

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института
прикладной физики РАН
академик РАН

Литвак А. Г.

«29» сентября 2014 г.

О Т З Ы В

ведущей организации – Института прикладной физики РАН на диссертацию Сельского Антона Олеговича «Формирование и эволюция пространственно-временных структур в модельной нелинейной активной распределенной среде, содержащей носители заряда», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – радиофизика, 01.04.04 - физическая электроника.

Диссертационная работа Сельского Антона Олеговича посвящена исследованию формирования и эволюции пространственно-временных структур в нелинейной активной распределенной среде, содержащей носители заряда. Подобные активные среды являются важными объектами исследования в радиофизике и физической электронике. В частности, к подобным системам относятся диод Пирса, плазменные системы, холодные атомы в оптической решетке, а также многие полупроводниковые структуры. Такие системы, несмотря на различную природу, имеют общие черты, обусловленные единством математических моделей описания нелинейных нестационарных процессов в них, и, как следствие, характеризуются схожими типами неустойчивостей. Данные неустойчивости приводят к формированию структур пространственного заряда (например, доменов в полупроводниковых сверхрешетках и виртуального катода (плотного сгустка электронов) в виркаторах), которые и определяют характеристики генерации электромагнитного излучения в подобных системах. Одной из моделей для описания таких активных сред является система самосогласованных уравнений непрерывности и Пуассона, которая является эталонной для исследования широкого круга самых различных систем радиофизики и физической электроники. Соответственно, выявление общих закономерностей развития неустойчивостей и нелинейных явлений динамики пространственного заряда в подобных системах представляет значительный интерес и для фундаментальной науки, и для прикладных исследований. Таким образом, тема диссертационной работы А.О. Сельского является актуальной и практически значимой. Полученные в ней результаты исследования динамики структур пространственного заряда, несомненно, являются важными для описания различных нелинейных эффектов, возникающих в модельных нелинейных активных средах,

в случае нелинейной зависимости скорости носителей зарядов от напряженности электрического поля, характеризующейся наличием нескольких максимумов.

Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка использованной литературы. Диссертационная работа имеет достаточно логично организованную структуру и характеризуется четким и ясным изложением материала.

Во введении обоснована актуальность темы проведенных исследований, сформулирована цель работы, описаны научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Введение содержит также основные положения и результаты, выносимые на защиту, и сведения об апробации результатов и публикациях в рецензируемых научных журналах.

В первой главе диссертационной работы исследуется вопрос о том, каким образом, с теоретической точки зрения, в модельной нелинейной активной пространственно-распределенной среде можно наблюдать нелинейные зависимости скорости носителей заряда от напряженности электрического поля, характеризующиеся несколькими максимумами. Для этого диссертант рассмотрел динамику отдельного электрона в периодическом потенциале при воздействии внешних электрического и наклонного магнитного полей. В этой главе подробно описана модельная система и получены безразмерные уравнения движения для отдельного электрона. На ее основе получены зависимости скорости направленного движения носителей заряда от напряженности электрического поля, характеризующиеся несколькими максимумами. Также в первой главе рассмотрен вопрос о возможности изменения соотношения между максимумами на профиле зависимости скорости электронов от напряженности электрического поля с помощью изменения значений управляющих параметров в случае, когда максимумы имеют разные механизмы формирования.

Во второй главе рассматривается пространственно-временная динамика электронных структур в модельной системе с зависимостью скорости носителей заряда от напряженности электрического поля, характеризующейся несколькими максимумами, для различных значений управляющих параметров. Под пространственно-временными структурами здесь подразумеваются области высокой концентрации носителей заряда, перемещающихся вдоль системы. При выходе из пространства взаимодействия системы пространственно-временная структура вызывает всплеск тока и, одновременно, появление на входе в систему новой структуры. В рамках этой главы диссертационной работы проведено детальное исследование пространственно-временной динамики электронных структур, включающее изучение вольт-амперных характеристик, частоты и амплитуды колебаний тока, протекающего через исследуемую модельную систему, а также построение пространственно-временных диаграмм, характеризующих динамику концентрации носителей заряда во времени и пространстве.

Третья глава диссертационной работы А.О. Сельского посвящена рассмотрению пространственно-временной динамики электронных структур в модифицированной модельной системе, учитывающей нелинейную зависимость скорости носителей зарядов от напряженности электрического поля, характеризующуюся несколькими максимумами и локальным минимумом. В рассмотренной в данной главе модификации модельной системы

локальный минимум появляется в области больших значений напряженности электрического поля, где скорость электронов монотонно увеличивается. Следуя логике изложения материала второй главы, в третьей главе диссертационной работы изучены вольт-амперные характеристики, частоты и амплитуды колебаний тока, протекающего через исследуемую модельную систему. Построенные пространственно-временные диаграммы, характеризующие динамику концентрации носителей заряда, показывают, что локальный минимум на характеристике зависимости скорости носителей заряда от напряженности электрического поля оказывает большое влияние на динамику пространственно-временных электронных структур.

