

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНТАКТА МЕТАЛЛ-ПОРИСТЫЙ АРСЕНИД ГАЛЛИЯ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ

А. П. Оксанич, С. Е. Пritchин, М. Г. Когдась, А. Г. Холод

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: pritchinse@gmail.com

Рассмотрен вопрос построения математической модели контакта к пористому слою арсенида галлия. Показано, что основным механизмом, который определяет протекания тока в системе металлический контакт – пористый арсенид галлия является термоэлектронная эмиссия. Получено выражение, которое определяет зависимость между контактным сопротивлением и пористостью пленки арсенида галлия. Разработана математическая модель описывающая зависимость общего сопротивления системы металлический контакт-пористый слой арсенида галлия-подложка арсенида галлия от пористости пленки, и показано что с увеличением толщины пористой пленки общее сопротивление увеличивается. Для оценки адекватности разработанной математической модели контакта металл-пористый арсенид галлия с барьером Шоттки были построены вольт-амперные характеристики и рассчитано общее контактное сопротивление для экспериментальных образцов с различной толщиной пористого слоя. Расхождение между результатами моделирования и экспериментальными данными не превышает 20 %.

Ключевые слова: математическая модель, пористость, GaAs, контакт, барьер Шоттки.

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОНТАКТУ МЕТАЛ-ПОРУВАТИЙ АРСЕНІД ГАЛІЮ З БАР'ЄРОМ ШОТКИ

А. П. Оксанич, С. Е. Пritchин, М. Г. Когдась, О. Г. Холод

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail pritchinse@gmail.com

Розглянуто питання побудови математичної моделі контакту до пористого шару арсеніду галію. Показано, що основним механізмом, який визначає перебіг струму через перехід метал-напівпровідник є термоелектронна емісія. Термоелектричне випромінювання є основним видом струму, який протікає на кордоні метал-напівпровідник, в тому випадку, коли електрони мають досить високу енергію, щоб подолати бар'єр на межі поділу метал-напівпровідник, таким чином термоелектронний струм виникає тільки тоді, коли висота бар'єра досить мала, щоб достатня кількість електронів переходило через бар'єр. Отримано вираз, який визначає залежність між контактним опором і пористістю плівки арсеніду галію, і показано що при більш високих рівнях легування польова емісія знижує контактний опір. Розроблено математичну модель яка описує залежність загального опору системи «металевий контакт – пористий шар арсеніду галію – підкладка арсеніду галію» від пористості плівки, і розрахунковим шляхом показано що зі збільшенням товщини пористої плівки загальний опір збільшується. Для оцінки адекватності розробленої математичної моделі контакту метал – поруватий арсенід галію з бар'єром Шоттки були побудовані вольт-амперні характеристики і розраховано загальний контактний опір для експериментальних зразків з різною товщиною пористого шару. Для оцінки адекватності отриманої моделі були експериментально визначено значення R_T для зразків з різними значеннями h_1 . Як зразки використовувалися епітаксіальні структури GaAs: Sn - GaAs: Si кристалографічної орієнтації (100). Структури виготовлялися з пластин GaAs: Sn товщиною 400 мкм з концентрацією носіїв заряду 10^{18} см^{-3} (шар n + - GaAs: Sn) яка вимірювалася методом Холла, і потім на пластини методом газозфазної епітаксії наносився шар GaAs: Si товщиною 20 мкм з концентрацій носіїв заряду 10^{16} см^{-3} (шар n- GaAs: Sn). Для розрахунку даних параметрів використовувалася програма для розрахунку висоти бар'єру, фактора ідеальності і величини послідовного опору з вольтамперних характеристик по методах Родеріка, Чонга, прямий апроксимації, енергії активації і модифікованим методом Норде. Розбіг між результатами моделювання та експериментальними даними не перевищує 20 %. Показано, що контактний опір металу до пористий арсеніду галію визначається висотою бар'єру Шоттки. Зміна пористості плівки porous-GaAs призводить до зміни контактного опору.

Ключові слова: математична модель, поруватість, GaAs, контакти, бар'єр Шоттки.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Арсенид галлия (GaAs) благодаря своим уникальным свойствам занимает второе место в мире по применяемости в качестве полупроводников после кремния. В последнее время стала развиваться технология, основанная на пористом арсениде галлия (porous GaAs). Суть данной технологии заключается в создании на подложке n-типа GaAs методом электрохимического травления пористой пленки [1, 2].

