Квантовый магнетотранспорт НЕМТ/InP гетероструктур с наноразмерной вставкой InAs в КЯ InGaAs/InAlAs

Виниченко А.Н., Васильевский И.С., Сафонов Д.А., Павленко И.А., Каргин Н.И.

НИЯУ “МИФИ”, 115409, Москва, Каширское шоссе, 31

DOI 10.34077/Semicond2019-157

Гетеросистема $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{In}_{0,52}\text{Al}_{0,48}\text{As}$ на подложках InP позволяет получить глубокую квантовую яму (КЯ) $>0,5$ эВ, однако, увеличение содержания InAs в однородном слое $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$, влечет структурные ограничения на его толщину. Такие структуры интересны для исследований спиновых эффектов и используются на практике для изготовления СВЧ малощумящих транзисторов и интегральных схем.

В составных КЯ (СКЯ), за счет наноразмерных вставок узкозонного InAs, увеличивается как электронная подвижность: $\mu \sim (1 \div 1,3) \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, так и концентрация квазидвумерного электронного газа (ДЭГ): $n \sim (2 \div 4) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$. Однако, из-за значительной относительной деформации слоев такая гетеросистема является релаксационно-нестабильной и при толщинах InAs близких к критическим ее свойства зависят от условий формирования.

На изготовленных в НИЯУ МИФИ НЕМТ/InP СКЯ $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}/\text{InAs}/\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$ с нановставкой InAs толщиной 4 нм были проведены исследования эффектов Холла в диапазоне температур $77 \div 300$ К и Шубникова-де Гааза (ШДГ) при $T=2,1 \div 8,4$ К (табл. 1), рассчитаны транспортные времена релаксации импульса и эффективные массы m_e^* при различном магнитном поле. Благодаря высокой концентрации электронов, в диапазоне магнитного поля до 6 Тл наблюдалось $10 \div 15$ осцилляций, что позволило определить квантовые времена релаксации импульса методом Дингла.

Табл.1. Магнетотранспортные свойства $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{In}_{0,52}\text{Al}_{0,48}\text{As}/\text{InP}$ гетероструктур.								
№	$T_{\text{роста}}$ вставки °C	$\mu(300\text{K})$, $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	$\mu(4,2\text{K})$, $\text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	n_{H} , $\cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$	n_{SDH} , $\cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$	τ_b , $\cdot 10^{-13} \text{ с}$	τ_q , $\cdot 10^{-14} \text{ с}$	m_e^*/m_e
364	400	13400	40400	3,51	3,21	14,5	3,91	0,0630
362	420	11700	40100	3,22	3,25	14,6	3,78	0,0634
353	440	11000	36800	3,65	3,68	13,1	4,99	0,0624
360	425	10300	23800	2,65	2,69	8,19	3,12	0,0604
365	420	9700	30300	3,46	3,57	10,2	3,63	0,0592
359	440	9200	19500	2,69	2,78	6,24	2,73	0,0563

Отношение τ_t / τ_q для всех образцов составляет порядка десяти, что свидетельствует о преобладании малоуглового рассеяния электронов, характерного для рассеяния на удаленных донорах. Оценена непараболичность энергетического спектра в СКЯ структурах при условии заполнения только нижней подзоны размерного квантования. Увеличение температуры формирования СКЯ выше 400°C при росте слоя InAs приводит к одновременному снижению как концентрации, так и подвижности электронов, и снижению отношения τ_t / τ_q что указывает на увеличение рассеяния электронов на дефектах структуры.

Во всех образцах наблюдался квантовый эффект Холла, однако, ширина плато на зависимости $R_{xy}(1/B)$ коррелировала с τ_q .

В образце №364 достигнуты рекордные значения электронной подвижности при комнатной температуре для решеточно-согласованных $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}/\text{In}_{0,52}\text{Al}_{0,48}\text{As}/\text{InP}$ гетероструктур: $\mu = 13400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, при слоевой концентрации электронов: $n = 3,51 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$.