

Скачки разности фаз встречных волн кольцевого твердотельного лазера в режиме синхронного хаоса

Н.В.Кравцов, Е.Г.Ларионцев, Н.И.Наумкин, С.Н.Чекина, В.В.Фирсов

Экспериментально обнаружено последовательное переключение разности оптических фаз встречных волн в твердотельном кольцевом лазере, работающем в режиме синхронизации хаоса во встречных направлениях.

Ключевые слова: динамический хаос, фазовая динамика, твердотельный кольцевой лазер.

Исследования динамического хаоса в лазерной физике имеют как фундаментальное, так и прикладное значение. Такие исследования важны, например, для изучения синхронизации хаотических колебаний в связанных системах. В последнее время в твердотельных лазерах было обнаружено несколько различных режимов синхронизации хаотических колебаний: режимы полной синхронизации, фазовой синхронизации, обобщенного синхронного хаоса и др. (см., напр., [1–5]).

Заметим, что в проводившихся экспериментальных исследованиях, как правило, изучались лишь амплитудные и спектральные характеристики хаотического излучения исследуемых лазеров. Однако совершенно очевидно, что полная информация о нелинейной динамике двунаправленных и связанных лазеров может быть получена только с учетом их фазовой динамики. С этой точки зрения представляет интерес работа [6], в которой на основе численного моделирования предсказана возможность возникновения регулярных скачков разности оптических фаз на π в промежутке между соседними хаотическими импульсами в двунаправленном твердотельном кольцевом лазере (ТКЛ) с периодической модуляцией накачки.

В настоящей работе мы впервые, по-видимому, экспериментально наблюдаем такие регулярные скачки разности фаз встречных волн между соседними импульсами излучения в ТКЛ, работающем в режиме синхронного динамического хаоса. При изучении фазовой динамики встречных волн использовался сигнал фотосмещения. Для получения этого сигнала встречные волны $E_{1,2}$ на выходе ТКЛ с помощью системы отражателей совмещались в пространстве и направлялись на квадратичный фотодетектор. Интенсивность этого сигнала

$$I_{\text{pm}} \sim \langle (E_1 + E_2)^2 \rangle. \quad (1)$$

Здесь угловые скобки означают усреднение по быстрым оптическим колебаниям для волн с одинаковыми поляризациями.

НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына при МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119899 Москва, Воробьевы горы

Поступило в редакцию 18 января 2002 г.

Из (1) следует выражение

$$I_{\text{pm}} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \varphi, \quad (2)$$

где $I_{1,2}$ – интенсивности интерферирующих волн, а φ – разность фаз между ними.

Исследуемый чип-лазер представлял собой моноблок со сферической входной гранью и тремя гранями полного внутреннего отражения. Геометрический периметр резонатора составлял 2.6 см, угол неплоскостности резонатора был равен 80° . Подробно конструкция лазера описана в [7]. Возбуждение лазера осуществлялось с помощью полупроводникового излучателя. Излучение накачки модулировалось в диапазоне частот $f_m = 18 - 180$ кГц с глубиной модуляции до 100 %.

В отсутствие модуляции ($f_m = 0$) лазер работал в автомодуляционном режиме первого рода (частота автомодуляции $f_a = 230$ кГц). Частота релаксационных колебаний была равна 75 кГц при относительном превышении пороговой мощности накачки $\eta = 0.18$. При $f_m = 28.5$ кГц в лазере возникал режим синхронного динамического хаоса. Поляризации излучения во встречных направлениях были эллиптическими и имели несколько различающиеся азимуты поляризации, поэтому при регистрации сигнала фотосмещения интерферирующие волны пропускались через линейные поляризаторы, ориентированные одинаковым образом.

На рис.1 показаны осциллограммы интенсивностей линейно поляризованных компонент встречных волн $I_{1,2}$ и сигнала фотосмещения I_{pm} в режиме синхронного хаоса.

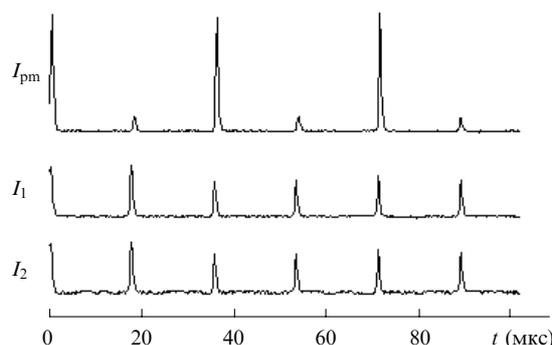


Рис.1. Осциллограммы интенсивностей встречных волн I_1 , I_2 и сигнала фотосмещения I_{pm} .

