

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВУХКАНАЛЬНОГО ГЕТЕРОТРАНЗИСТОРА С ПРЯМОУГОЛЬНЫМИ КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ И КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ

Тимофеев В. И., Фалеева Е. М.
 Национальный технический университет Украины «КПИ»
 пр. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина
 e-mail: v.timofeev@kpi.ua, elena.faleeva@gmail.com

Аннотация — Приведены результаты моделирования двухканальных четырехбарьерных гетеротранзисторов с квантовыми точками (КТ). Ширина каналов составляла 10 нм. В результате были получены распределения энергии, дрейфовой скорости и концентрации носителей заряда, что показало рост дрейфовой скорости в каналах транзистора с КТ по сравнению со структурой без КТ в 2 раза. Это обусловлено «охлаждением» электронного газа и разделением фононного спектра при встраивании КТ между каналами транзистора.

I. Введение

В предыдущей работе авторов приводились исследования двухканальных гетеротранзисторов с квантовыми точками [1]. Профиль потенциальной ямы с двумерным электронным газом в рассматриваемом случае был треугольный, сформированный на границе перехода AlGaAs/GaAs. Возможности технологии на сегодняшний день уже позволяют выращивать так называемые слоистые структуры, размеры системы потенциальных барьеров и ям в которых определяются толщинами слоев.

II. Результаты моделирования

При моделировании характеристик двухканального транзистора с КТ рассматривалась топология AlGaAs/GaAs/AlGaAs/GaAs/AlGaAs, упрощенный вид которой представлен на рис. 1.

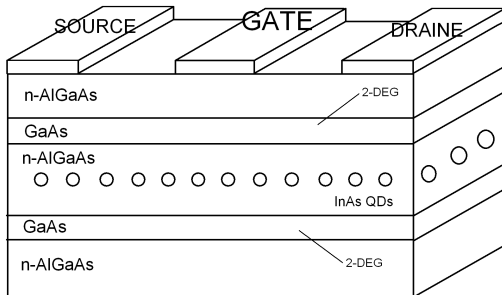


Рис. 1. Схематическое изображение топологии активной области двухканального гетеротранзистора с КТ.

Fig. 1. Topology of a double-channel heterotransistor with QD's

Толщина нелегированного слоя, и, следовательно, ширина квантовой ямы, составляла 10 нм, расстояние между ямами составляло 20 нм.

Квантовые точки встраивались между каналами, и, как показали результаты физико-топологического моделирования, это привело к росту скорости носителей в обоих каналах.

При моделировании решалась система релаксационных уравнений, дополненная уравнением Пуассона, Шредингера, уравнением для концентрации в подзонах квантовой ямы. КТ рассматривались как трехмерная симметричная квантовая яма с конечными высотами стенок.

Как было описано в предыдущих работах [2, 3], на продольный транспорт носителей в сильных электрических полях квантовые точки влияют как с точки зрения дополнительных источников «холодных» электронов, так и приводят к разделению полярных оптических фононов, если расстояние между квантовой точкой и гетеропереходом меньше когерентной волны оптического фонона:

$$L_{\text{опт}} = \frac{3\pi\hbar k_{\text{Б}}}{m^* \omega}.$$

Более подробно двумерная физико-топологическая модель гетеротранзистора с КТ приведена в работах [2, 4, 5].

III. Интерпретация результатов моделирования

При моделировании получено ряд характеристик, наиболее интересные из них приведены на рис. 2-4. На рис. 2 показана потенциальная энергетическая поверхность для двухканального гетеротранзистора с КТ. В соответствии с этим распределением были получены распределения дрейфовой скорости носителей для гетеротранзисторов без/с квантовыми точками (рис. 3). Из полученных результатов видно, что скорость в каналах возросла примерно в 2 раза при встраивании КТ. Это связано как с влиянием дополнительного потенциала КТ, когда, при захвате носителей и последующем их выбросе происходит «охлаждение» электронного газа, так и с разделением фононного спектра, что приводит к дополнительной возможности электронов разогнаться до более высоких скоростей. Причем, концентрация носителей для обоих случаев оставалась практически неизменной (рис. 4).

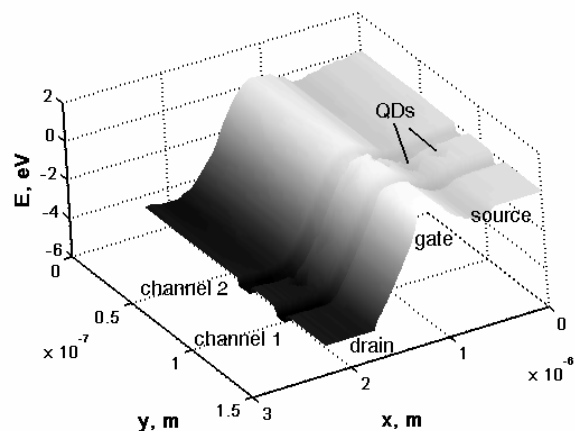
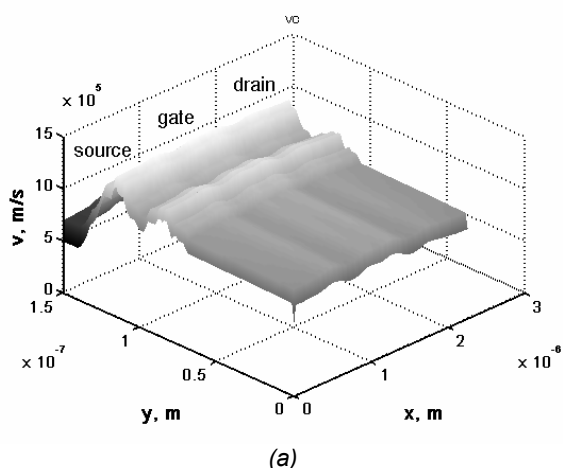
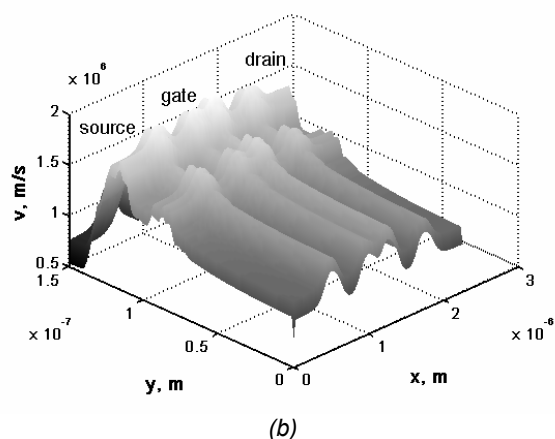


