

Срочно исправить опечатки и позвонить
в редакцию +7 (499) 132 66 66, +7 (499) 135 13 11

PACS

Джиттер и предельная нижняя частота импульсов генерации твердотельного лазера с диодной накачкой при пассивной модуляции добротности резонатора

М.И.Беловолов, А.Ф.Шаталов

Исследован джиттер импульсов генерации лазеров на кристаллах $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ (YAG: Nd) и $Ca_3Ga_2Ge_3O_{12}:Nd^{3+}$ (CGGG: Nd) с диодной накачкой при пассивной модуляции добротности резонатора. Обнаружено, что джиттер σ зависит от частоты F следования импульсов генерации как $\sigma = A/F^{\gamma}$. Показано, что предельная нижняя частота F_L генерации импульсов лазером определяется параметрами A и γ джиттера и равна $A^{1/(\gamma-1)}$. Для Nd:YAG-лазера F_L составило 14 Гц, а для Nd:CGGG-лазера – 5 Гц.

Ключевые слова: твердотельные лазеры, диодная накачка, пассивная модуляция добротности, джиттер импульса.

1. Введение

Перспективность использования импульсных твердотельных лазеров (ТТЛ) с диодной накачкой в различных областях науки и техники обусловлена их надежностью, а также простотой устройства и эксплуатации. В настоящее время продолжают интенсивные исследования по созданию компактных импульсных ТТЛ с диодной накачкой при пассивной модуляции добротности резонатора [1–3]. В качестве лазерного элемента в таких ТТЛ используются как хорошо известный кристалл $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ (YAG: Nd) [1, 3], так и относительно новый для данных применений кристалл кальций-галлий-германиевого граната $Ca_3Ga_2Ge_3O_{12}:Nd^{3+}$ (CGGG: Nd) [2].

Наряду с другими рабочими характеристиками импульсного ТТЛ представляют интерес стабильность и нижняя предельная частота F следования импульсов генерации лазера, которые определяются джиттером импульсов генерации ТТЛ.

В настоящей работе исследован джиттер импульсов генерации ТТЛ на кристаллах YAG: Nd и CGGG: Nd с диодной накачкой при пассивной модуляции добротности резонатора и определена предельная нижняя частота F_L импульсов генерации этих лазеров.

2. Эксперимент

Схема экспериментальной установки для исследования джиттера импульсов генерации ТТЛ показана на рис.1. Лазерный диод 1 с волоконным выходом 2 (числовая апертура NA = 0.22, диаметр сердцевинки $d_c = 100$ мкм) служил источником накачки. Длина волны излучения накачки λ_p составляла 805 нм, ширина спектра излучения на полувысоте $\Delta\lambda$ была равна ~ 2 нм. Микрообъектив 3 фокусировал излучение из выходного торца волокна 2 (пятно диаметром 90 мкм) на лазерный элемент 4 (пятно диаметром 90 мкм) на лазерный элемент

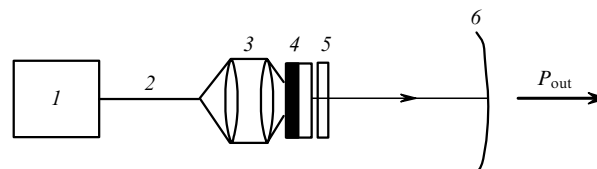


Рис.1. Схема экспериментальной установки для исследования джиттера импульсов генерации ТТЛ с диодной накачкой при пассивной модуляции добротности резонатора:

1 – лазерный диод; 2 – оптическое волокно; 3 – микрообъектив; 4 – лазерный элемент; 5 – насыщающийся поглотитель; 6 – выходное сферическое зеркало.

