

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОМИЧЕСКОГО КОНТАКТА НА ОСНОВЕ Hf/Al К ГЕТЕРОПЕРЕХОДАМ AlGaN/GaN

*Заречнев А. Д., Чиняков А. А., студенты каф. ФЭ*

*Научный руководитель А. И. Казимиров, аспирант каф. ФЭ*

*г. Томск, ТУСУР*

*Проект ГПО ФЭ-1405-«Зависимость электрофизических свойств тонких пленок, полученных магнетронным распылением, от параметров процесса»*

## **Аннотация**

Разработана технология формирования низкотемпературных омических контактов на основе пленок *Hf/Al* с верхними пассивирующими слоями *Mo*, *Ti*, *TiN* и *Ti/TiN*, осаждаемыми методами электронно-лучевого напыления и магнетронного распыления, к гетероструктуре *AlGaN/GaN*, выращенной на кремниевой подложке. Установлена зависимость контактного сопротивления омических контактов *Hf/Al/Mo*, *Hf/Al/Ti*, *Hf/Al/TiN* и *Hf/Al/Ti/TiN* от температуры отжига слоев металлизации.

## **Введение**

В настоящее время гетероструктуры *AlGaN/GaN* нашли широко применение в промышленности при изготовлении транзисторов с высокой подвижностью электронов (*HEMT GaN*), а также высокочастотных, высокотемпературных и высокоомощных электронных устройств. Транзисторы на основе *AlGaN/GaN* обладают высокими значениями пробивных напряжений и токов [1]. Одним из ключевых вопросов на сегодняшний день в ходе процесса изготовления *HEMT GaN* транзисторов является вопрос формирования омических контактов к *AlGaN/GaN*, при этом омические контакты должны обладать гладкой морфологией поверхности, ровным краем контактной площадки и высокой стабильностью параметров [2]. Чаще всего омические контакты к *AlGaN/GaN* изготавливают на основе пленок *Ti/Al* с верхними пассивирующими слоями *Ti/Au*, *Ni/Au*, *Pt/Au* или *Mo/Au*, необходимыми для предотвращения или уменьшения окисления *Al* во время высокотемпературного отжига, а также для достижения низкого контактного сопротивления. Однако подобные слои часто обладают очень неровной морфологией поверхности [3-4]. На Теоретически, любой металл с работой выхода, близкой к энергии сродства *GaN* (~2,9-3,5 эВ) может образовать омический контакт к *AlGaN/GaN* [5]. В связи с этим привлекательным является металл *Hf*, поскольку он обладает работой выхода ~ 3,9 эВ, которая близка к энергии сродства *GaN* [6]. Также перспектива формирования омических контактов на основе *Hf/Al* заключается в температуре отжига слоев металлизации ~ 600 °С, в то время как для омических контактов на основе *Ti/Al* температура отжига составляет ~ 800 °С, что с теоретической точки зрения, может обеспечивать более ровный край контактной площадки и гладкую морфологию поверхности [7-8]. В данной работе рассматриваются электрофизические свойства омических контактов на основе пленок *Hf/Al* с верхними пассивирующими слоями *Mo*, *Ti*, *TiN* и *Ti/TiN* к гетероструктуре *AlGaN/GaN*, в частности определение наиболее перспективного омического контакта с точки зрения контактного сопротивления.

## **Техника и методика эксперимента**

В данной работе использовались двенадцать образцов *AlGaN/GaN* гетероструктур, выращенных методом газофазной эпитаксии на подложке *Si* (111). На первом этапе формирования омических контактов на основе пленок *Hf/Al* с верхними пассивирующими слоями *Mo*, *Ti*, *TiN* и *Ti/TiN* происходит формирование фоторезистивной маски для активных областей тестовых структур моделей линий передач (TLM), а также для образования

