

# ФОРМИРОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКИХ КОНТАКТОВ ДЛЯ ПРИБОРОВ С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ НА АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

УДК 621.382.22

Е.В. Телеш, БГУИР, г. Минск

## Аннотация

Исследованы процессы ионно-лучевого формирования термостойких контактов с барьером Шоттки на арсениде галлия с использованием в качестве контактного слоя диборида титана. Изучено влияние режимов нанесения на адгезию и пористость контактного слоя. Исследована термостойкость контактов  $TiB_2/n-GaAs$  и  $Au/TiB_2/n-GaAs$ . Установлено, что контакты на основе  $TiB_2$  выдерживают воздействие температур до 973–1073 К. Предложены возможные причины деградации контактов.

## Введение

Развитие технологии микроэлектронных устройств на основе арсенида галлия выдвигает ряд требований по обеспечению их надежности, стабильности и воспроизводимости, которые во многом определяются конструкцией и технологией формирования контактов с барьером Шоттки. Наибольшее воздействие на контакты оказывает температура, т.к. ускоряет протекание деградационных процессов. В настоящее время актуальной проблемой является разработка контактов с барьером Шоттки, которые могли бы обеспечить стабильные и воспроизводимые характеристики приборов после выдержки при температурах от 1073 до 1173 К, которые обусловлены наличием высокотемпературного отжига после ионной имплантации. Поэтому возникает задача разработки новых материалов и технологий для контактов с барьером Шоттки.

Основными причинами, приводящими к отказам контактов, являются механические напряжения в системе металл-GaAs, процессы диффузии, аутидиффузии элементов данной системы, испарение компонентов полупроводника, образование химических соединений, твердых растворов, сплавов. Это приводит к изменению свойств приповерхностного слоя GaAs, переходного слоя и пленки металла [1].

Для повышения термостойкости в качестве материалов слоев применяются металлоподобные тугоплавкие соединения, обладающие высокой химической инертностью, что предотвращает формирование новых соединений и твердых растворов, а также хорошими барьерными свойствами, что будет способствовать существенному замедлению диффузионных процессов [2, 3]. Применение таких соединений позволяет сформировать контакты с относительно инертными границами раздела с арсенидом галлия и другими слоями контактной системы.

Для формирования термостойких контактов с барьером Шоттки было предложено использовать дибориды тугоплавких переходных металлов [4]. Соединения металлов с бором отличаются тугоплавкостью, высокой химической стойкостью, а также высокой электро- и теплопроводностью. Для формирования тонких пленок диборидов предпочтительным является метод ионно-лучевого распыления, позволяющий наносить слои при низком уровне радиационных повреждений поверхности GaAs.

В данной статье проведено исследование процессов формирования термостойких контактов на основе диборида титана, изучено влияние режимов нанесения на адгезию и пористость контактного слоя, исследованы характеристики контактов с барьером Шоттки после высокотемпературной обработки.

## Основная часть

Формирование диодов с барьером Шоттки проведено с использованием непланарной конструкции. В качестве подложки применялись эпитаксиальные структуры GaAs, выращенные на высоколегированной подложке n-p<sup>+</sup>-типа АГЭ ЕТО.035.026 ТУ. Толщина активного слоя составляла 0,3–0,5 мкм, концентрация электронов (4–8)•10<sup>16</sup>см<sup>-3</sup>, подвижность 4500 В•см<sup>2</sup>•с. Омические контакты к p<sup>+</sup>-подложке формировали на основе сплава Ag-Sn (90:10).

Конфигурацию контакта получали с помощью обратной фотолитографии. Перед напылением контактного слоя осуществлялась очистка поверхности арсенида галлия, которая включала в себя кипячение пластин в изопропиловом спирте, промывку в дистиллированной воде, химическое подтравливание поверхности арсенида галлия в серно-перекисном растворе в течение 15–20 сек. с последующей промывкой в дистиллированной воде и сушкой на центрифуге. Контактный слой из  $TiB_2$  формировался ионно-лучевым распылением горячепрессованной мишени из диборида титана. Режимы нанесения были следующими: остаточное давление 1,1•10<sup>-4</sup> Па, рабочее давление аргона (3–5)•10<sup>-2</sup> Па, ускоряющее напряжение на аноде  $U_a = 3,0$  кВ, ток разряда  $I_p = 40–110$  мА, ток мишени  $I_m = 25–75$  мА, температура подложки ~313 К. Толщина контактного слоя составила около 200 нм. Ионная очистка проводилась непосредственно перед нанесением контакта. Напряжение на аноде при очистке составляло  $U_o = 1,0$  кВ, плотность тока ионов аргона  $j_o = 100$  мкА/см<sup>2</sup>. Очистка осуществлялась в режиме вращения карусели в течение 10 мин. Один образец был нанесен при ионной бомбардировке растущей пленки диборида титана. Адгезия контактных слоев измерялась методом нормального отрыва. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования адгезии контактного слоя от режимов нанесения

