

**ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕННОЙ МОДУЛЯЦИИ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ НА СПЕКТР ГЕНЕРАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО ЛАЗЕРА С ВНУТРИРЕЗОНАТОРНЫМ ПОГЛОЩЕНИЕМ**

В.М. Баев, В.Ф. Гамалий, Э.А. Свириденков, Д.Д. Топтыгин

*Экспериментально обнаружено и теоретически объяснено влияние временной модуляции коэффициента усиления на эффект увеличения спектральной интенсивности генерации широкополосного лазера на красителе вблизи сильных спектральных линий поглощающего вещества, находящегося внутри резонатора.*

При исследовании методом внутрирезонаторной лазерной спектроскопии веществ с сильными линиями поглощения обнаружено интересное явление увеличения спектральной плотности интенсивности излучения вблизи линии поглощения (эффект "конденсации излучения"). Этот эффект известен более 15 лет и его наблюдению и объяснению посвящено несколько десятков работ различных исследовательских групп. В качестве возможных механизмов рассматривались образование дисперсионной линзы из-за насыщения поглощения на оси пучка /1/, когерентные эффекты поляризации поглощающих атомов /2/, образование решетки поглощения из-за насыщения /3/ и др. Нами высказано предположение, что эффект конденсации связан с фазировкой мод вблизи линии поглощения и временной автомодуляцией коэффициента усиления активной среды /4/.

Для проверки высказанной гипотезы был поставлен эксперимент, в котором коэффициент усиления принудительно модулировался с периодом, близким к времени обхода резонатора. В качестве активной среды широкополосного лазера использовался раствор красителя ДОТС в диметилсульфоксиде, исследуемым веществом служили пары калия в буферном газе (гелии). Концентрация паров контролировалась изменением температуры и могла меняться от  $10^{10}$  до  $10^{14}$  см<sup>-3</sup>. Для накачки использовалось излучение рубинового лазера, работавшего в режиме модулированной добротности. Модуляция добротности осуществлялась пассивным затвором (раствором криптоцианина в диметилсульфоксиде). Изменением параметров рубинового лазера и пассивного затвора можно было менять степень синхронизации мод рубинового лазера, т.е. форму импульса генерации, которая контролировалась коаксиальным фотоэлементом ФЭК-09 и осциллографом И2-7.

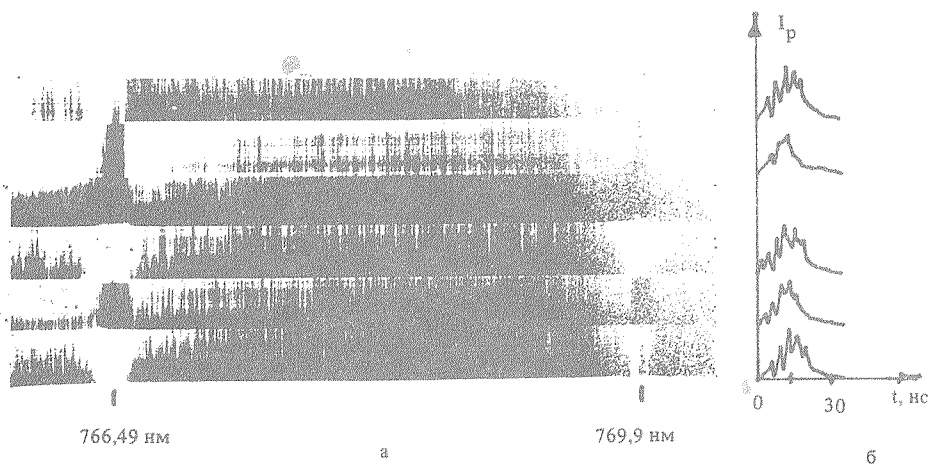


Рис. 1. а) Спектры генерации широкополосного лазера на красителе с парами калия внутри резонатора. Линии поглощения дублета калия – темные, а полосы спектральной "конденсации" излучения – светлые. б) Осциллограммы импульса накачки для каждого спектра генерации.

На рис. 1 приведены примеры спектров генерации лазера на красителе при наличии паров калия в резонаторе. Справа около каждого спектра приведены осциллограммы формы импульсов накачки. Отчетливо видно, что конденсация излучения (светлые полосы на спектре) вблизи линии поглощения происходит только тогда, когда импульс накачки промодулирован по времени. Спектры на рис. 1 получены при оптической длине резонатора лазера на красителе равной 0,87 от длины резонатора лазера на рубине и при концентрации калия  $10^{12} \text{ см}^{-3}$ . При уменьшении концентрации калия до  $3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$  эффект "конденсации излучения" исчезал. Небольшие изменения концентрации калия или соотношения длин резонаторов приводили к изменению интенсивности и спектрального положения полос "конденсации" излучения. Наиболее сильный эффект "конденсации" наблюдался при отношении длины резонатора лазера на красителе  $L_a$  к длине резонатора рубинового лазера  $L_p$  несколько меньшем единицы. Если выбирались равные длины резонаторов или отношение  $L_a/L_p$  было немного больше единицы, эффект не наблюдался. При отношении  $L_a/L_p$  равном 0,8 и меньше эффект также не наблюдался.

