

ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА АМПЛИТУДНЫХ ШУМОВ В ИНЖЕКЦИОННОМ ЛАЗЕРЕ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ И РАСЩЕПЛЕНИИ ПРОДОЛЬНЫХ МОД

В.Р. Мадгазин, П.Г. Елисеев, О.А. Кобилджанов

В условиях нелинейного взаимодействия мод в активной среде одночастотного инжекционного лазера с внешним резонатором обнаружен эффект дополнительного подавления участка радиочастотного спектра амплитудных шумов, соответствующего области оптического спектра поля между расщепленными модами внешнего резонатора.

В работе /1/ дана теория нелинейного взаимодействия мод в инжекционном лазере (ИЛ), приводящего к расщеплению суперлюминесцентных мод лазера на пары (симметричные по частотному интервалу от лазерной моды) и к изменению их начальных дефицитов усиления (к подавлению ближних мод, см. схему рис. 1). В /2/ были экспериментально измерены спектры амплитудных шумов (АШ) ИЛ с внешним (дисперсионным) резонатором (ИЛВР). Наблюдалось расщепление межмодовой частоты при биениях пар суперлюминесцентных мод с лазерной линией. Об эффекте раздвоения пиков АШ сообщалось также в /3/.

В настоящей работе проведено дополнительное исследование спектров АШ ИЛВР, полученных на установке, описанной в /2/. Использовались AlGaAs полосковые лазеры ДГС с $\lambda \approx 0,85$ мкм при комнатной температуре. Анализ нескольких сот спектров АШ позволил в деталях проследить их эволюцию.

При малой мощности лазера в спектре АШ имеется один пик на межмодовой частоте внешнего резонатора, который с ростом мощности расщепляется на два. Частотный интервал между пиками растет (как правило, ширины пиков различны). При дальнейшем росте лазерной мощности происходит подавление пиков и их уширение. Вдали от межмодовой частоты спектр АШ плоский, уровень флуктуаций несколько выше аппаратных шумов.

Таков общий характер спектра АШ ИЛВР, описанный ранее в /2/. Детальный анализ формы спектральных пиков показал, что, начиная с некоторого уровня мощности лазера и, соответственно, величины спектрального расщепления пиков АШ, обращенные друг к другу их склоны приобретают большую крутизну, чем противоположные. Сильнее такая асимметрия склонов выражена у более узкого пика. При дальнейшем росте мощности между пиками образуется глубокий минимум.

На рис. 2 показано три характерных спектра АШ (для удобства выбраны случаи близкой амплитуды пиков). Рис. 2а соответствует слабому расщеплению мод при малой мощности (0,36 мВт). На рис. 2б видно увеличение крутизны внутренних склонов (0,67 мВт). На рис. 2в для большой мощности лазера (6,4 мВт) виден глубокий межпиковый минимум АШ, практически до уровня аппаратных (тепловых и дробовых) шумов (он показан штриховой линией).

Эффект относительного подавления межпикового участка спектра АШ ИЛВР мы объясняем следующим образом. Формирование поля суперлюминесцентной моды ИЛ можно упрощенно представить процессом прохождения спонтанного излучения через эквивалентный резонатор Фабри – Перо (РФП), в котором исходные коэффициенты отражения зеркал увеличены с учетом усиления активной среды. В условиях расщепления суперлюминесцентных мод на пары общее поле можно по аналогии представить как сумму двух компонент, каждая из которых формируется прохождением через свой эквивалентный РФП исходного спонтанного поля. Так как источник спонтанного излучения в активной среде ИЛ общий, то на одинаковых оптических частотах эти компоненты когерентны и складываются по амплитуде. Фазовые сдвиги в РФП имеют разные знаки с разных сторон от максимумов, почти достигая $\pm \pi/2$. При этом в интервале оптического спектра между расщепленными суперлюминесцентными модами происходит преимущественное вычитание полей (разность фаз компонент близка к π).

Амплитудную модуляцию лазерной моды производит симметричная часть спектра суперлюминесцентного поля. Поэтому при анализе АШ достаточно рассмотреть лишь одну ее половину. С учетом слабости нелазерных мод энергетический спектр флуктуаций фототока ИЛВР $S(f)$ вблизи межмодовых частот с точностью до константы равен $|K|^2$, где K – комплексная функция пропускания РФП.

Для случая когерентного сложения полей (по амплитуде) двух РФП $S(f) = |K_1 + K_2|^2$, в то же время в случае некогерентного сложения (по интенсивности) было бы $S'(f) = |K_1|^2 + |K_2|^2$. Расчеты выполнялись для когерентного сложения полей на основе выражения /4/:

$$\sqrt{S(f)} = \left| A_1 \frac{1 - R_1}{1 - R_1 \exp(iff)} + A_2 \frac{1 - R_2}{1 - R_2 \exp[i(f+g)]} \right|, \quad (1)$$

где f – безразмерная частота; g – частотное расщепление максимумов; R_1 и R_2 – коэффициенты отражения зеркал эквивалентных РФП; A_1 и A_2 – коэффициенты, характеризующие относительные интенсивности компонент.

