



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 114924

(13) U

(51) МПК

H01L 39/22 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2016 10258**

(22) Дата подання заявки: **10.10.2016**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **27.03.2017**

(46) Публікація відомостей **27.03.2017, Бюл.№ 6**  
про видачу патенту:

(72) Винахідник(и):

**Шаповалов Андрій Петрович (UA),  
Пріхна Тетяна Олексіївна (UA),  
Шатернік Володимир Євгенович (UA)**

(73) Власник(и):

**ІНСТИТУТ НАДТВЕРДИХ МАТЕРІАЛІВ ІМ.  
В.М. БАКУЛЯ НАН УКРАЇНИ,  
вул. Автозаводська, 2, м. Київ, 04074 (UA),  
Шаповалов Андрій Петрович,  
вул. Російська, 84, кв. 58, м. Київ, 02099  
(UA),  
Пріхна Тетяна Олексіївна,  
вул. Вишгородська, 33, кв. 20, м. Київ, 04074  
(UA),  
Шатернік Володимир Євгенович,  
Дарницький бульвар, 8, кв. 72, м. Київ,  
02192 (UA)**

(74) Представник:

**Клименко С.А.**

## (54) СПОСІБ СТВОРЕННЯ ГІБРИДНОГО ТУНЕЛЬНОГО ПЕРЕХОДУ З ТРАНСПОРТОМ ЗАРЯДУ В БАР'ЄРІ ЧЕРЕЗ КВАНТОВІ ТОЧКИ

(57) Реферат:

Спосіб створення гібридного тунельного переходу включає створення на діелектричній підкладці металевої плівки нижнього електрода шару першого бар'єру із ізолятора певної товщини ( $h_1 \sim 0 \div 10$  нм), шару матеріалу, що забезпечує транспорт заряду в бар'єрі через квантові точки, шару другого бар'єру та верхнього електрода. Шар матеріалу, що забезпечує транспорт заряду в бар'єрі через квантові точки, виконують як шар композитного матеріалу товщиною ( $h_2 \sim 3 \div 30$  нм) таким чином, що він являє собою аморфну діелектричну матрицю з розміщеними в ній нанокластерами металів, і який створений шляхом одночасного осадження з двох мішеней, що виготовляють одну з діелектричного, а іншу з металевого консолідованих матеріалів.

UA 114924 U



Корисна модель належить до галузі технології створення нових типів елементів наноелектроніки з квазіодновимірним транспортом заряду, зокрема гібридних переходів Джозефсона, з метою використання їх у складі надпровідних перемикачів та квантових кубітів. Очікується, що такі елементи можуть стати базовими елементами надшвидкодіючих цифрових схем надпровідних суперкомп'ютерів, які забезпечать підвищення енергоефективності та швидкодії комп'ютерних систем.

Тривалий час спроби виготовлення квантових точок у вигляді нанокристалів та приладів на їх основі базувалися на використанні "традиційних методів", таких як: селективне травлення структур з квантовими ямами, вирощування квантових точок на профільованих підкладках та конденсація їх у скляних матрицях. Якісний прорив у даній області настав тоді, коли для створення квантових точок в бар'єрі почали використовувати ефекти самоорганізації напівпровідникових структур у гетероепітаксійних напівпровідникових системах. Таким чином були виготовлені гетероструктури з квантовими точками високої кристалічної досконалості, що мали достатньо високий квантовий вихід випромінювальної рекомбінації та мали високий ступінь однорідності за розмірами ( $\sim 10\%$ ). При дослідженні цих структур були вперше продемонстровані унікальні фізичні властивості квантових точок та отримані перші оптоелектронні прилади на їх основі, наприклад інжекційні гетеролазери на квантових точках, світловипромінюючі пристрої тощо (А.П. Шпак, Ю.А. Куницький, О.О. Коротченков, С.Ю. Смик "Квантові низькорозмірні системи". - Академперіодика, 2003).

