

УДК 535.37+621.371.378

Богданович М.В., Григорьев А.В., Дудиков В.Н., Рябцев Г.И., Татура П.О., Шпак П.В.,
Щемелев М.А.

КОМПАКТНЫЙ МОЩНЫЙ ПИКОСЕКУНДНЫЙ ЛАЗЕР ДЛЯ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, пр. Независимости 68–2,
Минск 220072, Беларусь

Разработан и изготовлен пикосекундный лазер, выходные параметры которого позволяют проводить обработку полупроводниковых и диэлектрических материалов. Особенностью лазера является квазинепрерывный режим работы (частота следования импульсов 50–200 кГц). Оригинальная двухкаскадная схема оптического усиления сигнала задающего лазера формирует выходной пучок излучения мощностью на уровне 3,5–10 Вт на длине волны 1064 нм. Параметр качества пучка 2,0–2,5 обеспечивает возможность жесткой фокусировки излучения для прецизионной обработки материалов. С использованием микрообъектива, трехосной системы позиционирования и устройства выборки лазерных импульсов созданы 2-х и 3-х мерные структуры на поверхностях обрабатываемых объектов.

Пикосекундные лазеры – перспективные источники когерентного излучения для применения в различных технологических процессах [1,2]. Применение в таких источниках блоков лазерной диодной накачки позволяет заметно снизить габариты и уровень общего энергопотребления, что способствует ускоренному внедрению и расширению областей применения пикосекундных лазеров в научных исследованиях и промышленности.

Настоящая работа посвящена разработке и исследованию характеристик, а также установлению наиболее эффективных режимов функционирования мощного компактного пикосекундного лазера с диодной накачкой, генерирующего в ближней ИК–области.

Разработанный лазер включает в себя задающий лазер и два оптических усилителя, причем первый усилитель работает по регенеративной схеме, а второй – по двухпроходовой. Данный подход позволяет добиться плавной перестройки частоты усиленных импульсов в пределах частот следования импульсов 50–200 кГц с сохранением высокой выходной мощности и качества излучения. Накачка всех усилителей и задающего лазера осуществляется по продольной схеме.

Принципиальная схема задающего пикосекундного генератора лазерных импульсов на основе синхронизации продольных мод в быстром насыщающемся поглотителе представлена на рисунке 1.

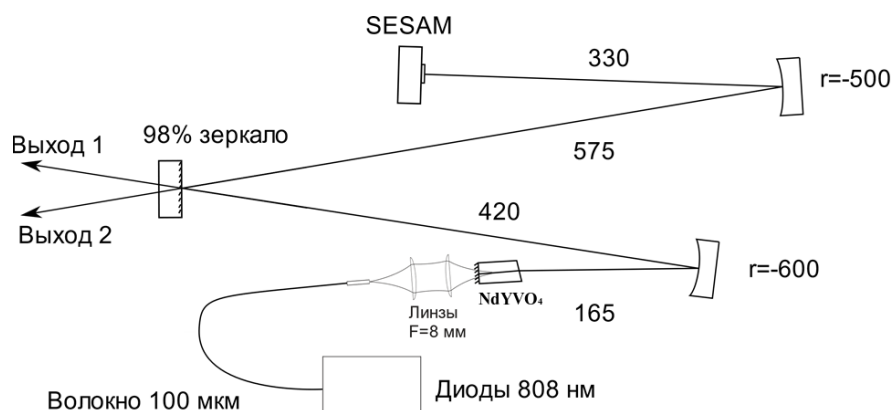


Рисунок 1 - Принципиальная оптическая схема пикосекундного генератора лазерного излучения. Расстояния между компонентами и радиусы кривизны зеркал указаны в мм

В качестве активной среды генератора и обоих усилителей применены кристаллы ванадата иттрия, допированного ионами неодима, с концентрациями, оптимальными для каждого каскада. Частота следования импульсов задающего генератора составляет 99,417 МГц. Выходная мощность каждого из двух каналов генератора составляет 150–170 мВт в режиме синхронизации мод. Выходное излучение первого канала используется для привязки сигналов синхронизации в электронной системе управления к оптическому цугу 99,417 МГц, излучение второго канала подается на вход регенеративного усилителя через систему выборки импульсов (палс-пикер). Палс-пикер представляет из себя ячейку RTP на основе двух кристаллов 4x4x10 мм каждый, полуволновую пластину для поворота плоскости поляризации и пара поляризаторов с двух сторон ячейки. Применение пары поляризаторов крайне важно для защиты задающего генератора от обратного излучения со стороны регенеративного усилителя. Палс-пикер позволяет выбирать из непрерывного цуга частотой 99,417 МГц импульсы с частотой следования 50-200 кГц.

Регенеративный усилитель также, как и задающий лазер, построен по схеме продольной диодной накачки. Вход и выход из регенеративного усилителя реализованы с помощью фарадеевского ротатора, фазовой пластины, пары поляризаторов и электрооптической ячейки RTP с двумя нелинейными элементами размером 8x8x10 мм каждый. Крайне важно обеспечить параллельный пучок излучения в кристаллах RTP, а также защитить их от неоднородного нагрева остаточным излучением накачки, поэтому перед ними устанавливается защитная диафрагма. При мощности диодной накачки менее 30 Вт выходная мощность регенеративного усилителя достигает 3,5 Вт при частоте следования импульсов 200 кГц. Минимальная частота выходных импульсов системы составляет 50 кГц при мощности излучения 1,5 Вт. Параметр качества пучка на выходе усилителя M^2 составляет 1,35 при мощности излучения менее 1,5 Вт и увеличивается до значения M^2 2,0–2,5 с увеличением мощности выходного излучения до 3,5 Вт.



