

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ В АРГОНОВОМ ИОННОМ ЛАЗЕРЕ С НЕЛИНЕЙНЫМ ПОГЛОТИТЕЛЕМ

М. С. Борисова

Исследованы различные режимы генерации аргонового ионного лазера с нелинейным поглотителем, излучающего в области 4880 \AA . Вариация режимов осуществлялась изменением токов разряда усилителя и поглотителя. Показано, что в аргоновом лазере реализуются режимы как полной, так и частичной самосинхронизации мод.

Аргоновый ионный лазер, обладающий широкой зоной генерации (до $5 \div 6$ гГц) и сравнительно высоким усилением, достигающим $2 \div 2,5 \text{ м}^{-1}$, может служить удобной моделью для исследования многомодовых режимов генерации. Однако в этом лазере из-за сильной межмодовой конкуренции спектр выходного излучения, как правило, мало устойчив и сильно флуктуирует. В частности, явление самосинхронизации мод удается наблюдать лишь в отдельных весьма ограниченных областях изменения параметров [1-3].

Картина меняется при введении в резонатор лазера нелинейного поглотителя [4]; в этом случае значительно расширяются области существования режимов самосинхронизации и повышается их устойчивость. Ниже приводятся результаты экспериментального исследования различных режимов генерации аргонового ионного лазера с нелинейным поглотителем, работающего в области 4880 \AA . В качестве нелинейного поглотителя использовался сильноточный разряд в аргоне при повышенном давлении [4, 5].

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Усиливающая кювета K_1 имела внутренний диаметр 2 мм и длину 35 см. Соответствующие размеры поглощающей кюветы K_2 были 1.3 мм и 10 см. Конфигурация резонатора, образованного зеркалами Z_1, Z_2, Z_3 (межмодовый интервал $c/L = 130$ МГц), обеспечивала достаточно малые ($\sim 8\%$) дифракционные потери, благодаря тому что перетяжка гауссового светового пучка попадала в капилляр поглощающей кюветы. Из-за селективности зеркал генерация осуществлялась лишь на одном переходе $4p^2D_{1/2}^0 \rightarrow 4s^2P_{3/2}$ с длиной волны 4880 \AA . Фарадеевский невзаимный элемент (НЭ) позволял раздвигать частоты встречных волн на ± 30 кГц.

Фотоэлектронный умножитель Φ_3 , анализатор спектра С4-12 и осциллограф С4-19 служили для спектрального и временного анализа интенсивности каждой из встречных волн (I и II) или их суммы после оптического смещения в смесителе С. Амплитуда и спектральная ширина сигнала биений на межмодовой частоте c/L определялись с помощью высокочастотного ФЭУ Φ_4 и анализатора спектра С4-9. Для регистрации модового состава излучения использовались интерферометры Фабри—Перо, один из которых (I_1) работал только в режиме периодического сканирования, а другой (I_2) мог работать и при фиксированном расстоянии между зеркалами. Обладая высокой механической стабильностью, интерферометр I_2 позволял выделять желаемую моду и осуществлять нужную настройку

в течение промежутка времени, достаточного для анализа ее интенсивности. Разрешение интерферометра составило ~ 40 Мгц, а диапазон измерений — 5.8 ггц.

