

УДК 621.383

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ НЕПОСРЕДСТВЕННО В ПРОЦЕССЕ ИХ ОТЖИГА

В.В. Дохтуров, С.В. Смирнов*, А.В. Юрченко**,
В.И. Юрченко

ОАО НИИ полупроводниковых приборов, г. Томск

*Томский университет систем управления
и радиоэлектроники

**Томский политехнический университет
E-mail: niipp24@mail.ru

Проведен анализ процесса отжига омических контактов к полупроводниковым структурам на основе арсенида галлия и его твердых растворов с контролем сопротивления непосредственно в процессе отжига. Приведена эмпирическая формула зависимости приведенного поверхностного сопротивления от температуры. Представлена физическая модель формирования омических контактов.

Ключевые слова:

Омический контакт, сопротивление, контроль.

Омические контакты являются важнейшим элементом полупроводниковых приборов и интегральных схем, и их качество в значительной мере определяет эксплуатационную устойчивость и надежность изделий. Наиболее распространенным материалом контакта к структурам на основе арсенида галлия *n*-типа является сплав *AuGeNi*. Установлено [1, 2], что на качество и величину приведенного поверхностного сопротивления ρ_k омических контактов (ОК) влияет режим термической обработки: длительность (время) отжига t , максимальная температура отжига T , скорости нагрева и охлаждения. Большое влияние оказывает и вид термической обработки; это может быть как традиционная печная обработка, так и обработки с помощью источников некогерентного излучения, лазеров, электронных и ионных пучков. Наиболее важными параметрами, характеризующими процесс отжига, являются:

- морфология поверхности омических контактов;
- зависимости приведенного поверхностного со-

противления от температуры и времени отжига $\rho_k(t, T)$;

Морфология поверхности контактов и её неоднородность, как правило, отражает те физико-химические процессы, которые происходят как в объеме контактов, так и на границе раздела *AuGe-GaAs*. Электронно-микроскопические исследования показывают, что кинетика изменения морфологии омических контактов в процессе отжига представляет собой сложный

Дохтуров Всеволод Всеволодович, руководитель производства ОАО НИИ полупроводниковых приборов, г. Томск.

E-mail: niipp24@mail.ru

Область научных интересов: физика процессов в микросистемах.

Смирнов Серафим Всеволодович, д-р техн. наук, профессор кафедры физической электроники Томского университета систем управления и радиоэлектроники.

E-mail: center@ms.tusur.ru

Область научных интересов: физика конденсированного состояния.

Юрченко Алексей Васильевич, д-р техн. наук, профессор кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ, руководитель направления солнечной энергетики.

E-mail: niipp@inbox.ru

Область научных интересов: мониторинг систем солнечной энергетики.

Юрченко Василий Иванович, зам. генерального директора ОАО НИИ полупроводниковых приборов, г. Томск.

E-mail: yur_med@mail.ru

Область научных интересов: технология полупроводниковых приборов.

процесс. Уже после нанесения металлов на *GaAs*, поверхность контактных площадок является неоднородной, наблюдаются темные участки с повышенной концентрацией *Ge* (рис. 1).

В процессе нагрева происходит перераспределение элементов в системе омического контакт-полупроводник, возникает диффузия *Au*, *Ge* в *GaAs* с образованием твердых растворов и химических соединений.

