

Исследование индуцированной в жидкости кавитации в зависимости от энергии и длительности лазерного импульса при разных режимах работы лазера

Нассер Р. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – к.т.н. Смирнов С.Н. (Университет ИТМО)

Введение. При воздействии интенсивного лазерного излучения на поглощающую жидкость может быть стимулирована кавитация, т.е. формирование парогазовых полостей. Это явление находит применение в различных областях, в том числе – в медицине. Например, в офтальмологии лазерно-индуцированная кавитация повышает эффективность разрушения катарактального хрусталика во время лазерной экстракции катаракты [1,2]. В стоматологии же она служит основой для технологий лазерной очистки корневых каналов зубов [3].

Характеристики стимулируемой парогазовой полости зависят от многих параметров, в том числе, от параметров лазерного излучения (длины волны, длительности лазерного импульса), параметров оптического волокна, доставляющего излучения (диаметра сердцевины, формы выходного торца), а также от оптических и физических свойств самой жидкости, в которой происходит процесс возбуждения и коллапса полости. Все эти параметры влияют на плотность поглощённой энергии лазерного излучения в жидкости, что в свою очередь определяет размерные параметры индуцированной лазерным излучением парогазовой полости. Данная работа посвящена исследованию индуцированной излучением Yb,Er:Glass лазера ($\lambda=1,54$ мкм) кавитации в зависимости от энергии и длительности лазерного импульса при различных режимах работы лазера, а именно – в режиме свободной генерации и в режиме модуляции полезных потерь.

Основная часть. В данной работе использовался экспериментальный стенд, позволяющий визуализировать процессы развития и коллапса лазерно-индуцированной парогазовой полости с помощью высокоскоростной камеры, а также регистрировать перепады давления при помощи гидрофона. В качестве источника использовался лабораторный макет лазера на иттербий-эрбиевом стекле ($\lambda= 1.54$ мкм), работающий в режиме свободной генерации, позволяющий получить миллисекундных импульсов. Для реализации режима модуляции полезных потерь резонатор макета лазера был заменён на трёхзеркальный с выводом излучения через НПВО-затвор [4].

В дистиллированную воду были доставлены одиночные лазерные импульсы с микро- и миллисекундной длительностью через кварц-кварцевое оптическое волокно с диаметром сердцевины/оболочки 470/500 мкм. Измерялись и сравнивались различные параметры стимулируемой парогазовой полости, такие, как максимальный размер, время формирования, время коллапса, количество осцилляций полости, а также амплитуда акустического сигнала при её коллапсе, в зависимости от энергии и длительности импульса.

Выводы. Проведено исследование лазерно-индуцированных гидроакустических процессов в жидкости при доставке миллисекундных и микросекундных импульсов излучения Yb,Er:Glass лазера через оптическое волокно. Установлена зависимость максимального размера и времени жизни формируемой под действием лазерного импульса парогазовой полости в жидкости, а также параметров акустического сигнала от энергии в лазерном импульсе и от длительности импульса.

Список использованных источников:

1. Беликов А.В., Смирнов С.Н., Копаев С.Ю., Немсицверидзе М.Н., Батов Ю.Н., Губин А.Б., Пирожков Ю.Б. Использование пакетов микросекундных импульсов лазерного излучения с длиной волны 1.54 мкм для разрушения катаракты // Квантовая электроника. – 2021. – Т. 51. – № 1. – С. 2–7.

2. Беликов А.В., Смирнов С.Н., Батов Ю.Н., Губин А.Б., Пирожков Ю.Б., Бойко Э.В., Немсицверидзе М.Н. In vitro исследование экстракции катаракты лазерным излучением с $\lambda = 1.54$ мкм в виде пакетов микросекундных импульсов // Квантовая электроника. – 2022. – Т. 52. – № 1. – С. 69–77.

3. De Groot S. D. et al. Laser-activated irrigation within root canals: cleaning efficacy and flow visualization //International endodontic journal. – 2009. – Т. 42. – №. 12. – С. 1077-1083.

4. Смирнов Сергей Николаевич. Лазерная гидроакустическая обработка хрусталика глаза микросекундными импульсами излучения лазера на иттербий-эрбиевом стекле: диссертация ... кандидата технических наук: 05.27.03 / Смирнов Сергей Николаевич; [Место защиты: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»], 2018.- 147 с.