



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 110188

(13) C2

(51) МПК

H01L 21/20 (2006.01)

H01L 29/862 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2014 14111	(72) Винахідник(и): Новосядлий Степан Петрович (UA), Варварук Василь Миколайович (UA), Мельник Любомир Васильович (UA)
(22) Дата подання заявки:	29.12.2014	(73) Власник(и): ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД "ПРИКАРПАТСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ВАСИЛЯ СТЕФАНИКА", вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	25.11.2015	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 72058 U, 10.08.2012, UA 32802 A, 15.02.2001, UA 42200 U, 25.06.2009, RU 2165661 C1, 20.04.2001, WO 03/096433 A1, 20.11.2003, US 2014/0363959 A1, 11.12.2014, US 2010/0244049 A1, 30.09.2010, US 3022452 A, 20.02.1962, US 3355638 A, 28.11.1967, Пасынков В.В. Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы, М.: Высшая школа. - 1987. - С. 139-143.
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.06.2015, Бюл.№ 11	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.11.2015, Бюл.№ 22	

## (54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ТОЧКОВИХ НВЧ-ДІОДІВ З МАЛИМ ЧАСОМ ПЕРЕКЛЮЧЕННЯ І ВІДНОВЛЕННЯ

## (57) Реферат:

Винахід належить до галузі електронної техніки, а саме до технології виготовлення мікроелектронних приладів НВЧ-діапазону. Спосіб формування точкових НВЧ-діодів полягає у виготовленні кристала, тримачів кристала, контактної пружини і корпусних деталей. При цьому кристал виготовляють за низькотемпературною гетероепітаксійною плазмовою технологією формування ізотипних n-p-n-переходів із германію чи арсеніду галію на монокремнієвих підкладах n-типу. Контактну пружину формують із вольфрамово-молібденового дроту і після приварювання до нікелевого тримача кристала, електролітично загострюють до радіуса 10-15 мкм та алюмінують сплавом АКГ<sub>0</sub>-1-1 (алюміній-кремній-гольмій). Низькотемпературну гетероепітаксію германію чи арсеніду галію здійснюють у плазмовому реакторі електронно-циклотронного резонансу. Зменшення розупорядкування між постійними ґратками Si-підкладки та гетерошарів германію чи арсеніду галію - багатозарядною імплантацією германію (Ge<sup>++</sup>). Стоншення кристалів на Si-підкладах здійснюють хімічним травленням у кислотному травителі та формують на тильній стороні текстурований гетер. Технічним результатом винаходу є зменшення собівартості виготовлення та економія високодефіцитних матеріалів галію і германію.

UA 110188 C2



Винахід належить до галузі електронної техніки, а саме до мікроелектронних приладів НВЧ-діапазону.

Він може бути використаний в технології формування діодів з дуже малим часом переключення та відновлення, а також граничною частотою, більшою 100 ГГц.

Більшість НВЧ-діодів являють собою точкові діоди, випрямлення в яких проходить на контакті метал-напівпровідник. Особливістю таких контактів є можливість випрямлення без інжекції неосновних носіїв в кристал напівпровідника, тобто в базу діода. Саме відсутність інжекції неосновних носіїв приводять до відсутності процесів накопичення і розсмоктування неосновних носіїв в базі діода. Саме такі процеси обмежують частотний діапазон роботи більшості сучасних напівпровідникових діодів. Для виготовлення таких НВЧ-діодів використовують монокристали германію, кремнію або арсеніду галію, які визначають їх параметри.

Аналогом технічного рішення, що заявляється, є технологія формування точкових діодів [див. С. Зи "Физика полупроводниковых приборов". М: Мир, 1984 г., Т. 1, с. 69-135].

Тут точкові діоди - це напівпровідникові прилади, в яких використовуються основні носії і які застосовуються в ролі нелінійних елементів у масивних перетворювачах частоти на НВЧ. За своїми детекторними характеристиками такі діоди аналогічні діодам на р-n-переході, але на відміну від останніх - не мають ємності для накопичення заряду неосновних носіїв заряду. Крім того, точковий заряд р-n-перехід зумовлюється не тільки вплавленням металу в напівпровідник, але і зміною його електропровідності під дією тиску контактної пружини.

