

Радиационная стойкость источника субтерагерцового излучения из гетеродина на генераторе на диоде Ганна и умножителя на полупроводниковой сверхрешетке

© А.С. Иванов,¹ Д.Г. Павельев,² С.В. Оболенский,^{1,2} Е.С. Оболенская²

¹ АО НПП „Салют“,

603950 Нижний Новгород, Россия

² Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,

603950 Нижний Новгород, Россия

e-mail: ivanov.2582@yandex.ru

Поступило в Редакцию 30 апреля 2021 г.

В окончательной редакции 30 апреля 2021 г.

Принято к публикации 30 апреля 2021 г.

Произведена оценка радиационной стойкости к гамма-облучению различных уровней доз (0,5, 2, 10 kGy) источника субтерагерцового излучения из гетеродина на диоде Ганна и умножителя на полупроводниковой сверхрешетке GaAs/AlAs. Разработана и изготовлена измерительная камера для изучения радиационной стойкости диодов Ганна. Аналитически оценена зависимость выходной мощности от частоты субтерагерцового источника излучения до и после облучения.

Ключевые слова: радиационная стойкость, сверхрешетка, диод Ганна, терагерцы.

DOI: 10.21883/JTF.2021.10.51362.133-21

Введение

На сегодняшний день источники и приемники электромагнитных волн субтерагерцового и терагерцового диапазонов с широкой полосой перестройки частоты широко используются для решения задач спектроскопии [1], радиоастрономии [2], построения систем безопасности [3] и телекоммуникаций [4,5], систем управления на поле боя [6]. Однако применение в комплексах военного и космического назначения накладывает на приемо-передающую аппаратуру жесткие требования по массогабаритным характеристикам, малым величинам питающих напряжений и стойкости к ионизирующему излучению. Одним из таких источников излучения является прибор из гетеродина на генераторе на диоде Ганна (ДГ) и умножителя на полупроводниковой сверхрешетке (ППСР) [7]. В настоящее время активно исследуется устойчивость к ионизирующим видам излучения традиционного объемного [8] и планарного ДГ [9], а также диодов на основе GaAs/AlAs-сверхрешеток [10], в настоящей работе рассматривается радиационная стойкость источника субтерагерцового диапазона на основе ДГ и ППСР.

1. Подготовка эксперимента

В качестве активного элемента для гетеродина был применен ДГ аналогичный 3A763LM (разработка АО НПП „Салют“, г. Нижний Новгород). Основная частота генерации подобных диодов лежит в 8-мм диапазоне. Диод имеет вертикальную структуру, в которой контакты диода расположены на верхней и нижней грани

кристалла. Диод представляет собой полупроводниковый кристалл арсенида галлия диаметром около 0,1 mm и толщиной 10–20 μm, смонтированный на теплоотводящем кристаллодержателе — медном стержне диаметром 1,2 mm и высотой 2 mm. Концентрация носителей составляет $n_0 = 8 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$, размер активной области — 3 μm. Все три рассмотренных в настоящей работе ДГ обладают сходными параметрами в пределах технологических погрешностей.

Для изучения рабочих параметров ДГ разработана и изготовлена измерительная камера. Особенности конструкции камеры позволяют устанавливать диод в полость отрезка перестраиваемого волновода без осуществления пайки активного элемента в пределах нескольких минут и в результате измерять характеристики ДГ для исследования радиационной стойкости неразрушающим методом. Диод устанавливается в камеру с помощью цангового зажима. Введение режекторного фильтра в запредельном для основной частоты волноводе максимально развязывает контуры по основной частоте и по второй гармонике основной частоты для осуществления независимой настройки по выходной частоте и мощности. Указанные достоинства технологической камеры расширяют область применения разработанной оснастки для проведения межоперационного контроля и сортировки выпускаемых изделий на серийном производстве.

2. Методика эксперимента

Измерение частоты генерации и мощности ДГ производились по схеме, подробно описанной в рабо-

те [11]. При подаче напряжения смещения на диод в камере возбуждались электромагнитные колебания частотой порядка 30 GHz. СВЧ мощность с выхода камеры поступает по волноводу сечения $3.6 \times 1.8 \text{ mm}$ на первичный преобразователь М5-50, преобразуется, и значение уровня выходной мощности отображается на индикаторе измерителя мощности М3-22. Измерение частоты генерации производится с помощью частотомера резонансного Ч2-26. Выделение частоты генерации ДГ осуществляется изменением положения подстроечных короткозамыкателей и частотой выходного контура. На шкале индикатора М3-22 проявляется в уменьшении в 2–3 раза значения измеряемой мощности.

После получения зависимостей выходной мощности сигнала от частоты ДГ были подвергнуты облучению гамма-квантами с суммарными дозами: ДГ № 1 — 0.5, ДГ № 2 — 2, ДГ № 3 — 10 kGy. Спустя 6 месяцев серия измерений проведена для всех изучаемых ДГ.

