

анализируемого вещества, а другая — находится за ее пределами и не поглощается этим веществом. Созданные лазерные источники стабильного узкополосного излучения пригодны как для абсорбционного, так и для флуоресцентного анализа. Помимо аналитических целей и проведения ряда физических и спектроскопических исследований, они могут быть использованы в качестве задающих генераторов для привязки спектра излучения более мощных импульсных лазеров, в том числе и для стабилизации излучения лазеров с дисперсионными резонаторами. Эти лазеры энергетически достаточно эффективны, надежны в работе и сравнительно просты в эксплуатации. Они не требуют подстройки и контроля длины волны генерации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анохов С. П., Марусий Т. Я., Соскин М. С. Перестраиваемые лазеры.— М.: Радио и связь, 1982.
2. Man C. N., Cerez P., Brillat A., Hartmann F. A frequency stabilized CW dye laser for spectroscopic and metrological applications.— J. Phys. Lett., 1977, vol. 38, N 14.
3. Бегеров И. М. и др. Исследование свойств излучения непрерывного лазера на красителе.— В кн.: Лазеры с перестраиваемой частотой/Под ред. В. П. Чеботаева. Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1980.
4. Войтович А. П. Фазово-поляризационные методы создания потерь, селективных по частоте в пределах контура усиления ОКГ.— ДАН БССР, 1975, т. 19, № 11.
5. Войтович А. П., Павлющук А. А., Пантелеев С. В. Фазово-поляризационные методы управления частотным спектром генерируемого излучения.— Квант. электроника, 1977, т. 4, № 1.
6. Войтович А. П., Пантелеев С. В. Селекция частот в газовых лазерах с помощью эффекта Фарадея в активной среде.— Опт. и спектр., 1977, т. 42, вып. 4.
7. Войтович А. П., Калянов В. С., Смирнов А. Я., Тепляшин Л. Л. Влияние индуцированной в активной среде линейной фазовой анизотропии на характеристики излучения газового лазера.— Журн. прикл. спектр., 1982, т. 36, вып. 5.
8. Войтович А. П. и др. Влияние двулучепреломления, индуцируемого магнитным полем, на спектр генерации полупроводникового лазера.— Квант. электроника, 1977, т. 4, № 5.
9. Endo T., Yabuzaki T., Kitano M., Sato T., Ogawa T. Frequency-locking of a CW dye laser to the center of the Sodium D lines by a Faraday filter.— IEEE J. Quant. Electron., 1977, vol. 13, N 10.
10. Endo T., Yabuzaki T., Kitano M., Sato T., Ogawa T. Frequency-locking of a CW dye laser to absorption lines of neon by a Faraday filter.— IEEE J. Quant. Electron., 1978, vol. 14, N 12.
11. Войтович А. П., Рунец Л. П., Смирнов А. Я. Сужение и привязка спектра излучения лазера на красителе к атомной линии поглощения.— Письма в ЖТФ, 1980, т. 6, вып. 22.
12. Войтович А. П. и др. Управление спектром излучения лазеров с помощью линейной фазовой анизотропии, индуцируемой в усиливающей или поглощающей среде внешним магнитным полем.— Изв. АН СССР. Сер. физ., 1982, т. 46, № 10.
13. Войтович А. П., Павлющук А. А., Шкадаревич А. П. Использование магнитооптических методов для атомного спектрального анализа.— ДАН БССР, 1977, т. 21, № 9.
14. Альтман Э. Л., Свешников Г. Б., Туркин Ю. И., Шолунов С. Е. Зеемановская атомно-абсорбционная спектроскопия (обзор).— Журн. прикл. спектр., 1982, т. 37, вып. 5.

*Поступила в редакцию 2 марта 1983 г.*

УДК 621.373

Г. Н. АЛФЕРОВ, В. И. ДОНИН, Г. Г. ТЕЛЕГИН  
(Новосибирск)

#### ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО СОЗДАНИЮ МОЩНОГО ЛАЗЕРА НА КРАСИТЕЛЕ

Лазеры на красителях являются незаменимыми источниками перестраиваемого по частоте когерентного излучения в широкой области спектра при решении целого ряда важных физических задач в лазерной спектроскопии, фотохимии, при разделении изотопов, в биофизике и т. д.

Но их применение часто ограничивается недостаточной мощностью излучения, которая зависит от вида растворителя, различных химических добавок, концентрации красителя, скорости и толщины струи и т. д. В настоящее время имеются отдельные достижения в области повышения мощности генерации лазера на красителе родамин 6Ж в водном растворе, накачиваемого аргоновым лазером [1, 2]. Однако всестороннее исследование вопросов, связанных с получением мощного непрерывного и плавно перестраиваемого по частоте когерентного излучения, все еще остается актуальной задачей. Например, использование воды в качестве растворителя устраняет трудности возникновения неоднородностей показателя преломления в струе красителя при больших мощностях накачки, однако при этом неизбежно возникает необходимость добавления в раствор различных химических веществ для повышения его вязкости, улучшения растворимости, предотвращения димеризации и тушения триплетных состояний красителя. Некоторые из этих веществ сокращают срок службы красителей, легко испаряются (например, гексафторизопропанол), не всегда доступны.

