

Бифуркация удвоения периода в полупроводниковой сверхрешетке под действием наклонного магнитного поля и температуры

А. Г. Баланов², А. А. Короновский^{1,3}, О. И. Москаленко^{1,3}, А. О. Сельский^{1,3},* А. Е. Храмов^{1,3}

¹*Саратовский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского, Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, д. 82*

²*Loughborough University, Department of Physics, Loughborough LE11 3TU*

³*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Россия, 410012, Саратов, ул. Астраханская, д. 82*

Полупроводниковые сверхрешетки — сложные наноструктуры, которые возможно использовать для генерации и управления высокочастотными колебаниями. В последнее время большое внимание исследователей привлекает нелинейная динамика электронных доменов в данных наноструктурах. В настоящей работе описано явление бифуркации удвоения периода в полупроводниковых сверхрешетках в присутствии наклонного магнитного поля при различных температурах.

PACS: 73.21.Cd, 72.20.Ht.

УДК: 530.182:621.385.6.

Ключевые слова: нелинейная динамика, нано-гетероструктуры, наклонное магнитное поле.

Полупроводниковые сверхрешетки — сложные наноструктуры, состоящие из нескольких чередующихся тонких (~ 10 нм) слоев различных полупроводниковых материалов, которые возможно использовать для генерации и управления высокочастотными колебаниями [1]. В последнее время большой интерес представляет исследование данных наноструктур с позиций нелинейной динамики [2]. В настоящей работе описано явление бифуркации удвоения периода в полупроводниковых сверхрешетках в присутствии наклонного магнитного поля. Исследование проводилось с помощью численного моделирования безразмерных уравнений [3]:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\beta \frac{\partial J}{\partial x},$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \nu(n - 1), \quad (1)$$

$$J = nv_d(\bar{F}) - D(F) \frac{\partial n}{\partial x},$$

где n , F , J — безразмерные концентрация электронов, напряженность электрического поля, плотность тока; $v_d(\bar{F})$ — дрейфовая скорость электрона при данной напряженности, зависящая от температуры [3]; $\beta = 0.031$, $\nu = 15.769$ — безразмерные параметры; $D(F)$ — коэффициент диффузии, зависящий от температуры, введен в соответствии с [3].

Используя данную модель, были рассчитаны реализации тока и фазовые портреты, восстановленные по временным реализациям с помощью метода задержек Такенса [4], для разных температур (рис. 1 и 2). Видно, что для низких температур с ростом приложенного к полупроводниковой сверхрешетке напряжения ха-

рактер колебаний существенно меняется. Если в начале колебания были похожи на гармонические, а на фазовом портрете можно было наблюдать предельный цикл, с ростом напряжения колебания становятся ближе к релаксационным. На фазовых портретах можно наблюдать бифуркацию удвоения периода.

В случае более высокой температуры ситуация несколько меняется (рис. 2). В данном случае сначала проявляется переход к релаксационным колебаниям, и только затем бифуркация удвоения периода. Из разницы между рисунками можно сделать вывод, что характер перехода между типами колебаний в полупроводниковой сверхрешетке зависит от температуры.

Таким образом, в полупроводниковых сверхрешетках в присутствии наклонного магнитного поля для выбранных температур реализуется одиночная бифуркация удвоения периода.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (задание 3.23.2014/К); фонда некоммерческих программ «Династия».

-
- [1] *Esaki L., Tsu R.* IBMJ. Res. Develop. **14**. P. 61. (1970).
 [2] *Wacker A.* Phys. Rep. **357**. P. 1. (2002).
 [3] *Selskii A. O. et al.* Phys. Rev. B. **84**. P. 235311. (2011).
 [4] *Takens F.* Detecting strange attractors in dynamical systems and turbulence, in: Lectures Notes in Mathematics. (N. Y.: Springer-Verlag, 1981).