3. Результаты и обсуждения

При сравнении результатов измерений рабочих параметров до и после облучения: для ДГ № 1 (рис. 1) отмечено расширение рабочей полосы частот в сравнении с параметрами до облучения, для ДГ № 2 (рис. 2) — сужение полосы частот на 3.8%, для ДГ № 3 (рис. 3) — расширение на 6%. После облучения гамма-квантами наблюдается уменьшение выходной мощности ДГ для большей части полученных зависимостей.

В работе [12] получены значения интенсивности гармоник умножителя частоты на ППСР в полосе частот 0.4–6.5 THz, в [10] приводится исследование радиационной стойкости диодов на ППСР GaAs/AlAs. На основе полученных выше зависимостей мощности от частоты генерации ДГ, учитывая характер изменения рабочих характеристик ДГ (№№ 1, 2, 3) до и после облучения гамма-квантами, возможно оценить зависимость мощности гармоник от частоты источника субтерагерцового

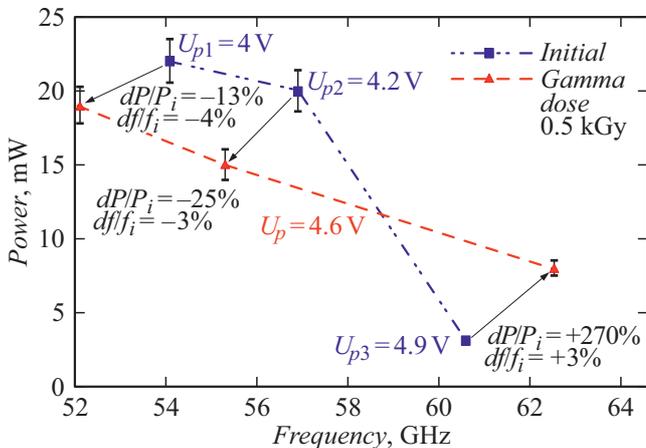


Рис. 1. Результаты измерения выходной мощности от частоты генерации для ДГ № 1.

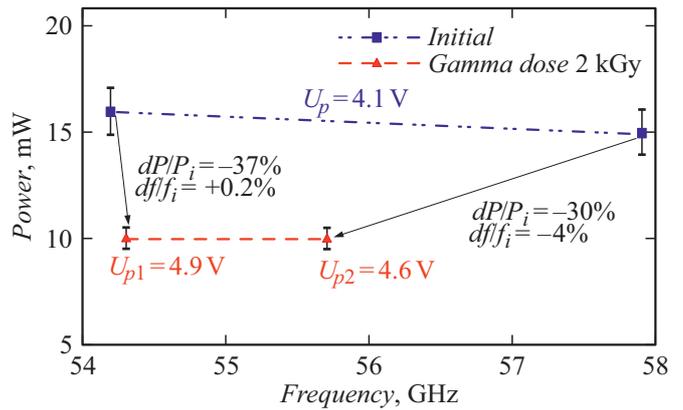


Рис. 2. Результаты измерения выходной мощности от частоты генерации для ДГ № 2.

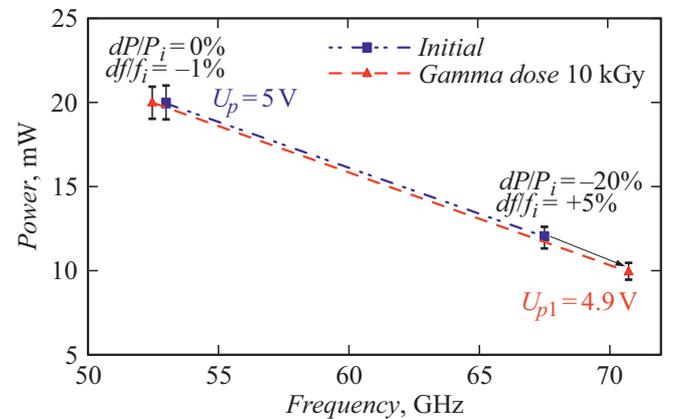


Рис. 3. Результаты измерения выходной мощности от частоты генерации для ДГ № 3.

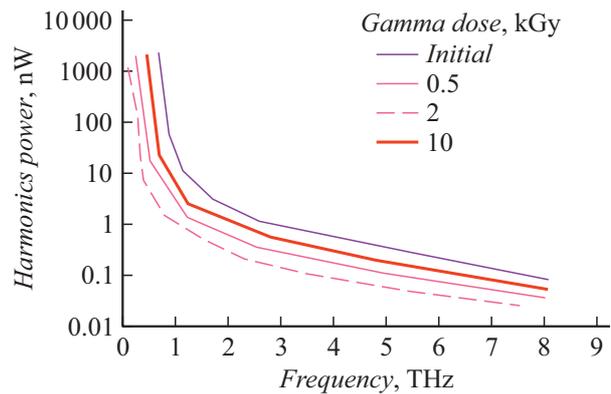


Рис. 4. Оценка зависимости мощности гармоник от частоты генерации источника субтерагерцового излучения.

