

П.Н. Назаренко, Н.В. Окладников, Г.А. Скрипко, А.А. Ставров

**ГЕНЕРАЦИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СЕРИЙ ИМПУЛЬСОВ
В ЛАЗЕРЕ НА САПФИРЕ С ТИТАНОМ**

Экспериментально продемонстрирована возможность реализации высокочастотных серий импульсов субнаносекундной длительности в перестраиваемом лазере на сапфире с титаном при накачке его импульсом наносекундной длительности. Обсуждаются предполагаемые физические механизмы.

При решении ряда практических задач требуются источники перестраиваемого лазерного излучения, генерирующие высокочастотные серии импульсов (ВСИ) субнаносекундной длительности. Такие режимы реализуются, как правило, при активной или пассивной синхронизации мод резонатора, а также в лазерах с синхронной накачкой [1]. Менее распространенными являются методы, основанные на стимулировании ВСИ путем кратковременных (меньше аксиального периода резонатора) возмущений начальных условий генерации [2].

Значительный практический интерес представляет реализация режима ВСИ в лазерах на кристаллах $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$, обладающих лучшими генерационными и эксплуатационными характеристиками среди твердотельных перестраиваемых лазеров. Впервые такой режим был получен при синхронной накачке кристалла сапфира с титаном излучением второй гармоники цуга пикосекундных импульсов АИГ: Nd^{3+} -лазера [3]. В настоящем сообщении представлены результаты экспериментов, демонстрирующие возможность реализации аналогичного режима при накачке лазера на $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ излучением гладкого импульса наносекундной длительности и отсутствии в резонаторе перестраиваемого лазера модулирующих элементов.

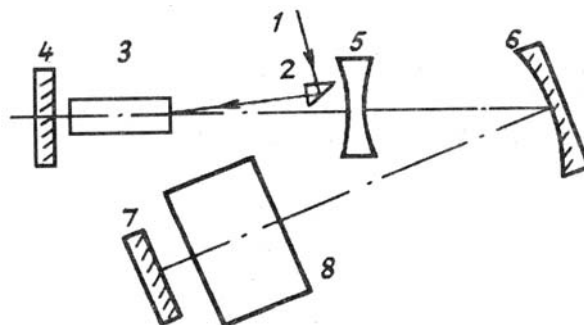


Рис. 1. Оптическая схема лазера: 1 — излучение накачки; 2 — поворотная призма; 3 — активный элемент; 4 — выходное зеркало; 5 — отрицательная линза; 6 — сферическое зеркало; 7 — глухое зеркало; 8 — селектор

Оптическая схема лазера представлена на рис. 1. Накачка кристалла $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Ti}^{3+}$ осуществлялась по квазипродольной схеме второй гармоникой излучения лазера на ИАГ: Nd^{3+} , работающего в импульснопериодическом режиме, при длительности импульса порядка 10 нс. Активный элемент 3 перестраиваемого лазера имел длину 10–15 мм при концентрации активатора около 0,1 вес. % и располагался вблизи зеркала 4. Его торцы выставлялись параллельно плоскости зеркала. В качестве спектрального селектора 8 использовался блок из трех призм, выполненных из стекла ТФ-5. Наличие в резонаторе двухкомпонентного коллиматора, состоящего из линзы 5 и зеркала 6, позволило варьировать базу резонатора в широких пределах (0,3–5 м) путем перемещения зеркала 7.

Эксперименты показали, что процесс развития генерации перестраиваемого лазера имеет четко выраженный двухпороговый характер. При превышении энергией накачки первого порога (около 4 мДж при коэффициенте отражения выходного зеркала, равном 0,95) генерируются гладкие импульсы длительностью 40–80 нс со спектром излучения в области 760–810 нм в случае неселективного резонатора и задержкой относительно импульса накачки. С ростом энергии накачки длительность импульса и его задержка сокращаются, а ширина спектра генерации остается практически неизменной.

При достижении энергией накачки второго порога (порядка 8 мДж) в начале импульса генерации перестраиваемого лазера наблюдается импульс длительностью $\tau \approx 1$ нс, за которым следует ВСИ с периодом, равным аксиальному периоду резонатора (T рис. 2, *a*). При условии $\tau < T$ глубина модуляции ВСИ достигает 100%, уменьшаясь с увеличением τ при фиксированном T (за счет увеличения расстояния между кристаллом и зеркалом 4), либо с уменьшением T при фиксированном τ (путем перемещения зеркала 7). Спектральные характеристики излучения в случае неселективного резонатора оставались прежними.

Формирование начального (затравочного) импульса осуществлялось в коротком плече резонатора, образованном зеркалом 4 и противоположным ему торцом активного элемента. При разъюстировке торцов кристалла относительно зеркала 4 затравочный импульс не наблюдался, и кинетика генерации перестраиваемого лазера становилась схожей с режимом, характерным для первого порога (гладкий наносекундный импульс).