Рис. 2. Потенциальная энергетическая поверхность двухканального гетеротранзистора с КТ.

Fig. 2. Potential energy surface of the double-channel heterotransistor with QD's



(a)



(b)

Рис. 3. Распределение скорости носителей в двухканальном гетеротранзисторе без КТ (а) и в двухканальном гетеротранзисторе (b) с КТ.

Fig. 3. Velocity distribution of carriers in the double-channel heterotransistor without QD (a) and in the double-channel heterotransistor (b) with QDs

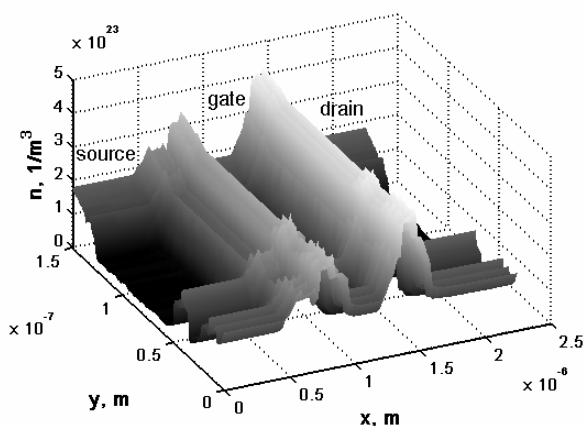


Рис. 4. Распределение концентрации носителей в двухканальном гетеротранзисторе с КТ.

Fig. 4. Concentration distribution of carriers in the double-channel heterotransistor with QD's

IV. Заключение

Показано, что применение в двухканальных гетеротранзисторах с четырьмя гетеропереходами квантовых точек приводит к росту дрейфовой скорости

носителей в каналах. Следует отметить, что рассматриваемый случай является численным экспериментом, цель которого продемонстрировать возможность увеличения скоростных характеристик транзисторной структуры, а также созданного аппарата для физико-топологического моделирования.

V. Список литературы

- [1] Тимофеев В. И., Фалеева Е. М. Моделирование двухканального гетеротранзистора с квантовыми точками // 20-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо'2010): материалы конф. (Севастополь, 13—17 сент. 2010 г.). Севастополь: Вебер, 2010. С. 846—847.
- [2] Timofeyev V. I., Faleyeva E. M. Model of Heterotransistor with Quantum Dots // Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics. 2010. Vol. 13. № 2. P. 186—188.
- [3] Тимофеев В. И., Фалеева Е. М. Моделирование транзистора со встроенными квантовыми точками // 16-я Междунар. Крымская конф. «СВЧ техника и телекоммуникационные технологии»: материалы конф. (Севастополь, 11—14 сент. 2006 г.). Севастополь: Вебер, 2006. С. 222—224.
- [4] Тимофеев В. И., Фалеева Е. М. Методы численного решения систем релаксационных уравнений для анализа субмикронных гетероструктур // Электроника и связь. 2008. №6. С. 5—9.
- [5] Timofeyev V. I., Faleyeva E. M. The Relaxation Processes Analysis in the Submicron Heterojunction Transistor with Quantum Dots // ISSE 2009 32nd International Spring Seminar on Electronics Technology. (Brno, Czech Republic, May 13—17, 2009). P. 262—263.

SIMULATING OF DOUBLE-CHANNEL HETEROTRANSISTOR WITH RECTANGULAR QUANTUM WELLS AND QUANTUM DOTS

Timofeyev V. I., Faleyeva E. M.

National Technical University of Ukraine "KPI"
37, Peremogy Ave, Kyiv, 03056, Ukraine

e-mail: v.timofeev@kpi.ua, elena.faleyeva@gmail.com

Abstract — Simulation results of two-channel four-barrier heterotransistors (HEMT) with quantum dots (QD) are shown. As a result, distributions of velocity, concentration and potential energy surface were obtained.

I. Introduction

Abilities of technology today allow growing multilayer structures, which potential barriers and wells sizes are defined by the thickness of the layers.

II, III. Main Part

Quantum dots are inserted between the channels; as shown in results of physical-topological simulation, this has led to velocity increase in both channels.

The quantum dots influence the longitudinal transport of the carriers in high electric fields by two mechanisms. The first is the injection of "cold" electrons, and the second – the separation of polar optical phonons, if the distance between the quantum dots and the heterojunction is less than coherent optical phonon wavelength. From these results it is clear that the velocity in the channels has 2 times increase due to the quantum dots embedding. Moreover, the carrier concentration for both cases remained practically invariable.

IV. Conclusion

It should be noted that this case is the numerical experiment, which aim is to demonstrate the possibility of increasing the speed characteristics of transistor structures, as well as to create the tools for the physical-topological simulation.