN . Durch die Unterschiede in den Piezofeldern der Schichten **10** und **11** entsteht an der Grenzfläche der beiden im GaN ein zweidimensionales Elektronengas **12** welches als stromleitender Kanal wesentlich für die Funktion des Transistors ist.

[0015] Auf der Struktur befinden sich nun zwei Kontakte **13** und **14** für Source und Drain. Zwischen diesen liegt eine Spannung an wodurch Strom fließen kann, symbolisiert durch den horizontalen Pfeil **18**. Wird nun ein Gate bestehend aus dem meist metallischen Gatekontakt **16** und dem zweiten Material **15** aufgebracht, so tritt durch die positive Ladung der Schicht **15** im darunter befindlichen Bereich eine Verarmung an Elektronen auf. Der Widerstand im Kanal steigt und es fließt im besten Fall nur noch ein um mehrere Größenordnungen reduzierter Strom. Der Kontakt **16** dient dazu ein Potential zwischen Gate und Source anzulegen und die positive Ladung in der Schicht **15** abzubauen wodurch die Elektronenverarmung unter der Schicht **15** zurückgeht und der Strom ansteigt.

[0016] Liegt keine Spannung am Kontakt **16** an, so ist der Strom so gering, dass der Transistor als abgeschwächt gilt. Dadurch ist er eigensicher gegenüber dem Ausfall anderer Bauteile. Als Gatekontakt (**17**) wird hier die Gesamtheit des eigentlichen Kontakts **16** und der zweiten Schicht **15** betrachtet wobei prinzipiell noch weitere dünne Schichten z. B. zur Isolation wie SiO₂ oder SiN eingebracht werden können. Dünn bedeutet dabei zwischen 2 und 50 nm Dicke für diese optionalen zusätzlichen Schichten.

[0017] Fig. 2 zeigt im Querschnitt schematisch eine mögliche Auslegung des Bauelements (**2**) als vertikale Transistorstruktur. Dabei handelt es sich um ein Bauelement mit Stromfluss senkrecht zum Substrat auf das die Schichtenfolge aufgewachsen wurde.

[0018] Sofern das Substrat nicht entfernt wurde kann der Stromfluss durch dieses hindurch gehen, oder alternativ oberhalb dessen durch einen seitlichen Kontakt abgeführt werden wie z. B. in Yuhao Zhang, Daniel Piedra, Min Sun, Jonas Hennig, Armin Dadgar, Lili Yu, and Tomas Palacios, High-Performance 500 V Quasi- and Fully-Vertical GaN-on-Si pn Diodes, IEEE Electron Device Letters **38**, **248** (2017) gezeigt. In Fig. 2 ist 20 der Puffer, der in der gezeigten Ausführung hoch leitfähig ist und unten einen Drainkontakt **25** aufweist.

[0019] Auf dem Puffer ist eine niedrig n-leitende Schicht **21** mit ideal hoher Ladungsträgermobilität und hoher Kristallqualität. Darüber befindet sich die hoch elektronenleitende Schicht **22** auf der der Sourcekontakt **24** sitzt.

[0020] Zur Regelung des vertikalen, durch den Pfeil **28** angedeuteten Stromflusses zwischen Source und Drain sind nun Gatekontakte **27** angebracht bestehend aus der Kontaktierungsschicht **26** und der erfindungsgemäßen Schicht **23**. Durch die positive Ladung der Schichten **23** verarmt zwischen diesen Kontakten die Schicht **21** an Elektronen und der Widerstand im Kanal steigt, so dass der Stromfluss

sinkt. Sofern der Abstand der Schichten **23** bzw. die Dicke der Schicht **21** nicht zu dick sind ist diese Schicht völlig an Ladungsträgern verarmt und sperrend. Die mögliche Dicke ist dabei abhängig von der Ladungsträgerkonzentration und der sich ausbildenden Raumladungszone in diesen Schichten **21** und **23**. Legt man zwischen Gatekontakt **27** und Source eine Spannung an, so lässt sich die Ladung in Schicht **23** verarmen und der Kanal in Schicht **21** wird leitfähiger wodurch der Strom zwischen Sourcekontakt **24** und Drainkontakt **25** steigt.

[0021] Die erfindungsgemäßen Schichten lassen sich auch in anderen Bauelementtypen wie z. B. MOSFETs, MESFETs oder bei Schichten mit anderer Reihenfolge anwenden so lange der Kanal elektronenleitend ist und dementsprechend durch eine p-leitende Schicht bzw. den Ladungsträgereinfang selbiger, in der Leitfähigkeit verändert werden kann. Zwischen der erfindungsgemäßen Schicht und der Bauelementstruktur sowie einer metallischen Gatekontaktierung können auch weitere Schichten eingefügt sein, die leitfähig oder isolierend sein können.

