



(19) RU<sup>(11)</sup> 2 111 579<sup>(13)</sup> C1

(51) МПК<sup>6</sup> H 01 L 29/161, 39/22

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 96117820/25, 03.09.1996

(46) Дата публикации: 20.05.1998

(56) Ссылки: SU, авторское свидетельство, 1562959, кл. H 01 L 29/161, 1990. RU, патент, 2062530, кл. H 01 L 29/16, 1996.

(71) Заявитель:

Яфясов Адиль Маликович[RU],  
Божевольнов Владислав Борисович[RU],  
Павлов Борис Сергеевич[RU],  
Антониу Иоаннис[BE]

(72) Изобретатель: Яфясов Адиль Маликович[RU],  
Божевольнов Владислав  
Борисович[RU], Павлов Борис  
Сергеевич[RU], Антониу Иоаннис[BE]

(73) Патентообладатель:

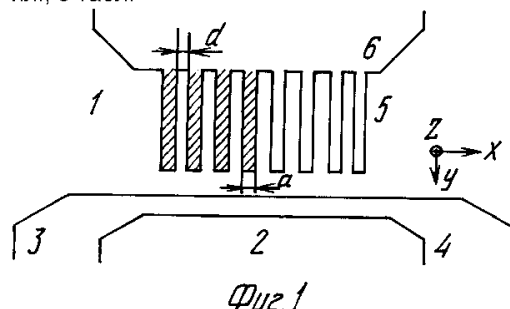
Яфясов Адиль Маликович[RU],  
Божевольнов Владислав Борисович[RU],  
Павлов Борис Сергеевич[RU],  
Антониу Иоаннис[BE]

### (54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ КВАНТОВОГО ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области твердотельных электронных приборов на основе квантовых эффектов. Сущность изобретения: в образце материала полупроводника, в котором длина волны де Бройля превышает постоянную решетки, в приповерхностном объеме, задают ход электростатического потенциала, чем формируют квантовую проволоку, длину которой выбирают превышающей длину свободного пробега электрона, формируют туннельно прозрачные электрические контакты к квантовой проволоке на расстоянии, не превышающем длины свободного пробега электрона, и прикладывают квантовые скрещенные электрические поля для формирования интерференционного элемента на длине отрезка квантовой проволоки между туннельно прозрачными контактами. Амплитуду электрического поля выбирают исходя из числа возбуждаемых мод в квантовой проволоке, определяют

коэффициент модуляции тока и интерференционного элемента и устанавливают длину интерференционного элемента, которая соответствует достижению максимального значения коэффициента модуляции тока. В качестве полупроводника используют узкощелевой полупроводник, например, кадмий-ртуть-теллур, с приповерхностным объемом из пленки этого полупроводника, эпитаксиально нанесенной на пленку теллурида кадмия. 7 з.п. ф-лы, 7 ил., 3 табл.



RU 2 111 579 C1

RU 2 111 579 C1



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 111 579** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) Int. Cl.<sup>6</sup> **H 01 L 29/161, 39/22**

RUSSIAN AGENCY  
 FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 96117820/25, 03.09.1996

(46) Date of publication: 20.05.1998

(71) Applicant:  
 Jafjasov Adil' Malikovich[RU],  
 Bozhevol'nov Vladislav Borisovich[RU],  
 Pavlov Boris Sergeevich[RU],  
 Antoniu Ioannis[BE]

(72) Inventor: Jafjasov Adil' Malikovich[RU],  
 Bozhevol'nov Vladislav Borisovich[RU], Pavlov  
 Boris Sergeevich[RU], Antoniu Ioannis[BE]

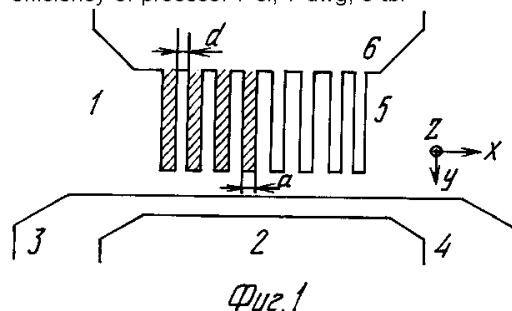
(73) Proprietor:  
 Jafjasov Adil' Malikovich[RU],  
 Bozhevol'nov Vladislav Borisovich[RU],  
 Pavlov Boris Sergeevich[RU],  
 Antoniu Ioannis[BE]

(54) **PROCESS OF MANUFACTURE OF QUANTUM INTERFERENCE ELEMENT**

(57) Abstract:

FIELD: solid electron device based on quantum effects. SUBSTANCE: in sample of semiconductor material which de Broglie wave length exceeds constant of lattice travel of electrostatic potential is set in surface volume to form quantum wire which length is chosen to exceed length of electron free path. Clear electric contacts to quantum wire are formed at distance not exceeding length of electron free path and quantizing crossed fields are applied to form interference element over length of section of quantum wire between tunnel-clear contacts. Amplitude of electric field is chosen proceeding from number of modes excited in quantum wire, modulation coefficient of current of interference element is found and length of interference element corresponding to achievement of

maximum value of modulation coefficient of current is established. Narrow-slit semiconductor, for instance cadmium-mercury-tellurium is used as semiconductor with surface volume of film of this semiconductor epitaxially deposited on cadmium telluride film. EFFECT: increased efficiency of process. 7 cl, 7 dwg, 3 tbl



RU 2 1 1 1 5 7 9 C 1

RU 2 1 1 1 5 7 9 C 1

Изобретение относится к области твердотельных электронных приборов на основе квантовых эффектов и может быть использовано для исследования квантовых интерференционных явлений.