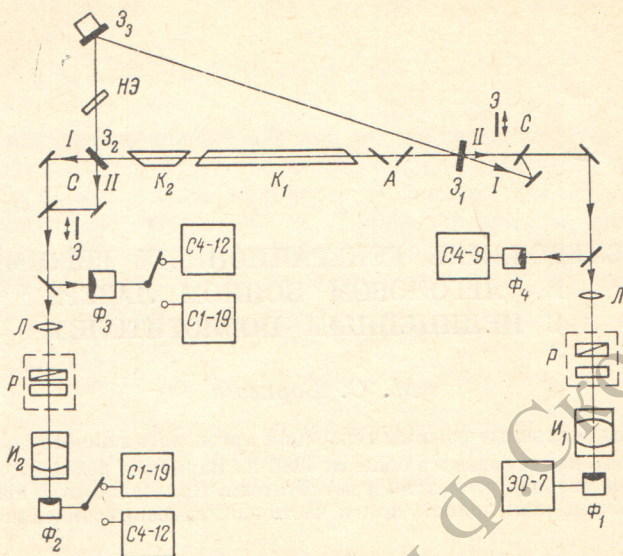


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

K_1 — усиливающая кювета, K_2 — поглощающая кювета, Z_1 — Z_3 — зеркала резонатора, A — аттенюатор, HZ — фазовый невзаимный элемент, C — смеситель, ∂ — экран, L — линза, P — развязка, I_1 , I_2 — интерферометры, Φ_1 — Φ_4 — фотоэлектронные умножители, $C1-19$, $ZO-7$ — осциллографы, $C4-9$, $C4-12$ — анализаторы спектра.

Исследование генерационных режимов проводилось при фиксированном давлении аргона в усиливающей и поглощающей кюветах (0.3 и 13.2 мм рт. ст. соответственно); регулировка коэффициентов усиления и поглощения осуществлялась разрядными токами i_1 и i_2 .

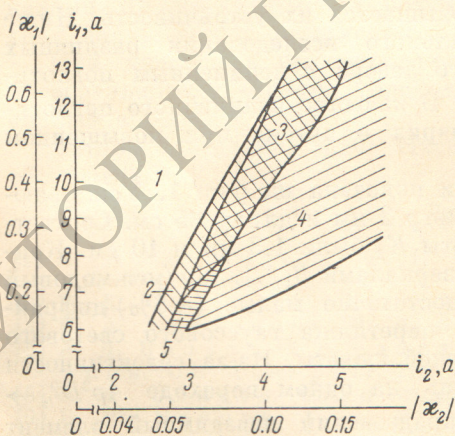


Рис. 2. Области различных режимов генерации.

i_1 и x_1 — разрядный ток и ненасыщенный коэффициент усиления в усилителе, i_2 и x_2 — соответствующие величины для поглотителя.

Все наблюдавшиеся режимы генерации естественным образом разбиваются на несколько групп. Области существования этих режимов показаны на рис. 2, где по оси абсцисс отложены значения разрядного тока i_2 и ненасыщенного коэффициента поглощения $|x_2|$ поглотителя, а по оси ординат — соответствующие величины (i_1 и $|x_1|$), относящиеся к усиливающей кювете. Типичные для выделенных областей осциллограммы модовых спектров представлены на рис. 3.

Область 1. Спектр генерации в области 1 был многомодовым и нестабильным. По мере увеличения разрядного тока i_2 в поглотителе все отчетливее проявлялась тенденция к самосинхронизации мод: частотная полоса генерации расширялась (рис. 3, а, б), амплитуда сигнала биений на межмодовой частоте c/L росла, а его спектральная ширина уменьшалась от 300 ÷ 500 кгц при $i_2=0$ до 50 ÷ 80 кгц около правой границы области 1 (рис. 2).

Кроме того, при перемещении по области 1 слева направо происходило выравнивание интенсивностей встречных волн. Напомним, что в аргоновом

ионном лазере без поглотителя генерация в многомодовом режиме, как правило, однонаправленная [1, 4].

Область 2. При переходе из области 1 в область 2 происходило почти скачкообразное изменение режима генерации: модовый спектр становился стабильным, а сигнал биений на частоте c/L узким (~ 2 кГц, что соответствует аппаратурной ширине спектра регистрирующей системы) и интенсивным (амплитуда сигнала биений возрастала на $25 \div 30$ дБ по сравнению со случаем $i_2=0$).

Режим полной синхронизации мод в области 2 отличала периодическая (с периодом $4 c/L$) зависимость амплитуды аксиальной моды от ее индекса (рис. 3, в). Интенсивность каждой моды была постоянна во времени.

