

# ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО РЕЖИМА РАБОТЫ АРСЕНИДОГАЛЛИЕВЫХ ДИОДОВ ГАННА В ГЕНЕРАТОРАХ ММ-ДИАПАЗОНА 35—47 ГГц

Торхов Н. А., Божков В. Г., Перфильев В. П., Золотов С. Е., Петров И. В.,  
Бурмистрова В. А., Козлова А. В.

Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов  
ул. Красноармейская, 99 А, г. Томск, 634034, Россия  
тел.: 83822-556695, e-mail: trkf@mail.ru

**Аннотация** — Импеданс и температурный режим работы диодов Ганна (ДГ) в модифицированном режиме (МР), аналогичен импедансу и температурному режиму ДГ, работающих в пролетном режиме. МР может быть реализован в ДГ с тонкой  $l < 1.5$  мкм базой, когда размер домена сильного поля соизмерим, или превышает протяженность базы. Расширенный частотный диапазон и большой КПД ДГ, работающих в МР, позволил их эффективно использовать в следующем ряде генераторов (ГДГ): выходная частота ( $F_{\text{вых}}$ ) 35 ГГц (с перестройкой 1 ГГц) с уровнем выходной мощности  $P_{\text{вых}} > 120$  мВт,  $I_{\text{раб}} = 0,5-0,55$  А и  $U_{\text{раб}} = 4,5 - 5$  В ГДГ;  $F_{\text{вых}} = 37$  ГГц с  $P_{\text{вых}} > 140$  мВт,  $I_{\text{раб}} < 0,7$  А и  $U_{\text{раб}} < 6$  В и  $F_{\text{вых}} = 47$  ГГц с  $P_{\text{вых}} > 100$  мВт,  $I_{\text{раб}} = 0,5-0,55$  А и  $U_{\text{раб}} = 4,5 - 5$  В.

## I. Введение

Использование модифицированного режима (МР) значительно расширяет частотный диапазон и увеличивает до 5-7 % КПД диода Ганна. При этом, в частности, достигаются уровни выходной мощности 140-160 мВт в частотном диапазоне 30-48 ГГц, рабочем токе  $I_{\text{раб}} = 0,5-0,55$  А и рабочем напряжении  $U_{\text{раб}} = 4,5 - 5,5$  В [1]. Согласно [1] МР может быть реализован в ДГ с тонкой  $l < 1.5$  мкм базой, когда размер домена сильного поля соизмерим, или превышает протяженность базы. В этом случае движение домена ограничивается размерами базы, а СВЧ характеристики ДГ определяются не временем  $\tau$  пролета домена, а процессами накачки зарядового слоя и его рассасыванием, что исключает частотную зависимость генерации от времени пролета  $\tau$ .

В настоящей работе, с использованием ДГ (рис. 1 [1]), работающих в МР, были изготовлены СВЧ генераторы (ГДГ) на частоты 35, 37, 47 ГГц и проведены температурные испытания.

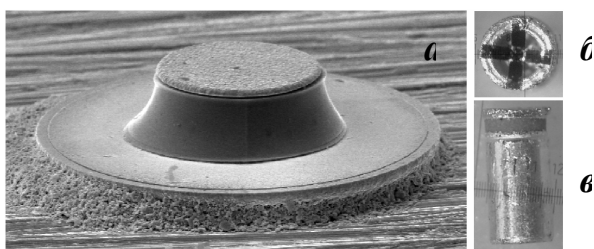


Рис. 1. Внешний вид GaAs-кристалла ДГ с расширенным анодом (а), открытая камера ДГ с выводами (б) и готовый ДГ (в).

Fig. 1. (a) External view of GaAs crystal of a Gunn diode with an extended anode; (b) an open chamber of GD with connectors; and (c) an assembled GD

## II. Результаты испытаний

СВЧ генераторы на ДГ монтируемые в планарные схемы расположенные в Е-плоскости волновода изготовивались по технологии МИС перестраиваемого резонатора (ПР) с щелевой линией [2]. Данная конструкция ГДГ на основе МИС ПР была выбрана в

связи с простотой использования и высокой эффективностью по выходной мощности и перестройке частоты. Конструкция МР ДГ не требовала какой-либо модернизации и позволяла легко встраивать их в интегральную схему ГДГ на основе МИС ПР. Несмотря на модифицированный режим работы, их импеданс оказался близок к импедансу аналогичных ДГ работающих в пролетном режиме (но с меньшим КПД), что обеспечило их согласование по СВЧ параметрам со схемой ГДГ. Это позволило легко использовать полученные ДГ для создания перестраиваемых ГДГ с  $F_{\text{вых}} = 35$  ГГц (перестройка 1 ГГц) с уровнем выходной мощности  $P_{\text{вых}} > 120$  мВт,  $I_{\text{раб}} = 0,5-0,55$  А, ГДГ с  $F_{\text{вых}} = 37$  ГГц с  $P_{\text{вых}} > 140$  мВт,  $I_{\text{раб}} < 0,7$  А и  $U_{\text{раб}} < 6$  В и с  $F_{\text{вых}} = 47$  ГГц с  $P_{\text{вых}} > 120$  мВт,  $I_{\text{раб}} = 0,5-0,55$  А и  $U_{\text{раб}} = 4,5 - 5$  В (рис. 2). Используя трехкратное умножение были изготовлены ГДГ с  $F_{\text{вых}} = 140$  ГГц (рис. 2, в).

