

ПИКОСЕКУНДНЫЕ ЛАЗЕРЫ С ИМПУЛЬСНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ И ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ ГЕНЕРАЦИЕЙ

Пикосекундные лазеры большой пиковой мощности широко применяются при решении современных научно-технических задач. Поэтому разработка и создание эффективных и легко адаптируемых пикосекундных лазеров на современной элементной базе весьма актуальна.

Лазерные ультракороткие импульсы (УКИ) пико- и фемтосекундной длительности используются при исследовании кинетики быстропротекающих процессов в физике и биологии, в задачах прецизионной микрообработки и в метрологии. Широко распространены системы на основе лазеров с непрерывной (диодной или лазерной) накачкой, генерирующих импульсы с частотой повторения в десятки и сотни мегагерц. Синхронизация мод осуществляется, как правило, на основе керровской нелинейности (у фемтосекундных лазеров) или с помощью нелинейных полупроводниковых (п/п) зеркал (SESAM: semiconductor saturable absorber mirror) (у пикосекундных лазеров) [1]. При этом установление стабильного режима генерации происходит за время, соответствующее нескольким тысячам обходов резонатора, то есть от нескольких десятков до сотен пикосекунд. Максимальная энергия одиночных импульсов в таких лазерах достигает 10–100 нДж при средней мощности в пределах 1–10 Вт. Относительная простота реализации режима пассивной синхронизации мод при использовании непрерывной накачки и SESAM с небольшой глубиной модуляции (1–2%) способствовала распространению пикосекундных лазеров с непрерывной диодной накачкой в дискретном и оптоволоконном исполнении.

Для увеличения энергии одиночных импульсов до уровня миллиджоулей последовательность импульсов прореживается и усиливается с помощью регенеративных или многопроходных усилителей. Поскольку УКИ большой пиковой мощности востребованы в разных приложениях, производители пико- и фемтосекундных лазеров с непрерывной накачкой

в качестве дополнительных опций предлагают усилители, работающие на частотах повторения до нескольких килогерц. Такой подход к получению импульсов большой пиковой мощности универсален, однако лазерные системы при этом оказываются сложными и дорогими, требуют квалифицированного обслуживания, что доступно, как правило, только крупным лабораториям и научным центрам (особенно это относится к системам на основе фемтосекундных лазеров).

Для решения практических задач наиболее оправдано использование излучения пикосекундной длительности: оно обеспечивает высокую точность воздействия и проще передается на расстояние.

Для генерации мощных пикосекундных импульсов широко используются лазеры импульсно-периодического действия с импульсной ламповой накачкой на кристаллах, легированных ионами неодима, с комбинированной схемой управления генерацией (активная синхронизация мод и управление добротностью резонатора). Высокий уровень воспроизводимости параметров импульсов в таких лазерах достигается за счет использования отрицательной обратной связи (ООС) на этапе формирования предгенерации [2,3]. Использование активной синхронизации мод позволяет получать временную привязку генерируемых импульсов к внешнему опережающему синхроимпульсу с точностью, ограниченной только периодом межмодовых биений [4]. Несмотря на определенную привлекательность, применение таких лазеров ограничено из-за больших габаритов, высокой потребляемой мощности, необходимости водяного охлаждения и ограничения частоты