Благодаря такой пленки электронные приборы приобретают уникальные свойства [3]. Пористый GaAs находит применение в сенсорах газа [4, 5], оптоэлектронных устройствах [6], быстродействующих диодах, солнечных элементах и т.д.

Использование porous GaAs в активных приборах требует понимания электрических и диэлектрических характеристик структуры [7].

Контактное сопротивление относится к сопротивлению, возникающему на границе металл-полупроводник. В отличие от интерфейса металл-металл, интерфейс металл-полупроводник имеет значительно большее сопротивление. Для того чтобы создать эффективный контакт металл-полупроводник, необходимо минимизировать вклад сопротивления на границе металл-полупроводник, что приводит к улучшению параметров электронных приборов.

Увеличенное контактное сопротивление увеличивает потери проводимости в цепи, что в свою очередь может привести к повышению температуры контакта которая может повредить контакт. Следовательно, контактное сопротивление является очень важным параметром для характеристики устройства. Актуальной задачей является снижение контактного сопротивления.

С момента открытия пористого кремния [8] вопрос металлических контактов к пористому слою является одним из широко изученных. В работах [9–11] были предложены различные транспортные механизмы, такие как Эффект Пула-Френкеля, метод ограниченного объемного потока, принцип автоэмиссии (тунелирование электронов) предложенный Фаулером и Нордгеймом (F-N) [12].

Особое место при создании металлических контактов к полупроводникам занимают контакты с барьером Шоттки [13–15]. Особенно остро этот вопрос встает при использовании в качестве полупроводникового слоя *rogoous GaAs*. Данные контакты находят широкое применение при изготовлении сенсоров газа на *rogoous GaAs* [16].

В тоже время механизм формирования контакта металл-полупроводник с барьером Шоттки к пористому слою *GaAs* изучен недостаточно.

Решение этого вопроса позволит улучшить электрические свойства контактов, и как следствие повысить характеристики электронных приборов на *rogoous GaAs* включая сенсоры газа.

Целью работы является разработка математической модели контакта металл-пористый арсенид галлия с барьером Шоттки для прогнозирования электрических параметров контактов при изменении структуры пористого слоя на структуре *GaAs*.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Рассмотрим механизм формирования контактного сопротивления металл-*GaAs*.

Как известно, переход металл-полупроводник может привести к созданию выпрямляющего или омического контакта в зависимости от природы металла и параметров полупроводниковой подложки. Выпрямляющий контакт металл-полупроводник называется контактом с барьером Шоттки. Контакт характеризуется контактным удельным сопротивлением, которое позволяет оценить сопротивление контакта, и протекание тока на границе металл-полупроводник. Это контактное сопротивление можно определить, как скорость изменения напряжения по отношению к плотности тока, при условии, что напряжение стремится к нулю, в соответствии с выражением (1).

$$\rho_c = \left(\frac{\partial V}{\partial j} \right) \Big|_{V \rightarrow 0} \quad (1)$$

Механизм формирования контактного сопротивления может быть рассмотрен с использованием диаграммы энергетических зон на границе раздела металл – полупроводник [17].

Энергетический уровень вакуума является эталонным уровнем, относительно которого сравнивается энергия металла и полупроводника. Работа выхода - это разность энергий между вакуумом и

энергетическим уровнем Ферми. Средство к электрону определяется как энергия, необходимая электрону на дне зоны проводимости для достижения уровня энергии вакуума.

Когда металл и полупроводник вступают в тесный контакт, уровни энергии перестраиваются так, что уровни Ферми на металле и полупроводнике выстраиваются в линию. Из-за перегруппировки энергетических уровней энергетический барьер создается на границе раздела металл-полупроводник. Высота барьера определяется разностью энергий, которую электроны должны преодолеть для перемещения между металлом и полупроводником. Высота барьера - это разность между работой выхода металла и средством к электрону полупроводника. Из-за перегруппировки уровней энергии зона проводимости в полупроводнике *n*-типа снижается, и изменение уровня энергии приводит к возникновению напряжения на границе раздела. Высота барьера задается уравнением (2). Контактное напряжение задается уравнением (3).

$$\varphi_B = \varphi_M - \chi, \quad (2)$$

$$V_{bi} = \varphi_M - \varphi_S, \quad (3)$$

где φ_B – высота барьера, φ_M – работа выхода металла, χ – электронное средство полупроводника, V_{bi} – контактное напряжение, φ_S – электронное средство полупроводника.

