

Тераваттная фемтосекундная лазерная система на хром-форстерите

М.Б.Агранат, С.И.Ашитков, А.А.Иванов, А.В.Конященко, А.В.Овчинников, В.Е.Фортов

Сообщается о создании тераваттной фемтосекундной лазерной системы ИК диапазона на хром-форстерите с энергией импульсов 90 мДж и длительностью 80 фс. Лазерная система собрана на основе российских комплектующих изделий и не имеет аналогов в мире.

Ключевые слова: хром-форстерит, фемтосекундные лазерные системы.

В настоящее время для генерации фемтосекундных импульсов ИК диапазона широко используются такие активные элементы, как Cr:форстерит ($\text{Cr}^{4+}:\text{Mg}_2\text{SiO}_4$), Cr:гранат ($\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$), а также ряд других [1–4]. Спектральная полоса усиления кристаллов Cr:форстерита позволяет генерировать импульсы длительностью менее 30 фс на длине волны излучения $\lambda = 1250$ нм [5]. Однако мощность импульсов излучения современных лазеров не превышает 0.01 ТВт [6–8].

В настоящей работе впервые получены фемтосекундные импульсы тераваттной мощности в ближнем ИК диапазоне ($\lambda = 1240$ нм) в лазерной системе на Cr:форстерите [9]. Эта лазерная система принадлежит Центру коллективного пользования российских и зарубежных ученых «Лазерный фемтосекундный комплекс» Института теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН. Система создана на основе комплектующих изделий российского производства, в качестве импульсных лазеров накачки использовались лазеры фирмы Solar (Белоруссия).

Фемтосекундный тераваттный лазер (рис.1), собранный на оптическом столе с размерами 300×120 см, оборудован пылезащитной системой и системами очистки воздуха и стабилизации температуры. Для достижения высокого уровня мощности использовался метод усиления chirпированных импульсов, широко применяемый в тераваттных лазерах на Ti:сапфире [10].

На рис.2 представлена блок-схема лазера и даны его выходные параметры. Первый модуль – задающий генератор CrF-65 (ООО «Авеста-Проект»), собранный по классической схеме с Z-образным резонатором и парой призм из SF6, которые компенсируют положительную дисперсию в активном элементе [5]. Накачка осуществля-



Рис.1. Общий вид установки.

ется на длине волны 1.064 мкм непрерывным волоконным иттербиевым лазером (модель PUL-10, «ИРЭ–Полус»). Генератор излучает непрерывный пучок импульсов длительностью ~ 55 фс на длине волны 1260 нм с частотой повторения 90 МГц и энергией отдельного импульса в пучке ~ 2 нДж при мощности накачки 7 Вт.

Во втором модуле импульсы генератора проходят через временной расширитель, осуществляющий chirпирование импульсов [4, 10]. Временной расширитель собран по схеме с одной дифракционной решеткой (600 штр./мм), плоским и сферическим ($F = 700$ мм) зеркалами, служащими в качестве телескопа, который меняет дисперсию с отрицательной на положительную. Временной расширитель увеличивает длительность импульсов осциллятора до 50 пс с эффективностью по энергии 60 %.

Далее chirпированный импульс усиливается с помощью регенеративного усилителя с кольцевым резонатором (третий модуль), не требующего применения развязки Фарадея. Накачка активного элемента осуществляется излучением импульсного YAG:Nd-лазера с длительностью импульса генерации 12 нс, энергией в импульсе ~ 15 мДж и частотой повторения 10 Гц. Энергия импульса на выходе регенеративного усилителя составляет 450 мкДж, что соответствует коэффициенту

М.Б.Агранат, С.И.Ашитков, А.В.Овчинников, В.Е.Фортов. Институт теплофизики экстремальных состояний Объединенного института высоких температур РАН, Россия, 125412 Москва, ул. Ижорская, 13/19

А.А.Иванов. Центр фотохимии РАН, Россия, 117421 Москва, ул. Новаторов, 7а

А.В.Конященко. Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, 119991 Москва, Ленинский просп., 53

Поступила в редакцию 19 февраля 2004 г.

