

О. В. Боцула, К. Г. Приходько

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

4, пл. Свободы, Харьков, 61077, Украина

E-mail: oleg.botsula@mail.ru

ДИОД С КАТОДНЫМ СТАТИЧЕСКИМ ДОМЕНОМ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ

Источники СВЧ-шума в сантиметровом и миллиметровом диапазонах с высоким уровнем спектральной плотности мощности шума имеют целый ряд важных применений, среди которых системы связи, автомобильной локации и радиометрии. Однако на сегодняшний день выбор эффективных твердотельных генераторов шума на частотах более 40 ГГц ограничен. Одним из вариантов активного элемента для шумовой генерации являются предлагаемые приборы – диоды с катодным статическим доменом на основе гетероструктуры. В данной работе исследуются статические, импедансные и шумовые характеристики структур GaAs–AlGaAs и AlGaAs–GaAs, в которых за счет профиля легирования на гетеропереходе формируется статический домен сильного поля. Характеристики рассматриваемых диодов сравниваются с характеристиками аналогичных приборов на основе GaAs. Исследование показало существование в диодах участков с отрицательным сопротивлением на частотах, близких к 50 ГГц, а наилучшими характеристиками, с точки зрения генерации шума в диапазоне частот 25...75 ГГц, обладает гетероструктура GaAs–AlGaAs. Результаты исследования позволили определить основные свойства предложенных диодных элементов и являются ориентиром для дальнейшего детального анализа физических процессов в них и практической реализации. Ил. 6. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: диоды, ударная ионизация, гетеропереход, домен, напряженность электрического поля, импеданс, диапазон частот.

Создание источников СВЧ-шума в сантиметровом (см) и миллиметровом (мм) диапазонах с высоким уровнем спектральной плотности мощности шума (СПМШ) является актуальной задачей современной радиофизики, радиолокации, радиоастрономии и твердотельной электроники. Наиболее мощным источником первичного СВЧ-шума в твердотельных приборах является ударная ионизация. Основным способом ее возбуждения является создание высоких напряженностей электрического поля.

Одним из приборов, в которых ударная ионизация приводит к возникновению шумовой генерации, является предложенный ранее GaAs-диод с катодным статическим доменом [1–4]. Такой диод представляет собой $n^+ - n^- - n - n^+$ -структуру, в которой концентрации n^- и n различаются более чем на порядок. В результате на границе раздела n^- - и n -областей формируется стабильная область с большой напряженностью электрического поля (статический домен). Причем, как показывают проведенные ранее исследования, все параметры статического домена определяются именно свойствами $n^- - n$ -перехода и слабо зависят от длины n -области [5].

В состоянии, близком к пробойному, уровень шума в диодах достигал $10^4 \dots 10^5 kT_0$, где T_0 – температура решетки, k – постоянная Больцмана, что и обусловило интерес к ним.

В настоящей работе в качестве возможной модификации рассматривается использование слоев различных материалов для создания в $n^- - n$ -переходе дополнительной неоднородности в виде гетероперехода.

Цель настоящей работы – исследование статических, частотных и шумовых характерис-

тик диодов с катодным статическим доменом и гетеропереходом на границе n^- - и n -областей.

1. Структура диода и модель его описания. Рассмотрены три разновидности диодов, имеющие структуру $n^+ - n^- - n - n^+$ (рис. 1, а): диод на основе GaAs (рис. 1, б) и диоды с использованием гетеропереходов GaAs–AlGaAs и AlGaAs–GaAs (рис. 1, в, г). В GaAs–AlGaAs-диоде (рис. 1, в) n^- -слой является узкозонным материалом (GaAs), а n -область – широкозонный материал (AlGaAs). В этом случае со стороны AlGaAs возникает дополнительный барьер для электронов, который способствует накоплению электронов в области n^- -слоя, а также за счет использования более широкозонного материала в n -области уменьшается вероятность развития ударной ионизации. В AlGaAs–GaAs-диоде (рис. 1, г) в качестве n^- -слоя на катодном контакте используется широкозонный материал (AlGaAs), а n -область – узкозонный материал (GaAs). Подвижность носителей заряда и скорость насыщения в AlGaAs ниже, чем в GaAs, что также должно способствовать накоплению электронов в n -области, но в отличие от первого случая, это свойство должно сохраняться и в сильных электрических полях, когда кинетическая энергия электрона, ускоренного в домене сильного поля, станет больше, чем высота потенциального барьера в $n^- - n$ -переходе.