(ЛЭ) 4, крепившийся термопастой на медный теплоотвод. Передняя грань ЛЭ (на рис.1 зачернена) служила входным зеркалом, а сферическое зеркало 6 (радиус $R = 5$ см, коэффициент пропускания $T = 0.01$) являлось выходным зеркалом резонатора лазера. В резонатор лазера помещался насыщающийся поглотитель 5 на основе кристалла YAG: Cr⁴⁺ толщиной 1 мм, просветленного на $\lambda = 1.06$ мкм и имеющего коэффициент пропускания $T = 0.9$ при малых интенсивностях падающего на него излучения. Концентрация ионов Nd³⁺ в лазерном кристалле YAG: Nd составляла 0.8×10^{20} см⁻³, а его толщина равнялась 4.1 мм. За один проход в этом ЛЭ поглощалось 70 % излучения накачки. В кристалле CGGG: Nd концентрация Nd³⁺ составляла 2.0×10^{20} см⁻³, толщина ЛЭ равнялась 1.5 мм, и за один проход поглощалось также 70 % излучения накачки.

3. Результаты и их обсуждение

Типичный вид импульса генерации ТТЛ показан на рис.2,а. В случае Nd: YAG-лазера длительность импульса на полувысоте составляла 15 нс, а его энергия – 2.1 мкДж. Частота F следования импульсов генерации Nd: YAG-лазера изменялась от 4 до 35 кГц при изменении поглощенной мощности накачки от 0.35 до 1 Вт. В случае Nd: CGGG-лазера типичные значения длительности и энергии импульсов генерации CGGG: Nd-лазера составляли 11 нс и 3.5 мкДж, а частота F следования импульсов изменялась от 3 до 13 кГц при изменении

М.И.Беловолов, А.Ф.Шаталов. Научный центр волоконной оптики РАН, Россия, 119333 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: bmi@fo.gpi.ru, shatalov@fo.gpi.ru

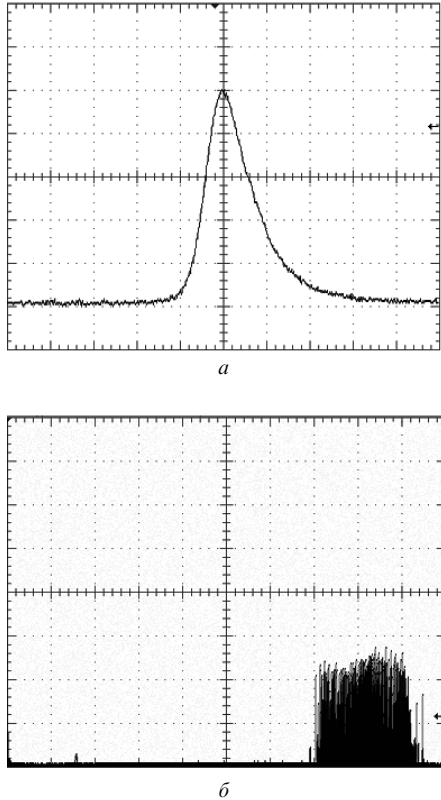


Рис.2. Типичный вид импульса генерации ТТЛ, скорость развертки 10 нс/дел (а), а также случайный разброс интервалов следования импульсов генерации, скорость развертки 10 мкс/дел (б).

поглощенной мощности накачки от 0.45 до 1 Вт. Длина волны излучения лазеров равнялась 1.06 мкм.

Джиттер импульсов генерации ТТЛ проявлялся как случайные изменения частоты повторения или периода следования импульсов генерации ТТЛ, т.е. временных расстояний между вершинами соседних импульсов генерации. Случайный разброс периодов следования импульсов генерации ТТЛ визуализировался на экране осциллографа (рис.2,б) при работе последнего в режиме запоминания, когда каждый последующий импульс регистрируется на экране относительно предыдущего, служащего началом развертки. Джиттер σ импульсов генерации ТТЛ полагался равным 1/4 интервала разброса импульсов на экране осциллографа и определялся как стандартное отклонение периода следования импульсов от его среднего (ожидаемого) значения T . Частота F следования импульсов генерации также считалась равной ее среднему значению, причем $F = 1/T$.

На рис.3 показаны зависимости джиттера σ импульсов генерации ТТЛ от частоты следования импульсов F для обоих лазеров. Анализ полученных результатов показывает, что величина джиттера σ хорошо аппроксимируется функцией $\sigma = A/F^\gamma$, где параметры джиттера γ и A составляют для Nd:YAG-лазера 1.4 и 180 мкс·кГц^{1.4}, а для Nd:CGGG-лазера 1.3 и 200 мкс·кГц^{1.3} соответственно.

