

ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

САНИН СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ



ЧАСТОТНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СУБМИКРОННЫХ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

Специальности: 01.04.03 - радиофизика
01.04.10 - физика полупроводников
и диэлектриков

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1995

Диссертация является рукописью
Работа выполнена в Харьковском государственном
университете

Научные руководители:

доктор физико-математических наук,
профессор ПРОХОРОВ Эдуард Дмитриевич

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник
АРКУША Юрий Васильевич

Официальные оппоненты:

член-корреспондент НАН Украины,

доктор физико-математических наук,
профессор ЯКОВЕНКО Владимир Мефодиевич

(Институт радиофизики и электроники, НАН Украины, г. Харьков)

кандидат физико-математических наук,

доцент ШАЛАЕВ Виктор Алексеевич

(Харьковский государственный университет).

Ведущая организация - Радиоастрономический институт НАН
Украины (г. Харьков).

Защита состоится "12" сентября 1996 г. в 14⁰⁰
на заседании специализированного Ученого совета Д 02.02.07
Харьковского государственного университета (310077, г. Харьков,
пл. Свободы, 4, ауд. 3-9).

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной
библиотеке Харьковского государственного университета.

Автореферат разослан "11" сентября 1995 г.

Ученый секретарь
специализированного
совета



В.И. Чеботарев

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00779440 (V)

Актуальность работы. Освоение коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн идет в настоящее время в различных направлениях: как путем увеличения частотных возможностей известных твердотельных источников СВЧ-колебаний, таких как, например, диоды Ганна, так и путем разработки новых типов полупроводниковых приборов. Одним из таких приборов являются приборы с пониженной размерностью, принцип действия которых основан на использовании квантовых эффектов. Актуальность данных исследований возросла в связи с широким развитием космической связи, ближней локации, радиоастрономии и радиоспектроскопии, медицинской диагностики и т.д., где находят применение такие типы приборов.

Сейчас остро стоят вопросы, связанные с увеличением эффективности генерации и расширения частотного диапазона работы диодов Ганна. Однако, возникает ряд проблем, связанных как с принципиальными трудностями (возрастание влияния инерционных процессов перераспределения электронов между долинами зоны проводимости), так и с технологическими (сокращаются размеры активной области диода, повышаются требования к качеству полупроводникового материала, усложняется методика создания оптимальных контактов и т.д.).

Одним из способов решения этой проблемы является использование диодов Ганна в качестве генератора в двухконтурном резонаторе, контура которого настраиваются на основную частоту и частоту гармоник. Наличие второго резонансного контура приводит к существенному расширению частотного диапазона в область более высоких частот.

На работу таких приборов большое влияние оказывают очень многие факторы: профиль легирования активной области, тип катодного контакта, длина и температура активной области, а также некоторые другие. Поэтому актуальными являются исследования влияния вышеописанных параметров на эффективность работы диодов Ганна на гармониках, поскольку к настоящему времени подобные исследования проводились, в

основном, для диодов Ганна с омическим катодным контактом и однородным профилем легирования активной области.

Второй путь освоения коротковолновой части миллиметрового диапазона с помощью диодов Ганна с различными типами катодных контактов и профилем легирования является использование их в качестве нелинейных элементов умножителей частоты. Рассмотрение подобных умножителей ранее проводилось лишь с помощью простых моделей, применимых для достаточно длинных диодов Ганна. С уменьшением длины активной области возникает необходимость учета влияния катодного контакта на работу таких умножителей.

Другим классом приборов, с помощью которых можно осваивать коротковолновую часть миллиметрового диапазона, являются приборы с пониженной размерностью. Современные методы молекулярной эпитаксии позволяют создавать монокристаллические полупроводниковые слои и многослойные гетероструктуры с толщинами слоев 1...10 нм, сравнимыми с длиной волны де-Бройля электрона. Это открывает возможность использования явлений, обусловленных волновой природой электронов, для создания принципиально новых типов полупроводниковых приборов. Одним из них является прибор, представляющий из себя структуру, состоящую из двух барьеров и квантовой ямы, так называемой двухбарьерной квантовой структуры (ДБКС), и контактных слоев. ДБКС представляет собой гетероструктуру, состоящую из полупроводниковых материалов с различной шириной запрещенной зоны - между двумя полупроводниковыми материалами с широкой запрещенной зоной расположен материал с более узкой запрещенной зоной. Контактные слои также состоят из материала с более узкой запрещенной зоной. Такую структуру можно рассматривать как последовательно расположенные потенциальные барьеры, разделенные квантовой ямой.