В работе [3] проводились исследования лазера на красителе родамин 6Ж в этиленгликоле с использованием лазерной приставки фирмы «Coherent Radiation» (модель 290), в которой была достигнута мощность генерации  $P_{\text{г}} = 6$  Вт при мощности накачки  $P_{\text{н}} = 27$  Вт. Сравнимая мощность генерации  $P_{\text{г}} = 8$  Вт при  $P_{\text{н}} = 29$  Вт была получена нами с помощью лазерной приставки фирмы «Spectra Physics» (модель 375)\*. Для накачки использовался мощный аргоновый лазер, работающий на нескольких сине-зеленых линиях при уменьшенной расходимости излучения, обеспечиваемой применением резонатора с увеличенной эффективной длиной [4]. В этих экспериментах, как и в случае [3], наблюдался близкий к линейному рост мощности лазера на красителе с увеличением мощности лазера накачки, и вопрос о проявлении каких-либо эффектов насыщения мощности генерации в растворе красителя в этиленгликоле остался открытым. Для создания мощного и удобного в практическом применении лазера представляет интерес исследование при повышенных мощностях накачки лазера на родамине 6Ж как с этиленгликолем, так и с водным растворителем. Ниже приводятся результаты экспериментов, проведенных в этом направлении.

Экспериментальная установка представляла собой лазер на красителе родамин 6Ж со свободно истекающей струей, накачиваемой мощным аргоновым лазером [4]. Луч накачки с эффективным диаметром 10 мм предварительно фокусировался линзой с  $f = 50$  см для уменьшения диаметра пучка, а затем с помощью вогнутого зеркала с радиусом кривизны  $R = 5$  см направлялся на струю красителя. Изогнутый резонатор лазера с компенсацией астигматизма [5] был образован выходным плоским зеркалом и двумя плотными зеркалами с  $R = 7,5$  см. В качестве растворителей использовались этиленгликоль или дистиллированная вода. Раствор прокачивался через плоские сопла с толщиной струи  $h = 0,2$  и  $0,5$  мм, обычно применяемой соответственно в лазерах на красителе в этиленгликоле с умеренной выходной мощностью ( $\sim 1$  Вт) и в лазерах повышенной мощности с водным раствором красителя [1, 2].

Для получения эффективной генерации оптическая однородность струи должна быть достаточно высокой, поэтому требуется особая тщательность при изготовлении сопла. Качество сопла проверялось по отсутствию искажения пространственной структуры мод пучка генерации гелий-неонового лазера после прохождения через струю. Эксперименты показали, что для каждого растворителя при постоянной толщине сопла существует определенный интервал скоростей потока, при котором оптическая однородность струи сохраняется. Так, при толщине сопла 0,2 мм для воды этот интервал находится в пределах от 3 до 7 м/с, а для

\* Эта работа проводилась нами при участии представителя фирмы «Spectra Physics».

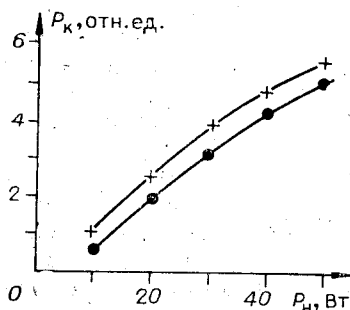


Рис. 1. Мощность генерации лазера на красителе  $P_k$  в зависимости от мощности лазера накачки  $P_n$  при разных толщинах струи 0,5 (точки), 0,2 мм (крестики).

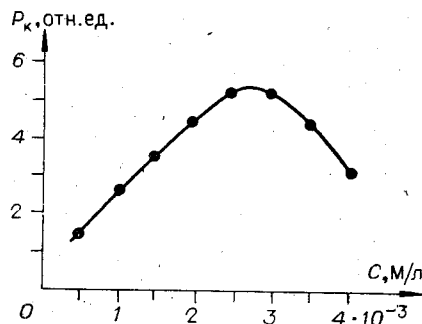
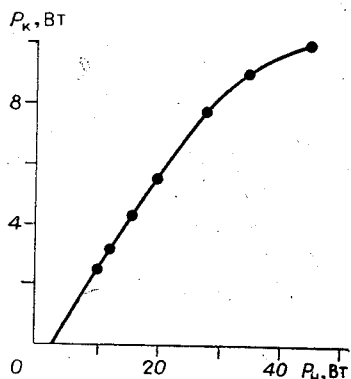


Рис. 2. Зависимость мощности генерации от концентрации красителя ( $C$ ): скорость потока 5 м/с, толщина струи 0,2 мм, мощность лазера накачки 15 Вт.