При этом параметры выражений (2) и (3) определяются следующим образом:

$$\varphi_S = E_{VAC} - E_{F_S},$$

$$\varphi_m = E_{VAC} - E_{F_M},$$

$$\chi = E_{VAC} - E_C,$$

где E_{VAC} – потенциальная энергия электронов в вакууме, E_{F_S} – уровень Ферми электронов в полупроводнике, E_{F_M} – уровень Ферми электронов в металле, E_C – дно зоны проводимости.

Предположим, что металл заряжается по плоскости контакта, а заряд в полупроводнике распространяется через область обеднения. Эта область заряда в полупроводнике приводит к появлению электрического поля и дополнительного потенциала в области, которая является контактным напряжением. Ширина обедненной зоны на границе раздела металл - полупроводник можно записать как:

$$x_d = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s(V_{bi} - V_a)}{qN_d}}, \quad (4)$$

где ε_s – диэлектрическая проницаемость, q – заряд электрона, N_d – концентрация доноров.

Основным механизмом, который определяет протекание тока через переход металл-полупроводник является термоэлектронная эмиссия. Термоэлектрическое излучение является основным видом тока, который протекает на границе металл-

полупроводник, в том случае, когда электроны имеют достаточно высокую энергию, чтобы преодолеть барьер на границе раздела металл-полупроводник. Следовательно, термоэлектронный ток возникает только тогда, когда высота барьера достаточно мала, чтобы достаточное количество электронов переходило через барьер. Плотность тока, обусловленный термоэлектронной эмиссией, определяется выражением (5).

$$J = A^* T^2 \exp\left(-\frac{q\phi_B}{kT}\right) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] \quad (5)$$

здесь A^* - постоянная Ричардсона, которая определяется следующим выражением:

$$A^* = \frac{4\pi q k^2 m^*}{h^3} = 120 \left(\frac{m^*}{m}\right) A / cm^2 K^2 \quad (6)$$

где V = приложенное напряжение, T = абсолютная температура, b - высота барьера, m - масса свободного электрона, m^* - эффективная масса электрона. Это уравнение показывает, что по мере увеличения высоты барьера ток продолжает экспоненциально снижаться. В этом случае контактное сопротивление можно выразить через выражение (7).

$$\rho_C = \left(\frac{k_B}{qA^*T}\right) \exp\left(\frac{q\phi_{Bn}}{k_B T}\right). \quad (7)$$

В том случае, если полупроводник является высоколегированным, полевая эмиссия является доминирующим явлением переноса тока на границе металл-полупроводник. Когда барьер между металлом и полупроводником имеет малую толщину, может возникать эффект туннелирования электронов от металла к полупроводнику. Вероятность текущего туннелирования зависит от различных факторов, таких как легирование, высота барьера. Явление эффекта туннелирования обусловлено главным образом электрическим полем на границах раздела металл-полупроводник, в том случае если высота барьера сравнительно высока.

Удельное контактное сопротивление перехода металл-полупроводник в случае процесса полевой эмиссии можно определить в соответствии с [17]. Анализ выражение (8), показывает, что контактное сопротивление имеет обратно пропорциональную зависимость от уровня легирования в степени 1/2. Следовательно, это доказывает, что контактное сопротивление уменьшается по мере увеличения легирования полупроводника.

$$R_C \approx \exp\left[\left(\frac{2\phi_{Bn}}{\hbar}\right) \sqrt{\frac{\epsilon_0 \epsilon_s m^*}{N_D}}\right] \approx \exp\left[\frac{K}{N_D}\right]. \quad (8)$$

На контактное сопротивление влияет качество поверхности металл-полупроводник. В этом случае контактное сопротивление можно оценить по следующему выражению [18]:

$$R_C = R_{Sh} - L_t^2, \quad (9)$$

где R_{Sh} – поверхностное сопротивление полупроводникового слоя за пределами области контакта.

Контактное сопротивление на границе металл-полупроводник при различных механизмах проводимости тока можно записать в следующем виде:

$$R_C = \begin{cases} \left(\frac{k_B}{qA^*T}\right) \exp\left(\frac{q\phi_{Bn}}{k_B T}\right) \\ c_1 \left(\frac{k_B}{qA^*T}\right) \exp\left(\frac{q\phi_B}{E_0}\right) \\ c_2 \left(\frac{k_B}{qA^*T}\right) \exp\left(\frac{q\phi_B}{E_{00}}\right) \end{cases} \quad (10)$$

где

$$E_{00} = \frac{q\hbar}{4\pi} \sqrt{\frac{N}{K_s \epsilon_0 m_i^*}}$$

$$E_0 = E_{00} \coth\left(\frac{E_{00}}{k_B T}\right)$$

$$c_1, c_2 = f(N_D, T, \phi_B).$$

Как можно видеть, что контактное удельное сопротивление в случае термоэлектронной эмиссии зависит от энергии E_0 , которая в свою очередь является функцией E_{00} . В упрощенном виде контактное сопротивление при наличии полевого излучения определяется выражением E_{00} , которое обратно пропорционально зависит от уровня легирования.

