

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОПРОВОДЯЩИХ ДИПОЛЬНЫХ АНТЕНН НА ОСНОВЕ SI-GaAs<Cr> НА ГЕНЕРАЦИЮ ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А.Н. Зарубин, Р.А. Редькин, С.Ю. Саркисов, М.С. Скакунов, О.П. Толбанов,
А.В. Тяжев

Национальный исследовательский Томский государственный университет

36, пр. Ленина, Томск, 634050, Россия

Тел: +7-3822-413636, e-mail: redkin@mail.tsu.ru

Несмотря на то, что фотопроводящие дипольные антенны давно применяются в качестве источников и детекторов терагерцового излучения в установках импульсной терагерцовой спектроскопии во временной области (THz-TDS), их рабочие характеристики до сих пор улучшаются. Проводятся исследования влияния геометрической конфигурации, свойств полупроводниковой подложки и параметров возбуждающего лазерного импульса [1, 2] на спектры генерации. Оптимизируются параметры дипольных антенн, а также разрабатываются их новые типы. Например, недавно созданы дипольные антенны на основе гетероструктур InGaAs/InAlAs для возбуждения лазерным излучением на длине волны 1,55 мкм [3]. Для этих лазеров, широко применяющихся в телекоммуникациях, отсутствуют высокоомные объемные полупроводники.

В большинстве случаев дипольные антенны изготавливаются на основе LT-GaAs. Этот материал может обладать субпикосекундным временем жизни неравновесных носителей заряда, но требует эпитаксиальной технологии получения. В нашей предыдущей работе мы исследовали антенны на основе SI-GaAs<Cr> с длинами порядка 700 мкм для оптимизации условия резонанса для низких терагерцовых частот, так как время жизни неравновесных носителей заряда в использованном полупроводнике большое. Были получены спектры терагерцовой эмиссии с выраженными максимумами в районе частот 0,1-0,2 ТГц [4]. С целью проверить влияние условия резонанса и формы антенн в настоящей работе мы изготовили се-

рию дипольных антенн трех широко используемых конфигураций: полосковую (ПА), трапецевидную (ТА) и антенну-бабочку (АБ) (Рис. 1).

Антенны различных длин были сформированы на поверхности подложки из SI-GaAs<Cr> с помощью фотолитографии и напыления слоя алюминия толщиной 1 мкм.

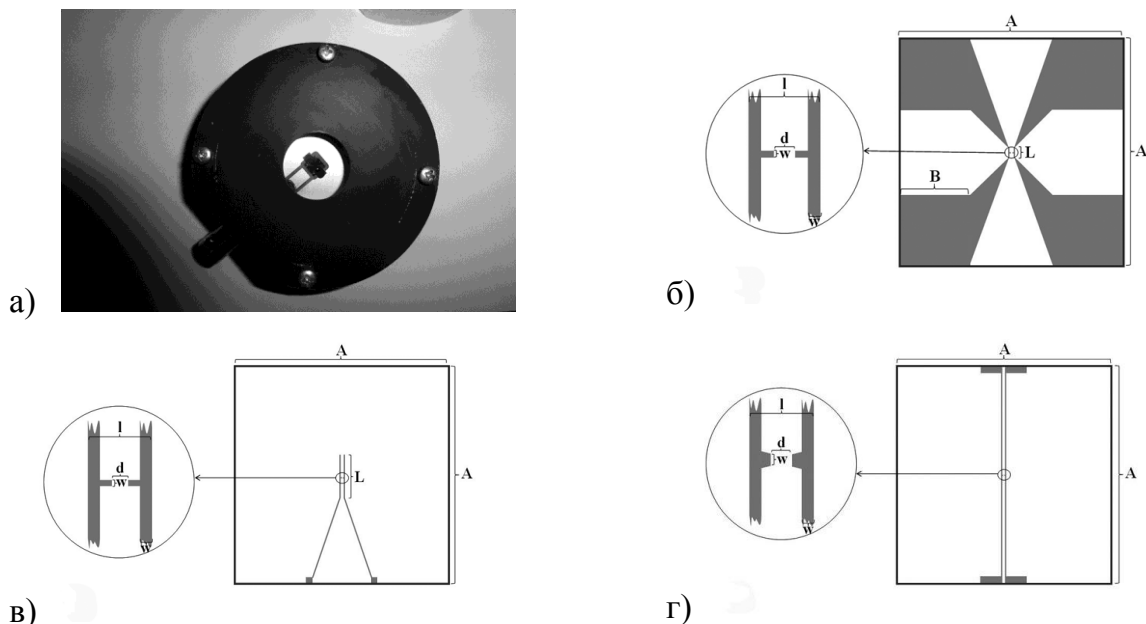


Рис. 1. Внешний вид дипольной антенны в корпусе (а). Геометрические параметры дипольных антенн ($w=10$ мкм, $d=5$ мкм, $A=5$ мм): - б) Антенна-бабочка ($l=25-450$ мкм, $L=100$ мкм), - в) Полосковая антенна ($l=25-150$ мкм, $L=1$ мм), - г) Трапецевидная антенна ($l=25-450$ мкм).