Рассмотрению работы приборов на основе вышеописанной структуры посвящено большое количество работ. Однако, актуальность подобных исследований все возрастает, поскольку

остаются не изученными многие факторы, влияющие на их работу.

Цель работы:

- исследовать влияние типа катодного контакта, профиля легирования и температуры активной области, величины произведения концентрации носителей в активной области на длину активной области $n_0 l_a$ и других параметров на эффективность генерации и частотный диапазон работы диодов Ганна с различной длиной активной области на частоте гармоник;

- исследовать влияние внутренних параметров диодов Ганна, используемых в качестве нелинейных элементов умножителей частоты, на выходные характеристики такого умножителя;

- исследовать параметры и характеристики диодов с ДБКС с целью их оптимизации, необходимой для дальнейшего использования таких диодов в умножителях частоты;

- сравнить теоретические результаты с экспериментальными данными, полученными как автором, так и другими исследователями.

Методика исследования. Теоретическое исследование работы диодов Ганна, используемых в качестве генераторов гармоник и нелинейных элементов умножителей частоты, проводилось с помощью двухтемпературной модели, учитывающей инерционные эффекты перераспределения электронов между долинами зоны проводимости на высоких частотах. Диоды с ДБКС рассматривались с помощью полученного аналитического выражения для плотности тока, протекающего через такой диод.

Экспериментальное исследование работы диодов Ганна было проведено на измерительной установке на основе восьми-, четырех- и двухмиллиметровых волноводных трактов в генераторных камерах, рассчитанных на вторую и третью гармонику.

Научная новизна. Впервые проведено комплексное исследование влияния различных типов катодных контактов, профиля легирования и температуры активной области, величины $n_0 l_a$, высоты потенциального барьера, глубины "зарубки"

на работу арсенид-галлиевых диодов Ганна на частотах второй и третьей гармоник. Показана возможность использования таких диодов с $\epsilon_{\alpha} = 2,5$ мкм в качестве генераторов на частоте второй гармоники - до 120 ГГц, на частоте третьей гармоники - до 150 ГГц и с $\epsilon_{\alpha} = 1$ мкм на частоте второй гармоники - до 400 ГГц, на частоте третьей гармоники - до 600 ГГц. Экспериментально подтверждены теоретические результаты о влиянии различных типов катодных контактов на работу диодов Ганна на гармониках. Получена генерация диодом Ганна с металлическим катодным контактом и с $\epsilon_{\alpha} = 1$ мкм в диапазоне частот 60...230 ГГц, подтверждающая теоретические расчеты.

Теоретические результаты были использованы для создания действующих конструкций генераторов.

Показана возможность умножения частоты до 1000 ГГц на коротких диодах Ганна с различными типами катодных контактов.

С помощью аналитического выражения для тока, протекающего через диод с ДБКС, определены оптимальные структуры на основе полупроводников A_3B_5 и их соединений для получения наилучшего соотношения между максимальным значением тока и величиной отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП). Получены оптимальные параметры таких структур. На основе вышеописанного выбран диод с ДБКС, имеющим лучшие характеристики. Рассмотрена возможность создания на его основе высокочастотного умножителя частоты.

Практическая значимость работы состоит в возможности реализации результатов теоретических расчетов генераторов гармоник и умножителей частоты, работающих в коротковолновой части миллиметрового диапазона, на основе арсенид-галлиевых диодов Ганна различных типов и диодов с ДБКС. К практически ценным результатам относится получение экспериментальных данных о влиянии различных типов катодных контактов коротких диодов Ганна.

На защиту выносятся:

1. Диоды Ганна с различными типами катодных контактов,

профилем легирования и $\ell_a = 2,5$ мкм работают в широком диапазоне: 60...120 ГГц на частоте второй гармоники и 90...150 ГГц на частоте третьей гармоники. Катодные контакты влияют на эффективность генерации диодов Ганна на гармониках. Лучшими по кпд генерации являются диоды Ганна с металлическим катодным контактом (до 5 %) на частоте второй гармоники и диоды Ганна с "зарубкой" у катода на частоте третьей гармоники (до 1,5 %).

2. Уменьшение длины активной области диодов Ганна с различными типами катодных контактов при работе на гармониках ведет к расширению частотного диапазона. При $\ell_a = 1$ мкм частотный диапазон составляет 150...400 ГГц на второй гармонике и 200...500 ГГц на третьей гармонике. Лучшими по кпд генерации на гармониках являются диоды Ганна с теми же типами катодных контактов, что и при $\ell_a = 2,5$ мкм.

