

Б. В. БОНДАРЕВ, С. Н. СЕЛЕЗНЕВ, В. А. СОРОКИН
(Новосибирск)

СЕЛЕКЦИЯ И ПЕРЕСТРОЙКА ЧАСТОТЫ В АРГОНОВОМ ЛАЗЕРЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАЙКЕЛЬСОНА

Одночастотные аргоновые лазеры необходимы для многих научных и прикладных исследований. Получение одночастотного режима генерации (ОРГ) в аргоновом лазере с узкой разрядной трубкой (ТЕМ₀₀-мода) обычно разбивается на два этапа. Сначала с помощью узкоселективных зеркал либо перестраиваемого предселектора (например, призмы) выделяется требуемая линия излучения аргона, затем «тонким» селектором спектр сужается до ОРГ. Наиболее распространенный способ получения ОРГ в аргоновом лазере — использование внутриврезонаторного наклонного эталона Фабри — Перо [1]. Однако изготовить хороший эталон, дающий высокий коэффициент преобразования (~50%), довольно трудно. Поэтому перспективным направлением в получении ОРГ является применение многозеркальных резонаторов с открытым концом типа интерферометра Фокса — Смита (ИФС) [2—4] или Майкельсона (ИМ) [5]. Резонатор типа ИФС из-за маленького селектирующего промежутка [3, 6] также сравнительно сложен в изготовлении.

Нами разработаны и испытаны два типа селективных резонаторов вида ИМ, отличительная особенность которых заключается в том, что выделение необходимой линии излучения аргонового лазера производится самими элементами ИМ без дополнительных предселекторов.

В исследованиях использовался активный элемент от лазера ЛГ-69 с длиной разрядного канала 55 см и внутренним диаметром 2,5 мм. При токе 30 А, выходном зеркале с пропусканием $T=7\%$ и радиусом кривизны $r=5$ м (плотное зеркало $r=\infty$, $T=0,2\%$) суммарная выходная мощность в осевом типе колебаний ТЕМ₀₀ составляла 3,5 Вт.

1. Первый вариант предлагаемого резонатора представлен на рис. 1. Плотное зеркало обычного двухзеркального резонатора заменялось комбинацией зеркал M_2 , M_3 , M_4 . Зеркала M_2 , M_3 плоские, плотные ($T=0,2\%$), M_4 — делительное, плоское, с пропусканием $T=50\%$. Такой четырехзеркальный резонатор представляет собой интерферометр Майкельсона с активной средой в общем плече.

Чтобы сузить спектр генерации аргонового лазера до одной линии и обеспечить возможность перестройки по линиям, подложка зеркала M_4 изготавливалась из кристаллического кварца с оптической осью, лежащей в плоскости подложки. Таким образом, в одном из плеч ИМ (M_1 , M_4 , M_3) образован поляризационный дискриминатор частот типа фильтра Лию, состоящий из кварцевой пластинки и окон разрядной трубки O_1 , O_2 , установленных под углом Брюстера. Пропускание такого фильтра описывается периодической функцией со значением аргумента $\Phi(\nu)$ [7]. Разность набега фаз «обыкновенной» и «необыкновенной» волн в пластинке — Φ — может быть записана в виде

$$\Phi(\nu) = \pi (n_e - n_o) l \nu \frac{\sin^2 \Omega}{\sin \Theta}, \quad (1)$$

где l — толщина пластинки; Ω — угол между световым лучом в пластинке и ее оптической осью; Θ — угол падения луча на пластинку, в данном случае угол Брюстера. Была использована пластинка с $l=1,14$ мм. Для фильтра, состоящего из такой двулучепреломляющей пластинки и двух пластинок из плавленого кварца, расположенных под углом Брюстера (окна разрядной трубки), расчет дает следующие оценки соответственно для ширины пика пропускания и области свободной