Близьким за технічним рішенням до способу формування нового типу гібридного тунельного переходу є спосіб формування композитного матеріалу для фотонних застосувань (Cattaruzza, E., Battaglin, G., Gonella, F., Polloni, R., Scremin, B. F., Mattei, G., P.Mazzoldi and C.Sada, "Au-Cu nanoparticles in silica glass as composite material for photonic applications" // Applied Surface Science, 2007. - Vol. 254. - P. 1017). Вищезгаданим способом композитний матеріал товщиною 1-2 мкм формується на діелектричній підкладці при одночасному магнетронному осадженні з двох мішеней як аморфної діелектричної матриці так і нанокластерів металів, що рівномірно розташовані в цій матриці. В залежності від технологічних умов формування композитного матеріалу нанокластери металу мали певний статистичний розподіл своїх розмірів у діапазоні від 1 до 30 нм. Зображення композитного матеріалу  $\text{SiO}_2$  з нанокластерами Au-Cu для фотонних застосувань, одержане скануючим електронним мікроскопом, представлено на фіг. 1. Гістограму розподілу розмірів металевих нанокластерів у матриці наведено на вставці фігури.

Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб створення тунельного переходу з несиметричним подвійним бар'єром (Iovan A., Haviland D. B., Korenivski V. "Diode effect in asymmetric double-tunnel barriers with single-metal nanoclusters" // Applied physics letters, 2006. - Vol. 88. - P. 163503), при якому формують (див. фіг. 2) тунельний перехід послідовним нанесенням на діелектричну підкладку в єдиному вакуумному циклі (1) металевої плівки нижнього електрода (2), шару першого бар'єру у вигляді плівки ізолятора певної товщини і (3) на її поверхні формують окремі металеві нанокластери. Як верхній електрод застосовують голку скануючого тунельного мікроскопа, яку наближують до поверхні нанокластера на певну відстань, що формує другий бар'єр у вигляді вакуумного проміжку. За рахунок ефекту кулонівської блокади на квантовому рівні (про що свідчать наявні струмові сходи на вольт-амперній характеристиці (ВАХ) переходу фіг. 3) досягається дуже значний діодний ефект (див. на фіг. 4 співвідношення позитивного  $I_{\text{pos}}$  та негативного  $I_{\text{neg}}$  струмів  $RR (|I_{\text{pos}}/I_{\text{neg}}|)$ , виміряні при різних напругах на переході).

Недоліками відомого способу є те, що при його реалізації виникають великі конструктивні складнощі інтегрування в практичні електронні схеми створеної за цим способом багатощарової структури із точковим контактом.

В основу корисної моделі поставлена задача - розробити спосіб створення тунельного переходу з квазіодновимірним транспортом заряду в нового типу гібридному тунельному бар'єрі шляхом реалізації транспорту зарядів через окремі нанокластери металу композитного матеріалу бар'єру, що формується у вигляді діелектричної матриці з нанокластерами металу в ній.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі створення гібридного тунельного переходу, що включає послідовне нанесення на діелектричну підкладку металевої плівки нижнього електрода шару першого бар'єру із ізолятора певної товщини ( $h_1 \sim 0 \div 10$  нм), шару матеріалу, що забезпечує транспорт заряду в бар'єрі через квантові точки ( $h_2 \sim 3 \div 30$  нм), формування другого бар'єру певної товщини ( $h_3 \sim 0 \div 10$  нм) та верхнього електрода, згідно з корисною моделлю, шар матеріалу, що забезпечує транспорт заряду в бар'єрі через квантові точки, формують як шар композитного матеріалу товщиною ( $h_2 \sim 3 \div 30$  нм) таким чином, що він являє собою аморфну діелектричну матрицю з розміщеними в ній нанокластерами металів,

