

07;08;12

Исследование особенностей регистрации акустической волны в жидкости с помощью волоконного пьезодатчика

© А.В. Беликов, А.В. Ерофеев, Ю.А. Синельник, Ю.В. Суденков

Санкт-Петербургский государственный институт точной механики и оптики
Санкт-Петербургский государственный университет

Поступило в Редакцию 24 октября 1996 г.

В работе приведены основные характеристики пьезоэлектрического датчика, находящегося на оптическом волокне и позволяющего измерять акустические сигналы, индуцируемые при воздействии этого излучения с веществом. Представлены результаты исследования лазериндуцированного акустического сигнала в жидкости.

Широкое применение лазеров с волоконно-оптическими системами доставки излучения в современной физике, технике и медицине требует разработки новых систем контроля и управления излучением. Для управления процессами лазерного разрушения материалов необходимо иметь информацию о динамике сопровождающих разрушение процессов. Одним из ярких примеров лазериндуцированных эффектов в веществе является эффект формирования акустической волны [1]. Анализ амплитудных и частотных особенностей лазериндуцированной акустической волны в ряде случаев дает информацию о процессе самого разрушения (эффективность разрушения, глубина нарушенного слоя и т. д.). Традиционно акустическую волну регистрируют микрофонами [2], расположенными в окружающей место взаимодействия среде (вода, воздух), однако в случае использования волоконно-оптических систем доставки данные методы измерения сталкиваются с существенными техническими трудностями. В работе приведены основные характеристики пьезоэлектрического датчика, находящегося на оптическом волокне и позволяющего измерять акустические сигналы, индуцируемые при воздействии этого излучения с веществом. Представлены результаты исследования лазериндуцированного акустического сигнала в жидкости.

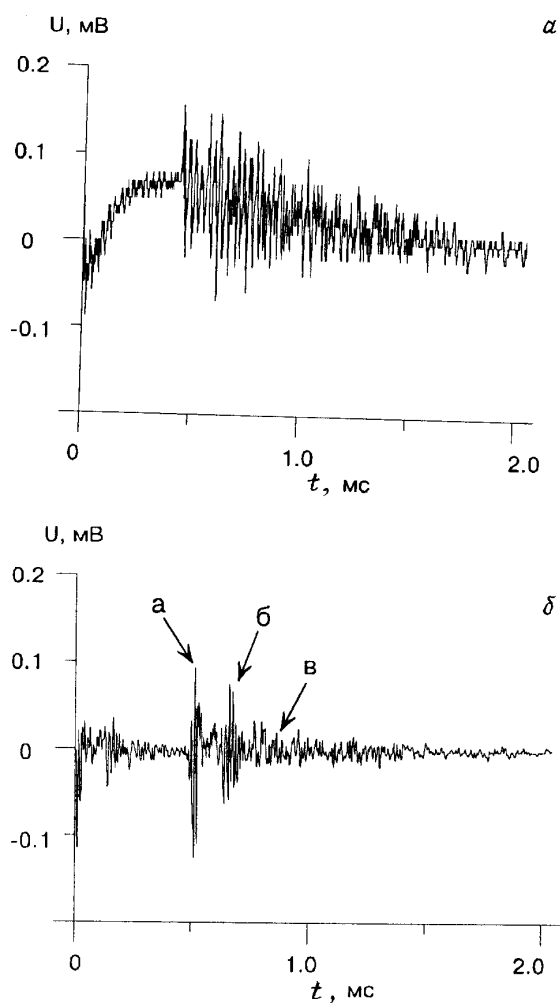


Рис. 1. Осциллограмма лазериндуцированного акустического сигнала: *а* — YAG:Nd, 1.06 мкм, 125 Дж/см², концентрация 0.008; *б* — YAG:Nd, 1.06 мкм, 125 Дж/см², концентрация 0.9.

В эксперименте были исследованы особенности лазериндуцированного акустического сигнала, вызванного в результате взаимодействия излучения YAG:Nd лазера ($\lambda = 1.06$ мкм) сигнала с водным раствором красителя (туши). Плотность энергии лазерного излучения варьировалась в пределах 10–160 Дж/см². Частота следования лазерных импульсов — 10 Гц. В ходе экспериментов определялась зависимость энергии и длительности регистрируемого датчиком акустического отклика от концентрации красителя в водном растворе при фиксированном уровне энергии лазерного излучения. В эксперименте выходной торец световода помещался в сосуд с раствором воды и красителя (тушью). Глубина погружения выходного торца волокна — порядка 30 мм (от поверхности). Объем воды во всех случаях составил — 50 мл. Концентрация красителя в растворе варьировалась в пределах от 0.01 до 0.2%. Волоконный датчик помещался ближе (порядка 50 мм) к выходному торцу волокна для минимизации эффекта затухания акустической волны при распространении ее в материале волновода. В работе использовалось кварц-кварцевое оптическое волокно с диаметром световедущей жилы 500 ± 20 мкм. Для последующей обработки сигналы с датчиков поступали на вход осциллографа С9-8+КОП, сопряженного с РС/АТ 486-120.