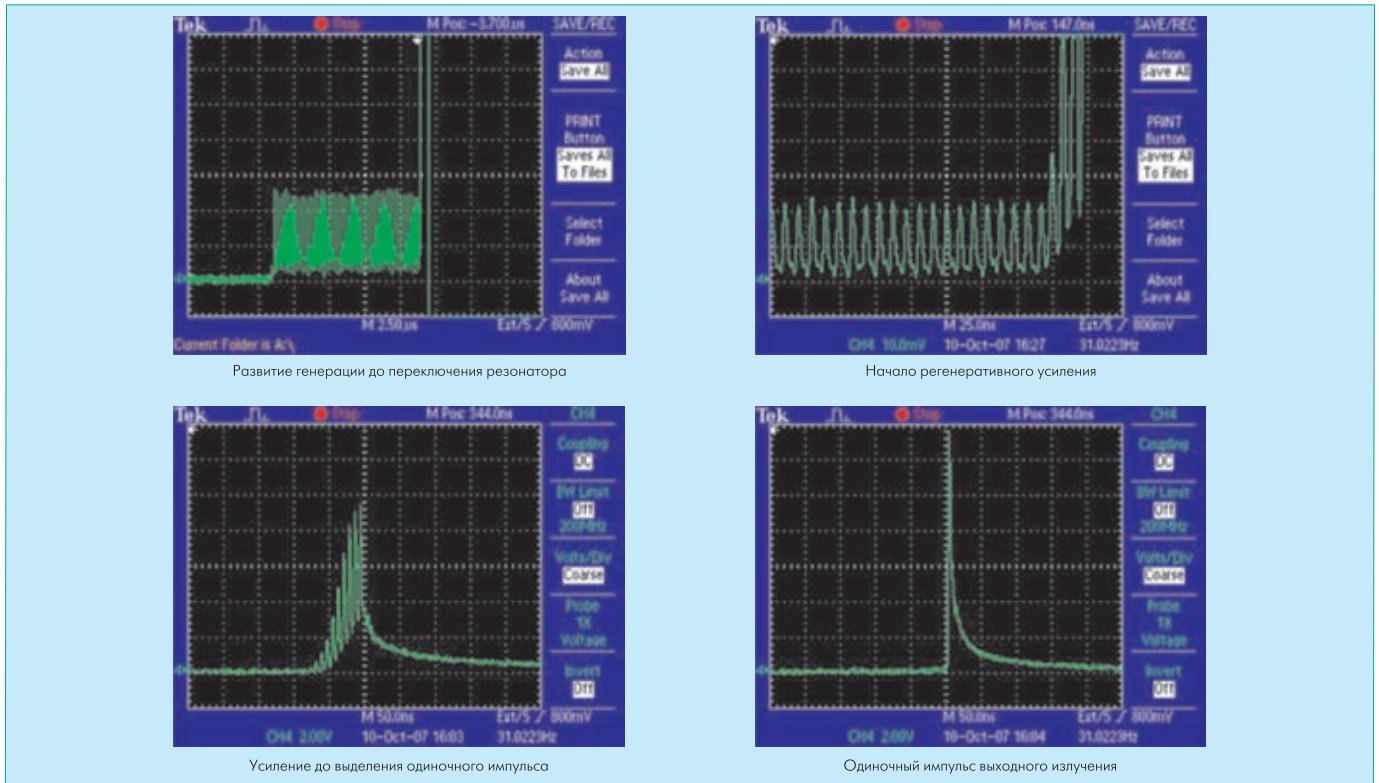


Рис. 1 Осциллограммы различных этапов процесса формирования излучения

повторения на уровне 10–20 Гц ввиду значительных термооптических эффектов в активном элементе.

Мы объединили хорошо зарекомендовавшие себя принципы управления процессом лазерной генерации с современной элементной базой. Речь идет об использовании современных систем диодной накачки, позволяющих значительно снизить влияние нагрева активной лазерной среды на модовую структуру резонатора и параметры генерации, а также композитных активных элементов, снижающих (на порядок) термическое напряжение и наведенное дву-

чепреломление [5]. Это открывает новые возможности для создания эффективных, компактных и стабильных пикосекундных лазеров с большой пиковой мощностью и высокой частотой повторения.

В МЛЦ МГУ разработан пикосекундный Nd:YAG-лазер [6] (проект PICAR) с накачкой от импульсной диодной линейки и электрооптическим управлением генерацией, совмещающий в одном устройстве функции генератора и регенеративного усилителя. Система такого управления генерацией, использующая термокомпенсированные низковольтные электрооп-

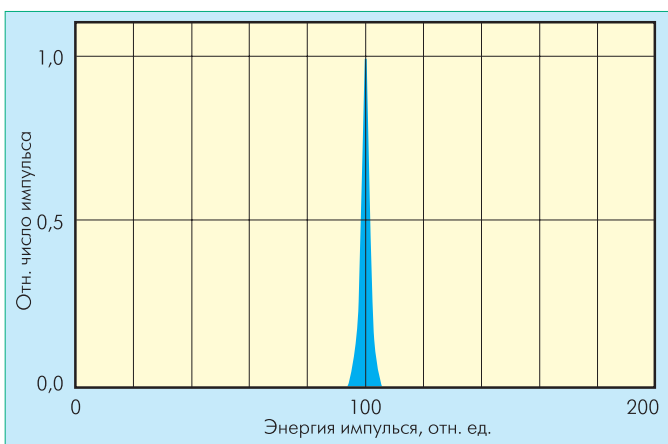


Рис.2 Разброс значений энергии выходного излучения, частота 300 Гц, время экспозиции 8 мин. Среднеквадратичное отклонение 1,7%

тические модуляторы, осуществляет активную синхронизацию мод, отрицательную ОС, переключение резонатора в режим усиления, а также вывод излучения из резонатора. При этом напряжение управляющего воздействия на модулятор составляет всего лишь десятки вольт, что позволяет сделать управляющие электронные устройства простыми и компактными.

