

ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ИЗЛУЧЕНИЯ Ho:YAG ЛАЗЕРА

А. В. Мухин, С. Д. Великанов, В. И. Лазаренко, С. Н. Синьков, Ю. Н. Фролов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

Лазерные среды на основе кристалла Ho:YAG представляют большой интерес для различных научных, промышленных, медицинских и технологических применений [1]. Прежде всего, это объясняется тем, что спектр излучения таких лазеров ($\lambda \sim 2000$ нм) попадает в окно прозрачности атмосферы и находится в безопасном для глаз диапазоне длин волн [2]. Благодаря этому возможно применение данных лазеров в системах дальнометрии, зондировании атмосферы, а также в различных областях медицины.

Генерация Ho:YAG возможна на трех длинах волн: 2091, 2097, 2123 нм. При оптимальных параметрах резонатора в спектре генерации присутствуют две близкие по значению длины волны 2091 и 2097 нм, т. е. реализуется двухволновой режим генерации [4]. Однако в таком режиме генерации возникает конкуренция между лазерным излучением на данных длинах волн. Это приводит к значительной нестабильности выходной мощности излучения лазера относительно одноволнового режима генерации.

Получение одноволнового режима генерации достигается за счет применения различных типов селекторов. В работе [6] показан метод получения одноволнового режима излучения с помощью дополнительного внесения в резонатор двулучепреломляющей пластинки из сапфира (Al_2O_3). Потери выходной мощности в режиме селекции генерации относительно не селективного режима в данном случае составляли $\sim 10\%$. В работе [3] селекция длин волн генерации осуществлялась с помощью внутрирезонаторного эталона Фабри – Перо толщиной 100 мкм. Длина волны генерации определялась углом поворота селектора относительно оптической оси резонатора. Потери выходной мощности в этом случае составляли $\sim 3\%$. Однако применение селектора толщиной 100 мкм представляет определенные эксплуатационные трудности.

В ряде практических применений Ho:YAG требуется импульсно-периодический режим генерации. Для этого в лазерный резонатор помещают акустооптический модулятор на основе кристаллического кварца [3]. Существенным недостатком данного устройства является относительно большая величина управляющей мощности высокочастотного сигнала ~ 20 Вт, что приводит к заметному тепловыделению и нагре-

ву модулятора. Кроме того, данный акустооптический модулятор имеет низкую эффективность акустооптического взаимодействия и требует высокой точности угловой настройки [5], что приводит к высокой чувствительности к разъюстировкам.

Таким образом, задача получения одноволнового импульсно-периодического режима генерации решается по частям.

В данной работе предложен метод получения импульсно-периодической генерации Ho:YAG лазера в одноволновом режиме с помощью внутрирезонаторного АОФ, выполненного на кристалле диоксида теллура TeO_2 . Изменяя частоту высокочастотного сигнала, подаваемого на АОФ, появляется возможность перестройки длины волны генерации. Изменяя частоту следования импульсов высокочастотного сигнала, можно управлять временными характеристиками излучения. Таким образом, при изменении двух параметров высокочастотного сигнала, реализуется управление спектральными и временными характеристиками излучения Ho:YAG лазера.

Область прозрачности данного кристалла перекрывает весь видимый и ближний ИК-диапазон. Такие устройства работают при относительно низких управляющих мощностях ~ 2 Вт и с высокой эффективностью дифракции поляризованного света $\sim 97\%$.

В отличие от других типов селекторов, такое устройство более устойчиво к механическим воздействиям и менее чувствительно к разъюстировке.

Экспериментальная установка и методика проведения экспериментов

Для накачки Ho:YAG лазера использовался волоконный тулиевый лазер, излучающий в непрерывном режиме на длине волны 1908 нм. При этом пучок накачки дважды проходил через активный элемент и практически полностью поглощался. Схема резонатора Ho:YAG лазера с акустооптическим фильтром представлена на рис. 1. Резонатор формировался тремя зеркалами: плоским зеркалом M_1 с высоким коэффициентом отражения на длинах волн от 1900 до 2100 нм, дихроичным зеркалом M_2 с высоким отражением на длине волн генерации (более 99 % для излучения с вертикальной поляризацией) и высоким

пропусканием на длине волны накачки ($\sim 98\%$), выходным сферическим зеркалом M_3 ($R = 200$ мм) с коэффициентом отражения $r \sim 60\%$ на длине волны генерации. В выходное плечо резонатора между дихроичным M_2 и выходным M_3 зеркалами помещался АОФ.