Рисунок 2 – Цуг ультракоротких импульсов на выходе регенеративного усилителя (частота 100 кГц)

Для дальнейшего повышения выходной мощности излучения (при необходимости) применен двухпроходовой усилитель на основе двух кристаллов Nd: YVO₄ с концентрацией 0,5 и 1,0 ат. % с возбуждением излучением лазерной диодной линейки, излучающей на длине волны 880 нм (мощность излучения 55 Вт). Использование длины волны 880 нм позволяет минимизировать влияние эффекта термической линзы в активной среде Nd: YVO₄ на распространение усиливаемых пучков. В свою очередь, применение двух активных кристаллов по-

Секция 1. Прикладные проблемы оптики и спектроскопии

следовательно (с концентрациями ионов Nd^{3+} 0,5 ат. % – первый каскад усиления, затем 1,0 ат. % – второй каскад усиления) позволяет повысить эффективность поглощения излучения накачки на длине волны 880 нм, и предотвратить разрушение кристаллов вследствие перегрева.

Полная выходная мощность излучения пикосекундного лазера на длине волны 1064 нм превышает 10,0 Вт в случае двухкаскадного усиления при частоте следования импульсов 200 кГц. Следует отметить, что оконечный двухпроходовой усилитель хорошо откликается на увеличение мощности входного сигнала, что свидетельствует о том, что усилитель работает вдали от режима насыщения, и имеется дополнительный потенциал для дальнейшего роста выходной мощности пикосекундного лазера.

На рисунке 3 представлен общий вид лазерной системы, установленной на гранитном столе с П-образным порталом. На данном гранитном столе также смонтирована двухосная система позиционирования подложек, а также третья ось для реализации смещения объектива по высоте с абсолютной точностью не хуже 1 мкм, и воспроизводимостью положения не хуже 2 мкм по каждой из осей. Для реализации сценариев прецизионной обработки предусмотрена система выборки лазерных импульсов после усиления с помощью третьей ячейки Поккельса на основе кристалла DKDP, подключенной к системе позиционирования подвижками в качестве виртуальной лазерной оси.

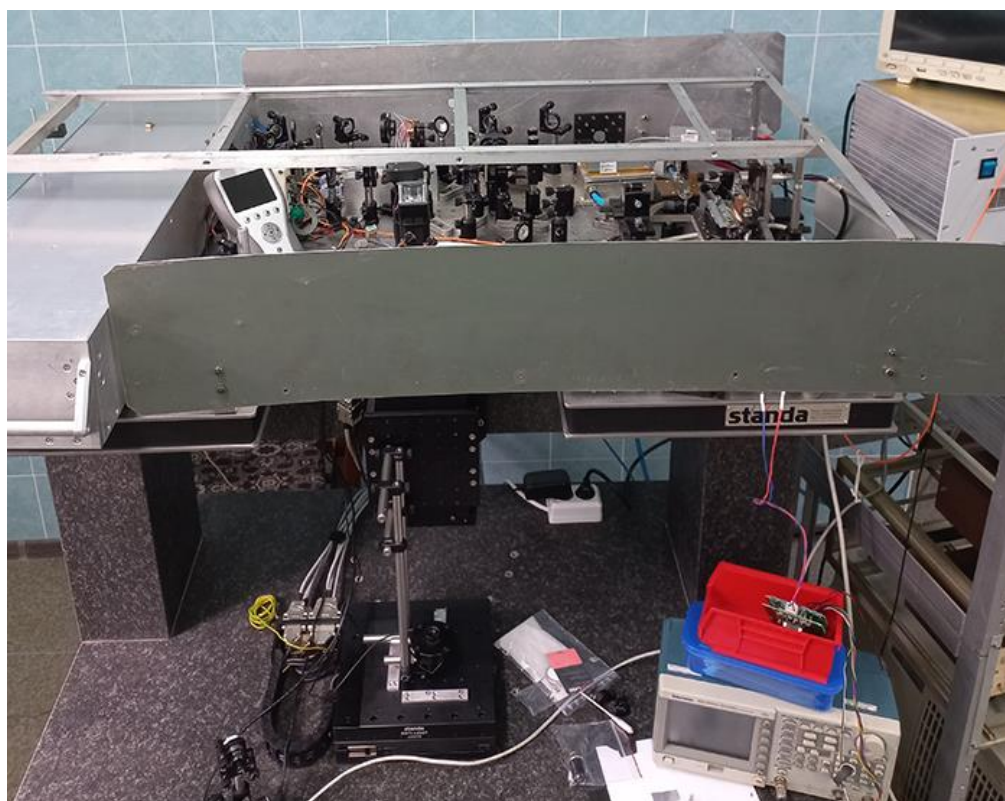


Рисунок 3 – Общий вид пикосекундной системы для обработки материалов

Разработанный и созданный пикосекундный лазер применен в Институте физики НАН Беларуси применен для технологии планарной и трехмерной обработки поверхностей различных материалов.

Список литературы

1. Н. Истомина, Л. Корякина. LASYS–2016 // Фотоника. – 2016. – № 6/ 60. – С. 54– 68.
2. Рынок фотоники: состояние и прогноз / Информационный бюллетень ЛАЗЕРНОЙ АССОЦИАЦИИ. – № 3 (738), февраль 2023.