DOI: 10.17117/na.2015.09.675

Поступила (Received): 29.09.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.675.pdf>

Астахов Л.Д., Примакова О.В., Волощенко П.Ю. Резистивно-негатронная модель лавинно- пролетного диода

Astakhov L.D., Primakova O.V., Voloshchenko P.U.
An RC model negatrons avalanche-transit diode

В статье представлена математическая модель, описывающая амплитудные и частотные свойства негатрона – кремниевого однопролетного лавинно-пролетного диода 2A706, находящегося под монохроматическим воздействием электромагнитного поля трехсантиметрового диапазона длин волн. Установлена аналитическая форма оператора двухполюсной модели полупроводниковой структуры, отображающая амплитудную зависимость импеданса диода как отношение функции Бесселя первого и нулевого порядка

Ключевые слова: резистивно-негатронная модель, ЛПД

The article presents a mathematical model describing the amplitude and frequency properties negatron – silicon single-span span lavinno-diode 2A706, which is under the influence of a monochromatic electromagnetic field three-centimeter wavelength range. Established analytical form of the operator model of the bipolar semiconductor structure showing the amplitude dependence of the impedance of the diode as the ratio of the Bessel functions of the first and zero order

Key words: RC-negatrons model LPD

Астахов Лев Дмитриевич
Студент
Южный федеральный Университет
г. Таганрог, пер. Некрасовский, д. 44

Astakhov Lev Dmitrievich
Student
Southern Federal University
Taganrog, Nekrasovsky st., 44

Примакова Ольга Викторовна
Студент
Южный федеральный Университет
г. Таганрог, пер. Некрасовский, д. 44

Primakova Olga Viktorovna
Student
Southern Federal University
Taganrog, Nekrasovsky st., 44

Волощенко Пётр Юрьевич
Кандидат технических наук, доцент
Южный федеральный Университет
г. Таганрог, пер. Некрасовский, д. 44

Voloshchenko Peter Yurievich
Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Southern Federal University
Taganrog, Nekrasovsky st., 44

В статье представлена математическая модель, описывающая амплитудные и частотные свойства негатрона – кремниевого однопролетного лавинно-пролетного диода (ЛПД) 2A706, находящегося под монохроматическим воздействием электромагнитного (ЭМ) поля трехсантиметрового диапазона длин волн. Она используется при синтезе макетов и экспериментальном изучении явлений дифракции и интерференции ЭМ волн в устройствах регенерации и

активного гашения зондирующего сигнала радиолокационной станции (РЛС) [1,2]. Операторы макромодели такого электронного прибора (ЭП) базируются на совокупности трансцендентных соотношений, иллюстрирующих амплитудную динамику электронных процессов в его запорном и пролетном слое с учетом инерционного отклика пассивной колебательной электродинамической системы, образованной цепями питания, конструкцией держателя и теплоотвода. Поэтому теоретическое исследование $p-n-p$ мезаструктуры ЛПД, размещенной в прямоугольном волноводе, проводится методами эквивалентных схем и комплексных амплитуд, известных в электро- и радиотехнике, микроволновой электронике и технической электродинамике. Предлагаемая методология изучения механизма волновых и нелинейных процессов в длинной линии с электронной неоднородностью необходима при символьном анализе ее диаграммы излучения и эффективной поверхности рассеяния, КПД и устойчивой работы как усилителя, так и аттенюатора без использования принципа суперпозиции и независимости действия [3].

В результате решения упомянутой системы уравнений получены графические изображения в виде двухполюсника, формулы для расчета активной и реактивной компонент такого резистивно-негатронного элемента, прогнозирования уровня преобразования и поглощения, рекуперации и регенерации колебательной энергии в электронной цепи при взаимодействии ЭМ поля с движущимися носителями тока. Они позволяют рассчитать параметры лавинного умножения и время пролета свободных зарядов в «резком» $p-n$ -переходе, зависимости положительной (резистивной) и отрицательной активной проводимости ЭП не только от его электрофизических параметров, но и величины питания постоянным током. Установлена аналитическая форма оператора двухполюсной модели полупроводниковой структуры, отображающая амплитудную зависимость импеданса диода как отношение функции Бесселя первого и нулевого порядка. Известно, что представление этих характеристик в аналитическом виде является обязательным требованием конструктивного синтеза любых микроволновых радиоэлектронных устройств.

