

СТРУКТУРА ТЕРАГЕРЦОВОГО ИМПУЛЬСА НА ВЫХОДЕ
МЕТАЛЛО-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КАПИЛЛЯРА

А. В. ШИЛОВ, А. Б. СОТСКИЙ, *М. М. НАЗАРОВ

Учреждение образования

«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А. А. КУЛЕШОВА»

*Национальный исследовательский центр

«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Могилев, Беларусь; Москва, Россия

В настоящее время интенсивно развивается метод импульсной терагерцовой спектроскопии. Для повышения чувствительности этого метода при детектировании примесных компонентов в воздухе естественно использовать волноводы терагерцового (ТГц) диапазона с полой сердцевинной, заполненной исследуемым газом. Эксперименты показывают, что достаточно слабое затухание ТГц волн, необходимое для большой длины их взаимодействия с исследуемой средой, может обеспечить волновод в виде металло-диэлектрического капилляра (МДК), представляющий собой полимерный капилляр с определенной толщиной стенки и металлизированной внешней границей. В настоящей работе выполнен расчет структуры широкополосного ТГц импульса на выходе такого волновода. Исследовано влияние на импульс влажности воздуха.

Пусть на вход волновода поступает линейно поляризованный вдоль оси Oy ТГц импульс, генерируемый GaAs фотопроводящей антенной, возбуждаемой фемтосекундным импульсом титан-сапфирового лазера. Напряженность электрического поля импульса зависит от времени t как $E_y^{in}(t) = E_0 \exp(-t^2 T^{-2}) \cos[2\pi F(t - t_0)]$, где E_0 , T , F , t_0 – параметры импульса и имеет гауссов пространственный профиль. На выходе МДК длины L импульс определяется суперпозицией волноводных мод, заданных в виде интегралов Фурье по временным частотам. Амплитуды мод и их постоянные распространения обладают существенной дисперсией. Вид соответствующих функций зависит от дисперсионных характеристик исследуемого воздуха, что определяет сенсорный эффект.

Расчеты выполнены для полипропиленового МДК с внутренним радиусом 2 мм, толщиной стенки 24,2 мкм и серебряным покрытием. Используются значения $L = 10$ м, $F = 1,7$ ТГц, $t_0 = 1,8$ пс, $T = 0,3$ пс. Для моделирования дисперсии воздуха использована модель Лоренца с параметрами, определенными в предварительных экспериментах. Результаты рас-

четов представлены на рис. 1, где $\tau = t - Lc^{-1}$, (c – скорость света), $\bar{E} = E_y E_0^{-1}$.

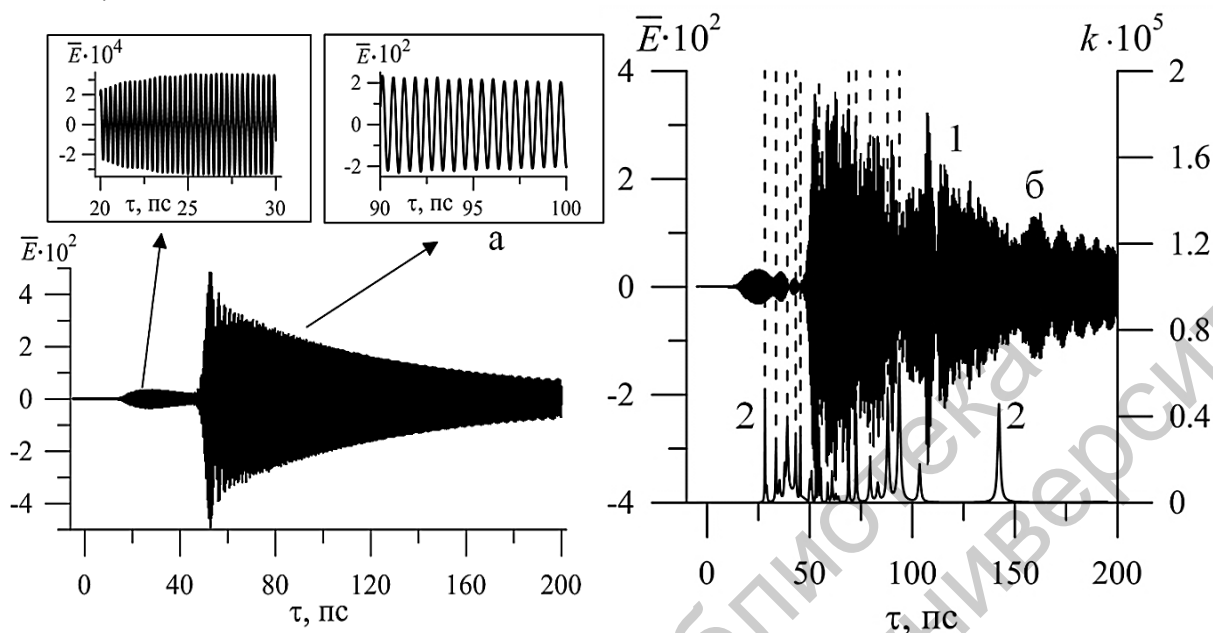


Рис. 1. ТГц импульс на выходе МДК, заполненного сухим (0 %) (а) и влажным (0,2 %) воздухом (б). Кривая 1 – импульс, 2 – спектр коэффициента поглощения влажного воздуха k . Штриховыми линиями отмечено положение некоторых максимумов этого спектра

Благодаря селекции мод МДК, вызванной их материальным поглощением, импульс на рис.1 практически полностью сформирован только двумя модами: HE_{11} и HE_{12} . Импульсы этих мод разделены из-за волноводной дисперсии. Временная зависимость частоты этих импульсов (чирп) описывается уравнением:

$$\tau - Lc^{-1} \{c[\nu_g(f)]^{-1} - 1\} = 0, \quad (1)$$

где $\nu_g(f)$ – частотная зависимость групповой скорости моды.

Согласно рис.1 б, зависимости 1 и 2 находятся в качественном соответствии. Однако детальное совпадение максимумов спектра поглощения и минимумов амплитуды колебаний вектора электрического поля наблюдается только в диапазоне 80–100 пс, который, согласно уравнению (1), соответствует частотному диапазону 1,63–1,79ТГц. Именно в этом диапазоне имеются наиболее интенсивные пики поглощения паров воды.

При стробоскопическом детектировании временной структуры выходного ТГц импульса установленное соответствие временной и частотной шкал (1) может быть использовано для экспрессной оценки концентрации примесных компонентов в воздухе и для медицинской диагностики.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ (грант F15R-138) и РФФИ (грант 15-52-0022).