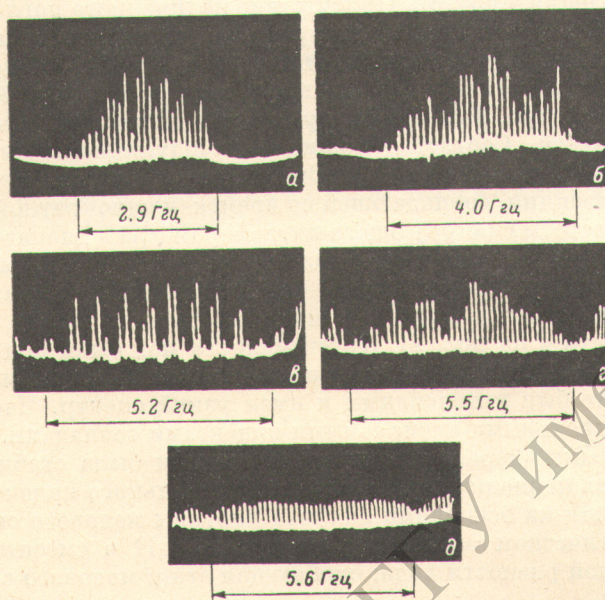


Рис. 3. Осциллограммы модовых спектров ($i_1=8a$).
а — $i_2=2.1$ а, б — $i_2=2.4$ а, в — $i_2=3.0$ а, г — $i_2=3.3$ а, д — $i_2=3.6$ а.

При перестройке частоты резонатора характер режима не менялся, происходило лишь плавное перераспределение интенсивностей мод, при этом огибающая модового спектра оставалась неизменной.

Разностная частота $\Delta\Omega \sim c/L$ между соседними модами была одинакова для встречных волн I и II. Частоты встречных мод, имеющих один и тот же аксиальный индекс, как правило, совпадали. Однако в ряде случаев наблюдалась разностная частота Δf между встречными волнами. Ее возникновение можно связать с продольным дрейфом излучающих ионов в постоянном электрическом поле газового разряда [1, 6]. Эта частота составляла $45 \div 220$ кГц в зависимости от разрядных токов (i_1 и i_2) и добротности резонатора. Минимальную частоту 45 кГц в данном случае естественно определить как область захвата для встречных волн. Величина Δf падала с ростом уровня мощности излучения. При данном уровне мощности бо́льшая разностная частота соответствовала лазеру с менее добротным резонатором (добротность резонатора изменялась при помощи оптического аттенюатора А на рис. 1).

Режим самосинхронизации мод с низкочастотным расщеплением Δf встречных волн, создающим естественную частотную «подставку», можно использовать для измерения фазовой невязанности, вносимой в резонатор. Такие измерения были проведены при разной величине «подставки». Разностная частота линейно зависела от напряженности магнитного поля, накладываемого на фазовый невязанный элемент, причем наклон пря-

мых был одинаков при любой величине «подставки», изменявшейся в диапазоне $80 \div 200$ кгц.

Область 3. С увеличением разрядного тока i_2 в поглотителе режим 2 полной синхронизации сменялся автомодуляционным режимом 3 (рис. 2), характеризующимся гармонической модуляцией интенсивности каждой моды. Частота f_m этой автомодуляции в зависимости от параметров лазера принимала значения от 8 до 18 кгц, а глубина модуляции каждой моды могла достигать 100%. Суммарная же интенсивность всех мод одного направления оставалась практически постоянной во времени (глубина модуляции с частотой f_m не превышала нескольких процентов).

В кольцевом лазере без поглотителя аналогичные автомодуляционные режимы сопровождаются интенсивной перекачкой энергии излучения из одного направления в другое. Присутствие нелинейного поглотителя в значительной степени уменьшает конкуренцию встречных волн в кольцевом лазере, вследствие чего в автомодуляционном режиме периодическое перераспределение энергии излучения происходит в основном между модами данного направления, так что их суммарная интенсивность со временем почти не меняется. Соответствующий автомодуляционному режиму модовый спектр показан на рис. 3, г. Эта осциллограмма получена при длительности экспозиции, совпадающей со временем однократной перестройки резонансной частоты сканирующего интерферометра в диапазоне ~ 5.6 ггц.