Теоретическое исследование амплитудно-зависимых свойств электронной неоднородности проведено в нескольких вариантах: 1) при воздействии переменного потока мощности СВЧ на негатрон с целью выявления изменения внешних характеристик вторичных генераторов колебательной энергии; 2) в случае облучения ЛПД сигналом с варьируемой интенсивностью и частотой, когда изучаются его инерционные процессы, диапазонные и резонансные свойства; 3) при регулировке геометрических размеров мезаструктуры, постоянного тока, напряжения и мощности источника питания и, соответственно, «малосигнальной» проводимости, коэффициента нелинейности негатрона и регенерации управляемой электронной и электродинамической микроволновой системы. Найдены зависимости активной и реактивной составляющих комплексной проводимости ЛПД в зависимости от круговой частоты колебаний; емкости $p-n$ перехода и области дрейфа; ширина запорного участка и эквивалентного слоя умножения, лавинной частоты и характеристического тока, амплитуды первой гармоники СВЧ напряжения. Проведена оценка угла проле-

та и области взаимодействия ЭП в режимах с положительным и отрицательным сопротивлением. Результаты исследования частотной зависимости действительной и мнимой частей импеданса ЛПД в длинной линии при облучении его однотоновым сигналом постоянной интенсивности представлены в виде годографов.

Расчет однопролетного ЛПД типа 2A706 проводился при длине волны 3 см, мощности облучения до 0,1 Вт и разном токе питания, определяемом условиями теплового режима $p+np+$ структуры при «малом» и «большом» сигнале. Показано, что действительная часть импеданса резистивно-негатронного двухполюсника сильно зависит от уровня возмущения ЭМ поля свободными зарядами. В частности, для номинального постоянного тока $I=30$ мА, обусловленного условиями контролируемого электрического пробоя, получено уменьшение абсолютной величины активной части его импеданса на 10–20%. Мнимая часть импеданса полупроводникового ЭП СВЧ имеет слабую зависимость от интенсивности падающего монохроматического сигнала. Например, при токе питания 30 мА она увеличивается по абсолютной величине не более чем на 0,5%. Приведены зависимости активной и реактивной составляющих импеданса ЛПД от параметров источника питания, вычисленные при трех значениях квадрата амплитуды переменного напряжения на диоде. Продемонстрировано, что действительная компонента комплексной проводимости резистивно-негатронного элемента имеет более сильную зависимость от постоянного тока питания, чем реактивная. Причем сигнал с фиксированными параметрами оказывает большее влияние на импеданс ЛПД при меньшей амплитуде воздействующего напряжения. Установлено, что свойства однопролетного ЛПД при СВЧ облучении зондирующим сигналом РЛС могут изучаться методом гармонической линеаризации как сумма составляющих его комплексной проводимости, обусловленных инерционными электронными процессами в p и n областях мезаструктуры. Результаты настоящей работы согласуются с результатами численного моделирования и экспериментального исследования ЛПД, опубликованными другими авторами. Этот факт подтверждает корректность математической модели, проведенного символьного анализа и расчетов СВЧ проводимости кремниевой $p+np+$ мезаструктуры, функционирующей в резистивном и активном режиме. На этом основании составленные аналитические и графические операторы макромодели негатрона, можно рекомендовать для практического применения и верификации перспективных устройств противорадиолокации, использующих ЭП, изготовленных из других полупроводниковых материалов.

Список используемых источников:

1. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Исследование применения усилителя на ЛПД для уменьшения поля рассеяния антенной решетки // Труды Международной научной конференции «Излучение и рассеяние электромагнитных волн – ИРЭМВ 2009». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. С. 528–531.
2. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П. Методология математического моделирования нелинейных волновых и колебательных электрических процессов в изделиях когерентной радио-, микро- и нанoeлектроники. г. Таганрог. Изд-во ЮФУ, 2013. 110 с.

3. Волощенко П.Ю., Волощенко Ю.П.. Основы системного моделирования электрической структуры интеграции сверхбыстродействующих электронных приборов. Ростов-на-Дону. Изд-во ЮФУ, 2014. 94 с.

© 2015, Астахов Л.Д., Примакова О.В.,
Волощенко П.Ю.

Резистивно-негатронная модель лавинно-
пролетного диода

© 2015, Astakhov L.D., Primakova O.V.,
Voloshchenko P.U.

An RC model negatrons avalanche-transit diode