

Перестраиваемая узкополосная УФ лазерная система с накачкой лазером на парах меди

П.А.Бохан, Д.Э.Закревский, С.А.Кочубей, А.Ю.Степанов, Н.В.Фатеев

Экспериментально реализована узкополосная лазерная система, позволяющая получать перестраиваемое излучение в УФ области спектра со средней мощностью 3 Вт, частотой повторения импульсов 12 кГц, их длительностью 10 нс и шириной линии излучения менее 45 МГц. В качестве задающего генератора использовался непрерывный лазер на красителе, излучение которого усиливалось трехкаскадной системой на красителе с удвоением частоты в кристалле ВВО. Накачка системы осуществлялась излучением лазера на парах меди.

Ключевые слова: лазер на красителе, лазер на парах меди, удвоение частоты.

Перестраиваемые лазеры с узким спектром излучения находят самые разнообразные применения – для осуществления селективных процессов в атомах, регистрации различных примесей и т. д. В связи с технологическими применениями для разделения изотопов [1] актуальным является создание лазерных систем большой мощности и получение на их основе второй гармоники. В качестве источника накачки таких систем используется излучение импульсных лазеров на парах меди. Достоинством этих лазеров являются высокие средняя и импульсная мощности излучения, а также высокая частота повторения импульсов излучения. Подобные системы реализованы в работах [2–4]. Однако удвоение частоты излучения проведено лишь в работе [5], да и то только для лазера со средней мощностью излучения до 1 Вт.

Как известно, одной из основных причин, снижающих эффективность ГВГ излучения лазеров на красителе, является искажение пространственного распределения пучка основного излучения. Целью настоящей работы было создание лазерной системы, где в качестве задающего генератора использовался узкополосный непрерывный лазер на красителе, накачиваемый Ag^+ -лазером. Излучение непрерывного лазера на красителе усиливалось в трехкаскадной импульсной системе усилителей с поперечной накачкой.

На рис.1 приведена схема установки, состоящей из двух параллельных одинаковых каскадов. Задающий генератор представлял собой непрерывный одночастотный струйный лазер на красителе (конструкция подобна описанной в [6]) с традиционным трехзеркальным лазерным резонатором. В качестве селекторов использовались фильтр Лيو, поглощающая пленка и эталон Фабри–Перо. Накачка задающего генератора осуществлялась непрерывным одномодовым Ag^+ -лазером. Типичная выходная мощность излучения лазера на красителе составляла 50 мВт при использовании раствора родамина 6Г в этиленгликоле. Длина волны генерации контролирова-

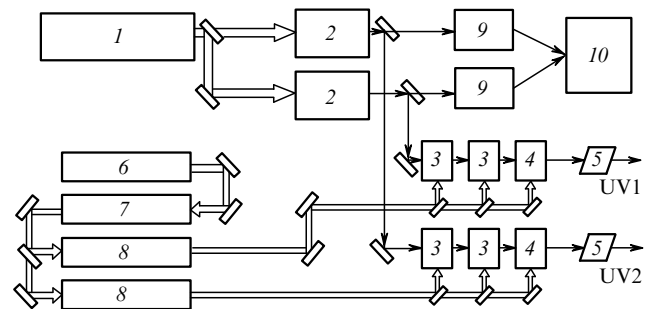


Рис.1. Схема лазерной установки:

1 – Ag^+ -лазер; 2 – непрерывные задающие генераторы на красителе; 3 – предварительные усилители; 4, 8 – оконечные усилители; 5 – удвоители частоты; 6 – задающий Cu -лазер; 7 – предусилитель; 9 – измерители длины волны; 10 – компьютер.

лась и измерялась с помощью измерителя длины волны излучения с абсолютной погрешностью измерения 300 МГц. Ширина линии излучения, измеренная по спектру биений двух одинаковых лазеров, составляла менее 5 МГц за 1 с. Долговременный уход частоты излучения после прогрева системы не превышал 50 МГц за 1 ч.

Излучение непрерывного лазера на красителе затем усиливалось трехкаскадной усилительной системой, состоящей из кювет с поперечной накачкой излучением лазера на парах меди. Лазерный комплекс на парах меди был образован задающим генератором, предварительным усилителем и двумя оконечными усилительными каскадами. Лазерное излучение с расходимостью, близкой к дифракционной, формировалось в задающем генераторе с неустойчивым резонатором. Выделение ядра излучения осуществлялось с помощью зеркального телескопа и диафрагмы, расположенной в месте перетяжки излучения в телескопе.

После прохождения излучения через предварительный усилитель усиленное излучение с помощью оптической системы заводилось в два усилительных каскада. Излучатели с водяным охлаждением (газоразрядные трубки на парах меди серии «KRISTALL», задающий генератор LT-30Cu, усилители LT-40Cu) были собраны в едином модуле. Средняя мощность задающего генера-

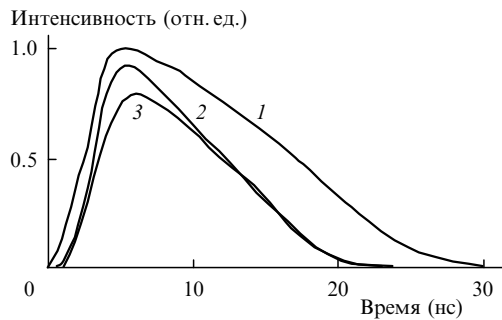


Рис.2. Осциллограммы импульсов лазера накачки (1), лазера на красителе (2) и второй гармоники (3).

