

Эффекты, связанные с влиянием межминизонного туннелирования на сложные процессы в полупроводниковой сверхрешетке

А. Г. Баланов^{2,3}, А. А. Короновский^{1,2}, О. И. Москаленко^{1,2}, А. О. Сельский^{1,2,*}, А. Е. Храмов^{1,2}

¹*Саратовский государственный технический университет имени Ю. А. Гагарина, факультет экологии и сервиса, кафедра геоэкологии и инженерной геологии
Россия, 410054, Саратов, ул. Политехническая, 77*

²*Саратовский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, факультет нелинейных процессов, кафедра физики открытых систем
Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, 83*

³*Loughborough University, Department of Physics. Loughborough LE11 3TU*

Полупроводниковые сверхрешетки — сложные наноструктуры, которые возможно использовать для генерации и управления высокочастотными колебаниями. Важной проблемой является влияние межзонного туннелирования на сложные процессы, происходящие в полупроводниковых сверхрешетках. Известно, что приложенное к сверхрешетке напряжение приводит к образованию электронных доменов, движущихся вдоль структуры. В настоящей работе изучены спектры колебаний тока, возникающие при прохождении доменов через полупроводниковую сверхрешетку.

PACS: 73.21.Cd, 72.20.Ht.

УДК: 530.182:621.385.6.

Ключевые слова: нелинейная динамика, нано-гетероструктуры, межзонное туннелирование.

Полупроводниковые сверхрешетки — сложные наноструктуры, состоящие из нескольких чередующихся тонких (~10 нм) слоев различных полупроводниковых материалов, которые возможно использовать для генерации и управления высокочастотными колебаниями. Как правило, при численном моделировании и изготовлении сверхрешеток, расстояние между минизонами задается достаточно большим, чтобы можно было пренебречь межминизонным туннелированием Ландау–Зинера [1, 2]. Однако важной проблемой, является влияние межзонного туннелирования на сложные процессы, происходящие в полупроводниковых сверхрешетках. Известно, что приложенное к сверхрешетке напряжение приводит к образованию электронных доменов, движущихся вдоль структуры. В настоящей работе изучены спектры колебаний тока, возникающие при прохождении доменов через полупроводниковую сверхрешетку.

Моделирование процессов в полупроводниковой сверхрешетке осуществлялось с помощью системы уравнений, включающей в себя уравнение непрерывности, уравнение Пуассона и выражение для плотности тока с учетом дрейфовой скорости электрона [1]. В случае отсутствия наклонного магнитного поля зависимость дрейфовой скорости от напряженности электрического поля при низких температурах может быть вычислена аналитически с помощью формулы Эсаки и Тсу [3]. В присутствии наклонного магнитного поля зависимости дрейфовой скорости от напряженности электрического поля рассчитывались численно, используя полуклассическую теорию, детально описанную в [1, 4]. Для расчета дрейфовых скоростей с уче-

том возможности туннелирования применялся подход, описанный в [5].

Результаты компьютерного моделирования представлены на рисунках 1 (в отсутствие наклонного магнитного поля) и 2 (когда приложено наклонное магнитное поле с параметрами $B=15$ Тл, $\theta=40^\circ$). На рисунках заметно сильное влияние значения ширины запрещенной зоны между первой и второй минизонами на спектры колебаний тока, протекающего через полупроводниковую сверхрешетку. В отсутствие наклонного магнитного при выбранном значении напряжения, отвечающего развитой генерации колебаний тока, видно, что с уменьшением ширины запрещенной зоны до значений менее 150 мэВ, вид спектра существенно изменяется. Увеличиваются пики, соответствующие более высоким значениям частоты. Сама частота увеличивается с уменьшением ширины запрещенной зоны. В присутствии наклонного магнитного поля изменения значения ширины запрещенной зоны приводят к менее заметным изменениям в спектре. Однако, при малых значениях, порядка 133 мэВ, мощность также может возрасть.

Приведенные в работе эффекты интересны для дальнейшего изучения влияния межзонного туннелирования на сложные процессы в полупроводниковых сверхрешетках.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-02-33071), Совета по грантам Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — докторов наук (МД-345.2013.2), программой поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-828.2014.2), Министерства образования и науки РФ в рамках Государственного

*E-mail: feanorberserk@gmail.com

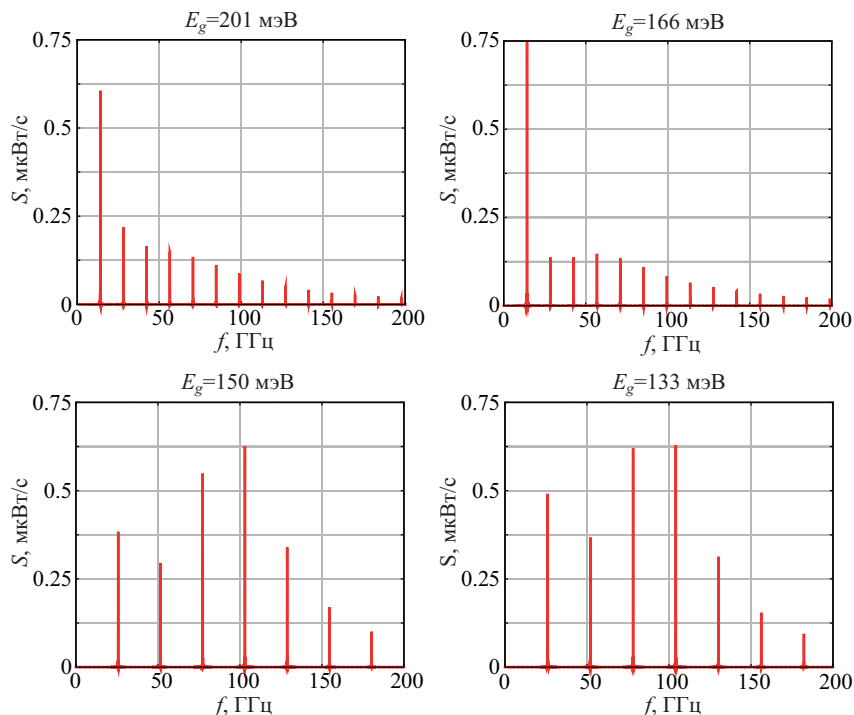


Рис. 1: Спектры колебаний тока для различных значений ширины запрещенной зоны. Наклонное магнитное поле отсутствует, напряжение, $V=0,6$ В

