

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ GaAs ДИОДОВ ГАННА С $Al_xGa_{1-x}As$ И GaP_xAs_{1-x} КАТОДАМИ

И. П. Стороженко, Ю. В. Аркуша, Э. Д. Прохоров

*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина,
4, пл. Свободы, Харьков, 61077, Украина
E-mail: storozhenko_igor@mail.ru*

С помощью двухуровневой модели междолинного переноса электронов (МПЭ) в полупроводниках исследована работа GaAs диодов Ганна с $Al_xGa_{1-x}As$ и GaP_xAs_{1-x} катодами. Показаны основные закономерности и особенности работы приборов с МПЭ, у которых катодным контактом является изотипный, прямосмещенный гетеропереход. Вычислены энергетические и частотные характеристики. Определены предельные рабочие частоты. Ил. 5. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: междолинный перенос, прямосмещенный гетерокатод, дипольный домен, эффективность генерации.

Одним из способов увеличения предельных частот приборов с МПЭ (ПМПЭ) является использование изотипного гетероперехода на катодном контакте. В зависимости от свойств гетеропереходной пары полупроводников в активной области диода возможно возникновение обогащенного (прямо смещенный контакт) или обедненного электронами слоя (обратно смещенный контакт). Каждый из этих вариантов приводит к своим особенностям возникновения волн пространственного заряда в активной области прибора у катодного контакта, и как следствие, к различию в выходных характеристиках. Нами исследуется работа ПМПЭ на основе GaAs с прямосмещенным гетеропереходом на катодном контакте.

Идея использования такого гетерокатода заключается в предположении, что инжекция горячих электронов через гетеропереход приведет к сокращению области начального разогрева электронов у катодного контакта, повышению выходной мощности, коэффициента преобразования мощности источника питания в высокочастотную мощность (КПД, эффективность работы) и придельной рабочей частоты. Предполагается, что энергия инжектируемых электронов должна равняться энергетическому разрыву зоны проводимости [1, 2].

По отдельным одиночным исследованиям было определено, что применение такого гетероперехода в качестве катодного контакта в целом улучшает высокочастотные свойства ПМПЭ [2, 3]. Вместе с тем в публикациях существует неоднозначность трактовки физических явлений, лежащих в основе улучшения высокочастотных свойств ПМПЭ [2-4].

Все исследования эффекта МПЭ и ПМПЭ как теоретические, так и экспериментальные были проделаны только для одной $Al_xGa_{1-x}As$ -GaAs гетеропереходной пары. В качестве катодного контакта использовался $Al_xGa_{1-x}As$ с различным уров-

нем легирования. Обобщающих исследований в этом направлении не проводилось. Выбор гетеропереходной пары к GaAs основывается на том, что полупроводник в катоде должен иметь наименьший по энергии Г-минимум зоны проводимости по сравнению с L- и X-минимумами. Энергетический зазор между Г-минимумом и близлежащими L- и X-минимумами не должен быть меньше $\approx 0,1$ эВ и больше ширины запрещенной зоны. Рассогласование кристаллических решеток не должно превышать 7-15%. Разрыв зоны проводимости должен быть близким к энергетическому зазору между Г-минимумом и ближайшей к нему боковой долиной [2]. Анализ гетеропереходных пар полупроводников показал, что всем перечисленным условиям может удовлетворять $Al_xGa_{1-x}As$ -GaAs и GaP_xAs_{1-x} -GaAs.

1. Методика исследования. Энергетическая диаграмма исследуемого диода представлена на рис. 1. Катодом n : GaAs-активной области является слой n : $Al_xGa_{1-x}As$ или n : GaP_xAs_{1-x} . Концентрация ионизированных доноров n_{0K} и процентное содержание компонент x в катоде варьировалось. Используемые в вычислениях электрофизические параметры тройных полупроводников задавались линейной зависимостью параметров от процентного содержания компоненты GaP или AlAs (x) в соответствующем соединении. Параметры GaAs, GaP и AlAs взяты из работы [5]. Так энергетический зазор между Г-долиной и энергетически ближайшей к ней L-долиной для GaP_xAs_{1-x} задается выражением $\Delta = 0,36(1-x) - 0,21x$ эВ, а для $Al_xGa_{1-x}As$ $\Delta = 0,36(1-x) - 0,5x$ эВ. Энергия электронного сродства χ в GaAs - 4,07 эВ, GaP - 3,24 эВ и AlAs - 2,97 эВ. Концентрация ионизированных доноров в активной области n_0 задавалось соотношением $n_0 l_a = 2,5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$, где l_a - длина активной области.