излучения в составе гетеродина на ДГ и умножителя на ППСР в целом (рис. 4). В качестве опорной частоты гетеродина была выбрана третья гармоника генератора ($3 \cdot 54 \text{ GHz}$) на ДГ в 162 GHz. Для дозы в 0.5 kGy в качестве гетеродина был выбран генератор на ДГ № 1, для дозы в 2 kGy — ДГ № 2, 10 kGy — ДГ № 3. При об-

лучении гетеродина гамма-квантами дозами 0.5 и 2 kGy уровень мощности гармоник источника THz-излучения уменьшается обратно пропорционально величине дозы. Для дозы в 10 kGy уровень мощности гармоник источника превосходит уровень для 0.5 kGy, но остается меньшим уровня до облучения.

Новизна рассматриваемой камеры заключается в возможности измерения рабочих параметров для исследования радиационной стойкости и определения параметров ДГ для проведения последующего компьютерного моделирования (программные комплексы TCAD, ATLAS).

Заключение

В работе приведены зависимости выходной мощности от частоты гетеродина на ДГ до и после облучения гамма-квантами различных интенсивностей (0.5, 2, 10 kGy). На основе измерений рабочих характеристик гетеродина на ДГ и теоретических результатов радиационной стойкости ППСР сделаны выводы о радиационной стойкости к гамма-облучению источника субтерагерцового излучения в целом.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] В.Л. Вакс, Е.Г. Домрачева, Е.А. Собакинская, М.Б. Черняева. УФН, **184** (7), 139 (2014). DOI: 10.3367/UFNr.0184.201407d.0739
- [2] C. Risacher, V.Vassilev, R.R. Monje, I. Lapkin, V. Belitsky, A.B. Pavolotsky, M. Pantaleev, P. Bergman, S.-E. Ferm, E. Sundin, M. Svensson, M. Fredrixon, D. Meledin, L.-G. Gunnarsson, M. Hagstrom, L.-A. Johansson, M. Olberg, R.S. Booth, H. Olofsson, L.-A. Nyman. Astronomy & Astrophys., **454**, 17 (2016). DOI: 10.1051/0004-6361:20065373
- [3] J.F. Federici, B. Schulkin, F. Huang, D. Gary, R. Barat, F. Oliveira, D. Zimdars. Semicond. Sci. Technol., **20**, 266 (2005). DOI: 10.1088/0268-1242/20/7/018
- [4] T. Kürner, S. Priebe. J. Infrared Milli Terahz Waves, **35**, 53 (2014). DOI: 10.1007/s10762-013-0014-3
- [5] C. Jastrow, K. Munter, R. Piesiewicz, T. Kurner, M. Koch, T. Kleine-Ostmann. Electron. Lett., **44**, 3 (2008). DOI: 10.1049/el:20083359
- [6] R.J. Fitch, R. Osiander. John Hopkins Apl. Tech. Digest, **25**, 348 (2004). https://www.researchgate.net/publication/228861430_Terahertz_waves_for_communications_and_sensing/link/56c4becb08ae7fd4625a4507/download
- [7] V. Vaks, A. Illiyk, A. Panin, S. Pripolsin, S. Basov, D. Pavelyev. Proc. of the 37th European Microwave Conference (Munich, Germany, October 2007) DOI: 10.1109/EUMC.2007.4405319
- [8] W. Abd El-Basit, S. Mohamed El-Ghanam, A. Mosleh Abdel-Maksood, S. Abd El-Tawab Kamh, F. Abd El-Moniem, S. Soliman. Nucl. Eng. Technol., **48**, 1219 (2016). DOI: 10.1016/j.net.2016.04.009
- [9] Е.С. Оболенская, Е.А. Тарасова, А.Ю. Чуринов, С.В. Оболенский, В.А. Козлов. ФТП, **50** (12), 1605 (2016). DOI: 10.21883/ftp.2016.12.43884.30
- [10] Д.Г. Павельев, А.П. Васильев, В.А. Козлов, Е.С. Оболенская. ФТП, **52** (11), 1337 (2018). DOI: 10.21883/FTP.2018.11.46595.17
- [11] А.С. Иванов, С.В. Оболенский. Тез. докл. 3-й Росс.-Бел. конф. „Современная элементная база радиоэлектроники и ее применение“ им. О.В. Лосева (Нижегород, Россия, 2017), с. 20.
- [12] А.С. Иванов, Д.Г. Павельев, Ю.И. Кошуринов, А.Н. Панин, В.Л. Вакс, В.И. Гавриленко, А.В. Антонов, В.М. Устинов, А.Е. Жуков. ФТП, **46** (1), 125 (2012).