Принцип работы акустооптического датчика в режиме измерения параметров акустического сигнала, индуцированного в процессе взаимодействия лазерного излучения с веществом (газом, жидкостью, твердым телом), основан на регистрации динамических деформаций, возникающих в оптическом волокне, контактирующем с веществом. В этом случае оптическое волокно, на котором фиксировался датчик, являлось светопроводом и одновременно звукопроводом для акустической волны, возникающей в жидкости (тушь), при лазерном облучении в точке взаимодействия. Точкой взаимодействия являлось место соприкосновения дистального торца волновода и жидкости. Эксперименты по определению расстояния (h) между точкой взаимодействия и точкой фиксации датчика, на котором соотношение сигнал/шум превышает 10, показали, что оно составляет величину порядка 50 мм. Увеличение h приводит к ухудшению этого соотношения.

Характерные осциллограммы при изменении концентрации красителя в воде показывают, что при плотности энергии излучения с

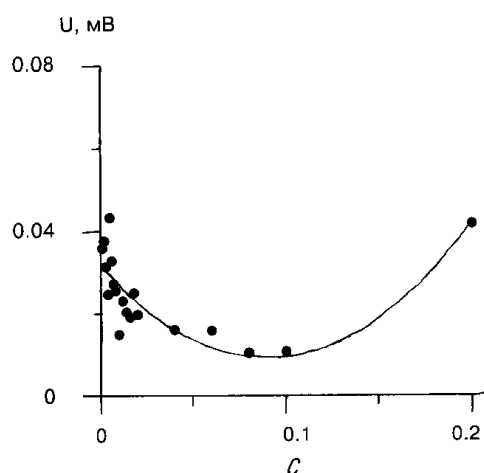


Рис. 2. Зависимость энергии лазериндуцированного акустического сигнала от концентрации красителя, тушь, YAG: Nd, 1.06 мкм.

длиной волны 1.06 мкм порядка 125 Дж/см^2 возникновение акустических колебаний (вследствие микровзрывов при поглощении света частицами красителя) в водном растворе туши носит пороговый характер и устойчиво наблюдается начиная с концентрации (c) порядка 0.004–0.008. Характерный вид сигнала, регистрируемого датчиком в этом случае, приведен на рис. 1, а. Видно, что настоящий сигнал представляет собой суперпозицию двух сигналов — низкочастотного и высокочастотного. Низкочастотный сигнал обусловлен пьезоэлектрическим сигналом вследствие рассеяния света в материале волокна и несет информацию об энергии лазерного излучения. Это подтверждается и инвариантностью его формы и амплитуды по отношению к изменению концентрации красителя и яркой зависимостью его параметров от энергии лазерного излучения. Высокочастотный (акустический) сигнал обусловлен пьезоэлектрическим откликом и характеризует процесс взаимодействия лазерного излучения с веществом, о чем свидетельствует зависимость его параметров от концентрации красителя. Увеличение концентрации красителя приводит к возрастанию амплитуды акустического сиг-

нала и изменению его частотного спектра. Временное разрешение можно оценить:

$$\tau \approx \frac{l}{V}. \quad (1)$$

где l — линейный размер (длина контакта датчик/волокно), V — скорость звука в волокне.

В нашем случае $\tau \approx 10^{-6}$ с. Характерный вид сигнала при концентрациях, близких к 1, приведен на рис. 1, б. Видно, что в этом случае датчик регистрирует акустический отклик не только от точки взаимодействия (а), но и от поверхности жидкости (б) и от стенок сосуда (в).

Характерная зависимость энергии лазериндуцированного (YAG:Nd, 1.06 мкм) акустического сигнала от концентрации красителя (тушь) приведена на рис. 2. По всей видимости, минимум в области концентраций 0.1 связан с конкуренцией двух механизмов формирования акустической волны: один связан с нагревом и расширением частиц туши в поле лазерного импульса и доминирует при малых концентрациях, второй связан с микровзрывами частиц туши и взаимодействием разогретых частиц между собой.

Таким образом, проведенный комплекс исследований позволил разработать миниатюрный, чувствительный, спектрально-селективный акустооптический волоконный датчик, позволяющий одновременно фиксировать как энергию (мощность) лазерного излучения, так и сигнал, сопровождающий процесс взаимодействия лазерного излучения с веществом в полосе до 1 МГц. На базе данного датчика была разработана схема обратной связи, включающая: датчик, аналого-цифровой преобразователь, компьютер, цифро-аналоговый преобразователь, исполнительные устройства для изменения энергии (мощности) и временной структуры лазерного излучения.

Список литературы

- [1] Gusev V.E., Karabutov A.A. Laser optoacoustics. Bristol, 1993.
- [2] Belikov A.V., Novikov A.G., Scrypnik A.V. Proc. of SPIE Medical Applications of Lasers III. 1995. 2623. P. 109–116.