Для максимального укорочения длительности импульса наряду с активной используется и пассивная синхронизация мод с помощью нелинейных п/п зеркал SESAM [5], время

восстановления и глубина модуляции которых подбираются исходя из свойств активной лазерной среды и параметров резонатора. В импульсно-периодическом режиме генерации с большим, по сравнению с непрерывным режимом, коэффициентом усиления, необходимо использовать SESAM с большей глубиной модуляции. При увеличении ее выше 2–3% генерация имеет тенденцию к переходу в режим Q-модуляции. Отрицательная ОС стабилизирует излучение на оптимальном (с точки зрения компрессии импульсов) уровне мощности, предотвращая Q-модуляцию даже при высоком (свыше 10%) уровне начальных потерь.

Комбинированное действие активно-пассивной синхронизации мод и отрицательной ОС обеспечивает сокращение времени формирования требуемых параметров излучения до нескольких микросекунд. Устойчивость генерации достигается за счет оптимизации амплитуд управляющих сигналов активной синхронизации, ОС и временного сдвига между ними. Формирование УКИ происходит в каждом импульсе накачки, что обеспечивает условия оптимального преобразования энергии накачки в выходное излучение и возможность точной синхронизации импульса генерации с внешним сигналом.

На рис.1 показаны осциллограммы, соответствующие различным стадиям процесса формирования генерации. Nd:YAG-

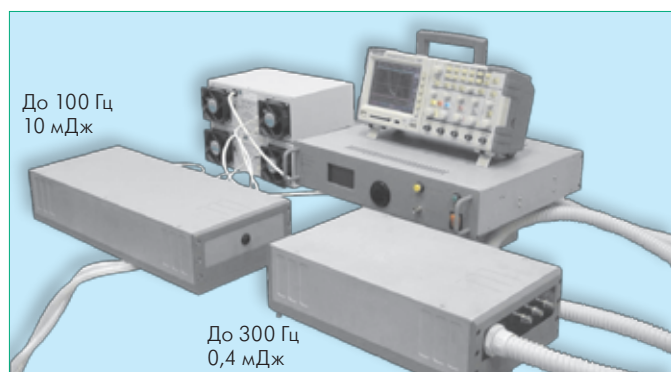


Рис.3 Внешний вид лазера и двухпроходного усилителя

лазер генерирует излучение на длине волны $\lambda=1064$ нм с энергией одиночных импульсов 0,4 мДж и длительностью 25 пс. Частота повторения может плавно меняться в диапазоне от одиночных импульсов до 300 Гц. Стабильность энергии генерируемых импульсов не хуже 2% (рис.2). Предусмотрена возможность внутреннего и внешнего запуска. Управляющая электроника построена на основе микроконтроллера. Все регулировки и установки осуществляются в режиме "одной кнопки" с помощью кодера через систему меню (рис.3). Предусмотрена функция внутренней диагностики и отображения параметров генерации.

Технически и функционально продвинутое конфигурации лазерных систем предполагают наличие преобразовате-

ля излучения в гармонике – одноимпульсного коррелятора. Лазер тогда используется как задающий генератор для каскада из одного или двух усилителей. Перестройка в широких пределах частоты повторения импульсов обеспечивает простоту масштабирования энергии импульсов и мощности выходного излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Keller U. Recent developments in compact ultrafast lasers. – Nature, 2003, v.424, p.831.
2. Баянов И.М. и др. Высокостабильный пикосекундный лазер на ИАГ : Nd³⁺ с отрицательной обратной связью. – Квантовая электроника, 1989, т.16, N8, с.1545.
3. Андреева А.И. и др. YAG:Nd-лазер в режиме пассивной синхронизации мод с отрицательной обратной связью на основе сильноточного фотоумножителя. – Квантовая электроника, 1989, т.16, N8, с.1604.
4. Запорожченко В. и др. Лазерные источники ультракоротких импульсов с активной синхронизацией мод. – Фотоника, 2007, №5, с.10.
5. Шестаков А. Активные элементы твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. – Фотоника, 2007, №5, с.30.
6. Горбунков М.В. и др. Пикосекундные полностью твердотельные Nd:YAG лазеры с импульсной диодной накачкой и электрооптическим управлением генерацией. – Квантовая электроника, 2005, т.35, №1, с.2.