тора достигала 6 Вт, что позволяло достигать выходной мощности в предварительном усилителе 55 Вт. Суммарная выходная мощность излучения комплекса лазеров на парах меди составляла 140 Вт (по 70 Вт в каждом канале) при частоте следования импульсов 12 кГц, длительности импульса генерации по полувысоте 15 нс (рис.2) и диаметре пучка 2 см.

Излучение непрерывного лазера на красителе фокусировалось линзой с фокусным расстоянием 40 см в кювету предварительного усилителя, конструкция которой описана в работе [4]. Скорость вертикальной прокачки раствора красителя через кювету составляла 12 л/мин. Расстояние между боковыми окнами кюветы было равно 0.5 мм, ее длина – 2 см. Такая же кювета использовалась во втором усилительном каскаде. В третьем усилительном (выходном) каскаде находилась кювета с расстоянием между окнами 1 мм. В качестве красителя в усилительных каскадах использовался раствор феналемина 512 в этаноле. С помощью этого красителя можно эффективно усиливать излучение в диапазоне 600–615 нм при накачке обеими линиями излучения лазера на парах меди.

В системе использовалась односторонняя поперечная накачка всех усилительных каскадов. Концентрация красителя во всех кюветах подбирались такой, чтобы 30 % мощности накачки проходило через кювету. Прошедшее излучение затем возвращалось в ячейку цилиндрическим зеркалом. При этом 90 % мощности поглощалось в растворе красителя и достигалось более однородное распределение усиления в активной зоне.

Оптический путь от задающего генератора до преусилителя составлял ~ 10 м, что обеспечивало хорошую оптическую развязку, исключая обратную связь. Средняя мощность накачки предварительного усилителя составляла 10 Вт. Меняя положение цилиндрической линзы ($f = 7.5$ см), можно было изменять коэффициент усиления непрерывного излучения. Предельный коэффициент усиления k был выбран равным 10^4 . При большем k мощность суперлюминесценции превышает мощность усиленного излучения, что резко снижает эффективность преобразования излучения выходного каскада во вторую гармонику.

Средняя выходная мощность преусилителя составляла 50 мВт и насыщалась при мощности непрерывного излучения ~ 30 мВт. На выходе из-за некруглой формы сечения активной среды формировался пучок с разными расходимостями по двум координатам. Фокусировка такого пучка в кювету следующего каскада приводит к эллипсоидальной форме излучения выходного излучения,

поэтому усиливаемое излучение фокусировалось во вторую кювету с помощью телескопа, состоящего из двух сферических линз. Между этими линзами в фокусе располагалась диафрагма малого диаметра, выполнявшая роль пространственного фильтра. Положение фокуса подбиралось таким образом, чтобы излучение не касалось стенок кюветы. В противном случае выходной пучок приобретает резко неоднородное пространственное распределение, в результате чего снижается мощность ГВГ. При этом пятно излучения по вертикали оказывалось шире пятна излучения накачки, что приводило к некоторой потере мощности усиливаемого излучения. Только при уменьшении входной мощности (примерно в 2 раза) можно было получить однородное пространственное распределение излучения.

При мощности накачки 12 Вт средняя выходная мощность второго усилительного каскада составляла 450 мВт. Средняя мощность накачки, поступающая в третий каскад, была равна 48 Вт. При этом выходная мощность излучения лазерной системы составила 12 Вт. Излучение накачки в последнем усилительном каскаде фокусировалось в кювету цилиндрической линзой ($f = 15$ см) таким образом, чтобы поперечный размер пучка был равен ширине кюветы. В этом случае было получено распределение излучения в выходном каскаде, близкое к гауссову (рис.3), и достигнута максимальная мощность второй гармоники с хорошим пространственным распределением. Благодаря тому, что краситель феналемин 512 обладает высокой радиационной стойкостью, выходные параметры лазерной системы за время непрерывной работы (более 300 ч) сохранялись неизменными при объеме красителя 4 л.

УФ излучение было получено путем удвоения излучения лазера на красителе в кристалле ВВО длиной 7 мм. Кристалл располагался на расстоянии 40 см от центра кюветы выходного каскада. После экспериментов при разных фокусных расстояниях f фокусирующих линз было найдено оптимальное $f_{\text{opt}} = 8.5$ см. При мощности накачки 12 Вт была получена вторая гармоника с мощностью 3 Вт. Существенным оказалось размещение на пути усиливаемого излучения (перед входом в оконечный каскад) поляризующей призмы Глана. Это позволило получить излучение с большей степенью поляризации, что существенно увеличивает эффективность преобразования излучения накачки во вторую гармонику.