3. Величина $n_0 \ell_a$, при которой достигается максимальный кпд генерации диодами Ганна с различными типами катодных контактов, составляет $2...2,5 \cdot 10^{12}$ см⁻² на частоте второй гармоники и $2,5...3,0 \cdot 10^{12}$ см⁻² на частоте третьей гармоники. Оптимальная высота потенциального барьера металлического катодного контакта у диода Ганна находится в диапазоне 0,001...0,1 эВ. Концентрация носителей в n^- -области для диода Ганна с "зарубкой" у катода составляет 0,09...0,11 от n_0 .

4. Экспериментальное подтверждение теоретических расчетов о разном воздействии различных катодных контактов на рабочие характеристики диодов Ганна при различных температурах. Существует напряжение питания, при котором с изменением температуры в диапазоне 300...500 К генерируемая диодом Ганна мощность практически не меняется.

5. Тип катодного контакта влияет на работу умножителей частоты, использующих в качестве нелинейного элемента диод Ганна. Выгоднее использовать для умножения частоты диод Ганна с металлическим катодным контактом в широком диапазоне изменения его внутренних параметров: $n_0 \ell_a = 1,5...$

$2,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, высота потенциального барьера 0,0005...0,005 эВ.

6. Наиболее выгодными для использования в качестве нелинейного элемента умножителя частоты являются диоды с ДБКС на основе $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}/\text{GaAs}/\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$. Оптимальные параметры этой структуры: ширина квантовой ямы 6 нм, толщина потенциальных барьеров 3 нм.

Личный вклад автора определяется его участием в компьютерном моделировании физических процессов, протекающих в диодах Ганна с различными типами катодных контактов и профилем легирования и диодах с ДБКС, используемых в качестве генераторов гармоник и умножителей частоты, анализе полученных результатов и их интерпретации. Подготовке и проведении экспериментов по исследованию влияния различных типов катодных контактов на работу диодов Ганна.

Апробация результатов. Полученные результаты были представлены на:

- Межведомственной научно-технической конференции "Приборы, техника и распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн" (Харьков, 1992);

- International conference "Physics in Ukraine" (Kiev, 1993);

- International Symposium "Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves" (Kharkov, 1994);

- 5-ой Крымской конференции и выставке "СВЧ-техника и спутниковые телекоммуникационные технологии" (Севастополь, 1995).

По вошедшим в диссертацию материалам в соавторстве опубликовано 11 работ.

Структура и объем работы. Диссертация общим объемом 133 страницы состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 77 рисунков, список литературы из 135 наименований.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность выбранного направления исследований, приведена структура и краткое содержание работы, изложены основные результаты и положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен краткий обзор литературы, в котором вскрыты проблемы, связанные с повышением эффективности генерации и достижения предельных частот с помощью генераторов гармоник и умножителей на основе диодов Ганна, а также анализ полученных за последнее время экспериментальных и теоретических результатов работы приборов на основе ДБКС.

Во второй главе описано теоретическое исследование работы различных типов диодов Ганна на частоте гармоник. Рассмотрены: диод Ганна с металлическим катодным контактом, диод Ганна с "зарубкой" у катода и диод Ганна с неоднородным профилем легирования.

Показано, что лучшими по КПД генерации на частоте второй гармоники являются диоды Ганна с металлическим катодным контактом, а на частоте третьей гармоники - диоды Ганна с "зарубкой" у катода. Эти результаты получены для приборов с длиной активной области 2,5 мкм при температуре 300 К. Уменьшение длины активной области до 1 мкм привело к уменьшению максимального значения КПД генерации на основной частоте и частоте гармоник, а также к существенному расширению частотного диапазона. Лучшими по КПД генерации остались диоды Ганна с металлическим катодным контактом на частоте второй гармоники и диоды Ганна с "зарубкой" у катода на частоте третьей гармоники.

Определен диапазон изменения величины $\rho_{0\alpha}$, в пределах которого возможна эффективная генерация на гармониках при различных температурах. Увеличение температуры привело к уменьшению этого диапазона.

Проведен анализ влияния температуры активной области на работу диодов Ганна с различными типами катодных контактов на гармониках. С увеличением температуры происходит ухудшение энергетических характеристик. Максимальное значение КПД генерации падает как на основной частоте, так и на частоте гармоник. Одновременно с этим сужается частотный диапазон.