Тобто в області домішкової електропровідності, остання змінюється за рахунок гідростатичного тиску вольфрамової контактної пружини, покритої алюмінієм чи його сплавом, за рахунок:

1) зміни концентрації електронів, що може проходити із-за зміни глибини заміщення домішкових рівнів або ширини забороненої зони з тиском;

2) зміни часу релаксації з тиском, яке може виникати через зміни фононного спектра при деформації кристалічної ґратки;

3) зміни ефективної маси носіїв заряду (електронів).

Тому такі точкові діоди широко використовують у перетворювачах частоти, так як при перетворенні з пониженням частоти зміна ємності є небажаною.

Як бачимо, дана конструкція і технологія аналога має ряд недоліків, а саме:

1) досить важко забезпечити герметичність керамічної конструкції з малим натіканням;

2) складність у виконанні операції стоншення пластини для товщини кристалів <100 мм для германію та арсеніду галію, із-за їх крихкості;

3) такий р-n-перехід формується за рахунок деформації кристалічної ґратки напівпровідникового кристала і дає завищений перехідний опір контакту, що впливає на величину прямої напруги, та часу переключення;

4) висока крихкість германію і арсеніду галію не дозволяє використовувати вихідні пластини діаметром >40 мм;

5) верхня межа температури для германієвих точкових діодів, не перевищує +75 °С, що є досить низькою для активних елементів сучасної мікроелектроніки;

6) таким чином сформований р-n перехід має завищені нестабільні обернені струми, що негативно впливають на їх надійність і безвідмовність.

7) генераційно-рекомбінаційні процеси на точковому сферичному р-n-переході зумовлюють високе значення шуму >2 дБ на частотах >25 ГГц і його нестабільність.

8) зважаючи на обмеження ресурсів Ge і Ga (<10<sup>-4</sup> %) в природі, економічна ефективність використання НВЧ-діодів даного конструкторсько-технологічного рішення є обмеженою.

Звідси впливає необхідність зміни як технології формування точкових НВЧ-транзисторів так і їх конструкторського виконання.

Іншим аналогом є точковий діод D18, який формується на германієвому кристалі в скляному паяному корпусі з використанням алюмінованої вольфрамової пружини, [див. Хрулев А.К., Черепанов В.П., Савельев Ю.Н. "Диоды и их зарубежные аналоги." - Справочник. В 3 томах. - М.: ИП РадиоСофт, 2000. - 704 с., ил.]

До недоліків другого аналога можна віднести, крім вище переліченого, низькі герметичність та термопольову стабільність.

Прототипом винаходу є конструкція і технологія виготовлення НВЧ-діода, яка призначена для їх використання в направлених системах НВЧ-пристроїв (див. В.В. Пасінов, П.К. Чиркин, А.Д. Шанков "Полупроводниковые приборы" - М: Высшая школа 1981 ст. 141-145).

Корпус НВЧ-діода патронно-коаксимальної конструкції складається із 2-х металевих фланців, розділених керамічною втулкою. На нижньому фланці закріплений кристалотримач із

напівпровідниковим стоншеним кристалом (Ge, Si, GaAs). А у верхньому фланці штифт налаштування із вольфрамовою пружиною, яка має вичини в обидві сторони від осі. Саме такий двосторонній згин зменшує тангенціальну складову сили тиску в точці контакту і запобігає ковзанню пружини по кристалу. Для підвищення поверхневої провідності, покращення контакту, корозійної стійкості металеві фланці сріблюють або золотять.

З метою зменшення власної ємності та індуктивності точкових НВЧ-діодів в ролі корпусу використовують безпосередньо елементи хвильовидних систем. Для роботи в коаксіальних фідерних лініях застосовують коаксіальну конструкцію НВЧ-діода.

