

## ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ GaN СВЧ ТРАНЗИСТОРОВ

© В. Е. Корнеев<sup>1</sup>, М. В. Пашков<sup>2</sup>, Ф. И. Шамхалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>АО «НПП «Пульсар», <sup>2</sup>АО «ГЗ «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

Рассматривается технология создания омических контактов GaN СВЧ транзисторов на основе многослойной металлизации Ti/Al/Mo/Au. Уточнён метод определения удельного сопротивления омических контактов. Исследовано влияние термообработки на сопротивление многослойной металлизации и приведено распределение сопротивления металлизации по площади двухдюймовых пластин.

**Ключевые слова:** омические контакты GaN СВЧ транзисторов, методика определения удельного сопротивления омических контактов, изменение сопротивления металлизации при термообработке

**Сведения об авторах:** Корнеев Вячеслав Игоревич, korneev@pulsarnpp.ru; Пашков Михаил Викторович; Шамхалов Фарид Имрасланович, д.э.н., профессор

## FEATURES OF MONITORING GAN MICROWAVE TRANSISTOR'S OHMIC CONTACT CREATION TECHNOLOGY

© V. E. Korneev<sup>1</sup>, M. V. Pashkov<sup>2</sup>, F. I. Shamkhalov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JSC «SPE «Pulsar», <sup>2</sup>JSC «State Plant «Pulsar», 105187, Moscow, Okružhnoy proezd, 27

The technology of creation ohmic contacts of GaN microwave transistors based on multilayer metallization Ti/Al/Mo/Au is considered. The method of determining the resistivity of ohmic contacts is specified. The effect of thermal treatment on the resistance of multilayer metallization is investigated and the distribution of the metallization resistance over the area of two-inch plates is given.

**Keywords:** ohmic contacts of GaN microwave transistors, technique for determining the resistivity of ohmic contacts, changing the resistance of metallization during thermal treatment

**Data of authors:** Korneev Vyacheslav Igorevich, korneev@pulsarnpp.ru; Pashkov Mikhail Viktorovich; Shamkhalov Farid Imiraslanovich, Sc.D., Prof.

### Введение

Классические омические контакты к AlGaN/GaN гетероструктурам обычно создаются на основе многослойной металлизации. Наиболее часто используются металлы Ti/Al/Ti/Au, Ti/Al/Ni/Au и Ti/Al/Pt/Au [1-3].

Слои Ni (Ti, Mo, Pt, Pd и т.д.) выступают в качестве диффузионных барьеров, разделяя алюминий и золото.

В настоящей работе рассматривается технология получения и особенности из-

мерения удельного сопротивления омических контактов GaN СВЧ транзисторов.

### Изготовление и измерение тестовых структур

Для напыления был выбран тип металлизации Ti/Al/Mo/Au. Для всех образцов, использованных в работе, толщины плёнок составляли 20/80/40/100 нм, соответственно. Напыление производилось в вакуумной камере при давлении  $4 \cdot 10^{-7}$  мм рт. ст.,

обеспечиваемом турбомолекулярным вакуумным насосом. В рабочей камере были установлены шесть термических испарителей и устройство кварцевого контроля скорости нанесения и толщины плёнок. В начале работы была проведена калибровка кварцевого датчика скорости нанесения путём сопоставления его показаний с фактической толщиной плёнок используемых металлов, измеренной профилометром с погрешностью не более 5 %. Процесс нанесения каждого металла автоматически прерывался по достижении заданной толщины плёнки (по показанию датчика). Отклонение от заданных значений не превышало 1 нм.

Тестовые структуры для определения сопротивления омических контактов были изготовлены путём напыления указанных выше слоёв металлизации при использовании фотолитографии. Их внешний вид представлен на рис. 1. Здесь же представлена схема измерения удельного сопротивления металлизации омических контактов по методу TLM (Transmission Line Model) [3, с. 118-119], но с использованием четырёх зондов.

