

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 53.07+532.5+536.25+536.44+615.47+616.7

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЖИДКИХ СРЕДАХ

© 2019 г. Н. В. Минаев, В. И. Юсупов, С. И. Цыпина, В. П. Минаев

Поступила в редакцию 25.08.2018 г.

После доработки 25.08.2018 г.

Принята к публикации 13.09.2018 г.

DOI: 10.1134/S0032816219020137

Предложена установка, позволяющая изучать лазерно-индуцированные процессы вблизи торца оптического волокна в различных жидкостях. Установка позволяет имитировать условия при проведении ряда медицинских операций (в том числе эндоскопических и пункционных) на различных кистах, мочевом пузыре, межпозвоночных дисках, на коленном суставе, а также при лазерно-индуцированном удалении камней в мочеточниках, эндовенозной лазерной коагуляции и др.

Принципиальная схема и общий вид установки представлены соответственно на рис. 1а и 1б. Основным элементом системы является набор прозрачных кювет 1. Крупные кюветы объемом от 0.1 до 3 л выполнены из поликарбоната, миниатюрные тонкостенные кюветы объемом от 1 мл — из кварцевого стекла толщиной от 150 мкм до 3 мм. В боковой стенке ячеек размещается ввод для оптического волокна 2, выполненный из нержавеющей капилляра, внутри которого установлено резиновое уплотнение. В объем кюветы с рабочей жидкостью могут заводиться стандартные оптические волокна диаметром до 1 мм. В качестве источника излучения 3 используется набор волоконных лазеров умеренной мощности с длинами волн 0.97, 1.56 и 1.94 мкм, которые широко применяются в современных медицинских технологиях. При необходимости лазерное излучение заводится в кювету через оптический разветвитель 4, что позволяет получить дополнительный измерительный оптический канал 5. С его помощью регистрируется отраженный от рабочего торца оптического волокна сигнал. Амплитуда этого сигнала связана с показателем преломления среды на границе торца волокна, что позволяет контролировать ее плотность.

Для оптической регистрации лазерно-индуцированных процессов, развивающихся вблизи торца волокна, используется высокоскоростная камера Fastcam SA-3 ("Photron", Япония) (6) с фронтальной подсветкой от набора источников 7 белого света либо от излучения непрерывного или импульсного лазеров. Это позволяет снимать

серию кадров со скоростью до 10^5 кадров/с либо одиночные кадры с необходимой задержкой относительно лазерного импульса, синхронизируя запись с помощью компьютера 8. Для получения информации о локальной плотности жидкости используется волоконный денситометр [1], который позволяет проводить измерения с помощью тонкого оптического волокна 9. Для дополнительного контроля динамических процессов в жидкости используется оптоакустический метод [2, 3]. В свободном объеме кюветы с рабочей жидкостью размещается широкополосный гидрофон 8103 (B&K, Denmark) (10) с полосой 0.1 Гц–80 кГц, кроме того, под необходимым углом к торцу волокна устанавливается игольчатый гидрофон (Precision Acoustics, UK) (11) диаметром 1 мм с предусилителем с шириной полосы 10 кГц–50 МГц. Регистрация полученных акустических данных осуществляется с помощью цифрового четырехканального осциллографа GOS 72304 (12) с полосой дискретизации 300 МГц. Для регистрации температурных полей на поверхности воды или на поверхности тонкостенных кювет предусмотрен научный тепловизор (13) FLIR A655sc (FLIR Systems AB, Швеция) с разрешением 17 мкм и чувствительностью <50 мК. Калибровка тепловизора обеспечивает измерение температуры до +650°C с точностью $\pm 2\%$. Метод инфракрасной термографии успешно применялся ранее для исследования процессов кипения (см., например, [4]).

Вся конструкция собрана на раме из конструкционного алюминиевого профиля. Отдельные элементы, такие как кювета, скоростная камера и осветители, размещаются на подвижках с микрометрическими винтами.

