



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 022 508 A1** 2007.11.22

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 022 508.2**

(22) Anmeldetag: **15.05.2006**

(43) Offenlegungstag: **22.11.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H01L 21/336** (2006.01)

(71) Anmelder:

**United Monolithic Semiconductors GmbH, 89081
Ulm, DE**

(74) Vertreter:

Weber, G., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 89073 Ulm

(72) Erfinder:

Behammer, Dag, 89079 Ulm, DE

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

DE 101 01 825 B4

DE 102 20 999 A1

DE 101 17 741 A1

US2006/00 49 427 A1

US 60 87 256

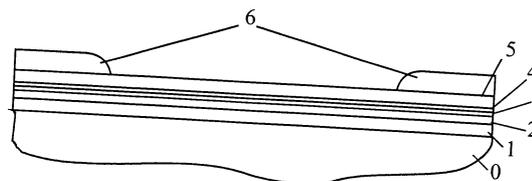
US 54 36 489

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements mit einer in einer Doppelgrabenstruktur angeordneten metallischen Gateelektrode**

(57) Zusammenfassung: Für die Herstellung eines mikroelektronischen Bauelements, insbesondere eines pHEMT, mit einer T-förmigen Gateelektrode in einer Doppelgrabenstruktur wird ein vorteilhaftes Herstellungsverfahren zur selbstjustierenden Ausrichtung der beiden Gräben der Doppelgrabenstruktur und des Gatefußes der Gateelektrode angegeben.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements, insbesondere eines pHEMT-Feldeffekttransistors, mit einer in einer Doppelgrabenstruktur angeordneten metallischen Gateelektrode.

[0002] Halbleiterbauelemente mit in einer auch als double recess bezeichneten Doppelgrabenstruktur angeordneter Gateelektrode sind in verschiedener Ausführung bekannt.

[0003] In US 5 796 132 werden die beiden Recessgräben einander durch Justage zugeordnet und bei der Ätzung durch eine Lack- oder SiN-Hard-Maske maskiert. Außerdem ist die Isolation im Falle eines pHEMTs nur durch eine Überätzung auf einer Stoppschicht möglich. Dadurch entstehen Hohlräume, die später nicht mehr passiviert werden können. Der T-förmige Gatekopf wird in dem gezeigten Verfahren durch die Ätzung einer ganzflächig abgeschiedenen Metallisierung gebildet. In US 5 556 797 werden die beiden Recessgräben zwar selbstjustiert zueinander gebildet, jedoch ist es nicht möglich, einen niederohmigen T-förmigen Gatekopf zu bilden, der jedoch für Hochfrequenzanwendungen notwendig ist. Gleiches gilt auch für US 5 641 977.

[0004] Die US 2004/0082158 A1 beschreibt ein Verfahren, bei welchem auf der Halbleiterschichtenfolge mehrere Photolackschichten abgeschieden werden, in welchen für eine spätere Herstellung einer T-förmigen Gateelektrode im Lift-off-Verfahren Strukturen für den Gatekopf vorbereitet werden. In der untersten, auf der hochdotierten Kontaktschicht der Halbleiterschichtenfolge abgeschiedenen Lackschicht wird eine die Struktur des Gatefußes bestimmende Öffnung erzeugt. Die Lackschichten bleiben in den folgenden Verfahrensschritten bis zum Aufdampfen des Gatemetalls erhalten. Unter der untersten Lackschicht wird durch Unterätzung in der Kontaktschicht eine Grabenstruktur bis zu einer Barrierschicht erzeugt und Gatemetall durch die Öffnung der untersten Lackschicht zur Bildung des Gatefußes auf der Barrierschicht und gleichzeitig in die Strukturen der oberen Lackschichten zur Bildung des Gatekopfes abgeschieden. Durch Auflösen der Lackschichten wird die Gateelektrode freigelegt. Danach werden noch ohmsche Kontakte auf der hochdotierten Kontaktschicht erzeugt.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein vorteilhaftes Verfahren zur Herstellung eines Halbleiterbauelements mit einer metallischen Gateelektrode und einer Doppelgrabenstruktur anzugeben.