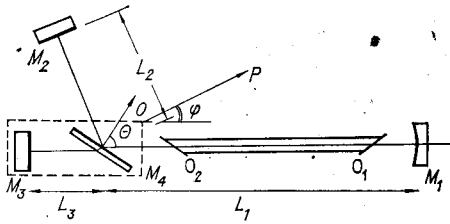


Рис. 1. Оптическая схема селективного резонатора с делительным зеркалом M_4 , напыленным на подложку из кристаллического кварца

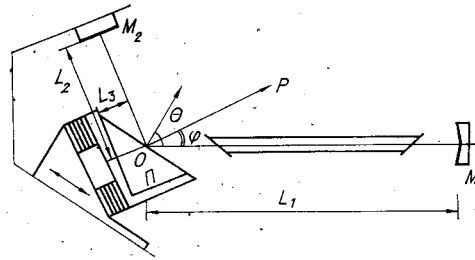


Рис. 2. Оптическая схема селективного резонатора с делительным зеркалом, напыленным на входную грань призмы Литрова

дисперсии фильтра: $\delta\nu_\phi = 0,15$ нм и $\Delta\nu_\phi = 27$ нм. Как показали эксперименты, указанные параметры фильтра вполне достаточны для выделения наиболее интенсивных линий в диапазоне от 514,5 до 488,0 нм.

Сужение спектра до ОРГ достигается применением резонатора типа ИМ. Селективные свойства резонатора можно описать, введя эффективный коэффициент отражения $\bar{R}(\nu)$ зеркала, эквивалентного системе зеркал M_2, M_3, M_4 , зависимость которого от частоты дается известным для двухлучевой интерференции выражением:

$$\bar{R}(\nu) = 1 - 4R_4T_4 \sin^2[\pi(\nu - \nu_{pk})/\Delta\nu_p], \quad (2)$$

где R_4, T_4 — отражение и пропускание зеркала M_4 ; ν_{pk} — частоты высокочастотных мод сложного резонатора ($M_1 - M_4$); $\Delta\nu_p = c/2(L_2 - L_3)$ — свободный спектральный интервал интерферометра Майкельсона. Из (2) видно, что селекция мод максимальна в случае $R_4 = T_4 = 0,5$, при этом полоса пропускания резонатора по уровню 0,5 составляет $0,5\Delta\nu_p$.

Настройка на ОРГ производилась подбором длины плеч ИМ (смещением зеркала M_2). Наиболее устойчивый ОРГ наблюдался при $L_2 - L_3 = 5$ см, что соответствует $\Delta\nu_p = 3$ ГГц. Спектральный состав излучения контролировался конфокальным сканируемым эталоном Фабри — Перо.

Для определения коэффициента преобразования мощности из многомодового режима в одномодовый в резонатор устанавливали ненапыленную кварцевую пластинку и при токе 30 А получили многомодовую мощность 1,2 и 1,5 Вт для линий 514,5 и 488,0 нм. При этом в ОРГ для тех же линий достигнута выходная мощность 600 и 800 мВт соответственно, т. е. коэффициент преобразования равен $\sim 50\%$.

2. Во втором варианте резонатора вместо зеркал M_3 и M_4 (см. рис. 1) встраивалась призма Литрова (рис. 2) с напыленной входной гранью (коэффициент отражения $R = 50\%$). Тогда селектором по длинам волн (предселектором) становится плечо резонатора, включающее призму (M_1, Π). Селектором мод, как и в первом случае, является интерферометр Майкельсона с разностью плеч $L_2 - nL_3$, где n — показатель преломления материала призмы; L_3 — путь луча в призме. Аналогичный резонатор применялся авторами работы [8] для получения ОРГ в лазере на красителе. Точная настройка такого резонатора на ОРГ осуществляется перемещением призмы вдоль ее входной грани (в плоскости рис. 2), что приводит к изменению селектирующего промежуточного интерферометра $L_2 - nL_3$, т. е. подбирается ширина пика пропускания и свободный спектральный интервал ИМ. Коэффициент преобразования мощности из многочастотного в ОРГ, полученный нами с таким резонатором, также равен $\sim 50\%$.

