

тремя подвижными элементами), что позволяет обеспечить дополнительно неподвижность положение выходного зрачка. При использовании линз с переменными оптическими силами расщепление не производится, а у одного или несколько компонентов оптические силы считаются переменной величиной. На последнем этапе осуществляется расчет кинематики подвижных компонентов, либо расчет изменения оптических сил компонентов.

Следовательно, ни один из выше приведенных методов не позволяет полностью автоматизировать паракиальный синтез центрированных оптических систем переменного увеличения. Поэтому исследование и разработка новых методов такого класса является актуальной научной и практической задачей.

Литература

1. Запрягаева, Л.А. Расчет и проектирование оптических систем / Л.А. Запрягаева, И.С. Свешникова. – М. : Логос, 2000. – 584 с.
2. Зверев, В.А. Идеи композиции как принцип построения рациональной конструкции оптической системы / В.А. Зверев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2002. – № 5. – С 56–71.
3. Бахолдин, А.В. Теория и методы проектирования оптических систем : уч. пособие / А.В. Бахолдин, Г.Э. Романова, Г.И. Цуканова; под редакцией А.А. Шехонина. – СПб., 2011. – 104 с.
4. Слюсарев, Г.Г. Методы расчета оптических систем / Г.Г. Слюсарев. – Л. : Машиностроение, 1969. – 670 с.
5. Русинов, М.М. Композиция оптических систем / М.М. Русинов. – Л. : Машиностроение, 1989. – 383 с.
6. Грамматин, А.П. Расчет и автоматизация проектирования оптических систем: уч. пособие / А.П. Грамматин, Г.Э. Романова, О.Н. Балащенко. – СПб., 2013. – 128 с.
7. Андреев, Л.Н., Модульное проектирование оптических систем / Л.Н. Андреев, В.В. Ежова, Г.С. Дегтярева // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – Т. 57, вып. 3. – С. 57–62.
8. Крутман, С.А., Методика автоматизированного синтеза панкратических объективов в тонких компонентах / С.А. Крутман, В.Г. Поспехов // Сборник трудов международной конференции Прикладная оптика. – 2010. – Том 1. – С. 80–84.
9. Острун, А.Б. Разработка методов автоматизированного синтеза оптических систем переменного увеличения в гауссовой области // Дис. ... канд. техн. наук: 05.06.14 : Санкт-Петербург, 2014. – 104 с.

УДК 621.3.038.825.2

ИТТЕРБИЕВЫЙ ПЕТЛЕВОЙ ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР В РЕЖИМЕ СИНХРОНИЗАЦИИ МОД

Шижко Т.А., Лазарчук А.И., Ясюкевич А.С., Кисель В.Э.

*НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Исследованы особенности получения режима синхронизации мод в полностью волоконном петлевом лазере на основе активного одномодового иттербиевого волокна. Измерены выходные характеристики излучения: частота следования и спектральная полуширина световых импульсов, выходная мощность и центральная длина волны выходного излучения.

Ключевые слова: активное волокно, синхронизация мод, ионы иттербия, петлевой лазер, нелинейные эффекты.

MODE-LOCKED YTTERBIUM LOOP FIBER LASER Shishko T.A., Lazarchuk A.I., Yasukevich A.S., Kisel V.E.

*Center for Optical Materials and Technologies BNTU
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The features of mode-locking operation in an all-fiber loop laser based on active single-mode ytterbium fiber have been studied. The output characteristics of the radiation were measured: repetition frequency and spectral bandwidth of light pulses, output power and central wavelength of the output radiation.

Key words: active fiber, mode-locking, ytterbium ions, loop laser, nonlinear processes.

*Адрес для переписки: Кисель В.Э., пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь
e-mail: vekisel@bntu.by*

Лазерное излучение с длиной волны 1–1,1 мкм имеет ряд достоинств, интересных для широкого практического применения в лазерной дальнометрии, медицине, системах оптической локации и спектрометрии благодаря целому ряду причин. В настоящее время существует большое количество источников лазерного излучения с длиной волны 1–1,1 мкм: волоконные лазеры, полупроводниковые лазеры, твердотельные лазеры. В последнее

время, благодаря простоте использования, надежности и компактности конструкции все больший интерес разработчиков лазерных систем привлекают иттербиевые волоконные лазеры. В настоящее время исследование и разработка иттербиевых волоконных лазеров, генерирующих ультракороткие лазерные импульсы (УКИ) в спектральной области 1–1,1 мкм представляет значительный интерес с точки зрения широкого

круга их практических применений (прецизионная обработка материалов, научные исследования, метрология и многое другое).