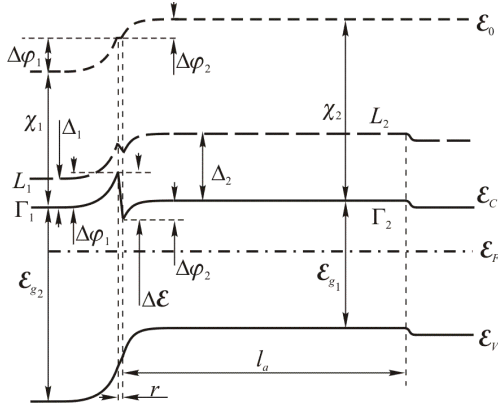


Рис. 1 Диаграмма энергетических зон диода с изотипным прямосмещенным гетерокатодом: E_0 - уровень вакуума; E_C - дно зоны проводимости (энергетический минимум Γ -долины); E_F - энергетический уровень Ферми; E_V - потолок валентной зоны; E_g - ширина запрещенной зоны; Γ - энергетический минимум Γ -долины; L - энергетический минимум L -долины; Δ - энергетический зазор между минимумами Γ - и L -долинами; χ - энергия электронного сродства; $\Delta\phi$ - изгиб зоны проводимости; ΔE - энергетический барьер зоны проводимости; r - длина переходной области между слоями химически однородных полупроводников; l_a - длина активной области: 1 - $Al_xGa_{1-x}As$ или GaP_xAs_{1-x} ; 2 - GaAs

Вычисления велись в предположении о растянутом гетеропереходе. Между слоями химически однородных полупроводников существует переходная область длиной $r < 0,07$ мкм [2]. Зона проводимости и валентная зона искривляются аналогично химически резкому гетеропереходу, но не имеют точек разрыва. Отсутствие точек разрыва облегчает решение системы уравнений двухуровневой модели МПЭ [6], которая используется в исследовании. Модель включает в себя уравнения непрерывности (1), баланса энергии (2), плотности тока (3) для Γ - и L -долин зоны проводимости и уравнения Пуассона (4)

$$\frac{\partial n_i}{\partial t} = -\frac{1}{e} \frac{\partial J_i}{\partial z} - \frac{n_i}{\tau_{ni}} + \frac{n_j}{\tau_{nj}}; \quad (1)$$

$$\frac{3}{2} \kappa \frac{\partial n_i T_i}{\partial t} = J_i \left(E + \frac{1}{e} \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \frac{5}{2} \kappa \frac{1}{e} \frac{\partial (J_i T_i)}{\partial z} - \kappa \frac{n_i T_i}{\tau_{ei}} + \kappa \frac{n_j T_j}{\tau_{ej}}; \quad (2)$$

$$J_i = en_i \mu_i E + n_i \mu_i \frac{\partial \phi}{\partial z} - \kappa \mu_i \frac{\partial (n_i T_i)}{\partial z}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial E}{\partial z} = \frac{4\pi e}{\epsilon} n_i + n_j - n_0, \quad (4)$$

где i, j - индексы, определяющие тип долины зоны проводимости; n_i, μ_i, J_i, T_i - соответственно концентрация, подвижность, плотность тока и температура электронов в i -й долине; $1/\tau_{ni}$ и $1/\tau_{ei}$ - обратные времена релаксации электронов, усред-

ненные соответственно по концентрации и энергии в i -й долине; ϕ - электростатический потенциал в области гетероперехода в отсутствии приложенного к диоду напряжения; E - напряженность электрического поля; n_0 - концентрация ионизированных доноров; ϵ - диэлектрическая проницаемость; e - модуль заряда электрона; κ - постоянная Больцмана; t - время; z - координата.