3. Перестройка первого из описанных резонаторов по линиям излучения аргона осуществляется поворотом двулучепреломляющей пластинки в собственной плоскости, при этом изменяется угол Ω (1). Второй резонатор перестраивается по линиям изменением угла наклона призмы к оси общего плеча интерферометра Майкельсона. В данном

случае зеркало M_2 должно наклоняться вместе с призмой, для чего они укрепляются на общем основании.

Для плавной перестройки частоты резонатора (без «перескока» мод) с интерферометром Майкельсона в качестве селектора необходимо синхронно изменять плечи интерферометра, сохраняя их отношение, т. е. выполняя соотношения для первого и второго резонаторов [6]:

$$(L_1 + L_2)/(L_1 + L_3) = \text{const}, \quad (3.1)$$

$$(L_1 + L_2)/(L_1 + nL_3) = \text{const}. \quad (3.2)$$

Для проведения такой перестройки в резонаторе с двулучепреломляющей пластинкой применяется способ, в котором синхронно смещают зеркала M_2 и M_3 с помощью двух управляемых пьезоэлементов. Этот способ не всегда удобен, так как требует дополнительной системы автоподстройки частоты. Предлагаемый нами способ заключается в следующем. Зеркало M_3 и светоделительная двулучепреломляющая пластинка M_4 укрепляются на общем основании (на рис. 1 они обведены штриховой линией). Для плавной перестройки частоты блок зеркал M_3 и M_4 перемещается в направлении OP (см. рис. 1). Угол φ между направлением перемещения и осью общего плеча интерферометра должен удовлетворять соотношению

$$\text{tg } \varphi = \frac{k(1 + \text{tg}^2 \Theta) - 2}{2 \text{tg } \Theta}, \quad (4)$$

где Θ — угол падения луча на пластинку; k — отношение длин плеч ИМ. Для плавной перестройки частоты второго резонатора призму следует перемещать в направлении OP (см. рис. 2), определяемом из условия (4).

При экспериментальной проверке предложенного способа перестройки частоты лазера с призмённым вариантом селектора возникла проблема установки требуемого угла перемещения призмы φ , который в нашем случае был равен $22,5^\circ$. Во-первых, довольно трудно точно измерить длины парциальных резонаторов, чтобы вычислить k [4]. Поэтому для более точного подбора угла перемещения потребовалась дополнительная юстировка призмы относительно пьезоэлемента. Во-вторых, в процессе экспериментов выяснилось, что применяемая нами пьезокерамика ПП-1 удлиняется неортогонально собственной базовой плоскости. Вследствие этого в процессе перестройки появляется неконтролируемое отклонение перемещения призмы от расчетного направления OP . Для устранения указанного недостатка требуется предварительный отбор пьезокерамики или применение пьезоэлемента с конструктивно заданным направлением перемещения (например, КП-1). Мы не имели возможности подбора пьезокерамики, поэтому для достижения плавной перестройки частоты установили зеркало M_2 на дополнительную пьезокерамику. Управляющие сигналы на обе керамики формировались так, чтобы выполнялось условие (3.2). Таким образом, была получена плавная перестройка частоты лазера во всем диапазоне генерации линии 514,5 нм, т. е. ~ 5 ГГц.

4. В заключение следует отметить, что предлагаемые селекторы отличаются сравнительная простота и легкость реализации (по сравнению с эталоном Фабри — Перо или ИФС). Так, во втором селекторе использовалась призма Литтрова от серийного лазера ЛГН-504, на входную грань которой наносилось дополнительное покрытие. Изготовление двулучепреломляющей пластинки также не представляет сложности, тем более что ее толщина может выбираться в довольно широких пределах. В селекторах не содержится «лишних» элементов, вносящих в резонатор неселективные потери, что обуславливает довольно высокий коэффициент преобразования мощности в ОРГ, равный 50% (предельно возможный коэффициент преобразования для аргонового лазера составляет $\sim 70\%$ [9]). Селективный резонатор с кварцевой пластинкой перспективен для Ag^+ -лазеров повышенной мощности, поскольку он имеет ми-