На сегодняшний день наиболее точный метод моделирования шумовых характеристик диода – метод Монте-Карло, который хорошо зарекомендовал себя при исследовании шумов в коротких диодах [6]. Основная проблема его использования для анализа процессов в диодах с катодным статическим доменом – необходимость проводить расчеты в области полупроводника

больших размеров. Кроме того, для правильного описания полупроводника в предпробойном состоянии необходимо учесть наличие носителей заряда обоих знаков (электронов, дырок) [7].

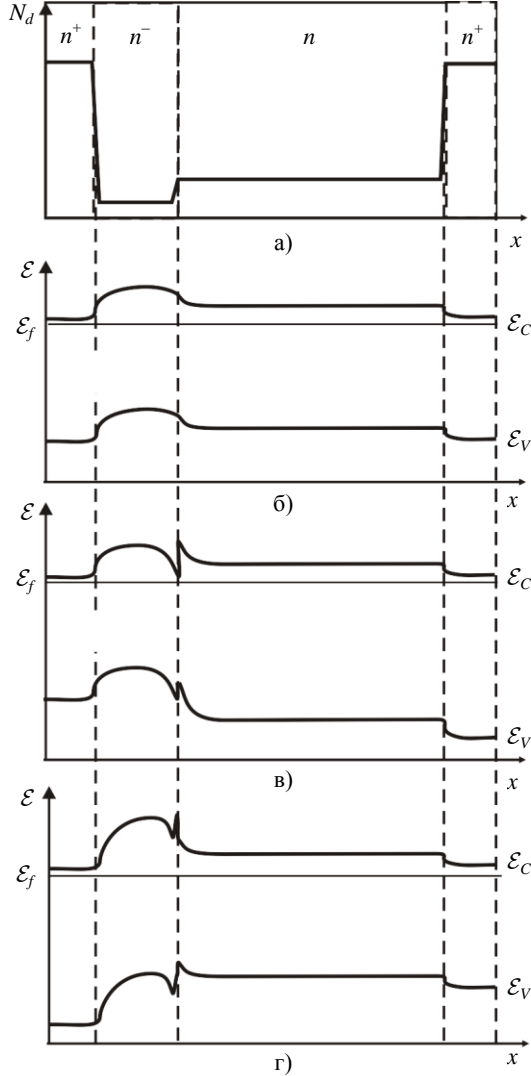


Рис. 1. Структура и профиль легирования (а), энергетические диаграммы GaAs-диода (б), GaAs-AlGaAs-диода (в) и AlGaAs-GaAs-диода (г) при $U = 0$

Была рассмотрена трехдолинная модель зоны проводимости. Все аспекты моделирования электронов методом Монте-Карло аналогичны рассмотренным в работе [6].

Что касается дырок, то их концентрация до возникновения ударной ионизации ничтожно мала и при напряжении, близком к напряжению пробоя, первоначальная генерация пар электрон-дырка производится электронами.

Минимальная энергия, необходимая для ударной ионизации, определяется эффективной массой тяжелых дырок. Поэтому именно зона тяжелых дырок была принята к рассмотрению, а

межзонными процессами в валентной зоне решено пренебречь.