Высота потенциального барьера металлического катодного контакта у диода Ганна при различных длинах активной области имеет широкий диапазон значений, при которых возможна генерация на гармониках. Концентрация носителей в n^- области диода Ганна с "зарубкой" у катода, необходимая для достижения максимального КПД генерации на частоте гармоник, составляет 0,09...0,11 от величины концентрации n_0 в активной области.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию работы арсенид-галлиевых диодов Ганна на гармониках. В главе описаны технология изготовления диодов Ганна, для последующего их использования в качестве генератора гармоник, а также экспериментальные камеры и установки.

Проведено экспериментальное исследование влияния температуры более 500 К на эффективность генерации диодов Ганна. Определено значение напряжения питания, при котором генерируемая мощность слабо изменяется с увеличением температуры.

Экспериментально рассмотрено влияние контактов на частотный диапазон работы диодов Ганна на основной частоте и на частоте гармоник. Показано, что в зависимости от типа катодного контакта по разному происходит изменение границ энергетических характеристик при изменении температуры.

Описаны волноводные конструкции генераторов с электронной перестройкой частоты с помощью варактора и с отводом мощности на второй и третьей гармониках, которые были разработаны на основе описанных выше теоретических результатов.

В четвертой главе рассмотрена работа умножителей частоты на основе коротких диодов Ганна с различными типами катодных контактов как при подаче на диод напряжения питания, так и без подачи питания. Показано, что при положительных значениях коэффициента преобразования частоты (КПЧ) в диодах происходит формирование доменов сильного

поля. При подаче на диод Ганна напряжения питания наиболее эффективным является умножение на нечетных гармониках, а без подачи напряжения питания - на четных.

Определен диапазон изменения величины $n_0 \alpha$ и высоты потенциального барьера, в пределах которого возможно эффективное умножение на диодах Ганна с металлическим катодным контактом.

Проведено качественное сравнение теоретических и экспериментальных результатов умножения частоты на диоде Ганна с металлическим катодным контактом.

Определены оптимальные полупроводниковые материалы *А₃В₅* и соединения на их основе для создания умножителей частоты, в качестве нелинейного элемента использующих диоды с ДБКС. Параметры таких диодов: ширина квантовой ямы 6 нм и толщина потенциальных барьеров 3 нм, дают возможность получать наилучшие соотношения между максимальным значением тока и величиной ОДП.

Рассмотрена работа умножителей частоты на основе диодов с ДБКС как при подаче напряжения питания, так и без. Полученные результаты говорят о высокой эффективности такого умножения.

В заключении приведены основные результаты и выводы работы.

Основные результаты и выводы работы.

1. Генерация на частоте второй и третьей гармониках при длине активной области 2,5 мкм для диода Ганна с металлическим катодным контактом возможна в диапазоне 25...150 ГГц, для диода с "зарубкой" у катода - 30...145 ГГц, для диода с неоднородным профилем легирования - 25...145 ГГц. Лучшими по КПД генерации на частоте второй гармоники являются диоды Ганна с металлическим катодным контактом (5%), а на частоте третьей гармоники - диоды с "зарубкой" у катода (1...1,5%).

2. Уменьшение длины активной области диодов Ганна до 1 мкм приводит к ухудшению КПД генерации и расширению час-

того диапазона. Лучшими характеристиками обладают: при генерации на второй гармонике - диоды Ганна с металлическим катодным контактом (кпд 1,8 %, частотный диапазон 70...400 ГГц), на третьей гармонике - диоды Ганна с "зарубкой" у катода (кпд 0,7 %, частотный диапазон 90...580 ГГц).

3. Диапазон изменения величины $n_0 l_a$ у диодов Ганна с различными типами катодных контактов, $T_0 = 300$ К и $l_a = 2,5$ мкм, в пределах которого возможна эффективная генерация на частоте гармоник составляет 1,5...3,2 · 10¹² см⁻² на второй и 1,8...4,0 · 10¹² см⁻² на третьей гармонике. Уменьшение длины активной области до 1 мкм ведет к расширению диапазона до 1...5,5 · 10¹² см⁻² на частоте второй гармоники и до 0,6...6,0 · 10¹² см⁻² на частоте третьей гармоники. Рост температуры активной области ведет к уменьшению диапазона изменения $n_0 l_a$ в среднем на 10 %.

4. Диапазон изменения высоты потенциального барьера, при котором возможна генерация диодом Ганна с металлическим катодным контактом на частоте гармоник, для различных длин активной области составляет 0,001...0,03 эВ.

