

Титан-сапфировый лазер с импульсной накачкой второй гармоникой излучения диодно-накачиваемого Nd:YAG-лазера для двухфотонной спектроскопии

В.И.Донин, Д.В.Яковин, А.В.Грибанов

Представлены характеристики кольцевого титан-сапфирового лазера с модуляцией усиления и перестройкой частоты с помощью призменного селектора. Длительность импульсов выходного излучения составила ~ 50 нс при частоте следования 7–18 кГц, а область перестройки частоты – 30 нм. Ширина полосы генерации лазера с эталоном Фабри–Перо толщиной 0.7 мм внутри резонатора была равна 12 ГГц. Максимальная выходная средняя мощность достигала 160 мВт при мощности накачки 4.5 Вт и частоте следования импульсов 7 кГц. В качестве лазера накачки использовался диодно-накачиваемый Nd:YAG-лазер с удвоением частоты и модуляцией добротности.

Ключевые слова: кольцевой титан-сапфировый лазер, диодно-накачиваемый Nd:YAG-лазер, удвоение частоты, модуляция добротности, призменный селектор.

1. Введение

С момента получения генерации на кристалле $Ti^{3+}:Al_2O_3$ [1] титан-сапфировый лазер является объектом многочисленных исследований, и сегодня это самый распространенный перестраиваемый твердотельный лазер. Он обладает широким диапазоном перестройки (660–1100 нм), что делает его удобным и универсальным источником лазерного излучения. Существует много областей применения такого лазера: лазерная фотохимия, нелинейное возбуждение атомов и молекул, лазерная фотокинетика, дистанционная диагностика атмосферы, фотобиология, спектроскопия, разделение изотопов и др.

Для нелинейного возбуждения атомов необходимы достаточно большие мощности лазерного излучения, поскольку это, по крайней мере, двухфотонный процесс. Высокие мощности легко достижимы в импульсном режиме работы титан-сапфирового лазера. Но одновременно при работе лазера в таком режиме возникают проблемы с селекцией и перестройкой частоты излучения с помощью фильтра Лию, который обычно используется для управления частотой излучения в лазерах с широкой областью перестройки длины волны генерации. При двухфотонном возбуждении атомов применяют две оптические схемы – с однонаправленными и встречно направленными пучками [2]. Вторая схема предпочтительнее, т. к. позволяет избавиться от «доплеровской» подкладки в поглощении и легко реализуется в отсутствие оптического диода в кольцевом резонаторе.

В данной работе мы описываем предназначенный для двухфотонной спектроскопии кольцевой титан-сапфировый лазер со встречно направленными пучками и широкой областью перестройки (за счет применения много-

призменного селектора), при этом для накачки кристалла $Ti^{3+}:Al_2O_3$ мы использовали вторую гармонику диодно-накачиваемого Nd:YAG-лазера с модуляцией добротности.

2. Описание установки

Оптическая схема лазера показана на рис.1. Резонатор лазера был образован четырьмя зеркалами: 31 и 32 с радиусами кривизны 122 и 150 мм соответственно (зеркало 31 было менисковым с коэффициентом пропускания $\sim 80\%$ на длине волны $\lambda = 532$ нм) и плоскими зеркалами 33 и 34. Зеркало 34 с коэффициентом пропускания 3% на $\lambda = 760$ нм служило выходным зеркалом, остальные зеркала были глухими с коэффициентом отражения $r > 99\%$. Призменный селектор состоял из пяти 60-градусных призм из стекла ТФ5. Для дальнейшего сужения линии генерации использовался эталон Фабри–Перо из плавленного кварца толщиной 0.7 мм с коэффициентами отражения граней $r = 0.3$. В качестве измерительных приборов применялись измеритель мощности лазерного излучения, сканирующий интерферометр Фабри–Перо с изменяемой базой либо монохроматор МДР-23. Накач-

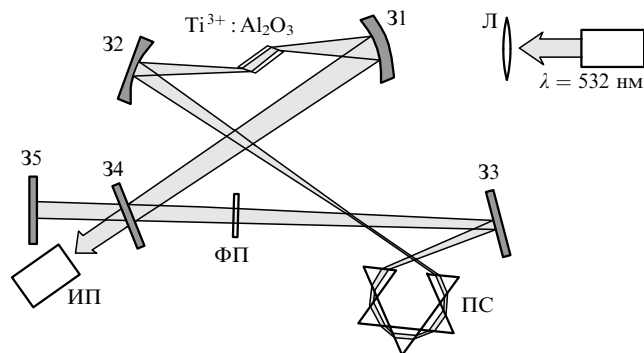


Рис.1. Оптическая схема лазера: 31–35 – зеркала; Л – линза; ПС – призменный селектор; ФП – интерферометр Фабри–Перо; ИП – измерительный прибор.

В.И.Донин, Д.В.Яковин, А.В.Грибанов. Институт автоматизации и электротехники СО РАН, Россия, 630090 Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 1; e-mail: donin@iae.nsk.su

Поступила в редакцию 29 августа 2008 г.

