

## Управление характеристиками излучения лазера на парах меди

Ю.П.Полунин, Н.А.Юдин

*Рассмотрена возможность управления формой, длительностью и расходимостью лазера на парах меди, работающего в режиме сдвоенных импульсов возбуждения, когда первый импульс формирует генерацию в активной среде лазера, а второй осуществляет ее усиление. Показано, что изменение задержки второго импульса возбуждения относительно импульса генерации в первом импульсе возбуждения позволяет с высокой эффективностью управлять характеристиками лазерного излучения. При этом коэффициент преобразования лазерного излучения в дифракционно направленный пучок может достигать ~ 80 %.*

**Ключевые слова:** лазер на парах меди, управление излучением, расходимость излучения.

Импульсные лазеры на парах меди (ЛПМ) широко используются для накачки лазеров на красителях благодаря своим энергетическим характеристикам – высокой эффективности, а также значительной импульсной и средней мощности генерации. Недостатком ЛПМ является большая расходимость излучения, связанная в первую очередь с малой (~ 10 – 20 нс) длительностью импульса генерации, что существенно снижает эффективность накачки лазеров на красителях. Для формирования лазерного излучения с дифракционной расходимостью используются неустойчивые резонаторы [1]. Из-за высоких коэффициентов усиления, малой длительности существования инверсии и больших осевых размеров активной среды формирование дифракционно направленного пучка в таких резонаторах сопровождается большими энергетическими потерями.

К настоящему времени опубликованы десятки статей, посвященных ЛПМ с неустойчивым резонатором (см., напр., [2–5]). Однако максимальный (~ 83 %) коэффициент преобразования излучения в пучок с дифракционной расходимостью удалось реализовать в ЛПМ за счет комбинации слаботочного и сильноточного разрядов при использовании коммутатора – таситрона, работающего в режиме импульсного управления [6]. Существенное в данном случае увеличение коэффициента преобразования лазерного излучения в дифракционно направленный пучок осуществлялось при формировании импульса возбуждения ЛПМ таким образом, чтобы начальный участок импульса генерации представлял собой «полку» с минимальной амплитудой и длительностью, равной времени формирования этого пучка. Проведенные в [6] исследования показали, что подобный способ формирования излучения ЛПМ с дифракционной расхо-

димостью позволяет также существенно улучшить характеристики излучения лазера на красителях. Недостатки данного способа – ограниченные коммутационные возможности таситронов и техническая сложность реализации режима импульсного управления – значительно сужают возможности его практического использования. В настоящей работе рассмотрена возможность формирования приведенного выше режима с помощью комбинации двух независимых импульсов возбуждения.

Экспериментальная проверка способа осуществлялась в ЛПМ с газоразрядной трубкой (ГРТ) УЛ-102 (газоразрядный канал представляет собой керамическую трубку из  $Al_2O_3$  с внутренним диаметром 2 см и длиной 40 см, буферный газ – неон). Схема экспериментальной установки (рис.1) работает следующим образом. От высоковольтных выпрямителей 1 и 2 через зарядные дроссели  $L1$  и  $L2$ , диоды  $D1$  и  $D2$  и индуктивность  $L$ , подключенную параллельно ГРТ, заряжались накопительные конденсаторы  $C1$  и  $C2$ . Формирование слаботочного и сильноточного импульсов возбуждения осуществлялось коммутаторами  $K1$  и  $K2$  за счет разряда накопи-

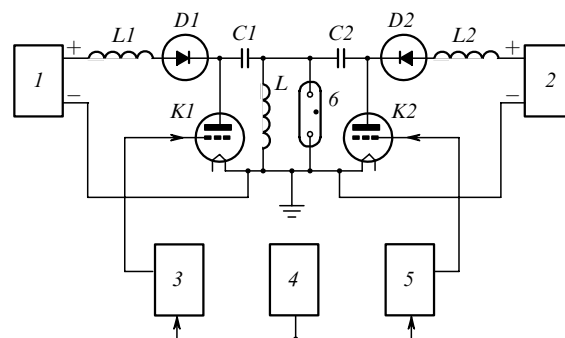


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1, 2 – высоковольтные выпрямители; 3, 5 – регулируемые линии задержки; 4 – задающий генератор; 6 – газоразрядная трубка;  $C1$ ,  $C2$  – накопительные конденсаторы;  $K1$  – тиратрон ТГИ1-270/12;  $K2$  – тиратрон ТГИ2-500/20;  $D1$ ,  $D2$  – зарядные диоды;  $L$  – шунтирующая индуктивность;  $L1$ ,  $L2$  – зарядные дроссели.

Ю.П.Полунин. Томский государственный университет, Россия, 634050 Томск, просп. Ленина, 36

Н.А.Юдин. Институт физики полупроводников СО РАН, Россия, 630090 Новосибирск, просп. акад. Лаврентьева, 13; e-mail: Yudin@isp.nsc.ru

Поступила в редакцию 28 августа 2002 г., после доработки – 12 февраля 2003 г.

