

наноструктуры пленок и их влияние на гидрофильно-гидрофобный баланс поверхности, а также режимы смачивания.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» (2016–2020 гг., подпрограмма «Материаловедение и технологии материалов», задание 1.40, № ГР 20161123).

Авторы благодарны О. Г. Бобровичу (БГТУ) и Ю. С. Яковенко (БГПУ) за помощь при получении образцов методом ионно-ассистированного осаждения и проведении измерений методами СЗМ и покоящейся капли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Шугуров, А.Р. Механизмы возникновения напряжений в тонких пленках и покрытиях / А. Р. Шугуров, А. В. Панин // Журн. тех. физики. – 2020. – Т. 90, № 12. – Р. 1971–1994.
2. Ташлыкова-Бушкевич, И. И. Нанорельеф поверхности тонких пленок сплавов Al–Mn и Al–Ni при ионно-ассистированном осаждении на стекло / И. И. Ташлыкова-Бушкевич, И. А. Столяр // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. – 2023. - № 3. – С. 23–39.
3. Ташлыкова-Бушкевич И. И. Формирование субмикронной конусообразной морфологии поверхности нанометровых пленок сплава Al-Fe при различных условиях ионно-ассистированного осаждения на стекло / И. И. Ташлыкова-Бушкевич // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. – 2024. – № 3. – С. 88–104.
4. Hu, S. Bi-Gaussian stratified wetting model on rough surfaces / S. Hu [et al.] // Langmuir. – 2019. – Vol. 35, № 17. – Р. 5967–5974.

ПАССИВАЦИЯ АКТИВНЫХ СТРУКТУР ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ ИЗ СОБСТВЕННЫХ ОКСИДОВ

Е. В. Телеш

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул. П. Бровки, 6, 220013 Минск, Беларусь,
e-mail: eteleash@bsuir.by*

Изучено влияние процесса нанесения пассивирующих слоев из собственного оксида арсенида галлия, полученных реактивным ионно-лучевым распылением, на параметры полевых транзисторов с барьером Шоттки. Формирование вторичного плазменного разряда в пространстве «мишень-подложка» сопровождается ионным облучением подложки, что вызывает радиационные повреждения поверхности GaAs и приводит к увеличению тока стока на 9 – 10 %. Крутизна транзисторов составила $\approx 4,4$ мА/В и практически не изменялась после пассивации. Ток утечки затвора при $U_{обр.} = 10$ В вырос со 100 до 500 нА. Увеличение токов стока и утечки свидетельствует о донорном характере радиационных дефектов. Использование бомбардировки растущей пленки собственного оксида ионами аргона с энергией около 1000 эВ и плотностью тока 50 мкА/см² привело к увеличению напряжения насыщения тока стока и уменьшению крутизны почти в два раза.

Ключевые слова: гетероструктуры собственный оксид/GaAs; реактивное ионно-лучевое распыление; ионная бомбардировка; полевые транзисторы с барьером Шоттки.

PASSIVATION OF ACTIVE STRUCTURES OF INTEGRATED CIRCUITS ON GALLIUM ARSENIDE USING COATINGS FROM NATIVE OXIDES

E. V. Telezh

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, P. Brovki st. 6,
220013 Minsk, Belarus,*

Corresponding author: E. V. Telezh (etelesh@bsuir.by)

The effect of deposition of passivation layers of native gallium arsenide oxide obtained by reactive ion-beam sputtering on the parameters of field-effect transistors with a Schottky barrier was studied. Formation of a secondary plasma discharge in the target-substrate space is accompanied by ion irradiation of the substrate, which causes radiation damage to the GaAs surface and leads to an increase in the drain current by 9 – 10 %. The transistor slope was ≈ 4.4 mA/V and remained virtually unchanged after passivation. The gate leakage current at $U_{rev} = 10$ V increased from 100 to 500 nA. An increase in the drain and leakage currents indicates a donor nature of radiation defects. The use of bombardment of the growing native oxide film with argon ions with an energy of about 1000 eV and a current density of $50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ led to an increase in the saturation voltage of the drain current and a decrease in slope by almost two times.

