

УДК 621.382.029

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОЩНЫХ ЛАВИННО-ГЕНЕРАТОРНЫХ ДИОДОВ 8-ММ ДИАПАЗОНА

П. П. МАКСИМОВ

*Институт радиофизики и электроники Национальной Академии наук Украины,
Украина, Харьков, 61085, ул. Проскуры 12*

Аннотация. Представлены результаты компьютерного моделирования мощных лавинно-генераторных диодов (ЛГД) 8-мм диапазона на основе резких обратносмещенных p - n -переходов с постоянным напряжением. Показано, что ЛГД синхронно генерируют два колебания в p - и n -областях p - n -перехода соответственно. Предложен способ определения параметров, при которых диод работает в режиме когерентных колебаний. Показано, что в этом режиме работы диода выходная мощность повышается за счет суммирования электронной и дырочной компонент. Определены динамический диапазон выходной мощности и электронный коэффициент полезного действия.

Ключевые слова: лавинно-генераторный диод; дискретный Фурье-спектр; электронный коэффициент полезного действия

ВВЕДЕНИЕ

Диодные генераторы миллиметрового диапазона востребованы в системах радиолокации, радионавигации, сетях связи и телекоммуникаций, малогабаритных когерентных приемо-передающих устройствах [1–3]. Мощность диодных генераторов определяется мощностью активных элементов. В качестве активных элементов генераторов СВЧ-мощности широко применяются лавинно-пролетные диоды (ЛПД) на основе обратносмещенных резких p - n -переходах. В настоящее время диодные генераторы на основе GaAs и Si ЛПД являются наиболее мощными двухэлектродными приборами во всем миллиметровом диапазоне волн [3].

В основе работы ЛПД лежит динамическая отрицательная дифференциальная проводимость, которая обусловлена переменным напряжением $U_0 + U_{\sim}$ на p - n -переходе (U_0 — по-

стоянная составляющая источника питания, U_{\sim} — переменная составляющая колебательного контура внешней цепи). В ЛПД лавинный ток существенно меньше предельного тока обратносмещенного резкого p - n -перехода, а переменная компонента напряжения U_{\sim} существенно меньше постоянной составляющей U_0 , что ограничивает выходную мощность диода [1–3].

В [4–10] численно показано, что мощными диодными генераторами являются лавинно-генераторные диоды (ЛГД) на основе обратносмещенных резких p - n -переходов с высоким постоянным напряжением. Согласно теории ЛГД статическая вольтамперная характеристика имеет участок с токовой неустойчивостью [9], что приводит к возникновению отрицательной дифференциальной проводимости и синхронной генерации двух автоколебаний соответственно в p - и n -областях p - n -перехода. Наличие двух колебаний автоматически ста-

DOI: [10.20535/S0021347017080064](https://doi.org/10.20535/S0021347017080064)

© П. П. Максимов, 2017

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тагер, А. С.; Вальд-Перлов, В. М. *Лавинно-пролетные диоды и их применение в технике СВЧ*. М.: Сов. Радио. 1968. 480 с.

2. Кэрролл, Дж. *СВЧ-генераторы на горячих электронах*. Пер. с англ. под ред. Б. Л. Гельмонта. М.: Мир. 1972. 384 с.

3. Касаткин, Л. В.; Чайка, В. Е. *Полупроводниковые устройства диапазона миллиметровых волн*. Севастополь: Вебер, 2006. 319 с.

4. Lukin, K. A.; Cerdeira, H. A.; Maksymov, P. P. Self-oscillations in reverse biased *p-n*-junction with current injection. *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 83, No. 20, P. 4643–4645, 2003. DOI: [10.1063/1.1627939](https://doi.org/10.1063/1.1627939).

5. Lukin, K. A.; Cerdeira, H. A.; Colavita, A. A.; Maksymov, P. P. Internal amplification of current pulses inside a reverse-biased *pnipn*-structure. *Int. J. Modeling Simulation*, Vol. 23, No. 2, P. 77–84, 2003. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02286203.2003.11442257?journalCode=tjms20>.

6. Лукин, К. А.; Максимов, П. П. Режим автоколебаний в резких *p-n*-переходах с постоянным обратным смещением. *Радиофизика и электроника*, Т. 13, № 2, С. 232–238, 2008.

7. Максимов, П. П. Алгоритм решения уравнений диффузионно-дрейфовой модели полупроводниковых структур с лавинными *p-n*-переходами. *Радиофизика и электроника*, Т. 13, № 3, С. 523–528, 2008.

8. Лукин, К. А.; Максимов, П. П. Когерентное сложение мощности в лавинно-генераторных диодах. *Радиофизика и электроника*, Т. 3, № 4, С. 70–75, 2012.

9. Лукин, К. А.; Максимов, П. П. Вольтамперная характеристика и наведенный ток во внешней цепи лавинно-генераторных диодов на основе резких обратносмещенных *p-n*-переходах. *Радиофизика и электроника*, Т. 6, № 4, С. 45–53, 2015.

10. Максимов, П. П.; Лукин, К. А. Отрицательная дифференциальная проводимость лавинно-генераторных диодов на основе обратносмещенных резких *p-n*-переходов. *Прикладная радиоэлектроника*, Т. 14, № 3, С. 203–209, 2015.

11. Lukin, K. A.; Maksymov, P. P.; Cerdeira, H. A. Photoelectron multipliers based on avalanche *pn-i-pn* structures. *Eur. Phys. J. Spec. Top.*, Vol. 223, No. 13, P. 2989–2999, 2014. DOI: [10.1140/epjst/e2014-02312-x](https://doi.org/10.1140/epjst/e2014-02312-x).

12. Самарский, А. А.; Попов, Ю. П. *Разностные методы решения задач газовой динамики*. М.: Наука. 1980. 352 с.

13. Кузнецов, С. П. *Динамический хаос*. М.: Изд-во Физмат литературы, 2001. 296 с.

14. Максимов, П. П. Режимы работы лавинно-генераторных диодов микроволнового диапазона. *Радиофизика и электроника*, Т. 7, № 1, С. 55–60, 2016.

15. Басанец, В. В.; Болтовец, Н. С.; Зоренко, А. В.; Гуцул, А. В.; и др. Мощные кремниевые импульсные лавинно-пролетные диоды 8-мм диапазона. *Техника и приборы СВЧ*, № 1, С. 27–30, 2009.

16. Беляев, А. Е.; Басанец, В. В.; Болтовец, Н. С.; Зоренко, А. В.; Капитанчук, Л. М.; Кладько, В. П.; Конакова, Р. В.; Колесник, Н. В.; Коростинская, Т. В.; Крицкая, Т. В.; Кудрик, Я. Я.; Кучук, А. В.; Миленин, В. В.; Атаубаева, А. Б. Влияние перегрева *p-n*-перехода на деградацию мощных импульсных кремниевых лавинно-пролетных диодов. *Физика и техника полупроводников*, Т. 45, № 2, С. 256–262, 2011. URL: <http://journals.ioffe.ru/articles/7351>.

Поступила в редакцию 05.05.2016

После переработки 20.06.2017