Известен способ получения квантового интерференционного прибора - транзистора на основе гетероперехода - WBT - транзистора [1]. Работа транзистора основана на управлении двумерным электронным потоком, который локализован в области гетероперехода между двумя полупроводниковыми слоями нижний из которых выполнен из арсенида галлия (Ga As), а верхний - из (Al Ga) As.

Управление проводимостью гетероперехода осуществляют путем модуляции потенциала гетероперехода с помощью системы металлических электродов, расположенных упорядоченно, с заданным периодом на упомянутом верхнем слое.

Однако вклад интерференционных эффектов возрастает с увеличением степени разрешения двумерной подзоны по энергии, что достижимо при температурах ниже 4,2 К.

Необходимость задания рабочих температур жидкого гелия является фактором, существенно ограничивающим развитие приборов на основе электронной интерференции (Табл.1).

Кроме того принципиальным недостатком известного способа является использование в интерференционном элементе двумерного электронного газа, что существенно ограничивает проявление конструктивной интерференции.

Известен способ получения квантово-интерференционного транзистора, основанный на использовании квантового эффекта Ааронова-Бома [10], который предусматривает управление фазами двух интерферирующих электронных потоков в плечах интерферометра с помощью внешнего поля. Устройство, реализующее способ, содержит изолирующую подложку и размещенный в плоскости подложки замкнутый интерференционный контур из квантовой проволоки. К двум сторонам контура присоединены токовводы и управляющие электроды, расположенные по обе стороны от контура, размеры которого меньше длины свободного пробега электрона.

Принципиальным недостатком известного способа является необходимость обеспечения жестких требований к допустимым фазовым сдвигам в плечах интерферометра. Расфазировка может возникать вследствие размытия мод в многомодовых электронных потоках в плечах интерферометра при повышении температуры. При этом эффективно ограничит тепловой разброс длин волн электронов можно лишь при гелиевых температурах.

Известен способ получения квантового интерференционного элемента - транзистора, в котором интерференционный элемент выполняют из отрезка квантовой проволоки, размеры которого меньше длины свободного пробега электрона, и управляют интерференционным элементом с помощью системы электродов, выполненных в виде периодической гребенки, формирующей периодические скачки электрического

потенциала вдоль отрезка квантовой проволоки [11].

В основе способа лежит эффект перехода Пайерлса, стимулированного электрическим полем, в одномерном квантовом проводнике. Эффект состоит в стимулировании перехода "металл-диэлектрик", что используется для создания условий эффекта надбарьерного отражения электронов и многолучевой интерференции в одном квантовом проводнике.

Способ реализован устройством-транзистором, который содержит изолирующую подложку и размещенный на ней интерференционный элемент, выполненный из прямолинейного отрезка квантовой проволоки, размеры которого меньше длины свободного пробега электрона, а концы соединены токовводами, и управляющий электрод, выполненный в виде периодической гребенки, размещенный вдоль одной из сторон интерференционного элемента.

На фиг.1 представлена схема интерференционного транзистора. Управляющий электрод в виде периодической гребенки создает скачки потенциала, которые дробят исходный электронный поток на интерферирующие потоки. При этом условия возникновения интерференции связаны с геометрическими параметрами гребенки, величиной приложенного потенциала  $qV$  и электронными характеристиками квантового проводника и аналитически выражаются следующим образом

$$\begin{aligned} a\sqrt{2m(E_f - qV)/\hbar^2} &= \pi(na + 1/2) \\ d\sqrt{2mE_f/\hbar^2} &= \pi(nd + 1/2) \end{aligned} \quad (1)$$

где

a - ширина зубца гребенки; d - расстояние между соседними зубцами гребенки; m - эффективная масса электрона;  $E_f$  - энергия Ферми, отсчитываемая от дна рабочей зоны проводимости проводника (квантовой проволоки) интерференционного элемента; na, nd - целые числа.

Подбором геометрического размера квантового проводника можно обеспечить необходимое взаимное расположение энергии уровня Ферми и энергии рабочей квантовой подзоны.

На фиг.2 приведена дисперсионная зависимость энергии носителя заряда от его импульса вдоль квантовой проволоки и положение уровня Ферми  $E_f$  для рабочей подзоны.

Минимальное значение коэффициента пропускания транзистора при условии надбарьерного отражения при  $qV < E_f$  может быть определено из выражения

$$T_N^{\min} = 4 \exp(-N \cdot qV / E_f) \quad (2)$$

где

N - число периодов гребенки.

