

СЕЛЕКТИВНАЯ ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ ДЛЯ ШИРОКОПОЛОСНЫХ ЛАЗЕРОВ

В. С. Летохов

Лазеры с широкими линиями усиления, например, на красителях и полупроводниках, потенциально обладают возможностью перестройки частоты и генерации узкого спектра, но частоту генерации трудно "привязать" к какой-либо частоте, обладающей стабильностью обычного газового лазера*). В настоящем сообщении предлагается метод сужения и стабилизации спектра широкополосных лазеров, основанный на использовании для обратной связи явления зеркального селективного отражения парами металлов на резонансных линиях поглощения. Важнейшей особенностью метода является возможность генерации на частотах резонансных линий, что открывает большие перспективы в экспериментах по оптической накачке.

2. Как известно, при увеличении давления паров резонансное поглощение возрастает настолько, что глубина проникновения излучения становится гораздо меньше длины волны падающего излучения. Для этого необходимо выполнение двух условий: коэффициент поглощения \mathfrak{K}_0 может быть гораздо больше волнового вектора излучения k , и длина свободного пробега возбужденного атома по отношению к процессу резонансной передачи возбуждения l должна быть гораздо

*) Недавно был предложен метод сужения спектра лазера на красителе, основанный на резонансном фарадеевском вращении газовой ячейки в магнитном поле¹.

меньше длины волны излучения λ . В этом случае от плоской границы газовой среды происходит зеркальное отражение излучения на резонансной частоте, по своим свойствам аналогичное металлическому отражению. Однако имеется существенное различие, заключающееся в чрезвычайно высокой селективности отражения, имеющего место только в области резонансной линии. Это явление было открыто и подробно исследовано Р. Вудом на резонансной линии ртути $\lambda = 2537 \text{ \AA}^2$.

Аналогичный эффект может быть получен и на других линиях паров металла, коэффициент поглощения которых $\alpha_0 \gg k$ и $l \ll \lambda$ при разумном давлении паров.

Заменяя одно из зеркал резонатора ячейкой, наполненной парами при соответствующем давлении, можно создать резонатор, обладающий высокой селективностью отражения на вполне определенных стабильных частотах. С помощью такого резонатора и усиливающих сред на красителях или полупроводниках можно получать генерацию на многих частотах резонансных линий в оптическом диапазоне. Ниже в таблице приведены значения длин волн резонансных линий ряда атомов, коэффициент поглощения для них при давлении 1 тор и давление паров, при котором $\alpha_0 = 10$ к. При требуемых давлениях длина свободного пробега возбужденного атома по отношению к резонансной передаче возбуж-

Таблица 1

Элемент	$\lambda, \text{ \AA}$	$\alpha_0,$ $\text{см}^{-1} \text{ тор}^{-1}$	$P,$ тор	$I_s,$ вт/см^2
Li	6708	$1,4 \cdot 10^5$	7	4,2
Na	5890(5896)	$2,5 (1,25) \cdot 10^5$	4(8)	3,6
K	7665(7699)	$4,8 (2,4) \cdot 10^5$	1,7(3,5)	0,8
Rb	7800(7948)	$8 (4) \cdot 10^5$	1(2)	0,44
Cs	8521(8944)	$1 (0,5) \cdot 10^6$	0,75(1,5)	0,24
Tl	3776	$8,5 \cdot 10^4$	20	12
Hg	2537	$1,7 \cdot 10^4$	145	14

дения $l \ll \lambda$. В этом нетрудно убедиться, воспользовавшись выражением для вероятности такого процесса для резонансных линий щелочных металлов $\gamma \approx 10^{-6}N$ (N - плотность атомов), приведенным в³.

Селективное отражение может быть получено и на многих других более коротковолновых линиях Na, K, Rb, Cs и др., соответствующих переходам в более высокие возбужденные состояния.

3. Газовое селективное зеркало является нелинейным элементом. При мощности $I_s = \hbar\omega/\sigma_0\tau$ (σ_0 - сечение радиационного перехода, τ - время жизни возбужденного уровня) происходит уравнение заселенности уровней в слое глубиной l/α_0 . Значения мощности насыщения приведены в последнем столбце таблицы. При $I \gg I_s$ просветление происходит на глубине $l \approx \alpha_0 I/I_s$ и возможны следующие эффекты.

Во-первых, при неоднородном распределении интенсивности генерируемого луча по сечению насыщение также будет неоднородно по сечению. При колоколообразном поперечном распределении интенсивности в газовом зеркале возникает углубление, соответствующее вогнутому зеркалу с радиусом кривизны $R \approx a^2 \alpha_0 I_s / I$ (a - радиус луча). Очевидно, что при $R < 2L$ (L - длина резонатора) добротность резонатора будет резко падать и произойдет ограничение мощности на уровне $I_{\max} = I_s a^2 \alpha_0 / L$. При типичных значениях параметров ($a \approx 0,3$ см, $L = 50$ см, $\alpha_0 = 5 \cdot 10^5$ см⁻¹, $I_s \approx 1$ Вт/см²) величина $I_{\max} \approx 10^3$ Вт/см². При использовании сложного резонатора, когда селективное зеркало помещено за плотным зеркалом, величина I_{\max} может быть увеличена на порядок. В принципе газовое селективное зеркало может быть зеркалом с управляемой кривизной.

Во-вторых, при заселении генерируемым излучением возбужденного уровня возникает интенсивное поглощение и селективное зеркальное отражение на переходах, начинающихся с возбужденного уровня. Например, при насыщении линии Cs 8521 Å ($6^2S_{1/2} \rightarrow 6^2P_{3/2}$)

возникает селективное отражение на частоте 7944 \AA ($6^2P_{3/2} \rightarrow 8^2S_{1/2}$) и аналогично для других атомов. Помещая в этот или другой резонатор дополнительную усиливающую среду, можно получить генерацию на всех таких частотах. В принципе, каскадно можно заселить высоковозбужденный уровень и получить генерацию в газовой среде зеркала на более высоких частотах, чем частоты накачки.

4. Следует отметить, что в предложенном типе лазеров можно достигнуть хорошей стабильности частоты и селекции мод, помещая внутри резонатора с селективным зеркалом дополнительную газовую поглощающую ячейку с теми же парами, но при низком давлении. Из-за преимущественного насыщения поглощения стоячей волной в центре доплеровской линии будет достигаться высокая степень селекции в спектральной области с шириной гораздо меньше доплеровской ширины.

В заключение автор выражает глубокую благодарность Н. Г. Басову за поддержку и обсуждение настоящей работы.

Поступила в редакцию
31 июля 1970 г.

Л и т е р а т у р а

1. P. P. Sorokin, J. R. Lankard, V. L. Moruzzi, A. Lurio. *Appl. Phys. Lett.*, 15, 179 (1969).
2. Р. Вуд. Оптика.
3. И. И. Собельман. Введение в теорию атомных спектров. ГИФМЛ, М, 1963 г.