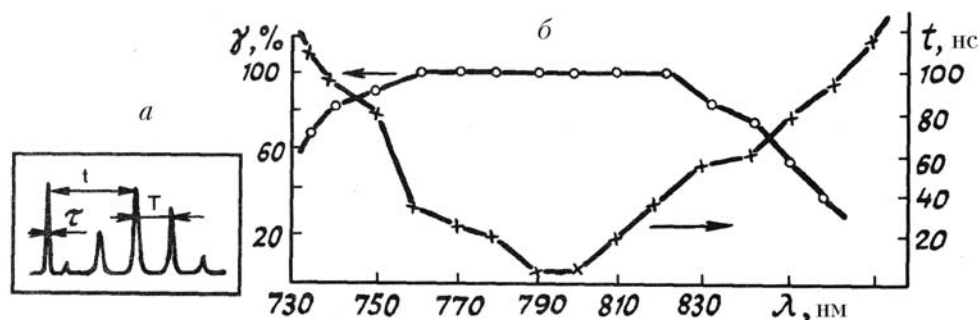


Рис. 2. Типичная осциллограмма генерации в режиме ВСИ (*a*) и зависимость глубины модуляции γ и времени задержки t ВСИ относительно затравочного импульса (*б*)

В случае селективного резонатора (спектральная ширина линии генерации порядка 2 нм) диапазон спектра затравочного импульса составлял по-прежнему 760–810 нм, а спектр излучения, обусловленный генерацией в полном резонаторе, мог варьироваться в более широкой области 720–880 нм. Максимальная глубина модуляции ВСИ достигалась в спектральном диапазоне, соответствующем диапазону затравочного импульса. При этом при увеличении степени рассогласования спектральных характеристик ВСИ и затравочного импульса задержка между ними увеличивалась до десятков и сотен наносекунд, что на порядок и более превышало аксиальный период резонатора (рис. 2, *б*).

Изложенные экспериментальные данные позволяют предполагать, что в основе режима ВСИ лежат физические механизмы, обусловленные инжекцией в полный резонатор затравочного импульса, влияющие на соотношение между коэффициентами усиления и потерь с учетом их динамических характеристик. Так, факт формирования ВСИ при условии $\tau < T$ свидетельствует о заметном влиянии начальных условий на развитие генерации перестраиваемого лазера, схожим с процессом быстрого включения добротности резонатора [2, 4]. При этом оба резонатора представляют собой систему связанных резонаторов. В то же время не исключено, что формируемый в коротком плече резонатора затравочный импульс одновременно влияет на люминесцентные параметры кристалла $\text{Al}_2\text{O}_3: \text{Ti}^{3+}$, как это характерно для [3, 4]. Наконец, возможно также влияние на кинетику генерации фазового механизма модуляции добротности резонатора [5].

Для проверки возможности фазовой модуляции кристаллом $\text{Al}_2\text{O}_3: \text{Ti}^{3+}$ поставлен дополнительный эксперимент с лазером на ИАЛ: Nd^{3+} , выходное зеркало которого представляло собой плоскопараллельную подложку, выполненную из сапфира с титаном, а резонатор не содержал модулирующих элементов. При возбуждении лазера на ИАЛ: Nd^{3+} лампой накачки наблюдался типичный хаотический импульс свободной генерации с длиной волны 1,078 мкм и длительностью десятки микросекунд. В случае одновременного возбуждения зеркала, выполненного из $\text{Al}_2\text{O}_3: \text{Ti}^{3+}$, моноимпульсным излучением второй гармоники лазера на ИАГ: Nd^{3+} , регистрировалась широкополосная генерация ионов титана с длительностью импульса менее 1 нс. При этом кинетика генерации ИАЛ: Nd^{3+} -лазера существенно менялась: длительность выходного импульса составляла 20–50 нс, а его огибающая была промодулирована с частотой, соответствующей аксиальному периоду резонатора, и глубиной модуляции до 30–40%.

В заключение отметим, что режим ВСИ в лазере на $\text{Al}_2\text{O}_3: \text{Ti}^{3+}$ реализован также при использовании в качестве источника накачки квазинепрерывного лазера ЛТИ-701, обеспечивающего частоту следования импульсов, равную десяткам кГц, при длительности импульсов около 200 нс, что позволило существенно увеличить частоту следования ВСИ.

Результаты, изложенные в данной статье, могут быть использованы в разработке простых схем лазеров на $\text{Al}_2\text{O}_3: \text{Ti}^{3+}$, генерирующих ВСИ в отсутствие внутррезонаторных нелинейных элементов.

1. Glenn W. H., Brienza M. J., De Mania A. J. // Appl. Phys. Lett. 1968. V. 12. № 1. P. 54–58.

2. Тарасов Л. В. Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения. М.: Радио и связь, 1981. С. 346–348.
3. Альтшулер Г. Б., Карасев В. Б., Кондратюк Н. В. и др. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. С. 779–783.
4. Анциферов В. В., Держи Н. М., Кучьянов А. С. и др. // Квантовая электроника. 1975. Т. 2. № 1. С. 57–60.
5. Marconi M. C., Martinez O. E., Diodati E. P. // Opt. Lett. 1985. V. 10. № 8. P. 402–404.

Межотраслевой институт повышения квалификации
при Белорусском политехническом институте (Минск)

Поступило в редакцию
1 октября 1990 г.

P. N. Nasarenko, N. V. Okladnikov, G. A. Skripko, A. A. Stavrov. Emission of Pulse Trains at a High Repetition Rate in a Titanium-Sapphire Laser.

The opportunity of realizing subnano-second pulse trains at high repetition rates in a tunable titanium-sapphire laser, pumped with a nanosecond pulse has been experimentally demonstrated. Hypothetical physical mechanisms are being discussed.