Для изотипных $n-n$ -гетеропереходов суммарная величина изгиба зоны проводимости задается разностью работ выхода электронов в полупроводниках с одинаковым уровнем легирования:

$$\Delta\phi = \Delta\phi_1 - \Delta\phi_2 = \chi_2 - \chi_1 + 1,5 \kappa T_0 \ln \left\{ \frac{m_1}{m_2} \right\}, \quad (5)$$

где $\Delta\phi$ - величина энергетического изгиба зоны проводимости; χ - энергия электронного сродства; m - эффективная масса электронов в Γ -долине; индекс указывает полупроводник (рис. 1). В случае прямо смещенного гетероперехода $\Delta\phi_1 > 0$, $\Delta\phi_2 < 0$. При одинаковом уровне легирования катода и активной области энергетический барьер $\Delta E = \Delta\phi$. Если концентрация доноров в катоде превышает концентрацию доноров в активной области, то ΔE становится меньше, чем $\Delta\phi$. Учет различия в уровнях легирования катода и активной области происходит при интегрировании системы уравнений (1)-(4). В данной работе пренебрегается туннельными явлениями и поверхностными состояниями на границе раздела полупроводников.

Электростатический потенциал в области гетероперехода в отсутствии приложенного к диоду напряжения ϕ находился из совместного численного решения уравнения Пуассона (6) и уравнения (5).

$$\frac{d^2 \phi}{dz^2} = \frac{4\pi e^2}{\epsilon} n_0 \left(1 - \exp \left\{ -\frac{\phi}{\kappa T_0} \right\} \right). \quad (6)$$

Напряжение на диоде задавалось выражением $U = U_0 + U_1 \sin(2\pi ft)$, где U_0 - напряжение смещения; U_1 - амплитуда колебания напряжения; f - частота. В целях исключения переходных процессов КПД диодов вычислялось для второго и третьего периодов колебаний. Температура кристаллической решетки $T_0 = 300$ К.

2. Выходные характеристики. В гетерокатоде часть электронов переходит из катода в активную область. В катоде возникает обедненный электронами слой, а в активной области обогащенный. В области пространственного заряда гетероперехода электрическое поле направлено противоположно внешнему полю.

Рассмотрим процессы в диоде при одинаковом уровне легирования активной области и

катода. В диоде с гетерокатодом в области пространственного заряда гетероперехода происходит всплеск температуры электронного газа T_{Γ} . Максимальное значение T_{Γ} слабо зависит от x в области $x = 0,2 \div 0,3$ и составляет ≈ 480 К (0,062 эВ) для $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}\text{-GaAs}$ и ≈ 510 К (0,066 эВ) для $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As-GaAs}$ гетероперехода. При любом x максимальная энергия инжектируемых электронов меньше, чем $\Delta\phi$. По-видимому, это связано со значительным рассеянием электронов на полярных оптических фононах [1] при малых x и на неэквивалентных междолинных фононах при больших x . В обогащенной электронами области T_{Γ} падает до температуры кристаллической решетки. В диодах возникает неустойчивость заряда, напоминающая обогащенный слой (в переднем фронте неустойчивости заряда отсутствует обедненный электронами слой). КПД и выходная мощность при росте x , а значит, и $\Delta\phi$ незначительно возрастают в диодах с $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ (рис. 2, кривая 1) и с $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ катодом (рис. 3, кривая 1).

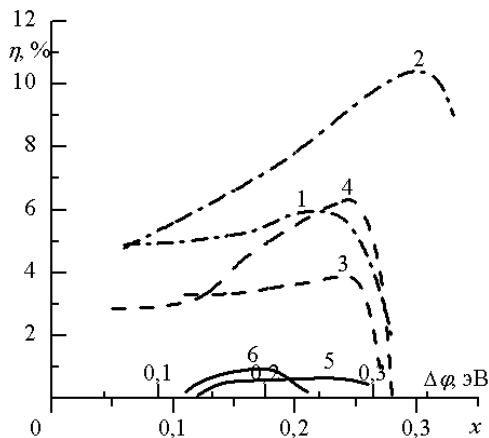


Рис. 2. Зависимость КПД от состава $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -катода и изгиба зоны проводимости $\Delta\phi$ GaAs-диодов с разной длиной активной области l_a и концентрации доноров в катоде n_{0K} : 1-2,5 мкм, 10^{16} см $^{-3}$; 2-2,5 мкм, $8 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$; 3-1,5 мкм, $1,7 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$; 4-1,5 мкм, $9 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$; 5-0,8 мкм, $3,1 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$; 6-0,8 мкм, $9 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$. Сплошные кривые - диоды с длиной активной области 0,8 мкм; пунктирные - диоды с длиной активной области 1,5 мкм; штрихпунктирные - диоды с длиной активной области 2,5 мкм