Еквівалентна схема НВЧ-діода, крім опору розтікання  $Z_6$ , ємності переходу  $C_{бар}$  і опору переходу  $Z_{пер}$  включає в себе індуктивність контактної пружини  $L$  та ємність патрона корпусу  $C_{корп}$ . Представити точковий діод у вигляді еквівалентної схеми із зосередженими параметрами можна, якщо лінійні розміри (товщина переходу, радіус переходу) є малими в порівнянні з довжиною хвилі. Товщина випрямляючого шару в такому точковому НВЧ-діоді має величину порядку 0,05-0,1 мкм і не визначає частоту, до якої можна використовувати дану еквівалентну схему. Напівсферична область кристала, яка визначає опір бази  $Z_6$  примикає до точкового контакту і має радіус в декілька мікрон (1-6 мкм). Тому відповідно опір розтікання можна подати в еквівалентній схемі у вигляді зосередженого параметра навіть до довжин хвиль порядку 0,1 мікрометра. Вже розміри конструктивних елементів НВЧ-діода навіть в діапазоні довжин менше 3 см є вже співрозмірні з довжиною хвилі. При цьому індуктивність контактної пружини і ємність патрона можна розглядати як зосереджені для даних конструкцій (патронно-коаксіальна, патронно-хвильовидна). Як бачимо із еквівалентної схеми в такому діоді може бути паралельний і послідовний резонанс. Важливою характеристикою точкових НВЧ-діодів є коефіцієнт шуму, який визначається генераційно-рекомбінаційними процесами в точковому сферичному р-п-переході, які задаються якістю кристала, контактної пружини та режимом електроформування.

Якщо точковий НВЧ-діод використовується як відеодетектор, то ще важливою характеристикою його є велика зворотність струмів, добротність і коефіцієнт стоячої хвилі.

Статичні вольт-амперні характеристики точкових НВЧ-діодів відрізняються від статичних ВАХ височастотних діодів: у НВЧ-діодів пробивна напруга є значно нижчою. Її величина визначається так, що для виготовлення НВЧ-діодів використовують сильне легування напівпровідника для зменшення шару розтікання бази і часу життя неосновних носіїв. Так, основними параметрами германієвих точкових НВЧ-діодів типу D602A і D18 є:

- номінальна робота довжини хвилі - 1-3 мм;
- чутливість за струмом (при потужності 0,02 мВт)  $< 1,5 \text{ A/Вт}$ ;
- добротність більше  $15 \text{ Вт}^{-1/2}$ ;
- КСХН - 3-4;
- випрямлений струм (при потужності 0,5 мВт) 0,4-0,5 мА;
- пряма напруга, менше 0,5 В;
- час переключення  $1 \div 10 \text{ нс}$ .

Як бачимо з опису конструктивного виконання, основними технологічними процесами, які визначають параметри точкових НВЧ-діодів прототипу, є формування тримача з контактною пружиною, тримача стоншеного напівпровідникового кристала, формування р-п-переходу електроформовкою та складання всіх вузлів в герметичний корпус.

До недоліків прототипу слід віднести:

1) генераційно-рекомбінаційні процеси сформованих р-п-переходів визначаються якістю германієвого кристала, електролітичного загострення контактної пружини та режимом електроформування;

2) опір розтікання бази  $Z_6$  задається питомим опором напівпровідникового кристала (Ge, Si, GaAs), що впливає на шумові характеристики;

3) хімічний процес стоншення напівпровідникових германієвих пластин для кристалів до товщини 70-100 мкм є нестабільним в часі і залежить від ряду технологічних факторів (матеріалу, температури, складу травника, способу фільтрації травника);

4) вміст германію і галію в природі є обмеженим ( $< 10^{-4} \%$ ), що обмежує використання пластин діаметром більше 40 мм для германію чи арсеніду галію;

5) частотний діапазон і швидкодія визначається рухливістю носіїв заряду і часом їх життя, що обмежує використання кремнієвих кристалів;

