

07;08;12

Новый волоконный акустический датчик лазерной энергии

© А.В. Беликов, А.В. Ерофеев, А.В. Скрипник, 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 описывается оригинальный датчик, позволяющий измерять как энергию импульсного лазерного излучения, введенного в оптическое волокно, так и акустические сигналы, индуцируемые при воздействии этого излучения с веществом. Представлены результаты исследования возможностей такого оптоакустического приемника.

Развитие интегральной оптики и широкое применение лазеров с волоконно-оптическими системами доставки излучения в современной физике, технике и медицине требует разработки новых систем контроля и управления излучением — систем обратной связи. Для управления процессами лазерного разрушения материалов в подавляющем большинстве случаев достаточно регулировать среднюю мощность излучения [1]. В качестве критерия управления в этом случае можно выбрать превышение лазерной энергией некоторой пороговой величины, вызывающей изменения состояния объекта (разрушение, модификация и т.д.) [2]. Традиционно энергию (мощность) лазерного излучения измеряют колориметрическим или оптико-электронным методом [3], однако в случае использования волоконно-оптических систем доставки данные методы измерения сталкиваются с существенными техническими трудностями. В работе описывается оригинальный датчик, позволяющий измерять как энергию импульсного лазерного излучения, введенного в оптическое волокно, так и акустические сигналы, индуцируемые при воздействии этого излучения с веществом. Представлены результаты исследования возможностей такого оптоакустического приемника.

В эксперименте были исследованы зависимости формы и амплитуды пироэлектрического сигнала с датчика от энер-

гии и длины волны лазерного излучения, передаваемого по оптическим волокнам различной природы. Излучение YAG:Nd ($\lambda = 1.06$ мкм и $\lambda = 1.44$ мкм); YAG:Cr;TmHo ($\lambda = 2.088$ мкм) и YAG:Er ($\lambda = 2.94$ мкм) лазеров, проходя через оптическую систему зеркал, фокусировалось линзой из CaF₂ на входной торец световода. Плотность энергии лазерного излучения варьировалась в пределах 10–160 Дж/см². Частота следования лазерных импульсов — 10 Гц. Плоскопараллельная пластинка направляла часть излучения на калориметрический измеритель энергии, регистрирующий мощность (энергию) лазерного излучения, падающую на входной торец световода. Значение измеряемой таким образом энергии лазерного излучения использовалось при расчете эффективности ввода лазерного излучения в волокно. В данном случае акустооптический волоконный датчик закреплялся на расстоянии порядка 20 мм от входного торца световода. Дополнительный калориметрический измеритель энергии регистрировал энергию лазерного излучения, прошедшую через световод. В эксперименте исследовалось соответствие амплитуды сигнала с акустооптического волоконного датчика и энергии лазерного излучения, прошедшей через световод. В работе использовались полые, кварцевое и германатное (Ge-glass) волокна 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 датчика в режиме измерения энергетических параметров лазерного излучения основан на линейности связи рассеянного в оптическом материале света и регистрируемого пирозлектрического сигнала, возбуждаемого рассеянной волной. Сигнал с датчика является результатом интегрирования пиковой структуры лазерного импульса, о чем свидетельствует совпадение времени достижения максимума сигнала с датчика и времени окончания лазерного импульса ($t \approx 100$ – 200 мкм). В дальнейшем данный сигнал можно обрабатывать пиковым детектором и тем самым определять величину, пропорциональную энергии лазерного импульса. В ходе настоящей работы нас интересовал вопрос универсальности акустооптического волоконного датчика по отношению к использованию оптических волокон различной природы и длине волны измеряемого излучения.

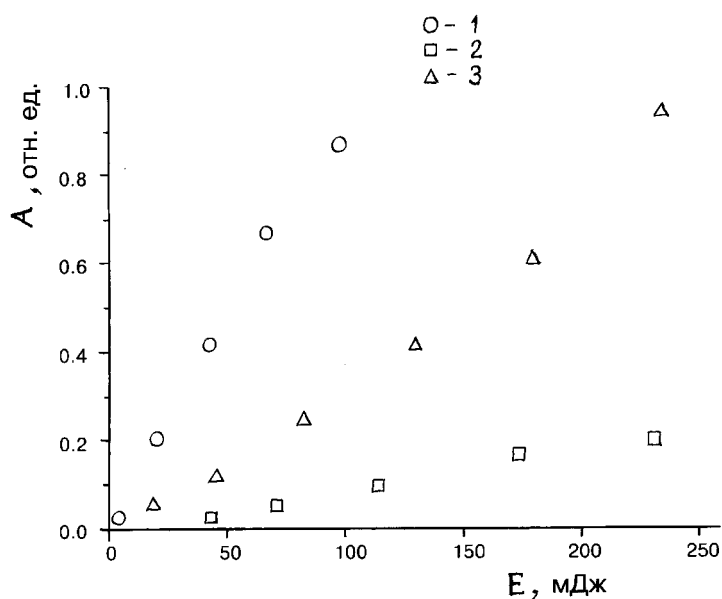


Рис. 1. Зависимость относительной амплитуды сигнала с акустооптического волоконного датчика от энергии излучения различных типов лазеров, прошедшей через кварц-кварцевое волокно. Длина волны: 1 — 1.44 мкм; 2 — 0.88 мкм; 3 — 2.94 мкм.

