

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202490383**

(13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2024.08.19**

(51) Int. Cl. **H01L 21/66 (2006.01)**

(22) Дата подачи заявки  
**2024.03.01**

(54) **СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ  
ОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ПО ГЛУБИНЕ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ**

(31) **2023108232**

(72) Изобретатель:

(32) **2023.04.03**

**Яковлев Георгий Евгеньевич, Зубков**

(33) **RU**

**Василий Иванович, Соломникова**

(71) Заявитель:

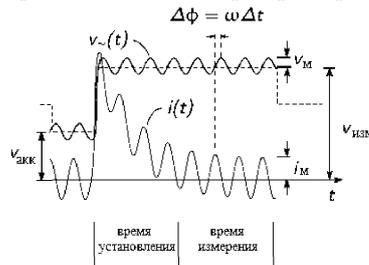
**Анна Васильевна (RU)**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
АВТНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "САНКТ-  
ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ "ЛЭТИ" ИМ. В.И.  
УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)" (СПбГЭТУ  
"ЛЭТИ") (RU)**

(74) Представитель:

**Семенов А.А. (RU)**

(57) Изобретение относится к области микроэлектроники и может быть использовано в технологии изготовления полупроводниковых гетероструктур для контроля профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине, а также для анализа структур, оказавшихся у потребителя. Технический результат заключается в повышении точности определения концентрации носителей заряда. В способе на поверхности полупроводниковой гетероструктуры проводят измерения емкости и дополнительно осуществляют травление для каждого функционального слоя структуры, измеряют зависимость емкости от напряжения в нестационарном режиме и зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения, определяют "окно профилирования" на заданной глубине, при котором максимально допустимое значение тангенса угла диэлектрических потерь имеет значение 0.2, далее осуществляют пересчет нестационарной вольт-фарадной характеристики в локальный профиль распределения концентрации основных носителей заряда по глубине гетероструктуры путем дифференцирования нестационарной вольт-фарадной характеристики по напряжению в области "окна профилирования". После чего путем суперпозиции локальных профилей распределения концентрации основных носителей заряда совмещают их с учетом сдвига вглубь по координате каждого локального профиля на соответствующую глубину травления и получают искомый профиль распределения концентрации основных носителей заряда по глубине гетероструктуры.



**A1**

**202490383**

**202490383**

**A1**

## Способ определения профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине в полупроводниковых гетероструктурах

Изобретение относится к области микроэлектроники и может быть использовано в технологии изготовления полупроводниковых гетероструктур для контроля профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине, а также для анализа структур, оказавшихся у потребителя.

Известен способ определения параметров полупроводниковых структур, заключающийся в определении концентрации носителей заряда в полупроводниковом материале на основе эффекта Холла [Кучис Е.В. Методы исследования эффекта Холла М.: Советское радио, 1974. 328 с. и Патент RU 2654935C1]. При реализации этого способа полупроводник, через который течет постоянный ток, помещают в магнитное поле, вследствие чего в полупроводнике возникает поперечная (холловская) разность потенциалов, по величине которой определяют значение концентрации носителей заряда, которая является характеристикой полупроводниковой структуры. Такой способ предназначен для определения средней концентрации носителей заряда во всем объеме полупроводника. Его недостатком является невозможность определения значения концентрации в локальных областях материала, таких как квантовые ямы и квантовые точки, что снижает точность определения параметров структуры. Метод является трудоемким, поскольку требует определения значения подвижности носителей заряда в исследуемом образце, которое может существенно отличаться от значения подвижности носителей заряда в контрольных (стандартных) образцах, особенно в случае больших доз ионной имплантации примеси. Помимо этого существенные требования предъявляются также и к материалам, и геометрии металлических контактов.

Известен способ [Патент RU 2437112 С1] измерения концентрации носителей заряда полупроводниковых структур, заключающийся в последовательном приложении к структуре, содержащей область объемного заряда, изменяющегося в определенном диапазоне напряжения смещения и регистрации при каждом напряжении емкости и проводимости структуры. Измерения повторяют при различной температуре и частоте тестового сигнала. Стандартная обработка измеренной вольт-фарадной характеристики, включающая дифференцирование, позволяет определять локальную концентрацию носителей заряда по структуре [Берман Л.С. Емкостные методы исследования полупроводников Л.: Наука, 1972. 104 с.]. Применимость измерения вольт-фарадных характеристик барьера Шоттки ограничена тем, что не для всех полупроводников при изготовлении контакта металл-полупроводник образуется барьер Шоттки, в частности для n-InAs, имеющего на поверхности обогащенный носителями слой. Принципиальным ограничением вольт-фарадных методов также является глубина профилирования, которая ограничена обратным напряжением пробоя диода Шоттки. Это имеет серьезное значение в случае материалов с высокой концентрацией носителей заряда, где обедненный слой является очень тонким.

