

**ТЕХНОЛОГИЯ РНЕМТ ГЕТЕРОСТРУКТУР $\text{AlGaAs/InGaAs/GaAs}$
С ВАРИЗОННЫМИ КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ**

А.Н. Виниченко, И.С. Васильевский, М.М. Грехов, Н.И. Каргин, М.Н. Стриханов

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, г. Москва, Каширское шоссе, дом 31, e-mail: vanaxel@gmail.com

Дизайн гетероструктур A_3B_5 имеет достаточно много степеней свободы. Не только толщина и состав слоев, способ легирования, но и изменение профиля состава может обеспечить изменение зонной структуры и условий рассеяния носителей тока, улучшить параметры транзисторов. Использование варизонных слоев в РНЕМТ $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ структурах еще не освоено. Известно, что в транзисторных гетероструктурах сильное легирование и большая концентрация электронов в КЯ приводят к возникновению заметной асимметрии дна КЯ. Это отрицательно сказывается на подвижности двумерных электронов, так как, во-первых, эффективная ширина КЯ снижается, вследствие чего энергетический зазор между подзонами уменьшается, во-вторых, центроид двумерных электронов располагается ближе к ионизированным донорам. Варизонные слои $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ с неоднородным профилем состава $y(z)$ обеспечивают дополнительный вклад в энергетические профили зон $\Delta E_g(z)$ и $\Delta E_c(z)$, что может компенсировать электростатический вклад в формирование зонной диаграммы структур. Кроме того, неоднородное распределение InAs в РНЕМТ может расширить ограничения на псевдоморфный рост канала, а также снизить ударную ионизацию, по сравнению с однородной КЯ с высоким содержанием InAs . Цель работы состояла в реализации технологии варизонных РНЕМТ гетероструктур.

Расчеты зонной структуры показали, что в односторонне-легированных 1δ -РНЕМТ гетероструктурах линейный профиль $y(z)$ позволяет скомпенсировать наклон дна КЯ, составляющий \sim мэВ для концентрации $\sim 1,5 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ в линейном приближении. В двусторонне-легированных 2δ -РНЕМТ с концентрацией электронов $\sim 2 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$ имеется как небольшой линейный наклон дна КЯ, так и параболический изгиб дна КЯ, поэтому компенсация более сложная. В первом приближении для компенсации выбран треугольный профиль $y(z)$.

Образцы выращены методом МЛЭ в НОЦ "Нанотехнологии" НИЯУ МИФИ; был проделан скейлинг скорости роста при сохранении состава и толщины слоев, поскольку малая толщина слоя $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ (10 нм) не позволяла реализовать быстрое изменение состава в течение времени

роста при стандартных режимах ($V_{\text{InyGa}1-\text{yAs}} = 17$ нм/мин). Варизонный профиль $y(z)$ реализован за счет изменения давления потока In в процессе роста, по заранее откалиброванной зависимости источника потока $P_{\text{In}}(T_{\text{In}})$. Перепад температуры In источника составил 23°C для обеспечения изменения содержания InAs от $y=15\%$ до $y=25\%$ в односторонне легированных РНЕМТ при скорости роста $V_{\text{InyGa}1-\text{yAs}} \sim 7$ нм/мин. Опорные образцы с однородной по составу КЯ были выращены при прочих равных условиях. Результаты измерений подвижности и концентрации электронов в образцах приведены в Таблице 1.

Таблица 1.

Электрофизические параметры образцов.

№	тип	y(z) нач.-сред.- кон.	$\mu_e, \text{cm}^2 \cdot (\text{V} \cdot \text{c})^{-1}$		$n_s, 10^{12} \text{cm}^{-2}$	
			300 К	77 К	300 К	77 К
67	однор. 1δ	20%	6340	22410	1.51	1.49
68	вариз. 1δ	15-20-25%	6190	18050	1.59	1.60
74	однор. 2δ	20%	5320	12050	2.30	2.27
75	вариз. 2δ	20-22-18%	5890	15200	2.40	2.36

Предварительный анализ показал, что при скейлинге скорости роста несколько уменьшились толщины всей структуры, толщина КЯ оказалась ~ 8 нм. Однако, это не привело к ухудшению электрофизических параметров образцов по сравнению со стандартными РНЕМТ гетероструктурами. Влияние варизонной КЯ в исследованных образцах неоднозначно. Видно, что в односторонних 1δ РНЕМТ подвижность уменьшилась при практически неизменной концентрации электронов. В двусторонне-легированных 2δ РНЕМТ подвижность электронов заметно увеличилась. Отличие в таком поведении, вероятно, обусловлено степенью асимметрии КЯ в опорных структурах. В 1δ РНЕМТ она выше, и компенсация наклона дна КЯ приводит к возрастанию эффективной ширины КЯ, вместе с тем растет и межподзонное рассеяние. В однородных КЯ 2δ РНЕМТ профиль КЯ исходно более симметричный. Предполагается, что при увеличении ширины КЯ и толщины спейсера эффект варизонного профиля КЯ будет еще заметнее.

При дальнейшей оптимизацией структуры, по данной технологии будут созданы транзисторы и проанализировано влияние варизонной конструкции КЯ в гетероструктуре на крутизну, пробивное напряжение, граничную частоту усиления по току и коэффициент шума.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НИЯУ МИФИ.