

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 83664

СПОСІБ СТВОРЕННЯ ОМІЧНОГО КОНТАКТУ ДО InP ТА GaAs

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **25.09.2013**.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

 М.В. Ковіня



(19) UA

(51) МПК
H01L 21/268 (2006.01)

(21) Номер заявки: **u 2013 03026**
(22) Дата подання заявки: **11.03.2013**
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **25.09.2013**
(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **25.09.2013, Бюл. № 18**

(72) Винахідники:
Беляєв Олександр Євгенович, UA,
Бобиль Олександр Васильович, UA,
Іванов Володимир Миколайович, UA,
Конакова Раїса Василівна, UA,
Кудрик Ярослав Ярославович, UA,
Новицький Сергій Вадимович, UA,
Саченко Анатолій Васильович, UA

(73) Власник:
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,
пр. Науки, 41, м. Київ-680, 03680, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ СТВОРЕННЯ ОМІЧНОГО КОНТАКТУ ДО InP ТА GaAs

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб створення омічного контакту до InP та GaAs, який включає очищення пластини, на яку у вакуумі в одному технологічному циклі напильють шари золота, германію, бориду або нітриду тугоплавкого металу та зовнішній контактний шар золота, після чого в інертній атмосфері проводять швидкий термічний відпал всієї структури, який **відрізняється** тим, що напильють спочатку шар золота, а потім шар германію однакових товщин, сумарна товщина яких складає 40-60 нм, товщина шару бориду або нітриду тугоплавкого металу становить 100-200 нм, а швидкий термічний відпал структури проводять при температурі 410-440 °C з тривалістю 10-30 сек.

Пронумеровано, прошито металевими
люверсами та скріплено печаткою
2 арк.
25.09.2013



Уповноважена особа

(підпис)



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA**

(11) **83664**

(13) **U**

(51) МПК

H01L 21/268 (2006.01)

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2013 03026**

(22) Дата подання заявки: **11.03.2013**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **25.09.2013**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **25.09.2013, Бюл.№ 18**

(72) Винахідник(и):

**Бєляєв Олександр Євгенович (UA),
Бобиль Олександр Васильович (UA),
Іванов Володимир Миколайович (UA),
Конакова Раїса Василівна (UA),
Кудрик Ярослав Ярославович (UA),
Новицький Сергій Вадимович (UA),
Саченко Анатолій Васильович (UA)**

(73) Власник(и):

**ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ
ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,
пр. Науки, 41, м. Київ-680, 03680 (UA)**

(54) СПОСІБ СТВОРЕННЯ ОМІЧНОГО КОНТАКТУ ДО InP ТА GaAs

(57) Реферат:

Спосіб створення омічного контакту до InP та GaAs включає очищення пластини, на яку у вакуумі в одному технологічному циклі напильють шари золота, германію, бориду або нітриду тугоплавкого металу та зовнішній контактний шар золота, після чого в інертній атмосфері проводять швидкий термічний відпал всієї структури. Напильють спочатку шар золота, а потім шар германію однакових товщин, сумарна товщина яких складає 40-60 нм, товщина шару бориду або нітриду тугоплавкого металу становить 100-200 нм, а швидкий термічний відпал структури проводять при температурі 410-440 °C з тривалістю 10-30 сек.

UA 83664 U

Корисна модель стосується способів створення омичних контактів метал-напівпровідник, що широко використовуються в напівпровідниковій мікро- та оптоелектроніці.

Постійний розвиток мікроелектроніки та її перехід в діапазон надвисоких частот гостро ставить проблему створення потужних генераторів міліметрового та субміліметрового діапазонів, до яких належить діод Ганна. Генератор Ганна за сукупністю своїх параметрів на сьогодні є одним з найкращих твердотілих напівпровідникових генераторів надвисокої частоти. Провідні науково-дослідницькі установи світу займаються дослідженням експериментальних зразків діодів Ганна, що працюють на частотах, близьких до 350 ГГц, проте їх потужність не перевищує 2 мВт. Більшість дослідницьких груп проводять дослідження фосфід індієвих та арсенід галієвих діодів Ганна на частотний діапазон 90-140 ГГц, так як, саме в цьому діапазоні досягається найвища потужність генераторів Ганна 100-130 мВт [1]. До незаперечних переваг генератора Ганна також належить низький шум та достатньо високе значення коефіцієнту корисної дії. Серед проблем, які необхідно вирішити для досягнення більших частот та потужності діодів, наразі найгостріше постала проблема створення низькоомних омичних контактів на діапазон робочих температур генератора Ганна (80-400 К). Зменшення контактного опору омичних контактів має важливе значення, не тільки для роботи генератора Ганна, а і для всієї напівпровідникової мікроелектроніки в цілому.