этиленгликоля — от 1 до 9 м/с; при толщине сопла 0,5 мм интервал для воды — от 4 до 9 м/с, а для этиленгликоля — от 2 до 10 м/с. Не исключено, что некоторое увеличение интервала скоростей при больших толщинах струи связано с качеством изготовления сопел. На рис. 1 показана мощность генерации лазера с раствором красителя в этиленгликоле при различных толщинах струи в зависимости от мощности накачки. Концентрация красителя  $5 \cdot 10^{-4}$  М/л и скорость потока 5 м/с в обоих случаях были одинаковы. Видно, что при использовании струи толщиной 0,2 мм мощность генерации несколько выше, чем при  $h=0,5$  мм. По-видимому, это объясняется тем, что астигматизм резонатора был скомпенсирован при толщине струи 0,2 мм. Используемая экспериментальная установка не позволяла непрерывно менять угол изгиба резонатора с целью компенсации астигматизма при изменении толщины струи раствора и тем самым сохранять идентичность условий. Из общих соображений ясно, что при оптимальной концентрации красителя для получения наибольшего КПД необходимо использовать толщину струи, соизмеримую с характерной длиной поглощения мощности накачки.

Оптимальная концентрация красителя в растворе подбиралась опытным путем. Характерный вид кривой зависимости мощности генерации от концентрации родамина 6Ж в этиленгликоле показан на рис. 2. Видно, что оптимальное значение концентрации в нашем случае находится в используемых обычно пределах  $(2,5-3) \cdot 10^{-3}$  М/л. Сопоставление таких кривых для красителей родамин 6Ж, изготовленных для целей квантовой электроники в НИОПиК и фирме «Lambda Physics», показало, что их генерационные характеристики в пределах ошибок измерений совпадают. Типичная зависимость мощности генерации лазера от мощности накачки в оптимизированном режиме (концентрация красителя  $2,5 \cdot 10^{-3}$  М/л, толщина сопла 0,2 мм, скорость потока струи  $\geq 5$  м/с, коэффициент пропускания выходного зеркала 4,5%) представлена на рис. 3. Из рисунка видно, что с повышением мощности накачки наблюдается некоторое замедление роста мощности генерации красителя.



Как известно (см., например, [1, 2]), это явление объясняется возникновением градиентов показателя преломления раствора вследствие его нагревания при больших мощностях накачки. Однако даже в условиях перехода к насыщению на рис. 3 КПД установки составляет не менее 20%.

Полученные результаты показывают, что для достижения мощности генерации на

Рис. 3. Зависимость  $P_k$  от  $P_n$  в оптимальных условиях при скорости потока 5 м/с.

уровне  $\geq 10$  Вт в лазере на родамине 6Ж при накачке аргоновым лазером в качестве растворителя можно использовать чистый этиленгликоль. Однако для дальнейшего эффективного увеличения выходной мощности лазера, построенного по обычной схеме [5], необходимы водные растворы. Чтобы выяснить, насколько важно при этом применение различных химических добавок, мы провели на нашей установке измерения с раствором родамина 6Ж в дистиллированной воде, в которую был добавлен только поливиниловый спирт для сохранения однородности струи. Концентрации красителя и поливинилового спирта, а также скорость потока были такие же, как и в работе [1]. В результате уже для получения мощности генерации 1 Вт потребовалось увеличить мощность накачки до 20 Вт и уменьшить коэффициент пропускания выходного зеркала до 2%. Эти цифры показывают, что без введения специальных химических добавок невозможно повышение эффективности генерации красителя при использовании воды в качестве растворителя.

В заключение авторы выражают благодарность Б. Н. Ляху за помощь в проведении экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Anliker P. et al. 33-W CW dye laser.— IEEE J. Quant. Electron., 1977, vol. QE-13, p. 547.
2. Baving H. J., Muuss H., Skolaut W. CW dye laser operation at 200 W pump power.— Appl. Phys., 1982, vol. B29, p. 19.
3. Бегеров И. М. и др. Исследование мощного  $Ag^+$ -лазера для накачки непрерывного лазера на красителе.— Квант. электроника, 1976, т. 3, с. 1359.
4. Алферов Г. Н., Григорьев В. А., Донин В. И. Селекция излучения в мощных аргоновых лазерах.— Квант. электроника, 1978, т. 5, с. 29.
5. Kogelnik H. W., Ippen E. P., Dienes A., Shank C. V. Astigmatically compensated cavities for CW dye lasers.— IEEE J. Quant. Electron., 1972, vol. QE-8, p. 373.

*Поступила в редакцию 11 мая 1983 г.;  
окончательный вариант — 23 августа 1983 г.*