

А. В. ИВАЩУК

Украина, г. Киев, Науч.-производств. предприятие "Сатурн"

Дата поступления в редакцию  
21.07 2000 г.

Оппонент к. ф.-м. н. Е. М. СЕМАШКО

## ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К АРСЕНИДУ ГАЛЛИЯ

*Предложены устройство для термообработки пластин и тепловые режимы сплавления омических контактов к n-GaAs с учетом влияния массы образца.*

В подавляющем большинстве сверхчувствительных приемных и приемно-передающих систем с низким и сверхнизким уровнем шумов в настоящее время используются полевые транзисторы с барьером Шоттки (ПТШ) на GaAs, транзисторы с высокой подвижностью электронов на гетероструктурах  $A_3B_5$  самых разнообразных конструкций или монолитные интегральные схемы (МИС) на их основе, в которых качество омических контактов (ОК) является одним из основных факторов, определяющих СВЧ-параметры приборов и их эксплуатационные характеристики. Поэтому вопросы совершенствования технологии формирования ОК разработчики транзисторов никогда не обделяли вниманием.

Из анализа, проведенного в работах [1, 2], следует, что для реализации высококачественного сплавного омического контакта необходимо обеспечить максимально возможное равномерное смачивание поверхности полупроводника расплавом AuGe. Проплавление полупроводника должно быть неглубоким и равномерным, а рекристаллизация из расплава — быстрой. Все вместе это гарантирует образование на границе "металл — полупроводник" тонкого высоколегированного слоя GaAs [3, 4] и исключение микрокоалесценции тонких пленок при формировании контакта [5]. В связи с этим возникает необходимость исследования влияния на качество ОК целого ряда технологических факторов, в той или иной мере связанных с процессом термообработки.

Результаты исследования влияния температурных режимов обработки на параметры ОК ранее нами были представлены в работах [6, 7]. В данной работе описано устройство для термообработки образцов, позволяющее оптимизировать процессы рекристаллизации в омических контактах, а также рассмотрено влияние массы образца на процесс формирования ОК.

### Образцы

Известно, что наиболее чувствительны к технологии формирования ОК эпитаксиальные структуры (ЭС) GaAs с низкой ( $N_d \sim 1 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ )

концентрацией доноров [7]. Поэтому в данной работе для исследований использовались ЭС GaAs с  $N_d \sim 1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , т. к. ЭС с более низкой концентрацией при изготовлении СВЧ ПТШ обычно не применяются. Толщина эпитаксиального слоя составляла  $\sim 0,3 \text{ мкм}$ .

Перед нанесением металлизации образцы протравливались в аммиачно-перекисном травителе. Использовалась металлизация двух типов: 1) AuGe (50 нм) — Au (250 нм); 2) AuGe (50 нм) — Ni (20 нм) — Au (200 нм). Условия нанесения металлизации более детально описаны в работах [7—9]. Формирование омических контактов осуществлялось в печи в атмосфере сухого водорода (точка росы ниже  $-60^\circ\text{C}$ ).

### Устройство для термообработки

Помимо точности поддержания заданных режимов в процессе термообработки (температуры, времени, состава газовой среды и т. д.), важными параметрами, оказывающими влияние на процессы формирования границы раздела "металл — полупроводник", являются скорости нагрева и охлаждения образца. Для наилучшего удовлетворения всех требований к условиям формирования ОК было разработано и изготовлено специальное устройство, схематически представленное на **рис. 1**. Устройство обеспечивало подъем температуры образцов со скорос-