Виявилось, наприклад, що в області робочих температур діода Ганна, питомий контактний опір омичного контакту ρ_c може суттєво перевищувати величину ρ_c при кімнатній температурі, а традиційні корпуси НВЧ діодів - неефективні в терагерцовому діапазоні. Тому, пошук шляхів вирішення цих задач являється актуальним не тільки в прикладному плані, з точки зору покращення параметрів діодів Ганна, але і в теоретичному - з точки зору розрахунку температурної залежності питомого контактного опору омичного контакту і моделі формування контакту з більш слабкою температурною залежністю, ніж ті, що використовуються зараз в промисловості. Відповідно, зменшення контактного опору є важливим аспектом при виробництві НВЧ генераторів.

Відомий спосіб зменшення контактного опору омичних контактів до GaAs [2] (аналог), що полягає в послідовному осадженні на поверхню напівпровідника шарів Ge, Au, Ni методом електронно-променевого випаровування у вакуумі. Товщини плівок Ge та Au відповідають евтектичному складу AuGe (Ge-12 %, Au-88 %), сумарна товщина плівок Au та Ge становить 100-150 нм, а товщина плівки Ni-10-50 нм. Після напилення контакт піддають термічній обробці, внаслідок чого відбувається рідкофазне перемішування плівок Au, Ge, Ni та GaAs. Дифундуючи з підкладки до поверхні контакту, атоми Ge займають вакантні місця атомів Ge в кристалічній ґратці GaAs і діє як електрично активна донорна домішка. Верхня плівка Ni шляхом зменшення поверхневого натягу рідкої фази зменшує агломерацію евтектичного сплаву AuGe в краплі. До недоліків даного способу відносяться велика глибина рекристалізованої області, недостатньо низький контактний опір, низька термостабільність електричних параметрів контакту, що обумовлена порівняно низькою температурою плавлення фази AuGe ($T = 370^\circ\text{C}$).

Відомий спосіб зменшення опору омичного контакту до GaAs [3], обраний нами за прототип, що полягає у очищенні поверхні пластини напівпровідника, нанесенні подвійного шару фоторезисту, напиленні шару Ge, а потім шару Au із співвідношенням, що відповідає евтектичній композиції (12 та 88 вагових % відповідно) з сумарною товщиною шарів 50-300 нм, методом електронно-променевого та/або термічного випаровування у вакуумі. Після чого нанесено шар Ni товщиною 10-100 нм, за ним дифузійно-бар'єрний шар товщиною 10-200 нм, шляхом напилення боридів або нітридів тугоплавких металів, для якого можуть бути використані будь-який із перерахованих елементів: Ti, Ta, W, Cr, Pt, Pd, TiW, TiN, TaN чи WN. Останнім наноситься зовнішній контактний шар золота з товщиною 10-1000 нм. Наступний кроком є видалення двошарової фоторезистивної маски та термічна обробка тривалістю 1-30 хв., або швидкий термічний відпал (ШТВ) тривалістю 30-300 сек. при температурі 320-460 $^\circ\text{C}$ в інертній атмосфері. Відпал контактної структури стимулює утворення фаз на межі метал-напівпровідник з роботою виходу меншою, ніж в напівпровідника, в результаті чого зменшується опір контакту.

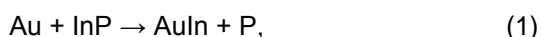
Безумовними перевагами цього методу є достатньо висока температурна стабільність контакту обумовлена використанням в контактній металізації дифузійного бар'єру у вигляді тугоплавких металів та їх сплавів. Проте поряд і з перевагами існують наступні недоліки, а саме порівняно високе значення контактного опору ($2,1 \cdot 10^{-5}$ Ом·см² при температурі ШТВ 420 $^\circ\text{C}$), що очевидно обумовлено утворенням різних фаз з великою роботою виходу та неконтрольованим профілем розподілу Ge в поверхневому шарі напівпровідника.

Задачею корисної моделі є зменшення опору омичного контакту метал-напівпровідник в діапазоні температур 80-400 К при збереженні високої температурної стабільності.