По-видимому, кроме $\Delta\phi$, на процессы зарождения неустойчивостей заряда большое влияние оказывают энергетический зазор Δ и подвижность электронов в Γ -долине μ_{Γ} , которые в $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ и $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ уменьшаются при росте x . Сложность процессов заключается в том, что, как оказалось, влияние Δ , μ_{Γ} , $\Delta\phi$ и n_{0K} на зарождение неустойчивостей заряда в диоде является комплексным. Влияние одного параметра без учета другого сильно искажает процесс зарождения неустойчивостей заряда.

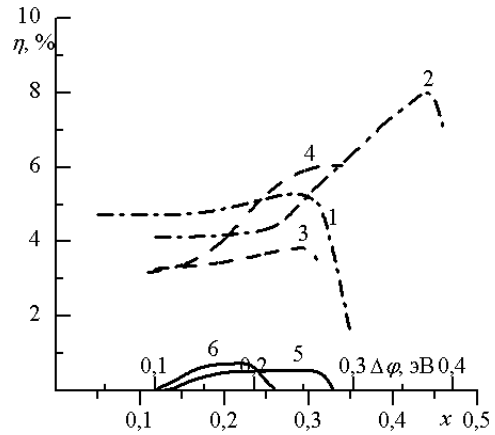


Рис. 3. Зависимость КПД от состава $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ -катода и изгиба зоны проводимости $\Delta\phi$ GaAs-диодов при разной длине активной области l_a и концентрации доноров в катоде n_{0K} : 1-2,5 мкм, 10^{16} см $^{-3}$; 2-2,5 мкм, $8 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$; 3-1,5 мкм, $1,7 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$; 4-1,5 мкм, $9 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$; 5-0,8 мкм, $3,1 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$; 6-0,8 мкм, $9 \cdot 10^{16}$ см $^{-3}$. Сплошные кривые - диоды с длиной активной области 0,8 мкм; пунктирные - диоды с длиной активной области 1,5 мкм; штрихпунктирные - диоды с длиной активной области 2,5 мкм

Уменьшение Δ неизбежно приводит к увеличению доли рассеяния электронов на междолинных центрах рассеяния и росту концентрации электронов в боковых долинах катода. Влияние $\Delta\phi$ более сложное. С одной стороны, увеличение T_{Γ} , которое происходит при росте $\Delta\phi$, приводит к росту заселенности L -долин n_L . С другой стороны, возрастание $\Delta\phi$ увеличивает обедненную электронами область, что уменьшает концентрацию как в Γ -, так и в L -долинах. Суммарное воздействие $\Delta\phi$ и Δ таково, что при одинаковом уровне легирования катода и активной области концентрация электронов в боковых долинах $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ и $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ возрастает с x , но остается незначительной по сравнению с уровнем легирования (рис. 4, кривая 1). В активной области у катода возникает всплеск концентрации электронов в L -долинах, максимум которого незначительно растет при увеличении x . Локальное уменьшение подвижности μ_{Γ} или возрастание концентрации электронов в L -долинах увеличивает на соответствующей области падение напряжения, что стимулирует МПЭ и формирование неустойчивости заряда. При этом определяющей причиной повышения КПД, по всей видимости, является комплексное взаимодействие Δ , μ_{Γ} . Влияние же $\Delta\phi$ и всплеска электронной температуры в гетеропереходе на наш взгляд является в лучшем случае вспомогательным. Это предположение подтверждает тот факт, что влияние только $\Delta\phi$ (все параметры полупроводника в катоде, кроме энергии электронного сродства соответствуют GaAs) не приводит к возникновению дипольных доменов. В то же время учет Δ или

рассеяния на сплавном потенциале [7], которые уменьшают подвижность электронов в катоде, приводит к режиму с дипольными доменами.