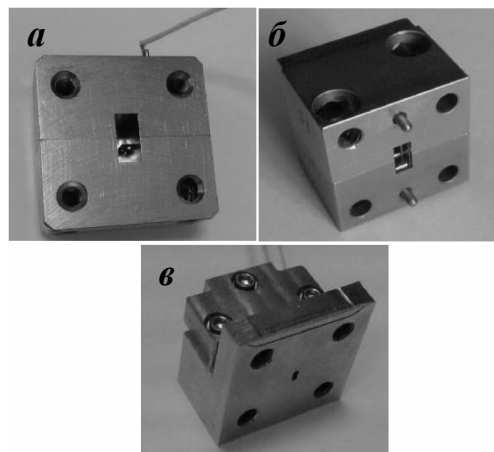


Рис. 2. Генераторы мм-диапазона:  $F_{\text{вых}} = 37$  ГГц (140 мВт,  $< 0,7$  А,  $< 6$  В) (а),  $F_{\text{вых}} = 47$  ГГц (120 мВт, 4,7 В, 0,5 А) (б) и  $F_{\text{вых}} = 140$  ГГц (с трехкратным умножением частоты) (в).

Fig. 2. Generators of mm-range: (a) 37GHz (140mW,  $< 0,7$  A,  $< 6$  V); (b) 47GHz (120mW, 4.7V, 0.5A); and (c) 140GHz (with triple frequency multiplication)

Температурные измерения проводились на стандартной установке. Генераторная камера с ДГ помещалась в криогенный сосуд в котором поддерживалась необходимая температура. Из рис. 3 видно, что выходная мощность МР ДГ при уменьшении температуры от  $+10$  °С и ниже линейно растет, что соответствует росту КПД. При этом существует три температурных интервала, каждый из которых характеризуется своими значениями рабочих токов  $I_{\text{раб}}$  и напряжений  $U_{\text{раб}}$ : режим 1 – от  $-10$  °С и выше, режим 2 – от  $-30$  до  $-10$  °С и режим 3 – до  $-30$  °С и ниже (рис. 3). О росте КПД свидетельствуют и статические ВАХ ДГ, снятые при разных температурах (рис. 4).

Хорошо видно, что уменьшение температуры приводит не только к увеличению рабочих токов и напряжений, но и к заметному относительному увеличению пороговых токов  $I_n$  и напряжений  $U_n$ , что, согласно известным представлениям и полученным результатам, соответствует увеличению КПД. Наличие трех температурных режимов по всей вероятности объясняется переохлаждением ДГ в области низких температур из-за наличия хорошего теплоотвода обеспечиваемого интегральным катодом. Охлаждение кристалла ДГ приводит к увеличению подвижности, групповой скорости электронов и, как следствие к увеличению КПД. В результате, для обеспечения оптимального температурного режима работы при низких температурах к МР ДГ нужно подводить большую мощность. В пользу данного утверждения свидетельствуют результаты испытаний аналогичных диодов с большим диаметром мезы, обеспечивающей большие рабочие токи  $I_{раб} > 0.8-0.9$  А и, соответственно, меньший КПД (рис. 3, кривая 4).

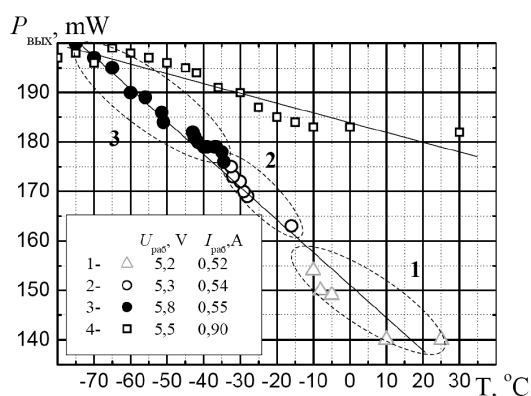


Рис. 3. Зависимость выходной мощности  $P_{вых}$  ГДГ на 37 ГГц от температуры  $T$  изготовленного с использованием низкоточных ( $I_{раб} < 0.6$  А): 1, 2, 3 - и обычных ( $I_{раб} \approx 0.8-0.9$  А) ДГ: 4.

Fig. 3. Dependence of output power  $P_{out}$  of GDG at 37GHz vs. temperature  $T$ : for GDG made with use of low current GD ( $I_{oper} < 0.6A$ ) - 1, 2, 3; and with use of standard GD ( $I_{oper} \approx 0.8-0.9A$ )-4

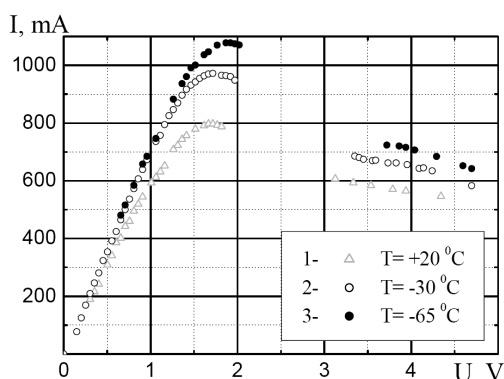


Рис. 4. Статические ВАХ ГДГ на 37 ГГц измеренные при разных температурах  $T$ : 1 —  $T = +20$  °C, 2 —  $T = -30$  °C и 3 —  $T = -65$  °C.