На рис. 3 показаны примеры расчетов ЭВМ по формуле (1) с выбором необходимых параметров для близкого совпадения с опытом (рис. 2). В основном варьировался сдвиг g и в меньшей степени R_1 для изменения ширины пика. Видно, что расчетные спектры воспроизводят эффект сильного провала между пиками (рис. 3в и 2в) и большую крутизну внутренних склонов (рис. 3б). Причем в последнем случае достигается неплохое количественное совпадение модели с экспериментом. Вариант некогерентного наложения пиков не позволяет объяснить наблюдаемые особенности спектров (рис. 3).

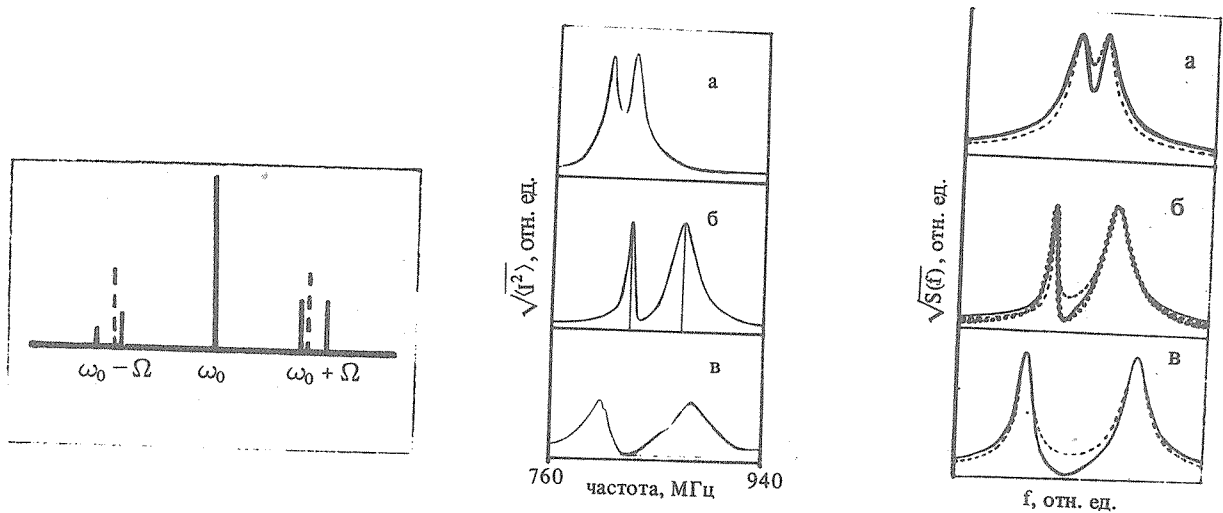


Рис. 1. Схема относительного положения ближайших с лазерной (ω_0) суперлюминесцентных мод РФП в невозмущенном случае (штриховые линии) и при расщеплении на пары мод с изменением дефицитов усиления (сплошные линии на $\omega_0 \pm \Omega$).

Рис. 2. Экспериментальные спектры АШ ИЛВР вблизи межмодовой частоты (~ 820 МГц) для разных уровней мощности лазера: 0,36 (а), 0,67 (б), 6,4 мВт (в). На рис. 2б для удобства наблюдения асимметрии пиков добавлены вертикальные линии.

Рис. 3. Расчетные спектры АШ: сплошные линии – модельный расчет $\sqrt{S(f)}$ по формуле (1); штриховые линии – случай некогерентного сложения мод ($\sqrt{S'(f)}$). Использованы значения: а) $R_1 = 0,99$, $g = 0,03$ (слабое расщепление); б) $R_1 = 0,997$, $g = 0,07$ (увеличение крутизны внутренних склонов); в) $R_1 = 0,994$, $g = 0,11$ (глубокий провал при большом расщеплении). На рис. 3б кружками показан экспериментальный спектр рис. 2б.

Таким образом, в настоящей работе сообщается о наблюдении эффекта дополнительного подавления участка спектра АШ, соответствующего интервалу спектра поля между частотами расщепленных суперлюминесцентных мод ИЛВР. Явление с достаточной полнотой описывается упрощенной моделью когерентного суммирования полей расщепленных компонент суперлюминесцентных мод лазера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатов А. П. и др. Квантовая электроника, 10, 1851 (1983).
2. Богатов А. П. и др. Квантовая электроника, 13, 2414 (1986).
3. Sato H. et al. IEEE Journ. QE, 21, 46 (1985).
4. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. М., Наука, 1973.

Поступила в редакцию 25 января 1987 г.