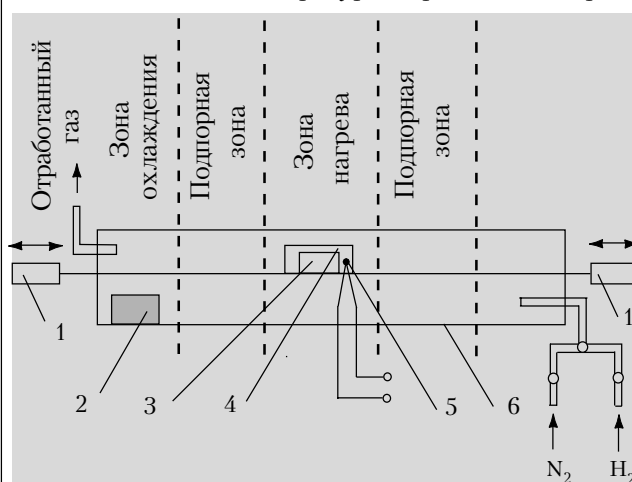


Рис. 1. Устройство для термообработки:

1 — манипуляторы; 2 — столик из меди; 3 — пластина GaAs; 4 — транспортная кассета; 5 — терморпара; 6 — кварцевая труба

тью 50–60°C/с, почти с такой же скоростью образцы охлаждались. Для достижения быстрого нагрева и охлаждения пластин использовались манипуляторы, управление которыми осуществлялось за пределами зоны нагрева. Поскольку это приводило к разгерметизации рабочего объема, для предотвращения натекания воздуха в зону нагрева в рабочем объеме создавалось небольшое избыточное давление водорода ( $P \sim 1,15 - 1,20$  атм). (Это гарантировало также безопасные условия работы.) Загрузка и выгрузка пластин осуществлялись после достаточной продувки рабочего объема сухим азотом.

Для лучшего выравнивания температуры в зоне нагрева по бокам зоны формировались так называемые подпорные зоны, в которых температура была на 30–50°C ниже температуры рабочей зоны.

После прогрева пластина выгружалась тыльной стороной на металлический столик из меди массой не менее 100 г с зеркальной поверхностью для обеспечения хорошего теплового контакта. Температура металлического столика составляла ~50–60°C, что давало возможность охлаждать пластину со скоростью 30–40°C/с. При этом отбор тепла от расплавленной области на границе раздела "металл – полупроводник" осуществлялся, в основном, через подложку. Это создавало условия для равномерной кристаллизации и улучшения морфологии ОК [10].

Типичный температурный режим сплавления ОК с помощью описанного устройства представлен на **рис. 2**. Как и ожидалось, на металлическом столике пластина охлаждается быстрее.

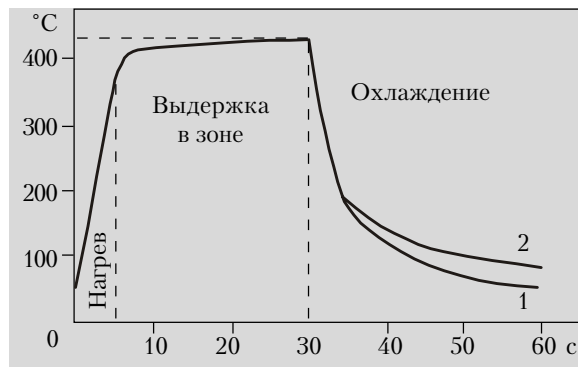


Рис. 2. Температурный режим сплавления омических контактов для пластин диаметром 40 мм: 1 — охлаждение на металлическом столике; 2 — охлаждение в потоке водорода

**Исследование образцов**

На **рис. 3** представлены температурные зависимости удельного контактного сопротивления ( $\rho_c$ ) ОК с двумя типами металлизации при времени сплавления 30 с (пластины диаметром 40 мм).