Основные результаты работы и выводы сформулированы в заключении диссертационной работы. Среди них можно выделить следующие наиболее интересные моменты:

1. В работе показано, что для нелинейных зависимостей скорости носителей заряда от напряженности электрического поля, характеризующихся несколькими максимумами, амплитуда и частота следования электронных структур уменьшается при уменьшении величины основного максимума на данной зависимости. При этом для некоторых значений напряжения, приложенного к системе, и управляющих параметров наблюдаются нелинейные эффекты, сопровождающие перестройку формы колебаний в системе.
2. Показано, что электронные структуры на пространственно-временных диаграммах следуют вдоль линий, соответствующих максимумам на зависимости скорости электронов от напряженности электрического поля для небольших значений управляющего параметра, а при больших значениях - касаются их и далее следуют независимо.
3. Исследование эволюции электронных структур с нанесением на соответствующие пространственно-временные диаграммы линий уровня, для значений напряженности электрического поля, соответствующим экстремумам скорости носителей заряда, продемонстрировал важную роль локального минимума на профиле модифицированной зависимости скорости носителей заряда от напряженности электрического поля.

Достоверность результатов и выводов диссертационной работы обеспечивается применением апробированных математических моделей, сопоставлением известных аналитических и полученных численно результатов друг с другом, отсутствием противоречий между полученными в диссертационной работе результатами и результатами, содержащихся в публикациях других авторов.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. Приведенные в работе «вольт-амперные характеристики» построены, в том числе, для значений напряжения, соответствующих генерации колебаний тока. Хотя в работе и поясняется, что при построении использовалось усредненное по времени значение тока, на мой взгляд, было бы лучше, если бы автор

использовал выражение «зависимость тока от приложенного напряжения», которое лучше соответствует рассматриваемой характеристике.

2. Автор диссертации в различных главах диссертации использует разную систему нормировок. По всей видимости, это обусловлено особенностями задач, рассматриваемых в разных главах диссертационной работы. Тем не менее, работа смотрелась бы более стройной, если бы автор, либо использовал везде одну и ту же систему нормировок, либо пояснил в тексте диссертации, чем вызвана необходимость использовать разные системы нормировок в различных главах диссертационной работы.
3. В диссертационной работе много сказано о модельной нелинейной активной распределенной среде, и справедливо замечено, что данные среды описывают широкий спектр задач в радиофизике и физической электронике, однако, по тексту работы мало сказано непосредственно о примерах систем, для которых справедливы описанные закономерности. Было бы хорошо, если бы автор по ходу работы чаще делал отступление в пользу реальных приборов, и возможно, сравнения полученных результатов с экспериментом.

В то же время, отмеченные недостатки не снижают общей оценки диссертационной работы А.О. Сельского, которая выполнена на высоком научном уровне.

Заключение.

Диссертационная работа А.О. Сельского является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную для радиофизики, физической электроники и нелинейной динамики тему. Диссертация соответствует специальностям 01.04.03 – радиофизика и 01.04.04 - физическая электроника. Автореферат правильно отражает ее содержание.

По результатам диссертационной работы опубликовано 6 статей в центральных реферируемых отечественных и зарубежных научных журналах, рекомендованных ВАК РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук: «Physical Review B», «Журнал Экспериментальной и Теоретической Физики», «Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика», «Вестник ННГУ», «Вестник ТГУ». Работа прошла хорошую апробацию на многочисленных российских и международных научных конференциях.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научных исследованиях в Институте прикладной физики РАН, Институте радиотехники и электроники РАН, Московском, Нижегородском, Воронежском, Томском, Саратовском, Ростовском университетах, а также могут быть рекомендованы к внедрению в учебный процесс в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, Московском физико-техническом институте, Саратовском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, Воронежском государственном университете, Саратовского государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А., Московском институте

электроники и математики, Томском государственном университете и других вузах, ведущих подготовку специалистов в области радиофизики и физической электроники.

С учетом вышесказанного можно сделать вывод, что диссертационная работа Антона Олеговича Сельского вносит существенный вклад в развитие современной радиофизики, физической электроники и нелинейной теории колебаний и удовлетворяет требованиям п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года, № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а сам диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – радиофизика, 01.04.04 - физическая электроника.

Отзыв составил

Зав. отд. ИПФ РАН
профессор, д.ф.-м.н.



Некоркин Владимир Исаакович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики Российской академии наук
профессор, д.ф.-м.н., заведующий Отделом нелинейной динамики
Почтовый адрес: 603950 г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46
e-mail: vnekorkin@neuron.appl.sci-nnov.ru
Телефон: +7 831 4367291

Отзыв утвержден на заседании научного семинара (протокол № 5 от «23» сентября 2014 года).

Секретарь научного семинара
к.ф.-м.н.



Захаров Денис Геннадьевич

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт прикладной физики Российской академии наук
к.ф.-м.н., научный сотрудник Отдела нелинейной динамики
Почтовый адрес: 603950 г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46
e-mail: zakharov@neuron.appl.sci-nnov.ru
Телефон: +7 831 4164783