изоляции между ними. Вторым этапом является травление образцов в плазме при помощи установки *YES-G500*, вследствие чего на образцах формируются активные области тестовых структур – мезы, разделенные между собой изоляцией – мезаизоляцией. В следующем этапе происходит формирование фоторезистивной маски для слоев омических контактов. После формирования масок на все образцы происходит осаждение первых двух слоев *Hf/Al* методом электронно-лучевого испарения в вакууме при помощи установки *ORION-B*. Далее на каждые три образца происходит осаждение одного из четырех верхних пассивирующих слоев при условии, что слой *TiN* осаждается методом магнетронного распыления в атмосфере смеси газов *Ar* и *N<sub>2</sub>*, а слои *Mo* и *Ti* осаждается так же, как и *TiN*, методом магнетронного распыления, но в атмосфере газа *Ar*, магнетронное распыление осуществляется в установке *ORION-B*. Завершающим этапом является процесс отжига четырех групп образцов при условии, что в каждую группу входит образец с различным пассивирующим слоем. Процесс отжига осуществляется при температурах 550, 600 и 650 °С, а также при пониженном давлении в атмосфере азота в установке быстрого термического отжига. Измерения контактного сопротивления полученных омических контактов производится четырехзондовым методом TLM.

### Результаты эксперимента

В соответствии с вышеуказанной технологией были сформированы тестовые структуры исследуемых омических контактов к *AlGaIn/GaN*, типовой вид структуры представлен на рис.1.

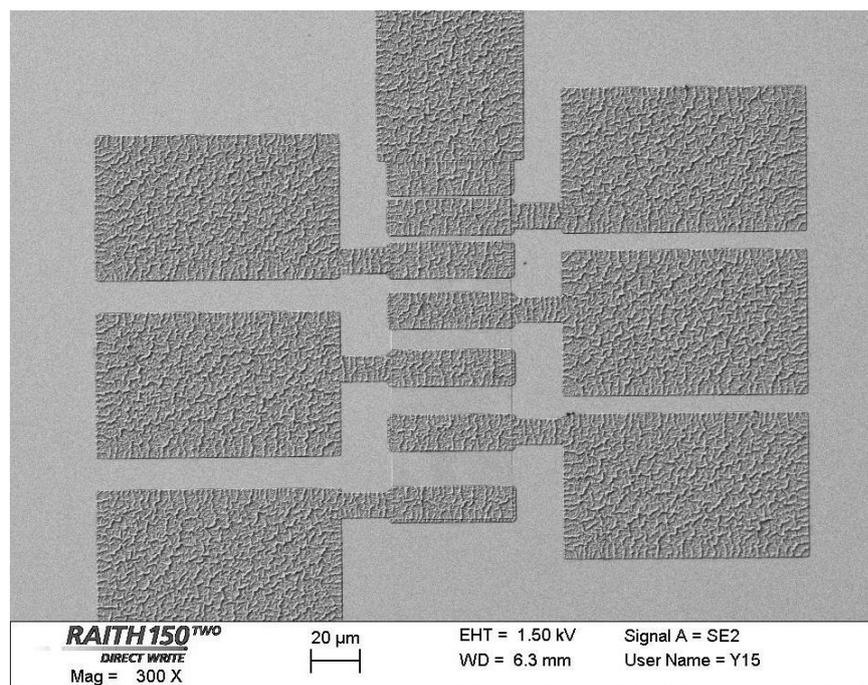


Рисунок 1 – Микрофотографии тестовой структуры омического контакта к *AlGaIn/GaN* после их термического отжига

После термического отжига метода линии передач были измерены значения контактных сопротивлений ( $\rho_c$ ) исследуемых омических контактов, результаты измерений приведены на рис.2.