Key words: native oxide/GaAs heterostructures; reactive ion beam sputtering; ion bombardment; Schottky barrier field-effect transistors.

ВВЕДЕНИЕ

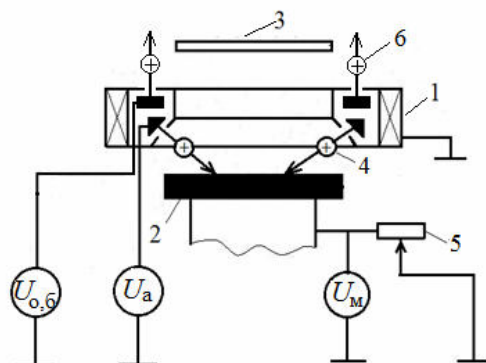
Важной технологической задачей является формирование гетероструктур «диэлектрик-арсенид галлия» различного функционального назначения. Пассивирующие слои служат для защиты поверхности активных структур от воздействия окружающей среды. Они должны иметь высокую адгезию к GaAs и низкие пористость и плотность заряда на границе раздела с полупроводником. Для решения этих проблем является перспективным использование ионных пучков для нанесения диэлектрических слоев, очистки поверхности слоев гетероструктур, управления характеристиками границ раздела. Это позволит значительно снизить температуру формирования слоев, улучшить качество, воспроизводимость характеристик, как самих слоев, так и границ раздела. Ранее были исследованы процессы формирования пассивации полевых транзисторов с барьером Шоттки (ПТБШ) с применением ионно-лучевого распыления диэлектрических мишеней [1] и мишени из кремния [2]. Весьма перспективным является применение собственного оксида арсенида галлия в качестве материала для пассивации и изоляции активных компонентов интегральных схем на GaAs [3]. Автором был разработан новый метод формирования собственного оксида арсенида галлия, заключающийся в распылении мишени из арсенида галлия ионами аргона и кислорода [4].

Задачей исследований являлось изучение влияния процесса нанесения пассивирующих слоев из собственного оксида арсенида галлия на параметры ПТБШ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

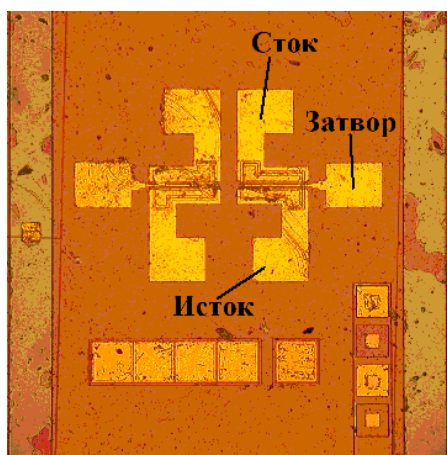
Формирование пассивирующих покрытий осуществляли на модернизированной установке вакуумного напыления УРМ 3.279.017. Вакуумный объем откачивался диффузионным насосом, что обеспечило получение остаточного вакуума $2,5 \cdot 10^{-3}$ Па. В качестве ионного источника использовался двухлучевой плазменный ускоритель с анодным слоем, который позволял формировать два независимых пучка ионов (рис. 1). Первый пучок предназначен для ионной очистки и бомбардировки, второй – для распыления мишени. Для создания положительного напряжения на мишени последняя заземлялась через переменный резистор. В качестве материала мишени использовался арсенид галлия АГЧТ-2 ТУ 48-4-276-73, рабочими газами являлись аргон высшей очистки и кислород.

Проведено нанесение пассивирующих слоев из оксидов GaAs на активные структуры, представляющие собой пару полевых транзисторов с барьером Шоттки (рис. 2, а).