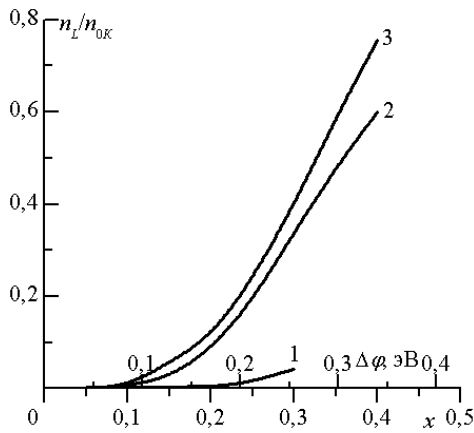


Рис. 4. Зависимость концентрации электронов в L -долинах $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ -катода, нормированной на уровень легирования катода от процентного содержания GaP, и изгиба зоны проводимости $\Delta\varphi$ в $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ -GaAs гетерокатоде GaAs-диодов с длиной активной области 2,5 мкм при различном уровне легирования катода: 1 - 10^{16} см^{-3} ; 2 - $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$; 3 - $8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$

При повышении уровня легирования $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ или $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ происходит ряд важных изменений в гетерокатоде. Во-первых, уменьшаются энергетический барьер гетероперехода $\Delta\mathcal{E}$ и изгиб зоны проводимости в катоде $\Delta\varphi_1$. Изгиб зоны проводимости со стороны активной области $\Delta\varphi_2$ возрастает. Так что размер обогащенного слоя гетероперехода становится больше. Во-вторых, возрастает температура электронов в области пространственного заряда гетероперехода. Например, для $\text{Al}_{0,3}\text{Ga}_{0,7}\text{As}$ -GaAs гетерокатода с $n_{0K}=5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ максимальная температура электронов составляет $\approx 1121 \text{ K}$ (0,145 эВ) и для $\text{GaP}_{0,3}\text{As}_{0,7}$ -GaAs $\approx 997 \text{ K}$ (0,129 эВ). Причем вне области пространственного заряда гетероперехода, в активной области у катода температура электронного газа уже не падает до температуры T_0 , как при одинаковых уровнях легирования катода и активной области. В третьих, значительно возрастает концентрация электронов в L -долинах катода (рис. 4, кривые 2, 3). Высокая концентрация электронов в боковых долинах приводит к увеличению падения напряжения на гетерокатоде. Как следствие всех вышеизложенных факторов в совокупности в активной области формируются дипольные домены. КПД и выходная мощность диодов возрастают (рис. 2, 3, кривые 1, 2).

Так как при увеличении содержания GaP или AlAs в соединениях уменьшается Δ , то существует предельное значения содержания этих компонент. Из-за слишком высокой концентрации электронов в боковых долинах гетерокатода неустойчивости заряда в активной области перестают форми-

роваться. В катодной области возникает статический домен. Генерация колебаний тока срывается.

Зависимость КПД от уровня легирования катода имеет монотонный характер со слабовыраженным максимумом (рис. 5).

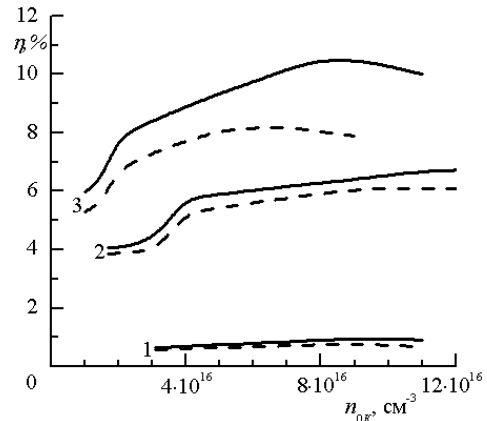


Рис. 5. Зависимость КПД от концентрации доноров в катоде GaAs-диодов с разной длиной активной области: 1-0,8 мкм; 2-1,5 мкм; 3-2,5 мкм. Сплошные кривые - диоды с $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -катодом, пунктирные - диоды с $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ -катодом

При уменьшении длины активной области диода электронные процессы, происходящие в диоде, в целом не претерпевают значительных изменений, что видно из сохранения характера зависимости КПД от состава соединения в катоде (рис. 2, 3, кривые 3, 4). Для диодов с длиной активной области равной 0,8 мкм существует уже минимальное значение x , при котором становится возможна генерация колебаний тока (рис. 2, 3, кривые 5, 6).