композитний матеріал створюється шляхом одночасного осадження компонент з двох мішеней, що виготовляють одну з діелектричного, а іншу з металево консолідованих матеріалів; причому створюють певні технологічні умови, в яких за рахунок самоорганізації структури композитного матеріалу він отримує такі характерні особливості, як існування в його структурі окремих нанокластерів металу, що займають всю товщину шару цього композитного матеріалу; а шар другого бар'єру формують як шар бар'єру із ізолятора певної товщини ( $h_3 \sim 0 \div 10$  нм) та як верхній електрод застосовують шар металевої плівки. Товщини шарів бар'єру ( $h_1$  та  $h_3 \sim 0 \div 10$  нм) із ізолятора вибирають в залежності від матеріалу бар'єру таким чином, щоб тунельний струм через перехід досягав необхідних значень. Мінімальна товщина шару композитного матеріалу ( $h_2 \sim 3$  нм) обумовлена необхідністю формування суцільного шару композитного матеріалу, а максимальна товщина шару композитного матеріалу ( $h_2 \sim 30$  нм) - необхідністю збереження такої особливості цього композитного матеріалу, як існування в його структурі окремих нанокластерів металу, що займають всю товщину шару цього композитного матеріалу гібридного тунельного бар'єру.

Як приклад покажемо як запропонованим способом створюємо джозефсонівський перехід з квазіодновимірним транспортом заряду в нового типу гібридному тунельному бар'єрі. На діелектричній підкладці послідовно формуємо шар металевої плівки нижнього електрода (товщиною 100 нм із надпровідного сплаву MoRe), шар гібридного бар'єру композитного матеріалу ( $h \sim 10$  нм - одночасним осадженням кремнію та вольфраму) та металевої плівки верхнього електрода (товщиною 100 нм із надпровідного сплаву MoRe). В даному разі бар'єри із ізолятора певної товщини взагалі не формувались, тобто мали нульову товщину ( $h_1 = 0$  нм,  $h_3 = 0$  нм). Створені за запропонованим способом переходи Джозефсона мають рекордно високі значення характеристичної напруги переходу  $I_C R_N$  (добутку критичного надпровідного струму Джозефсона переходу  $I_C$  на його опір у нормальному стані  $R_N$ ) (див. фіг. 6), про що свідчать їх вольт-амперні характеристики. Ці переходи є топологічно захищеними, про що свідчить залежність вигляду ВАХ переходів від величини прикладеного зовнішнього магнітного поля  $H$  (див. фіг. 7), так критичний струм Джозефсона  $I_C$  таких переходів не демонструє Фраунгоферової залежності  $I_C(H)$ , яка притаманна звичайним переходам Джозефсона, а зростає в магнітному полі  $H = 100$  мТл.

Гібридний тунельний бар'єр, до складу якого входить шар композиційного матеріалу, що являє собою аморфну діелектричну матрицю з розміщеними в ній окремими нанокластерами металу, що займають всю товщину композиційного матеріалу, дозволить створити тунельний перехід з квазіодновимірним транспортом заряду крізь нього, який легко інтегрується у практичні електронні схеми і дозволить створити на його основі електронні прилади з підвищеними характеристиками транспорту зарядів за рахунок використання тунельних явищ на квантовому рівні. Ці властивості вищезгаданих переходів Джозефсона роблять їх перспективними щодо використання в складі надпровідних квантових інтерферометрів, фазових кубітів, оскільки підвищують для них коефіцієнт перетворення магнітний потік - напруга, а також щодо використання їх в складі елементів швидкої одноквантової логіки (RSFQ) комірок надпровідникового комп'ютера та стандартів напруги, оскільки підвищують їх височастотні характеристики.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб створення гібридного тунельного переходу, що включає створення на діелектричній підкладці металевої плівки нижнього електрода шару першого бар'єру із ізолятора певної товщини ( $h_1 \sim 0 \div 10$  нм), шару матеріалу, що забезпечує транспорт заряду в бар'єрі через квантові точки, шару другого бар'єру та верхнього електрода, який **відрізняється** тим, що шар матеріалу, що забезпечує транспорт заряду в бар'єрі через квантові точки, виконують як шар композитного матеріалу товщиною ( $h_2 \sim 3 \div 30$  нм) таким чином, що він являє собою аморфну діелектричну матрицю з розміщеними в ній нанокластерами металів, і який створений шляхом одночасного осадження з двох мішеней, що виготовляють одну з діелектричного, а іншу з металевого консолідованих матеріалів; причому створюють певні технологічні умови, в яких за рахунок самоорганізації структури композитного матеріалу цей композит отримує такі характерні особливості як існування в його структурі окремих нанокластерів металу, що займають всю товщину шару цього композитного матеріалу гібридного тунельного бар'єру; а шар другого бар'єру формують як шар бар'єру із ізолятора певної товщини ( $h_3 \sim 0 \div 10$  нм) та як верхній електрод застосовують шар металевої плівки.