[0006] Die Erfindung ist im Patentanspruch 1 beschrieben. Die abhängigen Ansprüche enthalten vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der

Erfindung.

[0007] Die Erzeugung der Doppelgrabenstruktur erfolgt durch das erfindungsgemäße Verfahren vorteilhafterweise in selbstjustierender Positionierung des breiten und des schmalen Grabens in mehreren Schritten, wobei in Zwischenschritten erzeugte Strukturen vorteilhafterweise als Maskierung für nachfolgende Ätzschritte dienen können. Auch für den Gatefuß ergibt sich eine selbstzentrierende Position innerhalb des schmalen Grabens.

[0008] Insbesondere kann mit der ersten Öffnung in der ersten Hilfsschicht als Hardmaske sowohl die Position des breiten Grabens durch Unterätzung der ersten Hilfsschicht als auch die Position des schmalen Grabens durch Übertragung der Struktur der ersten Öffnung in eine weitere Öffnung einer weiteren Hilfsschicht und deren Unterätzung festgelegt werden und damit eine zuverlässige selbstjustierende gegenseitige laterale Ausrichtung des breiten und des schmalen Grabens erreicht werden.

[0009] Wesentlich ist insbesondere, dass eine weitere Hilfsschicht durch die erste Öffnung in den zweiten Graben und dort insbesondere auf die Abschirmschicht abgeschieden wird und die in dieser weiteren Hilfsschicht erzeugte weitere Öffnung als Hardmaske für die Ätzung des schmalen Grabens dient. Vorzugsweise wird der breite Graben nach Abscheiden der weiteren Hilfsschicht mit einem verfestigbaren flüssigen Füllmaterial, vorzugsweise einem polymerisierbaren Material ausgefüllt und das Material insbesondere zu einem Polymer verfestigt. Die Übertragung der Struktur der ersten Öffnung erfolgt dann vorteilhafterweise in eine zweite Öffnung in dem Polymer und der zwischen dem Polymer und der Abschirmschicht liegenden weiteren Hilfsschicht. In vorteilhafter Weiterbildung wird vor der Abscheidung des Gatemetalls die erste Hilfsschicht über dem Polymer oder vorzugsweise insgesamt entfernt und Gatemetall für den Gatekopf auf dem Polymer abgeschieden.

[0010] Die Erzeugung von Strukturen einschließlich der Herstellung von Öffnungen in Schichten und der Freilegung von Gräben oder Strukturen erfolgt in gebräuchlicher Weise durch in vielfacher Zusammensetzung und Anwendung bekannte Ätzmittel, welche insbesondere auch materialeselektiv ausgewählt und eingesetzt werden können.

[0011] Die Erfindung ist nachfolgend anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Abbildungen [Fig. 1a](#) bis [Fig. 1i](#) in aufeinander folgenden Verfahrensstadien noch eingehend veranschaulicht.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren beinhaltet eine in hohem Maße skalierbare und selbstjustierte Integration zur Definition des Gatebereiches mit

Gatefuß und Gatekopf. Der Gatefuß kann dabei Abmessungen von z. B. 70-600 nm besitzen, während der Gatekopf typischerweise nach beiden Seiten um 50-300 nm breiter sein kann. Der Gatefuß ist in einem schmalen Graben in der Abschirmschicht zentriert, welcher wiederum zu dem breiten Graben in der hochdotierten Kontaktschicht zentriert ist. Der breite Graben ist dabei typischerweise beidseitig 200 nm-1000 nm breiter als der schmale Graben.