Измерения проводились с помощью стандартной установки импульсной терагерцовой спектроскопии. Для возбуждения генерации в антеннах лазерные импульсы на длине волны 780 нм, длительностью около 100 фс и средней мощностью около 40 мВт фокусировались в контактный зазор антенн. К антеннам прикладывалось внешнее напряжение 18 В. Детектирование осуществлялось с помощью электрооптического стробирования в кристалле GaSe толщиной 1 мм.

Как и для диполя Герца резонансные условия для дипольных антенн можно записать в виде $\nu = \frac{c}{2nl}$, где n - показатель преломления полупроводниковой подложки, c - скорость света, l - длина антенны. В настоящей работе мы уменьшили длины ан-

тенн 1 до 25-45 мкм для проверки возможности улучшить генерацию в области частот около 1 ТГц.

В первую очередь были исследованы антенны всех трех типов с наибольшими длинами (Рис. 2). Как видно, для полосковой антенны спектр генерации немного шире по сравнению со случаем антенн других типов и превышает уровень шумов до 1,5 ТГц. Конфигурация “антенна-бабочка” наименее эффективна для дипольных антенн на основе SI-GaAs<Cr>.

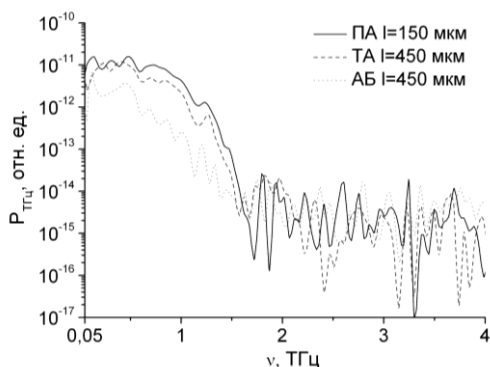


Рис. 2. Спектры генерации терагерцового излучения для полосковой, трапециевидной и антенны-бабочки с наибольшими длинами.

Для ПА длиной 35 мкм излучаемая мощность уменьшается по сравнению с антенной длиной 150 мкм. Не было обнаружено увеличение эффективности генерации в области частот около 1 ТГц. Такой же эффект наблюдался для антенн остальных типов. При сравнении ПА длинами 150 и 700 мкм установлено, что ПА длиной 150 мкм является более эффективным эмиттером (Рис. 3). Спектр генерации ПА длиной 700 мкм сдвинут в область более низких частот.

Таким образом, для использованного полуизолирующего GaAs, компенсированного хромом, спектры генерации определяются в большей степени параметрами возбуждающего лазерного импульса и свойствами полупроводника и не могут быть существенно изменены с помощью выбора длины антенны. Для эффективной работы длина антенны должна обеспечивать резонанс максимально близко к частотам, которые определяются свойствами материала. Установлено, что при возбуждении

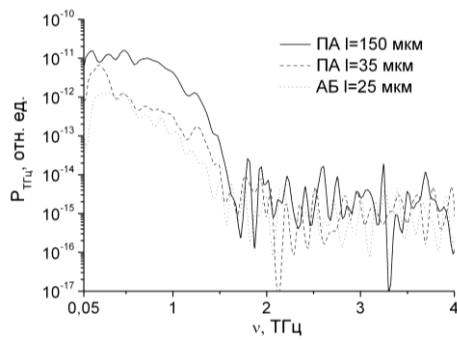


Рис. 3. Спектры генерации дипольных антенн длиной 25-35 и 150 мкм.

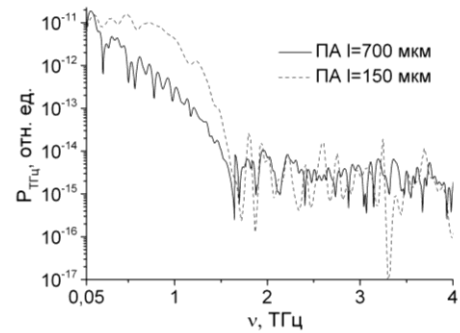


Рис. 4. Спектры генерации ПА длиной 150 и 700 мкм.

фемтосекундным лазером в антеннах на основе SI-GaAs<Cr> со временем жизни неравновесных носителей заряда порядка 100 фс может быть генерировано терагерцовое излучение в диапазоне 0.05-1.5 ТГц. Обнаружено, что наиболее эффективным излучателем является полосковая антенна длиной 150 мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 // Applied Physics Letters. 2010. v. 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 Physics Letters. 2004. v. 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 In-GaAs/InAlAs photoconductive layers // Optics Express. 2010. v. 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 Physics Journal. 2013. v. 53. № 8. P. 890-898.