

А.Н. Солдатов, В.Б. Суханов, С.Ю. Мирза

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛМП В РАСТВОРАХ КРАСИТЕЛЕЙ ПРИ НИЗКИХ УРОВНЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Исследована возможность эффективного преобразования излучения лазера на парах меди в растворах красителей с целью расширения функциональных возможностей лазеров при решении медико-биологических задач.

В настоящее время наблюдается широкомасштабное внедрение лазерных устройств в различные области народного хозяйства, в том числе ведется интенсивная работа по оснащению лазерной техникой сферы практической медицины. Лазеры на растворах красителей (ЛК) с возможностью перестройки длины волны во всем видимом диапазоне, включая ближнюю УФ- и ИК-области, применяются при селективном воздействии на объект в том спектральном интервале, где наблюдается максимальный эффект воздействия. В то же время в значительной степени внедрение лазеров на красителях для решения медико-биологических задач ограничено отсутствием простых, мобильных лазерных устройств, не требующих специальных условий для их эксплуатации.

Настоящая работа стимулировалась созданием в лаборатории лазерной физики малогабаритного лазера на парах меди «Малахит», преобразование излучения которого в перестраиваемую по длинам волн генерацию растворов красителей позволило бы значительно расширить функциональные возможности базового прибора. Основным фактором, препятствующим повышению эффективности преобразования, является относительно низкий уровень интенсивности пучка лазера накачки – средняя мощность генерации менее 1 Вт. Таким образом, целью работы являлось исследование возможности эффективного преобразования излучения лазера на парах меди в растворах красителей при типичных уровнях возбуждения 0,5 Вт, частоте повторения импульсов 12–15 кГц, энергии в импульсе 30–40 мкДж.

Большинство экспериментов по преобразованию излучения лазеров на парах металлов (ЛМП) растворами красителей, ранее проведенных нами [1–3] и другими авторами [4, 5], соответствовало уровню мощности накачки 1–5 Вт и энергии в импульсе 150–500 мкДж. Одним из важнейших параметров лазера на красителе, определяющим его КПД, однородность пучка генерации и диапазон перестройки, является концентрация активной среды. На рис. 1 приведена зависимость КПД генерации от концентрации красителя [1].

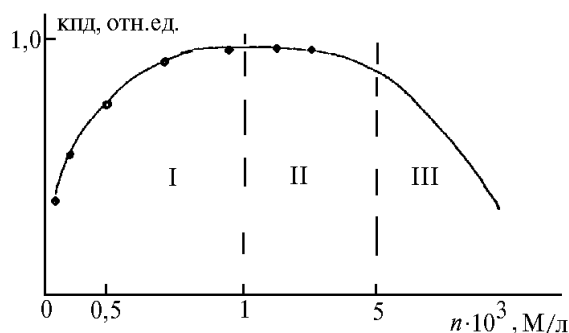


Рис. 1. Зависимость КПД преобразования лазера на красителе от концентрации активной среды (роданин 6Ж в этаноле)

Эта зависимость характеризуется быстрым ростом КПД на небольшом участке (I). Затем наблюдается насыщение КПД в большом диапазоне концентраций (II). Наконец, если продолжать увеличивать концентрацию красителя, то при значениях $n \sim 10^{-2}$ М/л наблюдается уменьшение КПД за счет потерь, связанных с димеризацией молекул красителя. Как правило, рабо-

чей считается область концентраций вблизи границы раздела I и II. При этом кпд лазера достигает практически максимального значения при достаточно высокой однородности пучка генерации, что позволяет получить узкий спектр излучения при использовании дисперсионных резонаторов. На рис. 2 приведены зависимости кпд генерации для нескольких красителей от мощности накачки, полученные нами ранее. Использовались поперечная схема накачки, неселективный резонатор лазера на красителе. Лазер на парах меди с неустойчивым резонатором ($M = 30$) работал с частотой повторения $f = 8$ кГц.

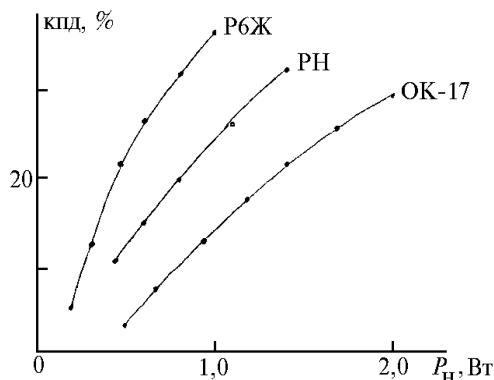


Рис. 2. Зависимость кпд преобразования от мощности накачки в растворах красителей: родамин 6Ж (Р6Ж), незамещенный родамин (РН), оксазин 17 (ОК-17) в неселективном резонаторе

Отметим, что зависимости, приведенные на рис. 2, характеризуют рост кпд при возрастании мощности накачки в пределах 5-кратного порогового значения, который в этом случае составлял 200–300 мВт.

Анализируя приведенные выше результаты, сформулируем пути повышения кпд преобразования при низких уровнях возбуждения.

Основным критерием обеспечения высокой эффективности преобразования является получение генерации при низких пороговых значениях уровня накачки (менее 100 мВт). Эта задача решается двумя путями. Во-первых, снижение порога генерации достигается за счет увеличения концентрации раствора красителя. Во-вторых, порог генерации зависит от добротности резонатора лазера на красителе. Исходя из этого, экспериментальные исследования в дальнейшем были направлены на определение рабочих концентраций раствора красителя и выбор схемы резонатора лазера.