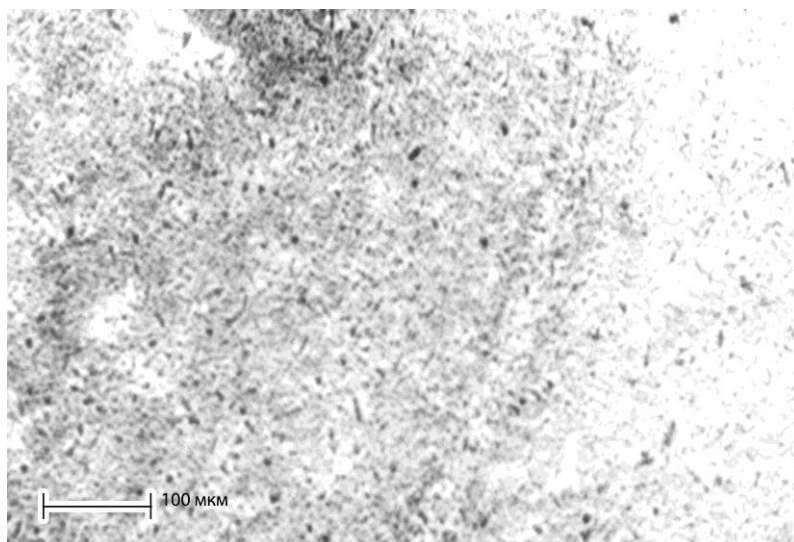


Рис. 1. Исходная поверхность контакта *AuGeNi* после нанесения на *GaAs*

С ростом температуры эти процессы ускоряются (рис. 2) и при температуре выше 300 °С начинаются процессы формирования интерметаллических соединений типа *AuGa*, *AuGe* и другие, подробно описанные в [2, 3].

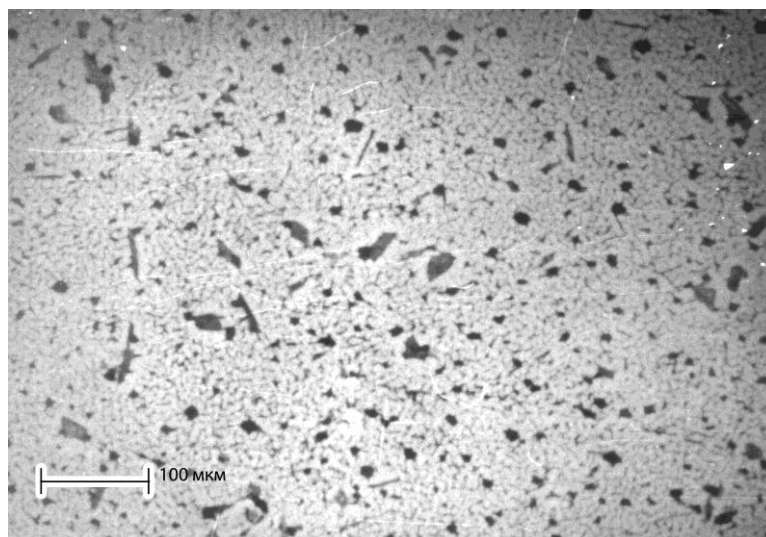


Рис. 2. Поверхность контакта *AuGeNi* в процессе отжига

Авторами [4] показано, что размеры темных участков достигают величин 70...90 мкм и представляют, по их мнению, фазу *Ni-Ge-As*. Характер протекания указанных выше процессов во время термического цикла получения омических контактов и определяет их электрофизические параметры. После нагрева и выдержке при максимальной температуре физические, химические и металлургические процессы продолжают и на стадии охлаждения (рис. 3).

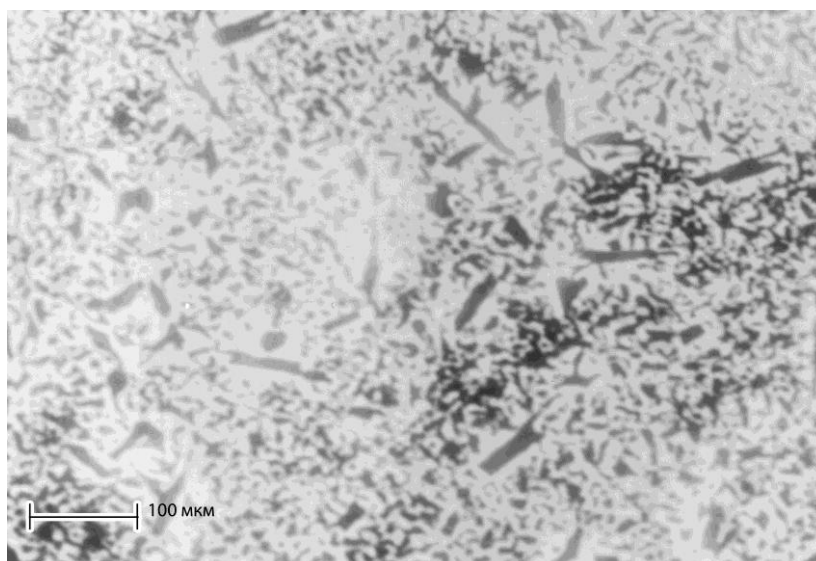


Рис. 3. Поверхность контакта $AuGeNi$ после охлаждения

Сравнивая морфологию поверхности контактов при температуре отжига (рис. 1) и после охлаждения, можно сделать вывод, что размеры темных участков, содержащих фазу $Ni-Ge-As$, увеличились более чем в два раза.

