

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГЕНЕРАЦИИ СУБПИКОСЕКУНДНОГО ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФОТОПРОВОДЯЩИМИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ АНТЕННАМИ

П.А. Зезюля

Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь

E-mail: [palz@tut.by](mailto:palz@tut.by)

Терагерцовое (ТГц) излучение – это электромагнитное излучение, находящееся в интервале длин волн 0,03–1 мм, имеющее ряд применений в области спектроскопии органических соединений, визуализации скрытых предметов и др. [1]. Одним из наиболее распространенных типов генераторов импульсов субпикосекундного ТГц излучения являются фотоантенны, представляющие собой полупроводниковую подложку с проводящими контактами на поверхности [2]. Генерация терагерцового излучения вызывается броском фототока обусловленного движением фотовозбужденных субпикосекундным лазерным импульсом носителей заряда под действием электрического поля приложенного к контактам.

Для численного моделирования использовались параметры антенны с прямоугольной формой контактов (I) [3], антенны-бабочки (II), антенны в форме логарифмической спирали (III) производимых компанией ВАТОР (Германия) [4] и антенны с треугольными контактами (IV) компании EKSPLA (Литва) [5]. Расчеты производилось в программном пакете AnsoftHFSS (версия 13.0.2) во временной области с помощью разрывного метода Галеркина (DGTD). Материал подложек антенн – GaAs, контактов – Au. Бросок тока гауссовой временной формы (длительность по полувысоте – 300 фс) задавался в цилиндрической области высотой  $1/\alpha \approx 0,8$  мкм, где  $\alpha \approx 1,2 \cdot 10^6$  м<sup>-1</sup> [6] – коэффициент поглощения излучения титан-сапфирового лазера (длина волны  $\lambda = 800$  нм) в GaAs. Проводимость, диэлектрическая проницаемость фотовозбужденной области рассчитывались на основе модели Друде для энергии возбуждения  $W = 0,2$  мкДж/см<sup>2</sup> на частоте 1 ТГц. Для задания области расчета использовались поглощающие граничные условия (Radiation Boundary) задаваемые на поверхности сферы радиусом 200 мкм (антенны I, II, IV) или параллелепипеда (антенна III) на расстоянии 200 мкм от поверхности антенны.

На рис. 1 а, в представлены временные зависимости произведения напряженности электрического поля ТГц импульса  $E_{\text{ТГц}}$  на расстояние  $r$  до источника в дальней зоне. Амплитудные спектры временных зависимостей  $rE_{\text{ТГц}}$  с удаленной постоянной составляющей представлены на рис. 1 б, г. Максимумы спектров антенн I, II, III, IV составляют 1,7 ТГц,

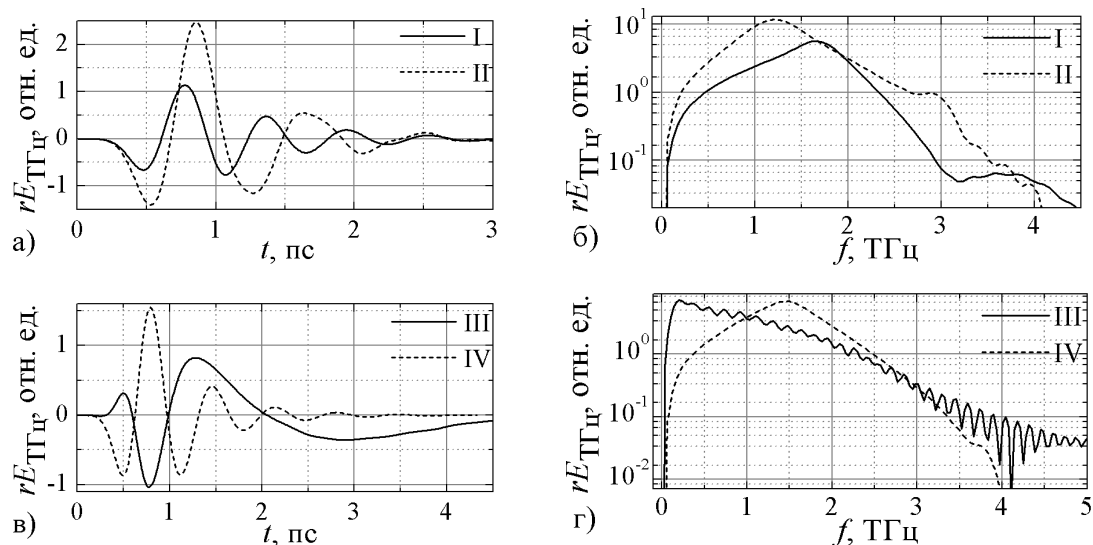


Рис. 1. Временные формы (а, в) и амплитудные спектры (б, г) ТГц излучения антенн I - IV

1,2 ТГц, 0,2 ТГц и 1,4 ТГц соответственно, а ширина (по уровню половинной мощности) порядка 0,5-0,6 ТГц, причем наибольшую ширину имеет спектр антенны в форме логарифмической спирали. Диаграммы направленности данных фотоантенн, рассчитанные в дальней зоне, имеют форму близкую к дипольной.

Таким образом, наблюдается качественное соответствие результатов численного моделирования с экспериментальными работами - максимум спектра антенны-бабочки находится на меньшей частоте, чем у антенны с прямоугольными контактами [7], частота максимума спектра антенны в форме логарифмической спирали находится в диапазоне 0,05–0,2 ТГц [4, 8].

1. Царев М.В. Генерация и регистрация терагерцового излучения ультракороткими лазерными импульсами: учебное пособие. Нижний Новгород: Нижегородский гос. ун-т, 2011. 75с.
2. Burford N.M., El-Shenawee M.O. // Opt. Eng. 2017. Vol. 56, № 1. P. 010901-1-010901-20.
3. Boini V.K. Modelling of Photoconductive Antenna: EE698 Phase-I Project Report. Guwahati, India: Indian Institute of technology, 2015. 18 p.
4. BATOR GmbH – semiconductor optoelectronic devices [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://bator.de>. Дата доступа: 28.09.2017.
5. EKSPLA [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ekspla.com>. Дата доступа: 28.09.2017.
6. Johnston M.B., Whittaker D.M., Corchia A., et al. // Phys. Rev. B. 2002. Vol. 65. P. 165301-1 – 165301-8.
7. Tani M., Matsuura S., Sakai K., Nakashima S.-I. // Applied Optics. 1997. Vol. 36, № 30. P. 7853–7859.
8. Liu T.-A., Lin G.-R., Lee Y.-C., Wang S.-C. // J. of Appl. Phys. 2005. Vol. 98. P. 013711-1–013711-4.