На фиг. 3 приведен пример расчета коэффициента пропускания A в зависимости от энергии E электронов, испытывающих интерференцию в квантовом проводнике (интерференционном элементе).

Рабочий диапазон температур транзистора определяется из условия

$$E_g > kT,$$

где

К - постоянная Больцмана;  
 Т - абсолютная температура,  
 $E_g$  - ширина запрещенной щели, центр которой приходится на уровень Ферми и определяется соотношением.

$$E_q = 2qV / (\pi(na + nd + 1)). \quad (3)$$

Таким образом, выбором геометрических размеров интерференционного элемента и управляющего электрода, а также заданием потенциала  $V$ , можно получить требуемый режим работы устройства. Известный способ является наиболее близким аналогом предлагаемому изобретению. Их общими существенными признаками являются: получение интерференционного элемента на отрезке квантовой проволоки, размеры которого меньше длины свободного пробега электрона, путем создания периодического потенциала вдоль интерференционного элемента, имитирующего переход металл-диэлектрик.

Недостатком известного способа является высокая чувствительность требуемых режимов работы устройства к неоднородностям в конструкции интерференционного элемента и управляющего электрода, поскольку их геометрические размеры соизмеримы с постоянной решетки твердого тела.

Физической природой неоднородности являются поверхностные электронные состояния, локализованные на межфазных границах электродов прибора. Радиус действия электрического заряда, захваченного в этих состояниях, соизмерим с геометрическими размерами интерференционного элемента. Это приводит к размытию связанных состояний в одномерном проводнике. Кроме того наличие поверхностных состояний нарушит периодичность поля, расщепляющего зоны проводимости вдоль одномерного проводника.

Задача изобретения состоит в снижении влияния неконтролируемой зарядовой гетерогенности межфазных границ на электронные (зонные) параметры интерференционного элемента, а также в улучшении эксплуатационных характеристик прибора за счет повышения рабочей температуры.

Задача решается тем, что в известном способе получения квантового интерференционного элемента на отрезке квантовой проволоки заданной длины путем приложения периодического потенциала вдоль интерференционного элемента, которым имитируют переход металл-диэлектрик, в соответствии с изобретением, формируют квантовую проволоку в образце из материала полупроводника, характеризующегося тем, что длина волны Де Бройля носителя заряда в нем превышает постоянную решетки материала, формирование квантовой проволоки производится путем задания хода электростатического потенциала в приповерхностном объеме образца, длину квантовой проволоки выбирают превышающей длину свободного пробега электрона, формируют туннельные электрические контакты и квантовой проволоке с обеспечением расстояния между ними, не превышающего длины свободного пробега носителя заряда в квантовой проволоке, на

длине отрезка квантовой проволоки между туннельными контактами формируют интерференционный элемент путем приложения квантовых электрических полей, причем амплитуду электрического поля выбирают в соответствии с заданным числом возбуждаемых мод в квантовой проволоке, определяют коэффициент модуляции тока интерференционного элемента и устанавливают длину интерференционного элемента, которая соответствует достижению максимального значения коэффициента модуляции тока.

Кроме того, установленные длины интерференционного элемента производят путем согласованного перемещения туннельных контактов вдоль поверхности образца.

Кроме того, в качестве полупроводника используют узкощелевой полупроводник, например, кадмий-ртуть-теллур (CdHg)Te(KPT). При этом приповерхностный объем образца выполняют на пленке KPT, эпитаксиально нанесенной на пленку теллурида кадмия CdTe.

Кроме того, амплитуды квантовых полей выбирают с учетом анизотропии величин эффективной массы носителя заряда.

Кроме того, амплитуды квантовых скрещенных электрических полей выбирают их условия совпадения значений энергии квантовых уровней (подзон) в направлениях анизотропии эффективных масс.

Кроме того, квантовые скрещенные электрические поля создают путем задания геометрической неоднородности в области формирования квантовой проволоки.

Технический результат изобретения заключается в том, что в области пространственного заряда материала полупроводника, для узкощелевых ( $E_g < 0,7$  эВ) полупроводниковых материалов возможно осуществить размерное квантование электронного газа в диапазоне  $T$  77 К до 300 К, вследствие реализации условий низкой плотности электроактивных дефектов и за счет этого, корректного задания квантовых поверхностных потенциалов.

Существенным для способа является выбор такого полупроводника, в котором длина волны де Бройля носителя заряда превышает постоянную решетки материала. Сравнительные характеристики ряда материалов приведены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что узкощелевые полупроводники обладают значительно большим отношением длины волны де Бройля и постоянной решетки, что делает их предпочтительными для создания квантовой наноструктуры с размерами, характерными для серийных микронных приборов. Последнее позволяет сформировать квантовую проволоку путем задания хода макроскопического электростатического потенциала в приповерхностном объеме образца. При этом, в отличие от "геометрического" способа формирования элементов конструкции прибора, при "полевом" способе не возникает межфазовых границ, локализуемых поверхностные электронные состояния.