Известен способ [Патент US 4168212], позволяющий определить концентрацию основных носителей заряда в полупроводниковых гетероструктурах, основанный на измерении емкости двухчастотным методом с использованием электролитического контакта. Метод не требует специальной подготовки образца, в частности, нанесения металлического контакта Шоттки. Разнообразие используемых жидких электролитов, а также возможность варьирования их концентрацией, позволяет контролировать высоту выпрямляющего барьера на границе раздела полупроводник/электролит, минимизируя встроенную область объемного заряда, и тем самым повышая разрешающую способность метода по глубине. Приложение положительного напряжения к электролитическому

контакту позволяет травить поверхность исследуемого образца и измерять концентрацию на больших глубинах (вплоть до десятков микрон), что недоступно для классического метода измерения вольт-фарадных характеристик с металлическим контактом. Недостатком метода является недостаточное разрешение по глубине и измеряемой концентрации в случае исследования квантоворазмерных гетероструктур с близкорасположенными (до 10 нм) областями локализации носителей заряда. Еще одним недостатком является существенная ошибка регистрируемого значения концентрации в случае измерения узкозонных материалов (например, n-InAs), для которых характерно образование инверсного слоя на поверхности образца в равновесных условиях. Травление не позволяет убрать эту ошибку, так как происходит перманентная реконструкция поверхности, инверсный слой сохраняется.

Наиболее близким к предлагаемому является способ [Д.С. Фролов, В.И. Зубков. Автоматизированная установка для измерения неравновесных вольт-фарадных характеристик в системе электролит-полупроводник // Приборы и техника эксперимента. №1 (2017)], основанный на измерении импульсных вольт-фарадных характеристик в полупроводниковых образцах через электролитический контакт. Для каждой точки на результирующей вольт-фарадной характеристике напряжение смещения подается короткими импульсами. Амплитуда импульса напряжения смещения изменяется от величины, соответствующей аккумуляции носителей заряда, к заданному значению, при котором регистрируется сигнал. Импульсная подача напряжения позволяет проводить измерения в режиме глубокого обеднения структуры, поскольку процесс накопления неосновных носителей заряда не успевает за изменением поля. Способ имеет хорошую достоверность и воспроизводимость в случае измерения однороднолегированных полупроводниковых образцов. Основным недостатком метода является недостаточное разрешение по глубине и измеряемой концентрации в случае исследования квантоворазмерных

гетероструктур с близкорасположенными (до 10 нм) областями локализации основных носителей заряда.

Задачей изобретения является создание способа измерения профиля распределения концентрации основных носителей заряда в полупроводниковых гетероструктурах, позволяющего получить технический результат, заключающийся в повышении точности определения концентрации носителей заряда.

Задача решается за счет того, что в способе на поверхности полупроводниковой гетероструктуры проводят измерения емкости и дополнительно осуществляют травление для каждого функционального слоя структуры, измеряют зависимость емкости от напряжения в нестационарном режиме и зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения, определяют «окно профилирования» на заданной глубине, при котором максимально-допустимое значение тангенса угла диэлектрических потерь имеет значение 0.2, далее осуществляют пересчет нестационарной вольт-фарадной характеристики в локальный профиль распределения концентрации основных носителей заряда по глубине гетероструктуры путем дифференцирования нестационарной вольт-фарадной характеристики по напряжению в области «окна профилирования», после чего путем суперпозиции локальных профилей распределения концентрации основных носителей заряда совмещают их с учетом сдвига вглубь по координате каждого локального профиля на соответствующую глубину травления и получают искомый профиль распределения концентрации основных носителей заряда по глубине гетероструктуры.