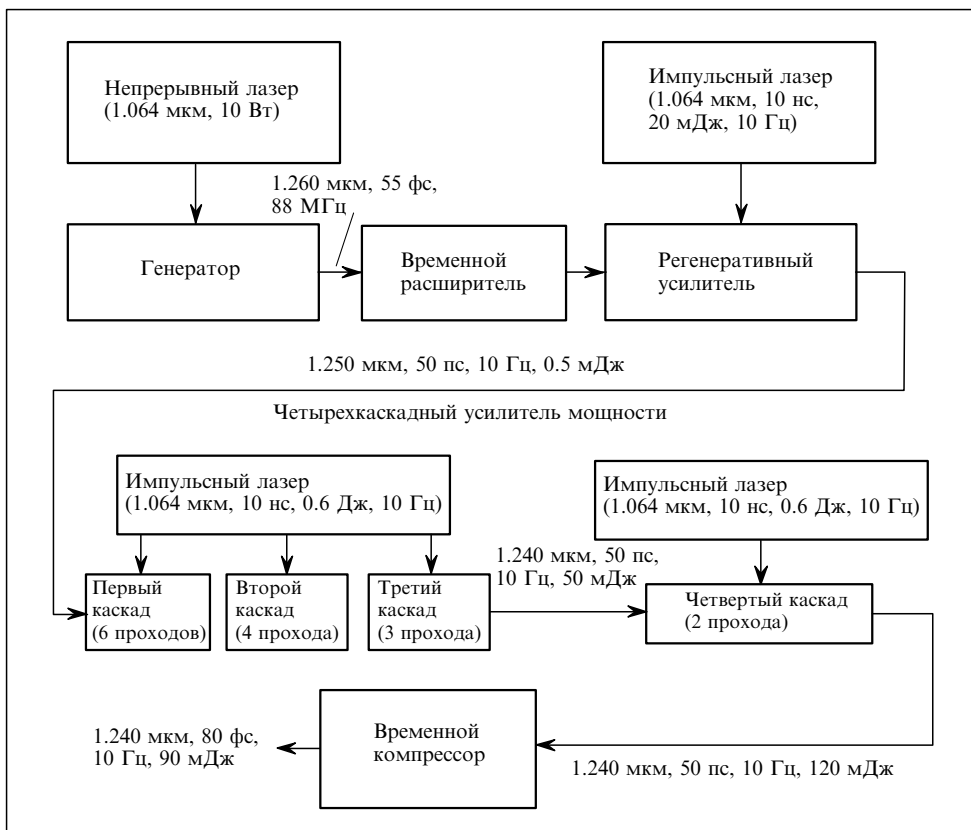


Рис.2. Блок-схема и выходные параметры лазера.

усиления $\sim 3 \times 10^5$. Пространственное распределение пучка соответствует основной моде TEM_{00} .

Усилитель мощности chirпированных импульсов состоит из четырех многопроходных усилителей. Накачка осуществляется двумя YAG: Nd-лазерами, работающими в режиме модулированной добротности с энергией импульса 600 мДж, длительностью 10 нс и частотой повторения 10 Гц ($\lambda = 1.064$ мкм). Пространственное распределение излучения накачки имеет прямоугольный профиль по горизонтальной координате и близкий к гауссову – по вертикальной.

Излучение накачки разветвлялось системой зеркал и фокусировалось в активные элементы линзами с фокусными расстояниями 0.5 и 1 м. При этом поперечное сечение моды накачки согласовывалось с сечением моды усиливаемого сигнала. При оптимальном числе проходов через кристалл эффективность усилителя достигала 10%. Основные параметры многопроходных усилителей приведены в табл.1.

После усилителя мощности лазерный импульс расширялся телескопом и направлялся в компрессор, состоящий из двух дифракционных решеток 600 штр./мм размером 120×100 мм. Полная эффективность компрессора составляла 75%. Длительность лазерных импульсов на

Табл.1.

| Каскады усилителя | Число проходов | Энергия накачки (мДж) | Энергия импульса (мДж) |
|-------------------|----------------|-----------------------|------------------------|
| 1 | 6 | 90 | 6 |
| 2 | 4 | 180 | 23 |
| 3 | 3 | 250 | 50 |
| 4 | 2 | 600 | 120 |

выходе компрессора определялась с помощью одноимпульсного автокоррелятора ASF-20 (ООО «Авеста-Проект»). Автокорреляционная функция и спектр лазерного импульса на выходе компрессора приведены на рис. 3, 4. Длительность импульса по полувысоте для профиля интенсивности sech^2 составляла 79 фс.