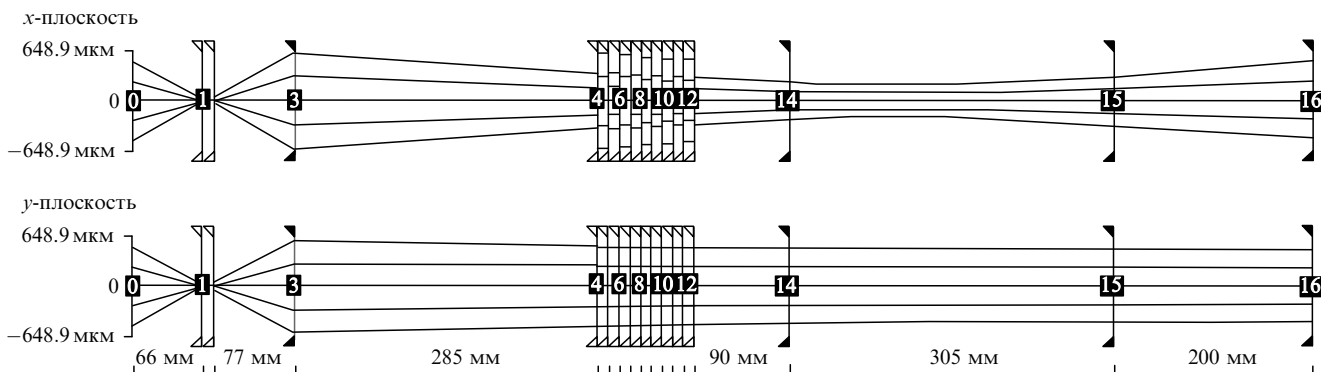


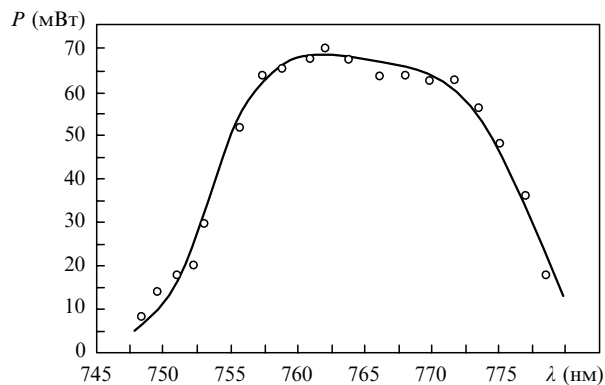
Рис.2. Ход лучей в резонаторе (пояснения даны в тексте).

ка кристалла $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ (длина 10 мм, диаметр 5 мм, показатель поглощения на $\lambda = 532$ нм примерно 1 см^{-1}) проводилась на $\lambda = 532$ нм излучением диодно-накачиваемого Nd:YAG-лазера с внутррезонаторным удвоением частоты и модуляцией добротности [3]. Длительность импульсов накачки составляла ~ 70 нс. Для фокусировки излучения накачки использовалась линза с фокусным расстоянием $f = 20$ см. Один из пучков $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ -лазера мог возвращаться в резонатор дополнительным плоским зеркалом 35 ($r > 99.5\%$), что позволяло в случае необходимости получать и однонаправленный режим генерации [4] (встречно направленный режим осуществлялся без зеркала 35). При измерении зависимости мощности излучения титан-сапфирового лазера от мощности накачки использовался измеритель мощности LM-2 фирмы Carl Zeiss. Для измерения ширины линии генерации лазера применялся сканирующий интерферометр Фабри–Перо с изменяемой базой. Селекция частоты титан-сапфирового лазера осуществлялась с помощью установленного под углом Брюстера призмного селектора и эталона Фабри–Перо. В эксперименте по измерению перестроечных характеристик в качестве измерительного прибора использовался монохроматор МДР-23, а вместо зеркала 35 был установлен измеритель мощности LM-2.

На рис.2 представлен ход лучей в резонаторе лазера. Расчеты выполнены матричным методом в сагиттальной и азимутальной плоскостях – x - и y -плоскостях соответственно. Цифрами обозначены оптические поверхности элементов лазера (некоторые поверхности на рис.2 не пронумерованы): 0 и 16 – поверхность зеркала 31; 1, 2 – титан-сапфировый кристалл; 3 – поверхность зеркала 32; 4–13 – призмный селектор; 14 и 15 – поверхности зеркал 33 и 34 соответственно. Расчет начинается с зеркала 31 (элемент 0) и на нем же заканчивается (элемент 16). Цифры у элемента 0 – это координаты точек пересечения граничных лучей пучка с плоскостью 0. Влияние внутррезонаторного эталона Фабри–Перо на распределение интенсивности мало и в расчете не учитывалось.

