

**ИЗМЕРЕНИЕ МОЛЬНОЙ ДОЛИ АЛЮМИНИЯ В ТРОЙНЫХ
СОЕДИНЕНИЯХ $Al_xGa_{1-x}As$ МЕТОДОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРИИ ВТОРИЧНЫХ
ИОНОВ**

В.В. Сарайкин¹, И.С. Васильевский², А.Н. Виниченко², К.Д. Шербачев³

¹ ФГУП «Научно-исследовательский институт Физических Проблем им. Ф.В. Лукина»
124460, Москва, г. Зеленоград, проезд 4806, дом 6, e-mail: vvсарайкин@yandex.ru

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, г. Москва, Каширское шоссе, дом 31, e-mail: ivasilevskii@mail.ru

³ НИТУ МИСИС, ЦКП «Материаловедение и металлургия»,
119049, Москва, Ленинский пр., д.4, e-mail: kirill.shcherbachev@misys.ru

В квантовых ямах Р-НЕМТ $Al_xGa_{1-x}As/In_yGa_{1-y}As/Al_xGa_{1-x}As$ гетероструктур с высокой подвижностью электронов структур, применяемых для создания приборов СВЧ электроники, слои $Al_xGa_{1-x}As$ являются и барьерными для квантовой ямы $In_yGa_{1-y}As$, и одновременно-донорами. Увеличение мольной доли x приводит к увеличению высоты потенциального барьера квантовой ямы и снижает утечки затвора. С другой стороны, при содержании Al $x > 24\%$ DX-центры Si_{AlGaAs} захватывают электроны, что ухудшает параметры транзистора - возникают паразитные гистерезис ВАХ, термо- и светочувствительность. При подгонке токов транзисторов верхний контактный слой $n+GaAs(Si)$ стравливается в затворном заглублении, а слой $Al_xGa_{1-x}As$ обеспечивает селективность травления при $x = 22-24\%$. Поэтому важнейшей задачей технологии Р-НЕМТ гетероструктур является метод контроля технологии и состава слоев $Al_xGa_{1-x}As$. Масс-спектрометрия вторичных ионов (ВИМС) является одним из наиболее информативных аналитических методов для анализа гетероструктур из-за возможности измерения сложного профиля распределения состава по глубине.

Измерение состава веществ методом ВИМС затруднено сильным матричным эффектом, то есть сильной зависимостью тока выбиваемых вторичных ионов от состава распыляемого материала. Из работ [1, 2] известно, что матричный эффект может быть практически нивелирован с использованием режима регистрации кластерных вторичных ионов $CsAl^+$, $CsGa^+$. Поскольку цезий обладает малой энергией ионизации (3.89 эВ), вероятность ионизации указанных кластеров в большей мере определяется отдачей электрона атомом цезия, чем отдачей электрона атомом Al или Ga (~ 6.0 эВ). Разница вероятности ионизации указанных кластеров оказывается существенно меньше, чем разница вероятности ионизации атомов Al и Ga . При практической реализации такого режима травления ионным пучком цезия, на поверхности анализируемой структуры образуется субслоем цезия, который

распыляется вместе с матричными анализируемыми элементами. Такая техника травления и регистрации ионного тока I позволяет рассчитать состав тройного соединения $Al_xGa_{1-x}As$ в пропорциональном приближении:

$$x = I(CsAl^+) / \{I(CsAl^+) + I(CsGa^+)\}$$

Целью работы являлось установление погрешности измерения мольной доли алюминия в тройных соединениях $Al_xGa_{1-x}As$ с использованием указанного приема. Для этого методом молекулярно-лучевой эпитаксии выращивался набор пленок с различной мольной долей алюминия (от 0.17 до 0.32) и однородным составом по глубине.

Образцы были изготовлены на установке молекулярно-лучевой эпитаксии Riber Compact 21 T в НОЦ "нанотехнологии" НИЯУ МИФИ. Структура изготовленных образцов приведена на Рис. 1. Состав слоев при росте определялся по соотношению потоков Al и Ga и задавался за счет температуры Al ячейки. После роста фактический состав уточнялся по данным измерений трехкристалльной рентгеновской дифрактометрии, по положению дифракционного максимума вблизи отражения (004). На образцах с более тонким слоем $Al_xGa_{1-x}As$ и короткопериодной сверхрешеткой AlAs/GaAs состав $Al_xGa_{1-x}As$ калибровался также исходя из периода толщинных осцилляций, наблюдаемых на кривой дифракционного отражения (004).

Исследована зависимость получаемого соотношения токов кластерных ионов от параметров анализа. Установлены параметры, наиболее важные для обеспечения воспроизводимости результатов. Результаты, полученные методом ВИМС, сопоставляются с результатами, полученными другими методами измерения.

Продемонстрированный в работе методический прием с нивелированием матричного эффекта позволяет перейти к количественному анализу слоев $Al_xGa_{1-x}As$ и обеспечить метрологию профиля состава.

Работа выполнена в рамках госконтракта от № 16.648.12.3005 по заказу Минобрнауки, с использованием оборудования ЦКП НИЯУ МИФИ.

Литература

1. Yu. Kudriavtsev, S. Gallardo, O. *et. al.* Surf. Interface Anal. **43(10)**, 1277 (2011).
2. WWW.EAGLABS.COM, Application note AN372, (2007).