

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ TLM ДЛЯ ОЦЕНКИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ К ГЕТЕРОСТРУКТУРАМ β -SiC/Si¹

© 2006 А.А. Колесникова, А.Н. Комов²

Предложена разновидность конфигурации контактных площадок с радиальной геометрией, имеющая ряд преимуществ при определении переходного сопротивления омических контактов (r_c), изготовленных к слоям полупроводника с высокой проводимостью. Рассмотрены различные варианты ее применения в методе TLM. Полученные результаты использованы при исследовании удельного сопротивления омических контактов, изготовленных на основе никеля к эпитаксиальным пленкам SiC/Si с электронной проводимостью, полученным химическим газотранспортным методом в открытой трубе с использованием кристаллических кремния и углерода.

Введение

Одним из важнейших этапов изготовления приборных структур является формирование омических контактов. Разработке технологии изготовления омических контактов к карбиду кремния посвящено большое количество работ. Для преодоления возникающих при формировании омических контактов трудностей необходимы как обеспечение оптимального подбора материалов контактного покрытия, так и разработка специальных технологических приемов их нанесения и последующей обработки.

Важным свойством омического контакта является его переходное удельное сопротивление. В литературе приведены результаты расчета зависимости r_c от $N^{-1/2}$. При $N > 10^{19} \text{ см}^{-3}$ значение r_c определяется в основном туннельными процессами и быстро уменьшается по мере повышения степени легирования. При $N < 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ток обусловлен термоэмиссией и r_c почти не зависит от легирования.

Разработка корректных процедур измерения удельного переходного сопротивления омических контактов (r_c) играет важную роль в технологии полупроводниковых приборов. Обычно для определения величины r_c зондовыми методами проводятся измерения полного сопротивления R , между

¹Представлена доктором физико-математических наук профессором Г.П. Яровым.

²Комов Александр Николаевич (komov@ssu.samara.ru), Колесникова Анна Алексеевна, кафедра электроники твердого тела Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

планарно расположенными контактными площадками, которое зависит как от сопротивления контакта, так и от сопротивления полупроводника. Поэтому одной из основных задач при расчете переходного сопротивления омических контактов является определение вклада, вносимого полупроводниковым материалом в величину R_t , который существенно зависит от выбранной конфигурации контактных площадок и определяется процессами растекания тока между ними. Учет процессов растекания в общем случае достаточно сложен, и большинство методик определения p_c основано на упрощении конфигурации системы, в которой проводятся измерения.

Наиболее распространено измерение переходного сопротивления контактов в предельном случае тонких слоев полупроводника, электрически изолированных от подложки, например, р-п-переходом. В этих условиях задача определения сопротивления полупроводника соответственно p_c решается в рамках одномерной модели протекания тока. Одним из таких методов является TLM (transmission line method) [1–4]. В этом случае контакты формируются в идее длинных полос на поверхности тонкого эпитаксиального слоя, электрически изолированного от подложки р-п-переходом. Однако с технологической точки зрения изготовление структуры, адекватной предложенной модели, усложнено необходимостью дополнительного профилирования для устранения так называемых "краевых эффектов", возникающих при протекании тока вблизи торцов контактных площадок. Избежать этой операции позволяет модификация TLM с использованием радиальной геометрии контактных площадок. Геометрия контактных площадок такова, что величины r_1 и r_2 связаны условием $\ln(r_1/r_2) = \text{const}$ [3,4]. К настоящему времени для этих методов выявлены и оценены факторы, обуславливающие ошибки в измерениях контактного сопротивления, например, влияние размера контактных площадок и расстояния между ними [5], конечного сопротивления растекания по материалу контактного покрытия [5,6]. С учетом этих факторов применение TLM позволяет корректно определять достаточно низкие контактные сопротивления ($p_c \sim 10^{-5}$ Ом·см²).

Отметим, что наряду с необходимостью возможно более точного определения величины p_c во многих практически важных случаях оказывается достаточным получить информацию о том, что переходное сопротивление контактов не превышает некоторой приемлемой величины (т.е. оценку "сверху") с использованием более простой методики.

В настоящей работе для решения этих задач использована разновидность радиальной геометрии контактных площадок и рассмотрено ее применение в методе TLM. Полученные результаты использованы при исследовании удельного сопротивления омических контактов, изготовленных на основе никеля к структурам β -SiC-Si.