$U_a$ , кВ	$I_p$ , мА	$I_m$ , мА	$U_o$ , кВ	$j_o$ , мкА/см <sup>2</sup>	$U_o$ , кВ	$j_o$ , мкА/см <sup>2</sup>	$P$ , МПа
3,0	40	25	–	–	–	–	2,28
3,0	70	50	–	–	–	–	2,01
3,0	110	75	–	–	–	–	2,40
3,0	70	50	1,0	100	–	–	3,10
3,0	70	50	1,0	100	1,0	25	4,20

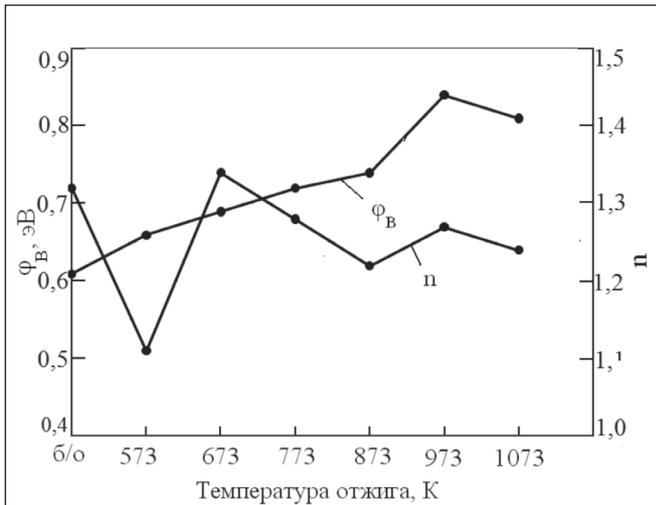


Рисунок 1 – Зависимость характеристик диодов  $TiB_2/n-GaAs$  после термообработки в течение 30 мин

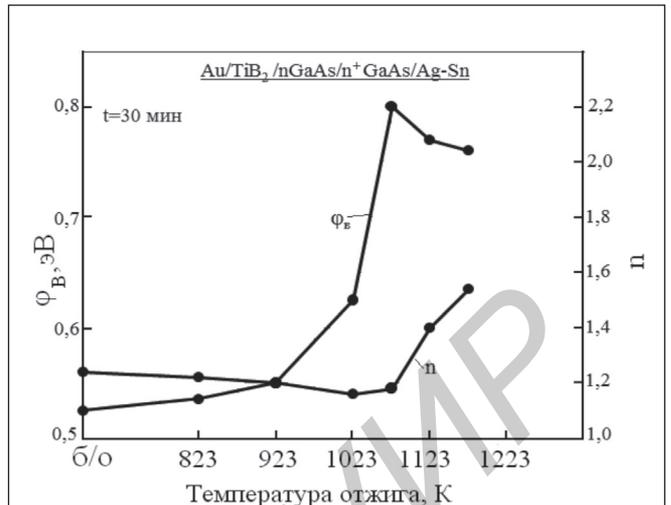


Рисунок 2 – Зависимость характеристик диодов  $Au/TiB_2/n-GaAs$  после термообработки в течение 30 мин

Установлено, что ток мишени неоднозначно влияет на величину адгезии. С ростом  $I_m$ , как правило, происходит увеличение адгезии контактного слоя. При увеличении тока мишени происходит облучение подложки положительно заряженными частицами (отраженные от поверхности мишени ионы аргона, положительные ионы распыленных атомов мишени и др.). Энергия этих частиц может достигать 20–35 эВ [4]. Таким образом, подложка из арсенида галлия и конденсирующаяся пленка диборида титана подвергается воздействию ускоренных частиц, что приводит к увеличению адгезии.