Поставлена задача вирішується способом, який включає в себе очищення пластини InP чи GaAs, на яку у вакуумі в одному технологічному циклі спочатку напилюють шар золота, а потім германію однакових товщин з сумарною товщиною шарів Au та Ge 40-60 нм, шар бориду або нітриду тугоплавкого металу з товщиною 100-200 нм, та зовнішній контактний шар золота, після чого в інертній атмосфері проводять швидкий термічний відпал всієї структури при температурі 410-440 °C з тривалістю 10-30 сек.

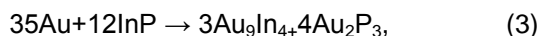
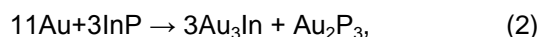
Необхідність очищення поверхні напівпровідника зумовлена наявністю оксидів і сторонніх домішок, що негативно впливають на стабільність і величину опору контакту. Шари Au та Ge, що напилюють перед дифузійним бар'єром, при відпалі утворюють золотогерманієву евтектику, яка зарекомендувала себе, як гарний контактоутворюючий матеріал для напівпровідників типу A³B⁵, до яких власне і належать GaAs та InP. Процес нанесення золота перед германієм має важливу технологічну задачу, так як порядок напівпровідник-Au-Ge забезпечує інтенсивніший масоперенос Ge в InP та GaAs ніж при порядку напилення напівпровідник-Ge-Au. Товщини шарів Au та Ge однакові і в сумі складають 40-60 нм, така товщина необхідна для утворення евтектики AuGe та проникнення надлишків Ge в приповерхневий шар напівпровідника, утворюючи цим самим тонкий приповерхневий сильнолегований шар напівпровідника (сходінку легування). Шар нітриду чи бориду тугоплавкого металу виконує функцію дифузійного бар'єру, що запобігає взаємодифузії між верхнім та нижніми компонентами металізації і цілком виключає можливість проникнення верхнього шару золота вглиб напівпровідника. Товщина дифузійного бар'єру 100-200 нм виявляється цілком достатньою для виконання покладеної на нього функції. Верхній шар золота необхідний для включення приладу в зовнішнє коло, його товщина обиралася з розрахунку економічної раціональності використання.

Термообробка в інтервалі температур 410-440 °C структури Au-Ge призводить до перерозподілу елементів контакту та виникненню інтерметалічних з'єднань і твердих розчинів. При розкладі фосфіду індію на границі розділу з InP (GaAs), золото виступає в ролі селективного поглинача індію



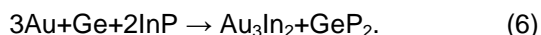
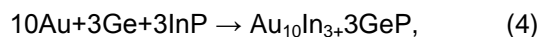
створюючи вакансії для германію. Якщо вакансій більше, ніж їх здатні заповнити атоми германію, то ці вакансії можуть бути заповненими атомами Au. При цьому може виникнути високоомний шар в приконтактній області, що погіршує (збільшує) контактний опір. В протилежному випадку утворюється n⁺-n сходінка, за рахунок підлегкування n-InP германієм.

Під час термообробки при T=400 °C відбувається міжфазна взаємодія в контакті Au-InP відповідно до реакцій:



і утворенням фаз Au₃In та Au₉In₄.

Між Au, Ge, In та P можливі також реакції



Факторами, що регулюють процес фазоутворення являються температура, відсоткове співвідношення компонентів та час термообробки.

Для реалізації способу, на попередньо очищену поверхню пластини фосфіду індію або арсеніду галію, пошарово в одному технологічному циклі магнетронним випаровуванням у вакуумі наносилися шари контактної металізації в послідовності Au (25 нм), Ge (25 нм), TiB₂ (100 нм) та верхній шар Au (200 нм). Потім проводилась швидка термічна обробка при температурі 410 °C, що реалізується за допомогою п'яти ламп КГ2000 з максимальною сумарною потужністю 10 кВт тривалістю 30 сек. В такому режимі термообробки спостерігається менший перерозподіл елементів контактних структур і менша величина контактної опору порівняно із прототипом, більш тривалими, режимами термообробки (10-30 хв. при температурах, що перевищують евтектичні).

Величина питомого контактного опору вимірювалася TLM методом при робочих температурах від 100 до 380 К. Експериментально отримані результати гарно описуються теоретичними розрахунками [4], коренева залежність питомого контактного опору від температури свідчить про існування сходинки легування.

