

# ВЛИЯНИЕ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ Al НА ОПТИМАЛЬНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ ОТЖИГА Ta/Ti/Al/Mo/Au ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К AlGaN/GaN

Осипов К. Ю., Великовский Л. Э., Кагадей В. А.  
ЗАО «НПФ» Микран»  
г. Томск, 634045, Россия  
тел.: 89131132456, e-mail: docar@micran.ru

**Аннотация** — Проведено исследование технологии формирования Ta/Ti/Al/Mo/Au омических контактов к AlGaN/GaN гетероструктурам, выращенных на подложках Si и SiC. Установлена зависимость оптимальной температуры отжига омического контакта от толщины слоя алюминия. Подобраны оптимальные составы слоёв Ta/Ti/Al/Mo/Au металлизации омических контактов к гетероструктуре AlGaN/GaN с различной мольной долей алюминия в слое AlGaN. Разработанный процесс позволяет получать омические контакты с гладкой морфологией поверхности и контактным сопротивлением менее 0.5 Ом\*мм.

## I. Введение

Транзисторы с высокой подвижностью электронов на основе нитрида галлия (GaN HEMT) представляют большой интерес с точки зрения мощной СВЧ электроники [1]. Благодаря уникальным свойствам нитрида галлия, транзисторы на его основе имеют большие напряжения пробоя и плотности токов, что позволяет GaN HEMT демонстрировать плотность мощности в 10 раз превышающую такую у кремниевых и арсенид галлиевых аналогов [2]. Однако, для обеспечения хороших рабочих характеристик данного вида транзисторов, омические контакты должны обладать низким сопротивлением. Кроме этого, необходимо, чтобы контакты имели хорошую температурную стабильность и гладкую морфологию поверхности, обеспечивающую возможность формирования субмикронных затворов. Таким образом, исследования направленные на изучение закономерностей формирования омических контактов к гетероструктурам AlGaN/GaN являются актуальными и практически значимыми [3]. В данной работе исследован технологический процесс формирования Ta/Ti/Al/Mo/Au омических контактов к различным типам гетероструктур, а также исследована зависимость оптимальной температуры отжига омического контакта от толщины слоя алюминия.

## II. Техника и методика эксперимента

AlGaN/GaN гетероструктуры, использовавшиеся в данной работе, были выращены методом газофазной эпитаксии на Si(111) и 6H SiC подложках. На первом этапе технологического процесса, с помощью реактивного-ионного травления в плазме  $BCl_3$  формировалась межприборная изоляция. После формирования фоторезистивной маски слои металлизации омического контакта осаждались методом электронно-лучевого испарения. Перед отжигом образцы разделялись на части площадью примерно  $0.25 \text{ см}^2$ . Отжиг производился при пониженном давлении в атмосфере азота с помощью установки быстрого термического отжига. Измерения контактного сопротивления производились четырехзондовым TLM методом.

## III. Результаты экспериментов и их обсуждение

В экспериментах, направленных на оптимизацию толщины слоя алюминия, на гетероструктуру

$Al_{0.26}Ga_{0.74}N/GaN/Si$  напылялись слои металлизации Ta/Ti/Al/Mo/Au толщинами 10/30/x/40/25 нм, где x изменялась от 90 до 180 нм с шагом 30 нм. После удаления резистивной маски образцы отжигались при различных температурах. Результаты эксперимента показаны на рисунке 1. Как видно из графика, минимальное контактное сопротивление 0.41 Ом/мм достигнуто при толщине слоя алюминия 90 нм и температуре отжига 850 °C. Четко прослеживается тенденция уменьшения оптимальной температуры отжига омических контактов при уменьшении толщины слоя алюминия.