[0013] Ausgehend von dem GaAs Substrat **0**, definieren die Schichten **1-5** in [Fig. 1a](#) das Vertikalprofil eines Feldeffekt-Transistors, insbesondere eines pHEMT Hochfrequenz-Leistungsfeldeffekttransistors, das in seiner Dicken- und Elementstruktur in Abhängigkeit von der Anwendung variieren kann. Die Schichtendickenverhältnisse sind nicht maßstäblich zu nehmen. Grundsätzlich stellt **1** den Buffer dar, **2** bildet die Kanalschicht für das zweidimensionale Elektronengas, **3** ist eine Barrierenschicht vorzugsweise mit oben liegender Stopschicht, **4** ist eine niedrigdotierte Abschirmschicht, die ebenfalls vorzugsweise nach oben mit einer Stopschicht abschließt, und die Schicht **5** als oberste Halbleiterschicht bildet eine hochdotierte Kontaktschicht zur niederohmigen Bauelementkontaktierung. Die Schichten **4** und **5** bestehen vorzugsweise aus GaAs und die Stopschichten vorteilhafterweise aus AlAs oder InGaP.

[0014] Nach Definition ohmscher Kontakte **6** auf der Kontaktschicht **5** gemäß [Fig. 1a](#) erfolgt, vorzugsweise durch PECVD, die Abscheidung einer dielektrischen Zwischenschicht **8**, vorzugsweise einer SiO₂-Schicht und einer dielektrischen Hilfsschicht **9**, vorzugsweise einer Siliziumnitrid(SiN)-Schicht. Die laterale Isolation der Transistoren erfolgt durch eine fotolackmaskierte Implantation zur Bildung isolierter Feldgebiete **7** ([Fig. 1b](#)).

[0015] In einem nächsten Lithografieprozessschritt wird eine Photolackschicht aufgebracht und eine Lithografiemaske mit einer Struktur für den Gatefuß relativ zu den ohmschen Kontakten justiert. Nach Belichtung und Entwicklung des Photolacks entsteht die Öffnung **11** im Photolack **10a**, welche z. B. durch trockenchemisches Plasmaätzen in die darunter liegende Doppelschicht von erster Hilfsschicht **9** und Zwischenschicht **8** übertragen wird, so dass in diesen Schichten Öffnungen **9a** bzw. **8a** entstehen ([Fig. 1c](#)). Der Photolack **10a** wird danach wieder entfernt.

[0016] In einer nachfolgenden nasschemischen Ätzung der Zwischenschicht selektiv zu der ersten Hilfsschicht **9** und der Kontaktschicht **5** wird die Öffnung **8a** in der Zwischenschicht **8** auf eine größere Öffnung **8b** erweitert, deren laterale Weite über die Parameter des Ätzvorgangs, insbesondere dessen Dauer, gut einstellbar ist. Die Öffnung **8b** in der Zwischenschicht dient in einem nachfolgenden Ätzschritt als Hardmaske zur Ätzung des breiten Grabens **50** in

der Kontaktschicht **5**, wobei die Ätzstopschicht zwischen Abschirmschicht und Kontaktschicht die Ätzung vertikal begrenzt, und die Struktur nach [Fig. 1d](#) entsteht.

[0017] Danach wird eine weitere Hilfsschicht, vorzugsweise SiN abgeschieden, wobei die Abscheidung als gleichmäßige Schicht **90a** auf der ersten Hilfsschicht und durch die Öffnung **9a** in der ersten Hilfsschicht auch als Hardmaskenschicht **90b** in den durch die Öffnung **8b** und den breiten Graben **50** gebildeten Hohlraum unter der ersten Hilfsschicht, und dort insbesondere über der Abschirmschicht **4** und an den Flanken der Öffnung in der ersten Hilfsschicht nun mit **9b** bezeichnet, erfolgt. Durch Einstellung der Parameter der Abscheidung der weiteren Hilfsschicht, welche vorzugsweise mittels eines PECVD-Verfahrens abgeschieden wird, wird die weitere Hilfsschicht **90b** auf der Abschirmschicht **4** mit gegenüber der Öffnung **9a** größerer Breite oder auch auf der gesamten Innenfläche des Hohlräume abgeschieden, wobei die Schichtdicke der weiteren Hilfsschicht **90b** auf der Abschirmschicht geringer ist als die Schichtdicke der weiteren Hilfsschicht **90a** auf der ersten Hilfsschicht.