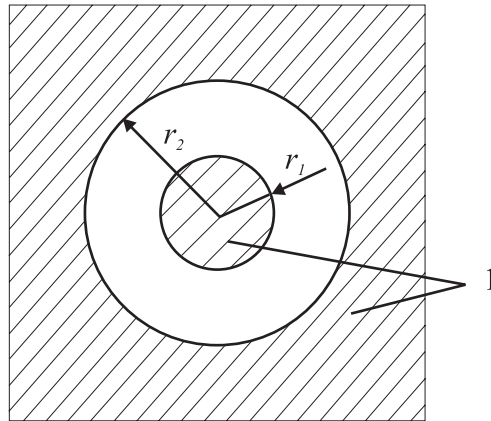


Рис. Фрагмент шаблона с радиальной симметрией для определения переходного сопротивления омических контактов. 1 — контактное покрытие; r_1 и r_2 — радиусы контактных площадок

1. Геометрия контактных площадок

Для определения величины p_c в работе [3] был предложен шаблон, состоящий из концентрически расположенных контактных площадок, меньшая из которых имеет радиус r_1 , а большая — внутренний радиус r_2 (см. рисунок). На одном образце изготавливается несколько таких контактных площадок, при этом внутренние площадки имеют фиксированный радиус $r_1 = \text{const}$, а величина r_2 различна. В рассмотренном в [3] случае тонких слоев для определения удельного контактного сопротивления и удельного сопротивления слоя полупроводника (sheet resistance) R_s методом TLM использовалась совокупность значений сопротивлений R_t , измеренных между этими контактными площадками. Такая геометрия требует достаточно высокой однородности контактного сопротивления по площади образца, однако она более удобна по сравнению с системой концентрических колец, предложенной в [4], с той точки зрения, что при малой величине R_s величина R_t будет выше сопротивления, измеряемого между двумя внешними кольцами в схеме [4], за счет большего вклада в R контактного сопротивления площадки малого радиуса r_1 .

В качестве альтернативного варианта рассмотрим геометрию контактных площадок, аналогичную предложенной в [3], но радиусы контактных площадок r_1 и r_2 выберем таким образом, чтобы выполнялось условие: $\ln(r_2/r_1) = C$, где C — постоянная величина. Проведем сравнительный анализ методик определения удельного контактного сопротивления, основанных на использовании этих двух геометрий, для омических контактов, изготовленных к структурам $\beta\text{-SiC-Si}$. Для расчетов значения r_1 и r_2 выберем следующим образом: в первом случае диапазон изменения r_2 — 50–250 мкм при фиксированном значении $r_1 = 20$ мкм; во втором диапазон изменения r_1 —

10–30 мкм при $\ln(r_2/r_1) = 2$. Выбранные значения достаточно типичны, так как уменьшение r_1 существенно затрудняет процедуру измерений, а увеличение r_1 при малых значениях p_c нежелательно вследствие уменьшения вклада переходного сопротивления контактов в величину R_t .

2. Основные соотношения для случая тонких слоев полупроводника

В рамках модели TLM сопротивление между контактными площадками определяется следующим образом [3,4]:

$$R_t = \frac{R_s}{2r} \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{R_s}{2r} \frac{1}{\alpha r_1} \frac{I_0(\alpha r_1)}{I_1(\alpha r_1)}, \quad (1)$$

где R_t — полное сопротивление, измеряемое между контактными площадками; R_s — удельное сопротивление слоя полупроводника; r_1 и r_2 — внешний и внутренний радиусы соответствующих контактных площадок (рис. 1); $I_0(\alpha r_1)$ и $I_1(\alpha r_1)$ — модифицированные функции Бесселя 0 и 1 порядков соответственно; $\alpha = (R_s/\rho_c)^{1/2}$; ρ_c — удельное переходное сопротивление омических контактов. Очевидный способ определения p_c с использованием выражения (1), реализованный в [3], состоит в том, что при фиксированном значении r_1 строится зависимость измеренного сопротивления R_t от $\ln(r_2/r_1)$. Наклон полученной прямой определит при этом величину R_s , а отсечка (в совокупности R_s) — величину p_c .

Отметим, что изменение R_t обусловлено при этом только изменением r_2 и, как следствие, при малых R_s диапазон изменения R_t невелик. Такая ситуация увеличивает погрешность определения p_c и требует хорошей статистики измерений. Кроме того, даже для проведения тестовых измерений необходимо использовать токовые и потенциальные зонды. В противном случае величина p_c будет завышена за счет наличия сопротивления зонд-контактного покрытия, так как она определяется из отсечки аппроксимирующей прямой зависимости R_t от $\ln(r_2/r_1)$.