Для ОК с металлизацией AuGe–Ni–Au наименьшее значение  $\rho_c$ , равное  $3,3 \cdot 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup>, достигается при температуре сплавления 435°C, а для металлизации AuGe–Au наименьшее значение  $\rho_c$ , равное  $6,0 \cdot 10^{-6}$  Ом·см<sup>2</sup>, получено при температуре 425°C. Некоторый сдвиг оптимальной температуры сплавления в сторону увеличения для ОК, в металли-

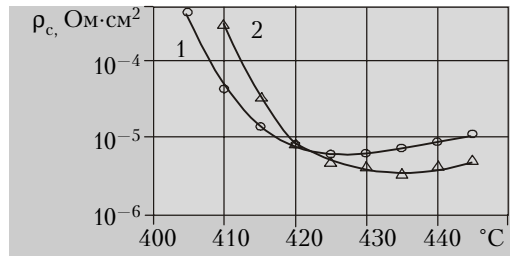


Рис. 3. Температурные зависимости  $\rho_c$  ОК с двумя типами металлизации: 1 — AuGe–Au; 2 — AuGe–Ni–Au

зии которых присутствует никель, объясняется именно ролью этого металла в формировании контактов [1, 3].

В процессе оптимизации режимов термообработки было также установлено, что оптимальные время и температура сплавления ОК зависят от массы пластины, на что авторы целого ряда работ [1, 2, 11] до настоящего времени не обращали внимания. Обычно в производстве СВЧ ПТШ и других полупроводниковых приборов используются пластины диаметром 40, 50, 60 или 76 мм. Средняя масса таких пластин составляет соответственно 2,60–2,75, 5,40–5,60 и 8,50–9,00 г (режимы формирования ОК на пластинах диаметром 76 мм в данной работе не исследовались). Поэтому закономерно, что из-за инерционности прогрева полупроводника на пластинах разных размеров необходимы разные режимы термообработки для достижения минимальных значений  $\rho_c$ .

На **рис. 4** представлены зависимости  $\rho_c$  от времени термообработки при температуре 435°C для ОК, сформированных на пластинах разного диаметра. В этих экспериментах использовалась только металлизация AuGe–Ni–Au. Исследования показывают, что оптимальное время термообработки, определенное по минимуму  $\rho_c$ , для пластин Ø40 мм составляет 30 с, для пластин Ø50 мм — 45 с и для пластин Ø60 мм — 60 с. Эти режимы были рекомендованы для формирования ОК в полупроводниковых приборах (ПТШ и МИС) при изготовлении их на пластинах разного размера.

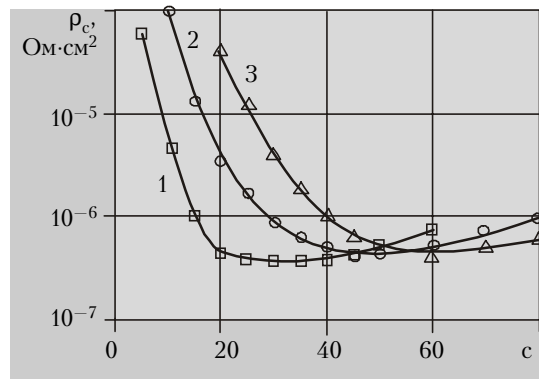


Рис. 4. Зависимость удельного контактного сопротивления  $\rho_c$  ОК, сформированных на пластинах разного диаметра, от времени термообработки при температуре 435°C: 1 — диаметр пластины 40 мм; 2 — 50 мм; 3 — 60 мм

Таким образом, описанное устройство для термообработки полупроводниковых пластин обеспечивает быстрый нагрев и охлаждение образцов в восстановительной среде (водороде), что создает необходимые условия для равномерной рекристаллизации и улучшения морфологии ОК в процессе сплавления металлизации. Учет зависимости режимов термообработки от массы пластины при изготовлении СВЧ полупроводниковых приборов (ПТШ, диодов, МИС) позволяет оптимизировать технологические процессы формирования ОК.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Piotrowska A., Guivac'h A., Pelous G. Ohmic contacts to III-V compound semiconductors: A review of fabrication techniques // Solid-St. Electron. — 1983. — Vol. 26, N 3. — P. 179—197.
2. Каганович Э. Б., Свешников С. В. Получение омических контактов к полупроводниковым соединениям  $A_3B_5$  (обзор) // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. — 1992. — Вып. 22. — С. 1—16.
3. Robinzon G. Y. Metallurgical and electrical characterization of metal-semiconductor contacts // Thin Solid Films. — 1980. — Vol. 72, N 1. — P. 129—141.
4. Braslau M. Alloyed ohmic contacts to GaAs // J. Vac. Sci. Technol. — 1981. — Vol. 19, N 3. — P. 803—807.