На фиг. 4 представлен ход электростатического потенциала в области пространственного заряда образца из пленки KPT,  $x = 0,2$ , приводящий в возникновению

дискретных квантовых состояний, при этом выбор рабочих квантовых подзон и/или их числа осуществляют заданием величины поверхностного потенциала (фиг. 4). При этом степень размещения квантовых подзон [12] в случае полевого формирования квантовой проволоки можно оценить, сопоставляя данные расчета (табл. 4, фиг. 4) с оценками величины теплового ( $kT/q$ ) и столкновительного (гейзенберговского,  $(\hbar/m \cdot u)$ ) размытия дискретных квантовых уровней, полученных из соотношений

$$(E_j - E_i)/q - V_j - V_i > kT/q,$$

где

$$j = i + 1, i = 0, 1, 2, \dots$$

$$V_j - V_i > \hbar/(m \cdot u_e)$$

где

$E_j, E_i$  - величины энергии соседних квантовых уровней;  $T$  - абсолютная температура;  $K$  - постоянная Больцмана;  $\hbar$  - постоянная Планка;  $m$  - эффективная масса носителя заряда в полупроводнике;  $u_e$  - подвижность носителя заряда в полупроводнике.

Из табл. 3 видно, что в узкощелевых полупроводниках можно наблюдать полевое размерное температурное электронное газ в диапазоне температур от азотных (77 К) до комнатных (300 К) включительно, что подтверждено авторами в эксперименте [13].

Ход электростатического потенциала в приповерхностном объеме полупроводника, необходимый для формирования одномерной структуры - квантовой проволоки путем приложения скрещенных квантовых электрических полей отображен на фиг. 5. При этом количество мод в квантовой проволоке управляют выбором величин амплитуды скрещенных поверхностных потенциалов. Кроме того фиг. 5 поясняет способ формирования квантовых скрещенных электрических полей путем задания геометрической неоднородности (типа угол) в области формирования квантовой проволоки.

Периодический потенциал вдоль интерференционного элемента формируют путем задания периодической зарядовой неоднородности на границе раздела квантовая проволока - объем полупроводника. При выборе длины квантовой проволоки, превышающей длину свободного пробега электрона, участок ее для формирования интерференционного элемента выбирают меньшим длины свободного пробега электрона. На концах рабочего участка формируют два туннельных контакта токовводов. На выбранном рабочем участке измеряют величину коэффициента модуляции тока элемента, сравнивают его с теоретическим значением и по результатам сравнения судят о влиянии геометрических и зарядовых неоднородностей на электронные (зонные) параметры интерференционного элемента. Отрезок квантовой проволоки, отвечающий максимуму значения коэффициента модуляции тока, выявляют путем одновременного перемещения двух туннельных контактов токовводов вдоль квантовой проволоки. Пример выбора участка квантовой проволоки для формирования интерференционного элемента приведен на фиг. 6.

Ход электростатического потенциала в

приповерхностном объеме полупроводника образца определяется суперпозицией скрещенных квантовых электрических полей, амплитуда которых определяет количество мод в квантовой проволоке. При этом периодический потенциал вдоль интерференционного элемента формируют заданием периодической зарядовой неоднородности на границе раздела квантовая проволока - объем полупроводника. Для изотропного полупроводника амплитуды скрещенных полей равны, однако в общем случае их выбирают с учетом анизотропии величин эффективной массы носителя заряда так, чтобы энергии квантовых уровней - подзон совпадали в двух направлениях анизотропии эффективных масс, взаимно ортогональных.

Способ осуществляют следующим образом.

Выбирают широкозонный полупроводник в качестве подложки. На подложке, например, путем локального травления тонкой металлической пленки, предварительно нанесенной на подложку, формируют управляющий электрод в форме периодической гребенки, которая задает периодическую зарядовую неоднородность с заданным значением расщепляющего потенциала, что позволяет реализовать условие надбарьерного отражения электронов.

Задают величину минимального значения коэффициента пропускания интерференционного элемента и аналитически определяют минимальное число скачков потенциала вдоль квантовой проволоки, а также ширину соответствующей энергетической щели для выбранной рабочей подзоны.

Оценивают возможность реализации геометрических размеров неоднородностей с учетом условия на соотношение постоянной решетки и длины свободного пробега электрона, и в приближении "прямоугольной периодической гребенки" для зарядовой неоднородности определяют ширину "зубца" зарядовой неоднородности и расстояние между зубцами, а по этим данным определяют полную геометрию гребенки.

Поверх гребенки наносят слой широкозонного полупроводника подложки. Проводят полирующее травление этого слоя до получения плоской поверхности. Вскрывают окно в слое. Формируют в этом окне омический контакт к управляющему электроду. При этом следят за тем, чтобы толщина слоя над управляющим электродом не превышала радиус Дебаевского экранирования в материале подложки.

На подложке формируют пленку узкощелевого полупроводника (например, путем эпитаксии), в котором длина волны де Бройля свободного носителя заряда превышает постоянную решетку материала. Производят локальное травление пленки для получения кромки. При этом следят, чтобы кромка находилась над периодической гребенкой управляющего электрода.

