

**Исследование возможности реализации режима синхронизации мод  
в Nd:YLF-лазере с продольной диодной накачкой**

© 2012 г. *О.В. Мартынова*<sup>1</sup>, *А.П. Зиновьев*<sup>1,2</sup>, *С.Н. Яшин*<sup>1</sup> *М.В. Кольцов*<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

<sup>2</sup> Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

<sup>3</sup> Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева  
ruvin@list.ru

Представлены результаты разработки лазера с длиной волны генерации 1053 нм на основе кристалла Nd:YLF с продольной диодной накачкой на длине волны 806 нм. При помощи программного пакета Resonator Studio проведено моделирование различных конфигураций лазерных резонаторов, и определены их зоны устойчивости. Эти результаты сопоставлены с экспериментальными данными, а затем на их основе подобраны оптимальные конфигурации резонаторов для получения режима синхронизации мод. Данный режим получен с применением насыщающихся поглотителей двух видов: полиметинового красителя в полиуретановой матрице[1], и SESAM[2]. В обоих случаях частота следования импульсов составила 100 МГц

*Ключевые слова:* Оптический резонатор, лазерная физика, нелинейная оптика, матричная оптика.

*Введение*

На сегодняшний день лазерные системы, генерирующие пикосекундные импульсы ближнего ИК, видимого и УФ диапазона успешно применяются в научных исследованиях и для решения различных прикладных задач. Использование лазеров с ультракороткими импульсами является перспективным при обработке материалов высокой твердости, таких как алмаз, сапфир, и различных металлов и диэлектриков. Также подобные системы активно применяются в исследовании кинетики быстропротекающих процессов в физике и биологии, в задачах метрологии.

В настоящий момент лазеры с импульсным излучением ультракороткой длительности активно разрабатываются и находят применение в различных областях деятельности, что обусловлено резким ростом наукоёмких технологий. Как правило, почти все генераторы такого типа имеют твердотельный активный элемент (полупроводник, кристалл, активное волокно) и работают в режиме модуляции добротности или синхронизации мод.

Данная работа посвящена исследованию возможности создания пикосекундного лазера на кристалле Nd:YLF с диодной накачкой и пассивным насыщающимся поглотителем, который обеспечивает работу в режиме синхронизации мод. Основными требованиями к генератору явились способность обеспечить генерацию пикосекундных импульсов порядка десятков пикосекунд, следующих с частотой повторения 100 МГц, и длиной волны генерации  $\lambda = 1053$  нм. При выполнении работы были подобраны оптимальные характеристики накачки, а также было проведено теоретическое и экспериментальное исследование устойчивости резонаторов, и выбор оптимальных конфигураций для

реализации режима синхронизации мод. Теоретическое исследование производилось при помощи программного пакета Resonator Studio [1], который был разработан при участии коллектива авторов для решения данной задачи. Для получения режима синхронизации мод в работе использовались два типа насыщающихся поглотителей: полимерный краситель [2] в полиуретановой матрице и полупроводниковый насыщающийся поглотитель на зеркале (SESAM) [3].

#### Выбор оптимальных конфигураций резонаторов

В качестве активного элемента лазера использовался кристалл Nd:YLF с концентрацией ионов  $\text{Nd}^{3+}$  1 ат. %. Образец был вырезан в форме стержня диаметром  $\varnothing$  3 мм, длиной 13.2 мм и с оптической осью ориентированной вдоль радиуса. Ориентация оптической оси кристалла в схеме была горизонтальной. Возбуждение активной среды производилось через торец при помощи линейки лазерных диодов с волоконным выходом FAP-810 фирмы Coherent. Известно, что основные пики поглощения кристалла Nd:YLF находятся в районе 792 и 798 нм [4]. Но так как кристалл является одноосным, то для ортогональных поляризаций излучения накачки по отношению к оптической коэффициент поглощения сильно отличается. Поэтому накачка кристалла производилась в максимуме поглощения в районе 806 нм, что было обусловлено почти равномерным поглощением излучения накачки по  $\pi$  и  $\sigma$  направлениям [4-5]. Использование данного пика поглощения представляется наиболее оправданным в связи с наибольшей дешевизной и распространённостью промышленных диодных лазеров накачки на длину волны 805-810 нм, а также того факта, что излучение диодного лазера накачки на выходе транспортного волокна имеет круговую или близкую к ней поляризацию. Из-за более низкого коэффициента поглощения на этой длине волны ожидается снижение тепловой нагрузки на активный элемент. Рабочая длина волны генерации составила 1053 нм.