Технический результат достигается за счет того, что для измерения профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине в полупроводниковых гетероструктурах осуществляют травление на глубину каждого слоя и проводят в нем измерения, необходимые для определения профиля концентрации, после чего объединяют полученные

профили в один с учетом глубин, которые они характеризуют. Таким образом достигается увеличение пространственного и амплитудного разрешения результирующего концентрационного профиля гетероструктур с близкорасположенными областями локализации носителей заряда за счёт определения локальных «окон профилирования» и измерения нестационарных ВФХ на различных глубинах травления для создания условия, когда почти вся составляющая полной проводимости в исследуемой области гетероструктуры обусловлена ее реактивной частью и малое приращение напряжения  $\Delta U$ , нивелируя влияние остальных слоев гетероструктуры, приводит к значительным изменениям емкости  $\Delta C$  и, соответственно, к бóльшей чувствительности в исследуемой области, с последующей суперпозицией локальных прецизионных концентрационных профилей на разных глубинах травления.

Совокупность признаков по п2. формулы характеризуют способ, в котором измерение нестационарной вольт-фарадной характеристики осуществляют путем подачи импульсов напряжения длительностью не более 20 миллисекунд. Это приводит к увеличению достоверности измерения концентрации основных носителей заряда в узкозонных материалах. Это связано с созданием в них условий глубокого обеднения за счёт подачи импульсов напряжения длительностью не более 20 миллисекунд при измерении нестационарных ВФХ, так, что процесс накопления неосновной носителей заряда не успевает за изменением поля. Длительность импульса складывается из времени установления сигнала (до 10 мс) и времени измерения. Время измерения определяется частотой тестового сигнала и должно вмещать в себя не менее 10 периодов сигнала. При этом амплитуда импульса напряжения смещения  $v_{см}(t)$  изменяется от величины, соответствующей аккумуляции ( $v_{акк}$ ) носителей заряда, к заданному значению ( $v_{изм}$ ), при котором регистрируют ток  $i(t)$  через структуру (Фиг. 1). В этом режиме процесс накопления неосновных носителей заряда не успевает за изменением поля, и образец

(полупроводниковая структура) оказывается в режиме глубокого обеднения. Это особенно важно в случае исследования узкозонных материалов.

Заявляемый способ позволяет повысить точность измерений и, таким образом, точность определения параметров полупроводниковых структур без потери информации.

Изобретение поясняется чертежами, где:

Фиг. 1. Временная диаграмма напряжений и тока в нестационарных вольт-фарадных измерениях.  $V_{акк}$  – напряжение аккумуляции носителей заряда;  $V_{изм}$  – напряжение измерения; приложенное напряжение смещения;  $v_{\sim}(t)$  – переменный тестовый сигнал напряжения;  $i(t)$  – ток через структуру;  $V_M$  – амплитуда переменного сигнала напряжения при измерении;  $v_M$  – амплитуда переменного сигнала тока при измерении;  $\Delta\phi$  – разность фаз между напряжением и током.

Фиг. 2. Вольт-амперная характеристика гетероструктуры с квантовой ямой InGaAs/GaAs и областью дельта-легирования вблизи квантовой ямы.

Фиг. 3. Нестационарная вольт-фарадная характеристика гетероструктуры с квантовой ямой InGaAs/GaAs и областью дельта-легирования вблизи квантовой ямы. Измерено на глубине травления 110 нм от поверхности образца.

Фиг. 4. Локальный профиль распределения концентрации дырок, полученный из нестационарной ВФХ, измеренной на глубине травления 110 нм от поверхности образца и зависимость фактора диссипации от координаты.

Фиг. 5. Суперпозиция локальных концентрационных профилей, измеренных на различных глубинах травления гетероструктуры с квантовой ямой InGaAs/GaAs и областью дельта-легирования.

Фиг. 6. Результирующий наблюдаемый профиль распределения концентрации дырок в области квантовой ямы и дельта слоя.

Перед измерениями, по стандартной общепринятой методике, производят предварительную обработку поверхности исследуемого объекта. Пыль и крупные загрязнения удаляют механически, после чего поверхность промывают в изопропаноле и дистиллированной воде, высушивают при комнатной температуре.

Далее образец помещают в электрохимическую ячейку с металлическими (платиновыми) электродами. Ячейку заполняют электролитом, тем самым обеспечивается электролитический (выпрямляющий) контакт. Площадь контакта полупроводник/электролит ограничивают отверстием в уплотнительном кольце электрохимической ячейки. В качестве электролита выступают различные соединения - щелочи или кислоты - выбор определяется свойствами исследуемого полупроводника и требуемым режимом травления.

Омические контакты могут располагаться как снизу образца (в случае проводящей подложки), тогда реализуется сквозное протекание тока через образец, так и сверху, тогда возникает латеральное протекание тока. Как правило используют последнее, при этом травление всегда происходит сверху. В качестве омических контактов выступают медные иглы, механически прижимаемые к поверхности полупроводникового образца.

