

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XV РОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ СТУДЕНЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

18–20 мая 2016 г., г. Томск, Россия

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2016

**Влияние длины и формы дипольных антенн на основе
SI–GaAs<Cr> на спектры генерации
терагерцового излучения**

*Д.А. Кобцев, С.Ю. Саркисов, М.С. Скакунов,
О.П. Толбанов, А.В. Тяжев, А.Н. Зарубин*

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, г. Томск
E-mail: danbers27@gmail.com

**The influence of SI–GaAs<Cr> dipole antennas length
and shape on terahertz generation spectra**

*D.A. Kobtsev, S.Yu. Sarkisov, M.S. Skakunov, O.P. Tolbanov,
A.V. Tyazhev, A.N. Zarubin*

National Research Tomsk State University, 634050, Tomsk
E-mail: danbers27@gmail.com

Несмотря на то, что детекторы и генераторы терагерцового излучения для терагерцовой спектроскопии во временном представлении (THz–TDS) к настоящему времени достаточно изучены, проблема исследования свойств фотопроводящих дипольных антенн до сих пор актуальна. Ранее исследовалось влияние геометрической конфигурации, параметров возбуждения и свойств фотопроводящего материала [1, 2]. В настоящее время продолжают работы по оптимизации параметров и эффективности дипольных антенн. Создаются новые типы устройств, например, были созданы дипольные антенны на основе гетероструктуры InGaAs/InAlAs, которые возбуждаются лазерным излучением на длине волны 1,55 мкм [3]. В большинстве случаев дипольные антенны изготавливаются на основе LT-GaAs. Этот материал может обладать субпикосекундными временами жизни носителей заряда, но требует эпитаксиальной технологии роста. В наших предыдущих работах мы исследовали дипольные антенны на основе SI-GaAs<Cr> длинами порядка 700 мкм, чтобы оптимизировать условия резонанса для низких терагерцовых частот соответственно большому времени жизни носителей заряда в фотопроводящей среде. Для таких антенн мы получили спектры терагерцовой эмиссии с четкими максимумами в районе 0,1-0,2 ТГц [4]. Для того чтобы проверить влияние формы антенны на спектральное положение резонанса, в данной работе мы изготовили три типа устройств: антенна-бабочка, трапециевидная и полосковая антенны.

Геометрические параметры созданных антенн представлены на рис. 1. Структуры антенн из напыленного слоя Al толщиной около 1 мкм были

сформированы на подложке из SI-GaAs<Cr> с применением фотолитографии. Измерения проводились с использованием стандартной установки импульсной терагерцевой спектроскопии. Антенны возбуждались лазерными импульсами на длине волны 780 нм и длительностью 100 фс. Средняя оптическая мощность была порядка 40–60 мВт. Приложенное к антеннам напряжение составляло около 18 В. Волновые формы регистрировались с помощью электрооптического детектирования в кристалле GaSe толщиной 1 мм.

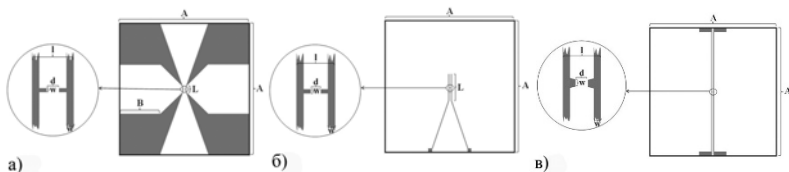


Рис. 1. Геометрические параметры дипольных антенн ($w = 10$ мкм, $d = 5$ мкм, $A = 5$ мм):
a – антенна-бабочка ($l = 25\text{--}450$ мкм, $L = 100$ мкм); *б* – полосковая антенна ($l = 25\text{--}150$ мкм, $L = 1$ мм); *в* – трапециевидная антенна ($l = 25\text{--}450$ мкм).