6) сформовані електроформуванням вольфрамової пружини р-п-переходи не забезпечують високої стабільності обернених струмів та прямої напруги;

7) відсутні технологічні фактори для регулювання коефіцієнту шуму його зменшенням;

8) низька герметичність паяної конструкції діода;

9) переключаючи НВЧ-діод із стану паралельного резонансу в стан послідовного резонансу шляхом зміни полярності постійного зміщення, можна різко змінювати повний опір в НВЧ-тракті і комутувати його для необхідної НВЧ-потужності. Для цього необхідно, щоб опір розтікання бази  $Z_b$  був досить малим і його можна було б технологічно змінювати.

5 Винахід створено з метою економії високодефіцитних матеріалів галію і германію, а також здешевлення технології виготовлення точкових НВЧ-діодів.

Суть винаходу полягає у виготовленні кристала, тримачів кристала, контактної пружини і корпусних деталей, який досягається тим, що кристал виготовляють за низькотемпературною гетероепітаксійною плазмовою технологією формування ізотипних n-p-n-переходів із германію чи арсеніду галію на монокремнієвих підкладках p-типу, а контактну пружину формують із вольфрамово-молібденового дроту і після приварювання до нікелевого тримача кристала, електролітично загострюють до радіуса 10-15 мкм та алюмінують сплавом АКГ<sub>0</sub>-1-1 (алюміній-кремній-гольмій), причому низькотемпературну гетероепітаксію германію чи арсеніду галію здійснюють у плазмовому реакторі електронно-циклотронного резонансу, а зменшення розупорядкування між постійними ґратками Si-підкладки та гетерошарів германію чи арсеніду галію - багатозарядною імплантацією германію (Ge<sup>++</sup>) з енергією E=50-100 кеВ і дозою 10-85 мкА/см<sup>2</sup>, стоншення кристалів на Si-підкладках здійснюють хімічним травленням у кислотному травителі складу HF:HNO<sub>3</sub>:CH<sub>3</sub>COOOH=1:3:2÷3 до товщини 70-100 мкм та формують на тильній стороні текстурований гетер.

20 Запропонований спосіб реалізується епітаксійно-планарною технологією виготовлення кристала, загостреною пружиною до радіуса 10-15 мкм та алюмінуванню сплавом АКГ<sub>0</sub>-1-1 згідно з наступних технологічних мікроциклів:

Кристал формується на монокремнієвих підкладках КЕФ 0,1 орієнтацією (111) діаметром 100 або 150 мм з послідовним вирощуванням на них епітаксійних гетерошарів із германію або арсеніду галію товщиною 1-6 мкм з питомим опором 0,25÷2 % Ом·см. Для зменшення розупорядкування між постійними ґратки підкладки кремнію та гетерошарів в підкладку моно- Si, яка розорієнтована на кут 3,5-4° проводиться багатозарядна імплантація германію (Ge<sup>++</sup>) з енергією 50-100 меВ та дозою 10÷85 мкм (постійна ґраток для Si складає 5,43072 Å, для Ge-5,65748 Å, для GaAs-5,65315 Å).

30 Епітаксійне нарощування шарів германію або арсеніду галію проводиться методами газофазної, або молекулярно-променевої, або плазмової епітаксії з використанням моногерманію GeH<sub>4</sub> в атмосфері водню або металоорганічних сполук триметилгалію та триметилмиш'яку при температурі реакторів 650-780 °С.

35 Стоншення тильної сторони кремнієвих пластин (підкладок) із нанесеними гетерошарами моногерманію чи арсеніду галію проводиться хімічним травленням в травителі складу HNO<sub>3</sub>:HF:CH<sub>3</sub>COOOH=3:1:2. Селективність кислотного травителя на основі HNO<sub>3</sub>:HF:CH<sub>3</sub>COOOH зв'язані з наявністю в його складі надоктової кислоти, яка є регулятором швидкості травлення і утворення текстурованої поверхні різного ступеня в залежності від концентрації легуючих домішок, кисню та орієнтації поверхні. Оптимальний склад травителя 40 для формування гетера на тильній стороні Si-пластини: HF:HNO<sub>3</sub>:CH<sub>3</sub>COOOH=1:3:2÷3. Товщина травлення пластин складає 70-100 мкм і регулюється часом травлення для забезпечення вимог прямої напруги точкових НВЧ-діодів і легко реалізується на монокремнієвих підкладках.