Очевидно, что материалы контактных площадок нельзя рассматривать просто как твердые растворы металлов арсенида галлия и необходимо учитывать, что в результате процессов взаимной диффузии, химических реакций образуются соединения, которые создают сложный по составу промежуточный слой между полупроводником и материалом омических контактов. Этот слой и определяет величину приведенного контактного сопротивления. Причем толщина и состав этого слоя зависят от скорости процесса нагрева-охлаждения. Так авторами работы [5] показано, что при «быстром» импульсном отжиге возможно создание и других термодинамически-неравновесных интерметаллических соединений вследствие anomalно высоких скоростей нагрева-охлаждения системы ОК-арсенид галлия.

Нами получена зависимость величины приведенного сопротивления ρ_k от температуры для двух значений концентрации легирующей примеси в арсениде галлия (рис. 4), из которой следует, что имеется диапазон температур, в котором достигается наименьшее значение величины приведенного поверхностного сопротивления. Кроме того, величина ρ_k определяется уровнем легирования n^+ -слоя полупроводника, чем выше уровень легирования, тем меньше сопротивление. Anomalное поведение зависимости R от температуры позволяет осуществить управление процессом формирования омического контакта и остановить его в момент достижения точки минимального сопротивления. Метод контроля параметров процесса отжига с обратной связью по сопротивлению омических контактов ранее был реализован в работе [6] и в дальнейшем доработан с использованием современных компьютерных технологий. Разработанный метод контроля сопротивления в процессе отжига позволяет осуществить управление этим процессом и существенно повысить его воспроизводимость.

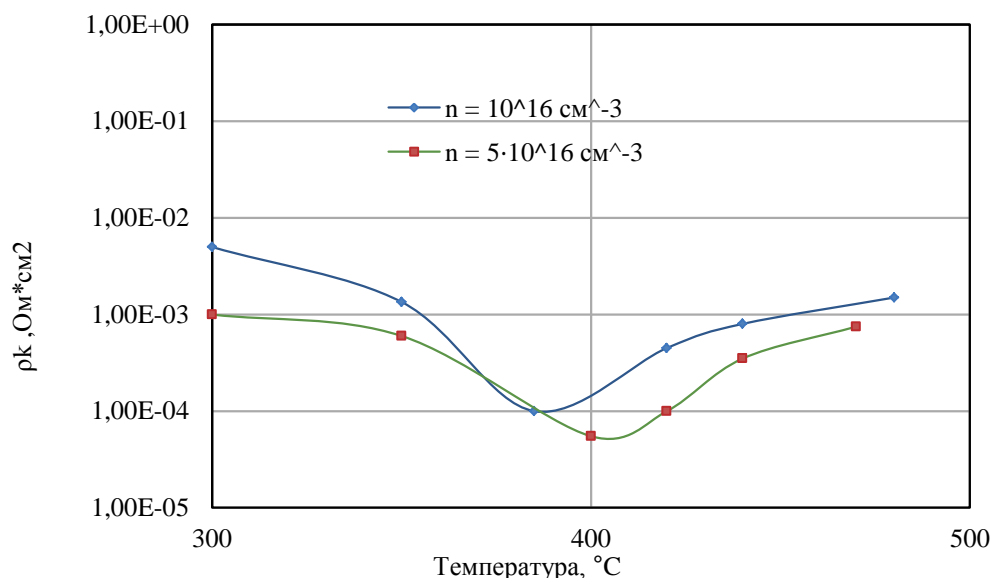


Рис. 4. Зависимость приведенного поверхностного контактного сопротивления омического контакта от температуры для двух значений легирующей примеси в арсениде галлия