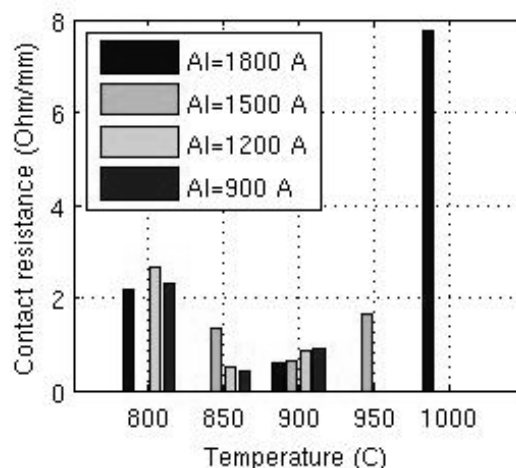


Рис. 1. Зависимость контактного сопротивления омических контактов с различной толщиной слоя Al от температуры отжига.

Fig. 1. Contact resistance dependence vs. annealing temperature for metal schemes with varying Al thickness

Второй вариант технологического процесса разрабатывался для гетероструктур  $Al_{0.23}Ga_{0.77}N/GaN/SiC$ . В ходе эксперимента на образцы напылялись два варианта металлизации, с толщинами алюминия 90 и 150 нм. Результаты этого эксперимента приведены на рисунке 2. Как и в первом эксперименте, было выявлено, что оптимальная температура отжига зависит от толщины слоя алюминия. Для второго варианта гетероструктуры минимальное контактное сопротивление было получено при толщине алюминия 150 нм и составило 0.47 Ом/мм. Различие в оптимальной температуре отжига одинаковых по конструкции слоёв омических контактов на разных гетероструктурах, по-видимому, объясняется различной динамикой нагрева образцов вследствие того, что подложки Si и SiC имеют различные коэффициенты поглощения оптического и ИК излучения, а также различную теплоемкость и теплопроводность. Если сравнить результаты первого и второго экспериментов, то можно увидеть, что минимальное контактное сопротивление достигается при различных толщинах слоя алюминия. Можно предположить, что этот факт

связан с разницей в мольной доле алюминия в AlGaN слое. Полученные данные позволяют сказать, что для достижения минимального контактного сопротивления при повышении мольной доли алюминия в гетероструктуре необходимо уменьшать толщину алюминия в металлизации омического контакта.

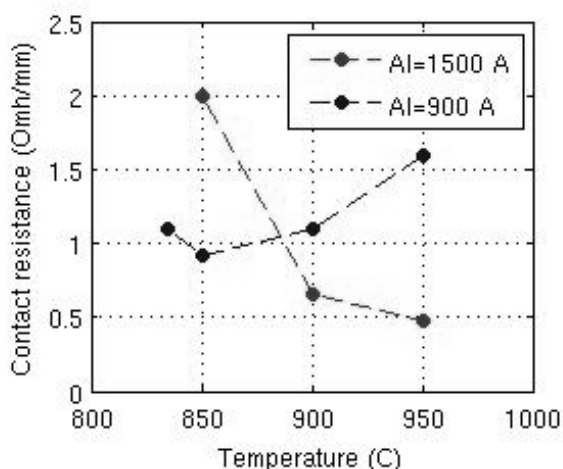


Рис. 2. Сравнение зависимостей контактного сопротивления омических контактов от температуры отжига для образцов с различной толщиной слоя алюминия.

Fig. 2. Dependence of contact resistance vs. annealing temperature for metal stacks with different thickness of Al layer

#### IV. Заключение

В работе исследованы технологические процессы формирования омических контактов к гетероструктурам AlGaIn/GaN, имеющие различную мольную долю алюминия в контактном слое, и выращенным на подложках Si и SiC. Была установлена тенденция увеличения оптимальной температуры отжига омического контакта при увеличении толщины слоя алюминия в Ta/Ti/Al/Mo/Au металлизации. Полученные омические контакты имели гладкую морфологию поверхности и контактное сопротивление менее 0.5 Ом/мм.

#### V. Благодарность

Авторы работы выражают благодарность коллективу НПК «Микроэлектроника» ЗАО «НПФ «Микран» за содействие в проведении экспериментов.