Область 4. При большом разрядном токе в поглощающей кювете опять осуществлялся режим полной синхронизации мод, при котором генерировали все моды в пределах широкой полосы частот, достигавшей $8 \div 9$ ггц (область 4 на рис. 2). Интенсивности мод были почти одинаковы (рис. 3, д) и оставались постоянными во времени. Сигнал биений на межмодовой частоте был интенсивным и имел узкий спектр. Частоты встречных волн с одинаковыми аксиальными индексами совпадали. Разница фаз между встречными «перекрывающимися» модами была стабильна во времени и являлась периодической функцией аксиального индекса моды. Этот вывод был сделан на основании анализа картины модового спектра, полученной при оптическом смещении двух лучей I и II в смесителе, не создающем добавочной разности хода: огибающая этого модового спектра имела вид синусоиды.

При увеличении разрядного тока поглотителя в пределах области 4 интенсивность мод падала, а полоса генерации плавно сужалась.

Область 5. При малом разрядном токе в усиливающей кювете ($i_1 < 7.5$ а) с увеличением i_2 режим полной синхронизации в области 2 сменялся режимом частичной синхронизации мод в области 5. Модовый спектр становился нестабильным. Спектр флуктуаций интенсивности отдельной моды был сосредоточен около характерной частоты в несколько десятков килогерц и имел ширину $20 \div 40$ кгц, причем по мере увеличения i_2 спектр расширялся и смещался в низкочастотную область.

Показанные на рис. 2 границы областей, соответствующих различным генерационным режимам, получены при изменении разрядного тока в поглотителе в одном направлении — в сторону возрастания. При изменении i_2 в противоположную сторону границы областей смещались влево. На направление изменения тока i_2 особенно сильно реагировала граница между областями 1 и 2: режим полной синхронизации 2 возникал при разрядном токе i_2^* , а исчезал при токе ($i_2^* - 0.2$ а). Подобные гистерезисные эффекты характерны для многомодовых лазеров и особенно отчетливо проявляются в лазерах с нелинейным поглотителем [7].

Таким образом, в аргоновом лазере с нелинейным поглотителем реализуются режимы как полной, так и частичной самосинхронизации мод. В довольно протяженных областях 2 и 4 на рис. 2 осуществляется полная самосинхронизация мод в широкой полосе частот, что позволяет получить периодическую последовательность субнаносекундных импульсов излучения. В отличие от аргонового лазера без поглотителя режимы самосинхронизации в рассматриваемом случае обладают высокой устойчивостью по отношению к изменениям добротности и длины резонатора, уровня

возбуждения усиливающей и поглощающей сред и т. д. Кроме того, в аргонном лазере с нелинейным поглотителем значительно уменьшается конкуренция встречных волн, а полная самосинхронизация наблюдается в гораздо большем диапазоне превышений усиления над потерями.

В заключение хочу выразить глубокую благодарность И. П. Мазанько за постоянное внимание к работе и обсуждение ее результатов и В. В. Муравьеву за большую помощь в проведении экспериментов.

Литература

- [1] W. W. Rigrod, T. J. Bridges, IEEE J. Quant. Electr., QE-1, 298, 303, 1965.
- [2] М. С. Борисова, А. М. Пындык. Радиотехника и электроника, 13, 754, 1968.
- [3] В. В. Лебедева, А. И. Одинцов, В. М. Салимов. ЖТФ, 38, 1373, 1968.
- [4] М. С. Борисова. Опт. и спектр., 33, 1134, 1972.
- [5] С. А. Фридрихов, А. Э. Фотиади, В. В. Елагин. Ж. прикл. спектр., 14, 539, 1971.
- [6] М. С. Борисова, В. М. Ясинский. Опт. и спектр., 31, 433, 1974.
- [7] И. И. Бетеров, В. Н. Лисицын, В. П. Чеботаев. Радиотехника и электроника, 14, 1127, 1969.

Поступило в Редакцию 23 июня 1973 г.