*E-mail: feanorbersek@gmail.com

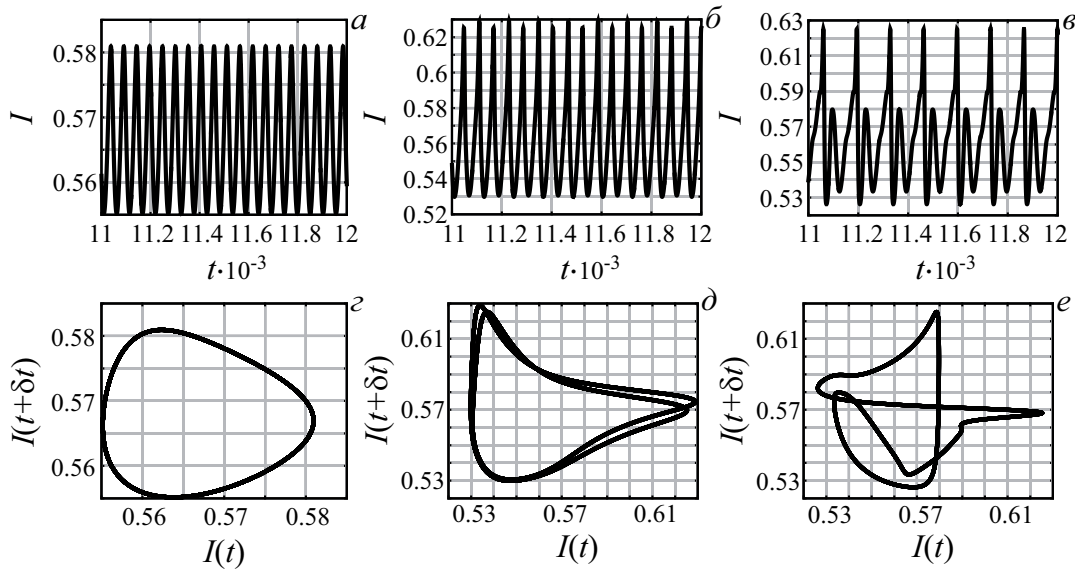


Рис. 1: $a-v$ — Реализации тока, протекающего через полупроводниковую сверхрешетку, для значений напряжения $V = 15.485$ (а), $V = 15.85$ (б), $V = 16.411$ (в). $z-e$ — Фазовые портреты, восстановленные по методу Такенса (время задержки составляет четверть периода колебаний), для значений напряжения $V = 15.485$ (z), $V = 15.85$ (d), $V = 16.411$ (e). Для температуры $T = 4.2$ К.

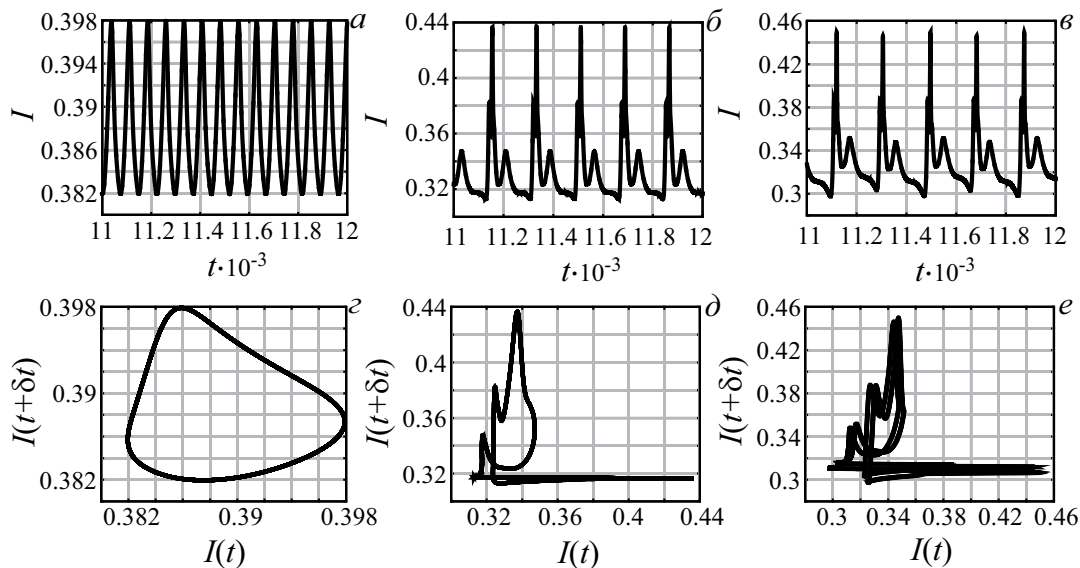


Рис. 2: $a-v$ — Реализации тока, протекающего через полупроводниковую сверхрешетку, для значений напряжения $V = 13.886$ (а), $V = 16.832$ (б), $V = 17.34$ (в). $z-e$ — Фазовые портреты, восстановленные по методу Такенса (время задержки составляет четверть периода колебаний), для значений напряжения $V = 13.886$ (z), $V = 16.832$ (d), $V = 17.34$ (e). Для температуры $T = 100$ К.

Period-doubling bifurcation in semiconductor superlattice under the influence of the titled magnetic field

A. G. Balanov², A. A. Koronovskii^{1,3}, O. I. Moskalenko^{1,3}, A. O. Selskii^{1,3,a}, A. E. Hramov^{1,3}

¹Department of Open Systems Physics, Faculty of Nonlinear Processes, Saratov State University, Saratov 410012, Russia

²Loughborough University, Department of Physics Loughborough LE11 3TU

³Department of geocology and geological engineering, Faculty of Ecology and Service, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov 410054, Russia

E-mail: ^afeanorberserk@gmail.com.

The semiconductor superlattice is the composite nanostructure used for the generation and the control of the high-frequency oscillations. At present time, attention of the researchers is attracted to the nonlinear dynamics of the electron domains at present nanostructures. In this paper the period-doubling bifurcation phenomena in the semiconductor superlattice under the influence of the titled magnetic field for different temperatures is described.

PACS: 73.21.Cd, 72.20.Ht.

Keywords: nonlinear dynamics, nano-heterostructures, tilted magnetic field.

Received 27.07.2015.

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 — канд. физ.-мат. наук, инженер; 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.