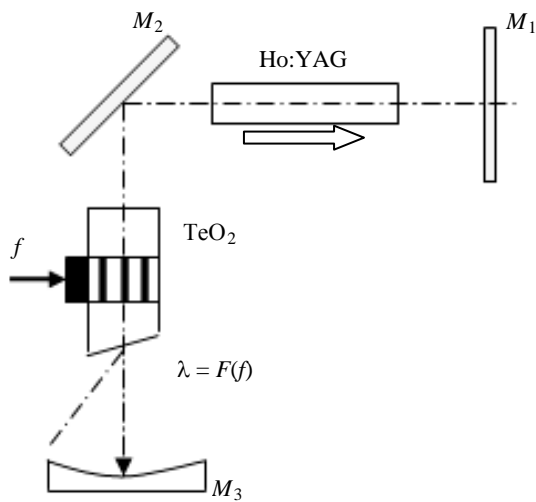


Рис. 1. Схема резонатора Ho:YAG лазера с акустооптическим фильтром

При изменении частоты управляющего высокочастотного сигнала в небольшом диапазоне (48,5–49,5 МГц) была получена генерация лазера на всех возможных длинах волн: 2091, 2097 и 2123 нм. На рис. 2 приведена зависимость мощности генерации Ho:YAG лазера от мощности накачки в режиме

свободной генерации. Максимальная мощность генерации Ho:YAG лазера наблюдалась на длине волны 2123 нм. Средние потери мощности генерации, вносимые акустооптическим фильтром, относительно неселективного режима составили около 10%.

Плоскость поляризации дифрагированного излучения в АОФ лежала в вертикальной плоскости. Соответственно, выходное излучение лазера было линейно поляризованным также в вертикальной плоскости.

Затем исследовалась генерация Ho:YAG лазера в режиме модулированной добротности при частоте следования импульсов 10 кГц. На акустооптический фильтр подавался управляющий сигнал частотой следования импульсов 10 кГц и длительностью 5 мкс. Быстродействие АОФ как модулятора добротности в резонаторе Ho:YAG лазера определяется временем пересечения акустической волны моды лазерного резонатора. Определяющим параметром быстродействия акустооптического фильтра является скорость распространения акустической волны, которая в данном случае составляет около 800 м/с. Очевидно, что для получения импульсно-периодического режима без потерь необходимо, чтобы быстродействие акустооптического фильтра было меньше времени развития лазерного импульса. При этом необходимо учитывать, что чем больше запасено энергии в резонаторе, тем больше коэффициент усиления и тем быстрее развивается генерация.

На рис. 3 приведена зависимость мощности генерации Ho:YAG лазера от мощности накачки на различных длинах волн в режиме модулированной добротности.