5. Величина концентрации носителей в n^- -области для диода Ганна с "зарубкой" у катода и различной длиной активной области, при которой возможна генерация, лежит в диапазоне (0,01...0,9) · n_0 .

6. Теоретические результаты имеют экспериментальное подтверждение. Получена генерация на диоде Ганна с металлическим катодным контактом и длиной активной области 1 мкм в диапазоне частот 60...230 ГГц, с максимальным кпд генерации на основной частоте около 1 % и 0,2 % на частоте второй гармоники.

7. Эксперимент показал, что существует такое напряжение питания (~ 4 В), при котором, с изменением температуры от 300 К до 500 К, генерируемая диодом мощность практически не изменяется. Однако, максимальная мощность уменьшается очень резко.

8. Моделирование физических процессов в диодах Ганна

с различными типами катодных контактов, используемых в качестве нелинейных элементов умножителей частоты, показало, что в диодах происходит формирование доменов сильного поля.

9. Без подачи напряжения питания возможно умножение частоты на диоде Ганна с металлическим катодным контактом с кпч на второй гармонике до 24 %, на третьей - до 4 %, на четвертой - до 8 %, на пятой - до 1 % и на шестой - до 4,5 %. Охватываемый при этом диапазон частот составляет 100...1100 ГГц. На диоде Ганна с "зарубкой" у катода возможно умножение частоты с кпч до 20 % на второй гармонике, до 6,5 % - на четвертой и до 3,8 % - на шестой в диапазоне частот 100...800 ГГц.

10. Если на диод Ганна с металлическим катодным контактом подать напряжение питания, то умножение частоты возможно с кпч до 15 % на второй гармонике, до 7 % - на третьей, до 3,7 % - на четвертой и до 4 % - на пятой в диапазоне частот 70...800 ГГц.

11. Существует оптимальная зависимость кпч от величины подаваемого СВЧ-сигнала. Максимальное значение кпч сдвигается с ростом номера гармоники в область более высоких амплитуд при работе умножителей частоты на коротких диодах Ганна как при подаче на диод напряжения питания, так и без подачи.

12. Работа умножителей частоты на диоде Ганна с металлическим катодным контактом возможна в широком диапазоне изменения его внутренних параметров: $n_0 \epsilon_a = 1...1,5 \times 10^{12} \text{ см}^{-2}$, высоты потенциального барьера 0,0001...0,1 эВ.

13. Имеющиеся экспериментальные данные подтверждают возможность получения умножения частоты на диоде Ганна с металлическим катодным контактом на частоте второй гармоники с кпч до 24 %.

14. Оптимальными параметрами диода с ДБКС для получения максимального участка с ОДП на вольт-амперной характеристике (ВАХ) являются: ширина квантовой ямы 6 нм,

толщина потенциальных барьеров 3 нм.

15. Наиболее выгодными для практического использования являются диоды с ДВКС на $Al_{0,2}Ga_{0,8}As/GaAs/Al_{0,2}Ga_{0,8}As$ и $GaAs_{0,4}P_{0,6}/GaAs/GaAs_{0,4}P_{0,6}$.

16. Умножители частоты, имеющие в качестве нелинейного элемента диод с ДВКС, могут работать без подачи напряжения питания с кпч на второй гармонике до 54 %, на четвертой - до 23 %, на шестой - до 12 %. Если на диод с ДВКС подается напряжение питания, то умножители частоты могут работать с кпч на третьей гармонике до 42 % и до 15 % - на пятой.

Публикации на тему диссертации.

1. Аркуша Ю.В., Прохоров Э.Д., Санин С.И. Исследования вольт-амперной характеристики диодов с двухбарьерной квантовой структурой. - В кн.: "Приборы, техника и распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн". Тезисы докладов межведомственной научно-технической конференции. - Харьков, 1992. - С. 48.

2. Аркуша Ю.В., Прохоров Э.Д., Санин С.И. Оптимальные параметры диодов с двухбарьерной квантовой структурой. - Техника миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов радиоволн. Сборник научных трудов ИРЭ НАН Украины. - Харьков, 1993. - С. 41-44.

3. Аркуша Ю.В., Прохоров Э.Д., Санин С.И. Влияние величины $n_0 \ell_a$ на эффективность диодов Ганна с различными типами катодных контактов при работе на частоте второй и третьей гармоник. - Использование радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Сборник научных трудов ИРЭ НАН Украины. - Харьков, 1993. - С. 98-103.

