

**ДРЕЙФОВАЯ СКОРОСТЬ НАСЫЩЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНАЯ МАССА  
ЭЛЕКТРОНОВ В НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРАХ С СОСТАВНОЙ  
КВАНТОВОЙ ЯМОЙ  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/\text{InAs}/\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/\text{InAs}$**

*Д.С. Пономарев<sup>1</sup>, И.С. Васильевский<sup>1</sup>, Г.Б. Галиев<sup>2</sup>, Е.А. Климов<sup>2</sup>,  
В.А. Кульбачинский<sup>3</sup>, А.Л. Васильев<sup>4,5</sup>, И.А. Субботин<sup>4,5</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”,  
115409, г. Москва, Каширское шоссе, дом 31, e-mail: [ponomarev\\_dmitri@mail.ru](mailto:ponomarev_dmitri@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники РАН,  
117105, г. Москва, Нагорный проезд, дом 7

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
119991 ГСП-1, Ленинские горы

<sup>4</sup>Р.Н.Ц. "Курчатовский институт"

123182, г. Москва, пл. Курчатова, дом 1

<sup>5</sup>Институт кристаллографии РАН

119333, г. Москва, Ленинский пр-т, дом 59

Одним из преимуществ использования гетеросистем  $\text{InAlAs}/\text{InGaAs}/\text{InAlAs}/\text{InP}$  является возможность получения более высокой дрейфовой скорости  $V_{dr}$  насыщения электронов в квантовой яме (КЯ)  $\text{InGaAs}$  по сравнению с другими арсенидными гетеросистемами. В сильных электростатических полях  $E \sim 10^5$  В/см, энергия электронов становится сравнимой с энергией полярных оптических фононов, что приводит к дополнительной фононной эмиссии и возрастанию темпа рассеяния “горячих” электронов. В результате такого процесса “горячие” электроны теряют часть своей энергии, вследствие чего средняя дрейфовая скорость выходит на насыщение и определяется согласно формуле:  $V_{dr,нас} = \sqrt{\frac{2E_{opf}}{m^*}}$ , где  $E_{opf}$  – энергия оптического фонона, а  $m^*$  – эффективная масса носителей в КЯ. Поэтому, при разработке конструкции гетероструктуры необходимо создавать дизайн активного слоя с малой эффективной массой двумерных носителей.

В работе [1] нами был впервые предложен подход к уменьшению эффективной массы электронов  $m_e^*$  в КЯ различного состава за счет введения 2-х нанослоев  $\text{InAs}$  в КЯ  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$  (см. рис. 1, б). Было показано, что дизайн гетероструктуры нужно подбирать исходя из двух условий. Первое – необходимо увеличивать среднее содержание  $\text{InAs}$  в КЯ, а второе – избегать релаксации возникающего напряжения в слое  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$ . В этом случае волновые функции электронов не являются локализованными в области одной из вставок, в отличие от случая одиночного слоя  $\text{InAs}$ , а по причине достаточно большого расстояния между вставками, распространяются на область, сравнимую с полной шириной составной КЯ (СКЯ).

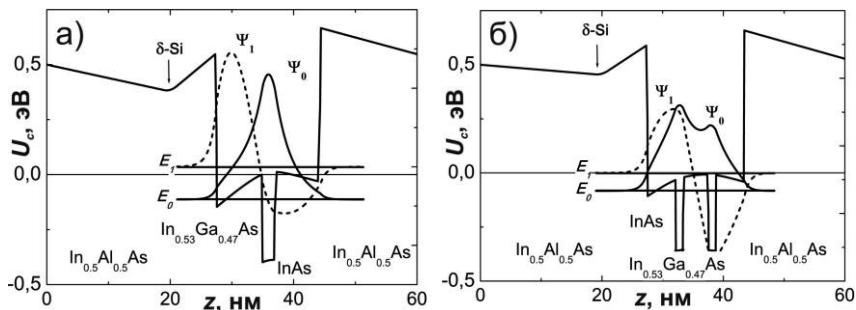


Рис. 1. Зона проводимости  $U_c$  и профили ВФ электронов  $\Psi_i$  в СКЯ, содержащей одну (а) и две нановставки InAs (б) с односторонним  $\delta$ -легированием кремнием. Нуль энергии отчитывается от уровня Ферми

Экспериментальные значения  $m_e^*$  были определены из эффекта Шубникова-де Гааза при двух температурах 4,2 и 8,4 К (см. рис. 2). Амплитуда осцилляций магнетосопротивления возрастает при понижении температуры, что дает возможность определить циклотронную массу на экстремальных сечениях поверхности Ферми. При учете непараболичности энергетического спектра электронов получено хорошее соответствие экспериментальных величин  $m_e^*$  и расчетных данных [2]. Показано, что использование СКЯ, состоящей только из двух симметрично расположенных нановставок InAs толщиной 1,2 нм, приводит к заметному уменьшению эффективной массы электронов на 26%, при этом сохраняя концентрацию электронов достаточно большой. При этом увеличение числа нановставок InAs не приводит к желаемому уменьшению  $m_e^*$ , так как в этом случае распределение ВФ электронов имеет вид, почти идентичный ВФ в одиночной яме.

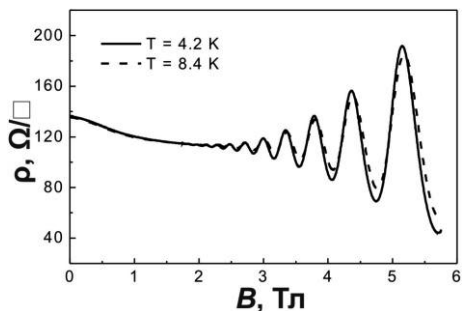


Рис. 2. Осцилляции ШдГ при  $T=4,2$  и  $8,4$  К

#### Литература

1. Д.С. Пономарев, И.С. Васильевский и др., ФТП, **46** (4), 500 (2012).
2. D.S. Ponomarev, I. S. Vasil'evskii et al., Semicond. Sci. Technol., **27** (3), 035021 (2012).