Fig. 4. Static current-voltage characteristics of GDG at 37 GHz, measured at different temperatures: (1)  $T = +20$  °C; (2)  $T = -30$  °C; and (3)  $T = -65$  °C

Видно, что большая мощность ( $I_{раб} = 0,9$  А и  $U_{раб} = 5.5$  В, рис. 3, кривая 4) подводимая к ДГ обеспечивает оптимальный режим работы практически во всем температурном диапазоне. В результате большого разогрева КПД такого ДГ с уменьшением температуры увеличивается значительно медленнее и для  $T < -75$  °C становится даже меньше КПД ДГ с меньшим рабочим током. Видно, что описанные температурные режимы работы низкоточных ( $I_{раб} < 0.6$  А) и обычных ( $I_{раб} \approx 0.8-0.9$  А) МР ДГ аналогичны температурным режимам работы ДГ работающим в пролетном режиме.

#### IV. Заключение

Импеданс и температурный режим работы МР ДГ аналогичен импедансу и температурному режиму работы пролетных ДГ. Для низкоточных ДГ ( $< 0.7$  А) существуют три температурных диапазона, каждый из которых характеризуется своим режимом работы: 1 – от  $-10$  °C и выше ( $I_{раб} < 0,52$  А,  $U_{раб} < 5.2$  В), режим 2 – от  $-30$  до  $-10$  °C ( $I_{раб} < 0,54$  А,  $U_{раб} < 5.3$  В) и режим 3 – до  $-30$  °C и ниже ( $I_{раб} < 0,58$  А,  $U_{раб} < 5.5$  В). Высокоточные ДГ ( $I_{раб} > 0,8$  А) имеют одинаковый режим работы во всем температурном диапазоне. Расширенный частотный диапазон и большой КПД МР ДГ позволил использовать их в ГДГ с  $F_{вых} = 35$  ГГц (с перестройкой 1 ГГц) с уровнем выходной мощности  $P_{вых} > 120$  мВт,  $I_{раб} = 0,5-0,55$  А, в ГДГ с  $F_{вых} = 37$  ГГц с  $P_{вых} > 140$  мВт,  $I_{раб} < 0,7$  А,  $U_{раб} < 6$  В и с  $F_{вых} = 47$  ГГц с  $P_{вых} > 100$  мВт,  $I_{раб} = 0,5-0,55$  А и  $U_{раб} = 4.5 - 5$  В.

#### V. Список литературы

- [1] Модифицированный режим работы арсенидогаллиевых диодов Ганна с тонкой базой / Н. А. Торхов, В. Г. Божков, А. В. Козлова, В. И. Самойлов // 20-я Международная Крымская конференция "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии" (КрыМиКо'2010): материалы конф. (Севастополь, 13—17 сентября 2010 г.). Севастополь: Вебер, 2010. С. 181—182.
- [2] Перфильев В. И., Божков В. Г., Золотов С. В., Геннеберг В. А., Антипов В. Б. Патент 2183045. Генератор. Приор. от 09.01.2001.

### USE OF MODIFIED OPERATING MODE OF GALLIUM ARSENID GUNN DIODES IN THE 35—47 GHz MILLIMETRE-RANGE GENERATORS

Torkhov N. A., Bozhkov V. G., Perfilev V. A., Zolotov S. E., Petrov I. V., Burmistrova V. A., Kozlova A. V.

Scientific-Research Institute of Semiconductors  
99 A, Krasnoarmeiskaya Str., Tomsk, 634034, Russia  
Ph.: 83822-556695, e-mail: trkf@mail.ru

**Abstract** — Impedance and operating temperature of Gunn diodes (GD) used in the modified mode (MM) are the same as in the transit-time mode. The MM may be realized in GD with the thin base layer ( $L < 1.5 \mu m$ ), where the value of strong field domain equates, or exceeds, the base length. Extended frequency range and high efficiency of GD working in MM have allowed using GD efficiently in the following types of GD generators (GDG): GDG with output frequency  $F_{out} = 35$  GHz (with tuning range 1 GHz) with output power  $P_{out} > 120$  mW,  $I_{oper} = 0.5-0.55$  A and  $U_{oper} = 4.5-5$  V; GDG with  $F_{out} = 37$  GHz with  $P_{out} > 140$  mW,  $I_{oper} < 0.7$  A and  $U_{oper} < 6$  V; and GDG with  $F_{out} = 47$  GHz with  $P_{out} > 100$  mW,  $I_{oper} = 0.5-0.55$  A and  $U_{oper} = 4.5-5$  V.