Выбирают гладкие участки кромки, длина которых превышает длину свободного пробега носителя заряда в узкощелевом полупроводнике при заданной рабочей температуре прибора (табл. 2). Выбранные участки кромки покрывают слоем из

материала подложки, например, методом эпитаксии. Производят локальное травление нанесенного слоя материала подложки вблизи кромки (вскрывают окно). В этом окне формируют омический контакт к пленке узкощелевого полупроводника.

Далее в области кромки формируют второй омический контакт к слою материала подложки. Затем проводят локальное травление слоя из материала подложки вдоль кромки до получения толщины, обеспечивающей туннельный контакт. Далее прикладывают разность потенциалов между первым и вторым омическими контактами. Формирование квантовой проволоки вдоль кромки пленки узкощелевого полупроводника в области пересечения скрещенных электрических полей обеспечивают тем, что задают величину разности потенциалов из условия возникновения полевого размерного квантования носителей заряда в приповерхностном слое узкощелевого полупроводника на гранях, образующих кромку.

Выбирают рабочую подзону заданием величины энергии уровня  $E_0$ , путем задания фиксированного значения разности потенциалов между первым и вторым омическими контактами. К кромке подводят два туннельных контакта, расстояние между которыми меньше длины свободного пробега носителя заряда в узкощелевом полупроводнике.

Количество мод в квантовой проволоке задают величиной приложенного к образцу электрического поля. Для повышения коэффициента пропускания интерференционного элемента варьируют амплитуду расщепляющего потенциала и число периодов гребенки на длине интерференционного элемента. Путем согласованного перемещения туннельных контактов вдоль кромки исключают влияние возможных неоднородностей, и фиксируют длину интерференционного элемента, соответствующую максимуму коэффициента пропускания.

Полученный таким образом квантовый интерференционный элемент характеризуется минимальным влиянием плотности поверхностных состояний, локализованных в области прибора, управляемостью и, как следствие, повышением эксплуатационных характеристик прибора.

Конкретное выполнение способа может быть проиллюстрировано на примере получения квантового интерференционного элемента на основе многослойной структуры CdTe/(CdHg)Te/CdTe (фиг. 7).

В качестве полупроводника для формирования интерференционного элемента выбрали узкощелевой полупроводник (CdHg)Te с  $x = 0,2$  (табл. 2 и фиг. 4), для которого энергия уровня Ферми  $E_f = 0,8$  КТ/к, при этом за нулевой уровень энергии принято дно зоны проводимости в объеме полупроводника.

На образце 1 широкозонного полупроводника CdTe (фиг. 7) сформировали пленку 2 (CdHg)Te с  $x = 0,2$  толщиной 132 нм путем эпитаксии более 2000 монослоев материала. При этом электронные свойства пленки (CdHg)Te для рабочей температуры  $T < 300$  К определяются 3D -

электронным газом, т.е. объемными свойствами материала.

Для получения кромки 3 провели локальное травление пленки 2 (CdHg)Te и выбрали участок пленки 2 с кромкой 3, имеющей гладкие участки, длина которых превосходит длину свободного пробега электрона при заданной рабочей температуре прибора (табл.2).

На образец 1 CdTe с пленкой 2 (CdHg)Te нанесли слой 4 CdTe, например, путем эпитаксии, следя за тем, что бы наносимый слой 4 CdTe покрывал кромку 3 выбранного участка пленки (CdHg)Te 2.

Провели локальное травление пленки 4 CdTe, расположенной над выбранным участком пленки 2 (CdHg)Te, до получения тонкой пленки 4 CdTe.

Вскрыли окно 5 в пленке 4 CdTe, расположенной над выбранным участком пленки 2 (CdHg)Te, при этом следили за тем, чтобы граница окна 5 была удалена от кромки 3 на расстояние, превышающее длину свободного пробега электрона при заданной рабочей температуре прибора. В области вскрытого окна сформировали омический контакт 6 к пленке 2 (CdHg)Te, на образце 1 CdTe сформировали омический контакт 7. Между омическим контактом 6 к пленке (CdHg)Te и омическим контактом 7 к образцу 1 CdTe приложили разность потенциалов, которой задали величину поверхностного потенциала пленки (CdHg)Te. Величину разности потенциалов выбрали из условия  $V_s = 6$ кТ/к. При этом движение носителя заряда в плоскости приповерхностного слоя - области пространственного заряда полупроводника - двумеризовано.

Сформированная вдоль кромки 3 пленки 2 (CdHg)Te квантовая проволока 8 образована в области пересечения 2 - электронных плоскостей XY и XZ (фиг.7 и 5).

