

Моделирование временных форм терагерцевых импульсов, генерируемых фотопроводящими полупроводниковыми антеннами*

Е.Р. Бурмистров¹, Л.П. Авакянц¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

На основе уравнений Максвелла в параксиальном приближении получены аналитические выражения, описывающие пространственно-временную динамику однопериодных терагерцевых (ТГц) импульсов в оптической среде с дисперсией показателя преломления. Показано, что при распространении в дальней зоне дифракции форма ТГц-импульсов трансформируется из однопериодных в полуторапериодные колебания, что сопровождается сдвигом спектра в область высоких частот. Сравнение с экспериментальными спектрами показало, что предложенные формулы успешно описывают однопериодическое излучение ТГц-импульсов, генерируемых фотопроводящими антеннами под воздействием излучения Ti:Sa-лазера.

Ключевые слова: фотопроводящие антенны, гауссов луч, импульсное терагерцевое излучение, параксиальная дифракция.

Введение

Генерация импульсного терагерцевого (ТГц) излучения представляет собой область активных исследований [1, 2]. В силу пикосекундной длительности ТГц-импульсы находят широкое практическое применение, в частности, в медицинской диагностике, спектроскопических исследованиях и при решении задач, связанных с обработкой и передачей информации [3, 4].

Важную роль в приложениях импульсной ТГц-спектроскопии играют фотопроводящие антенны (ФПА), которые, как правило, состоят из металлизированного слоя на полупроводниковой подложке. При облучении ФПА фемтосекундными лазерными импульсами в фотопроводящем материале в результате фотоионизации рождаются неравновесные носители заряда. ТГц-излучение возникает в результате преобразования фемтосекундных импульсов, подаваемых на ФПА, в излучение ТГц-диапазона.

Традиционно используемым материалом для ФПА, работающих с Ti:сапфировым лазером с длиной волны 800 нм, является GaAs. В работах [5–7] исследуются ФПА на основе низкотемпературного (LT – low temperature) GaAs. Установлено, что подвижность двумерных носителей в таких ФПА является низкой ($200 \text{ см}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$), что обусловлено высокой концентрацией дефектов в материале. Низкая подвижность носителей заряда негативно сказывается на физических процессах, лежащих в основе работы ФПА, а также на характеристиках самого ТГц-излучения.

Распространение широкополосных терагерцевых импульсов в оптической однородной прозрачной среде представляет собой область глубоких исследований. Воздух, как среда, имеет свои физические свойства, такие как плотность и температурный градиент, которые влияют на форму световой волны. Следовательно, ТГц-импульсы могут испытывать незначительное ослабление и затухание, особенно на высоких частотах за счет взаимодействия электромагнитных волн с молекулами воздуха.

Исследования пространственно-временного профиля сверхкоротких широкополосных лазерных импульсов в диссипативных средах, обладающих сложной амплитудно-фазовой структурой, остаются недостаточно развитыми на сегодняшний день [7–10]. В последнее время существенное внимание стало уделяться описанию распространения оптических волн в среде, показатель преломления (или диэлектрическая проницаемость) которой изменяется со временем [11–13]. В большинстве случаев показатель преломления среды рассматривается как пространственно модулированный во времени равномерным образом в масштабе времени одного цикла падающего оптического поля. Поскольку трудно производить быстрые изменения показателя преломления в среде в рамках фемтосекундных временных масштабов, в экспериментах используются, как правило, низкие частоты световых полей [11].

* Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «Базис».