

УДК 621.372.8:535

## КАПИЛЛЯРНЫЙ ВОЛНОВОД С ПОЛОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ КАК ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТЕРАГЕРЦОВОГО СЕНСОРА ВОДНОГО РАСТВОРА

А. В. ШИЛОВ, А. Б. СОТСКИЙ, \*М. М. НАЗАРОВ  
УО «МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. А. А. Кулешова»  
\*НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»  
Могилев, Беларусь; Москва, Россия

Терагерцовые (ТГц) сенсоры состава водных растворов востребованы в медицине и микробиологии. Однако их создание сталкивается с высоким поглощением ТГц излучения водой, вследствие которого слой воды толщиной больше 200 мкм для ТГц излучения практически не прозрачен. Эта особенность затрудняет импульсную ТГц спектроскопию во временной области растворов с использованием стандартной схемы, в которой исследуемое вещество помещается в просвечиваемую кювету. В такой ситуации предпочтительны сенсоры, в которых приемлемая длина взаимодействия ТГц излучения с раствором достигается за счет слабого проникновения поля этого излучения в раствор. В настоящее время известны два типа сенсоров такого рода: призмный, использующий эффект полного внутреннего отражения на границе раздела кремниевая призма – жидкость и волноводный, в котором жидкость зондируется эванесцентным полем либо моды диэлектрического волновода, находящейся в окрестности критических условий, либо поверхностной моды границы раздела металл – раствор. Недостатком призмного сенсора является существенная дифракционная расходимость сфокусированного пикосекундного импульса в однородной среде, негативно влияющая на отношение сигнал/шум, а недостатки известных волноводных сенсоров состоят в сложности их возбуждения пикосекундными импульсами с гауссовым пространственным распределением и в сильном поглощении ТГц излучения в материале сердцевин диэлектрических волноводов.

В докладе рассматривается волноводный ТГц сенсор раствора, в котором преодоление указанных ограничений достигается за счет передачи излучения по полой сердцевине мультикапиллярного волновода (рис. 1).

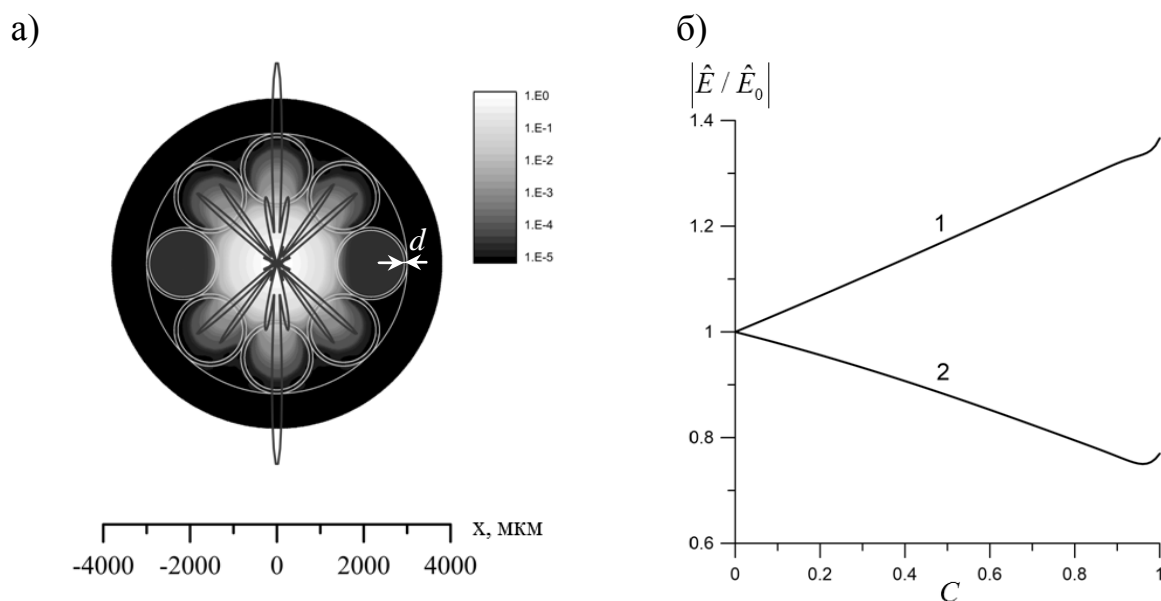


Рис. 1. Поперечное сечение 8-ми капиллярного волновода с полостью сердцевинной для детектирования примесного компонента концентрации  $C$  в водном растворе, заполняющем два диаметрально противоположных капилляра, центры которых расположены на линии, параллельной оси  $Ox$ , а также оптическая плотность и диаграмма излучения рабочей  $H_x$  моды на частоте 1ТГц при оптимальной конфигурации сенсора (а). Зависимость относительного модуля амплитуды фурье-образа ТГц импульса на выходе волновода от концентрации кокаина в воде при оптимальном  $d = 62.7$  мкм (кривая 1) и не оптимальном  $d = 132$  мкм (кривая 2) выборе толщины стенки сенсорного капилляра  $d$  (б)

Моделирование характеристик сенсора выполнено строгим методом функций Грина. В качестве материала капилляров рассмотрен полипропилен с диэлектрической проницаемостью  $2.247 - i0,0039$ . Для оптимизации сенсора использован критерий:

$$P = |\text{Im}\beta_0| \left| \text{Im} \left( \frac{\partial\beta}{\partial\varepsilon} \frac{\partial\varepsilon}{\partial C} \right) \right|^{-1}, \quad (1)$$

пропорциональный среднеквадратической ошибке регистрации концентрации примесного компонента  $C$ . Здесь  $\beta$  – постоянная распространения рабочей моды,  $\beta_0 = \beta$  при  $C = 0$ ;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость раствора и предполагается, что используется отрезок волновода оптимальной длины  $z_{opt} = 1 / |\text{Im}\beta_0|$ . Определены возможности минимизации (1) за счет выбора размеров капилляров и поляризации рабочей моды.

Экспериментально исследован сенсор водного раствора сахарозы. При  $C = 0.25C_0$ , где  $C_0$  – концентрация насыщенного раствора и длине волновода 10 см, получено значение  $|\hat{E} / \hat{E}_0| = 1.04$ , что подтверждает эффективность ТГц сенсоров рассмотренного типа.