тельных конденсаторов через ГРТ. Для формирования слабوتочной фазы разряда в качестве коммутатора *K1* использовался тиратрон ТГИ1-270/12. Сильноточная фаза разряда формировалась коммутатором *K2* (тиратрон ТГИ2-500/20). Запуск тиратронов осуществлялся от задающего генератора 4 через регулируемые линии задержки 3 и 5 соответственно, что позволяло плавно менять задержку импульсов возбуждения на ГРТ относительно друг друга.

На начальной стадии эксперимента задержка между импульсами возбуждения выбиралась такой, чтобы импульс возбуждения, формируемый коммутатором *K2*, находился непосредственно за слаботочным импульсом возбуждения. Параметры импульсов возбуждения определялись условием саморазогревного режима работы ГРТ УЛ-102. После выхода лазера на рабочий режим осуществлялась оптимизация параметров накачки. Напряжение на высоковольтном выпрямителе 1 выбиралось минимальным, таким, при котором появляется генерация в слаботочном импульсе возбуждения, а напряжение на втором высоковольтном выпрямителе должно было обеспечивать саморазогревный режим работы ЛПМ. Дальнейшие исследования проводились при выбранных параметрах накачки на частоте следования импульсов возбуждения 12.5 кГц.

Слаботочный импульс возбуждения формировался разрядом накопительного конденсатора *C1* (2200 пФ) при напряжении на высоковольтном выпрямителе 1–2.3 кВ и потребляемом токе ~ 190 мА, сильноточный импульс возбуждения – разрядом накопительного конденсатора *C2* (1340 пФ) при напряжении на высоковольтном выпрямителе 2–5.1 кВ и потребляемом токе ~ 210 мА. Импульс генерации в слаботочном импульсе возбуждения появлялся через ~ 70 нс от начала импульса возбуждения. При средней мощности генерации ~ 13 мВт длительность импульса генерации по полувысоте составляла ~ 45 нс, а по основанию ~ 110 нс. Генерации в сильноточном импульсе возбуждения при этом не наблюдалось. Расположение слаботочного импульса возбуждения за сильноточным привело к возникновению типичного для ЛПМ импульса генерации в сильноточном импульсе возбуждения, который появлялся через ~ 40 нс от начала импульса возбуждения. Его длительность по полувысоте составляла ~ 20 нс при средней мощности генерации ~ 3.2 Вт.

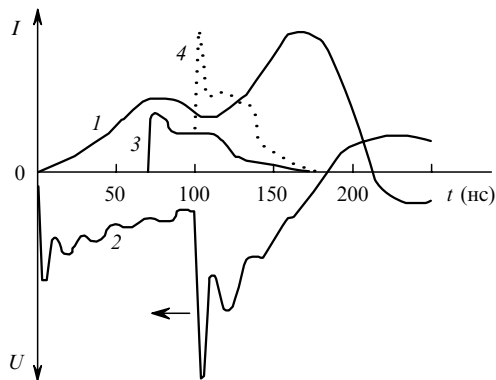


Рис.2. Оциллограммы импульсов тока (*I*), напряжения на ГРТ (*U*) и импульса генерации (3), формируемого в слаботочном импульсе возбуждения; 4 – усиленный сильноточным импульсом возбуждения импульс генерации 3.

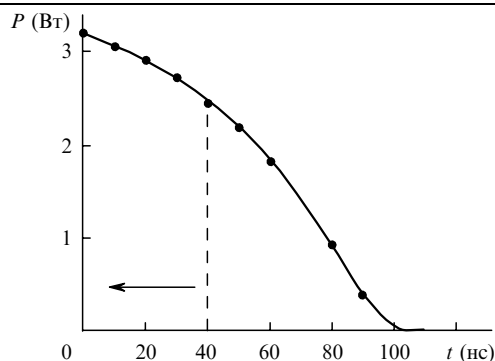


Рис.3. Зависимость средней мощности генерации от временного расположения сильноточного импульса возбуждения относительно импульса генерации в слаботочном импульсе возбуждения.

Дальнейшие исследования проводились для случая, когда сильноточный импульс возбуждения находился за слаботочным. С уменьшением задержки между импульсами возбуждения наблюдалось усиление той части импульса генерации, которая совпадала с фронтом сильноточного импульса возбуждения (рис.2). Стрелкой показано направление изменения задержки между импульсами возбуждения. Приведенные на рис.2 импульсы тока и напряжения измерялись с помощью коаксиального токового шунта и безындуктивного омического делителя, импульсы генерации – коаксиальным фотоэлементом ФК-32 и регистрировались на осциллографе С1-75. Импульс генерации 4 на рис.2, соответствующий сильноточному разряду, дан чисто качественно (не в масштабе), т. к. амплитуды приведенных импульсов 3 и 4 различаются более чем на 2 порядка. На рис.3 показано изменение средней мощности генерации ЛПМ, а на рис.4 – длительности усиленного импульса генерации по полувысоте при перемещении сильноточного импульса возбуждения по импульсу генерации в слаботочном импульсе возбуждения от «хвоста» импульса генерации к основанию (показано стрелками). Время отсчета ( $t = 0$  на оси абсцисс) соответствует началу импульса генерации в слаботочном импульсе возбуждения.