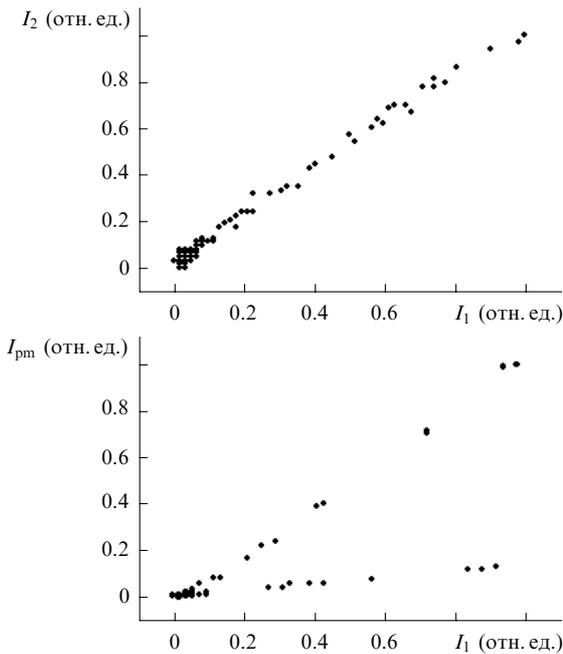


Рис.2. Проекция фазового портрета на плоскости I_1, I_2 и I_1, I_{pm} при $f_m = 28.5$ кГц и $\eta = 0.18$.

са. Видно, что в излучении лазера присутствуют импульсы двух типов: синфазные, для которых интенсивность сигнала фотосмещения примерно в четыре раза превышает интенсивность каждой из интерферирующих волн, и противофазные, для которых амплитуда сигнала фотосмещения весьма мала. При этом синфазные и противофазные импульсы регулярно сменяют друг друга. На рис.2 показаны проекции фазового портрета на плоскости I_1, I_2 и I_1, I_{pm} . Проекция фазового портрета на плос-

кость I_1, I_{pm} также свидетельствует о существовании двух типов импульсов.

Приведенные осциллограммы и фазовые портреты однозначно подтверждают существование в ТКЛ режима синхронного хаоса, в котором имеют место последовательные скачки оптических фаз встречных волн. Наблюдаемая фазовая динамика излучения качественно согласуется с предсказаниями работы [6]. Отметим, что в работе [6] исследования проводились без учета шумов спонтанного излучения, которые, в принципе, могут влиять на фазовую динамику излучения [8]. Из полученных результатов следует, что спонтанное излучение в активной среде не препятствует возникновению регулярных скачков разности оптических фаз встречных волн.

Таким образом, установлено, что в ТКЛ существуют регулярные скачки разности оптических фаз встречных волн в режиме синхронного хаоса. Проведенные исследования подтвердили эффективность использования интерференционной методики для наблюдения этого явления.

Авторы благодарны С.С.Сидорову за помощь в работе. Работа поддержана РФФИ (грант № 02-02-16391).

1. Roy R., Thornburg K.S. *Phys. Rev. Lett.*, **72**, 2009 (1994).
2. Thornburg K.S., Moller M., Roy R., Carr T.W., Li R.D., Erneux T. *Phys. Rev. E*, **55**, 3865 (1997).
3. Клименко Д.Н., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Фирсов В.В. *Квантовая электроника*, **24**, 649 (1997).
4. Напартович А.П., Сухарев А.Г. *Квантовая электроника*, **31**, 147 (2001).
5. Золотоверх И.И., Клименко Д.Н., Ларионцев Е.Г. *Квантовая электроника*, **23**, 625 (1996).
6. Ларионцев Е.Г. *Квантовая электроника*, **25**, 405 (1998).
7. Золотоверх И.И., Клименко Д.Н., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Фирсов В.В. *Квантовая электроника*, **23**, 938 (1996).
8. Ораевский А.Н., Торонов В.Ю. *Квантовая электроника*, **16**, 2063 (1989).