

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭВОЛЮЦИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКЕ В ПРИСУТСТВИИ НАКЛОННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.Г. БАЛАНОВ<sup>1,2</sup>, А.А. КОРОНОВСКИЙ<sup>2,3</sup>, О.И. МОСКАЛЕНКО<sup>2,3</sup>,  
А.О. СЕЛЬСКИЙ<sup>2,3</sup>, А.Е. ХРАМОВ<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Loughborough University  
Loughborough LE11 3 TU, United Kingdom  
a.g.balanov@gmail.com

<sup>2</sup>Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского  
ул. Астраханская, 83, г. Саратов, 410012, Россия  
hramovae@gmail.com

<sup>3</sup>Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина  
ул. Политехническая 77, г. Саратов, 410054, Россия  
feanorberserk@gmail.com

В присутствии наклонного магнитного поля и при высоких температурах групповая динамика электронов в полупроводниковых сверхрешетках может быть довольно сложной, и исследование эволюции распределения напряженности электрического поля может помочь в понимании многих процессов. В настоящей работе показана связь между групповой динамикой электронов и эволюцией распределения напряженности электрического поля при изменении температуры в присутствии наклонного магнитного поля.

*Ключевые слова:* полупроводниковые сверхрешетки, домены Ганна, нелинейная динамика.

В полупроводниковой сверхрешетке в присутствии продольного электрического поля можно наблюдать колебания тока, протекающего через сверхрешетку, что обусловлено прохождением через нее электронных доменов [1]. Появление колебаний обусловлено наличием отрицательной дифференциальной проводимости, что можно наблюдать по наличию падающего участка на зависимости дрейфовой скорости от напряженности электрического поля. Данный участок появляется за пиком Эсаки-Тсу, связанным с блоховскими колебаниями электронов в сверхрешетке [2]. В присутствии наклонного магнитного поля помимо пика Эсаки-Тсу появляются пики, отвечающие резонансам блоховской и циклотронной частот, что сильно усложняет вид колебаний тока и форму электронных доменов [1]. На рис. 1,а изображены зависимости дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля для различных температур, с ростом температуры пики уменьшаются, особенно пик Эсаки-Тсу.

На рис. 1, б, в, г показаны пространственно-временные диаграммы концентрации электронов, значения концентрации показаны градациями серого, видно как электронный домен проходит через сверхрешетку. Данные зависимости были получены численно решением уравнения непрерывности и Пуассона, с учетом дрейфового приближения, как описано в [3]. Сразу следует отметить, что линии уровня, соответствующим характерным особенностям на профиле дрейфовой скорости, вытягиваются вдоль линии следования электронных доменов. С ростом температуры ширина доменов возрастает, а их величина и частота следования уменьшаются [3].

Из рис. 1, б, в, г видно, что при низких температурах все линии уровня вытягиваются вдоль линии следования домена, при этом взаимодействие осуществляется по-

следовательно, сначала с линией, соответствующей пику Эсаки-Тсу, затем с линиями, соответствующими блох-циклотронным резонансам.

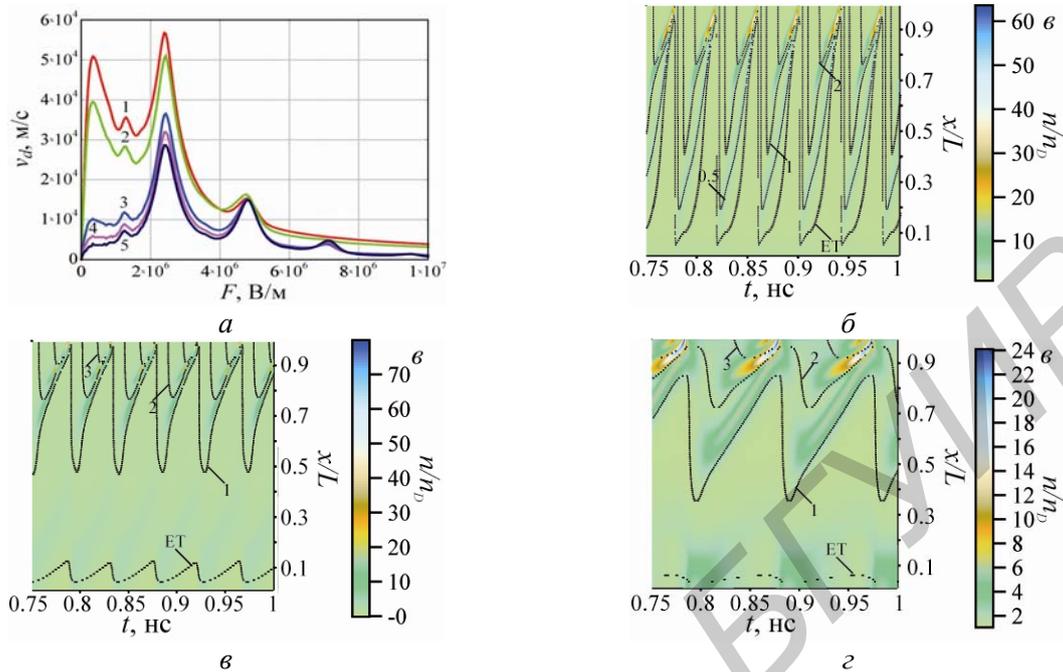


Рис. 1. Зависимости дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля для различных температур (а): 1 -  $T \rightarrow 0$ ; 2 -  $T = 50$  К; 3 -  $T = 200$  К; 4 -  $T = 300$  К; 5 -  $T = 400$  К; б, в, з - пространственно-временная диаграмма концентрации электронов с нанесенными линиями уровней для напряженностей электрического поля, соответствующим характерным особенностям на профиле дрейфовой скорости для напряжения приложенного к сверхрешетке,  $V = 0.6$  В, при температуре  $T \rightarrow 0$  (б);  $T = 100$  К (в);  $T = 300$  К (з)

С ростом температуры,  $T = 100$  К, картина немного меняется, расположение линий резонансных пиков в целом сохраняется, однако, линия, соответствующая пику Эсаки-Тсу, остается вблизи начала сверхрешетки, и область взаимодействия, соответствующей напряженности электрического поля с доменом, уменьшается. Из данного наблюдения можно сделать вывод, что с ростом температуры роль пика Эсаки-Тсу уменьшается, на резонансные пики температура влияет не столь пагубно (что следует и из зависимости дрейфовой скорости от напряженности электрического поля). С дальнейшим увеличением температуры данный эффект становится более явным. Сами линии уровня при этом меняют свою форму, вслед за доменами становясь шире. Полученные результаты подчеркивают связь пиков на зависимости дрейфовой скорости электронов от напряженности электрического поля с сложной групповой динамикой электронов и демонстрируют как распределение напряженности поля изменяется с ростом температуры.

Работа выполнена при поддержке Президентской программы поддержки молодых российских ученых – докторов наук (проекты МД-345.2013.2), а также фонда некоммерческих программ «Династия».

#### Список литературы

1. Greenaway M. T., Balanov A. G., Scholl E. et. al. // Phys. Rev. B. 2009. Vol. 80. 205318.
2. Esaki L., Tsu R. // IBM Journal of Research and Development. 1970. Vol. 14. №1. P. 61-65.
3. Баланов А. Г., Гринавей М. Т., Короновский А. А. и др. // ЖЭТФ. 2012. Т. 141. № 5. С. 960-965.