Коэффициент преобразования лазерного излучения в излучение с дифракционной расходимостью в данном режиме работы ЛПМ должен достигать ~ 80 % (штриховая линия на рис.3), поскольку согласно [6] время формирования пучка с дифракционной расходимостью составляет ~ 42 нс для неустойчивого резонатора с увеличением  $M = 30$ . Характерно, что наблюдаемое усиление

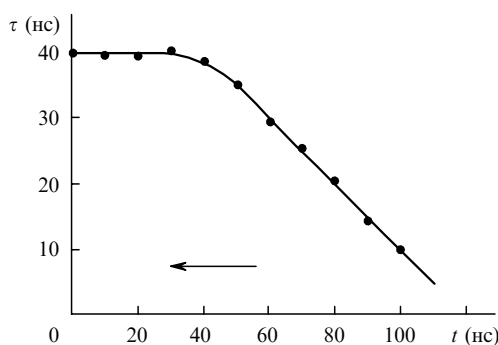


Рис.4. Зависимость длительности усиленного импульса генерации по полувысоте от временного расположения сильноточного импульса возбуждения относительно импульса генерации в слаботочном импульсе возбуждения.

генерации сильноточным импульсом возбуждения отражает радиально-временной профиль импульса генерации, формируемого слаботочным импульсом возбуждения. Так, на «хвосте» импульса генерации наблюдалось усиление в виде кольца у стенок газоразрядного канала ГРТ на длине волны 578.2 нм. При перемещении сильноточного импульса возбуждения вдоль импульса генерации от «хвоста» к основанию происходило постепенное выравнивание радиального профиля генерации на  $\lambda = 578.2$  нм в течение  $\sim 20-25$  нс; затем усиление генерации в виде кольца появлялось и на  $\lambda = 510.6$  нм с последующим выравниванием радиального профиля генерации.

Проведенные исследования подтвердили возможность осуществления режима импульсного управления [6] с помощью комбинации двух независимых импульсов возбуждения. При этом реализуются более широкие функциональные возможности управления характеристиками излучения лазеров на самоограниченных переходах, чем при управлении с помощью одного коммутатора – таситрона.

Следует отметить, что получение хорошей расходимости лазерного излучения при достаточно высоких мощности и эффективности генерации в обычном режиме возбуждения всегда затруднено вследствие большого усиления, сравнительно малой ( $\sim 10-15$  нс) длительности генерации, а также малого числа проходов по резонатору [2–5]. Это обусловлено тем, что время  $\tau_0$  формирования пучка с дифракционной расходимостью на выходе резонатора сравнимо с длительностью импульса генерации [2, 3]:

$$\tau_0 = l_0 2L/c,$$

где  $l_0 = 1 + \ln M_0 / \ln M$ ;  $M_0 = D_1^2 / 2\lambda f_1$ ;  $M = f_1 / f_2$ ;  $c$  – скорость света;  $L$  – длина резонатора;  $f_1, f_2$  – фокусные расстояния зеркал резонатора;  $D_1$  – диаметр большего из зеркал;  $\lambda$  – длина волны излучения.

Проведенные в [6] и настоящей работе исследования наглядно демонстрируют путь решения этой проблемы. В обычном режиме возбуждения [2–5] излучение на выходе резонатора представляет собой ядро с дифракционной расходимостью и фоновое излучение с большей расходимостью. Как правило, фоновое излучение превышает пороговые условия по генерации лазеров на красителе, что требует «чистки» излучения лазера с помощью диафрагм. В рассматриваемом случае фоновое излучение меньше порога по генерации, и согласно [6] оно играет положительную роль в формировании генерации лазера на красителе.

Очевидно, что данный режим формирования инверсной населенности, ввиду его практической значимости, требует более детального исследования, причем в первую очередь в условиях более высокой средней мощности генерации и эффективности ЛПМ.

1. Карлов Н.В. *Лекции по квантовой электронике* (М.: Наука, 1988).
2. Земсков К.И., Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г., Раутиан С.Г. *Квантовая электроника*, **1**, 863 (1974).
3. Исаев А.А., Казарян М.А., Петраш Г.Г., Раутиан С.Г., Шалагин А.М. *Квантовая электроника*, **4**, 1325 (1977).
4. Hargrove R.S., Grove R., Kan T. *IEEE J. Quantum Electron.*, **15**, 1228 (1979).
5. Беляев В.П., Зубов В.В., Исаев А.А., Лябин Н.А., Соболев Ю.Ф., Чурсин А.Д. *Квантовая электроника*, **12**, 74 (1985).
6. Солдатов А.Н., Суханов В.Б., Федоров В.Ф., Юдин Н.А. *Оптика атмосферы и океана*, **8**, 1626 (1995).