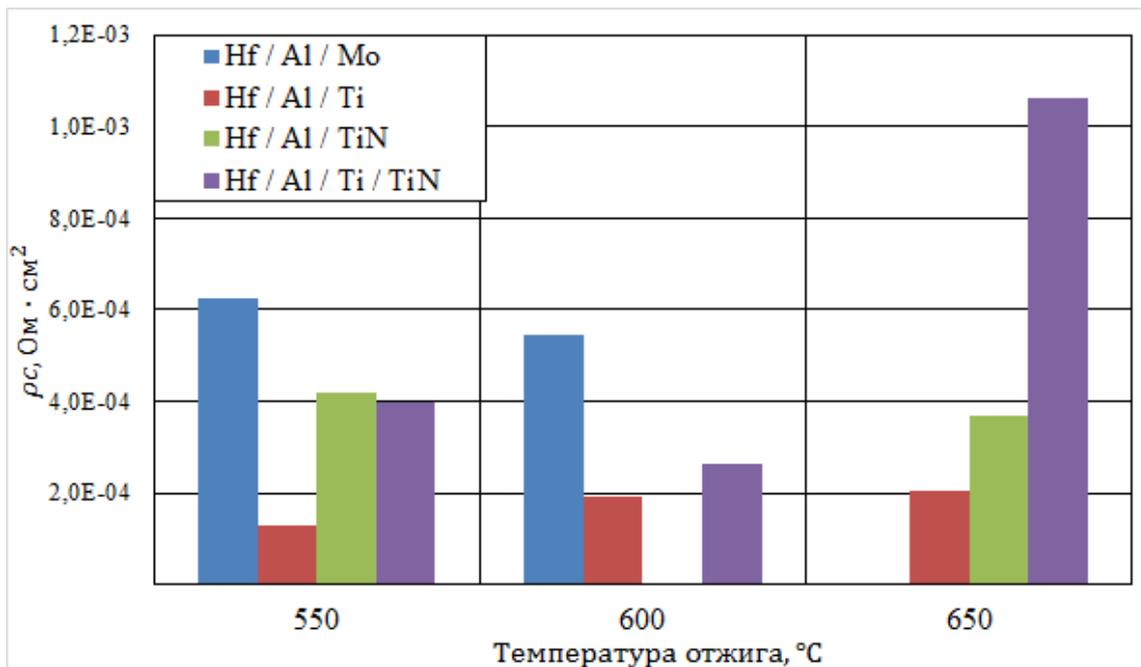


Рисунок 2 – График зависимости контактного сопротивления омических контактов *Hf/Al/Mo*, *Hf/Al/Ti*, *Hf/Al/TiN* и *Hf/Al/Ti/TiN* от температуры отжига

Из рис. 2 следует, что минимальное значение контактного сопротивления, равное  $\rho_c = 1,27 \cdot 10^{-4} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ , имеет контакт *Hf/Al/Ti* после термического отжига при температуре  $T=550^\circ\text{C}$ .

### Заключение

В работе исследованы электрофизические параметры омических контактов *Hf/Al* с верхними пассивирующими слоями *Mo*, *Ti*, *TiN* и *Ti/TiN*, осаждаемые методом электронно-лучевого испарения и методом магнетронного распыления, к гетероструктуре *AlGaIn/GaN*, выращенной на подложке *Si*. Из анализа графика зависимости контактного сопротивления омических контактов от температуры отжига слоев образцов, наибольшей термостабильностью параметров обладает омический контакт *Hf/Al/Ti*.

### Список используемых источников

1. Camarchia V, Guerrieri SD. Fabrication and nonlinear characterization of *GaN HEMTs* on *SiC* and sapphire for high-power applications // Int J RF Microwave Comput Aided Eng, 2006.
2. Lau WS, Tan JBH. Formation of ohmic contact in *AlGaIn/GaN HEMT* structure at  $500^\circ\text{C}$  by ohmic contact recess etching // Microelectron Reliab, 2009.
3. Chen J, Liu Y. Microstructural analysis of *Ti/Al/Ti/Au* ohmic contacts to *n-AlGaIn/GaN* // J Vac Sci Technol Part A Vac Surf Films, 2002.
4. Papanicolaou NA, Rao MV. Reliable *Ti/Al* and *Ti/Al/Ni/Au* ohmic contacts to *n-type GaN* formed by vacuum annealing // J Vac Sci Technol B Microelectron Nanometer Struct, 2001.
5. McGill T. C., Mead C. A. Fundamental transition in the electronic nature of solids // Physical Review Letters, vol. 22, 1969.
6. Lide D. R. CRC handbook of chemistry and physics // CRC Pr I Llc, 2012.
7. Cong W, Nam-Young K. Electrical characterization and nanoscale surface morphology of optimized *Ti/Al/Ta/Au* ohmic contact for *AlGaIn/GaN HEMT* // Nanoscale Research Letters, 2012.
8. Liu Y., Bera M. K. Low resistivity *Hf/Al/Ni/Au* Ohmic Contact Scheme to *n-Type GaN* // World Academy of Science, Engineering and Technology Vol: 6, 2012.