Наиболее значителен джиттер на нижних частотах F диапазона генерации Nd:YAG- и Nd:CGGG-лазеров, когда поглощенная мощность P накачки незначительно превышает порог генерации ТТЛ. С увеличением F джиттер σ уменьшается и становится менее 10 % на верхних частотах диапазона генерации импульсов.

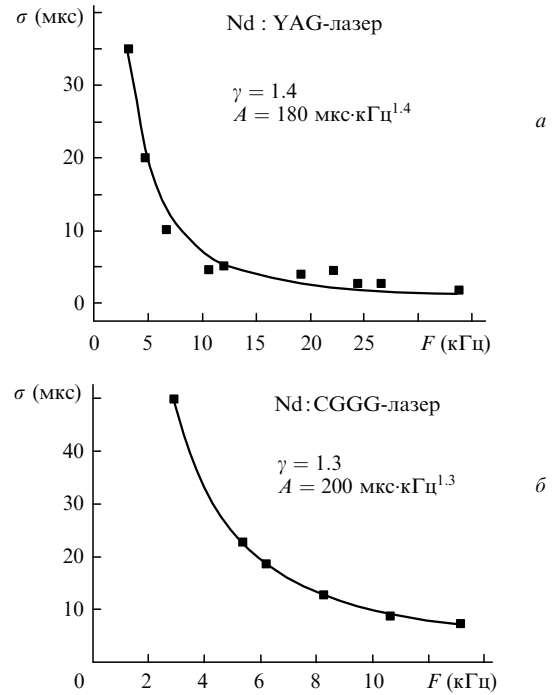


Рис.3. Экспериментальные зависимости джиттера σ импульсов генерации ТТЛ от частоты F следования импульсов для Nd:YAG- и Nd:CGGG-лазеров (точки), сплошной кривой показана функция $\sigma = A/F^\gamma$.

Если величина джиттера σ становится равной периоду $T = 1/F$ следования импульсов генерации ТТЛ, то понятие частоты F и периода T следования импульсов теряет практический смысл. Поэтому нижнюю предельную частоту F_L импульсов генерации ТТЛ мы определили из условия $\sigma = 1/F_L = A/F_L^\gamma$. При таком определении частоты F_L её величина будет выражаться через параметры A и γ джиттера как $F_L = A^{1/(\gamma-1)}$. Тогда значение нижней предельной частоты F_L для Nd:YAG-лазера составляет 14 Гц, а для Nd:CGGG-лазера – 5 Гц.

4. Заключение

Исследован джиттер σ импульсов генерации ТТЛ на кристаллах YAG:Nd и CGGG:Nd с диодной накачкой при пассивной модуляции добротности резонатора. Длина волны излучения лазеров равнялась 1.06 мкм, длительности и энергии генерируемых импульсов составляли 15 нс и 2.1 мкДж для Nd:YAG-лазера и 11 нс и 3.5 мкДж для Nd:CGGG-лазера, а частота F следования импульсов при изменении поглощенной мощности накачки находилась в диапазонах 4–35 кГц и 3–13 кГц соответственно.

Обнаружено, что джиттер σ зависит от частоты F как $\sigma = A/F^\gamma$. Показано, что предельная нижняя частота F_L генерации импульсов лазером определяется параметрами γ и A джиттера и равна $A^{1/(\gamma-1)}$. Параметры γ , A и частота F_L для Nd:YAG- и Nd:CGGG-лазеров составляли 1.4, 180 мкс·кГц^{1.4}, 14 Гц и 1.3, 200 мкс·кГц^{1.3}, 5 Гц соответственно.

1. Agnesi A., Dell'Acqua S., Morello C., Piccino G., Reali C.G., Zhaoyang Sun. *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, 3, 45 (1997).
2. Montes M., Heras C., Jaque D. *Opt. Materials*, 28, 408 (2006).
3. Zayhowski J.J., Dill C. *Opt. Lett.*, 19, 1427 (1994).