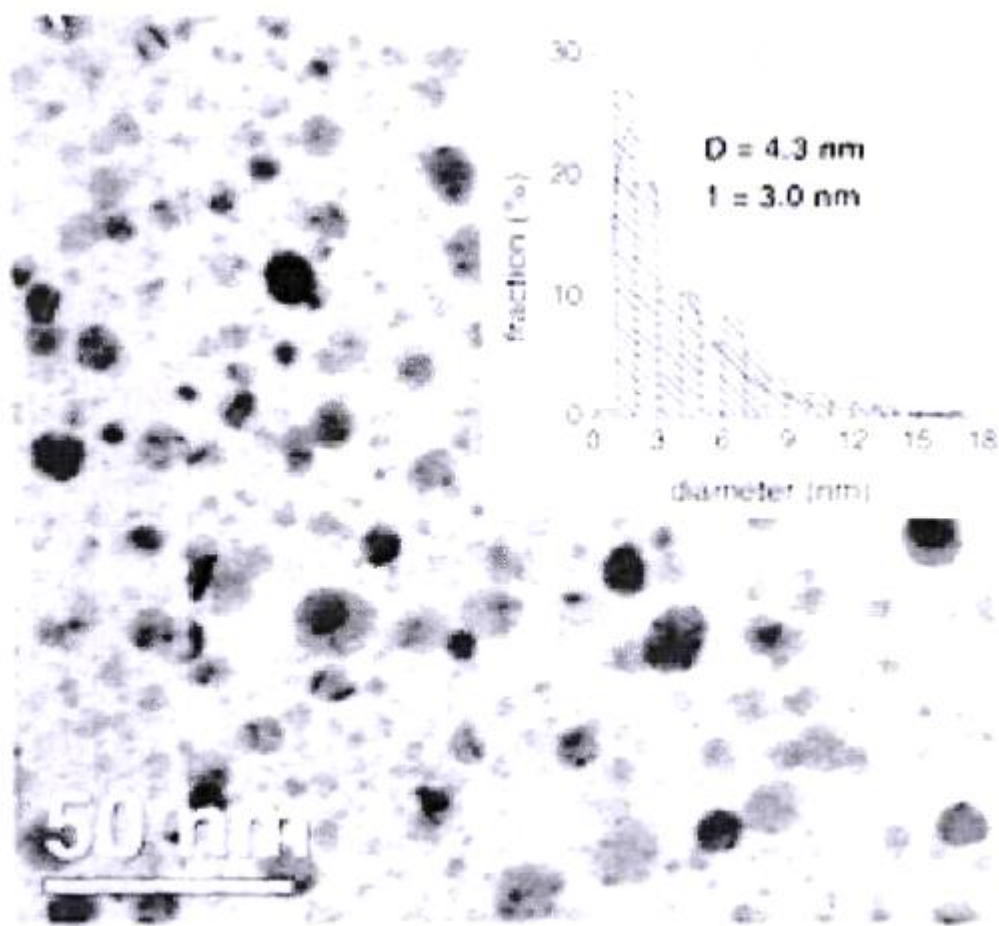


Fig. 1

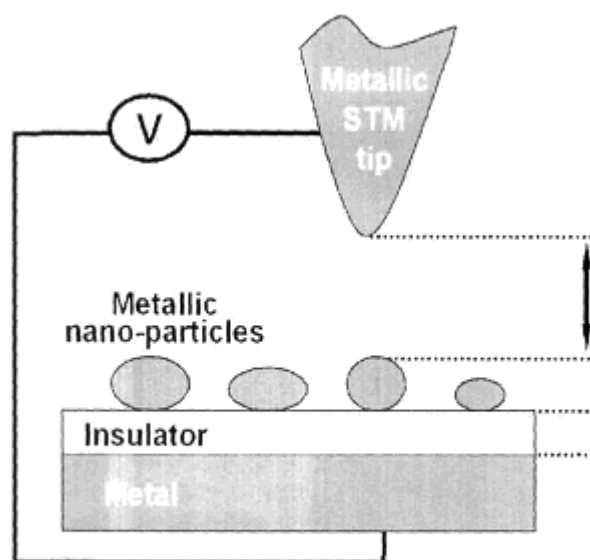


Fig. 2

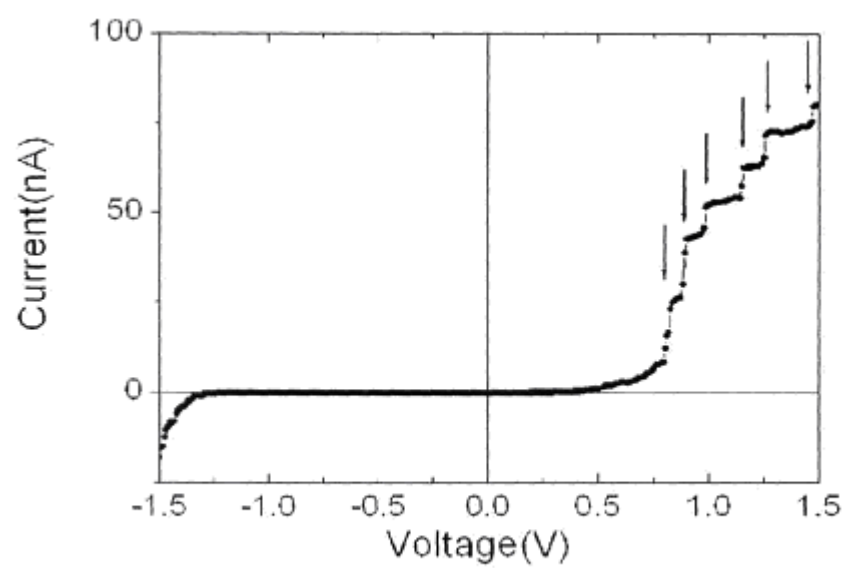


Fig. 3

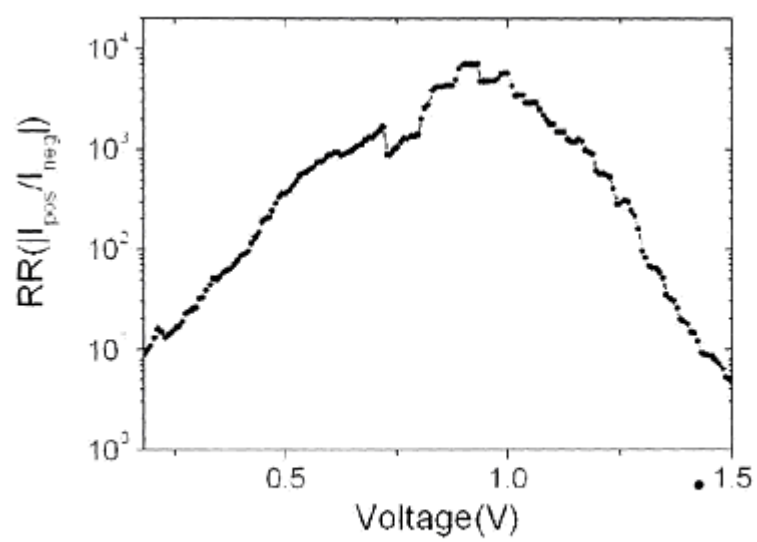