Схема исследованного лазера представлена на рисунке 1. Он состоит из нелинейного усиливающего петлевого зеркала (NALM-Nonlinear Amplifying Loop Mirror) и однонаправленного кольца (UR-Unidirectional Ring), соединенных волоконным разветвителем, с коэффициентом деления 70:30.

NALM представляет собой петлю состоящую из 0,15 м активного волокна с высокой концентрацией ионов иттербия (YDF-Hi; SM-YDF-5/130-VIII) которое накачивалось одномодовым полупроводниковым лазерным диодом (ЛД; BFLD-976F-6HSM-N0(1)) с длиной волны 976 нм через спектральный уплотнитель (WDM) и пассивного волокна (Hi 1060).

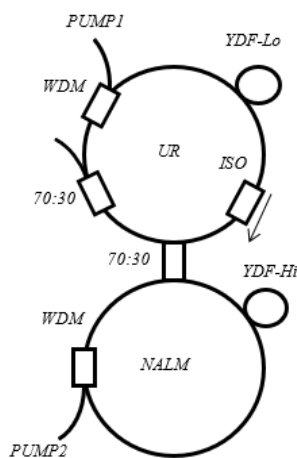


Рисунок 1 – Схема лазерного излучателя

Разветвитель выполняет роль насыщающегося поглотителя. Его принцип работы основан на интерференции двух частей разделенного импульса. За счет контролируемой величины разности фаз в NALM и UR возникают необходимые для получения режима синхронизации мод (СМ) эффекты, а именно то, что во вход разветвителя в который было заведено излучение, вернется менее интенсивная часть излучения, а во второй более интенсивная.

Для достижения большей разности фаз, которая возникает из-за нелинейного показателя преломления, итерферируемых импульсов (достижения большей глубины модуляции), используется высококонцентрированное иттербиевое волокно, смещенное к выходу с большим пропусканием. Вышеперечисленное позволяет «накопить» необходимую величину нелинейности, требуемую для просветления NALM. Также NALM до определенного значения интенсивности сокращает длительность проходящего через него импульса, что способствует стабилизации режима в резонаторе т. к. компенсирует действие дисперсий в элементах лазера, которые растягивают во времени импульс.

UR представляет собой петлю состоящую из WDM, 1,1 м активного волокна с низкой концентрацией ионов иттербия (YDF-Lo; SM-YSF-LO-HP) с накачкой полупроводниковым ЛД (BFLD-976F-6HSM-N0(1)) с длиной волны 976 нм, разветвителя 70:30 который выводит из резонатора 30 % излучения, пассивного волокна (Hi 1060) и волоконного изолятора на длину волны 1030 нм (ISO). UR обеспечивает положительную обратную связь для более интенсивного излучения и изолирует менее интенсивное.

Режим синхронизации мод достигался управлением величиной набега фаз в волокне за счет управления его положением. Выходное излучение лазера имело линейную поляризацию.

Зависимость выходной мощности от мощностей накачек в NALM и UR представлена на рисунке 2 и представляет собой полоску, это значит что резонатор находится в линейной области просветления NALM.

Поскольку элементы лазера соединены при помощи оптических розеток, которые вносят потери (порядка 5–10 %) на каждом соединении, это и позволило находиться в линейной области просветления. С увеличением накачки расширяется спектральная полуширина и центральная длина волны становится более длинноволновой.

При накачках по 0,5 Вт выходная мощность составила 46 мВт, спектральная полуширина – 7,3 нм (это обусловлено широкой полосой усиления иттербиевого волокна, нелинейными эффектами, которые проявляются за счет высокой интенсивности импульса в резонаторе и слабой спектральной селекцией элементов лазера), центральная длина волны – 1032,5 нм. Частота следования импульсов составила 14,4 МГц, что соответствует энергии одиночного импульса около 3,2 нДж. Спектральная полуширина допускает последующее внрезонаторное сжатие импульса до длительности менее 200 фс.