Выбрали рабочую подзону с  $E_0 = 2,5$  (кТ/к). Для формирования периодической зарядовой неоднородности на туннельно тонком слое вдоль кромки 3 выбрали значение расщепляющего потенциала  $V$  из условия надбарьерного отражения  $V < (E_0 - E_f = 1,6$  кТ/к). Задали величину оптимального значения коэффициента пропускания прибора  $T_{\text{мин}} = 0,1$ , используя приближение "прямоугольной потенциальной гребенки", и величину  $(E_0 - E_f = 1,7$  кТ/к). С учетом

$$T_{\text{мин}} = T \cdot N = 4 \exp(-N \cdot V / (E_0 - E_f))$$

нашли минимальное число периодов гребенки  $N = 4$ . Оценили ширину энергетической щели, центр которой приходится на величину  $(E_0 - E_f)$ , из соотношения (3)

$$E_g = 2V/3 = 1,07 \text{ кТ/к}$$

$$\text{для } T = 300 \text{ К.}$$

Оценили возможность реализации геометрических размеров неоднородности с учетом условия

$$N \ll l/a$$

где

$a$  - постоянная решетки,  $l$  - длина свободного пробега электрона;  $N$  - число периодов гребенки, что дает при  $l = 142$  нм и  $a = 0,64$  (табл. 2);

$$N = 4 \ll l/a = 220$$

Определили ширину "зубца" зарядовой неоднородности ( $W$ ) и расстояние между ними

(d), используя (1) в приближении прямоугольной потенциальной гребенки  
 $W = 8,5 \text{ нм}$ ;  $d = 34,0 \text{ нм}$ .

Полная длина гребенки выражается в виде

$$L = W + d + W + d + W + d + W = 136 \text{ нм}.$$

Таким образом, условия реализуемости прибора выполнены для выбранных параметров и рабочей температуры 300 К. В силу специфичности примененных и применимых для получения квантоинтерференционных приборов полупроводников способ должен быть адаптирован в каждом конкретном случае, однако в любом случае, влияние зарядовой гетерогенности межфазных границ на характеристики прибора остается малым.

Источники информации

1. Appl. Phys. Lett., 1987, v.51, N.22, p.1807.
2. Ibid., 1985, v.55, N.21, p.2344.
3. Ibid., 1986, v.56, N.11, p.1198.
4. Ibid., 1990, v.56, N.23, p.1697.
5. Ibid., 1994, v.65, N.9, p.1154.
6. Ibid., 1986, v.49, N.19, p.1275.
7. Phys. Rev. Lett., 1987, v.58, N.29, p.2586.
8. Appl. Phys. Lett., 1992, v.60, N.1, p.94.
9. Ibid., 1995, v.66, N.18, p.2385.
10. Авт. св. СССР, N 1562959,

Квантоинтерференционный транзистор.

11. Патент РФ N 2062530,

Квантоинтерференционный транзистор.

12. Т. Андо. А. Фаулер, Ф. Стерн, Электронные свойства двумерных систем. Пер. с англ./ Под ред. Ю.В. Шмарцева. М.: Мир, 1985.

13. Физика и техника полупроводников. с. 633. 1987, т. 21, вып. 4.

### Формула изобретения:

1. Способ получения квантового интерференционного элемента на отрезке квантовой проволоки заданной длины путем приложения периодического потенциала вдоль интерференционного элемента, симулирующего переход металл - диэлектрик, отличающийся тем, что формируют квантовую проволоку в образце из материала полупроводника, характеризующегося тем, что длина волны де Бройля в нем превышает постоянную решетки материала, формирование квантовой проволоки производят путем задания хода электростатического потенциала в приповерхностном объеме образца, длину квантовой проволоки выбирают превышающей длину свободного пробега

электрона, формируют туннельно прозрачные электрические контакты к квантовой проволоке с обеспечением расстояния между ними, не превышающего длины свободного пробега электрона в квантовой проволоке, на длине отрезка квантовой проволоки между туннельно прозрачными контактами формируют интерференционный элемент путем приложения квантовых скрещенных электрических полей, причем амплитуду электрического поля выбирают в соответствии с заданным числом возбуждаемых мод в квантовой проволоке, определяют коэффициент модуляции тока интерференционного элемента и устанавливают длину интерференционного элемента, которая соответствует достижению максимального значения коэффициента модуляции тока.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что величину периодического потенциала выбирают из условия осуществления надбарьерного отражения электрона в образце материала полупроводника.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве полупроводника используют узкощелевой полупроводник, например кадмий-ртуть-теллур (CdHg)Te с приповерхностным объемом из пленки этого полупроводника, эпитаксиально нанесенной на пленку теллурида кадмия CdTe.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что формирование туннельно прозрачных контактов производят путем травления приповерхностного объема образца.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что установление длины интерференционного элемента производят путем согласованного перемещения туннельно прозрачных контактов вдоль поверхности образца.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что в качестве квантовых скрещенных электрических полей выбирают ортогональные электрические поля.

7. Способ по пп.1 и 6, отличающийся тем, что амплитуду взаимно ортогональных квантовых полей выбирают с учетом анизотропии величины эффективной массы носителя заряда.

8. Способ по пп. 1, 6 и 7, отличающийся тем, что амплитуды квантовых скрещенных электрических полей выбирают из условия совпадения значений энергии квантовых уровней (подзон) в двух взаимно ортогональных направлениях.