В результате проведенных исследований нами установлена зависимость ρ_k от температуры T_ϕ и времени t_ϕ отжига и получена эмпирическая формула следующего вида:

$$\rho_k = A \cdot \left(B \cdot T_\phi \cdot t_\phi + \frac{C}{T_\phi \cdot t_\phi} \right) \cdot n^\gamma, \quad (1)$$

где $A = (1 \dots 5)10^{12} \text{ см}^{-3}$, коэффициент $\gamma = 1 \pm 0,2$. Величины B и C взаимосвязаны и связаны с величинами $t_{\rho_k \min}$, $T_{\rho_k \min}$ следующим соотношением:

$$\frac{C}{B} = T_{\rho_k \min} \cdot t_{\rho_k \min}. \quad (2)$$

Указанная формула отражает экспериментальную зависимость $\rho_k(t, T)$ с тремя характерными участками. На рис. 5 представлено изменение полного электрического сопротивления омического контакта $AuGeNi$ к $GaAs$ диаметром 500 мкм при термообработке в атмосфере азота со скоростью 20 °C/мин. Участок (1) характеризуется монотонным изменением сопротивления до достижения температуры 250...260 °C. В этот момент можно говорить о модели омического контакта вида $M-d-GaAs$, где d – сложный по составу окисный промежуточный слой между полупроводником и материалом омических контактов.

На участке зависимости (2) отмечается резкое уменьшение сопротивления, величина которого определяется уровнем легирования арсенида галлия примесью германия за счет его диффузии из материала контакта и созданием интерметаллических соединений типа $GeAs$. Минимум на зависимости электрического сопротивления контакта от температуры T_ϕ говорит об окончании процесса формирования омического контакта. С материаловедческой точки зрения это означает, что все атомы германия заняли соответствующие узлы в решетке арсенида галлия и создали электрически активные электронно-донорные центры. Для этого участка зависимости более подходит модель омического контакта вида $M-n^+-GaAs$, где n^+ – легированный германием промежуточный слой между полупроводником и материалом омических контактов, который и определяет величину приведенного контактного сопротивления.