[0018] Vorteilhafterweise wird dann ein Polymer, insbesondere BCB aufgebracht, welches neben einer Schicht auf **100a** auf der ersten Hilfsschicht **9** auch mit einem Anteil **100b** die Öffnung **9b** und den unter der ersten Hilfsschicht durch die Öffnung **8b** und den breiten Graben **50** gebildeten Hohlraum ausfüllt ([Fig. 1e](#)).

[0019] Durch eine nachfolgende ganzflächige Plasmärückätzung wird die Polymerschicht weitgehend und teilweise auch die weitere Hilfsschicht **100a** abgetragen ([Fig. 1f](#)), danach die Struktur der Öffnung **9b** in der ersten Hilfsschicht als Öffnung **10** in die Polymerschicht **100b** und als Öffnung **900b** in die weitere Hilfsschicht **90b** übertragen. Die erste Hilfsschicht wird vorteilhafterweise vollständig abgetragen und das den Hohlraum ausfüllende Polymer als seitliche Begrenzungen **100c** der Öffnung **10** freigelegt, so dass die in [Fig. 1g](#) skizzierte Struktur entsteht. Während des Ätzvorgangs können die Eigenschaften der verschiedenen Materialien der Zwischenschicht **8**, der ersten Hilfsschicht **9**, der zweiten Hilfsschicht **90a**, **90b** und des Polymers **100a**, **100b** zur selektiven Ätzung durch geeignete Einstellungen der Ätzparameter ausgenutzt werden.

[0020] In der in [Fig. 1g](#) skizzierten Struktur bilden die durch das Polymer **100c** seitlich begrenzte Öffnung **10** und die Öffnung **900b** als Hardmaske in der weiteren Hilfsschicht **90b** die laterale Begrenzung für eine nachfolgende Ätzung des schmalen Grabens durch Ätzen der Abschirmschicht **4** in der Öffnung **900b** und seitlich davon unter der weiteren Hilfsschicht **90b**.

[0021] Vor Ätzung des schmalen Grabens wird für die Herstellung des Gatekopfes in Lift-off-Technik in einem photolithographischen Prozess eine Maskenstruktur für den Gatekopf erzeugt. Hierfür werden zwei Photolackschichten **11** und **12** auf der in [Fig. 1g](#) skizzierten Anordnung abgeschieden, wobei vorzugsweise eine untere Lackschicht aus PGMI und eine obere Lackschicht **12** aus einem dünnen positiven Lack besteht. Nach Ausrichtung einer Photomaske, Belichtung und Entwicklung der Lackschichten entsteht eine die Breite des Gatekopfes bestimmende Öffnung in der oberen Lackschicht **12** und eine lateral größere Öffnung in der unteren Lackschicht **11**.

[0022] Vor dem Abscheiden des Gatemetalls wird mit den Öffnungen **10** in dem Polymer **100c** und **900b** in der weiteren Hilfsschicht **90b** ein schmaler Graben **15** in der Abschirmschicht **4** bis zu der Barrierschicht **3** erzeugt, welcher durch definierte laterale Unterätzung der weiteren Hilfsschicht **90b** um ein geringes Maß breiter ist als die Öffnung **90b**. Seitlich des schmalen Grabens ist die Barrierschicht durch die Abschnitte **16** der Abschirmschicht abgedeckt.

[0023] Nach Ätzung des schmalen Grabens **15** wird Gatemetall aufgedampft, welches in dem schmalen Graben und den Öffnungen **900b** und **10** den Gatefuß und über dem Polymer **100c** den Gatekopf **13b** einer T-förmigen Gateelektrode bildet. Die obere Fläche der Polymerschichten **100c** kann dadurch auf vorteilhafte Weise zur definierten Einstellung der Unterkante der überhängenden seitlichen Bereich des Gatekopfs dienen. Die obere Fläche der Polymerschichten **100c** fällt im wesentlichen mit der oberen Fläche der Zwischenschicht **8** zwischen den ohmschen Kontakten **6** zusammen und kann daher bereits beim Abscheiden der Zwischenschicht **8** vorgegeben werden.