На первом этапе измерений при помощи источника-измерителя в стационарном режиме производят измерение вольт-амперной характеристики (ВАХ) образца. Анализ ВАХ позволяет определить напряжение травления образца и диапазон напряжений, соответствующий области постоянной плотности тока, при которых далее измеряют нестационарные вольт-фарадные характеристики.

Далее, используя интервал обратных напряжений смещения, соответствующий участку постоянной плотности тока вольт-амперной характеристики, проводят измерение вольт-фарадной характеристики (ВФХ) в нестационарном режиме. Для каждой точки на ВФХ напряжение смещения подают короткими импульсами амплитуды  $v_{см}(t)$  с наложенным

переменным сигналом заданной частоты  $v_{\sim}(t)$ . Длительность импульса складывается из времени установления сигнала (до 10 мс) и времени измерения. Время измерения определяется частотой тестового сигнала и должно вмещать в себя не менее 10 периодов сигнала. При этом амплитуда импульса напряжения смещения  $v_{см}(t)$  изменяется от величины, соответствующей аккумуляции ( $v_{акк}$ ) носителей заряда, к заданному значению ( $v_{изм}$ ), при котором регистрируют ток  $i(t)$  через структуру (Фиг. 1). В этом режиме процесс накопления неосновных носителей заряда не успевает за изменением поля, и образец (полупроводниковая структура) оказывается в режиме глубокого обеднения. Это особенно важно в случае исследования узкозонных материалов.

Генерацию коротких импульсов напряжения и переменного напряжения заданной частоты осуществляют при помощи генератора сигналов произвольной формы. Регистрацию подаваемого на структуру сигнала напряжения и токового отклика (тока протекающего через структуру) осуществляют при помощи цифрового осциллографа. Протекающий через структуру ток, перед цифровым осциллографом, пропускают через фильтр высших гармоник. Сдвиг по фазе между тестовым напряжением  $v_m$  и током через  $i_m$  структуру определяют из аппроксимации измеренных сигналов функцией вида  $\sin(\omega t + \varphi)$ . При определении разности фаз из измеренного тока вычитают плавно меняющуюся постоянную составляющую тока, а также вклад от высших гармоник тестового сигнала, возникающих из-за нелинейного отклика системы.

Параллельную эквивалентную схему используют для измерения емкости узкозонных полупроводников, таких как  $n$ -InAs. Используя параллельную эквивалентную схему, можно записать известную формулу для адмиттанса  $Y$ :

$$Y = G + j\omega C_p \quad (1)$$

где  $G$  - проводимость структуры,  $\omega$  - циклическая частота зондирующего сигнала,  $C_p$  - дифференциальная емкость (параллельная).

Последовательную эквивалентную схему используют для измерения емкости широкозонных полупроводников, таких как SiC и GaN, а также при наличии большого последовательного сопротивления структуры. Используя последовательную эквивалентную схему, можно записать известную формулу для импеданса  $Z$ :

$$Z = 1/Y = R + j/\omega Cs \quad (2)$$

где  $R$  – активное сопротивление структуры,  $Cs$  - дифференциальная емкость (последовательная).

Емкость рассчитывают из мнимой составляющей комплексного импеданса по известной формуле:

$$Z = \frac{v_M}{i_M} e^{j(\omega t + \Delta\varphi)} \quad (3)$$

где  $t$  – время,  $\Delta\varphi$  - сдвиг по фазе между переменными составляющими тока и напряжения.

В этом же диапазоне напряжений измеряют зависимость фактора диссипации (тангенса угла диэлектрических потерь) от напряжения. По этой зависимости определяют так называемое локальное «окно профилирования», т. е. – интервал координат с достоверным значением измеряемых параметров, в данном случае емкости. В отличие от классического метода измерения ВФХ с металлическими контактами, где типичный фактор диссипации (отношение реальной и мнимой компонент комплексного импеданса) может быть 0.01 и менее, минимально доступное значение 0.06–0.2 является специфической особенностью электрохимических вольт-фарадных измерений. Это связано с природой жидкого электролита как активной среды, содержащей слои Гельмгольца и Гуи-Чепмена, а также с процессами поляризации, токами утечки и т.п.