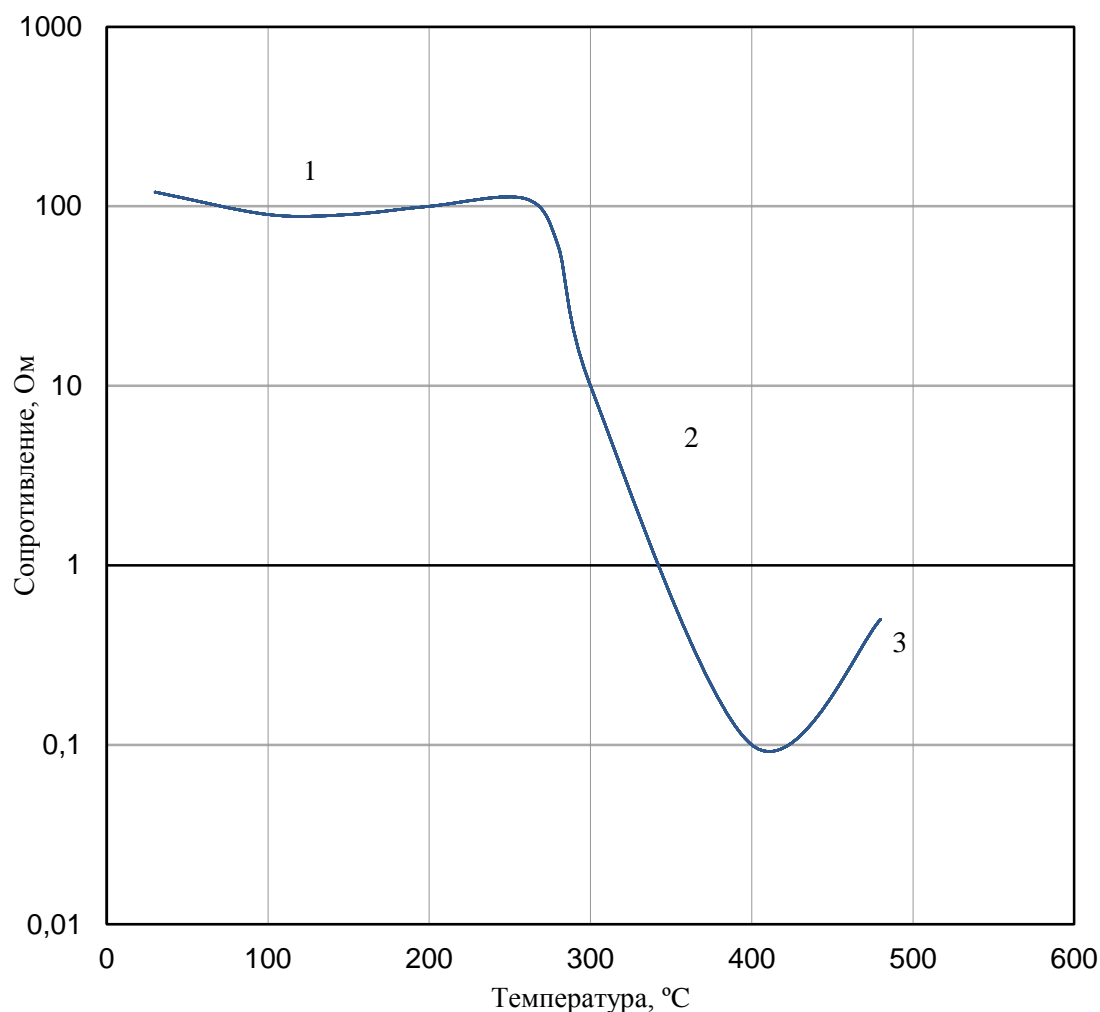


Рис. 5. Изменения полного электрического сопротивления омического контакта диаметром 500 мкм в процессе термического отжига (скорость нагрева 10 °C/мин)

Участок зависимости 3 характеризуется ростом сопротивления и обусловлен диффузией остальной части атомов золота, галлия и мышьяка к границе контакт-полупроводник и образованием интерметаллических соединений типа $AuGa$, $AuAs$ и других, обладающих высоким сопротивлением. Модель омического контакта в этом случае представляется в виде структуры $M-n^+-v-GaAs$, где v – высокоомный слой.

Проведенный анализ формирования омических контактов, их морфологии, характера изменения величины электрического сопротивления показывает сложную кинетику их поведения, в которой участвуют процессы диффузии, растворения, рекристаллизации и образования различных интерметаллических соединений.

Выводы

Метод измерения приведенного поверхностного удельного или полного электрического сопротивления одновременно с контролем температуры термообработки и скорости нагрева и охлаждения непосредственно в процессе технологического цикла формирования омических контактов позволяет обеспечить высокую воспроизводимость электрических параметров контакта. Дальнейшее снижение величины приведенного поверхностного удельного электрическо-

го сопротивления возможно провести за счет увеличения уровня легирования приконтактной области полупроводника и уточнения режимов термообработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Заводчиков В.М., Дохтуров В.В., Карпович Н.В., Солдатенко К.В. Исследование возможности использования импульсного фотонного отжига в технологии // Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ. – 1993. – № 3 (170). – С. 26–27.
2. Стриха В.И., Бузанева Е.В. Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике. – М.: Радио и связь, 1987. – 253 с.
3. Брянцева Т.А., Волков А.И., Ормонт А.Б. Термические изменения в области контакта пленки золота с поверхностью монокристаллического арсенида галлия // Электронная Техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы. – 1976. – № 2 (100). – С. 65–67.
4. Филимонов В.М., Юрченко В.И. Морфологические изменения в омических контактах к арсениду галлия на основе сплава золото-германий в процессе их отжига // Сборник трудов VI Всесоюзного совещания по исследованию арсенида галлия. – Томск, 1987. – Т. 2. – С. 48.
5. Дохтуров В.В., Смирнов С.В. Кристаллизация сплава золото-германий на поверхности арсенида галлия при импульсной термообработке // Электронная техника. Серия 7. Ферритовая техника. – 1992. – Вып. 2 (171). – С. 50–51.
6. Отчет по ОКР «Терка». Исследование и разработка технологического процесса и автоматизированной установки импульсного отжига № Госрегистрации Ф28456. – 1988.

Поступила 15.12.2011 г.