

06;12

Простой метод контроля омических контактов для гетероструктурных полевых транзисторов

© М.А. Стюповой

Институт физики полупроводников НАН Украины, Киев

Поступило в Редакцию 15 сентября 1999 г.

Предложен и экспериментально опробован метод определения положения фронта сплавления в полупроводнике, который может быть применен в технологическом процессе изготовления прибора.

Омические контакты являются одним из основных элементов полевых транзисторов, определяющих их шумовые и усилительные характеристики. Омические контакты транзисторов с высокой подвижностью электронов (HEMT) имеют ряд особенностей по сравнению с омическими контактами обычных полевых транзисторов на основе GaAs. Для структуры GaAs–GaAlAs, предназначенной для создания HEMT, основным критерием можно считать глубину фронта сплавления (по перераспределению легирующей примеси). Фронт сплавления должен достигать слоя локализации двумерного газа [1,2], поэтому является актуальным определением положения фронта сплавления в полупроводнике. Прямое решение этой задачи достаточно сложно и может быть реализовано такими аналитическими методами, как электронная Оже-спектроскопия (AES) или масс-спектроскопия вторичных ионов (SIMS). Однако эти разрушающие методы достаточно сложны и трудоемки, требуют изготовления специальных тестовых образцов. Целью данной работы была разработка простого метода контроля, применимого непосредственно в технологическом процессе изготовления полупроводникового прибора.

Гетероструктура n^+ -GaAs, n^+ -GaAlAs, n -GaAlAs, n -GaAs, n -GaAs (60, 50, 3 nm, 0.5 и 300 μm соответственно) формировалась методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Подвижность электронов в слое двумерного газа составила $\sim 4000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ при 300 K и около $40\,000 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ при 77 K. Контрольная структура n^+ -GaAs, n -GaAs, n -GaAs (0.25, 0.25, 0.75 и 300 μm соответственно) формиро-

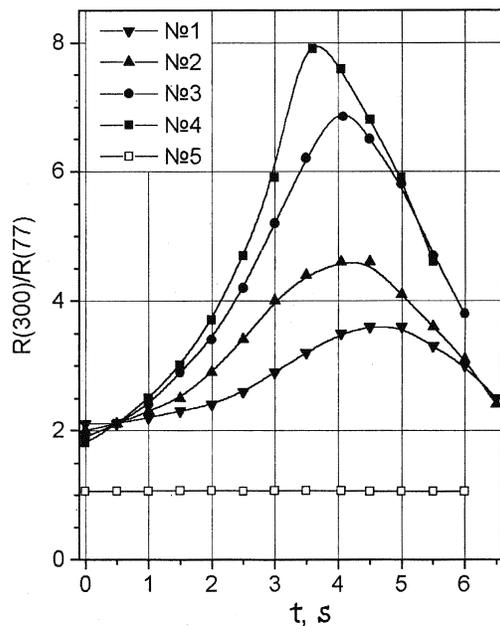


Рис. 1. Зависимости отношений $R(300\text{ K})/R(77\text{ K})$ от времени травления образцов № 1–5.

валась методом жидкофазной эпитаксии. Технологический процесс изготовления образцов является типовым и описан, например, в [3]. Режимы термообработок следующие: температура 410°C и время сплавления 30, 60 s для образцов № 1 и 2 и температура 430°C и время сплавления 25, 40, 25 s для образцов № 3, 4 и 5 соответственно. Далее образцы подвергались травлению в сильноразбавленном аммиачно-перекисном травителе. При этом слой металлизации на поверхности образцов играл роль маски. Полупроводник между контактами А и В, С и D последовательно, с шагом травления в 1 s, удалялся. После каждого шага травления измерялось общее сопротивление между контактами А и В, С и D при комнатной температуре (300 K) и в среде жидкого азота (77 K). На рис. 1 представлены экспериментальные графики зависимости отношения сопротивлений $R(300\text{ K})/R(77\text{ K})$ от времени травления. Проанализируем поведение полученных графиков. Как видно, сопротивление контрольной

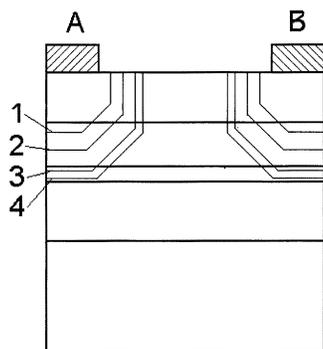


Рис. 2. Схематическая модель проникновения фронта сплавления в гетероструктуру для образцов № 1–4. (Для контрольной структуры контактные площадки имеют обозначения *C* и *D*).