Таблица 1

Рабочая температура приборов на основе структур Ga As / (Al Ga) As

Рабочая температура прибора К	4,2	1,2	0,1	0,3	0,5	15	8	4,2	1,3
Электронная структура интерференционного элемента	2 D	2 D	2 D	2 D	2 D	2 D	2 D	2 D	2 D
Источник информации	2	3	1	4	5	6	7	8	9

Таблица 2

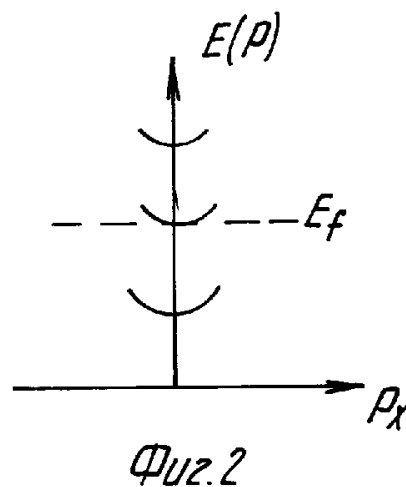
Сравнительные характеристики полупроводниковых материалов

Материал Характеристика	Ga As (0,067)	In P (0,073)	In As (0,023)	In Sb (0,014)	Hg Te (0,017)	(Cd Hg) Te (0,012) x=0,2
Подвижность, см <sup>2</sup> /(В.с) 300 К 77 К	8,500 21,000	4,600 40,000	33,000 82,000	78,000 120,000	33,000 100,000	25,000 230,00
Плотность заряда в подзоне, 10 <sup>11</sup> (1/см <sup>2</sup> ) 300 К 77 К	14 3,5	15 4,5	4,8 1,4	3 0,9	3,5 1,0	2,4 0,7
Длина свободного пробега, нм 300 К 77 К	117 145	65 113	267 358	500 420	228 370	142 710
Длина волны де Бройля, нм 300 К 77 К	29 58	29 58	52 102	67 132	70 138	67 132
Постоянная решетки, нм	0,56	0,59	0,61	0,65	0,65	0,64

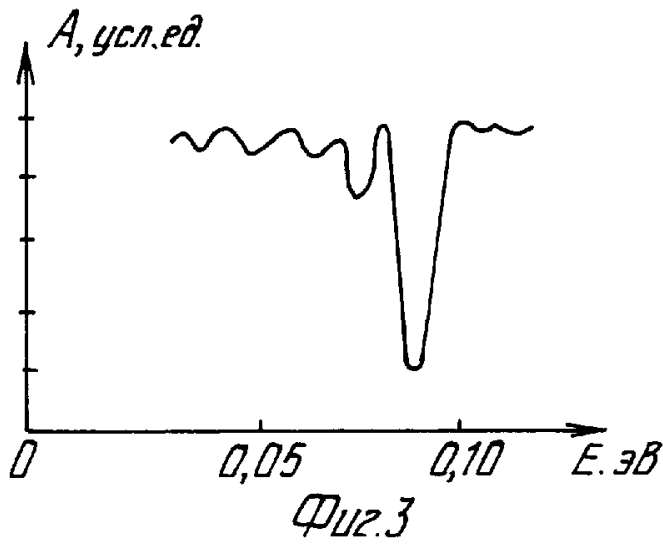
Таблица 3

Результаты сопоставления расчета для 285 К (обозначения соответствует фиг. 4)

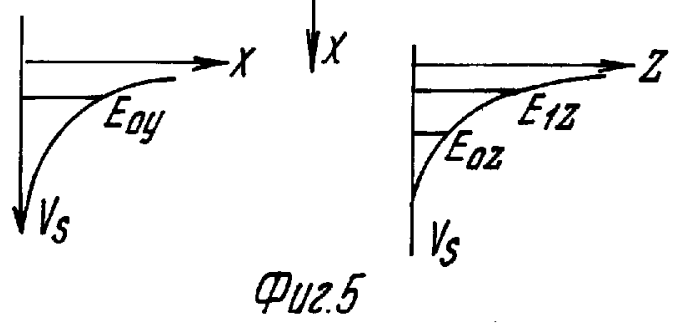
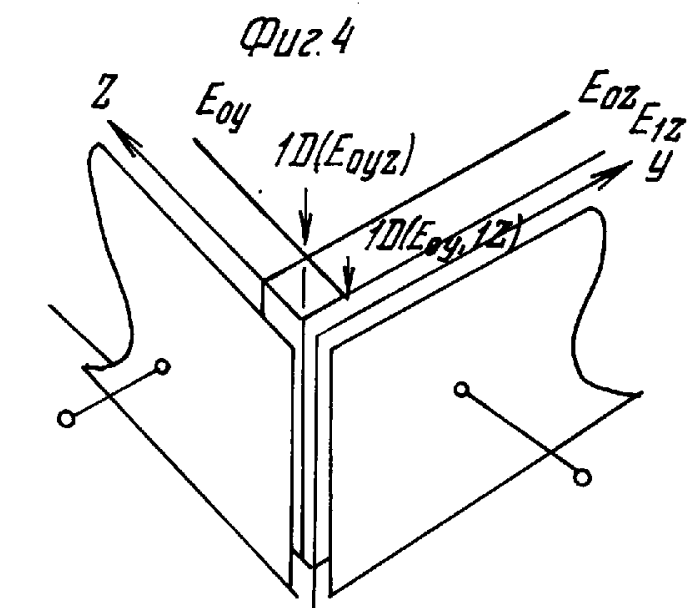
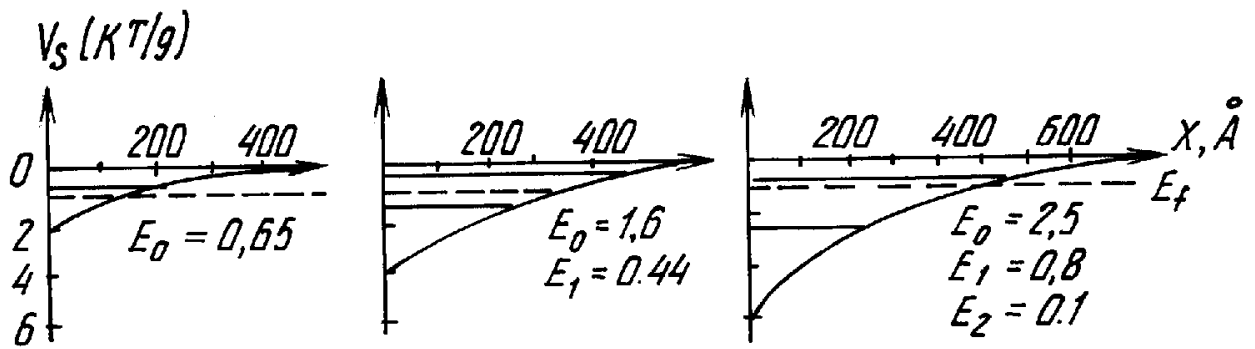
V <sub>s</sub> (КТ/q)	КТ/q (В)	h/(m·U <sub>e</sub> ) (В)	V <sub>0</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
2	0.025	0.008	0.65		
4	0.025	0.008	1.60	0.44	
6	0.025	0.008	2.50	0.8	0.1