Фактор диссипации определяют по известной формуле для параллельной эквивалентной схемы:

$$tg\delta = 1/\omega CpR, \quad (4)$$

для последовательной эквивалентной схемы:

$$\operatorname{tg}\delta = -\omega CsR. \quad (5)$$

Затем на измеренную нестационарную ВФХ накладывают «окно профилирования», определяемое диапазоном напряжения, при котором фактор диссипации имеет значение менее 0.2. Не удовлетворяющие этому критерию значения емкости нестационарной ВФХ удаляют из дальнейшего расчета. Величина 0.4 является общепринятым пороговым значением индикации грубых ошибок при измерении емкости через электролитический контакт, однако корректнее брать в качестве критерия максимально допустимого значения величину 0.2, как это показано нами в примере (Фиг. 4). Затем, по известной формуле, осуществляют пересчет нестационарной ВФХ в локальный профиль распределения концентрации основных носителей заряда:

$$n = \frac{C^3}{dC/dU} \frac{1}{q\epsilon\epsilon_0 S^2} \quad (6)$$

где  $q$  – заряд электрона,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость полупроводника,  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $S$  – площадь контакта электролит-полупроводник,  $C$  – измеренная емкость,  $U$  – напряжение смещения.

Таким образом получают локальный (вблизи поверхности полупроводниковой гетероструктуры) профиль распределения концентрации основных носителей заряда.

Для получения профиля распределения концентрации в глубине структуры проводят процедуру электрохимического травления. Путем приложения источником-измерителем к структуре в течение непродолжительного времени положительного смещения, соответствующего напряжению травления (определяется по ВАХ), в области электролитического контакта производят травление поверхности образца на заданную глубину. Глубина травления пропорциональна времени приложения напряжения и величине протекающего тока и определяется по известной формуле:

$$x_r = \frac{M}{zF\rho S} \int_0^t I_e(t) dt \quad (7)$$

где  $x_r$  – глубина травления,  $M$  – молярная масса стравливаемого материала,  $z$  – валентное число ионов вещества (число электронов, необходимое для растворения одной молекулы),  $F$  – постоянная Фарадея;  $\rho$  – плотность материала,  $t$  – время травления;  $I_e$  – измеряемый ток травления.

Путем чередования нестационарных вольт-фарадных измерений и электрохимического травления получают набор локальных (для соответствующих глубин травления) неравновесных вольт-фарадных характеристик (ЛНВФХ), локальных «окон профилирования» и локальных профилей распределения концентрации основных носителей заряда по глубине. Каждый локальный профиль распределения концентрации основных носителей заряда также корректируют по координате глубины путем добавки к ней величины соответствующей текущей глубине травления. Затем путем суперпозиции локальных профилей распределения концентрации основных носителей заряда совмещают их и получают искомый результирующий наблюдаемый профиль распределения концентрации основных носителей заряда по глубине гетероструктуры.

**Пример.** Для проведения измерения исследовались образцы полупроводниковых гетероструктур с квантовой ямой InGaAs/GaAs и областью дельта-легирования вблизи квантовой ямы. Образцы получены методом МОС-гидридной эпитаксии (газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений).

В качестве электролита для проведения исследований был выбран водный раствор 0.1 М тайрона. Данный раствор является полирующим травителем для GaAs и обеспечивает прецизионное травление материала с оптимальной скоростью. Площадь электролитического контакта составляла 0.1 см<sup>2</sup>. Частота и амплитуда переменного тестового сигнала для измерения емкости выбирались 300 Гц и 50 мВ соответственно.

Измеряем ВАХ в диапазоне  $-4.5 \dots 0\text{В}$  (Фиг. 2). По ВАХ определяем диапазон напряжений смещения, соответствующий малому протеканию тока через структуру. В данном случае это  $-3.5\text{В} \dots -0.5\text{В}$ . Нестационарные вольт-фарадные характеристики будут измеряться в этом диапазоне.

Согласно паспорту структуры, квантовая яма находится на глубине 140 нм. Предлагаемый способ особенно эффективен при измерении структур с близкорасположенными областями локализации носителей заряда, поэтому производим электрохимическое травление на глубину 60 нм (напряжение травления  $-0.1\text{В}$ , ток травления  $1 \text{ мА/см}^2$ ). Далее производим измерение нестационарной вольт-фарадной характеристики в диапазоне напряжений  $-3.5\text{В} \dots -0.5\text{В}$ . Длительность импульса напряжения складывается из времени установления сигнала (10 мс) и времени измерения. В данном случае время измерения ровно 3.3мс (10 периодов сигнала частотой 300 Гц). Получаем нестационарную вольт-фарадную характеристику и зависимость фактора диссипации от напряжения.

