

## Самосинхронизация мод в $YAG:Nd^{3+}$ -лазере

А.К.Комаров, К.П.Комаров, А.С.Кучьянов

*Экспериментально обнаружена самосинхронизация мод в лазере на  $YAG:Nd^{3+}$  с отрицательной обратной связью без внесения дополнительных нелинейных элементов в резонатор. При этом лазер в течение всего времени накачки генерирует одиночные на аксиальном периоде импульсы длительностью 300–500 пс.*

**Ключевые слова:** синхронизация мод, отрицательная обратная связь, нелинейное поглощение.

К настоящему времени основные механизмы синхронизации лазерных мод достаточно хорошо изучены как теоретически, так и экспериментально [1]. Наиболее широко распространенный способ синхронизации мод связан с нелинейными внутрирезонаторными потерями, уменьшающимися с ростом интенсивности излучения. Такие потери приводят к дискриминации лазерного излучения по его амплитуде, т.е. случайные импульсы с большей интенсивностью усиливаются, а с меньшей – ослабевают. Роль дискриминатора могут выполнять насыщающийся поглотитель либо элемент, вносящий нелинейные дифракционные потери. Одна из конкретных реализаций такой синхронизации мод представляет, на наш взгляд, достаточный интерес. Нами обнаружено, что лазер на  $YAG:Nd^{3+}$ , работающий в стационарном режиме за счет отрицательной обратной связи (ООС), может генерировать одиночные на аксиальном периоде ультракороткие импульсы без внесения каких-либо дополнительных нелинейных внутрирезонаторных элементов (в отсутствие ООС генерация идет в режиме незатухающих пиков).

Перевод твердотельного лазера в режим стационарной генерации с помощью ООС позволяет кардинально улучшить пассивную синхронизацию лазерных мод [2]. Улучшение происходит в силу того, что лазер становится очень чувствительным к зависимости коэффициента усиления импульсов в лазерном резонаторе от их мощности. Небольшое различие коэффициентов усиления импульсов на аксиальном периоде приводит к тому, что по истечении некоторого переходного периода в генерации вследствие нелинейного поглощения остается импульс с максимальной амплитудой, остальные оказываются ниже порога усиления. В результате лазер излучает одиночные на аксиальном периоде импульсы, параметры которых остаются неизменными в течение действия накачки.

Схема экспериментальной установки, использованная в нашей работе, показана на рис.1. Применялся стандартный активный элемент  $YAG:Nd^{3+}$  диаметром 5 мм

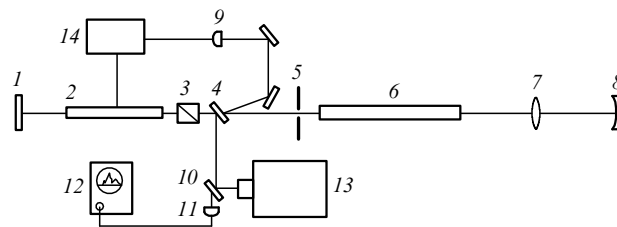


Рис.1. Схема экспериментальной установки:

1 – плоское глухое зеркало; 2 – электрооптический модулятор МЛ-102А; 3 – поляризатор; 4, 10 – светоделительные пластинки; 5 – диафрагма ( $\varnothing 2$  мм); 6 – активный элемент; 7 – линза ( $f = 10$  см); 8 – сферическое зеркало ( $R = 15$  см); 9, 11 – фотоприемники; 12 – осциллограф С1-75; 13 – электронно-оптическая камера Агат СФ3; 14 – усилитель.

и длиной 100 мм, помещенный в квантрон К-307. Длительность импульса накачки составляла 50 мкс, частота повторения – 10 Гц. Для регистрации излучения использовалась стеклянная пластинка 4. Работа лазера в режиме стационарной генерации в течение времени накачки осуществлялась за счет применения системы ООС (фотоприемник, электронный усилитель, электрооптический модулятор типа МЛ-102А) [3]. Характерное время реакции ООС составляло 30 нс. Комбинация линзы 7 и зеркала 8 позволяла путем перемещения зеркала 8 вдоль оптической оси изменять конфигурацию резонатора от плоской к сферической. Длина резонатора была равна 2 м. Регистрация излучения проводилась с помощью системы фотоприемник – осциллограф С1-75 и электронно-оптической камеры Агат СФ3. Средняя мощность в резонаторе составляла 100 Вт.

В процессе исследований выходное излучение лазера регистрировалось сначала при отключенной ООС. Генерация представляла собой шумоподобные импульсы длительностью 50–100 пс (рис.2). При включении ООС по мере выхода генерации на стационарный уровень (рис.3) число импульсов на аксиальном периоде сокращалось до одного (рис.4). При этом в результате влияния частотной дисперсии усиления активной среды длительность импульсов увеличивалась до 300–500 пс.

Известен механизм синхронизации мод лазера с ООС, когда ее быстродействие составляет  $\sim 1$  нс [4]. При этом, изменяя задержку ООС в пределах одного аксиального

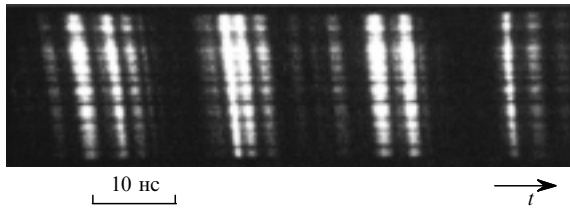


Рис.2. Щелевая временная развертка выходного излучения в отсутствие ООС.