Пористая пленка porous GaAs состоит из пор и столбиков, как можно видеть на рис. 1.

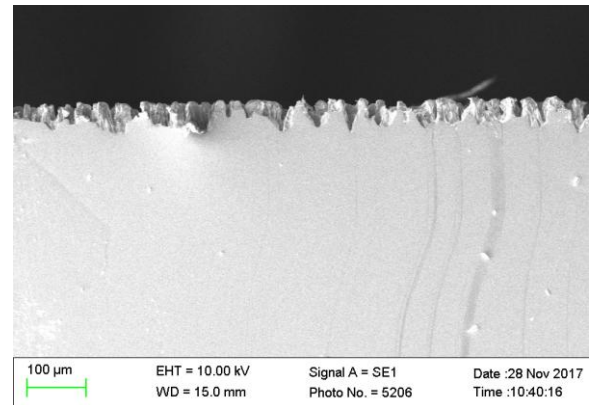


Рисунок 1 – Пористая пленка porous GaAs. Электронный микроскоп

Следовательно, при более высоких уровнях легирования полевая эмиссия снижает контактное сопротивление.

При нанесении металлического контактного слоя на пористый слой, контактное сопротивление можно представить, как nR_{sh} , где n – число столбиков на площади πL^2 , где L – радиус металлического контакта.

Схему системы металл-пористая пленка можно представить следующим образом (рис. 2)

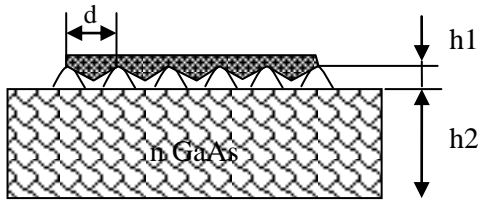


Рисунок 2 – Схематическое изображение металлический контакт – porous GaAs

Эквивалентная электрическая схема металл-пористая пленка приведена на рис. 3.

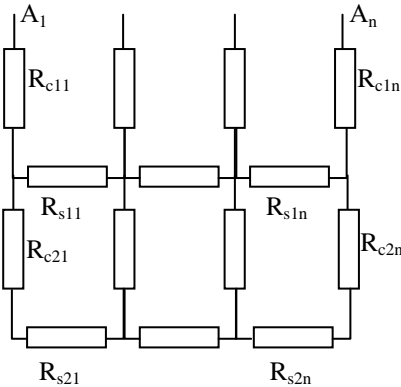


Рисунок 3 – Эквивалентная электрическая схема металл-пористая пленка

Для дальнейшего анализа контактного сопротивления структуры металлический контакт – porous GaAs применим метод переноса (Transmission Line Method – TLM) [19] который основан на изменении полного сопротивления по отношению к интервалу между контактами. Структура системы металлический контакт – porous GaAs в этом случае может быть представлена как эквивалентная модель сопротивления, как показано на рис. 3. Чтобы получить соотношение между полным сопротивлением и расстоянием между металлическими контактами, сначала рассмотрим исследуется поперечную структуру системы металлический контакт-пористый слой-подложка-металлический контакт. Эту же концепцию можно спроецировать на вертикальную структуру, где напряжение на контакты подается на верхний и нижний контакт. Толщина пористой пленки изменяется для получения разного расстояния между контактами и далее получения графика TLM.

Общее контактное сопротивление между двумя контактами можно записать как соединение сопротивлений R_c , которые определяют контактное сопротивление металл – пористый слой (ρ_s), и сопротивлений R_s – которые определяют сопротивление пористого слоя и сопротивления подложки. Тогда можно записать выражение для определения общего сопротивления контакта как:

$$R_T = \sum_{i=1}^n \frac{R_{ci} (R_{ci} + R_{si})}{2R_{ci} + R_{si}}, \quad (11)$$

где

$$R_s = \rho_s \times d / H,$$

где ρ_s – удельное сопротивление полупроводника, d – расстояние между столбиками пористого слоя, металлическими контактами (в поперечной структуре), $H = h1 + h2$ – толщина пористого слоя и толщины подложки.