На рис. 1 приведена зависимость амплитуды сигнала с акустооптического волоконного датчика, закрепленного на кварцевом световоде от энергии, падающего на входной торец световода лазерного излучения различной длины волны. На рис. 2 приведена зависимость, характеризующая связь амплитуды пирозлектрического сигнала с акустооптического датчика и энергии излучения субмиллисекундного YAG:Er импульсного лазера прошедшей через кварц-кварцевое, полое и Ge-glass оптические волокна.

Вид данных зависимостей позволяет сделать вывод о линейности калибровочной характеристики акустооптического волоконного датчика во всем диапазоне используемых в работе энергий лазерного излучения.

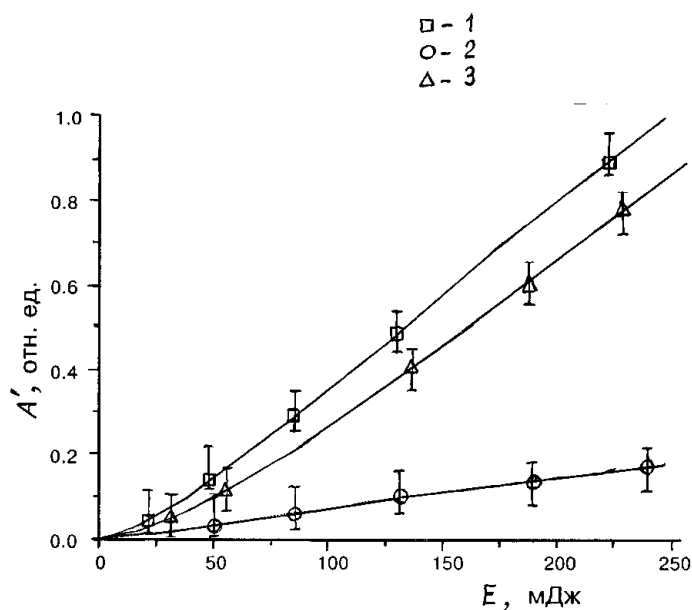


Рис. 2. Зависимость относительной амплитуды сигнала с акустического датчика от энергии излучения YAG:Er лазера, прошедшей через различные типы оптических волокон: 1 — кварцевое волокно, 2 — полое волокно, 3 — Ge-glass.

Зависимость, приведенная на рис. 1, подтверждает очевидную зависимость амплитуды регистрируемого датчиком сигнала от длины волны лазерного излучения, что говорит о спектральной селективности данного приемника. Эффект спектральной селективности акустооптического волоконного датчика связан с различием в коэффициенте рассеяния кварца на разных длинах волн. Отметим тот факт, что максимальный сигнал наблюдался для длины волны 1.44 мкм, что объясняется следующей зависимостью интенсивности амплитуды рассеяния от длины волны света:

$$I_{\text{расс}} \approx \frac{1}{\lambda^k}, \quad (1)$$

где $I_{\text{расс}}$ — амплитуда рассеянного в оптическом волокне сигнала, λ — длина волны лазерного излучения, k — эмпирический коэффициент пропорциональности. Зависимость, приведенная на рис. 2, иллюстрирует тот факт, что для волокон различной природы наблюдаются различия в амплитуде регистрируемого датчиком сигнала. Анализ строения исследуемых волокон показал, что этот эффект может быть связан с тем, что рассеяние света с длиной волны 2.94 мкм больше (и практически одинаково) для кварц-кварцевого и Ge-glass волокон и меньше для полого волокна (хотя это и не говорит о потерях в волокне).

Обратим внимание на то, что проведенные исследования порога чувствительности акустооптического датчика показали, что эта величина не зависит от длительности лазерного импульса и для всех исследованных лазерных источников составляет величину порядка 1 мДж.

Таким образом, в рамках настоящей работы впервые разработан и изучен акустический датчик, размещенный на световоде, передающем лазерное излучение к месту воздействия. Датчик позволяет:

- измерять энергию лазерного излучения, прошедшую через волокно;
- измерять коэффициент ввода лазерного излучения в волокно;
- измерять энергию лазерно-индуцированной акустической волны;
- измерять частоту лазерно-индуцированной акустической волны;
- фиксировать момент начала деградации свойств световода;
- исследовать тепловые и акустические характеристики различных волоконных систем.

Список литературы

- [1] *Weber M.J.* Handbook of laser science and technology. B., CRC Press, Inc., 1991.
- [2] *Belikov A.V., Novikov A.G., Scrypnik A.V.* // Proc. of SPIE Medical Applications of Lasers III. 1995. 2623. P. 109–116.
- [3] *Карлов Н.В.* Лекции по квантовой электронике. М.: Наука, 1988.
- [4] *Gusev V.E., Karabutov A.A.* Laser optoacoustics. Bristol, 1993.