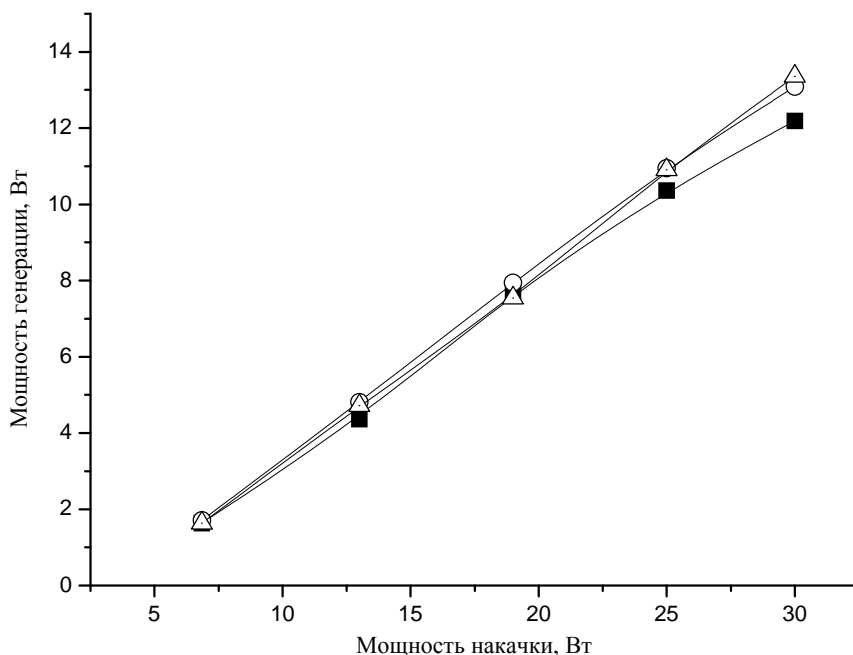


Рис. 2. Зависимость мощности генерации от мощности накачки Ho:YAG лазера в режиме свободной генерации: —■— 2091 нм; —○— 2097 нм; —△— 2123 нм

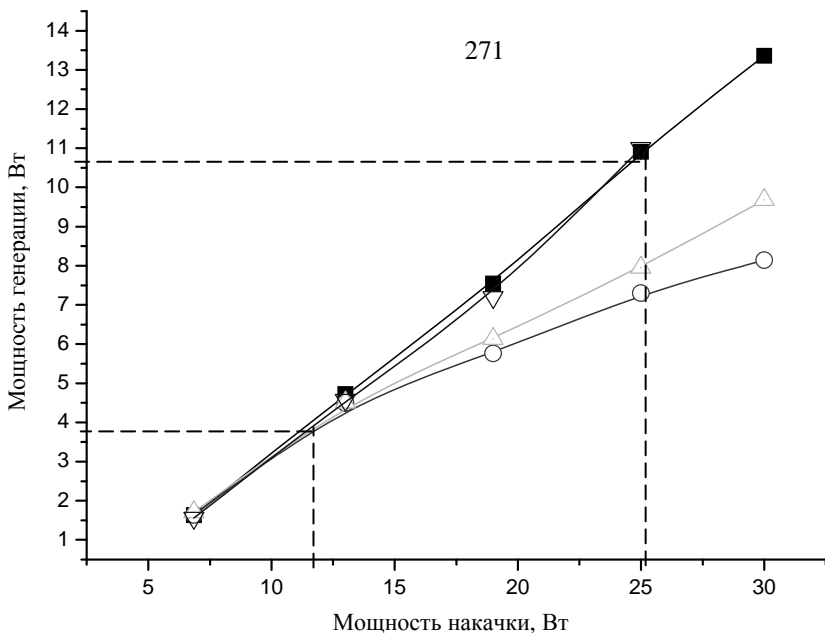


Рис. 3. Зависимость мощности генерации Ho:YAG лазера от мощности накачки в режиме модулированной добротности: —○— 2091 нм; —△— 2097 нм; —▽— 2123 нм

При генерации лазера на длине волны 2097 и 2091 нм мощность генерации составила $P \sim 4,5$ Вт, что соответствует энергии $E = 0,45$ мДж. При дальнейшем увеличении мощности накачки происходило уменьшение мощности генерации относительно мощности, полученной в режиме свободной генерации.

Несколько по-иному обстояло дело с излучением на длине волны 2123 нм. Мощность генерации на этой длине волны достигала максимального значения и составляла $P \sim 11$ Вт ($E = 1,1$ мДж). При дальнейшем увеличении мощности генерации возможен пробой оптического покрытия АОФ. Поэтому мы ограничилась мощностью генерации 11 Вт, исходя из лучевой прочности покрытия АОФ. Различие мощностей генерации на разных длинах волн связано различными значениями коэффициентов усиления.