нимальные потери на поглощение по сравнению с другими типами селекторов. Разработанный и проверенный нами способ плавной перестройки частоты резонаторов типа ИМ существенно упрощает систему стабилизации частоты, так как при соответствующем подборе направления перемещения блока зеркал требуется управлять только одним пьезоэлементом. Кроме того, резонатор такого типа может служить устройством для отбора пьезоэлементов или других трансляторов по признаку плавной перестройки частоты лазера в нужном диапазоне.

Авторы выражают признательность Э. Г. Сапрыкину за обсуждение и критические замечания, а также благодарят В. М. Лунина за помощь в проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hercher M. Tunable single-mode operation of gas lasers, using intracavity tilted etalons // Appl. Opt.— 1969.— V. 8, N 8.— P. 1103.
2. Smith P. W. Stabilized, single-frequency output from a long laser cavity // IEEE J.— 1965.— V. QE-1, N 11.— P. 343.
3. Belyaev V. P., Burmakin V. D. e. a. High power single-frequency argon ion laser // IEEE J.— 1969.— V. QE-5, N 12.— P. 589.
4. Maischberger K. Long-term frequency stabilization of a composite-cavity argon laser // IEEE J.— 1971.— June.— P. 250.
5. Di Domenico M. Characteristics of single-frequency Michelson type He — Ne gas laser // IEEE J.— 1966.— V. QE-2, N 8.— P. 311.
6. Анохов С. П., Марусий Т. Я., Соскин М. С. Перестраиваемые лазеры.— М.: Радио и связь, 1982.
7. Hodkinson I. J., Vukusic J. I. Birefringent filter for tuning flashlamp-pumped dye lasers: simplified theory and design // Appl. Opt.— 1978.— V. 17, N 8.— P. 1944.
8. Liberman S., Pinard J. Single-mode CW dye laser with large frequency range tunability // Appl. Phys. Lett.— 1974.— V. 24, N 3.— P. 142.
9. Swith P. W. e. a. High-power single-frequency lasers using thin metal film mode-selection filters // Bell Syst. Techn. J.— 1969.— V. 48.— P. 1405.

Поступила в редакцию 3 сентября 1985 г.

УДК 621.373.826

И. И. СУХАНОВ, Ю. В. ТРОЙЦКИЙ, С. В. ЯКУШКИН

(Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ He — Ne-ЛАЗЕРА, ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ПУЧОК С КОЛЬЦЕОБРАЗНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ИНТЕНСИВНОСТИ

В ряде применений лазеров оптимальными могут оказаться гауссовы пучки не низшего, а более высоких порядков или их комбинации. Среди них простейшим является кольцеобразный пучок с распределением интенсивности $I(r) \sim r^2 \cdot \exp(-2r^2)$, где r — относительное расстояние от оси. Такой пучок представляет суперпозицию эрмит-гауссовых мод TEM_{01} и TEM_{10} . Распределения интенсивности любой чистой гауссовой моды подобны во всех поперечных сечениях, в том числе и в дальней зоне. Это же относится и к рассматриваемой суперпозиции, так как ее компоненты имеют одинаковые фазовые набеги вдоль оси.

Можно перечислить несколько возможных применений кольцевого пучка. Имеются данные, что он более устойчив к термической дефокусировке в атмосфере [1, 2]. Ось кольцевого пучка фиксируется точнее, чем в обычном гауссовом пучке, что представляет интерес для приборов типа лазерного направляющего устройства или визира. В оптических генераторах и усилителях, где инверсия создается на периферии активного элемента, применение кольцеобразного пучка может повысить энергетический КПД. Некоторые преимущества возникают в сканирующих системах [3], а также в технологических лазерах.