Fig. 4

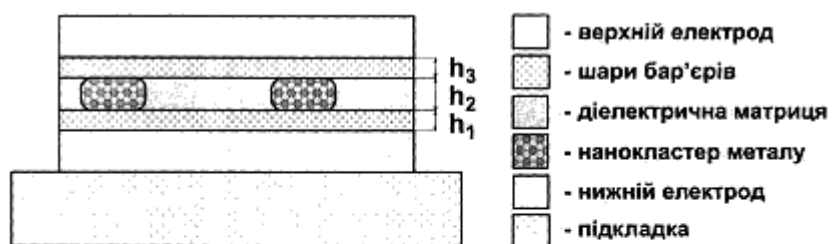
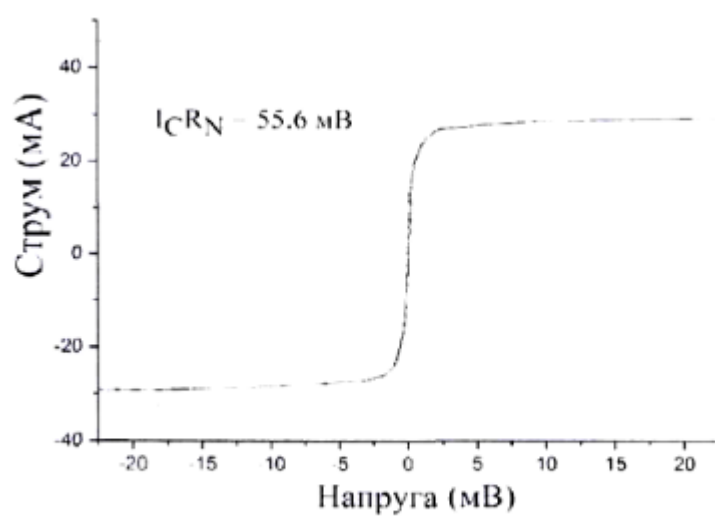
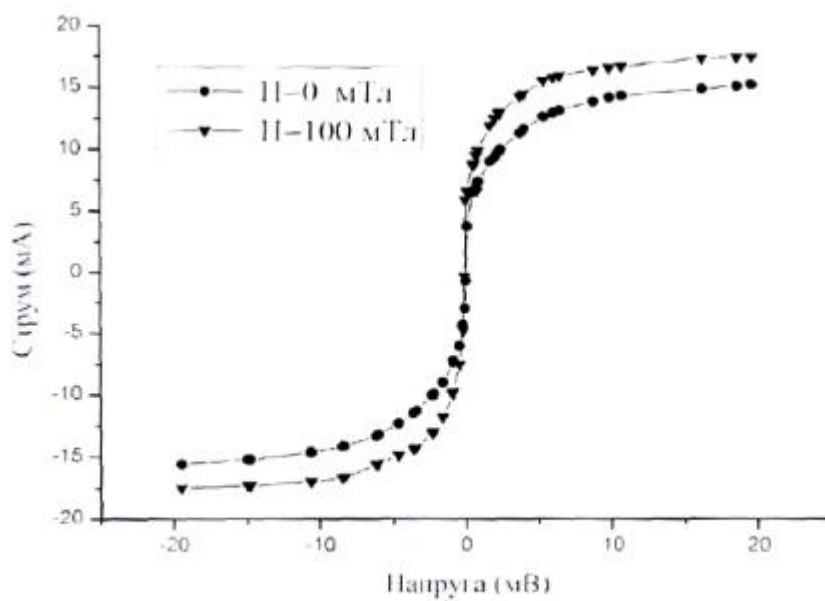


Схема тунельного переходу з гібридним бар'єром

Фіг. 5



Фіг. 6



Фиг. 7

---

Комп'ютерна верстка Т. Вахричева

---

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

---

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