Была проведена также оценка контраста по автокорреляционной функции третьего порядка. Контраст интенсивностей функций при нулевой задержке и задержке 2 пс составлял не менее 10^6 .

Таким образом, впервые реализована тераваттная фемтосекундная лазерная система на Cr: форстерите, генерирующая импульсы длительностью 79 фс с энергией 90 мДж на длине волны 1.240 мкм при частоте следования импульсов 10 Гц. Высокая стабильность работы всей системы и большая эффективность преобразования энергии накачки при сравнительно низкой стоимости ком-

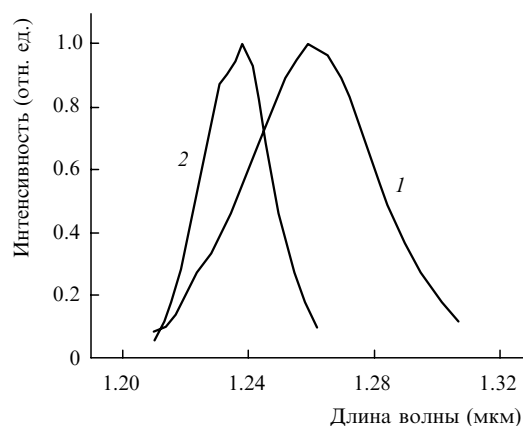


Рис.3. Спектры генератора (1) и излучения на выходе компрессора (2).

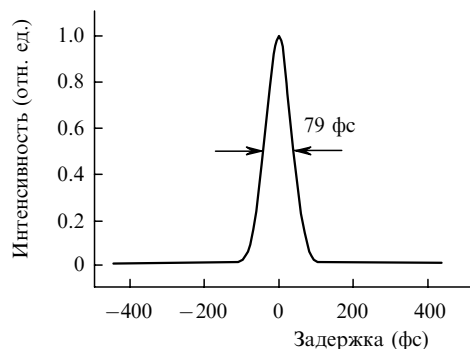


Рис.4. Автокорреляционная функция лазерного импульса на выходе компрессора.

плектующих позволяют надеяться, что подобные системы найдут широкое применение в решении широкого круга фундаментальных и технологических задач.

1. Petricevic V., Gayen S.K., Alfano R.R., Yamagishi K., Anzai H., Yamaguchi Y. *Appl. Phys. Lett.*, **52**, 1040 (1988).
2. Verdun H.R., Thomas L.M., Andrauskas D.M., McCollum T., Pinto A. *Appl. Phys. Lett.*, **53**, 2593 (1988).
3. Ангент Н.Б., Бородин Н.И., Гармаш В.М. и др. *Квантовая электроника*, **15**, 113 (1988).
4. Крюков П.Г. *Квантовая электроника*, **31**, 95 (2001).
5. Yakovlev V. V., Ivanov A. A., Shcheslavskiy V. *Appl. Phys. B.*, **74**, 145 (2002).
6. Togashi T., Nabekawa Y., Sekikava T., Watanabe S. *Appl. Phys. B.*, **68**, 169 (1998).
7. Shcheslavsky V., Zhavoronkov N., Petrov V., Noack F., Bouvier M. *IEEE J. Quantum Electron.*, **35**, 1123 (1999).
8. Agranat M.B., Ashitkov S.I., Fortov V.E., et al. *Proc. XI Conf. on Laser Optics (LO'2003)* (St.Petersburg, Russia, 2003).
9. Baskus S., Durfee C.G., Murnane M.M., et al. *Rev. Sci. Instr.*, **69**, 1207 (1998).
10. Jonusauskas G., Oberle J., Rulliere C. *Opt. Lett.*, **23**, 1918 (1998).