



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **67834** (13) **U**  
(51) МПК  
**H01L 29/88** (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2011 08799**  
(22) Дата подання заявки: **12.07.2011**  
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **12.03.2012**  
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: **12.03.2012, Бюл.№ 5**

(72) Винахідник(и):  
**Бачеріков Юрій Юрійович (UA),**  
**Охріменко Ольга Борисівна (UA),**  
**Романюк Володимир Романович (UA),**  
**Жук Антон Геннадійович (UA),**  
**Семененко Микола Олександрович (UA),**  
**Манойлов Едуард Геннадійович (UA)**  
(73) Власник(и):  
**ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ**  
**ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ**  
**АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ,**  
пр. Науки, 41, м. Київ-680, 03028 (UA)

**(54) ДІОД НА ОСНОВІ КВАНТОВИХ ТОЧОК, УПОРЯДКОВАНИХ ЗА РОЗМІРОМ ВЗДОВЖ ОДНІЄЇ З ОСЕЙ ПРОСТОРОВИХ КООРДИНАТ**

(57) Реферат:

Діод виконаний у вигляді діелектричної матриці, яка містить квантові точки, розташовані впорядковано за розміром між контактами, за зростанням розміру від анода до катода.

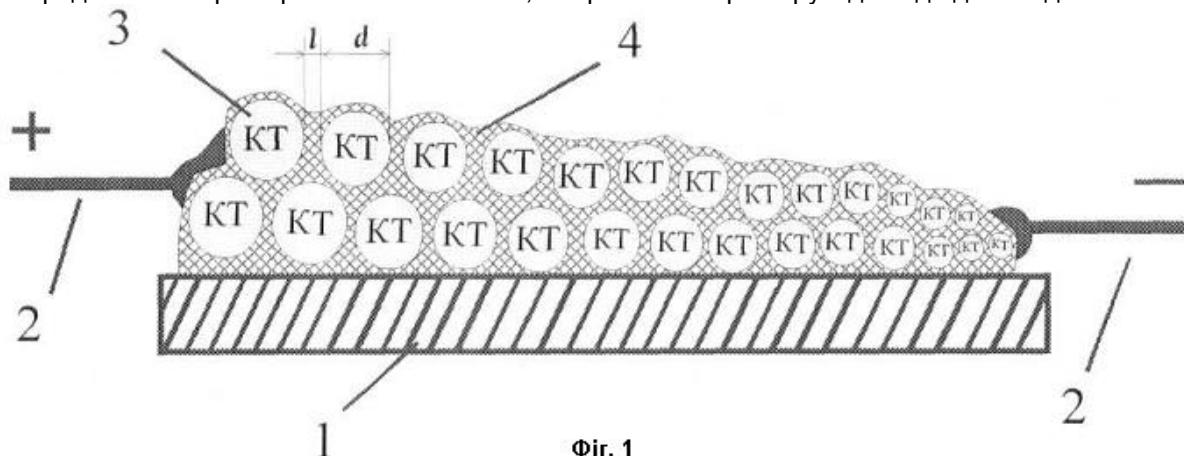


Fig. 1

UA 67834 U



Запропонований пристрій належить до галузі, пов'язаної з наноелектронікою, оптоелектронікою, мікроелектронікою та інтегральною технікою, а саме - до діодів, призначених для випрямлення струмів в схемах автоматики, ЕОМ, АСУ і т.п.

Відомі випрямляючі напівпровідникові діоди - прилади з одним випрямляючим переходом і двома зовнішніми виводами, в яких використовується та або інша властивість випрямляючого р-п-переходу. Як випрямляючий електричний перехід може бути електронно-дірковий перехід, гетероперехід або контакт метал-напівпровідник. В діоді з електронно-дірковим переходом окрім випрямляючого переходу є ще й два не випрямляючих переходи, через котрі р- і п-області діода з'єднуються з зовнішніми виводами. В діоді з випрямляючим електричним переходом у вигляді контакту метал-напівпровідник всього один не випрямляючий перехід [1].

Важливою перевагою відомих випрямляючих діодів є можливість випрямлення струму різної сили - від міліампер до сотень ампер, в залежності від площі р-п-переходу. Це дозволяє використовувати діоди в будь-яких електричних схемах. До недоліків цих приладів належить те, що вони виготовляються на базі об'ємних матеріалів і мають великі, відносно мікро- та наноелектроніки, розміри.

Випрямляючі діоди, окрім використання в джерелах живлення для випрямлення змінного струму в постійний, також використовуються в схемах управління, комутації, в обмежувачах та розв'язуючих схемах, в схемах множення напруги і перетворювачах постійної напруги, де не виставляються високі вимоги до частотних та часових параметрів сигналів.