Можно предположить, что при значениях мощности генерации $E \geq 4,5$ Вт (0,45 мДж) на длинах волн 2091 и 2097 нм происходит уменьшение времени развития лазерного импульса. В результате время развития становится меньше времени открытия АОФ. Это приводит к уменьшению мощности генерации. При работе Ho:YAG лазера на длине волны 2123 нм при $E \leq 1,1$ мДж (возможно, что и при больших значениях) время развития лазерного импульса не превышает времени «открытия» АОФ. Потеря мощности генерации не происходит. Это связано с тем, что на данной длине волны время развития генерации имеет минимальное значение. Поэтому при генерации Ho:YAG лазера на длине волны 2123 нм возможно получение максимальной мощности генерации и максимальной энергии лазерного импульса.

Отметим, что генерация Ho:YAG лазера рассматривалась при частоте следования импульсов 10 кГц.

Эксперимент также показал, что генерация лазера в одноволновом импульсно-периодическом режиме характеризуется высокой стабильностью амплитуды импульсов. Среднеквадратическое отклонение амплитуды импульсов генерации в данном случае не превышает 10 %.

Заключение

В работе представлены результаты экспериментальных исследований характеристик излучения Ho:YAG лазера с внутрирезонаторным акустооптическим фильтром. Показана возможность реализации эффективного одноволнового импульсно-периодического режима работы лазера.

За счет изменения частоты управляющего высокочастотного сигнала в небольшом диапазоне от 48,5 до 49,5 МГц осуществлена перестройка генерации Ho:YAG лазера на всех возможных длинах волн: 2091 и 2097 нм. Получена генерация Ho:YAG лазера с частотой следования импульсов 10 кГц. Экспериментально определена мощность генерации лазера на различных длинах волн. При генерации лазера на длине волны 2097 и 2091 нм в импульсно-периодическом режиме выходная мощность достигала значения $P \sim 4,5$ Вт, что соответствует энергии $E = 0,45$ мДж. При дальнейшем увеличении мощности накачки происходило уменьшение мощности генерации Ho:YAG лазера относительно значения мощности, полученной в режиме свободной генерации. Показано, что мак-

симальная выходная мощность генерации лазера наблюдается на длине волны 2123 нм. Значение выходной мощности в импульсно-периодическом режиме на этой длине волны достигало максимального значения и составляло $P \sim 11$ Вт ($E = 1,1$ мДж). Именно на данной длине волны возможна импульсно-периодическая генерация Ho:YAG лазера с максимальной выходной мощностью. Эксперимент также показал, что генерация лазера в одноволновом импульсно-периодическом режиме характеризуется высокой стабильностью амплитуды импульсов. Среднеквадратическое отклонение амплитуды импульсов генерации в данном случае не превышает 10 %.

Таким образом, предложенный метод позволяет получать импульсно-периодический режим генерации Ho:YAG лазера на одной длине волны без использования дополнительных селектирующих устройств. В отличие от других типов селекторов, такое устройство более устойчиво к механическим воздействиям и менее чувствительно к разъюстировке. Применение данного акустического устройства в Ho:YAG лазере позволит значительно уменьшить энергопотребление модулятора добротности и массогаба-

ритные характеристики источника управляющего высокочастотного сигнала.

Литература

1. Henderson S. W., Hale C. P., Magee J. R. et al. Eye-safe coherent laser radar system at 2.1 using Tm, Ho:YAG lasers // Opt. Lett. 1991. Vol. 16, N 10. P. 773–775.
2. Грачев С. В. Гольмиевый лазер в медицине. М.: Изд-во Триада-X, 2003.
3. Lippert E., Nicolas S., Arisholm G. et al. Mid infrared source with high power and beam quality // J. Opt. Soc. Am., 2005.
4. Stenersen K., Lippert E., Rustad D., Arisholm G. Thermal effects in end-pumped solid state lasers. FFI/RAPORT – 2001/0,3865.
5. Балакший В. И. Физические основы акустооптики. М., 2000.
6. Захаров Н. Г. , Антипов О. Л., Шарков В. В., Савикин А. П. Эффективная генерация на длине волны 2,1 мкм в лазере на кристалле Ho:YAG с накачкой излучением Tm:YLE лазера // Квант. электроника. 2010. Вып. 40, № 2. С. 98–100.