На кресленні наведені експериментальні залежності питомого контактного опору від температури для контакту Au-Ge-TiB₂-Au до InP. Об'ємний рівень легування матеріалу складає $9 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Як видно з малюнка, залежність має зростаючий характер. Для зразка, який пройшов швидкий термічний відпал при температурі 410 °С з тривалістю 30 сек., отримане значення питомого контактного опору при кімнатній температурі становить $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, що менше, ніж в прототипі, де це значення складає $2,1 \cdot 10^{-5} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$.

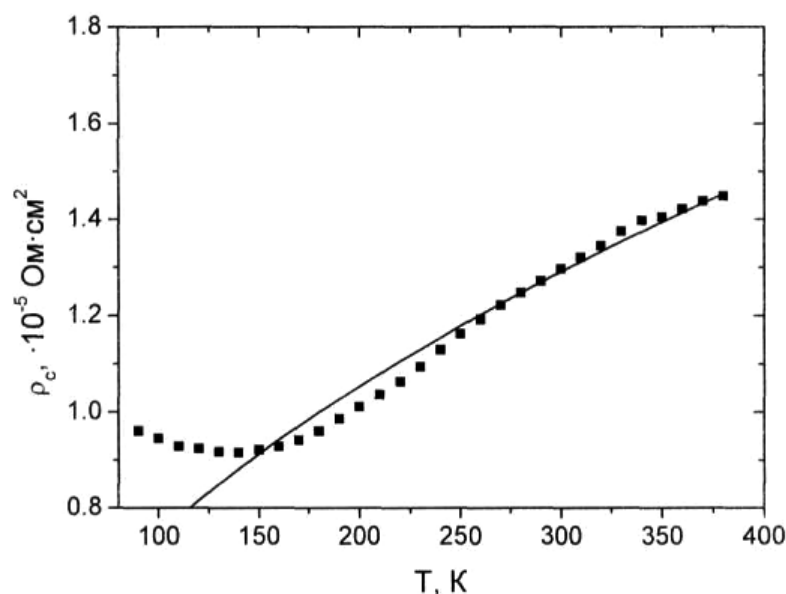
Таким чином зазначений спосіб формування омичного контакту до фосфіду індію та арсеніду галію дозволяє створювати омичні контакти з меншим значенням контактного опору, ніж в прототипі, при цьому температурна стабільність не зазнає змін.

Джерела інформації:

1. Eisele H. Submillimeter-wave InP Gunn devices / Eisele H., Kamoua R. // IEEE Trans. Microw. Theory Techn.-2004. - V. 52, No. 10. - P. 2371-2378.
2. Аналог. Бланк Т.В. Механизмы протекания тока в омических контактах металл-полупроводник. Обзор / Бланк Т.В., Гольдберг Ю. А. // ФТП.-2007. - Т. 41, № 11. - С. 1281-1308.
3. Прототип. Пат. 2407104 Российская Федерация, МПК H01L 21/28, B82B 3/00. Способ изготовления многослойного омического контакта к n-GaAs / Ерофеев Е.В., Кагадеев В.А.; заявитель и патентообладатель ЗАО "НПФ Микран". - № 2009129813/28; заявл. 03.08.09; опубл. 20.12.10, Бюл. № 35.
4. Mechanism of contact resistance formation in ohmic contacts with high dislocation density / A.V. Sachenko, A.E. Belyaev, N.S. Boltovets, R.V. Konakova, Ya.Ya. Kudryk, S.V. Novitskii, V.N. Sheremet, J. Li, S.A. Vitusevich // J. Appl. Phys.-2012. - N.111-P. 083701.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб створення омичного контакту до InP та GaAs, який включає очищення пластини, на яку у вакуумі в одному технологічному циклі напильють шари золота, германію, бориду або нітриду тугоплавкого металу та зовнішній контактний шар золота, після чого в інертній атмосфері проводять швидкий термічний відпал всієї структури, який **відрізняється** тим, що напильють спочатку шар золота, а потім шар германію однакових товщин, сумарна товщина яких складає 40-60 нм, товщина шару бориду або нітриду тугоплавкого металу становить 100-200 нм, а швидкий термічний відпал структури проводять при температурі 410-440 °С з тривалістю 10-30 сек.



Комп'ютерна верстка М. Мацело

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