Конструктивно випрямляючі діоди оформлюються в металевих, пластмасових або керамічних корпусах у вигляді дискретних елементів або у вигляді діодних модулів, наприклад діодних мостиків, виготовлених в одному корпусі.

Відомий [1 стор. 141] випрямляючий діод малої потужності, виготовлений методом сплавлення. Як напівпровідниковий матеріал використано германій. Виготовлення германієвих випрямляючих діодів починається з вплавлення індію у вихідну напівпровідникову пластину (монокристал) германію п-типу. Кристал припаюють до металевої пластини. Основою конструкції є коваровий корпус, до якого приварюється пластина з напівпровідниковим кристалом. Корпус ізольований від другого зовнішнього виводу скляним прохідним ізолятором. Внутрішній вивід має спеціальний вигин для зменшення механічних напруг при зміні температури. Внутрішня поверхня скляного ізолятора покривається світлонепроникним лаком для запобігання потрапляння світла всередину прилада, для уникнення генерації електронно-діркових пар і збільшення зворотного струму р-п-переходу.

Найбільш близьким до заявленого приладу є також широко застосовуваний в інтегральній електроніці тунельний діод [Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приёмно-усилительные устройства. - Киев "Наукова думка", 1987. - С. 153]. Тунельні діоди - це діоди, де при великих концентраціях легуючих домішок суттєво підсилюється тунельний ефект запираючого р-п-переходу.

Тунельний діод - напівпровідниковий діод, що має р-п-перехід з дуже малою товщиною запираючого шару. Дія тунельного діода ґрунтується на проходженні вільних носіїв заряду (електронів) крізь вузький потенційний бар'єр завдяки квантовомеханічному явищу тунелювання. Оскільки імовірність тунельного просочування електронів через бар'єр в значній мірі визначається шириною області просторового заряду в р-п-переході, тунельний діод виготовляють на основі вироджених напівпровідників (з концентрацією домішок до  $10^{25}-10^{27} \text{ м}^{-3}$ ). При цьому отримується різкий р-п-перехід з товщиною запираючого шару 5-15 нм. Для виготовлення тунельного діода переважно використовують Ge та GaAs, рідше використовують Si, InSb, InAs, PbTe, GaSb, SiC та інші напівпровідникові матеріали. Для германієвих діодів як донорні домішки, як правило, використовують Р або As, як акцепторні - Ga та Al; для арсенід-галієвих - Sn, Pb, S, Se, Te (донори), Zn, Cd (акцептори). Вузький р-п-перехід отримують найчастіше методом вплавлення [2 С. 134].

Основною перевагою тунельного діода перед відомими напівпровідниковими приладами є його висока гранична частота, до якої він може бути використаний в різноманітних радіотехнічних пристроях. Ця особливість тунельного діода пов'язана з механізмом проходження електронів через вузький тунельний р-п-перехід зі швидкістю, близькою до швидкості світла.

Основне призначення тунельного діода - робота як підсилювачів, генераторів і перемикаючих пристроїв радіоелектронної апаратури широкого застосування.

До недоліків тунельного діода можна віднести складності, пов'язані з перевіркою його правильного функціонування та працездатності і використання складного технічного обладнання і методик при його виготовленні.

Діод на основі квантових точок, упорядкованих за розміром вздовж однієї з осей просторових координат.

В основу корисної моделі поставлена задача: використовуючи квантові точки на основі напівпровідникових матеріалів, технічно більш простим способом отримати випрямляючий діод на основі тунельного ефекту.

Поставлена задача досягається тим, що діод містить два контакти, який відрізняється тим, що він виконаний у вигляді діелектричної матриці, яка містить квантові точки, розташовані впорядковано за розміром між контактами, за зростанням розміру від анода до катода.

Як випрямляючий елемент в квантовому діоді виступає набір (більше двох) квантових точок різного діаметра, упорядкованих за розміром між контактами, що дозволяє носіям заряду з квантових точок меншого розміру переходити до більших. Одним з можливих варіантів випрямляючого елемента діода може виступати сукупність квантових точок в діелектричній матриці, розміщених на підкладці (фіг. 1 та 2). Квантові точки відсортовані по координаті в залежності від розміру, від більших до дрібніших, як це показано на рисунку (фіг. 1 та 2).

Фігура 1. Принципова схема виконання діода на основі квантових точок отриманого методом лазерної абляції. 1 - підкладка, 2 - електроди, 3 - квантова точка (наночастинка), 4 - діелектрична оболонка квантової точки.

Фігура 2. Принципова схема виконання діода на основі квантових точок отриманого методом центрифугування. 1 - підкладка, 2 - електроди, 3 - квантова точка (наночастинка), 4 - діелектрична оболонка квантової точки.

Фігура 3. Енергетична діаграма.  $l$  - відстань між квантовими точками,  $d$  - діаметр квантової точки,  $\Delta U$  - різниця між енергетичними рівнями квантових точок.