Повторяем циклы травления и измерения нестационарных ВФХ на ключевых глубинах 90 нм, 110 нм и 120 нм.

На каждой глубине травления определяем «окно профилирования», наиболее наглядно это можно продемонстрировать для нестационарной ВФХ, измеренной на глубине 110 нм (Фиг. 3.).

Исходя из порогового критерия фактора диссипации в 0.2, по фиг. 3 определяем «окно профилирования» на данной глубине. «Окно профилирования» может быть выражено как в единицах напряжения, так и в единицах расстояния. По Фиг. 4. видно, что область локального концентрационного профиля, полученная путем дифференцирования нестационарной ВФХ, при значении фактора диссипации более 0.2, имеет артефакты измерений, поэтому соответствующие области, выходящие за «окно профилирования», удаляются из дальнейшей обработки. Каждый локальный профиль распределения концентрации основных носителей заряда также корректируют по координате глубины путем добавки к ней

величины соответствующей текущей глубине травления, в данном случае прибавки 110 нм. Локальный профиль концентрации на Фиг. 4. Приведен уже с учетом сдвига по координате глубины.

Аналогичным образом скорректированы локальные профили распределения концентрации дырок, измеренные на глубинах 60 нм, 90 нм и 120 нм. Далее необходимо провести суперпозицию локальных концентрационных профилей в результирующий. Эта операция производится наложением скорректированных локальных концентрационных профилей друг на друга в областях достоверных «окон профилирования» (Фиг. 5.).

При относительно малых глубинах травления не удастся достичь высокого концентрационного разрешения в области, соответствующей глубоко залегающим слоям структуры (область квантовой ямы и дельта-слоя). Это обусловлено большим фактором диссипации из-за преимущественного вклада активного сопротивления толстых верхних слоев. Наоборот, травление верхних слоев позволяет создать условия для ВФХ-измерений, когда почти вся проводимость приходится на ее реактивную часть. В этом случае небольшое приращение напряжения  $\Delta V$  приводит к значительному изменению емкости  $\Delta C$  и, следовательно, к большей селективности.

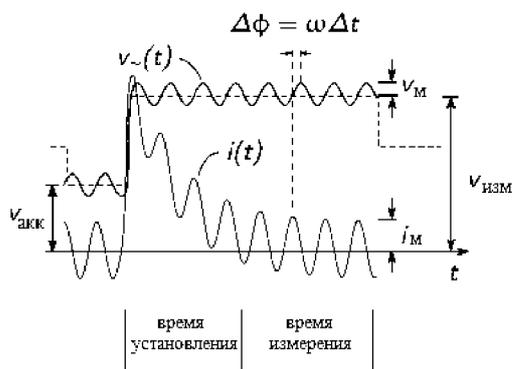
Результирующий наблюдаемый профиль распределения концентрации дырок по глубине показан на Фиг. 6. Предлагаемый метод позволяет уверенно выделить близлежащие пики, связанные с квантовой ямой и дельта-слоем. Разница между пиковой концентрацией в квантовой яме и концентрацией в провале между квантовой ямой и дельта-слоем в данном случае составляет 20%. Это подтверждает явное разделение двух пиков и показывает преимущества предложенного метода для точного определения профиля распределения концентрации основных носителей заряда.