Расстояние между площадками обычно составляло 5, 10 и 15 мкм или было близко к этим величинам. Через два зонда, установленных, например, на площадке соседних структур в верхней части рис. 1, подавался ток, между двумя другими зондами, установленными на соседние площадки в нижней части рис. 1, из-

мерялось падение напряжения. Значения токов выбиралось таким образом, чтобы измеряемое напряжение между площадками было менее одного вольта. Можно было бы использовать только два зонда, устанавливая их сначала на одну площадку, измеряя ток и напряжение, а затем, устанавливая зонды на соседние площадки и измеряя сопротивление – вычитать сопротивление схемных элементов. Однако при этом площадь контактных площадок необходимо было бы увеличивать, что увеличивало бы общую площадь тестовой структуры. Также исследована возможность устанавливать один зонд на верхний контакт площадки, а второй зонд – на нижний контакт площадки и найденное значение сопротивления вычитать из последующих измерений, когда зонды устанавливаются уже на соседние площадки. Но оказалось, что значения сопротивлений на разных площадках могут существенно различаться. Поэтому принято считать, что схема с использованием четырёх зондов приводит к получению более точных результатов по сравнению со схемой, где используются только два зонда, при помощи которых определяется и ток, и напряжение.

На рис. 2 показана построенная TLM-зависимость.

Пересечение прямой линии с осью ординат позволяет определить сопротивление омического контакта. Оно составило

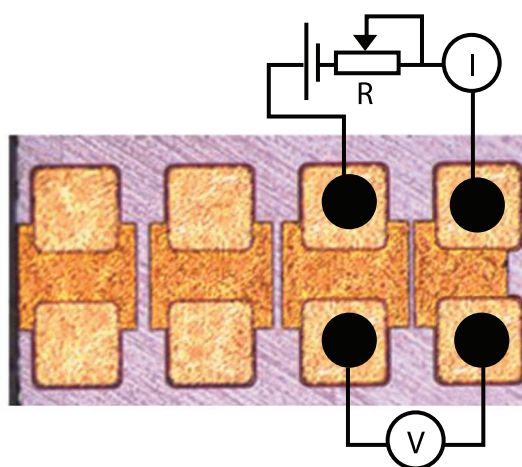


Рис. 1

Схема измерений сопротивления омических контактов при использовании четырёх зондов

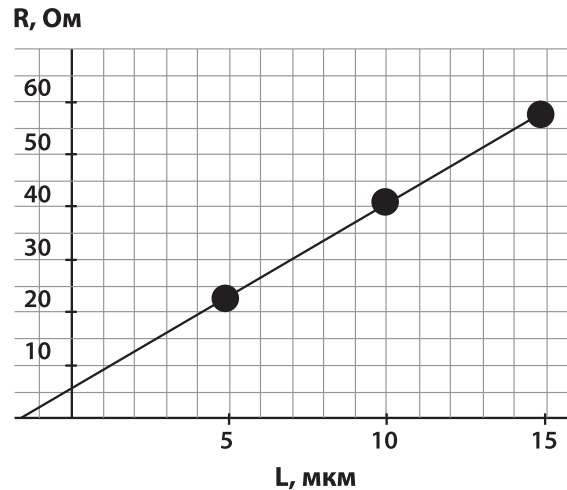


Рис. 2

### TLM-зависимость, используемая для определения удельного сопротивления омического контакта

2,5 Ома. Учитывая, что ширина контакта равна 0,01 см, можно определить, что удельное сопротивление составит 0,025 Ом·см. Отрезок на отрицательной части оси абсцисс составляет примерно 2 мкм или  $2 \times 10^{-4}$  см. Половина этой величины равна  $1 \times 10^{-4}$  см. Таким образом удельное сопротивление омического контакта составляет  $2,5 \cdot 10^{-2} \times 1 \cdot 10^{-4} = 2,5 \cdot 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup>. Это довольно неплохая величина, хотя она ещё не равна рекордным значениям, равным  $1 \cdot 10^{-7}$  Ом·см<sup>2</sup> [3].

Причина несколько завышенных значений удельного сопротивления омических контактов, по-видимому, заключается в том, что время отжига напыленных контактов в атмосфере азота превышало требуемые 30 с. Пластины с контактами отжигались на кремниевых или графитовых подложках.

