

Использование полупроводниковой сендвичной гетероструктуры для улучшения характеристик суб–ТГц генерации

В. А. Максименко^{1,*}, В. В. Макаров^{1,†}, А. А. Короновский^{2,†}, А. Е. Храмов^{1,†}, К. Н. Алексеев^{3,†}, А. Г. Баланов^{3,†}

¹Саратовский Государственный Технический Университет имени Гагарина Ю. А.,
НОЦ «Нелинейная динамика сложных систем»
Россия, 410054, Саратов, Политехническая, д. 77

²Саратовский Государственный Университет имени Н. Г. Чернышевского Россия, 410012, Саратов, Астраханская, д. 83

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

В настоящей работе предлагается использование полупроводниковой сендвичной гетероструктуры для улучшения характеристик доменной генерации. В результате численного исследования коллективной динамики заряда в данной структуре продемонстрирована возможность одновременного увеличения частоты и мощности токовых колебаний, вызванных режимом доменного транспорта, за счет синхронизации динамики доменов в разных участках исследуемого полупроводниковой образца.

PACS: 73.21.-b, 72.20.Ht.

УДК: 530.182:621.385.6

Ключевые слова: полупроводниковая сверхрешетка, минизонный транспорт, домен заряда.

Полупроводниковые гетероструктуры являются перспективными элементами для разработки современных систем генерации и усиления сигналов суб–ТГц и ТГц частотных диапазонов. Среди них особое место занимают полупроводниковые сверхрешетки — наноразмерные гетероструктуры, состоящие из чередующихся слоев полупроводников с различными свойствами, но близкими характеристиками кристаллической решетки. Интерес к данным системам, прежде всего, связан с возможностью наблюдения терагерцовых блоховских колебаний, вместе с тем, режим нестационарного транспорта заряда (режим движущихся доменов), который препятствует реализации блоховского излучения, также представляет интерес в контексте генерации суб–ТГц сигналов [1, 2].

В полупроводниковой сверхрешетке частота следования доменов ограничена максимальной дрейфовой скоростью электронов в энергетической минизоне. С учетом этого, наименьшее время прохождения домена и, как следствие, наибольшая частота ассоциирующихся с ним токовых колебаний может быть реализована в коротких образцах, удовлетворяющих NL-критерию [3]. В тоже самое время, мощность колебаний тока, обусловленных доменным транспортом, снимаемая с коротких сверхрешеток, оказывается малой и возникает необходимость использования систем, содержащих массивы полупроводниковых наноструктур [4]. Использование подобных систем также проблематично, что связано с возникновением паразитных низкочастотных резонаторов, обусловленных особенностями подключения сверхрешеток [5].

С учетом описанных выше особенностей возникает вопрос о разработке устройств, позволяющих достичь увеличение частоты и мощности колебаний, обуслов-

ленных доменным транспортом заряда в полупроводниковых сверхрешетках.

В настоящей работе предлагается использование полупроводниковой сендвичной гетероструктуры для улучшения характеристик доменной генерации. Подобные структуры были ранее исследованы как теоретически [6], так и экспериментально [4, 7] с точки зрения перспективных устройств для генерации Блоховского излучения. В тоже самое время, режим нестационарного транспорта заряда и ассоциирующиеся с ним токовые колебания ранее не рассматривались.

Результаты численного исследования транспорта заряда в данной структуре, проведенные в настоящей работе при помощи математической модели, описанной в [8], показали возможность одновременного увеличения частоты и мощности токовых колебаний, вызванных режимом доменного транспорта.

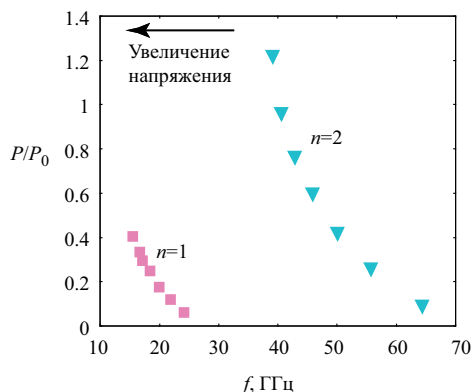


Рис. 1: Зависимости (частота-мощность), построенные для полупроводниковой сверхрешетки (квадраты) и полупроводниковой сендвичной гетероструктуры (треугольники) для одинакового диапазона значений приложенного напряжения

*E-mail: maximenkovl@gmail.com

†E-mail:

водниковой сверхрешетки (квадраты) и сендвичной структуры (треугольники), в одинаковом диапазоне значений приложенного напряжения.