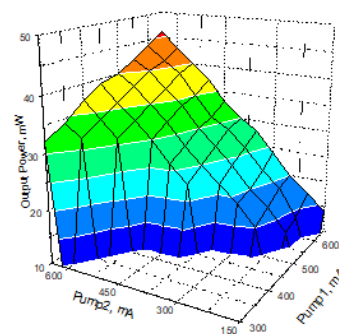


Рисунок 2 – Зависимость выходной мощности лазера от мощностей накачек NALM и UR

Простота конструкции предполагает возможность модификации резонатора дополнительными элементами, компенсирующими дис-

персию групповой скорости и дисперсию высших порядков, что позволит управление параметрами выходных лазерных импульсов для получения более широкого спектра генерации и соответствующего сокращения длительности сжатых импульсов. Также введение элементов контроля набега фаз в NALM и UR и использовании активных и пассивных волокон с сохранением поляризации (PM волокна) излучения позволит упростить получение режима синхронизации мод.

Варируя длину резонатора, потери на соединениях, и положение активного волокна можно

перестраивать резонатор на другую частоту следования импульсов, что полезно для различных прикладных задач.

Простота конструкции, отсутствие юстируемых элементов (за исключением положения оптоволокна), коммерческая доступность компонент излучателя и его компактность позволяют рассматривать этот лазер как затравочный лазер для систем регенеративного усиления УКИ имеющих широкое практическое применение как в научных исследованиях, так и для решения множества технологических задач.

УДК 621.383.72

ЭЛЕКТРОННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ВЫХОДНОГО СИГНАЛА ПРИБОРА С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ TCD1304DG

Щербаков Н.Г., Ивуть П.В., Сосенко В.А.

*НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. Описывается электронный модуль, предназначенный для формирования и обработки выходного сигнала ПЗС-линейки Toshiba TCD1304DG (ПЗС – прибор с зарядовой связью). Рассмотрен состав и особенности реализации электронного модуля.

Ключевые слова: ПЗС-линейка, электронный модуль, аппаратура для спектрофотометрирования.

ELECTRONIC MODULE FOR GENERATING AND PROCESSING THE OUTPUT SIGNAL OF A CHARGE-COUPLED DEVICE TCD1304DG

Shcherbakou M., Ivuts P., Sosenko V.

*A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems of BSU
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. An electronic module designed for generating and processing the output signal of the Toshiba TCD1304DG CCD line (a charge-coupled CCD device) is described. The composition and features of the implementation of the electronic module are considered.

Key words: CCD linear sensor, electronic module, spectrophotometry equipment.

*Адрес для переписки: Щербаков Н.Г., ул. Курчатова, 7, г. Минск, 220045, Республика Беларусь
e-mail: shcherbakov.niipfp-bsu.loes@mail.ru*

ПЗС-фотоприемники линейного типа имеют широкую сферу применения: от сканеров штрих-кодов и сканеров для документов до спектрофотометрической аппаратуры [1; 2]. Актуальными задачами отдела аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ являются разработка научной аппаратуры для спектрометрирования в оптическом диапазоне длин волн и ее использование для вопросов дистанционного зондирования Земли.

Для задач регистрации спектров исследуемых объектов в видимом спектральном диапазоне был разработан электронный модуль (ЭМ) спектрометра на основе ПЗС-линейки Toshiba TCD1304DG. Структурная схема электронного модуля представлена на рисунке 1. Модуль состоит из двух печатных плат: плата формирования выходного сигнала ПЗС-линейки и плата обработки данного сигнала.

ПЗС-линейка TCD1304DG представляет собой прибор, состоящий из 3648 высокочувствительных фотодиодов, расположенных в одну линию.

Каждый фотодиод регистрирует интенсивность падающего на его поверхность оптического излучения в видимом диапазоне длин волн, причем уровень аналогового сигнала фотодиода обратно пропорционален интенсивности оптического излучения. Схема дифференциального усилителя, включенная в состав ЭМ, предназначена для инвертирования выходного сигнала ПЗС-линейки (иными словами, чтобы малая интенсивность оптического излучения соответствовала малому уровню напряжения выходного сигнала ПЗС-линейки), а также для согласования диапазона напряжений выходного сигнала ПЗС-линейки с диапазоном напряжений преобразования аналого-цифрового преобразователя. С помощью внутренней схемы ПЗС-линейки, имеющей в своем составе сдвиговые регистры, сигнал с каждого фотодиода последовательно передается на выход ПЗС-линейки с частотой 500 кГц (в данном варианте ЭМ). Таким образом, выходной сигнал ПЗС-линейки представляет собой массив из 3648 аналоговых сигналов фотодиодов.