[0024] Nach Entfernen der Metallschicht **13a** auf der Photolackschicht **12** durch Lift-off werden das Polymer **100c**, die weitere Hilfsschicht **90b** und die Zwischenschicht **8** entfernt, wofür vorteilhafterweise ein CF_4 -basiertes Plasma eingesetzt werden kann.

[0025] Eine Passivierungsschicht **20**, vorzugsweise SiN, wird ganzflächig, insbesondere auch in die Gräben **50**, **15** unterhalb der überhängenden seitlichen Gatekopfbereiche, wobei die Passivierungsschicht unter den überhängenden Gatekopfbereichen Hohlräume **21** einschließt ([Fig. 1i](#)). Durch die Hohlräume **21** können Rückkoppelkapazitäten auf besonders vorteilhafte Weise reduziert werden.

[0026] Die vorstehend und die in den Ansprüchen angegebenen sowie die den Abbildungen entnehmbaren Merkmale sind sowohl einzeln als auch in verschiedener Kombination vorteilhaft realisierbar. Die Erfindung ist nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt, sondern im Rahmen

fachmännischen Könnens in mancherlei Weise abwandelbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines mikroelektronischen Bauelements einer T-förmigen metallischen Gateelektrode, mit einem breiteren Gatekopf und einem schmaleren Gatefuß, welcher in einer Doppelgrabenstruktur angeordnet ist, wobei

- eine Halbleiterschichtenfolge für einen HEMT-Transistor abgeschieden wird und mit einer Kanalschicht (**2**), über dieser einer niedrig dotierten Abschirmschicht (**4**) und über dieser einer hoch dotierten Kontaktschicht (**5**)
- über der Kontaktschicht wenigstens eine erste Hilfsschicht (**9**) abgeschieden wird,
- in der ersten Hilfsschicht (**9**) eine die Struktur des Gatefußes bestimmende erste Öffnung (**9a**) erzeugt wird,
- durch Unterätzen der Hilfsschicht (**9**) bis zu der Abschirmschicht (**4**) der breite Graben (**50**) der Doppelgrabenstruktur erzeugt wird,
- dielektrisches Material (**90b**) für eine weitere Hilfsschicht durch die erste Öffnung in dem breiten Graben auf der Abschirmschicht abgeschieden wird,
- durch anisotrope Ätzung mit der ersten Öffnung als Maske eine zweite Öffnung (**900b**) in der weiteren Hilfsschicht bis zu der Abschirmschicht erzeugt wird,
- durch Untersätzen der weiteren Hilfsschicht beidseitig der zweiten Öffnung (**900b**) der schmale Graben (**15**) erzeugt wird,
- das Abscheiden von Gatemetall (**13c**) für den Gatefuß durch die zweite Öffnung (**900b**) in den schmalen Graben (**15**) erfolgt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Material für die weitere Hilfsschicht Siliziumnitrid abgeschieden wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Material für die weitere Hilfsschicht nach einem PECVD-Verfahren abgeschieden wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der breite Graben nach dem Abscheiden der weiteren Hilfsschicht mit einem polymerisierbaren Füllstoff ausgefüllt und dieser in dem breiten Graben polymerisiert wird, und dass die zweite Öffnung auch in dem Polymer erzeugt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Abscheiden des Gatemetalls die Hilfsschicht (**9**) über dem Polymer entfernt und Gatemetall für den Gatekopf auf dem Polymer abgeschieden wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Kontaktschicht (5) und der ersten Hilfsschicht eine Zwischenschicht (8) abgeschieden wird und dass die Ätzung des breiten Grabens in zwei Schritten erfolgt, wobei in einem ersten Schritt in der Zwischenschicht (8) unter der ersten Hilfsschicht (9) eine gegenüber der ersten Öffnung breitere Öffnung (8b) erzeugt und in einem zweiten Schritt als Maske für die Ätzung des breiten Grabens (50) in der Kontaktschicht (5) benutzt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Unterätzen der weiteren Hilfsschicht zur Erzeugung des schmalen Grabens wenigstens eine Lackschicht abgeschieden und in dieser eine Öffnung als Maske für den Gatekopf erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Abscheiden des Gatemetalls die über den Halbleiterschichten verbliebenen Schichten entfernt und eine Passivierungsschicht (20) in einer solchen Dicke abgeschieden wird, dass unterhalb überhängender Gatekopfbereiche geschlossene Hohlräume (21) entstehen.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1a