Видно, что при увеличении приложенного напряжения в обоих случаях наблюдается уменьшение частоты колебаний и, вместе с тем, рост мощности. Данный эффект связан с увеличением амплитуды домена заряда, дрейфующего в транспортной области сверхрешетки, и сопутствующим уменьшением средней скорости минизонных электронов.

В тоже самое время, можно видеть, что колебания тока, снимаемые с сендвичной структуры, оказываются более мощными и высокочастотными. Полученный

результат объясняется тем, что коллективная динамика заряда в минизонных полупроводниках, содержащихся в сендвичной структуре, оказывается синхронизована внешним приложенным напряжением. В этом случае, домены заряда, распространяющиеся в различных областях, одновременно возникают и расформируются, что приводит к одновременной генерации импульсов тока, сложению колебательных мощностей, связанных с распространяющимися доменами и, как следствие, увеличению выходной мощности.

Работа поддержана РФФИ в рамках проектов 16-32-00272 и 15-32-20299. Максименко В. А. благодарит Фонд Династия за персональную поддержку.

-
- [1] *Greenaway T. M.* et al. Phys. Rev. B. **80**. P. 205318. (2009).
 [2] *Hyart T.* et al. Phys. Rev. Lett. **103**. P. 117401. (2010).
 [3] *Kroemer H.* IEEE transactions on electron devices. **ED15**, N 11. P. 819. (1968).
 [4] *Savvidis P. G.* et al. Phys. Rev. Lett. **92**. P. 196802. (2004).
 [5] *Hramov A. E.* Phys. Rev. Lett. **112**. P. 116603. (2014).
 [6] *Patane A.* et al. Applied Physics Letters. **81**. P. 661. (2002).
 [7] *Schmidt J. C.* et al. Superlattices and Microstructures. **52**. P. 1143. (2012).
 [8] *Maksimenko V. A.* et al. Europhysics Letters. **109**. P. 47007. (2015).

Use of the semiconductor sandwich heterostructure for the enhancement of the sub–THz generation properties

V. A. Maksimenko^{1,a}, V. V. Makarov¹, A. A. Koronovskii², A. E. Hramov¹, K. N. Alekseev³, A. G. Balanov³

¹REC «Nonlinear Dynamics of Complex Systems», Saratov State Technical University, Saratov, 410054, Russia

²Saratov State University, Saratov, 410012, Russia

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

E-mail: ^amaximenkovl@gmail.com

In this paper we propose the semiconductor sandwich heterostructure for the improving of the properties of domain generation. Within the numerical study of the collective dynamics of charge we demonstrate the possibility of a simultaneous increase in the frequency and power of the current oscillations, caused by the travelling domains, due to the synchronization of the domain dynamics in the different parts of the considered semiconductor sample.

PACS: 73.21.-b, 72.20.Ht.

Keywords: semiconductor superlattice, miniband transport, charge domain.

Сведения об авторах

1. Максименко Владимир Александрович — канд. физ.-мат. наук, мл. науч. сотрудник, e-mail: maximenkovl@gmail.com.
2. Макаров Владимир Владимирович — аспирант, мл. научный сотрудник, доцент; e-mail: vladmak404@gmail.com.
3. Короновский Алексей Александрович — доктор физ.-мат. наук, профессор, проректор по НИР, тел.: (452) 27-14-96, e-mail: koronovskyya@info.sgu.ru.
4. Храмов Александр Евгеньевич — доктор физ.-мат. наук, профессор, вед. науч. сотрудник; тел.: (452) 514294, e-mail: hramovae@gmail.com.
5. Алексеев Кирилл Николаевич — канд. физ.-мат. наук, лектор физического факультета университета Лафборо, тел.: +44(0)1509223311, e-mail: K.Alekseev2@lboro.ac.uk.
6. Баланов Александр Геннадьевич — канд. физ.-мат. наук, лектор физического факультета университета Лафборо, тел.: +44(0)1509227112, e-mail: A.Balanov@lboro.ac.uk.