Посадка розрізаних кристалів методом дискового скрайбування здійснюється на нікелевий кристалотримач за допомогою евтектичного сплаву AuGe(12) при температурі 425 °С.

45 Етап виготовлення тримача з контактною пружиною вимагає в себе формування пружини і вольфрам-молібденового дроту (МВ-50) та її зварювання з нікелевим тримачем. Після зварювання пружини з тримачем проводиться її електролітичне загострення з радіусом 10-50 мкм та алюмінування кінця пружини алюмінієвим сплавом АКГ<sub>0</sub>-1-1 (1 %- кремнію 1 %-гольмійю).

Етап складання в корпус проводиться шляхом монтування тримачів з кристалом та тримача пружини із вольфрамо-молібденового дроту для патронно-коаксіального конструктивного виконання.

Електричні параметри зібраних таким чином точкових НВЧ-діодів задаються процесом електроформування з утворенням точкового p-n-переходу в імпульсному режимі. В результаті формування алюміній з кінця пружини дифундує в моношари германію (арсеніду галію) і утворює силовий точковий p-n-перехід. Наявність кремнію в алюмінієвому сплаві чітко визначає величину і стабільність зворотного струму p-n-переходу, зменшуючи їх величину як мінімум на порядок до величини 10<sup>-9</sup> А, що зменшує рівень шумів. Сформовані таким чином сферичні p-n-переходи збільшують граничну частоту до 100-150 ГГц.

Для стабілізації параметрів сформованих таким чином точкових НВЧ-діодів на заключному етапі проводяться операції термостабілізації параметрів при  $T=+125^{\circ}\text{C}$  (48 год.) та електротермотренування при максимальній напрузі живлення при  $T=+125^{\circ}\text{C}$  (96 год.).

5 Переведення конструкторсько-технологічного використання з германію на епігерманій чи арсенід галію, зменшує собівартість виготовлення на 40-60 % і робить виробництво високотехнологічним з виходом придатних >80 %.

Із наведеного способу реалізації слідує можливість багаторазового промислового відтворення винаходу.

10

#### ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

1. Спосіб формування точкових НВЧ-діодів, що полягає у виготовленні кристала, тримачів кристала, контактної пружини і корпусних деталей, який **відрізняється** тим, що кристал виготовляють за гетероепітаксійною плазмовою технологією формування ізотипних п-п+переходів із германію чи арсеніду галію на монокремнієвих підкладках п-типу, а контактну пружину формують із вольфрамово-молібденового дроту і, після приварювання до нікелевого тримача кристала, електролітично загострюють до радіуса 10-15 мкм та алюмінують сплавом АКГ<sub>0</sub>-1-1, що містить алюміній, кремній та гольмій у співвідношенні 98:1:1.

20 2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що низькотемпературну гетероепітаксію германію чи арсеніду галію здійснюють у плазмовому реакторі електронно-циклотронного резонансу, проводять зменшення розупорядкування між постійними ґратками монокремнієвих підкладок та гетерошарів германію чи арсеніду галію багатозарядною імплантацією германію Ge++ з енергією  $E=50-100\text{ кеВ}$  і дозою  $10-85\text{ мкА/см}^2$ , а також стоншують кристали на монокремнієвих підкладках хімічним травленням у кислотному травителі складу  $\text{HF:HNO}_3:\text{CH}_3\text{COOH}$  у співвідношенні 1:3:2÷3 до товщини 70-100 мкм та формують на тильній стороні текстурований гетер.

25

---

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601