

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ АЗВ5 РЕЗОНАНСНО-ТУННЕЛЬНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКОЙ**

М.О. Макеев, В.Ю. Сиякин, С.А. Мешков

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Ю.А. Иванов  
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Россия, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, 105005  
E-mail: [mc.stiv@gmail.com](mailto:mc.stiv@gmail.com)

В настоящее время требования конкурентоспособности и рентабельности космических средств связи, мониторинга, локации, навигации, управления определяют необходимость создания космических аппаратов (КА) со сроками активного существования (САС) до 15 и более лет. В течение всего САС на орбите КА подвергаются воздействию различных дестабилизирующих факторов, в том числе ионизирующих излучений (ИИ).

Основные эффекты воздействия ионизирующих излучений на радиоэлектронную аппаратуру связаны с ионизационными и ядерными потерями энергии первичных и вторичных частиц. Эти эффекты могут вызвать параметрический отказ полупроводниковых приборов и интегральных схем вследствие накопления дозы ИИ, а также возникновение одиночных сбоев и отказов от воздействия отдельных высокоэнергетических ядерных частиц.

Развитие и совершенствование космических РЭС идет за счет все более широкого использования в них интегральных устройств, в том числе СВЧ диапазона, обеспечивающих высокую скорость и большие объемы передачи информации. Твердотельная электронная компонентная база (ЭКБ) СВЧ электроники находит все большее применение в космической технике.

Перспективным является применение ЭКБ СВЧ-диапазона на основе многослойных наноразмерных полупроводниковых гетероструктур, позволяющей получить ранее недостижимые качественные характеристики РЭС на их основе. К таким приборам относятся резонансно-туннельные диоды (РТД) на базе многослойных наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур с поперечным токопереносом. Перспективность РТД для современной радиоэлектроники обусловлена следующими обстоятельствами:

- предельная частота, на которой работает РТД, простирается вплоть до единиц ТГц [1], что делает РТД перспективным прибором СВЧ, КВЧ и ГВЧ электроники;
- РТД функционирует в нужном для технических приложений диапазоне температур и других внешних воздействий;
- технологии и оборудование для производства РТД существуют на российских предприятиях, производящих устройства гетероструктурной электроники;
- изменяя параметры слоёв гетероструктуры (толщину, химический состав), можно управлять формой вольтамперной характеристики (ВАХ) и создавать диод с оптимальной для конкретного вида нелинейного преобразования формой ВАХ [2-5]. Набор возможных нелинейных преобразований с применением РТД очень широк: генерация радиосигналов, частотная модуляция, смешивание радиосигналов, амплитудное детектирование, выпрямление, генерация сетки частотных меток и др.

Исследованиям свойств самих РТД и проблемам их радиотехнических применений посвящена обширная библиография, в то же время надежность и радиационная стойкость РТД изучены относительно слабо.

Настоящая работа преследует цель в или иной мере устранить данный пробел. В проекте рассматривается проблема прогнозирования надежности РТД и нелинейных преобразователей СВЧ радиосигналов на его основе при эксплуатации в условиях воздействия ИИ и повышенной температуры.

Результаты предварительных исследований воздействия повышенной температуры и ИИ на РТД, проведенных авторами (рис. 1), позволяют говорить о том, что по надёжности и радиационной стойкости РТД не уступает традиционной элементной базе на GaAs. Таким образом, благодаря комплексу уникальных свойств, обусловленных, в частности, наноразмерными эффектами в гетероструктуре, РТД является перспективным прибором в различных областях радиоэлектроники и после проведения соответствующих организационных мероприятий может быть в кратчайшие сроки введен в практику проектирования и производства узлов РЭС КА.

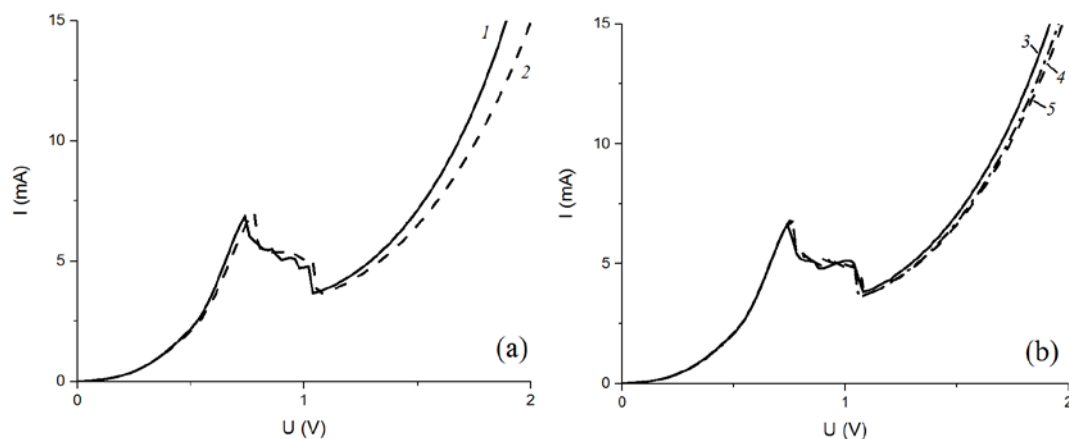


Рис. 1. Экспериментальные ВАХ РТД до и после термического воздействия (а) и воздействия ИИ (б): 1 и 3 – до воздействий; 2 – термическое воздействие (8 ч); 4 –  $\gamma$ -излучение ( $\sim 5 \cdot 10^6$  рад); 5 –  $\gamma$ -излучение ( $\sim 1 \cdot 10^8$  рад)

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-60067 мол\_а\_дк.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mizuta H., Tanoue T. High-speed and functional applications of resonant tunnelling diodes. In *The Physics and Applications of Resonant Tunnelling Diodes*. Cambridge university press, 2006. pp. 133-177.
2. Y.A. Ivanov, S.A. Meshkov, I.A. Fedorenko et al. Subharmonic mixer with improved intermodulation characteristics based on a resonant tunnel diode // *J. Commun. Technol. Electron.* 2010. V. 55, No. 8. P. 921-927.
3. Повышение показателей качества радиоэлектронных систем нового поколения за счет применения резонансно-туннельных нанодиодов / Ю.А. Иванов [и др.] // *Наноинженерия*. 2011. №1. С. 34-44.
4. A.G., Ivanov Y.A., Meshkov S.A., Agasieva S.V., Petrov V.I., Sinyakin V.Y., Schukin S.I. Prospects for Application of Radio-Frequency Identification Technology with Passive Tags in Invasive Biosensor Systems // *Biomedical Engineering*. 2015. Vol. 49. No. 2. P. 98-101.
5. V.Yu. Sinyakin, M.O. Makeev, S.A. Meshkov. RTD application in low power UHF rectifiers // *J. Phys.: Conf. Ser.* 2016. V. 741, N. 1. 012160. doi:10.1088/1742-6596/741/1/012160.