Было проведено теоретическое и экспериментальное исследование устойчивости резонатора лазерной системы для его различных конфигураций. Первым этапом было моделирование в Resonator Studio. На рис. 1 представлены схемы исследованных конфигураций резонаторов 1 и 2, а также их эквивалентные схемы, на которых указаны элементы, влияющие на устойчивость систем.

В варианте конфигурации резонатора 1 при помощи Resonator Studio были определены области устойчивости в зависимости для линзы L2 на плоскости параметров: положение вдоль оптической оси системы и фокусное расстояние линзы. Области устойчивости были определены для линзы L2 с фокусным расстоянием  $F = 33$  см и 50 см.

Аналогично в варианте конфигурации резонатора 2 были получены области устойчивости в зависимости от положения линзы L3 с фокусным расстоянием  $F = 33$  см и 25 см. Результаты моделирования представлены в таблице 1.

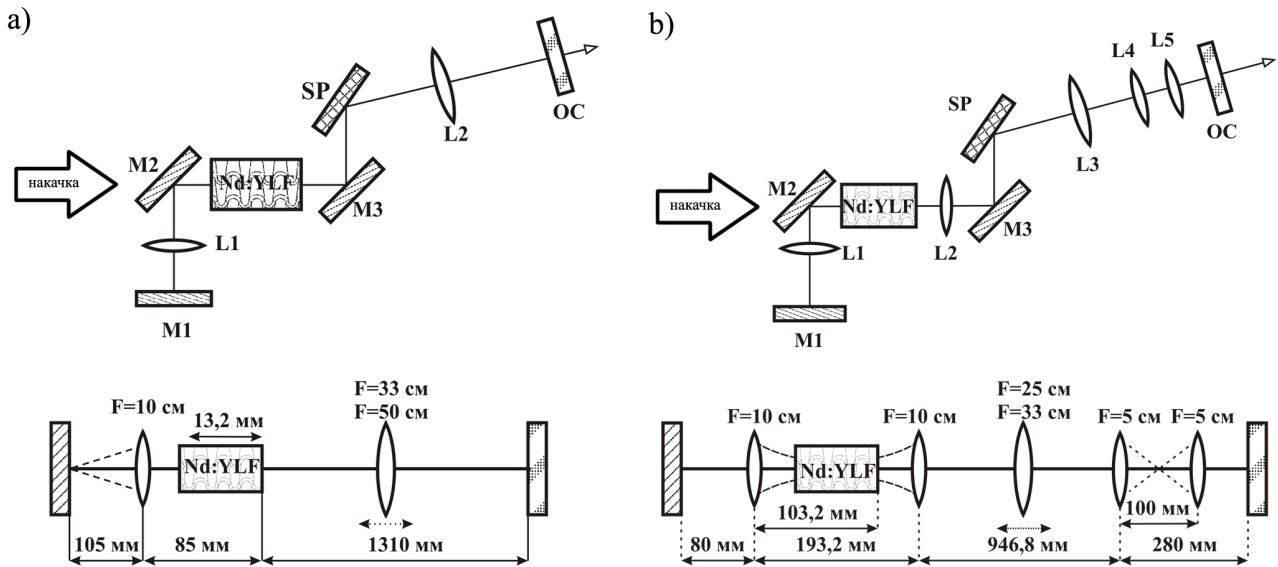


Рис. 1. Схемы резонаторов 1(a) и 2(b) и их эквивалентное линейное представление, где M1-M3 – зеркала, SP- поляризационное зеркало, L1-L5, – линзы, OC – выходное зеркало.