Дисперсионное соотношение для тяжелых дырок учитывает анизотропию закона дисперсии, поверхность постоянной энергии которого является гофрированной [8]:

$$\varepsilon_{\vec{k}} = \varepsilon_{V0} - \frac{\hbar^2}{2m_0} \left(\gamma_1(k_{\perp}^2 + k_{\parallel}^2) - \sqrt{4\gamma_2^2 k^4 + 12(\gamma_3^2 - \gamma_2^2)(k_{\perp}^2 k_{\parallel}^2 + k_y^2 k_z^2)} \right), \quad (1)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – зонные параметры Латинжера; k_x, k_y, k_z – составляющие волнового вектора дырки; $k_{\parallel}^2 = k_x^2$; $k_{\perp}^2 = k_y^2 + k_z^2$; $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$; m_0 – масса электрона; \hbar – модифицированная постоянная Планка; ε_{V0} – энергия потолка валентной зоны. Использование $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ в выражении (1) дало возможность применить линейную аппроксимацию для определения закона дисперсии в соединениях $Al_xGa_{1-x}As$ при различных значениях мольной части алюминия x [9].

В качестве механизмов рассеяния для дырок были рассмотрены рассеяние на деформационном потенциале акустических и оптических фононов, полярное оптическое рассеяние, рассеяние на ионизированных примесях и сплавном потенциале (в $Al_xGa_{1-x}As$).

При расчетах процессов рассеяния с участием дырок закон дисперсии (1) представляется в виде:

$$\varepsilon_{\vec{k}} = \varepsilon_{V0} - \frac{\hbar^2(k_{\perp}^2 + k_{\parallel}^2)|A|}{2m_0} (1 \pm g(\theta, \varphi)),$$

где $g = \sqrt{b^2 + c^2(\sin^2 \theta \cos^2 \theta + \sin^4 \theta \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi)}$; $A = \gamma_1$; $b = \gamma_1/(2\gamma_2)$; $c = \sqrt{12(\gamma_3^2 - \gamma_2^2)}/(2\gamma_2)$; θ и φ – азимутальный и полярный углы волнового вектора в k -пространстве.

Эффективная масса плотности состояний в зоне тяжелых дырок определялась выражением:

$$m_{dhh} = m_0 \left[\frac{1}{4\pi|A|^{\frac{3}{2}}} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{\sin(\theta) d\theta d\varphi}{1 - g(\theta, \varphi)} \right]^{\frac{2}{3}}.$$

Существует большой разброс параметров γ_1, γ_2 и γ_3 : для GaAs – $\gamma_1 = 6,79 \dots 7,2$; $\gamma_2 = 1,9 \dots 2,88$; $\gamma_3 = 2,681 \dots 3,05$; для AlAs – $\gamma_1 = 3,42 \dots 4,04$; $\gamma_2 = 0,67 \dots 1,23$; $\gamma_3 = 1,17 \dots 1,57$ [10]. Наиболее используемые параметры: для GaAs – $\gamma_1 = 6,98$; $\gamma_2 = 2,06$; $\gamma_3 = 2,93$; для AlAs – $\gamma_1 = 3,76$; $\gamma_2 = 0,82$; $\gamma_3 = 1,42$. Для этих парамет-

ров значение эффективной массы плотности состояний тяжелых дырок составляет $0,61 m_0$ для GaAs и $0,786 m_0$ для AlGaAs.

Для вероятности рассеяния на полярных оптических фонах было использовано выражение:

$$W_{\text{ПО}}^{\pm}(\vec{k}) = \frac{e^2 m_0^2 \hbar \omega_0}{4\sqrt{2} A^2 \hbar^4} \left(\frac{1}{\chi_{\infty}} - \frac{1}{\chi_{\text{ст}}} \right) (\varepsilon_{\vec{k}} \mp \hbar \omega_0)^{\frac{1}{2}} \times \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} \frac{(1 + 3 \cos^2 \vartheta)}{k^2 + k'^2 - 2kk' \cos \vartheta} \frac{\sin \vartheta' d\psi d\vartheta}{(1 - g(\vartheta', \psi))^{\frac{3}{2}}},$$

где $\hbar \omega_0$ – энергия оптического фона; $\chi_{\text{ст}}$ и χ_{∞} – статическая и высокочастотная диэлектрическая проницаемости соответственно; ϑ – угол между векторами дырки \vec{k} и \vec{k}' соответственно до и после рассеяния. Для других рассматриваемых механизмов рассеяния использовались соотношения из [9].