После апробирования различных вариантов резонатора лазера на красителе мы остановились на схеме, показанной на рис. 3.

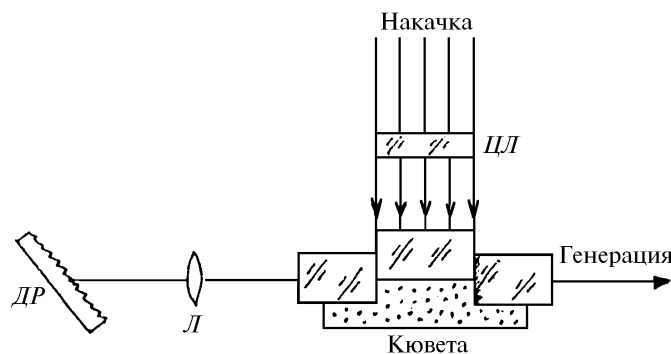


Рис. 3. Оптическая схема лазера на красителе

Лазер работал по схеме с поперечной накачкой. Пучок накачки фокусировался цилиндрической линзой ЦЛ в кювету с раствором красителя вблизи входного окна. Мы использовали сферический резонатор лазера, т.к. применение плоскопараллельного резонатора оказалось крайне неэффективным из-за больших дифракционных потерь. Действительно, поперечное сечение возбужденной зоны раствора красителя в наших условиях составляет $0,15 \times 0,15$ мм. При длине резонатора 100 мм малый поперечный размер активной зоны можно представить в виде диафрагмы, внесенной в резонатор, это приводит к большим дифракционным потерям и, как следствие, к

крайне низким КПД преобразования. Сферический резонатор, использованный в дальнейшем, включал плоскопараллельное зеркало (с коэффициентом отражения $\sim 50\%$), напыленное на внутреннюю поверхность выходного окна кюветы, сферическую линзу L и дифракционную решетку DR . Настройка резонатора осуществлялась юстировкой выходного окна кюветы и подвижкой линзы L в направлении, перпендикулярном оси резонатора. Осевая подвижка линзы L использовалась для согласования размеров активной зоны и каустики резонатора лазера. Вращением дифракционной решетки (в плоскости рисунка) производилась перестройка длины волны генерации ЛК.

Многочисленные эксперименты по подбору концентрации раствора красителя в этаноле (незамещенный родамин (НР), родамин 6Ж (Р6Ж), родамин В (РВ), оксазин 17 (ОК-17)) по максимуму КПД преобразования показали, что рабочая область концентрации находится в интервале $0,3\text{--}0,5$ г/л ($1,2\text{--}3,0 \times 10^{-3}$ М/л).

При таких концентрациях еще не наблюдается существенных потерь, связанных с концентрированным тушением генерации, и основным процессом, конкурирующим с развитием генерации, является эффект суперлюминесценции.

На рис. 4 показана зависимость мощности генерации и КПД лазера на красителе от мощности накачки для красителя Р6Ж. Концентрация красителя в этаноле не превышала 500 мг/л.

Пороговое значение накачки в данной схеме составляло ~ 50 мВт. Отметим быстрый рост КПД (кривая 2) с выходом в насыщение уже при мощности накачки 500 мВт (10-кратное превышение порога генерации).

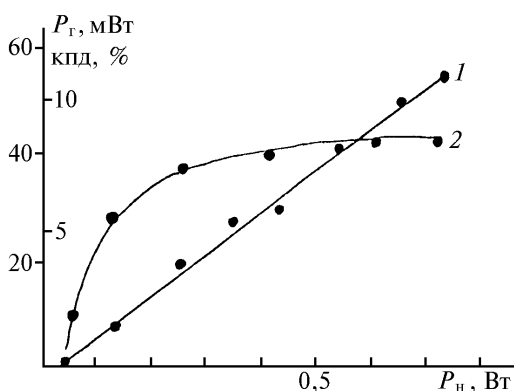


Рис. 4. Зависимости мощности генерации (1) и КПД преобразования (2) лазера на красителе от мощности накачки

Таким образом, проведенные исследования показали возможность преобразования низкоинтенсивного излучения (менее 1 Вт) лазера на парах меди с эффективностью 5–10% в растворах красителей, генерирующих в желто-красной области спектра. На основе полученных экспериментальных данных были созданы действующие образцы лазеров на красителях для медико-биологических применений: «МЛК-02» и его модификация «МЛК-03».

1. Масарновский Л.В., Солдатов А.Н., Суханов В.Б. // Квантовая электроника. 1979. Т. 6. N 7. С. 1536–1539.
2. Солдатов А.Н., Суханов В.Б. // Квантовая электроника. 1983. Т. 10. N 1. С. 157–161.
3. Мирза С.Ю., Солдатов А.Н., Суханов В.Б. // Прогноз и контроль оптико-метеорологического состояния атмосферы. Томск: ТФ СОАН СССР, СКБ НП «Оптика», 1982. С. 81–107.
4. Рубинов А.М. Лазеры на растворах красителей // Проблемы современной оптики и спектроскопии. Минск, 1980. С. 156–172.
5. Жерихин А.И., Летохов В.С., Мишин В.И. и др. // Квантовая электроника. 1981. Т. 8. N 6. С. 1340–1343.

Томский государственный университет

Поступила в редакцию
10 июня 1997 г.

A.N. Soldatov, V.B. Sukhanov, S.Yu. Mirza. **Transformation of Copper Laser Radiation in Dye Solution at Low Levels of Excitation.**

The possibility of efficient transformation of copper vapor laser radiation in dye solutions is studied to extend the lasers scope for solving the medical-biological problems.