После теоретического моделирования схемы были реализованы и исследовались экспериментально. Зоны устойчивости в обоих вариантах конфигураций определялись по порогу генерации путем варьирования местоположения линз L2 и L3 для резонатора 1 и резонатора 2 соответственно (таблица 1).

Таблица 1

Номер резонатора	Фокусное расстояние линзы ( $F$ ), см	Область устойчивости (Расчет), см	Область устойчивости (Эксперимент), см
№1	50	$L = 63 \div 78$	$L = 67 \div 82$
№1	33	$L = 62 \div 96$	$L = 63 \div 93$
№2	33	$L = 60 \div 95$	$L = 61 \div 95$
№2	25	$L = 50 \div 85$	$L = 72 \div 87$

После определения зон устойчивости, исследовались оптимальные условия работы резонаторов. Определялись положения линз, при которых мощность генерации была максимальной. В обоих вариантах схемы лучшие энергетические результаты были получены для линзы с  $F = 33$  см. По порогу генерации были определены её оптимальное положение, от выходного зеркала, оно составило 74 см для резонатора 1, и 83 см для резонатора 2.

Для подбора оптимальных энергетических условий для реализации режима синхронизации мод, использовались различные выходные зеркала с коэффициентами отражения  $R=71\%$ ,  $R=80\%$  и с  $R=97\%$ . Для выбора наилучших условий была измерены зависимость выходной мощности от мощности накачки.

#### Режим синхронизации мод

Основной задачей работы было создание лазерной системы на основе Nd:YLF, работающей в режиме синхронизации мод и способной обеспечить генерацию пикосекундных импульсов ( $\sim 10-40$  пс), следующих с частотой повторения 100 МГц.

Для реализации режима синхронизации мод в качестве насыщающихся поглотителей использовались:

- полиметиновый краситель № 4965 в полиуретановой матрице[2]
- полупроводниковый насыщающийся поглотитель[3]

На установке, соответствующей конфигурации резонатора 2, был реализован эксперимент с полимерным модулятором, который помещался в перетяжке между линзами L4 и L5. Основной проблемой в работе с этим поглотителем является сложность подбора энергетических параметров, при которых реализуется режим синхронизации мод. Так как из-за образования Керровской линзы под действием излучения в системе вместо режима синхронизации мод часто реализовывался режим модуляции добротности с пикосекундной модуляцией. Режим синхронизации мод был получен только в случае использования 81% - зеркала и линзы с  $F=33$  см. В случае использования остальных выходных зеркал пикосекундная генерация не была зарегистрирована. На рис. 2а показаны характерные осциллограммы генерации. Видно, что на протяжении длительного времени режим синхронизации мод стабилен, и что период следования импульсов составляет 10 нс.

Так же режим синхронизации мод был получен с применением SESAMa, в лазере с конфигурацией соответствующей резонатору 1. В этой установке SESAM был помещен на место «глухого» зеркала, и дополнительная фокусировка осуществляется линзой L1. Как и в случае с полимерным модулятором, режим синхронизации мод был получен лишь при использовании зеркала с коэффициентом отражения  $R = 81\%$  и линзы с фокусным расстоянием  $F = 33$  см.

На рис. 2б представлены характерные осциллограммы генерации в режиме синхронизации мод, полученной при использовании SESAMa. Как и в случае в модулятором частота следования импульсов составляет 100 МГц, что соответствует длине резонатора в 1.5 м.