Контрольные отжиги, проведённые при напылении металлизации на кремниевые пластины, показали, что слоевое сопротивление металлизации при отжиге возрастает от 4-х до 10-ти раз. При этом образуются разнообразные фазы металлизации, например, фазы  $\text{AlTi}_2\text{N}$ ,  $\text{Al}_3\text{Ti}$  (эта фаза стабильна и устойчива к окислению [2]).

В настоящей работе было также установлено насколько равномерно распределяется сопротивление напыляемой металлизации по площади структуры. Измерения, проведённые выше, осуществлялись

на образцах AlGaIn/GaN/сапфир. Учитывая высокую стоимость таких структур даже при диаметре 2 дюйма, они разрезались на пластинки размером  $1 \times 1$  см<sup>2</sup>, на которых осуществлялись вышеприведенные измерения. Однако невозможно было определять сопротивление обычным четырёхзондовым методом из-за влияния краевых эффектов, поэтому контроль распределения сопротивления по площади проводился при использовании полированных кремниевых пластин с двухдюймовым диаметром.

На рис. 3 показано распределение сопротивления по площади пластины диаметром 2 дюйма. При этом краевые эффекты учитывались при использовании программ, приведённых в инструкции к аппаратуре ВИК УЭС 14А, на которой проводились измерения [3, стр. 105-108].

Из рис. 3 следует, что разброс сопротивления по площади пластины не превышает 20 %.

### Заключение

В итоге проведения настоящей работы получены омические контакты истока и стока GaN СВЧ транзисторов с удельным сопротивлением  $2,5 \times 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup>.

Показано, что использование четырёх зондов при снятии TLM-зависимостей более предпочтительно по сравнению с исполь-

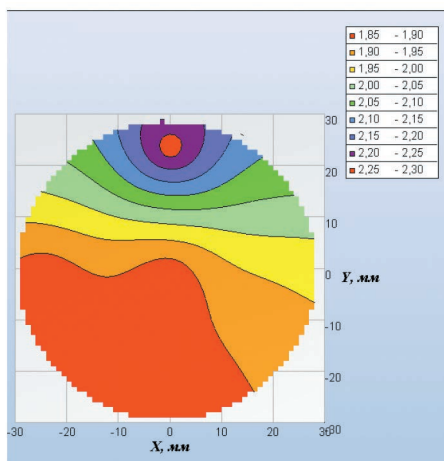


Рис. 3

**Карта распределения сопротивления металлизации по площади пластины диаметром 2 дюйма**

зованием только двух зондов, при помощи которых определяется и ток, и напряжение и рассчитывается сопротивление омического контакта.

Показано, что при термообработке при температуре 900 °С в атмосфере азота сопротивление металлизации возрастает от 4-х до 10-ти раз.

Установлено, что разброс сопротивления металлизации по площади пластины диаметром 2 дюйма не превышает 20 %.

**Литература**

1. Васильев А. Г., Колковский Ю. В., Концевой Ю. А. СВЧ приборы и устройства на широкозонных полупроводниках. – М.: Техносфера, 2011. – 416 с.
2. Васильев А. Г., Колковский Ю. В., Концевой Ю. А. СВЧ транзисторы на широкозонных полупроводниках. – М.: Техносфера, 2011. – 256 с.

3. Груздов В. В., Колковский Ю. В., Концевой Ю. А. Контроль новых технологий в твердотельной СВЧ электронике. – М.: Техносфера, 2016. – 328 с.

**References**

1. Vasilyev A. G., Kolkovsky Yu. V., Kontsevoy Yu. A. *SVCH pribory i ustroystva na shirokazonnykh poluprovodnikakh* [Microwave appliances and devices on wide-gap semiconductor]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2011, 416 p.
2. Vasilyev A. G., Kolkovsky Yu. V., Kontsevoy Yu. A. *SVCH tranzistory na shirokazonnykh poluprovodnikakh* [Microwave appliances and devices on wide-gap semiconductor]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2011, 256 p.
3. Gruzдов V. V., Kolkovsky Yu. V., Kontsevoy Yu. A. *Kontrol novykh tekhnology v tverdotelnoy SVCH elektronike* [Monitoring of new technologies in solid-state microwave electronics]. Moscow, Tekhnosfera Publ., 2016, 328 p.