Вероятность ударной ионизации используется в виде [11]:

$$W_{ii}(\varepsilon) = 1,29 \cdot 10^{13} \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_p}{\varepsilon_p} \right)^{3,2} \sigma(\varepsilon - \varepsilon_p),$$

где ε – энергия электрона, эВ; ε_p – пороговая энергия ударной ионизации; $\sigma(y)$ – функция Хевисайда. В зависимости от молярной доли алюминия x , пороговая энергия определяется формулой:

$$\varepsilon_p = 0,125(\varepsilon_{\Gamma} + 3\varepsilon_L + 4\varepsilon_X),$$

где ε_{Γ} , ε_L , ε_X – энергии минимумов соответственно долин Г, L, X зоны проводимости, отсчитываемые от потолка валентной зоны.

При переносе электронов через гетеропереход учитывались законы сохранения энергии и импульса [12], причем разрешенными считались переходы между одноименными долинами.

Расчетная область диода выбирается в виде прямоугольника. Для нахождения двумерного распределения потенциала был выбран один из подвидов метода релаксации – многосеточный метод.

2. Статические характеристики диодов.

Распределения напряженности электрического поля и концентрации для трех разновидностей диода ($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As-GaAs}$, $\text{GaAs-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ ($x = 0,3$) и GaAs без гетероперехода) при напряжении питания 60 В показаны на рис. 2, 3.

Из полученных распределений видно, что самая высокая напряженность электрического поля наблюдается в GaAs-диоде. Причем для

GaAs-диода и диода со структурой $\text{GaAs-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ все распределения качественно близки.

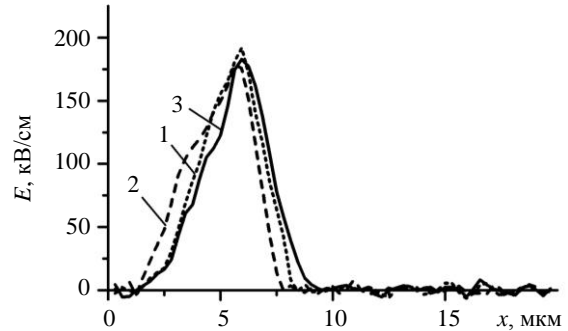


Рис. 2. Распределение напряженности электрического поля в диодах: 1 – GaAs; 2 – GaAs–Al_xGa_{1-x}As; 3 – Al_xGa_{1-x}As–GaAs

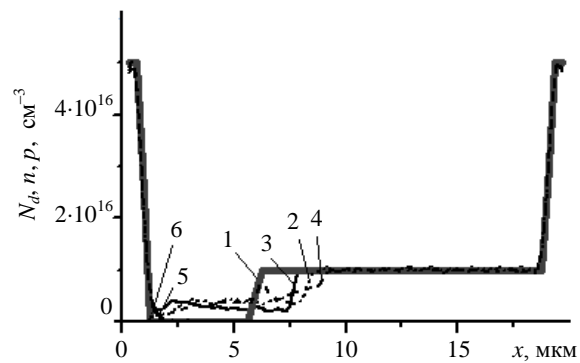


Рис. 3. Распределение примесей и концентрации носителей заряда в диодах: 1 – $N_d(x)$; 2 – $n(x)$, GaAs-диод; 3 – $n(x)$, GaAs–Al_xGa_{1-x}As-диод; 4 – $n(x)$, Al_xGa_{1-x}As–GaAs-диод; 5 – $p(x)$, GaAs-диод; 6 – $p(x)$, Al_xGa_{1-x}As–GaAs-диод

Для диода со структурой $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As-GaAs}$ распределение концентрации носителей заряда практически линейно, за исключением n^- - n -перехода, что приводит к смещению катодного домена на n^- - n -контакте. Также можно отметить более крутые стенки домена и отсутствие виртуального катода на n^- - n -контакте.