Мы считаем, что этот эксперимент подтверждает влияние синхронизации мод на спектральное распределение излучения широкополосного лазера. Вблизи сильной линии поглощения существует дисперсия показателя преломления  $n$ , которая приводит к неэквидистантности частот продольных мод резонатора  $\omega_q$ . Синхронизация мод возможна только в тех спектральных областях, где межмодовое расстояние  $\omega_{q+1} - \omega_q$  близко к частоте модуляции коэффициента усиления  $\Omega = 2\pi c/2L_p$ . Импульс излучения, сформированный из тех мод, фазы которых синхронизованы, приходит в активную среду всегда в тот момент времени, когда усиление максимально, что приводит к быстрому нарастанию спектральной интенсивности в областях, где  $\omega_{q+1} - \omega_q \approx \Omega$ .

При неравных длинах резонаторов  $L_a \neq L_p$  межмодовое расстояние  $2\pi c/2L_a$  вдали от линии поглощения не равно  $\Omega$  и синхронизация мод невозможна. При приближении к линии поглощения межмодовое расстояние уменьшается (как слева, так и справа от линии поглощения). Если  $L_a$  выбрана немного меньше  $L_p$ , то вблизи линии поглощения может существовать область, где возможна синхронизация мод. Если различие  $L_a$  и  $L_p$  велико, то область, где  $\omega_{q+1} - \omega_q \approx \Omega$ , будет находиться близко к центру линии поглощения и выигрыш в усилении будет подавлен сильным поглощением. При равных длинах резонаторов синхронизация мод возникает вдали от линии поглощения, что приводит к увеличению ширины провала на месте линии поглощения. Наконец, когда  $L_a$  немного больше  $L_p$ , синхронизация невозможна ни в каких спектральных областях и эффект конденсации не наблюдается.

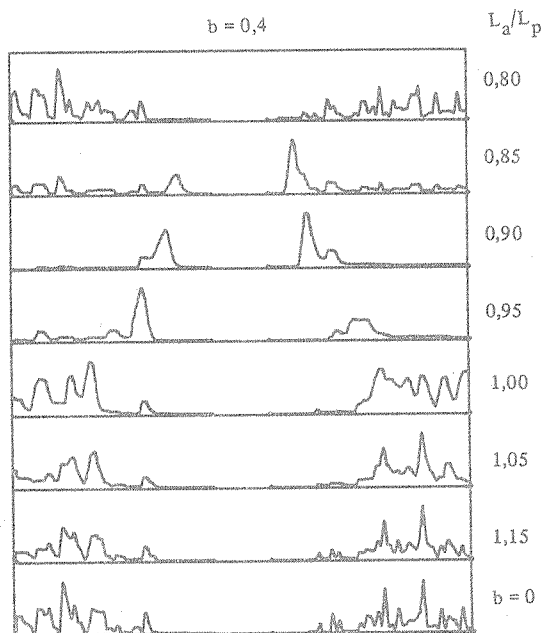


Рис. 2. Спектры генерации широкополосного лазера (расчет на ЭВМ). Соотношение длин резонаторов указано для каждого спектра,  $b$  — глубина модуляции.

Для количественных сравнений предложенной теории с экспериментальными результатами был произведен численный расчет на ЭВМ. Вычисления производились в рамках поправки первого порядка теории возмущений к решению уравнений Максвелла для резонатора лазера с постоянным по времени и по спектру коэффициентом усиления. Подробно математическая модель будет описана в дальнейшем. Ширина и сила спектральной линии были взяты близкими к экспериментальным значениям. Ход показателя преломления вычислялся из соотношения Крамерса – Кронига. Модуляция коэффициента усиления считалась синусоидальной.

На рис. 2 приведены спектры генерации (расчет на ЭВМ) при 40%-ной глубине модуляции коэффициента усиления для различных соотношений длин резонаторов и спектр генерации при отсутствии модуляции. Сильная линия поглощения находится в центре графика. Для удобства сравнения с реальным экспериментом приведенная на рис. 2 спектральная плотность излучения лазера проинтегрирована по времени генерации. Время генерации было в 20 раз больше времени одного обхода резонатора. Видно, что "конденсация" наблюдалась только в тех случаях, когда  $0,85 \leq L_a/L_p \leq 0,95$ , что хорошо согласуется с экспериментом.

Таким образом, в настоящей работе впервые экспериментально показана необходимость учета временной модуляции коэффициента усиления для объяснения эффекта "конденсации" излучения вблизи сильной линии поглощения вещества, введенного в резонатор широкополосного лазера. Предложена теория, связывающая эффект "конденсации" с синхронизацией группы мод вблизи линии поглощения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ануфрик С. С. и др. Квантовая электроника, 10, 2053 (1983).
2. Егоров В. С., Чехонин И. А. Оптика и спектроскопия, 52, 591 (1982).
3. Рубинов А. Н., Белоконов М. В., Адамушко А. В. Квантовая электроника, 6, 723 (1979).
4. Баев В. М. и др. Письма в ЖЭТФ, 42, 416 (1985).

Поступила в редакцию 7 апреля 1986 г.