5. Брянцева Т. А., Лакашин В. В., Любченко В. Е. Особенности коалесценции тонких пленок Au—Ge при формировании контактов ограниченных размеров // Физика твердого тела. — 1988. — Т. 30, вып. 3. — С. 645—648.

6. Воложенинов И. О., Иващук А. В. Оптимальные режимы термообработки омических контактов к  $n$ -GaAs // Электронная техника. Сер. Полупроводниковые приборы. — 1981. — Вып. 5. — С. 74—75.

7. Иващук А. В. Формування омичних контактів з одночасним очищенням поверхні арсеніду галію і її легуванням атомами германію // Наукові вісті. — 2000. — Вып. 2. — С. 5—8.

8. Патент 16522 Украины от 29.08.97. Спосіб виготовлення структур польових транзисторів з бар'єром Шотткі // В. І. Босий, А. В. Иващук, В. П. Кохан та ін.

9. Патент 16341 Украины от 29.08.97. Випарник для наплення речовини в вакуумі // А. В. Иващук, В. Г. Корнус, В. П. Кохан, В. М. Яшник.

10. А. с. 299219 Украины от 1.08.1989. Способ изготовления омического контакта к полупроводниковому соединению  $A_3B_5$  с проводимостью  $n$ -типа // В. И. Босий, А. В. Иващук, В. П. Кохан, М. А. Стовповой.

11. Курин В. В., Кравченко Л. Н., Уралов А. А. и др. Свойства омических контактов к арсениду галлия на основе систем Au—Ge—Ni // Электронная промышленность. — 1990. — № 3. — С. 30—32.

К. т. н. В. Н. КРЫЛОВ, к. т. н. С. Г. АНТОЩУК,  
к. т. н. Г. Ю. ЩЕРБАКОВА

Украина, Одесский политехнический университет

По материалам доклада на МНПК «Современные информационные и электронные технологии» («СИЭТ-2000»). — 23—26 мая 2000 г., Одесса

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

*Решаются задачи распознавания текстур и объектов на фоне текстуры при контроле материалов и поверхностей изделий электронной техники.*

С ростом степени интеграции и функциональной сложности микросхем становятся жестче требования к контролю состояния материалов электронной техники. Создание современных БИС и СБИС, линий задержки, фильтров требует использования надежных средств контроля качества материалов и поверхностей исходных пластин в процессе их технологической обработки. Вместе с тем традиционно используемые в производстве способы контроля основываются на трудоемких и субъективных визуальных методах. Таким образом, остается актуальной задача автоматизации визуального дефектоскопического контроля материалов с текстурированной

поверхностью путем применения компьютерных систем обработки и анализа изображений.

Необходимость в автоматизации визуального дефектоскопического контроля материалов с текстурированной поверхностью возникает также в исследовательских работах, например, при замене применяемых в составе резистивных паст благородных металлов и их соединений новыми, более дешевыми материалами [1] (рис. 1), при обнаружении дефектов (дислокаций несоответствия) [2] (рис. 2), при анализе форм проявления эффектов рассеяния в процессе формирования масок [3] (рис. 3) и т. д.

Приведенные изображения пленок и материалов относятся к текстурным, т. е. имеют, в основном, повторяющуюся структуру. Изображения дефектов (пор) на изображениях образцов твердого раствора  $BaV_6$ — $LaV_6$  (рис. 1, п — поры), дислокаций несоответствия на границе раздела  $(100)CdTe/(100)GaAs$  (рис. 2), формы проявления эффектов рассеяния во внутренней части регу-