Для выбранного напряжения $U = 60$ В характерным является проявление ударной ионизации, которая наблюдается в $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As-GaAs}$ и GaAs-диодах, и появление дырок. Концентрация дырок не превышает $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и еще, по сути, не влияет на процессы в диоде. Такое состояние можно назвать предпробойным; оно представляет интерес с точки зрения генерации шума.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) рассматриваемых диодов показаны на рис. 4. Все полученные характеристики демонстрируют одинаково качественное поведение – увеличение тока до определенного напряжения с тенденцией к насыщению и последующее увеличение тока, связанное с ударной ионизацией в домене сильного поля при больших напряжениях.

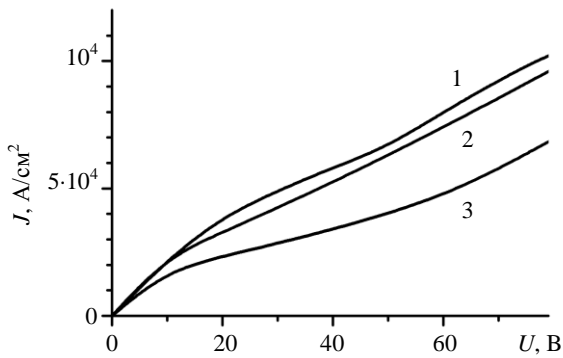


Рис. 4. Вольтамперные характеристики диодов: 1 – GaAs; 2 – GaAs–Al_xGa_{1-x}As; 3 – Al_xGa_{1-x}As–GaAs

Причем ВАХ GaAs–Al_xGa_{1-x}As-диодов и GaAs-диодов похожи, а ВАХ Al_xGa_{1-x}As–GaAs-диодов отличаются меньшей величиной плотности тока. Это свидетельствует об определяющей роли домена сильного поля в формировании характеристик.

3. Импедансные характеристики диодов.

Практическое применение исследуемых структур во многом определяется характером их высокочастотных характеристик.

На примере катодного статического домена показано, что при формировании в образце статического домена сильного поля заметно изменяются динамические характеристики диода в определенной полосе частот, сопротивление образца становится отрицательным [3]. И хотя механизмы возникновения отрицательного динамического сопротивления (ОДС) достаточно сложны и окончательно не выяснены, можно считать, что основную роль при этом играют пролетные эффекты.

Анализ частотных свойств диодов проводился путем определения импедансов в условиях малого сигнала. При этом считалось, что площадь поперечного сечения диода $S = 10^{-4} \text{ см}^2$.

Результаты расчета для всех трех разновидностей диодов в предпробойном состоянии ($U = 60 \text{ В}$) показаны на рис. 5.

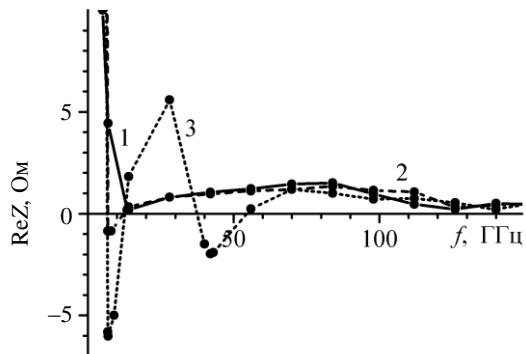


Рис. 5. Зависимость активной составляющей импеданса в предпробойном состоянии при напряжении $U = 60 \text{ В}$: 1 – GaAs-диод; 2 – диод Al_xGa_{1-x}As–GaAs; 3 – диод GaAs–Al_xGa_{1-x}As

Значения $\text{Re}Z$ получены для частот в диапазоне от 2 до 150 ГГц. Зависимости, построенные с их использованием, позволяют оценить импедансные характеристики диодов.

Характерной особенностью анализируемых кривых является наличие отрицательного динамического сопротивления в определенных диапазонах частот. Активная составляющая импеданса меняется с изменением частоты не монотонно и в некоторых полосах частот принимает отрицательные значения. Можно утверждать, что для диодов на основе однотипного материала (GaAs) составляющая импеданса положительна во всей рассматриваемой полосе частот и имеет минимумы, близкие к нулю, на частотах примерно 12...15 ГГц. Для диода со структурой Al_xGa_{1-x}As–GaAs наблюдается наличие полосы отрицательной составляющей импеданса в диапазоне 5...14 ГГц. Максимальное значение отрицательной составляющей импеданса для диода площадью $S = 10^{-4} \text{ см}^2$ составляет 0,87 Ом.