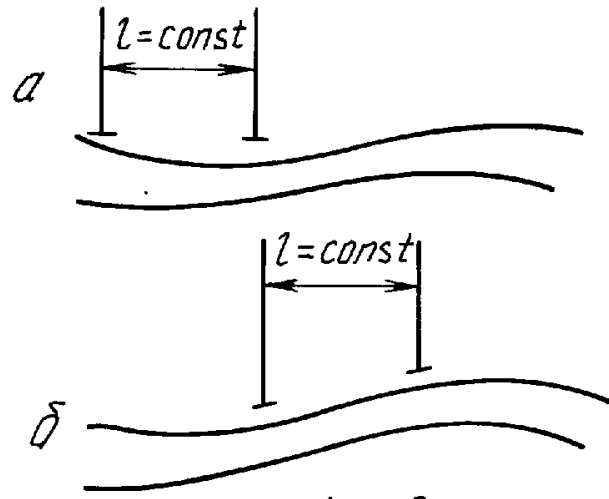


$\text{Cd}_{0,2} \text{Hg}_{0,3} \text{Te} // T = 278 \text{ K} // F_f \approx 0,8$

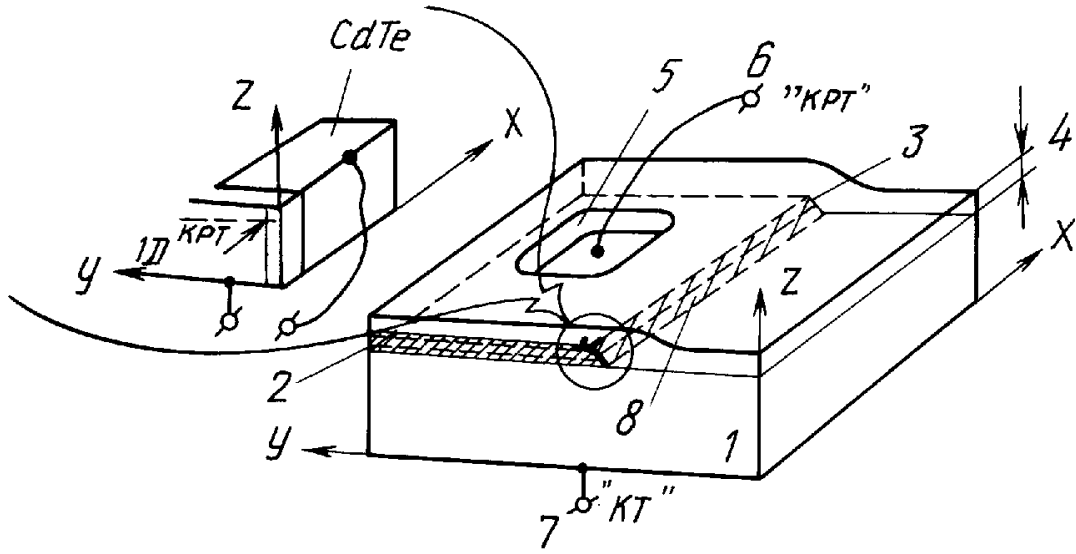


RU 2111579 C1

RU 2111579 C1



Фиг. 6



Фиг. 7