Результаты расчета полученной модели зависимости сопротивления контакта от толщины пористого слоя приведены на рис. 4.

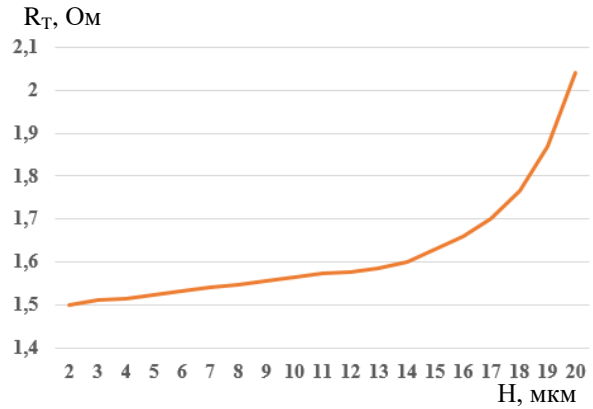


Рисунок 4 – Результат моделирования зависимости R_T от H

Для оценки адекватности полученной модели были экспериментально определено значение R_T для образцов с различными значениями $h1$.

В качестве образцов использовались эпитаксиальные структуры GaAs:Sn – GaAs:Si кристаллографической ориентации (100). Структуры изготавливались из пластин GaAs:Sn толщиной 400 мкм с концентрацией носителей заряда 10^{18} см^{-3} (слой n-GaAs:Sn) которая измерялась методом Холла, и затем на пластины методом газовой фазной эпитаксии наносился слой GaAs:Si толщиной 20 мкм с концентрацией носителей заряда 10^{16} см^{-3} (слой p-GaAs:Sn). Всего было изготовлено 5 структур.

Перед формированием пористого слоя и омических контактов структуры обезжировали путем последовательных погружений в органические растворители трихлорэтилена, ацетона, метанола, затем промывали дионизированной водой и сушили сухим азотом в течении 10 минут.

К слою n-GaAs:Sn методом электронно-лучевого напыления создавался омический контакт AgGePd-GaAs с толщинами слоев 100/50/10 нм соответственно и последующим отжигом в течении 30 мин, при температуре 350°C .

Пористый слой площадью $6,28 \text{ см}^2$ создавался в электролитической ячейке, используя травитель $\text{HF:H}_2\text{O}$ (1,5:1). Плотность тока анодирования варьировался в диапазоне $20 \div 80 \text{ mA}$ при времени анодирования 3 мин. Область травления освещалась источником света мощностью 100 Вт, в качестве которого использовалась галогенная лампа.

Контакт Шоттки Pd/GaAs и Pd/porous GaAs создавался методом химического осаждения. Толщина полученного контакта Pd/n-GaAs и Pd/porousGaAs

измерялась интерферометрическим методом микроинтерферометром МИИ-4 и составляла около 0,3 мкм.

Для экспериментального определения сопротивления контактов были построены вольт-амперные характеристики, которые представлены на рис. 5.

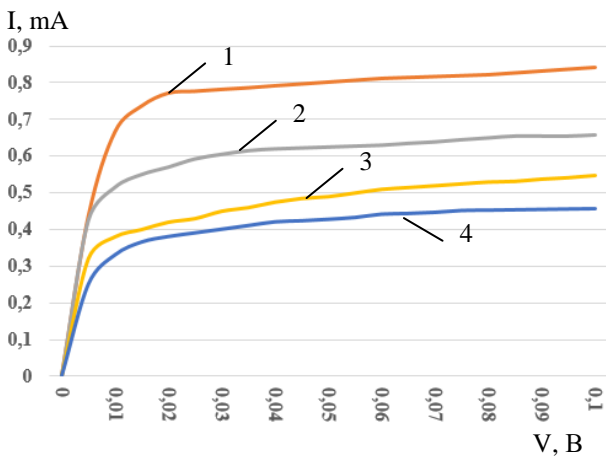


Рисунок 5 – Вольт-амперные характеристики контактов Шоттки для исследуемых образцов Pd/porousGaAs в полулогарифмическом масштабе: 1 – ток анодирования 20 мА; 2 – ток анодирования 40 мА; 3 – ток анодирования 60 мА; 4 – ток анодирования 80 мА

Используя полученные вольт-амперные характеристики были определены параметры барьера Шоттки, в частности высота барьера, и значение коэффициента идеальности.

Для расчета данных параметров использовалась программа для расчета высоты барьера, фактора идеальности и величины последовательного сопротивления из вольтамперных характеристик по методам Родерика, Чонга, прямой аппроксимации, энергии активации и модифицированным методом Норде.