Диод со структурой GaAs–Al_xGa_{1-x}As имеет два участка, в которых составляющая импеданса отрицательна, на частотах 5...14 ГГц (максимальное значение 6 Ом) и на частотах 37...50 ГГц (максимальное значение 1,97 Ом).

При более низких напряжениях, например 40 В, участки ОДС не наблюдаются.

Участки ОДС в структуре GaAs–Al_xGa_{1-x}As на частотах более 37...50 ГГц можно объяснить пролетными явлениями в домене сильного поля. В связи с инерционностью процесса ударной ионизации могут возникать некоторые фазовые соотношения между лавинным током, напряжением и дрейфом электронных сгустков в области умножения. Стимулом для таких процессов является наличие отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП) в стенках домена при малых напряженностях поля.

Таким образом, диоды с катодным статическим доменом сильного поля в условиях начала развития ударной ионизации обладают отрицательным динамическим сопротивлением в области высоких частот и, следовательно, могут служить активными элементами в СВЧ-цепях на частотах до 60 ГГц. Причем в области частот выше 50 ГГц зависимость реальной части импеданса от частоты слабая, что должно облегчить согласование диода с высокочастотным трактом.

4. Шумовые характеристики диодов.

Для определения шумовых характеристик диода проводится анализ флуктуации тока $i(t)$. В общем случае наблюдения проводятся периодически, через определенный промежуток времени Δt , который соответствует дискретизации с частотой $f_e = 1/\Delta t$. Согласно теореме Котельникова, если для частоты дискретизации справедливо нера-

венство $f_e > 2f_{\max}$, где f_{\max} – наибольшая частота спектра функции $x(t)$, то функция $x(t)$ однозначно воспроизводится по дискретным значениям $x(k/f_e)$, $k = 0; \pm 1; \pm 2; \dots$. Данное условие выполняется автоматически, поскольку временной шаг выбирается из условия $\frac{1}{\Delta t} \gg W(\varepsilon)$, где $W(\varepsilon)$ – частота рассеяния электронов, которая гораздо больше рассматриваемых частот ($W(\varepsilon) \sim 10^{12} \dots 10^{13} \text{с}^{-1}$).

На первом этапе определяется автокорреляционная функция по формуле [13]

$$K(\tau) = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{N-k} I_i I_{i+k},$$

где $\tau = k\Delta t$ – момент времени, в котором вычисляется автокорреляционная функция; I_i – значение плотности тока в моменты времени $i\Delta t$. Затем путем численного интегрирования вычисляется $S(f)$. Шаг дискретизации по частоте Δf

должен удовлетворять неравенству $\Delta f < \frac{1}{2T}$, где

T – продолжительность данного сигнала. Таким образом, самыми главными параметрами являются граничная частота $f_0 = \frac{1}{T}$ и частота Найквиста

$f_N = \frac{N}{2T}$, которая является верхней частотной границей.

Спектральные характеристики диодов показаны на рис. 6.

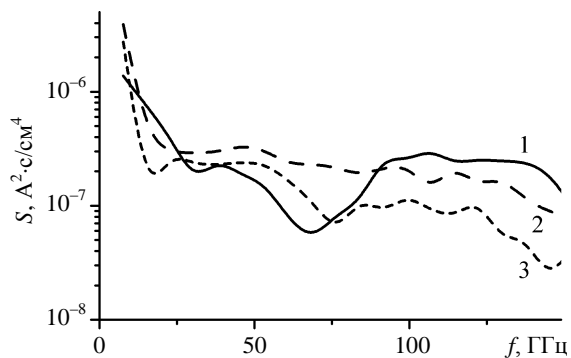


Рис. 6. Спектральные характеристики диодов при напряжении $U = 60 \text{ В}$: 1 – диод GaAs; 2 – диод GaAs–Al_xGa_{1-x}As; 3 – диод Al_xGa_{1-x}As–GaAs