На рис.2 приведены осциллограммы импульсов излу-

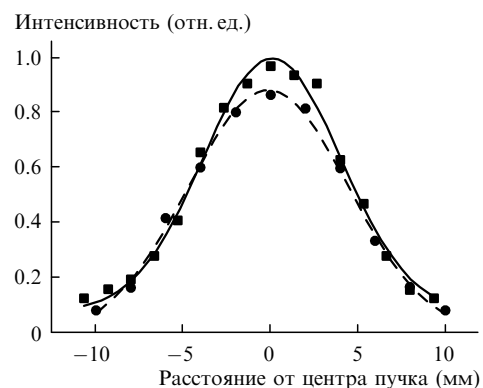


Рис.3. Пространственное распределение излучения лазера на красителе на выходе оконечного усилительного каскада (■), второй гармоники (●), а также соответствующие гауссовы распределения (кривые).

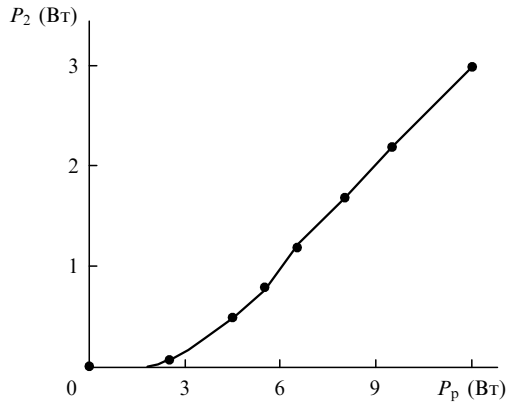


Рис.4. Зависимость средней мощности второй гармоники P_2 от мощности излучения накачки P_p .

чения накачки, лазера на красителе и второй гармоники. Видно, что длительности импульсов лазера на красителе и второй гармоники примерно одинаковы. Этот факт объясняется тем, что мы работаем на линейном участке зависимости мощности второй гармоники от мощности накачки. Рис.4 демонстрирует зависимость мощности второй гармоники от мощности лазера на красителе.

Были реализованы две одинаковые лазерные системы, которые использовались для изотопически-селективного возбуждения атомов цинка в нагреваемой ячейке. Возбуждение атомов осуществлялось в состоянии $6s^3S_1$ при поглощении двух встречных фотонов ($\lambda_1 = 307.6$ нм и $\lambda_2 = 303.6$ нм). Близость энергий этих фотонов при двухфотонном процессе обеспечивает снижение доплеровского уширения до значений менее 20 МГц. На рис.5 приведен пример записи спектра люминесценции на длине волны 1.3 мкм, возникающего в результате радиационного распада верхнего состояния. Асимметричность пиков обусловлена неравенством энергий двух встречных фотонов. Из рис.5 видно, что полуширины пиков составляют ~ 90 МГц, что соответствует полуширине спектра ~ 45 МГц каждого УФ излучения. Полуширина линии

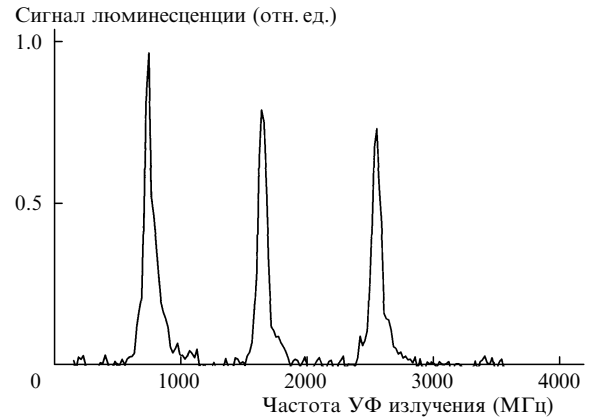


Рис.5. Спектр двухфотонного поглощения атомов цинка во встречных пучках.

лазера на красителе равна менее 25 МГц, что близко к фурье-ограниченной ширине 20 МГц.

Таким образом, реализованная узкополосная лазерная система позволяет получать перестраиваемое излучение в УФ области спектра со средней мощностью 3 Вт, частотой повторения импульсов 12 кГц и длительностью импульса 10 нс. Полученный КПД преобразования излучения накачки в перестраиваемое лазерное излучение составил 17 %, КПД преобразования последнего во вторую гармонику – 25 %. Ширина линии излучения соответствует спектрально-ограниченной ширине, обусловленной конечной длительностью импульса.

Авторы выражают благодарность за помощь в работе С.М.Кобцеву, В.И.Барауле, Ю.Я.Печерскому и Г.Г.Рахимову.

1. Greenland D.T. *Contemp. Phys.*, **31**, 405 (1990).
2. Salour M.M. *Optics Comms*, **22**, 202 (1977).
3. Wallenstein R., Zacharias H. *Optics Comms*, **32**, 429 (1980).
4. Кострица С.А., Мишин В.А. *Квантовая электроника*, **25**, 542 (1995).
5. Evans I.J., Webb C.E. *Optics Comms*, **113**, 72 (1994).
6. Бондарев Б.В., Кобцев С.М., Сорокин В.Б. *ИТЭ*, № 3, 245 (1986).