Ионная очистка поверхности GaAs перед нанесением контактного слоя способствует росту адгезии последнего, т.к. при этом распыляются собственные оксиды арсенида галлия, которые обладают рыхлой структурой, а также происходит десорбция с поверхности газов остаточной атмосферы. Ионная бомбардировка растущей пленки  $TiB_2$  позволила достичь максимальной адгезии.

На рисунке 1 приведены зависимости высоты барьера  $\phi_B$  и коэффициента неидеальности n-контактов  $TiB_2/n-GaAs$  от температуры отжига  $T_0$  в вакууме в течение 30 мин. Наблюдалось увеличение  $\phi_B$  до 973 К, что объясняется отжигом дефектов на границе раздела. При  $T_0 > 973$  К происходит некоторое снижение высоты барьера, что может быть связано с диффузией лигатуры из подложки в эпитаксиальный слой.

Зависимость коэффициента неидеальности от  $T_0$  имела, в отличие от  $\phi_B$ , немонотонный характер, однако, при  $T_0 > 973$  К происходило его уменьшение, что можно объяснить ростом проводимости диборида титана за счет твердофазной кристаллизации.

Для снижения последовательного сопротивления контактов с барьером Шоттки и для обеспечения присоединения внешних выводов необходимо использовать двухслойную структуру контакта. Проведено исследование свойств контактной системы  $Au/TiB_2/GaAs$ . В

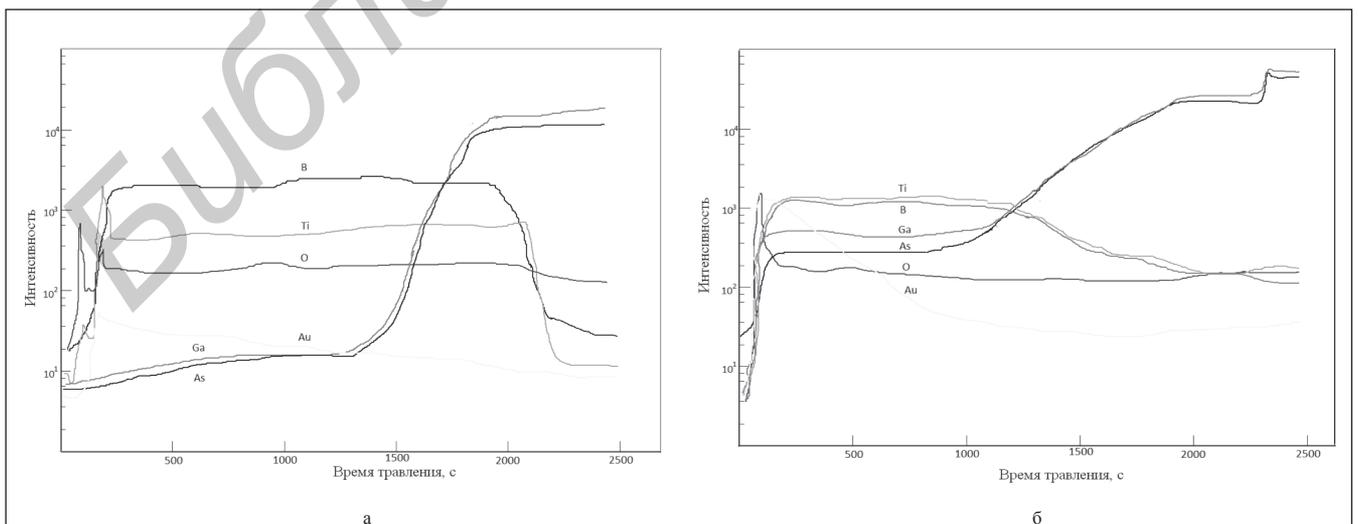


Рисунок 3 – Распределение элементов в контактной системе  $Au/TiB_2/GaAs$  до (а) и после термообработки при 1123 К в течение 20 мин (б)

одном вакуумном цикле осуществлялось ионно-лучевое нанесение слоев диборида титана и резистивное испарение золота толщиной 0,15 и 0,3 мкм соответственно. Затем полученная структура была подвергнута отжигу в вакууме в течение 30 мин. Результаты измерений представлены на рисунке 2. После  $T_0 > 1073$  К происходило резкое ухудшение параметров контакта.