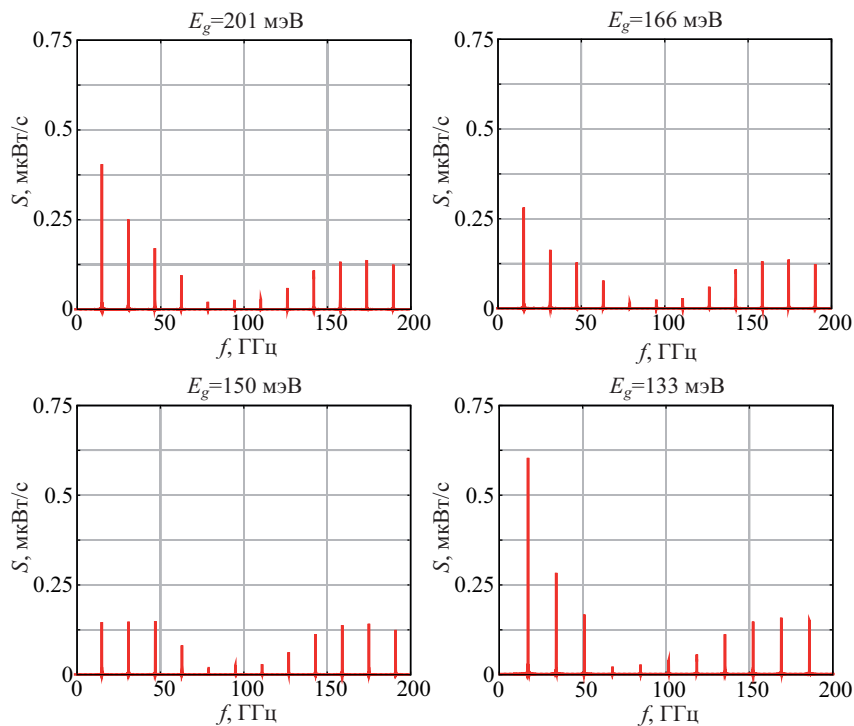


Рис. 2: Спектры колебаний тока для различных значений ширины запрещенной зоны. Наклонное магнитное поле $B=15$ Тл, $\theta=40^\circ$, напряжение $V=0,7$ В

задания высшим учебным заведениям на 2014 г. и плановый период 2015 и 2016 гг. в части проведения

научно-исследовательских работ (СГТУ-146), а также фонда некоммерческих программ «Династия».

- [1] *Greenaway M. T. et al.* Phys. Rev. B. **80**. P. 205318. (2009). [4] *Selskii A. O. et al.* Phys. Rev. B. **84**. P. 235311. (2011).
[2] *Alexeeva N. et al.* Phys. Rev. Lett. **109**. P. 024102. (2012). [5] *Hardwick D. P. A. et al.* Physica E. **32**. P. 1. (2006).
[3] *Esaki L., Tsu R.* IBM J. Res. Develop. **14**. P. 61. (1970).

The effects of interminiband tunneling on complex processes in the semiconductor superlattice

A. G. Balanov^{2,3}, A. A. Koronovskii^{1,2}, O. I. Moskalenko^{1,2}, A. O. Selskii^{1,2}, A. E. Hramov^{1,2}

¹*Department of geoecology and geological engineering, Faculty of Ecology and Service, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov. Saratov 410054, Russia*

²*Department of Open Systems Physics, Faculty of Nonlinear Processes, Saratov State University. Saratov 410012, Russia*

³*Loughborough University, Department of Physics Loughborough LE11 3TU*

E-mail: feanorberserk@gmail.com

Semiconductor superlattices is a compound nanostructures which are possible for using for generation and control of a high-frequency oscillations. This is important problem — the effects of the interband tunneling on the complex processes in the semiconductor superlattices. It is known that applied voltage to a superlattice reduce to formation of the electronic domains moving along the structure. In this work the oscillations of the current spectrum, coupled with domains transport through a semiconductor superlattice, are studied.

PACS: 73.21.Cd, 72.20.Ht.

Keywords: nonlinear dynamics, nano-heterostructures, interband tunneling.

Сведения об авторах

1. Баланов Александр Геннадьевич — канд. физ.-мат. наук, Lecturer in Physics; тел.: +44 (0) 1509 22 7112, e-mail: a.balanov@lboro.ac.uk.
2. Короновский Алексей Александрович — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел.: 8(452) 51 45 40, e-mail: alexey.koronovskii@gmail.com.
3. Москаленко Ольга Игоревна — канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент; тел.: 8(452) 51 45 40, e-mail: o.i.moskalenko@gmail.com.
4. Сельский Антон Олегович — аспирант; тел.: 8(452) 51 45 40, e-mail: feanorberserk@gmail.com.
5. Храмов Александр Евгеньевич — докт. физ.-мат. наук, профессор, профессор; тел.: 8(452) 51 45 40, e-mail: hramovae@gmail.com.