

РАЗРАБОТКА Р-НЕМТ ГЕТЕРОСТРУКТУР С ТОНКИМ ПОДЗАТВОРНЫМ БАРЬЕРОМ ДЛЯ ПРИБОРОВ К_д И V ДИАПАЗОНОВ

И.С. ВАСИЛЬЕВСКИЙ¹, Г.Б. ГАЛИЕВ², Е.А. КЛИМОВ²,
Д.С. ПОНОМАРЕВ¹, Р.А. ХАБИБУЛЛИН¹

¹*Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”
115409, г. Москва, Каширское шоссе, дом 31, e-mail: khabibullin_r@mail.ru*

²*Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники РАН
117105, г. Москва, Нагорный проезд, дом 7*

В поиске новых базовых материалов для твердотельной СВЧ электроники на все более высокие частотные диапазоны наиболее быстрым и экономически выгодным путем является максимальная адаптация возможностей существующих материалов и технологий с хорошо разработанным процессингом. Такой устоявшейся технологией сейчас является Р-НЕМТ гетероструктурная технология. При переходе от традиционных диапазонов ее использования (от Х- до Ка-, т.е. до ~ 37 ГГц), к более высоким частотам, используют уменьшение длины затвора и скейлинг топологии транзистора. При продуманном скейлинге необходимо также изменение конструкции и самой гетероструктуры: уменьшение толщины подзатворного широкозонного барьера и ширины КЯ. Это приводит к концентрации электрического поля затвора и увеличению частоты работы прибора. Недостатком такого скейлинга является сильное увеличение встроенного электрического поля, что приводит к обеднению квантовой ямы. При таком подходе необходимо решить две проблемы – получение достаточной концентрации электронов в КЯ и уменьшение тока утечки затвора. Вторая проблема может быть решена при использовании барьера с увеличенной высотой за счет увеличения мольной доли Al до 0,3–0,35 или с использованием тонких подзатворных окислов в транзисторах типа MOSHEMT [1]. Для решения первой проблемы в данной работе проведено моделирование зонной структуры, выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии образцы и исследованы подвижности и концентрации электронов в гетероструктурах с различной толщиной широкозонного барьера L_b . Строение слоев изученных структур приведено на рис. 1.

Самосогласованный расчет зонной структуры позволил определить корректировку легирования для получения необходимой концентрации электронов в Р-НЕМТ структуре в зависимости от L_b (рис. 2). На основе проведенного моделирования методом МЛЭ были изготовлены гетероструктуры с различной толщиной широкозонного барьера AlGaAs L_b и концентрацией кремния.

В серии образцов L_b изменялась от 27 нм вплоть до 10 нм. Измеренная холловская концентрация электронов во всех образцах серии оказалась в

диапазоне $1,5 \div 2,0 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Несмотря на значительное увеличение концентрации доноров кремния, в структурах с малым L_b получена высокая подвижность электронов, что связано с увеличением энергии доноров в сильном встроенном поле. Подвижность электронов μ_e проявляет немонотонную зависимость от L_b при ее уменьшении: вначале наблюдается возрастание μ_e , максимальное значение получено при $L_b \sim 16 \text{ нм}$, $\mu_e = 7800 \text{ см}^2/\text{В с}$ (300 К) и $\mu_e = 28500 \text{ см}^2/\text{В с}$ (77 К), а затем уменьшение μ_e . При $L_b = 10 \text{ нм}$ получено $\mu_e = 5400 \text{ см}^2/\text{В с}$ (300 К) и $\mu_e = 20300 \text{ см}^2/\text{В с}$ (77 К) при концентрации электронов $2 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Значения μ_e являются весьма высокими для Р-НЕМТ гетероструктур, и получены за счет продуманной технологии роста и конструкции спейсерного и барьерного слоев, включая увеличение мольной доли AlAs и выбора температуры роста слоев [2].

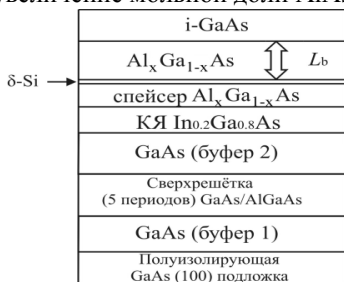


Рис. 1. Слоевая схема прототипа Р-НЕМТ гетероструктуры с односторонним легированием. L_b – толщина широкозонного подзатворного барьера AlGaAs

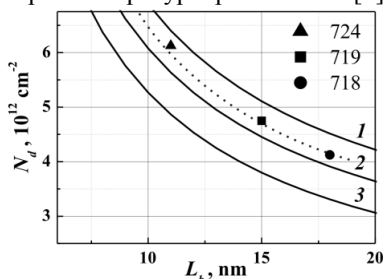


Рис. 2. Расчетные изолинии концентрации электронов в КЯ в зависимости от толщины барьера L_b и концентрации доноров N_d

Спад подвижности при очень малых L_b объясняется возрастанием рассеяния на донорах кремния. Моделирование крутизны транзистора на основе данной гетероструктуры показывает увеличение в ~ 2 раза при уменьшении L_b от 30 нм до 10 нм.

Таким образом, в работе успешно апробированы технология получения и конструкция Р-НЕМТ гетероструктуры с необходимой концентрацией электронов $n_s \sim 1.5 \div 2.0 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ и высокой подвижностью электронов с тонким барьерным слоем, которые могут успешно использоваться как базовый материал для СВЧ транзисторов и схем Ка и В диапазонов.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках проекта 2010-218-02-136.

Литература

1. Р.Уе. www.compoundsemiconductor.net, Apr 01, (2008).
2. Г.Б. Галиев, И.С. Васильевский и др. ФТП, 40, вып. 12, стр. 1479–1483 (2006).