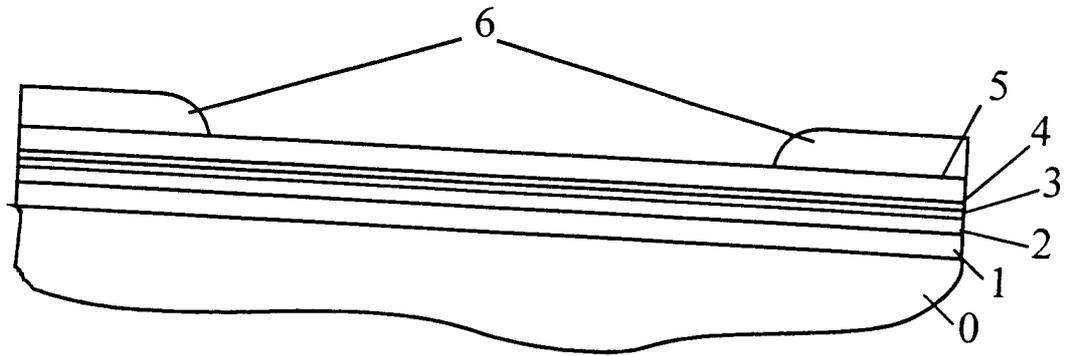


Fig. 1b

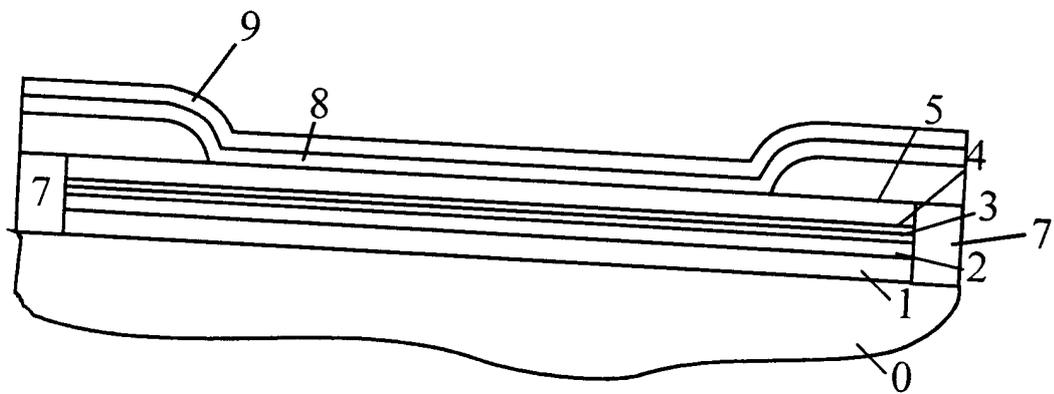


Fig. 1c

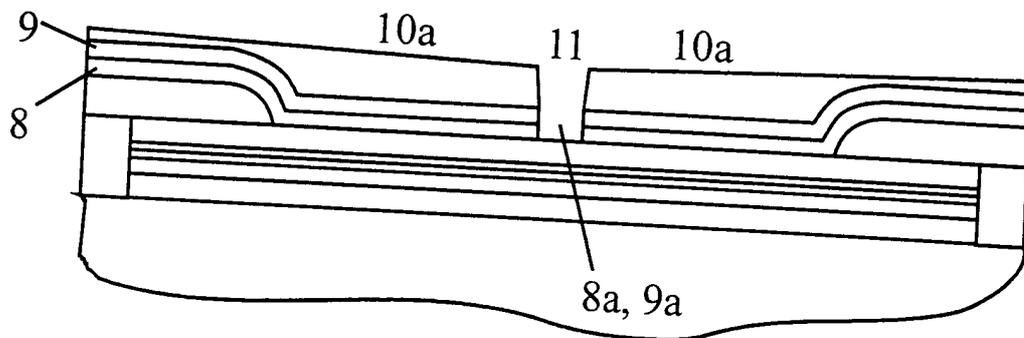