структуры GaAs (образец № 5) при охлаждении уменьшается незначительно — всего лишь на 5–7% как в начальном состоянии, так и после пошагового травления. Поведение гетероструктур отличается принципиально как по отношению к контрольной структуре, так и между различными образцами гетероструктур. В образце № 1 наблюдается относительно небольшое уменьшение сопротивления при стравливании слоев n^+ -GaAs и n^+ -GaAlAs между контактами, поэтому предполагаем, что фронт сплавления не достиг слоя двумерного газа, большое последовательное сопротивление слоя n^+ -GaAlAs, остающегося между фронтом сплавления и слоем двумерного газа, маскирует уменьшение сопротивления слоя двумерного газа при охлаждении от 300 до 77 К. В образце № 2 наблюдается бóльшая, чем в образце № 1, величина изменения сопротивления, поэтому предполагаем, что фронт сплавления проник глубже в полупроводник, хоть и не достиг слоя двумерного газа (здесь последовательное сопротивление слоя n^+ -GaAlAs ниже), и поведение двумерного газа проявляется сильнее. Для образца № 4 максимальное отношение сопротивлений $R(300\text{ К})/R(77\text{ К})$ незначительно выше максимального отношения сопротивлений $R(300\text{ К})/R(77\text{ К})$ для образца № 3 и по порядку соответствует росту подвижности электронов в слое двумерного газа при охлаждении гетероструктуры от 300 до 77 К. Предполагаем, что в образцах № 3 и 4 фронт сплавления достиг слоя двумерного газа. Своеобразное насыщение в изменении сопро-

тивления при охлаждении, по-видимому, свидетельствует о достижении слоя двумерного газа фронтом сплавления. Ниже слоя двумерного газа находятся буферный нелегированный слой и полужолирующая подложка, по которым протекают пренебрежимо малые по сравнению со слоями n^+ -GaAs и двумерным газом токи. В начальном состоянии, когда структуры еще не подвергались травлению, общее сопротивление образцов № 1–4 практически одинаково и определяется в основном сопротивлением высоколегированного слоя n^+ -GaAs. Этот слой имеет малое и слабо зависящее от температуры (см. поведение образца № 5) сопротивление, которое шунтирует сопротивление слоя двумерного газа даже при 77 К. По мере травления слоя n^+ -GaAs выявляется поведение слоя двумерного газа (подвижность электронов в нем увеличивается примерно на порядок при охлаждении от 300 до 77 К и соответственно уменьшается сопротивление). Когда слой n^+ -GaAs полностью удаляется и начинается травление слоя n^+ -GaAlAs, являющегося источником электронов для слоя двумерного газа, начинается обеднение слоя двумерного газа, что приводит к резкому возрастанию сопротивления образцов как при 300 К, так и при 77 К. Когда слой n^+ -GaAlAs удаляется полностью, поведение гетероструктуры определяется поведением нелегированного GaAs, т.е. приближается к поведению контрольного образца № 5. Можно заметить, что максимум отношения сопротивлений $R(300\text{ К})/R(77\text{ К})$ сдвигается влево при увеличении жесткости термообработки. Вероятно, это можно объяснить боковой диффузией при термообработке образцов, которая несколько сужает зазор между контактами металлизации. Рассмотрев поведение кривых на рис. 1, можно предложить схематическую модель проникновения фронта сплавления в гетероструктурах, представленную на рис. 2.

Послойный Оже-анализ омических контактов к гетероструктуре свидетельствует, что при $T = 410^\circ\text{C}$ и времени сплавления 30 с фронт сплавления достигает глубины (50–60) nm, а при $T = 410^\circ\text{C}$ и времени сплавления 60 с — (80–90) nm. Таким образом, результаты предложенного метода хорошо согласуются с результатами аналитических исследований. В результате проведенных исследований была разработана методика оценки глубины фронта сплавления при получении омических контактов для НЕМТ. Методика не требует изготовления специальных тестовых структур, проводится за относительно малое время и может быть применена непосредственно на полупроводниковой пластине в технологическом процессе.

Список литературы

- [1] *Lee S.J., Crowell C.R.* // Solid-State Electronics. 1985. V. 28. N 7. P. 659–668.
- [2] *Hill A.J., Ladbrooke P.H.* // GEC Journal of Research. 1986. V. 4. N 1. P. 1–14.
- [3] *Осинский В.И., Стовповой М.А.* // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. 1995. В. 29. С. 18–24.