Принцип роботи діода на основі квантових точок ґрунтується на тому, що основні дозволених енергетичні стани ( $E_0$ ) в частинках різного розміру ( $d$ ) лежать на різній висоті, як схематично представлено на енергетичній діаграмі (фіг. 3). Перший дозволений рівень в дрібніших наночастинках розміщений вище на величину  $\Delta U$ , ніж в більших. Тому носії заряду з рівня  $E_0^i$  ( $i=1, 2, 3 \dots n$ ) з імовірністю  $W$ , що відповідає імовірності тунелювання, можуть переходити з дрібніших у більші наночастинки. Тут, в найбільш загальному випадку,

$$W = \exp\left\{-\frac{2l}{\hbar} \sqrt{2m_0(U_0 - E)}\right\};$$
  $l$  - ширина бар'єра,  $m_0$  - маса носія,  $U_0$  - висота бар'єра. В той же час, імовірність зворотних переходів носіїв із стану  $E_0^{i+1}$  (більші наночастинки) в стан  $E_0^i$  (менші наночастинки) набагато менша і залежить від величини  $\Delta U$  (див. фіг. 3). Таким чином, носії заряду в таких структурах рухаються переважно тільки в певному напрямку - від менших частинок до більших, тобто від частинок з більшою величиною  $E_0^i$  до частинок, у яких величина  $E_0^{i+1}$  менша. А вибір величини різниці розмірів наночастинок ( $\Delta d = d_{i+1} - d_i$ ) дозволяє створювати діоди з різним співвідношенням прямого та зворотного струмів.

Матеріалом для створення квантових точок може слугувати практично будь-який напівпровідниковий матеріал, який може бути введений в діелектричну матрицю різними технологічними методами.

Пристрій може бути отриманий методами: 1) лазерної абляції; 2) з використанням методу центрифугування наночастинок різного розміру в рідких полімерних матрицях з наступною полімеризацією матриці.

Лазерна абляція (цей режим також називають лазерною десорбцією) - це метод видалення речовини з поверхні мішені лазерним імпульсом з наступним переносом на поверхню підкладки. Використовується для лазерного паровозного осадження - процесу швидкого плавлення та випаровування матеріалу мішені в результаті дії на нього високоенергетичного лазерного випромінювання, з наступним переносом розпиленого матеріалу від мішені до підкладки і його осадження. Поза мішенню видалений матеріал організується в кластери нанометрових розмірів. Сепарація частинок за розмірами відбувається внаслідок залежності довжини прольоту від маси наночастинок. Частинки більшого розміру осаджуються на підкладку ближче до мішені, і чим більша відстань від мішені до ділянки осадження, тим меншого розміру частинки осаджуються на поверхні цієї ділянки підкладки (див. фіг. 1).

Центрифугування наночастинок різного розміру в рідких полімерних матрицях. Підкладку поміщують на дно кювети з колоїдним розчином наночастинок необхідного матеріалу та діапазону розмірів у рідкому полімері. Під час центрифугування наночастинки з різною масою під дією відцентрової сили по-різному переміщуються в протилежному до центру обертання напрямку, що призводить до розподілу наночастинок по їх масі і розміру перпендикулярно до поверхні підкладки (див. фіг. 2). В процесі центрифугування полімер може полімеризуватися (затвердіти) з впорядкованими за розмірами перпендикулярно до поверхні наночастинок всередині.

Заявлений пристрій має принципові переваги перед відомими: дозволяє як активний елемент пристрою (квантових точок) використовувати найширший клас матеріалів, та простота в технології отримання. Також, в залежності від товщини діелектричного шару між квантовими точками можна управляти такими параметрами як співвідношення прямого та зворотного струмів.

Джерела:

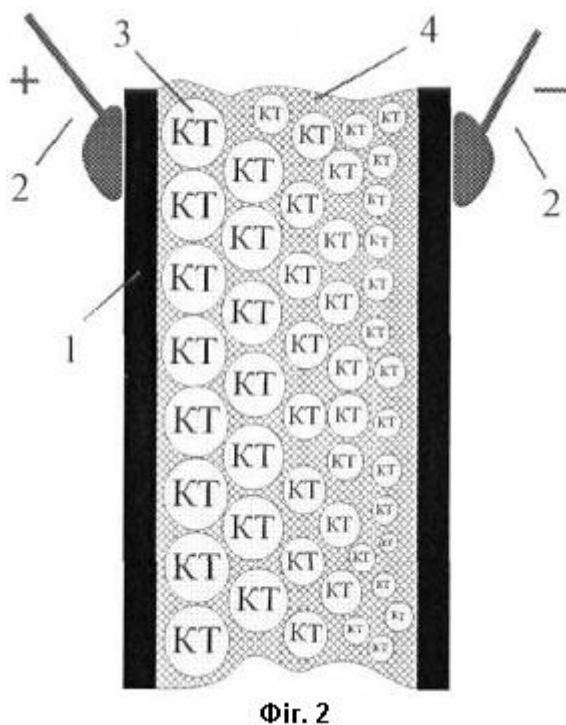
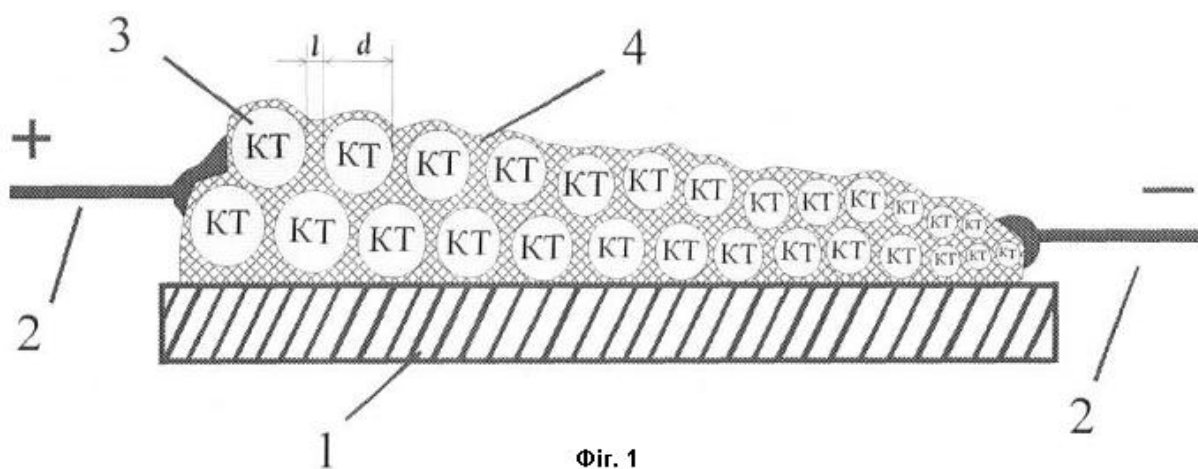
1. Терещук Р.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приёмно-усилительные устройства. - Киев "Наукова думка".-1987.

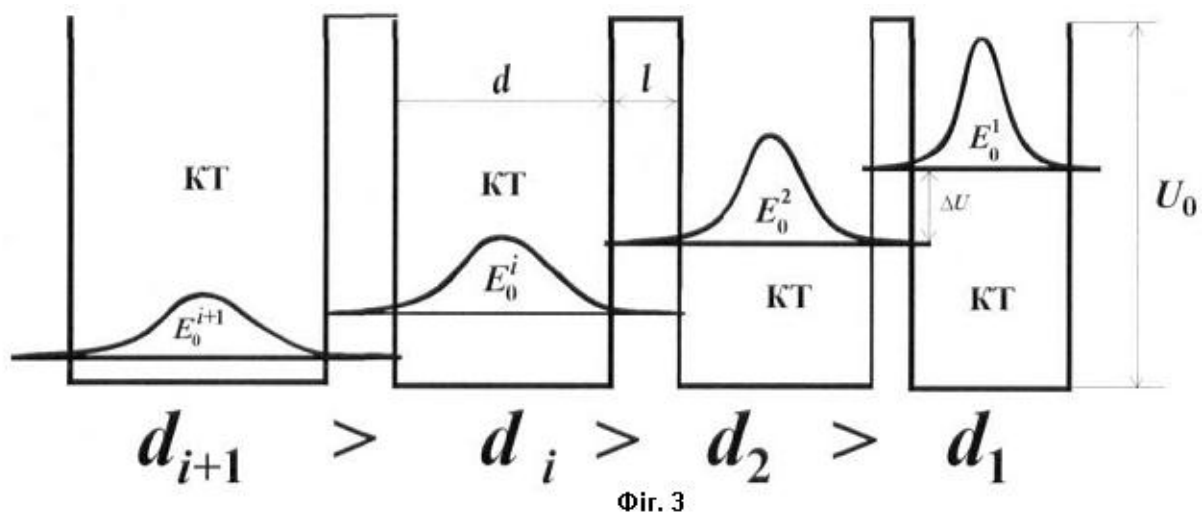
2. Лавриненко В.Ю. Справочник по полупроводниковым приборам. - Киев. - "Техника" 1962.

3. Жеребцов И.П. Основы электроники. - Ленинград. - "Энергоатомиздат".-1985.

# ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Діод, що містить два контакти, який **відрізняється** тим, що він виконаний у вигляді діелектричної матриці, яка містить квантові точки, розташовані впорядковано за розміром між контактами, за зростанням розміру від анода до катода.





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