Результаты расчета модельных и экспериментальных значений последовательного сопротивления для толщины пористого слоя и подложки (см. рис. 2) приведены в табл. 1

Таблица 1 – Результаты моделирования и эксперимента определения общего контактного сопротивления

Образец	Толщина пористого слоя, мкм	Результат моделирования (R_T), Ом	Экспериментальное значение (R_T), Ом
Pd/porousGaAs (1)	5	1,59	1,47
Pd/porousGaAs (2)	10	1,74	1,69
Pd/porousGaAs (3)	15	1,89	1,94
Pd/porousGaAs (4)	20	2,04	2,19

Оценка адекватности разработанной модели проводилась способом по дисперсиям отклонений

откликов модели от среднего значения откликов системы. Оценка математического ожидания была вычислена в соответствии с выражением (19).

$$\tilde{R}_T = \frac{\sum_{i=1}^n R_{Ti}}{n} \quad (19)$$

Математическое ожидания результатов моделирования составило $\tilde{R}_{Tm} = 1.815$, соответственно для экспериментальных данных математическое ожидания составило $\tilde{R}_{Tm} = 1.823$.

Дисперсию отклика системы можно определить по следующему выражению:

$$\tilde{D} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{Ti} - \tilde{R}_T)^2}{n - 1} \quad (20)$$

Для рассчитанных значений определенных при помощи математической модели дисперсия составила $\tilde{D} = 0.0375$, соответственно для экспериментальных данных – $\tilde{D} = 0.096892$.

Проверка гипотезы о адекватности модели по критерию Стюдента показала, что предложенная модель является адекватной. Расхождение между расчетными данными полученными в результате моделирования общего сопротивления и экспериментальными данными составляет близко 20%.

ВВЫВОДЫ. В работе показано, что контактное сопротивление металла к пористому арсениду галлия определяется высотой барьера Шоттки. Изменение пористости пленки porous-GaAs приводит к изменению контактного сопротивления.

Показано, что общее сопротивление металл- porous-GaAs можно рассматривать как систему параллельно-последовательно соединённых сопротивлений.

Впервые разработана математическая модель описывающая зависимость общего сопротивления системы металлический контакт-пористый слой арсенида галлия-подложка арсенида галлия от пористости пленки, и показано что с увеличением толщины пористой пленки общее сопротивление увеличивается. Оценка адекватности предложенной модели показало соответствие между результатами моделирования общего сопротивления и экспериментальными данными на уровне 20%.

ЛИТЕРАТУРА

- Shor J. S., Grimberg I., Weiss B. Z., Kurtz A. D. Direct observation of porous SiC formed by anodization in HF. Appl. Phys. Lett.. 2003. V. 62. PP. 2836–2838.
- G. Oskam, A. Natarajan, P. C. Searson, F. M. Ross The formation of porous GaAs in HF solutions. Applied Surface Science. 1999. V. 119. PP. 160–168.
- A. I. Belogorokhov, S. A. Gavrilov, I. A. Belogorokhov. Structural and optical properties of porous gallium arsenide. Physica Status Solidi (c). 2005. V. 2 (9). PP. 3491–3494.
- Alireza Salehi, Dara Jamshidi Kalantari. Characteristics of highly sensitive Au_porous-GaAs Schottky. Sensors and Actuators. 2007. V. 122. PP. 69–74.