В приближении диполя Герца резонансная частота для дипольной антенны может быть записана в виде $\nu = c/2nl$, где n – показатель преломления полупроводниковой пластины; c – скорость света; l – длина антенны. В настоящей работе мы уменьшили значение l до 25–45 мкм, чтобы проверить возможность получения более эффективной генерации в районе 1 ТГц. Сначала мы сравнили спектры терагерцевого излучения различных типов изготовленных антенн с наибольшими длинами (рис. 2, *a*). Видно, что для полосковой антенны спектр шире и превышает уровень шума до частоты 1,5 ТГц. Конфигурация полосковой антенны является немного более эффективной, чем трапециевидной. Геометрия в виде антенны-бабочки менее эффективна для дипольных антенн на основе SI-GaAs<Cr> (рис. 2, *a*).

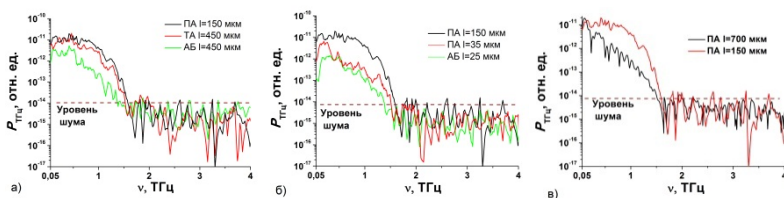


Рис. 2. Спектры генерации терагерцевого излучения для изготовленных дипольных антенн: *a* – для полосковой, трапециевидной и антенны-бабочки с наибольшими длинами; *б* – сравнение спектров для дипольных антенн длиной 25–35 и 150 мкм; *в* – для полосковых дипольных антенн длиной 150 и 700 мкм

При уменьшении длины полосковой антенны до 25–35 мкм так же снижается мощность терагерцовой генерации (рис. 2, б). То же самое наблюдалось и для других типов антенн. С другой стороны, когда мы сравнили полосковые антенны с длинами 150 и 700 мкм, было замечено, что первая является более эффективной (рис. 2, в). Спектр излучения антенны длиной 700 мкм смещается в сторону более низких частот.

В результате выполненной работы разработаны и изготовлены фотопроводящие дипольные антенны на основе полуизолирующего GaAs, компенсированного хромом (SI-GaAs<Cr>). Протестировано три типа антенн: антенна-бабочка, трапецевидная и полосковая. Установлено, что при возбуждении фемтосекундным лазером в антеннах на основе SI-GaAs<Cr> со временем жизни неравновесных носителей заряда порядка 100 нс может быть генерировано терагерцовое излучение в диапазоне 0,05–1,5 ТГц. Обнаружено, что наиболее эффективным излучателем является полосковая антенна длиной 150 мкм. На основе полученных данных можно сделать вывод, что спектральная эффективность антенны определяется параметрами материала и не может существенно сдвигаться путем выбора резонансной длины. Условие резонанса имеет важное значение вблизи спектрального диапазона эффективной работы антенны, определяемого параметрами материала.

Литература

1. Miyamaru F., Saito Yu., Yamamoto K., Furuya T., Nishizawa S., Tani M. Dependence of emission of terahertz radiation on geometrical parameters of dipole photoconductive antennas // Appl. Phys. Lett. 2010. Vol. 96. P. 211104-1-3.
2. Shi W., Jia W.-L., Hou L., Xu J.-Z., Zhang X.-C. Terahertz radiation from large aperture bulk semi-insulating GaAs photoconductive dipole antenna // Chinese Phys. Lett. 2004. Vol. 48. P. 1020–1027.
3. Roehle H., Dietz R.J.B., Hensel H.J., Bottcher J., Kunzel H., Stanze D., Schell M., Sartorius B. Next generation 1,5 μm terahertz antennas: mesa-structuring of InGaAs/InAlAs photoconductive layers // Opt. Express. 2010. Vol. 18, № 3. P. 2296–2301.
4. Sarkisov S.Yu., Safiullin F.D., Skakunov M.S., Tolbanov O.P., Tyazhev A.V., Nazarov M.M., Shkurinov A.P. Dipole antennas based on SI-GaAs:Cr for generation and detection of terahertz radiation // Russian Phys. J. 2013. Vol. 53, № 8. P. 890–898.