## Формула

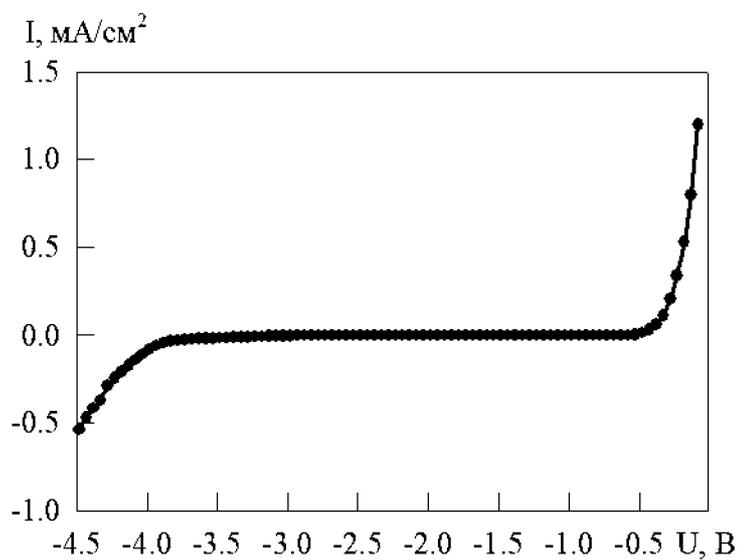
1. Способ определения профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине в полупроводниковых гетероструктурах, при котором на образце полупроводниковой гетероструктуры проводят измерения емкости, отличающийся тем, что дополнительно осуществляют травление для каждого функционального слоя структуры, измеряют зависимость емкости от напряжения в нестационарном режиме и зависимость тангенса угла диэлектрических потерь от напряжения, определяют «окно профилирования» на заданной глубине, при котором максимально-допустимое значение тангенса угла диэлектрических потерь имеет значение 0.2, далее осуществляют пересчёт нестационарной вольт-фарадной характеристики в локальный профиль распределения концентрации основных носителей заряда по глубине гетероструктуры путем дифференцирования нестационарной вольт-фарадной характеристики по напряжению в области «окна профилирования», после чего путем суперпозиции локальных профилей распределения концентрации основных носителей заряда совмещают их с учетом сдвига вглубь по координате каждого локального профиля на соответствующую глубину травления и получают искомый профиль распределения концентрации основных носителей заряда по глубине гетероструктуры.

2. Способ по п.1., отличающийся тем, что измерение нестационарной вольт-фарадной характеристики осуществляют путем подачи импульсов напряжения длительностью не более 20 миллисекунд.

Способ определения профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине в полупроводниковых гетероструктурах

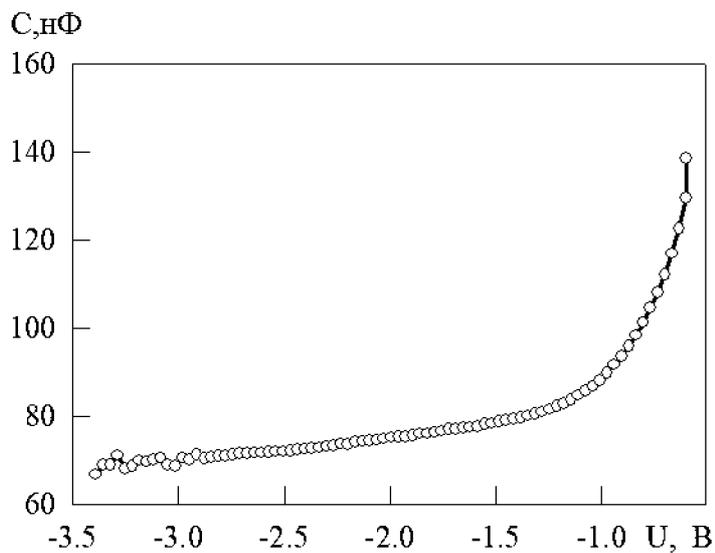


Фиг. 1.

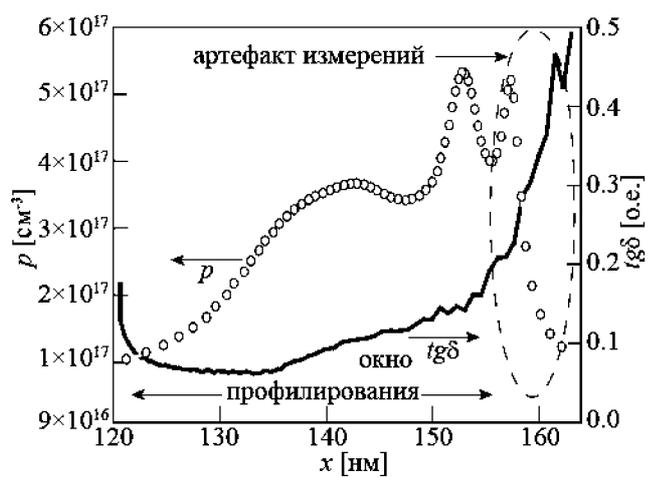


Фиг. 2.