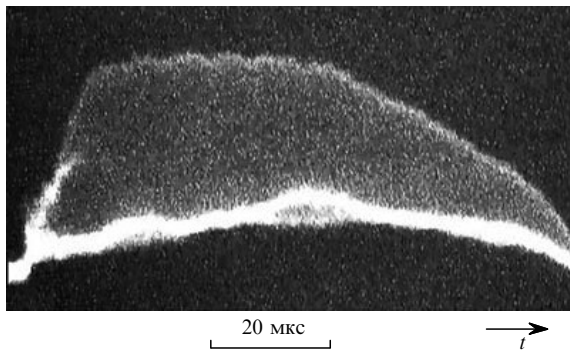


Рис.3. Осциллограмма выходного излучения при включенной ООС.

периода, можно добиться генерации одиночного импульса длительностью  $\sim 1$  нс. Для того чтобы исключить этот механизм синхронизации мод, к модулятору подключалась интегрирующая цепочка с временем интегрирования 200 нс. Динамика развития генерации в этом случае оставалась прежней. Нам не удалось обнаружить явного влияния так называемой керровской линзы, поскольку последовательное изменение конфигурации резонатора от неустойчивой к плоской и далее к сферической не приводило к качественному изменению динамики генерации.

Следует обратить внимание на то, что дополнительные нелинейные элементы в лазерный резонатор не вносились. В связи с этим возникает естественный вопрос: каков механизм возникновения в резонаторе нелинейных потерь, приводящих к пассивной синхронизации мод? Наиболее вероятно, что нелинейные потери внутри резонатора связаны с активным элементом  $\text{YAG:Nd}^{3+}$ . Можно высказать предположение, что эти потери обусловлены поглощением излучения на возникающих в нем центрах окраски [5]. Мы принимали дополнительные меры по устранению возможности возникновения короткоживущих центров окраски в активной среде при воздействии УФ излучения во время вспышек ламп накачки — в охлаждающую дистиллированную воду добавлялся хромпик, весовая концентрация которого составляла 2%. Однако динамика генерации при этом не изменилась, из чего можно заключить, что если центры окраски в активной среде и существуют, то они возникли раньше, возможно, при выращивании кристалла YAG. Замена активного элемента подобным, но произведенным дру-

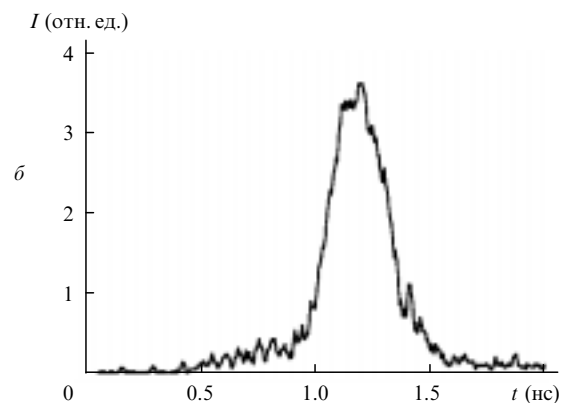
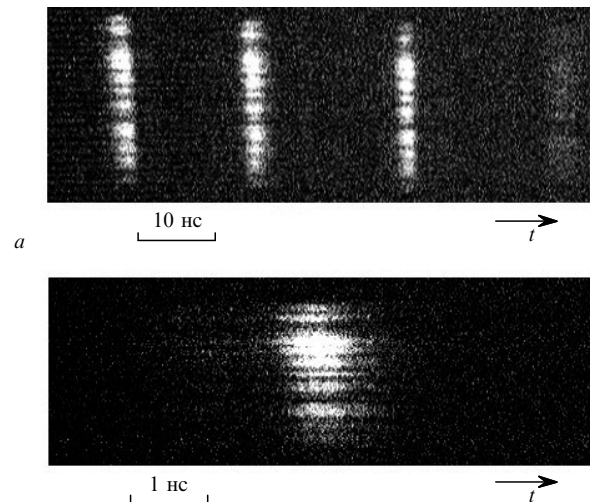


Рис.4. Щелевая временная развертка выходного излучения при включенной ООС (a) и денситограмма одного из импульсов (б).

гой фирмой, к изменению динамики генерации также не привела. Для оценки нелинейных потерь, приводящих к синхронизации мод, в резонатор лазера помещалась кювета с раствором насыщающегося поглотителя № 3274y (коэффициент поглощения  $\sim 1\%$ ). Длительность генерируемых импульсов при этом уменьшалась до 100–200 пс. Отсюда косвенно следует, что нелинейные потери в активном элементе составляют менее 1%.

Таким образом, нами зарегистрирована пассивная синхронизация мод в лазере на  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  с инерционной ООС без дополнительного внесения в резонатор нелинейных элементов. При этом лазер относительно прост, а параметры его излучения воспроизводимы.

1. Крюков П.Г. *Квантовая электроника*, **20**, № 2, 95 (2001).
2. Комаров К.П., Угожаев В.Д., Кучьянов А.С. *Квантовая электроника*, **13**, № 4, 802 (1986).
3. Кучьянов А.С. *Приборы и техника эксперимента*, № 4, 118 (1997).
4. Макуха В.К., Семибаламут В.М., Смирнов В.А. *Квантовая электроника*, **4**, № 5, 1023 (1977).
5. Джигладзе М.И., Кухарский Р.Н., Мумладзе В.В. В сб. *Квантовая электроника*, № 5, 120 (1971).