Полученные зависимости показывают, что в диоде с гетеропереходом, по сравнению с диодом на основе GaAs, происходит увеличение спектральной плотности мощности шума (СПМШ) в низкочастотной области спектра (в диапазоне 50...100 ГГц). Особенно это касается диода со структурой GaAs–Al_xGa_{1-x}As, в котором СПМШ

почти на порядок выше, чем в диоде GaAs. Кроме того, для этой структуры СПМШ практически постоянна в широком интервале частот, что является положительным свойством для практического использования.

Для более высоких частот спектральная плотность шума в диодах с гетеропереходами GaAs–AlGaAs либо ниже, либо близка к спектральной плотности шума в диодах на GaAs.

Нужно отметить, что диоды на основе GaAs и соединения Al_xGa_{1-x}As, которое было рассмотрено, по многим параметрам очень близки, поэтому анализ диода с катодным статическим доменом на основе гетероструктуры, содержащей другие, более контрастные по свойствам, полупроводники, с целью получения высоких уровней СПМШ может стать целью дальнейших исследований.

Выводы. Таким образом, в результате проведенных расчетов показано, что использование гетероперехода на n^- - n -переходе в диоде с катодным статическим доменом слабо влияет на статические характеристики диодов. Диоды с катодным статическим доменом в условиях, близких к развитию ударной ионизации, обладают отрицательным динамическим сопротивлением в области высоких частот и, следовательно, могут служить активными элементами в СВЧ-цепях. Из трех разных диодов, которые были проанализированы (GaAs, GaAs–Al_xGa_{1-x}As и Al_xGa_{1-x}As–GaAs), самую широкую полосу ОДС имеют структуры GaAs–Al_xGa_{1-x}As. Область отрицательного сопротивления охватывает диапазон частот до 60 ГГц. В области 50...100 ГГц зависимость реальной части импеданса от частоты слабая, что должно облегчить согласование диода с высокочастотным трактом. В диоде с гетеропереходом происходит увеличение спектральной плотности шума в низкочастотной области спектра (в диапазоне 25...75 ГГц).

Библиографический список

1. Золотарев Е. С. Модели диодов с катодным статическим доменом / Е. С. Золотарев, Э. Д. Прохоров // Радиотехника и электрон. – 1990. – Вып. 35, № 10. – С. 2221–2223.
2. Прохоров Э. Д. Влияние параметров прикатодной области диода с катодным статическим доменом на порог генерации СВЧ-шума / Э. Д. Прохоров, О. В. Боцула, С. Б. Соколов // Радиофизика и электрон. – 2010. – 1(15), № 1. – С. 91–95.
3. Прохоров Э. Д. Шумовой спектр диода с катодным статическим доменом / Э. Д. Прохоров, С. Н. Скоробогатова // Радиотехника и электрон. – 1985. – Вып. 31, № 7. – С. 1447–1449.
4. А. с. № 1591775 СССР. Диод для генерации СВЧ-шума / Э. Д. Прохоров, Е. С. Золотарев. – 26. 07. 1989.
5. Prokhorov E. D. Diode with cathode static domain as the source of HF-noise / E. D. Prokhorov, O. V. Botsula // 19th Int. Crimean Conf. Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo'2009): Proc. – Vol. 1. – P. 93–94.

