

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Конева Владимира Юрьевича «Фиксация фазы СВЧ-колебаний наносекундных генераторов Ганна трехсантиметрового диапазона фронтом модулирующего импульса», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 «физическая электроника».

Диссертация Конева В.Ю. посвящена исследованию фазовых характеристик СВЧ генераторов на основе диодов Ганна. Стабилизация частоты и фазы излучения генераторов необходима для качественной передачи информации, точного определения положения предметов, уменьшения фазового шума. Для этого используют различные способы - частотную и фазовую автоподстройку, синхронизацию внешним сигналом, высокодобротные резонаторы и т.д.. Среди них особый интерес вызывает простой и эффективный способ, основанный на стабилизации начальной фазы колебаний импульсом модулирующего напряжения. Несмотря на полувековую историю, процессы, влияющие на момент возникновения СВЧ колебаний генераторов Ганна, изучены еще недостаточно. Предыдущие исследования показали, что у полупроводниковых генераторов фаза колебаний может быть стабилизирована как крутым фронтом импульса напряжения, так и протяженными импульсами с фронтами, большими периода колебаний. Однако причина фиксации фазы колебаний до сих пор оставалась не выясненной.

В связи с этим диссертация Конева В.Ю., в которой путем теоретического моделирования и экспериментальными методами исследованы факторы, влияющие на нестабильность начальной фазы колебаний генераторов Ганна и генерацию когерентных колебаний, является актуальной и отвечает потребностям современной радиотехники и СВЧ технологии.

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы из 58 наименований. Объем диссертации - 126 страниц, включая 81 рисунок и 3 таблицы.

Во введении обоснована актуальность и отмечена степень разработанности выбранной темы, сформулированы цели и задачи исследования, указаны научная новизна и практическая значимость работы, кратко описаны использованные методы исследования, приведены защищаемые положения.

Первая глава посвящена обзору генераторов с различными способами стабилизации частоты, фазы и амплитуды колебаний. Описан доменный механизм колебаний тока в полупроводниках с многодолинным зонным спектром. Рассмотрены условия возникновения колебаний и способы стабилизации излучения генераторов Ганна. Обсуждаются феноменологические модели полупроводникового диода Ганна на основе GaAs и режимы его работы. Отмечаются преимущества стабилизации фазы колебаний фронтом импульса напряжения, позволяющие осуществлять когерентное сложение мощностей нескольких генераторов. На основе обзора выбраны методы исследования и сформулированы задачи, решаемые в диссертации.

Во второй главе описана локально-полевая модель диода Ганна, использованная для анализа механизмов стабилизации СВЧ колебаний. Указаны границы применимости этой модели к процессам, протекающим в генераторах Ганна. Рассчитана зависимость нестабильности фазы колебаний от нестабильности фронта и амплитуды модулирующего трапецеидального импульса напряжения. Показано, что нестабильность амплитуды импульса генераторов с резистивной нагрузкой оказывает сильное влияние на нестабильность фазы колебаний, а у генераторов с колебательным контуром основным фактором, вызывающим рост нестабильности фазы колебаний, является нестабильность его амплитуды. Отмечается, что с увеличением длительности фронта основным фактором, приводящим к росту

нестабильности фазы и разности фаз колебаний, является нестабильность амплитуды модулирующего импульса.

Основной вывод проведенного моделирования состоит в том, что фаза СВЧ колебаний устанавливается в момент перехода диода Ганна в режим отрицательного дифференциального сопротивления и образования домена сильного поля. Это связано с тем, что длительность формирования фазы колебания, равная времени формирования домена сильного поля, существенно меньше периода СВЧ колебаний. Благодаря этому полупроводниковая структура обладает способностью стабилизации фазы. Установлено, что условием генерации импульсов СВЧ колебаний со стабильной начальной фазой является наличие неоднородного профиля легирования с минимумом концентрации доноров вблизи катода.

Результаты второй главы приведены в первом, втором и третьем защищаемых положениях.

В третьей главе описаны экспериментальные методики исследования СВЧ излучения генераторов Ганна. Приводятся схемы и принципы действия генераторов. Описаны процедуры измерения спектральных характеристик СВЧ импульсов. Отклонения фазы колебаний генератора относительно фронта модулирующего импульса и разность фаз двух генераторов определялись методами фазового детектора и временных интервалов с применением широкополосных цифровых осциллографов. Суммарное волновое поле двух генераторов измерялось в дальней зоне безэховой камеры, чтобы исключить влияние отражений.

В четвертой главе исследован процесс установления фазы СВЧ колебаний в генераторах Ганна. Показано, что начальная фаза колебаний жестко привязана к моменту достижения порогового напряжения на диоде, а шумы полупроводниковой структуры не оказывают существенного влияния ни на момент возбуждения колебаний, ни на их начальную фазу. Заметными являются лишь колебания, возникающие при "ударном возбуждении", однако, влияние самой структуры на установление фазы оказывается гораздо

более сильным. Поэтому стабильность фазы определяется стабильностью параметров модулирующего импульса напряжения на диоде Ганна. Полученные значения стандартного отклонения фазы удовлетворяют критерию фазовой стабильности источников излучения, используемых в активных фазированных решетках.

Показано, что использование двух последовательных диодов Ганна позволяет существенно уменьшить разброс фазы колебаний. Результаты экспериментальных исследований находятся в качественном согласии с результатами моделирования.

Результаты и выводы четвертой главы приведены во втором, третьем и четвертом защищаемых положениях.

Достоверность полученных в диссертации Конева В.Ю. теоретических и экспериментальных результатов обусловлена непротиворечивостью и внутренней согласованностью материала, применением известных методов и современного оборудования, критическим анализом данных и их соответствием результатам других исследователей.

Установленные в диссертационной работе Конева В.Ю. механизмы и условия стабилизации фазы СВЧ колебаний полупроводниковых генераторов Ганна представляют значительный теоретический и практический интерес. Они могут быть использованы при разработке наносекундных генераторов и для улучшения распознавательных свойств радиолокационных систем. Развитые в работе теоретические методы носят достаточно универсальный характер и могут применяться для изучения когерентности СВЧ излучения других генераторов.

К материалу диссертации необходимо сделать следующие замечания:

1. При анализе эффекта Ганна на основе диода GaAs использовалась двухдолинная Г-Х модель зонного спектра, тогда как согласно современным представлениям в зоне проводимости GaAs имеются три конкурирующих долины в последовательности Г-L-X. Влияние L-долины на излучение генераторов не учитывалось.

2. В работе приводятся обширные результаты теоретических и экспериментальных исследований СВЧ излучения, но их сравнение проведено лишь на качественном уровне.

Сделанные замечания не затрагивают существа защищаемых положений и выводов. Диссертация Конева В.Ю. является законченным научным исследованием, автореферат полностью отражает содержание, идеи и выводы диссертации, которые с достаточной полнотой освещены в опубликованных работах.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Конев Владимир Юрьевич заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – «физическая электроника».

доктор физико-математических наук,
профессор кафедры экспериментальной физики
Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 634050, г.Томск, пр. Ленина 30,
сотовый телефон +79131029274, e-mail: gsn@tpu.ru



/Гриняев Сергей Николаевич/

Ученый секретарь

Ученого совета



/Ананьева Ольга Афанасьевна/