На рис. 1в в качестве примера приведены теневой снимок с гидродинамическими процессами и акустический сигнал, полученные при возбуждении гидродинамических процессов в воде лазерным излучением с длиной волны 1.94 мкм при мощности 120 Вт. Такое излучение сильно поглощается водой,

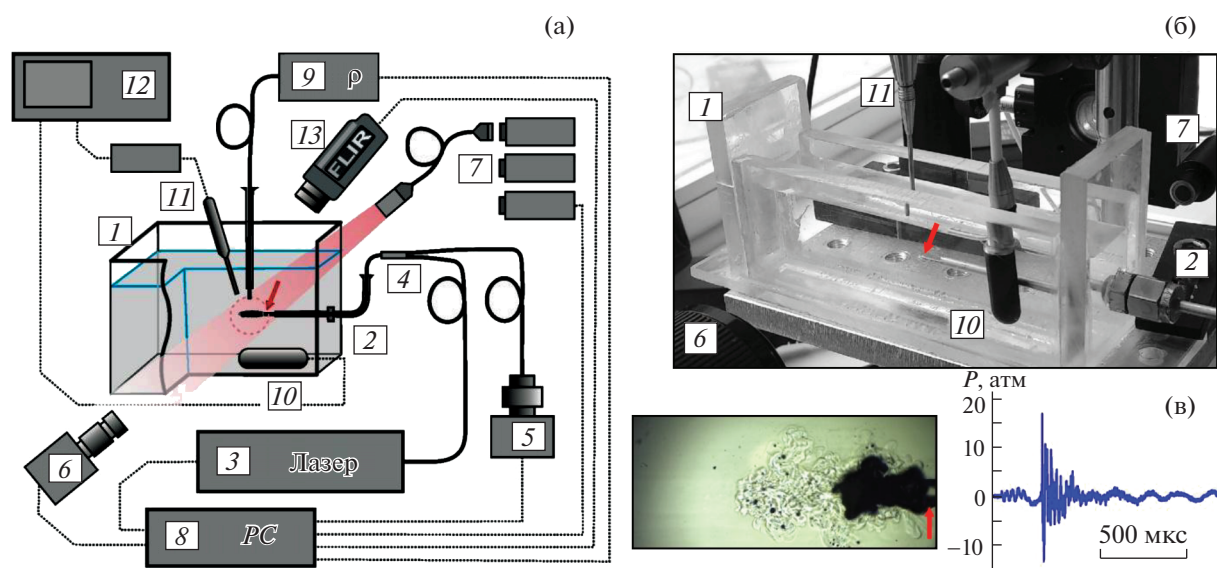


Рис. 1. Принципиальная схема (а) и внешний вид части установки (б), примеры теневого снимка с гидродинамическими процессами и акустического сигнала (в). 1 – прозрачная кювета с водой; 2 – ввод для оптического волокна; 3 – волоконный лазер; 4 – оптический разветвитель; 5 – измерительный оптический канал; 6 – высокоскоростная камера; 7 – фронтальная подсветка; 8 – компьютер; 9 – волоконный денситометр; 10 – широкополосный гидрофон; 11 – игольчатый гидрофон с предусилителем; 12 – осциллограф; 13 – тепловизор. Красными стрелками показаны торцы рабочего оптического волокна.

вызывая быстрый нагрев до температуры, близкой к критической, и взрывное кипение [3, 5].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 17-02-00832 в части транспортных процессов, 18-29-06056 в части взрывного кипения) и Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН в части исследования лазерно-индуцированной термокавитации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баграташвили В.Н., Юсупов В.И. Патент № 80576 РФ. // Бюл. № 4. Оpubл. 10.02.2009.
2. Карабутов А.А., Пеливанов И.М., Подымова Н.Б., Скипетров С.Е. // Квантовая электроника. 1999.

Т. 29. № 3. С. 215. doi 10.1070/QE1999v029n12 ABEN001630

3. Юсупов В.И., Коновалов А.Н., Ульянов В.А., Баграташвили В.Н. // Акустический журнал. 2016. Т. 62. № 5. С. 531. doi 10.7868/S0320791916050191
4. Суртаев А.С., Сердюков В.С., Моисеев М.И. // ПТЭ. 2016. № 4. С. 140. doi 10.7868/S0032816216030265
5. Чудновский В.М., Юсупов В.И., Дыдыкин А.В., Невозжай В.И., Кисилёв А.Ю., Жуков С.А., Баграташвили В.Н. // Квантовая электроника. 2017. Т. 47. № 4. С. 361. http://dx.doi.org/10.1070/QEL16298

Адрес для справок: Россия, 108840, Москва, Троицк, ул. Пионерская, 2, Институт фотонных технологий ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН. Тел.: +79151862495. E-mail: iouss@yandex.ru (Юсупов В.И.)