Были проведены исследования распределения элементов в контактной системе Au/TiB<sub>2</sub>/GaAs методом вторичной ионной масс-спектрометрии (рисунок 3). Анализ спектров показывает, что в системе наблюдается взаимная диффузия элементов. Это может быть связано с наличием сквозных пор в контактном слое. Проведены исследования пористости слоев из TiB<sub>2</sub> из зависимости от скорости нанесения и температуры подложки по специальной методике. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты исследования пористости структуры Al/TiB<sub>2</sub>/GaAs

№ обр.	U <sub>п</sub> , кВ	I <sub>п</sub> , мА	V <sub>п</sub> , нм/с	T <sub>п</sub> , К	Пористость, см <sup>2</sup>
1	3,0	30	0,14	313	100
2	3,0	30	0,14	523	135
3	3,0	60	0,20	523	300

Установлено, что снижение скорости нанесения и температуры подложки приводит к уменьшению пористости барьерного слоя.

**Заключение**

Таким образом, результаты исследований показали пригодность диборида титана для формирования термостойких контактов с барьером Шоттки на арсениде галлия. Установлено, что термостойкость контактных систем TiB<sub>2</sub>/n-GaAs и Au/TiB<sub>2</sub>/n-GaAs находится в диапазоне 973...1073 К.

**Литература:**

1. Стриха, В.И. Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике / В.И. Стриха, Е.В. Бузанева. – М. : Радио и связь, 1987. – 256 с.: ил.
2. Paccagnella, A. Thermal stability of TaSix/n-GaAs metallizations / A. Paccagnella [et al.] // Thin Solid Films. – 1989. – V. 176. – № 2. – P. 187–196.
3. Zhang, L.C. Thermal stability and barrier height enhancement for refractory metal nitride contacts on GaAs / L.C. Zhang, S.K. Cheung, C.L. Liang, N.W. Cheung // Appl. Phys. Lett. – 1987. – V. 50. – № 8. – P. 445–447.
4. Телеш, Е.В. Исследование процессов формирования контактных слоев токопроводящих систем на арсениде галлия / Е.В. Телеш, А.П. Достанко // Приборостроение-11: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 16–18 нояб. 2011 г. / БНТУ; редкол.: О.К. Гусев [и др.]. – Минск, 2011. – С. 416–418.
5. Телеш, Е.В. Контроль пористости тонких пленок на арсениде галлия / Е.В. Телеш // Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф. и выст., Могилев, 26–27 сент. 2012 г. / ГУ высшего профес. образования Белорусско-российский университет.

**Abstract**

Processes of is ion-beam forming of thermally stable contacts with Schottky barrier on gallium arsenide with use titanium diboride as contact layer material are explored. Influence of coating conditions on adhesion and porosity of contact layer were studied. Thermal stability of contact electrodes TiB<sub>2</sub>/n-GaAs and Au/TiB<sub>2</sub>/n-GaAs was explored. It is positioned, that contact electrodes on the basis of TiB<sub>2</sub> soak action of temperatures to 973 1073 K. The possible reasons of contact degradation were proposed.

*Поступила в редакцию 13.05.2015 г.*



**поставка электронных компонентов**

**контрактное производство**

тел.: +375 17 290 0082  
 факс: +375 17 290 0084  
 e-mail: info@horntrade.net

УНП 190491237



**ООО «БАРС-ЭЛЕКТРОНИКС»**

220124, г. Минск, ул. Лынькова, 121,  
 тел.: +375 17 399-75-04,  
 моб.: +375 29 647-53-76,  
 +375 25 991-09-44,

e-mail: info@elbars.com  
 pcb@elbars.com  
 web: www.elbars.com

1. Трафареты для поверхностного монтажа печатных плат.
2. Электрополировка. Срок изготовления 3 дня.
3. Разработка и поставка печатных плат.
4. Монтаж печатных плат.
5. Поставка электронных компонентов.
5. Светодиодное оформление витрин, фасадов зданий.
- Изготовление LED прожекторов.

УНП 191061502