Fig. 1d

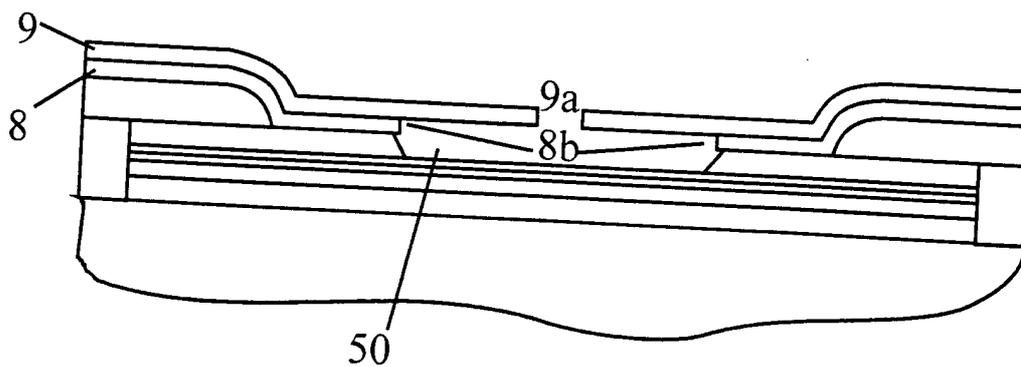


Fig. 1h

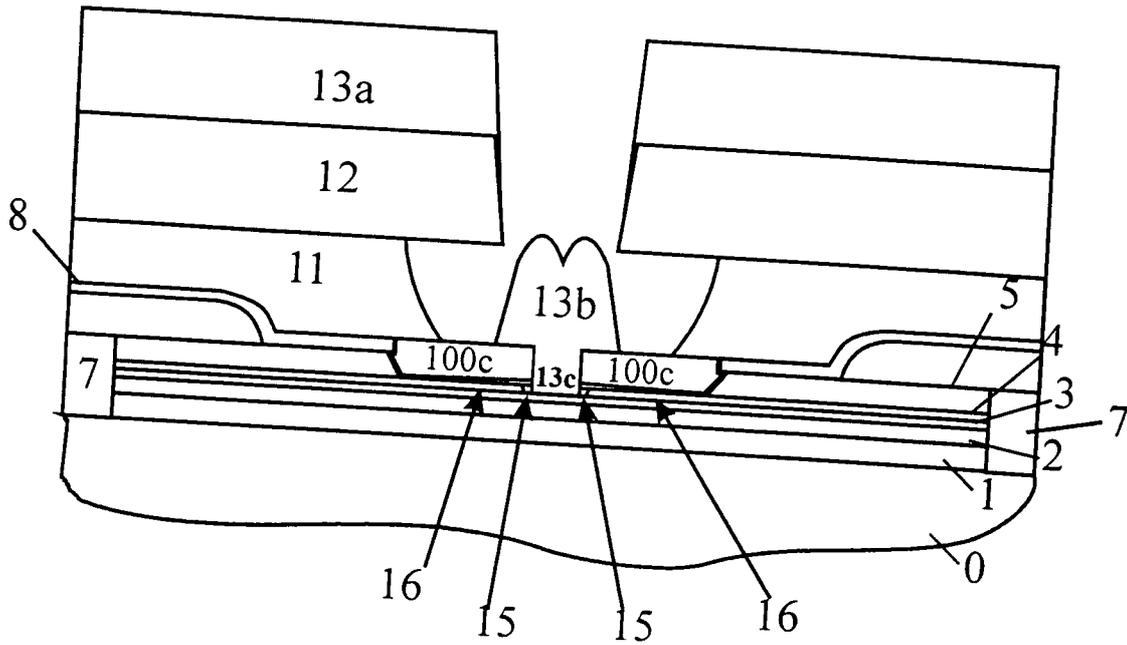


Fig. 1i