Способ определения профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине в полупроводниковых гетероструктурах

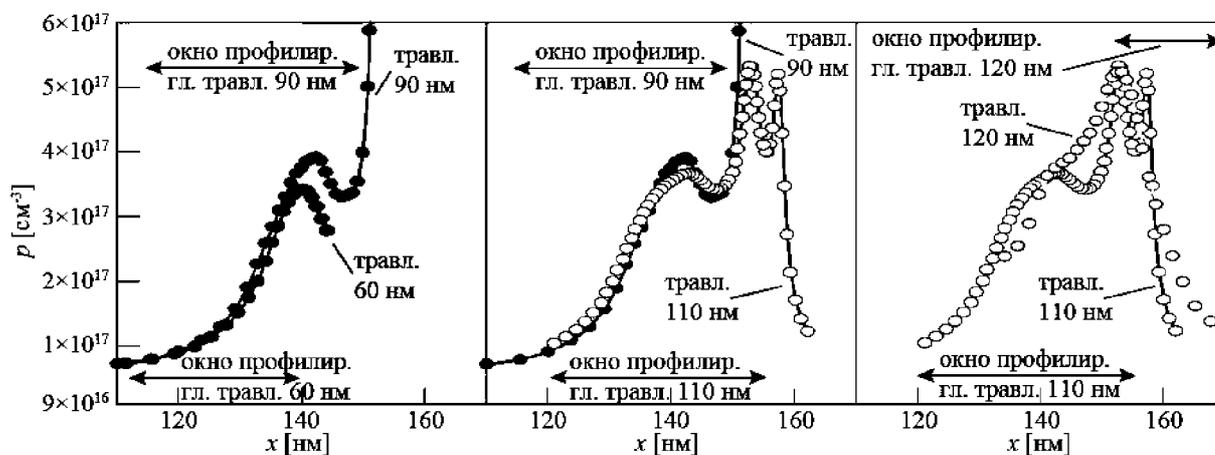


Фиг. 3.

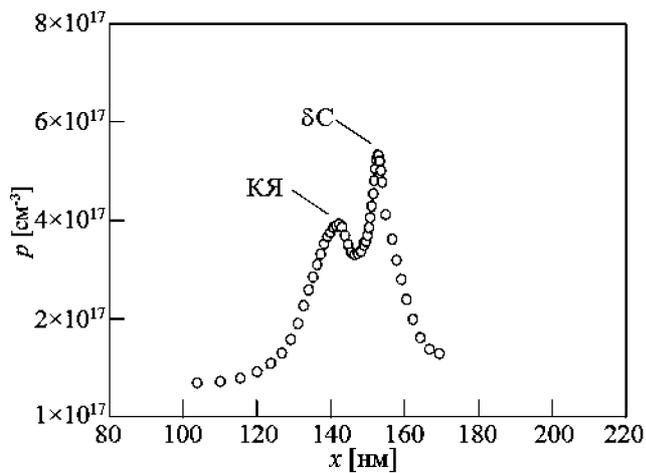


Фиг. 4.

Способ определения профиля распределения концентрации основных носителей заряда по глубине в полупроводниковых гетероструктурах



Фиг. 5.



Фиг. 6.

**ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ ПОИСКЕ**

(статья 15(3) ЕАПК и правило 42 Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

**202490383****А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ:**

МПК:

**H01L21/66** (2006.01)

СПК:

**H01L 22/00****Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:**

H01L21/66, G01R 27/00, 31/36, G01N 21/55

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если возможно, используемые поисковые термины)  
Espacenet, EAPATIS, Google patent, Роспатент платформа**В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ**

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A,D	RU 2654935 C1 (ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ") 2018-05-23	1-2
A	CN 109490744 A (BEIHANG UNIVERSITY и др.) 2019-03-19	1-2
A	JP 2014063785 A (SUMCO CORPORATION) 2014-04-10	1-2
A	US 8300227 B2 (XITRONIX CORPORATION) 2012-10-30	1-2

 последующие документы указаны в продолжении графы

\* Особые категории ссылочных документов:

«А» - документ, определяющий общий уровень техники

«D» - документ, приведенный в евразийской заявке

«E» - более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее

«O» - документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

"P" - документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета"

«Т» - более поздний документ, опубликованный после даты приоритета и приведенный для понимания изобретения

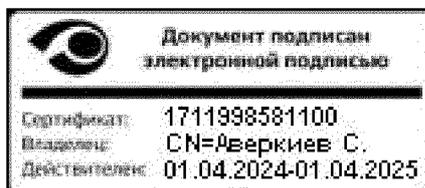
«X» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности

«Y» - документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории

«&amp;» - документ, являющийся патентом-аналогом

«L» - документ, приведенный в других целях

Дата проведения патентного поиска: 05 июня 2024 (05.06.2024)

Уполномоченное лицо:  
Начальник Управления экспертизы

С.Е. Аверкиев