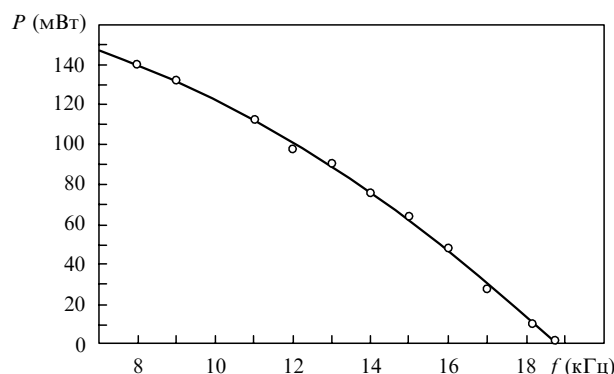
3. Экспериментальные результаты

В эксперименте были получены следующие результаты. Ширина полосы генерации титан-сапфирового лазера с призмным селектором, подобным использованному в работе [5], составила 110 ГГц, а после помещения в резонатор «тонкого» (толщиной 0.7 мм) эталона Фабри–Перо полоса генерации сузилась до 12 ГГц. Дальнейшее сужение линии генерации может быть легко осуще-

Рис.3. Зависимость средней мощности генерации P от длины волны излучения λ .

ствлено введением в резонатор дополнительного «толстого» эталона Фабри–Перо.

На рис.3 представлена перестроечная характеристика $\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$ -лазера, ширина которой определяется спектральным диапазоном зеркал и внутррезонаторными потерями. Мощность излучения титан-сапфирового лазера монотонно уменьшалась при увеличении частоты следования импульсов накачки (рис.4). Это можно объяснить тем, что при возрастании частоты уменьшается (приблизительно обратно пропорционально частоте) энергия импульсов накачки при одновременном росте их длительности и, следовательно, снижается уровень превышения порога генерации. При частоте следования импульсов накачки менее 7 кГц начинала разрушаться входная поверхность активного кристалла. Порог разрушения составил $\sim 10^9$ Вт/см² (при $\lambda = 532$ нм, длительности импульса накачки 70 нс и диаметре пучка накачки на поверхности кристалла 50 мкм).

Рис.4. Зависимость средней мощности генерации P от частоты следования импульсов f .

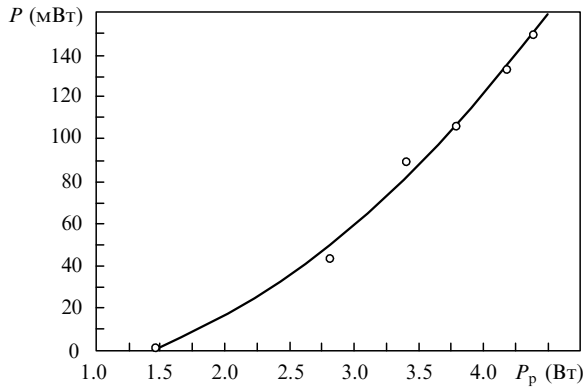


Рис.5. Зависимость средней мощности генерации P от мощности накачки P_p .

Зависимость мощности излучения $Ti^{3+} : Al_2O_3$ -лазера от мощности накачки показана на рис.5. Она получена при частоте следования импульсов 10 кГц. Порог генерации лазера по мощности накачки составил 1.5 Вт. Довольно высокий порог генерации связан с низким показателем качества активного элемента ($FOM = 30 - 50$), большими внутрирезонаторными потерями, неполным ($\sim 50\%$) использованием излучения накачки, в том числе и за счет отражения от зеркала 31. Длительность им-

пульсов генерации $Ti^{3+} : Al_2O_3$ -лазера, измеренная фотодиодом ЛФД-2 и осциллографом Tektronix с шириной полосы пропускания 200 МГц, была равна 50 нс. При этом мощность накачки составляла 4 Вт, частота следования импульсов – 10 кГц, а их длительность – 70 нс.

4. Заключение

Создан кольцевой $Ti^{3+} : Al_2O_3$ -лазер со встречно направленными выходными пучками, с плавной перестройкой частоты излучения и пиковой выходной мощностью ~ 0.5 кВт. Возбуждение активной среды титан-сапфирового лазера осуществлялось второй гармоникой излучения диодно-накачиваемого Nd:YAG-лазера с модуляцией добротности. В дальнейшем планируется использование такого лазера для двухфотонной спектроскопии перехода 5S – 7S рубидия и разделения его изотопов.

1. Moulton P.F. *J. Opt. Soc. Am. B*, **3**, 125 (1986).
2. Летохов В.С., Чеботаев В.П. *Нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения* (М.: Наука, 1990, с. 512).
3. Донин В.И., Никонов А.В., Яковин Д.В. *Квантовая электроника*, **34**, 930 (2004).
4. Багаев С.Н., Кузнецов В.П., Троицкий Ю.В., Трошин Б.И. *Письма в ЖЭТФ*, **1**, 21 (1965).
5. Strome F.C., Webb J.P. *Appl. Opt.*, **10**, 1348 (1971).