#### V. Список литературы

- [1] Rosker M., Bozada C., Dietrich H. The DARPA Wide Band Gap Semiconductors for RF Applications (WBGs-RF) Program: Phase II Results // Proc. of Int. CS MANTECH Conference (Tampa, May 18—21, 2009). Tampa, 2009.
- [2] Fan Ren, John C. Zolper WIDE ENERGY BANDGAP ELECTRONIC DEVICES. World Scientific, 2003. 514 p.
- [3] Fitih M. Mohammed, Liang Wang Hyung Joon Koo Anatomy-performance correlation in Ti-based contact metallizations on AlGaIn/GaN heterostructures // JOURNAL OF APPLIED PHYSICS. 2007. Vol. 101. No. 3. P. 033708-1 – 033708-15.

## Al THICKNESS INFLUENCE ON OPTIMAL ANNEALING TEMPERATURE OF Ta/Ti/Al/Mo/Au OHMIC CONTACTS TO AlGaIn/GaN

Osipov K. Y., Velikovskiy L. E., Kagadei V. A.  
 Research and Production Company "Micran"  
 Tomsk, 634045, Russia  
 Ph.: 89131132456, e-mail: docar@mail.ru

**Abstract** — Process flow of Ta/Ti/Al/Mo/Au ohmic contacts formation to AlGaIn/GaN heterostructures was developed. Correlation between Al thickness and optimal ohmic contact annealing temperature was obtained. Optimal Ta:Ti:Al:Mo:Au metal ratio was obtained for two different types of AlGaIn/GaN heterostructures. Ohmic contacts fabricated in developed process flow show good surface morphology and contact resistance less than 0.5 Ohm/mm.

### I. Introduction

GaN HEMT is very promising solution for power RF electronic applications. Due to unique semiconductor material properties GaN HEMT shows high breakdown voltage and current density. In order to achieve enhanced transistor performance the low-resistance ohmic contacts are required. More over the ohmic contacts are required to have smooth surface morphology and high thermal stability. In this work process flow of Ta/Ti/Al/Mo/Au ohmic contacts formation are developed. Optimal annealing temperature dependence of Al thickness in Ta/Ti/Al/Mo/Au metallization scheme is investigated.

### II. Experiment

AlGaIn/GaN heterostructures used in this work was fabricated using metal organic chemical vapor deposition on Si(111) and 6H SiC substrates. Mesa-isolation was fabricated using reactive-ion etching in BCl<sub>3</sub> plasma. Before annealing the samples were separated on pieces with area approximately 0.25 cm<sup>2</sup>. Annealing was performed in nitrogen ambient using RTA tool. For contact resistance measurements TLM method was used.

### III. Results and Discussion

In order to obtain optimal Al layer thickness for Al<sub>0.26</sub>Ga<sub>0.74</sub>N/GaN/Si heterostructure, metal stack with 10 nm-Ta/30 nm-Ti/x nm-Al/40 nm-Mo/25 nm-Au layers, where x varying from 90 to 180 nm, was evaporated. Results of this experiment are shown on Fig. 1. As can be seen, minimal contact resistance was obtained with Al thickness of 90 nm. Ohmic contacts optimal annealing temperature decrease trend is clearly observed in case when of Al layer thickness decrease.

Figure 2 shows results of the second experiment, where optimal Ta:Ti:Al:Mo:Au ratio for AlGaIn<sub>0.23</sub>/GaN<sub>0.77</sub>/SiC heterostructures was obtained. A shift in optimal annealing temperature for different types of heterostructures can be explained with differences in substrate material optical properties. Comparing results of the first and the second experiment, it can be seen that minimal contact resistance was obtained with different Al layers thickness. This fact can be explained with differences in Al mole fraction in AlGaIn layer. The observed trend proves the following: for minimal contact resistance the heterostructures with higher Al mole fraction should have thinner Al layers in ohmic contact metalized coating than structures with lower Al content.

### IV. Conclusion

During the present work the process flow of ohmic contact formation for different types of AlGaIn/GaN heterostructures was developed. The trend of increasing optimal annealing temperature with increasing Al layer thickness in Ta/Ti/Al/Mo/Au metal stack was observed. Developed ohmic contacts show contact resistance less than 0.5 Ohm/mm and smooth surface morphology.