С уменьшением длины активной области и соответственно с увеличением рабочей частоты КПД и выходная мощность диодов падают, как и характерно для всех диодов Ганна (рис. 6). КПД диодов с $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -катодом во всем диапазоне частот незначительно превышает КПД диодов с $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ -катодом. По-видимому, это связано с тем, что при одинаковой величине $\Delta\varphi$ энергетический зазор между долинами Δ в $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ принимает меньшее значение, чем в $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$. Экстраполяция зависимости КПД от частоты дает возможность выявить предельные рабочие частоты исследуемых диодов. Максимальная рабочая частота GaAs-диода с $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -катодом составляет $\approx 135 \text{ ГГц}$, с $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ -катодом - $\approx 130 \text{ ГГц}$. На рис. 6 для сравнения приведена зависимость КПД от частоты GaAs-диода Ганна с гомогенным n^+ - n катодным контактом. Во всем диапазоне частот такие диоды уступают по КПД GaAs-диодам с $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ - и $\text{GaP}_x\text{As}_{1-x}$ -катодом. Аналогичные соотношения и по выходной мощности. Например, при длине активной области равной 1,5 мкм и одинаковом уровне легирования $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ -катода и активной области максимальная плотность выход-

ной мощности составляет $\approx 2,9$ кВт/см², при $n_{0K} = 9 \cdot 10^{16}$ см⁻³ - ≈ 5 кВт/см², а в $n^+ - n - n^+$: GaAs-дио-
дах $\approx 2,7$ кВт/см².

По результатам эксперимента [2] GaAs-
диоды площадью сечения $0,02 \times 0,02$ см² и с
Al_{0,23}Ga_{0,77}As-катодом в непрерывном режиме при
 $l_a = 2$ мкм имели выходную мощность 60 мВт с
КПД = 1,5% и при $l_a = 1,5$ мкм, 45 мВт с
КПД=0,35%. GaAs-диоды с гомогенным $n^+ - n$ -
катодом при $l_a = 2$ мкм имели выходную мощ-
ность 25 мВт с КПД=0,45%, а при $l_a = 1,5$ мкм СВЧ
генерации не происходило. Лучшие характери-
стики имели GaAs-диоды с Al_{0,3}Ga_{0,7}As-катодом в
работах [3, 8]. В диапазоне частот $66 \div 96$ ГГц
диоды с $l_a = 1$ мкм имели выходную мощность
 $53 \div 2,5$ мВт с КПД=1 \div 1,6%.

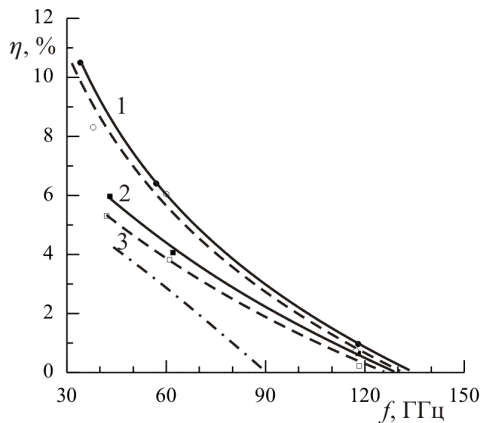


Рис. 6. Зависимость КПД от частоты: 1 - оптимальная кон-
центрация доноров в катоде; 2 - концентрации доноров в катоде и
активной области равны; 3 - GaAs-диод с $n^+ - n$ -катодом.
Сплошные кривые - диоды с Al_xGa_{1-x}As-катодом; пунктирные
- диоды с GaP_xAs_{1-x}-катодом; штрихпунктирные - GaAs-диоды
с омическим $n^+ - n$ -катодом

Выводы. Таким образом, прямосмещен-
ный гетеропереход на катодном контакте в GaAs-
диодах может приводить к возникновению режи-
ма работы с дрейфом дипольных доменов. Эф-
фективность генерации колебаний тока и выход-
ная мощность таких диодов должна быть в
 ≈ 2 раза выше, чем GaAs-диодов с гомогенным $n^+ - n$ -
катодным контактом. Установлено влияние на
выходные характеристики диодов различных
электрофизических параметров соединения в ка-
тоде. При этом определяющая роль, по всей ви-
димости, принадлежит энергетическому зазору
между долинами и подвижности электронов в до-
линах катода. Также установлено, что существует
оптимальное сочетание состава полупроводнико-
вого соединения и концентрации доноров в като-
де, при котором эффективность генерации коле-
баний тока достигает максимальных значений.