4. Arkusha Yu.V., Prokhorov E.D., Sanin S.I. The influence of the cathode contact, the doping of active area and the temperature on the generation by Gunn diodes on the third harmonics. - Physics in Ukraine. International Conference, Kiev, 1993, p.18-20.

5. Аркуша Ю.В., Прохоров Э.Д., Санин С.И. Влияние типа катодного контакта, профиля легирования и температуры на

эффективность генерации диодов Ганна на частоте второй и третьей гармоник. - Радиотехника и электроника, 1994. - Т. 39. - № 8-9. - С. 1435-1439.

6. Arkusha Yu.V., Prokhorov E.D., Sanin S.I. The influence of parameters Gunn diodes with the length of active area $1 \mu\text{m}$ on the second and third harmonics. - Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves, International Symposium, Kharkov, 1994, p.373-375.

7. Dyadchenko A.V., Zolotaryov E.S., Mishnyov A.A., Sanin S.I. Third harmonic mode Gunn diode voltage controlled oscillator. - Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves, International Symposium, Kharkov, 1994, p.379-382.

8. Polyansky N.E., Prokhorov E.D., Sanin S.I. The influence of the temperature to Gunn diodes with different cathode contacts frequency region. - Physics and Engineering of Millimeter and Submillimeter Waves, International Symposium, Kharkov, 1994, p.383-384.

9. Аркуша Ю.В., Прохоров Э.Д., Санин С.И. Зависимость эффективности генерации диода Ганна от его внутренних параметров. - Применение радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. Сборник научных трудов ИРЭ НАН Украины. - Харьков, 1994. - С. 137-141.

10. Аркуша Ю.В., Прохоров Э.Д., Санин С.И. Работа коротких диодов Ганна на частоте второй и третьей гармоник. - Доклады Национальной Академии наук Украины. - 1995. - № 4. - С. 47-49.

11. Аркуша Ю.В., Прохоров Э.Д., Санин С.И. Исследование возможности создания умножителей частоты на диодах Ганна и диодах с двухбарьерной квантовой структурой. - В кн., "СВЧ-техника и спутниковые телекоммуникационные технологии". Тезисы докладов 5-ой Крымской конференции и выставки. - Севастополь, 1995. - Т. I. - С. 131-134.

Санін С.І. Частотні можливості субмікронних напівпровідникових структур.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.03 - "радіофізика", 01.04.10 - "фізика напівпровідників та діелектриків", - Харківський державний університет. - Харків, 1995.

Дисертація містить результати 11 наукових публікацій з теоретичного дослідження впливу різних катодних контактів та профілів легування на ефективність генерації та частотний діапазон роботи діодів Ганна на гармоніках, експериментальні дослідження таких приладів. Розглянута можливість використання коротких діодів Ганна та діодів з двоохбар'єрною квантовою структурою як нелінійних елементів помножувачів частоти. Встановлено, що найбільш вигідним є використання генераторів на діодах Ганна з металевим катодним контактом на частоті другої гармоніки та з "зарубкою" біля катоду на частоті третьої гармоніки. Експериментально підтверджено вплив катодних контактів на частотний діапазон роботи діодів Ганна. Тип катодного контакту також впливає і на роботу помножувачів частоти.

Ключові слова: діод Ганна, катодний контакт, профіль легування, активна область діода Ганна, діод з двоохбар'єрною квантовою структурою, потенційний бар'єр, квантова яма.

Sanin S.I. The submicron semiconductor structures frequency possibilities.

Candidate of Sciences Thesis in Radio Physics. Kharkov State University, Kharkov, 1995.

The thesis contains the results of 11 scientific publication connected with theoretical and experimental investigation of the influence of different cathode contacts and active area doping on the Gunn diodes efficiency and their frequency ranges. It is studied the possibility of short Gunn diodes with double barrier quantum well using for unline frequency multiplication. It was found that the most efficient to use

the Gunn diodes with metallic cathode contacts on the second harmonic, and $n^+n^-n^-n^+$ structure - on the third harmonic modes. It was shown that the cathode contact type also influences to the frequency multipliers work.

Keywords: Gunn diode, cathode contact; profile of doping, active region of Gunn diode, diode with double barrier quantum well; potential barriers, quantum well.

ЛНБ ім. В. Стефанива
АН України

Подп. и печ. 26.11.95. Формат 60x84 1/16. Бумага тип. Печать
офсетная. Усл. печ. л. 1,0 Уч.-изд. л. 1,0 Тираж 100 экз.
Зак. № 5415

Украина. Харьков-19, пр. Ильича-118 УМТ ТИТАН

1152902

AB 33.780

AB 33.780