Patentansprüche

1. Halbleitertransistorbauelement (1, 2) in einem ersten Materialsystem der Gruppe-III-Nitride (10, 11, 20, 21, 22) mit einem Gatekontakt (17, 27), enthaltend eine p-leitfähige Schicht in einem zweiten Materialsystem (15, 23), aufweisend eine Volumenlöcherkonzentration oberhalb von $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$.
2. Bauelement nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Chalkogenide als zweites Materialsystem (15, 23).
3. Bauelement (1, 2) nach Anspruch 1, **gekennzeichnet durch** Metallhalogenide als zweites Materialsystem (15, 23).
4. Bauelement (1, 2) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die Auslegung des Bauelements (1) als horizontaler Feldeffekttransistor.
5. Bauelement (1, 2) nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die Auslegung des Bauelements (2) als vertikale Transistorstruktur.
6. Bauelementemodul, umfassend zumindest ein Bauelement (1, 2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

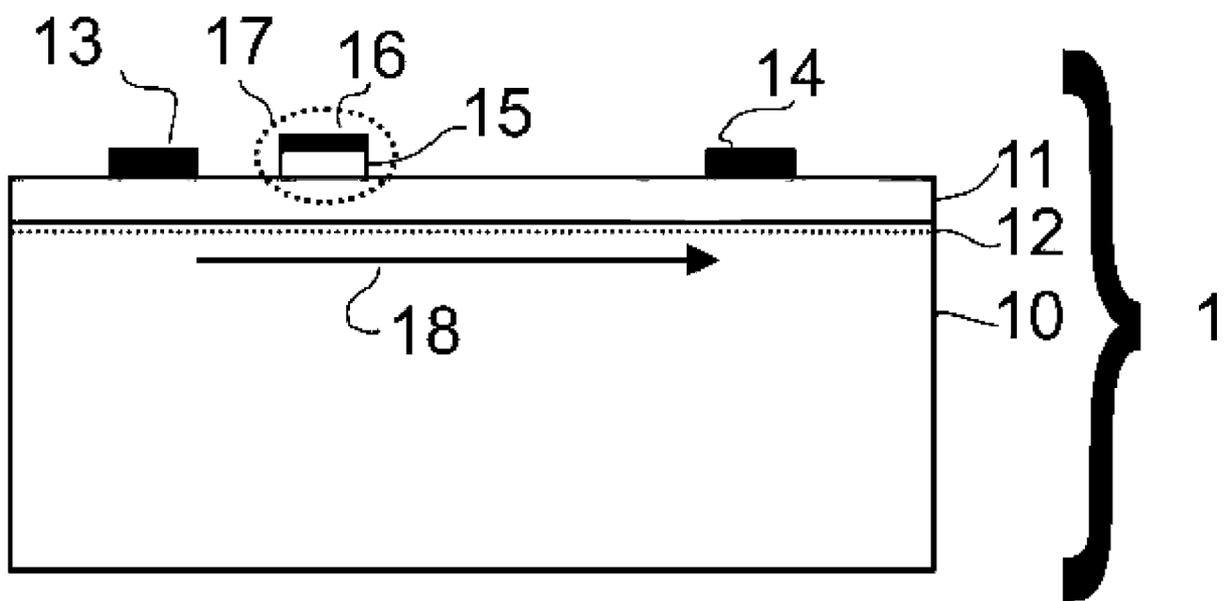


Fig. 1

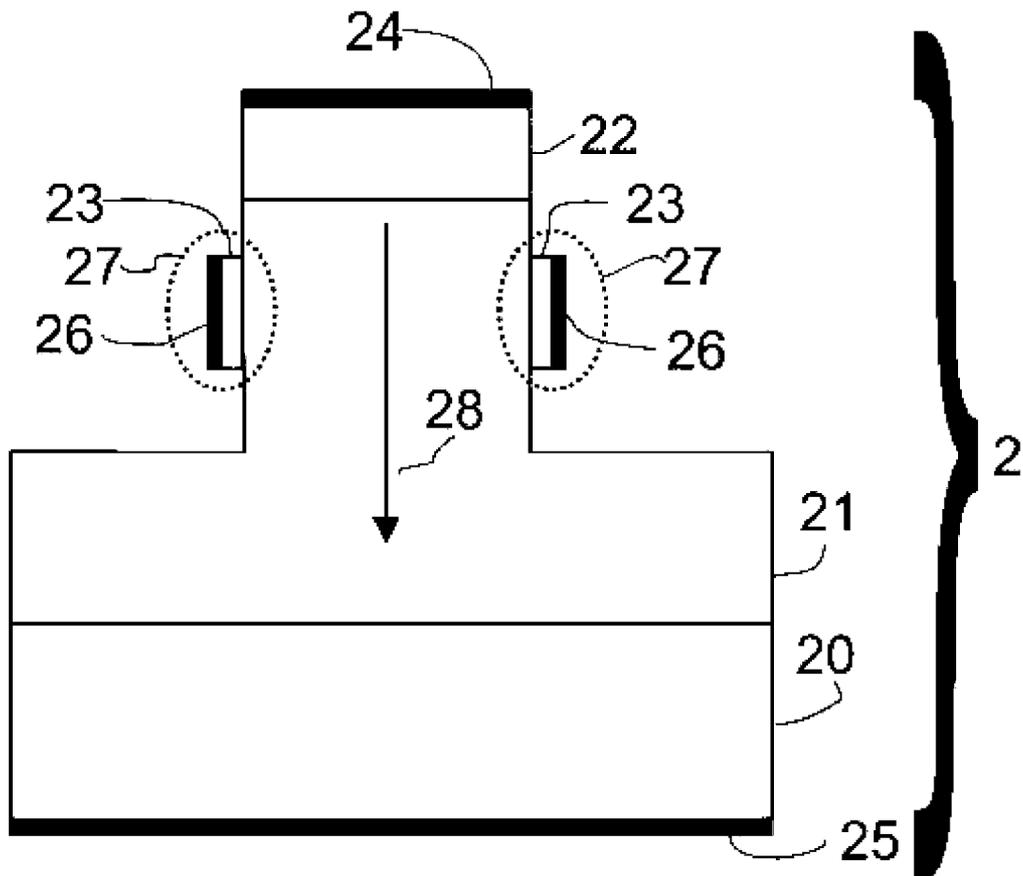


Fig. 2