6. Monte Carlo simulation of diodes with a cathode static domain / E. D. Prokhorov, O. V. Botsula, A. V. Dyadchenko, I. A. Gorbunov // 23rd Int. Crimean Conf. Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo'2013): Proc. – Vol. 1. – P. 139–140.
7. Cook R. K. Diffusion effects “Ballistic Transport” / R. K. Cook, J. Frey // IEEE Trans. Electron Devices. – 1981. – ED-28, Iss. 8. – P. 951–953.
8. Adachi S. GaAs, AlAs, and Al_xGa_{1-x}As: Material parameters for use in research and device applications / S. Adachi // J. Appl. Phys. – 1985. – 58, N 3. – P. 1–29.
9. Vurgaftman I. Band parameters for III–V compound semiconductors and their alloys / I. Vurgaftman, J. R. Meyer, L. R. Ram-Mohan // J. Appl. Phys. – 2001. – 89, N 11. – P. 5815–5875.
10. Jacoboni C. The Monte Carlo method for the solution of charge transport in semiconductors with applications to covalent materials / C. Jacoboni, L. Reggiani // Rev. Modern Phys. – 1983. – 55, N 3. – 1983. – P. 675–705.
11. Experimental and Monte Carlo Analysis of Impact-Ionization in AlGaAs/GaAs HBT's / C. Canali, P. Pavan, P. Lugli et al. // IEEE Transaction on electron devices. – 1996. – 43, N 11. – P. 1769–1777.
12. Garcias-Salva P. Effects of the emitter-base effective-mass difference on the collector current in InP/InGaAs HBTs A Monte Carlo study / P. Garcias-Salva, J. M. Lopez-Gonzalez, L. Prat // Microelectronic Engineering. – 2000. – 51–52. – P. 415–424.
13. Хокни Р. Численное моделирование методом частиц / Р. Хокни, Дж. Иствуд; пер. с англ. под ред. Р. З. Сагдеева и В. И. Шевченко. – М.: Мир, 1987. – 640 с.

Рукопись поступила 03.07.2015.

O. V. Botsula, K. H. Prykhodko

HETEROSTRUCTURE-BASED DIODE WITH THE CATHODE STATIC DOMAIN

The sources of noise in the microwave and mm-cm bands with high noise power spectral density have a number of important applications, including communications, automotive location and radiomeasurement. However, there is not many efficient solid-state generators of noise at frequencies above 40 GHz. The proposed active element for noise generating (heterostructure-

based diodes with the cathode static domain) may be one of them. In these paper the static, impedance and noise characteristics of the GaAs–AlGaAs and AlGaAs–GaAs-based structures were investigated. In this structures the static domain of the strong field is formed due to doping profile at the heterojunction. The characteristics of considered diodes are compared to those of similar GaAs-based devices. The existence of regions in diodes with negative resistance at frequencies close to 50 GHz was shown. The GaAs–AlGaAs-based heterostructure has the best performance for a noise generation in the frequency range of 25...75 GHz. The main properties of proposed structures are determined and can be used for further detailed analysis of physical processes of the structures and manufacturing.

Key words: impact ionization, heterojunction, domain, electric field strength, impedance, frequency range.

О. В. Боцула, К. Г. Приходько

ДИОД З КАТОДНИМ СТАТИЧНИМ ДОМЕНОМ НА ОСНОВІ ГЕТЕРОСТРУКТУРИ

Джерела НВЧ-шуму в сантиметровому та міліметровому діапазонах з високим рівнем спектральної густини потужності шуму мають низку важливих застосувань, серед яких системи зв'язку, автомобільної локації та радіометрії. Однак на цей час вибір ефективних твердотільних генераторів шуму на частотах понад 40 ГГц обмежений. Одним із варіантів активного елемента для генерації шуму є запропоновані прилади – діоди з катодним статичним доменом на основі гетероструктури. У роботі досліджуються статичні, імпедансні та шумові характеристики структур GaAs–AlGaAs і AlGaAs–GaAs, в яких за рахунок профілю легування на гетеропереході формується статичний домен сильного поля. Характеристики розглядуваних діодів порівнюються з характеристиками аналогічних приладів на основі GaAs. Дослідження показало існування в діодах ділянок з від'ємним опором на частотах, близьких до 50 ГГц, а найкращі характеристики, з точки зору генерації шуму в діапазоні частот 25...75 ГГц, має гетероструктура GaAs–AlGaAs. Результати дослідження дозволили визначити основні властивості запропонованих діодних елементів і є орієнтиром для подальшого детального аналізу фізичних процесів у них та практичної реалізації.

Ключові слова: діоди, ударна йонізація, гетероперехід, домен, напруженість електричного поля, імпеданс, діапазон частот.