5. A. Salehi, A. Nikfarjam, D.-J. Kalantari, "Pd/porous-GaAs Schottky contact for hydrogen sensing applications. *Sens. Actuators B, Chem.* 2006. V 113. no. 1. PP. 419–427.
6. Дмитрук Н. Л., Мамонтова И. Б. Фотоэлектрические преобразователи солнечного излучения с текстурированной поверхностью. *Оптоэлектроника и полупроводниковая техника.* 2000. № 35. С. 67–90.
7. Sze SM. *Physics of semiconductor devices.* New York: Wiley. 2001. P. 245.
8. Canham L. T. Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers. *Appl Phys Lett.* 1999. V. 57. PP. 1046–1053
9. M. Ben-Chorin, F. Möller, F. Koch. Band alignment and carrier injection at the porous-silicon–crystalline silicon interface. *J Appl Phys,* 2005. V. 77. P. 4482–4491.
10. Piotrowska A., Guivach A., Pelous G. Ohmic contacts to III-V compound semiconductors: A review of fabrication techniques. *Solid-St. Electron.* 2003. Vol. 26, N 3. P. 179–197.
11. Kocka J, Oswald J, Fejfar A, Sedlacik R, Zelezny V, The-Ha H. Carrier transport in porous silicon light-emitting devices. *J Appl Phys.* 1999. V. 80. P. 295–303.
12. C. Kleint Comments and references relating to early work in field electron emission. *Surface and Interface Analysis.* V.36 (56). P. 387–390.
13. Newman N., Van Schilfgaarde M., Kendelwicz T., Williams M. D., Spicer W. E. Electrical study of Schottky barriers on atomically clean GaAs(110) surfaces. *Phys. Rev. B.* 2006. V. 33(2). P. 1146–1159.
14. H. Altuntaş, Ş. Altındal, S. Özçelik, H. Shtrikman. Electrical characteristics of Au/n-GaAs Schottky barrier diodes with and without SiO₂ insulator layer at room temperature. 2009. V. 83(7). P. 1060–1065.
15. Chen Dong, Xiuxun Han, Xin Gao, Yoshio Ohshita, Masafumi Yamaguchi. Electrical characterization of Cu Schottky contacts to n-type GaAs grown on (311)A/B GaAs substrates. *Journal of Alloys and Compounds.* 2016. V. 657. P. 325–329.
16. Heng-Yong Nie and Yasuo Nannichi. Pd-on-GaAs Schottky Contact: Its Barrier Height and Response to Hydrogen. *Jpn. J. Appl. Phys.* 2001. V. 30 P. 906–913.
17. S. S. Li. *Metal–Semiconductor Contacts. Semiconductor Physical Electronics.* Boston, MA: Springer US. 1999. P. 247–286.
18. R. S. Popovic. Metal-n-type semiconductor ohmic contact with a shallow N⁺ surface layer. *Solid. State. Electron.* 2008. V. 21. P. 1133–1138.
19. S. J. Proctor, L. W. Linholm, J. A. Mazer. "Direct measurements of interfacial contact resistance, end resistance, and interfacial contact layer uniformity. *Electron Devices, IEEE Transactions.* 2003. V 1. P. 1535–1542.
20. А. Оксанич, М. Когдась, О. Холод, М. Мащенко Разработка высокочувствительных датчиков водорода на базе диодов Шоттки изготовленных из наноразмерных слоев n-GaAs. *Вестник Кременчугского национального университета имени Михаила Остроградского.* 2018. Выпуск 2(109) С. 9–14.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF CONTACT METAL-POROUS GALLIUM ARSENIDE WITH A SCHOTTKY BARRIER

A. Oksanich, S. Pritchinn, M. Kogdas, O. Holod

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: pritchinse@gmail.com

Purpose. Recently, a technology based on porous gallium arsenide (porous GaAs) has been developed. The essence of this technology lies in the creation of a porous film by electrochemical etching on a n-type GaAs substrate. A special place in the creation of metal contacts to semiconductors is occupied by contacts with the Schottky barrier. This issue is especially acute when porous GaAs is used as a semiconductor layer. These contacts are widely used in the manufacture of gas sensors on porous GaAs. The development of a mathematical model of metal-porous gallium arsenide contact with a Schottky barrier will make it possible to predict the electrical parameters of the contacts when the structure of the porous layer on the GaAs structure changes. **Methodology.** To analyze the contact resistance of the metal contact - porous GaAs structure, we apply the transfer method (Transmission Line Method - TLM), which is based on the change of full impedance relative to the contact spacing. To calculate these parameters, a program was used to calculate the height of the barrier, the ideality factor, and the value of the series resistance from the current-voltage characteristics. **Results.** The paper shows that the contact resistance of a metal to porous gallium arsenide is determined by the height of the Schottky barrier. A change of porosity of the porous – GaAs film leads to a change of the contact resistance. It is shown that the total resistance of metal porous – GaAs can be considered as a system of parallel-series-connected resistances. **Originality.** The paper shows that the contact resistance of a metal to porous gallium arsenide is determined by the height of the Schottky barrier. A change in the porous – GaAs film porosity leads to a change in the contact resistance. For the first time, a mathematical model describing dependency of total resistance of the metal contact – porous gallium arsenide – gallium arsenide substrate system on the porous film was developed. It was shown that the total resistance increases with increasing thickness of the porous film. The assessment of the adequacy of the proposed model showed the correspondence between the results of modeling of the total resistance and the experimental data at the level of 20%. **The practical value.** The proposed method will improve the quality produced by por-GaAs, which is used in the manufacture of various gas sensors.

Key words: mathematical model, porosity, GaAs, contact, Schottky barrier.