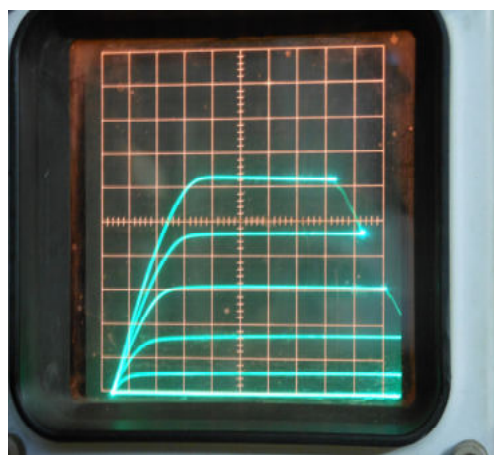


1 – ионный источник; 2 – мишень; 3 – подложка;
4, 6 – ионные пучки; 5 – резистор

Рис. 1. Схема проведения экспериментов по нанесению пассивирующих слоев



а



б

Рис. 2. Топология пары ПТБШ (а) и стоковые характеристики ПТБШ (б)

Формирование пассивирующих слоев из оксидов арсенида галлия осуществлялось при следующих технологических режимах: парциальное давление кислорода составляло $4 \cdot 10^{-2}$ Па, ускоряющее напряжение $U_a = 3,5$ кВ, ток разряда – 70 мА, напряжение на мишени $U_m = 80$ В, температура подложки – 313 К, толщина слоя ~ 300 нм. Перед нанесением пассивации поверхность GaAs очищалась от есте-

ственных оксидов путем травления в 10 %-м растворе соляной кислоты с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушкой. Перед пассивацией осуществлялась очистка ионами аргона с энергией 600–700 эВ и плотностью тока 100 мкА/см². Измерение характеристик полевых транзисторов на арсениде галлия до и после пассивации осуществлялось на характериографе TR-4805. Внешний вид типичных стоковых характеристик ПТБШ представлен на рисунке 2, б.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При распылении заземленной мишени энергия частиц (атомы и ионы распыленного материала, отраженные первичные положительные ионы) в области подложки находится в диапазоне нескольких десятков электронвольт. При наличии положительного потенциала на мишени энергия возрастает до величины порядка 150–300 эВ. Это связано с генерацией вторичного плазменного разряда в пространстве «мишень-подложка» и сопровождается интенсивным ионным облучением подложки, что вызывает радиационные повреждения поверхности GaAs. Наблюдалось увеличение тока стока I_c на 9–10 %, крутизна S составила $\approx 4,4$ мА/В и практически не изменялась (рис. 3, а).

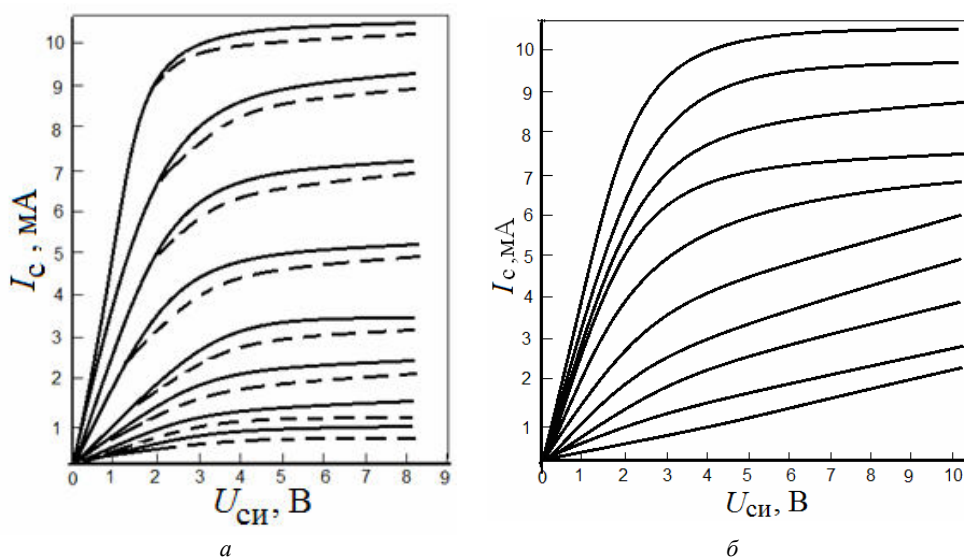


Рис. 3. Стоковые характеристики ПТБШ с пассивацией собственными оксидами GaAs:

а – до пассивации; б – после пассивации

Ток утечки затвора I_y при $U_{обр.} = 10$ В вырос со 100 до 500 нА. Увеличение I_c и I_y свидетельствует о донорном характере радиационных дефектов.

Для повышения плотности пассивирующего покрытия была использована ионная бомбардировка растущей пленки оксида. Энергия ионов аргона составляла около 1000 эВ, плотность тока – 50 мкА/см². Анализ стоковых характеристик показал, что после процесса пассивации произошло увеличение напряжения $U_{си}$ насыщения тока стока и уменьшение крутизны почти в два раза (рис. 3, б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что использование в качестве материала диэлектрических слоев для пассивации активных структур интегральных схем на GaAs собственного оксида, полученного реактивным ионно-лучевым распылением мишени из арсенида галлия, является перспективным. Применение ионной бомбардировки конденсирующейся пленки оксида привело к резкому ухудшению параметров ПТБШ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Телеш, Е.В. Пассивация полевых транзисторов с барьером Шоттки на арсениде галлия с применением ионно-лучевого распыления диэлектрических мишеней / Е.В. Телеш // Электроника–инфо. – 2015. – №7 (121). – С. 59–62.
2. Телеш, Е.В. Формирование пассивирующих слоев для микроэлектронных устройств на GaAs реактивным ионно-лучевым распылением / Е.В. Телеш // IV Международная научная конференция «Проблемы взаимодействия излучения с веществом», посвященная 90-летию со дня рождения Б.В. Бокутя, 9–11 ноября 2016 г.: [материалы] в 2 частях. Ч. 2 / редкол.: С.А. Хахов (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2016. – С. 155–159.
3. Лежава, Н.Г. Применение собственного оксида арсенида галлия для создания изоляции активных компонентов интегральных схем на GaAs / Н.Г. Лежава, А.П. Бибилашвили, А.Б. Герасимов // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т. 31. – Вып. 2. – С. 63–66.
4. Приборы и технология на основе непланарного кремния / Л.В. Кожитов, Т.Т. Кондратенко, В.В. Крапухин, Т.Я. Кондратенко // Новые материалы. – М.: МИСиС, 2002. – С. 15–184.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТЕРМОЭДС К ДЕФОРМАЦИИ В ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫХ РЕЗИСТОРАХ

**М. Турсунов¹, А. Дехканов¹, Г. Абдурахманов¹, Г. Вохидова²,
В. Ксенович³, Д. Ташмухамедова⁴**

¹⁾ *Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, ул. Университетская, 4, 100174 Ташкент, Узбекистан, e-mail: muhridintursunov.1995@mail.ru*

²⁾ *НОУ Альфаком, пр. А. Темура, 3/1, 100017 Ташкент, Узбекистан*

³⁾ *Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030 Минск, Беларусь*

⁴⁾ *Ташкентский государственный технический университет ул. Университетская, 2, 100094 Ташкент, Узбекистан*

Экспериментально показано, что в толстопленочном резисторе чувствительность к механической деформации у термоЭДС в ~ 20–120 раз выше, чем у электропроводности. При этом влияние температуры окружающей среды на термоЭДС незначительно и может быть доведено почти до уровня, характерного для металлических тензодатчиков.

Ключевые слова: коэффициент тензочувствительности; тензодатчик; диоксид рутения; растяжение и сжатие, прогиб.