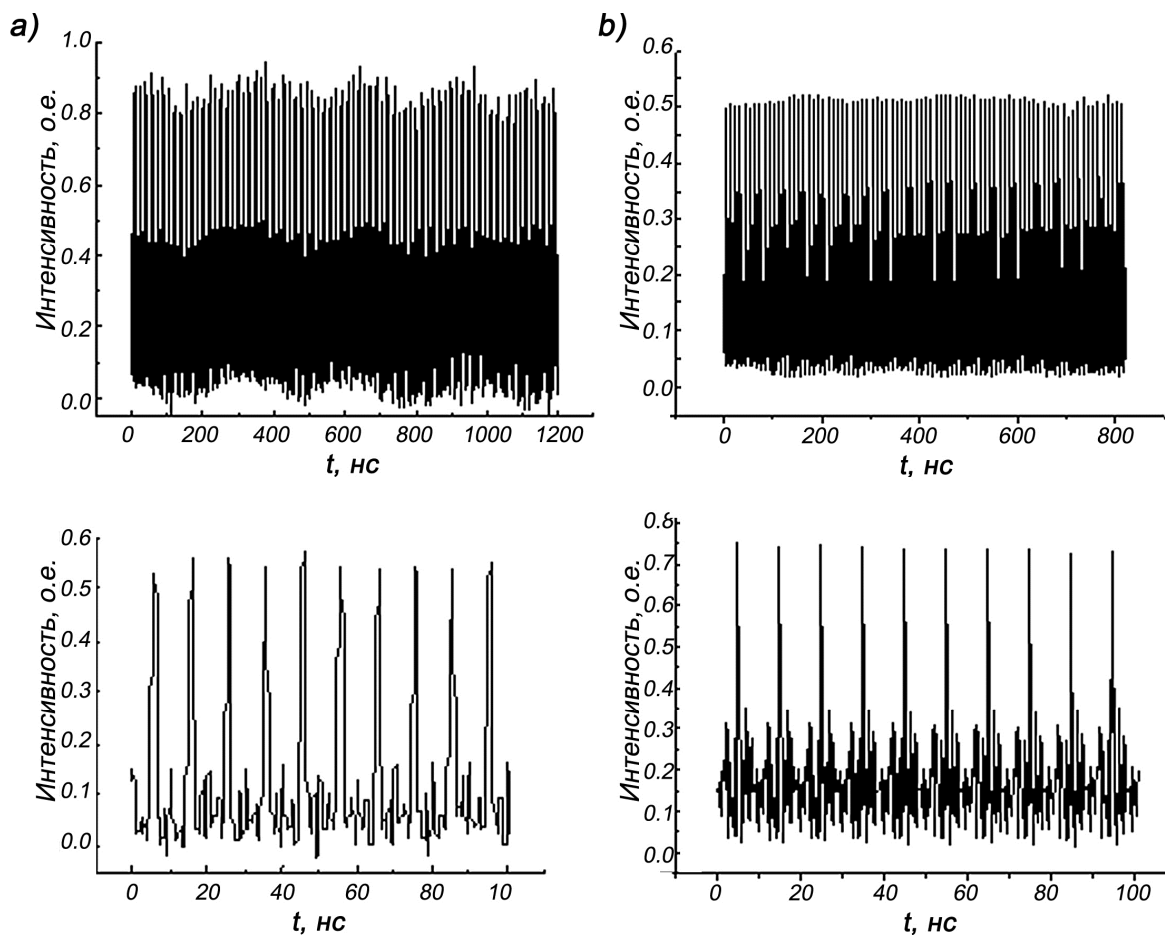


Рис. 2. Осциллограммы пикосекундной генерации при использовании полимерного насыщающегося поглотителя(а) и SESAM(б).

### Заключение

В результате проведения работы были теоретически и экспериментально исследованы две различных конфигурации резонатора, а также определены зоны устойчивости для них, и определены их оптимальные условия работы. На основе исследованных резонаторов были созданы пикосекундные генераторы, работающие в режим синхронизации, с применением двух типов насыщающихся поглотителей полимерного модулятора и SESAMа и периодом следования импульсов 100 МГц, что подтверждается осциллограммами генерации.

### *Список литературы*

1. Resonator Studio. Автор: М.В. Кольцов. Сайт: <http://tirinox.ru/resonator-studio/>.
2. Безродный В.И., Ищенко А.А., Карабанова Л.В., Сломинский Ю.Л. Квантовая электроника, Т.22, №8, 1995. С. 849.
3. Keller U., Weingarten K. J., Kärner F. X. et al., Topics Quantum Electron, Sel 2, 1996. 435 p.
4. J. I. Mackenzie and W. A. Clarkson, "Circular output from a high power Nd:YLF slab laser," Proc. SPIE 6871, 68710, 2008.
5. Li D., Ma Z., Haas R. et al., Optics Letters, 33 (15), 2008. 1708-1720 p.