REFERENCES

1. Shor, J. S., Grimberg, I., Weiss, B. Z., Kurtz, A. D. (1993), Direct observation of porous SiC formed by anodization in HF, *Appl. Phys. Lett.*, V. 62, pp. 2836-2838.
2. Oskam, G., Natarajan, A., Searson, P., Ross, F. (1997), The formation of porous GaAs in HF solutions, *Applied Surface Science*, V. 119, pp. 160-168.
3. Belogorokhov, A. I., Gavrillov, S. A., Belogorokhov, I. A. (2005), Structural and optical properties of porous gallium arsenide, *Physica Status Solidi (c)*, V.2 (9), pp. 3491-3494.
4. Salehi, Alireza, Kalantari, Dara Jamshidi (2007), Characteristics of highly sensitive Au_porous-GaAs Schottky, *Sensors and Actuators*, V.122, pp. 69-74.
5. Salehi, A., Nikfarjam, A., Kalantari, D.-J. (2006), "Pd/porous-GaAs Schottky contact for hydrogen sensing applications. *Sens. Actuators B, Chem.*, V 113, no. 1, pp. 419-427.
6. Dmytruk, N. L., Mamontova, I. B. (2000), Fotelektrotrychnykh peretvoryuvachi sonyachnoho vyprominyuvannya z teksturovanoyu poverkhneyu, *Optoelektronika ta napivprovodnykova tekhnika*, № 35, pp. 67-90.
7. Sze, S M. (1981), *Physics of semiconductor devices*, New York: Wiley, 245 p.
8. Canham, L. T. (1990), Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafers, *Appl Phys Lett.*, V. 57, pp. 1046-1053.
9. Ben-Chorin, M., Möller, F., Koch, F. (1995), Band alignment and carrier injection at the porous-silicon-crystalline silicon interface, *J Appl Phys*, V. 77, pp. 4482 - 4491.
10. Piotrowska, A., Guivach, A., Pelous, G. (1983), Ohmic contacts to III-V compound semiconductors: A review of fabrication techniques, *Solid-St. Electron*, Vol. 26, N 3, pp. 179-197.
11. Kocka, J., Oswald, J., Fejfar, A., Sedlacik, R., Zelezny, V. (1996), The-Ha H. Carrier transport in porous silicon light-emitting devices, *J Appl Phys.*, V. 80, pp. 295-303.
12. Kleint, C. Comments and references relating to early work in field electron emission, *Surface and Interface Analysis*, V.36 (56), pp. 387-390.
13. Newman, N., van Schilfgaarde, M., Kendelwicz, T., Williams, M. D., Spicer, W. E. (1986), Electrical study of Schottky barriers on atomically clean GaAs(110) surfaces, *Phys. Rev. B.*, V. 33(2), pp. 1146-1159.
14. Altuntaş, H., Ş. Altındal, S. Özçelik, H. Shtrikman (2009), Electrical characteristics of Au/n-GaAs Schottky barrier diodes with and without SiO₂ insulator layer at room temperature, V. 83(7), pp.1060-1065.
15. Chen, Dong, Xiuxun, Han, Xin, Gao, Yoshio, Ohshita, Masafumi, Yamaguchi (2016), Electrical characterization of Cu Schottky contacts to n-type GaAs grown on (311)A/B GaAs substrates, *Journal of Alloys and Compounds*, V. 657, pp. 325-329.
16. Heng-Yong, Nie, Yasuo, Nannichi (1991), Pd-on-GaAs Schottky Contact: Its Barrier Height and Response to Hydrogen, *Jpn. J. Appl. Phys.*, V. 30, pp. 906-913.
17. Li, S. S. (1993), *Metal-Semiconductor Contacts, Semiconductor Physical Electronics*, Boston, MA: Springer US, pp. 247-286.
18. R. S. Popovic. Metal-n-type semiconductor ohmic contact with a shallow N⁺ surface layer. *Solid. State. Electron*. 1978. V. 21. P. 1133-1138.
19. Proctor, S. J., Linholm, L. W., Mazer, J. A. (1983), "Direct measurements of interfacial contact resistance, end resistance, and interfacial contact layer uniformity, *Electron Devices, IEEE Transactions*, V 1., pp. 1535-1542.
20. Oksanich, A., Kogdas, M., Holod, O., Maschenko, M. (2018), Development of high-sensitive hydrogen sensors of Schottky diodes based on n-GaAs nano layers, *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, V.2 (109), pp. 9-14.

Стаття надійшла 01.06.2018.