Указанных недостатков можно легко избежать, если шаблон для формирования контактных площадок будет сконструирован таким образом, чтобы величина r_1 изменялась, а значение $\ln(r_2/r_1)$ оставалось постоянным.

3. Измерение удельного сопротивления омических контактов, изготовленных на основе никеля к структурам β -SiC-Si

В настоящей работе для изготовления контактов использовался никель. Осаждение Ni на гетероструктуры β -n-SiC-p-Si проводилось методом магнетронного испарения в плазме аргона. Структуры выращиваются методом эндотаксии при температуре 1360–1380°C в среде водорода. После нанесе-

ния металла на исследуемую структуру осуществлялся высокотемпературный отжиг. Температуры отжига находились в диапазоне 600–1350°C. Контактные площадки требуемой геометрии формировались методом фотолитографии.

Величина удельного сопротивления омических контактов на основе Ni к гетероструктурам β -n-SiC/Si определяется по наклону аппроксимирующей прямой расчетной зависимости R_t от $\ln(r_2/r_1)$. Значение удельного переходного сопротивления омических контактов на основе никеля, изготовленного к гетероструктуре β -n-SiC/Si, составило $\rho_c = 1,56 \cdot 10^{-4}$ при температуре отжига $T_a = 900^\circ\text{C}$ и $\rho_c = 7,3 \cdot 10^{-5}$ при $T_a = 1150^\circ\text{C}$.

Заключение

Отметим, что определение величины ρ_c в TLM приближении с использованием геометрии с постоянным отношением внешнего и внутреннего радиусов контактных площадок дает оценку "сверху". Величина погрешности существенно зависит от выбранной геометрии контактных площадок и параметров полупроводника. Предложенная геометрия, основанная на построении аппроксимаций (1) зависимости R_t от r_c , позволяет определить величину удельного контактного сопротивления или получить ее оценку "сверху" в зависимости от параметров измеряемой структуры.

К достоинствам методики относится также расширение диапазона измеряемых величин сопротивления за счет увеличения вклада контактного сопротивления, что повышает достоверность определения ρ_c .

Литература

- [1] Нисков, В.Я. Сопротивление омических контактов к тонким слоям полупроводников / В.Я.Нисков // ПТЭ. 1970. №1(235). 1806–1808.
- [2] Berger, H.H. A Review of the theory and technology for ohmic contacts to group III-V compaud semiconductors / H.H.Berger // Sol.-St. Electron. 1972. No. 15(145). P. 541–550
- [3] Ohmic contacts for semiconductor devices and metod for forming ohmic contacts / G.Boberg [et al.] // Physica Scripta. 1981. No. 24(405). P. 925–926
- [4] Reeves, G.K. Metallurgiecal and electrical properties of alloyed Ni/AuGe films on n-type GaAs / G.K.Reeves // Sol.-St. Electron. 1980. No. 23(487). P. 331–342.
- [5] Martow, G.S. Ohmic contacts in GaAs / G.S.Martow, M.B.Das // Sol. St. Electron. 1982. No. 25(91). P. 1218

- [6] The temperature dependence of contact resistivity of the Ge/Pd and the Si/Pd nonalloyed contact scheme on n-GaAs / J.S.Chen [et al.] // Mater. Sci. Engin. B. 1995. No. 29(185). P. 1621–1625.

Поступила в редакцию 7/IV/2006;
в окончательном варианте — 7/IV/2006.

APPLICATIONS OF TLM METHODS FOR ESTIMATION OF RESISTANCE OF OHMIC CONTACTS TO STRUCTURE n-TYPE β -SiC/Si³

© 2006 A.A. Kolesnikova, A.N. Komov⁴

A modification of contact area pattern with radial geometry has been proposed which has certain advantages when performing specific resistance measurements of ohmic contacts fabricated on epitaxial layers. Applications of this pattern are considered for TLM methods. Results obtained are used in studying specific resistance of Ni-based ohmic contacts to epitaxial layers of SiC.

Paper received 7/IV/2006.

Paper accepted 7/IV/2006.

³Communicated by Dr. Sci. (Phys. & Math.) Prof. G.P. Yarovoi.

⁴Kolesnikova Anna Alekseevna, Komov Alexandr Nickolaevich (komov@ssu.samara.ru),
Dept. of Solid State Electronics, Samara State University, Samara, 443011, Russia.