Можно предположить улучшение высо-
кочастотных свойств приборов на основе других

полупроводниковых соединений A₃B₅ с соответ-
ствующим гетерокатодом

1. Tomizawa K., Awano Y., Hashizume N., Kawashina M. Simu-
lation on near ballistic electron transport in submicron GaAs
diode with Al_xGa_{1-x}As/GaAs heterojunctions cathode // IEEE
Proceedings. - 1985. - 1132. - N1. - P.37-41.
2. Grenwald Z., Woodard P. W., Colawa A. R., Estman L. F. The
effect of a high energy injection on the performance of mm
wave Gunn oscillators // Solid State Electron. - 1988. - 31, N7. -
P.1211-1214.
3. Sporer H., Couch N. R. Advances in hot electron injector
Gunn diodes // GEC Journal of Research. - 1989. - 7, N1. -
P.34-35.
4. Frisco I. M., Rolland P. A., Pernisek M. Heterojunction ca-
thode contact transferred electron oscillators // IEEE Electron
Device Lett. - 1985. - EDL-6, N10. - P.497-499.
5. Прохоров Э. Д., Белецкий Н. И. Полупроводниковые мате-
риалы для приборов с междолинным переносом электро-
нов. - Харьков: Вища школа, 1982. - 144 с.
6. Стороженко И. П. Моделирование диодов Ганна на осно-
ве варизонных полупроводников // Радиофизика и электр-
оника. - Харьков: Ин-т. радиофизики и электрон. НАН
Украины. - 2003. - 8, №2. - С.287-294.
7. Littlejohn M. A., Hauser J. R., Glisson T. H. Alloy scattering and
high field transport in ternary and quaternary III-V semiconduc-
tors // Solid State Electron. - 1978. - 21, N1. - P.107-114.
8. Couch N. R., Beton P. H., Kelly M. J. et. al. The use lineary
graded composition AlGaAs injectors for intervalley transfer
in GaAs: theory and experiment // Solid State Electron. -
1988. - 31, N4. - P.613-616.

ENERGY AND FREQUENCY CHARACTERISTICS OF GaAs GUNN DIODES WITH Al_xGa_{1-x}As AND GaP_xAs_{1-x} CATHODES

I. P. Storozhenko, Yu. V. Arkusha, E. D. Prokhorov

Operation of the GaAs TED's with Al_xGa_{1-x}As and GaP_xAs_{1-x} ca-
thodes is studied with the two-level model of intervalley electron
transfer in the semiconductors. Fundamental behaviors and specialy
operation of the GaAs TED's with forward bias isotype hetero-
junction in cathode are defined. Energy and frequency charac-
teristics are calculated. Boundary operation frequencies are
determined.

Key words: intervalley transferred, forward bias hetero-cathode,
dipole domain, oscillation efficiency.

ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ GaAs ДЮДІВ ГАННА З Al_xGa_{1-x}As I GaP_xAs_{1-x} КАТОДАМИ

И. П. Стороженко, Ю. В. Аркуша, Е. Д. Прохоров

За допомогою дворівневої моделі міждолинного
переносу електронів (МПЕ) у напівпровідниках досліджена
робота GaAs діодів Ганна з Al_xGa_{1-x}As і GaP_xAs_{1-x} катодами.
Показані основні закономірності та особливості роботи при-
ладів з МПЕ, у яких катодним контактом є ізотопний, прямоз-
міщений гетероперехід на катодному контакті. Розраховані
енергетичні та частотні характеристики. Визначені граничні
робочі частоти.

Ключові слова: міждолинний перенос, прямозмі-
щений гетерокатод, дипольний домен, ефективність генерації.

Рукопись поступила 2 июля 2007 г.