

Захват частот автомодуляционных колебаний и гистерезис неавтономного двунаправленного кольцевого твердотельного лазера

Н.В.Кравцов*, П.П.Пашинин**, С.С.Сидоров**, В.В.Фирсов*

Экспериментально исследовано влияние модуляции накачки на динамику генерации двунаправленного кольцевого твердотельного лазера, работающего в автомодуляционном режиме. Установлено, что с приближением частоты внешней модуляции накачки к автомодуляционной частоте имеет место явление захвата. Исследована зависимость полосы захвата от характеристик лазера и параметров внешнего сигнала. Показано, что явление захвата носит гистерезисный характер.

Ключевые слова: кольцевой лазер, захват частоты, автомодуляционный режим.

1. Введение

Одним из интересных режимов генерации двунаправленных кольцевых лазеров является автомодуляционный режим первого рода, для которого характерна противофазная гармоническая модуляция интенсивностей встречных волн. Частота автомодуляции в автономном кольцевом лазере ω_m в первом приближении определяется эффективным коэффициентом связи встречных волн через обратное рассеяние m и частотной невзаимностью резонатора Ω :

$$\omega_m = (m^2 + \Omega^2)^{1/2},$$

где m определяется выражением

$$m = m_1 m_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) + \frac{(1 + \delta)m_1^2 m_2^2 \sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{m_1^2 + m_2^2 + 2m_1 m_2 \cos(\theta_1 - \theta_2) - \delta m_1 m_2 \sin(\theta_1 - \theta_2)}.$$

Здесь m_1, m_2 – модули комплексных коэффициентов связи встречных волн; θ_1, θ_2 – фазы коэффициентов связи [1]; δ – отстройка частоты генерации от центра линии усиления.

Работающий в автомодуляционном режиме твердотельный кольцевой лазер, являясь нелинейной колебательной системой, оказывается весьма чувствительным к различным внешним воздействиям. Недавно было установлено, что наложение на активную среду постоянного магнитного поля приводит к возникновению фазового сдвига между автомодуляционными колебаниями встречных волн [2].

Особенно сильное влияние на автомодуляционный режим генерации твердотельного лазера может оказать периодическая модуляция его параметров. Эксперимен-

ты показывают, что даже слабые периодические возмущения параметров (потерь резонатора или интенсивности накачки) такого неавтономного лазера могут кардинально повлиять на динамику его генерации [3].

В последние годы автомодуляционный режим первого рода в твердотельных лазерах привлекает внимание исследователей с точки зрения изучения особенностей возникновения в таких лазерах динамического хаоса. В частности в работе [4] было показано, что при определенных условиях модуляция накачки твердотельного кольцевого лазера может привести к смене автомодуляционного режима режимом динамического хаоса. Аналогичное явление имеет место и при возбуждении в кольцевом лазере параметрических резонансов [5].

В настоящей работе экспериментально исследованы некоторые новые особенности нелинейной динамики кольцевого твердотельного лазера, работающего в автомодуляционном режиме первого рода, при периодической модуляции мощности накачки: изменение частоты автомодуляции, а также возникновение явлений захвата и гистерезиса.

2. Экспериментальная установка

Принципиальная схема экспериментальной установки показана на рис.1. Исследовался монолитный кольце-

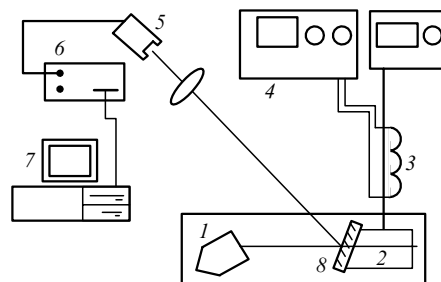


Рис.1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – монолитный кольцевой чип-лазер; 2 – полупроводниковый лазерный диод; 3 – катушка; 4 – генератор переменного напряжения; 5 – фотоприемник ЛФД-2; 6 – цифровой осциллограф АСК-3151; 7 – компьютер; 8 – селективное зеркало.

*НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына при МГУ им. М.В.Ломоносова, Россия, 119992 Москва, Воробьевы горы

**Институт общей физики РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38

вой чип-лазер на $\text{YAG}:\text{Nd}^{3+}$ ($\lambda = 1.06$ мкм) 1 с полупроводниковой накачкой. Периметр резонатора кольцевого лазера составлял 2.6 см, угол неплоскостности был равен 80° . Накачка осуществлялась по продольной схеме полупроводниковым лазерным диодом 2 с выходной мощностью до 500 мВт. Подробно конструкция лазера описана в [6]. Излучение накачки модулировалось в диапазоне частот 50–250 кГц. Модуляция осуществлялась с помощью катушки 3, включенной в цепь питания лазерного диода и присоединенной к генератору переменного напряжения 4. Глубина модуляции регулировалась изменением амплитуды напряжения на катушке и могла достигать 60%. Лазерное излучение поступало на фотоприемник 5 (ЛФД-2) а затем на цифровой осциллограф 6 (АСК-3151) и обрабатывалось с помощью компьютера 7.

В отсутствие внешних возмущений лазер работал в автомодуляционном режиме. Частота автомодуляции $\omega_m/2\pi$ составляла 230 кГц. Внутррезонаторные потери экспериментально определялись исходя из добротности кольцевого резонатора Q , которую нетрудно найти, измерив релаксационную частоту:

$$\omega_r = \left(\frac{\omega\eta}{QT_1} \right)^{1/2},$$

где ω – частота генерации; η – превышение мощности накачки над порогом; T_1 – время релаксации метастабильного уровня. В условиях эксперимента $\eta = 0.21$, $\omega_r/2\pi = 70$ кГц, $\omega/Q = 7 \times 10^6 \text{ с}^{-1}$.

3. Результаты эксперимента

В процессе экспериментов регистрировались временные и спектральные характеристики выходного излучения двунаправленного кольцевого лазера в зависимости от частоты ω_{ext} и глубины модуляции h его накачки.

В отсутствие модуляции ($h = 0$) в лазере имел место характерный автомодуляционный режим генерации, спектр которого состоял из одной спектральной компоненты с частотой, соответствовавшей частоте автомодуляции ω_m . При модуляции излучения накачки с частотой ω_{ext} ($h = 10 - 60\%$), находящейся вдали от частоты автомодуляции, в спектре излучения возникала вторая спектральная компонента с частотой ω_{ext} . В этом случае модуляция интенсивностей встречных волн переставала быть синусоидальной.

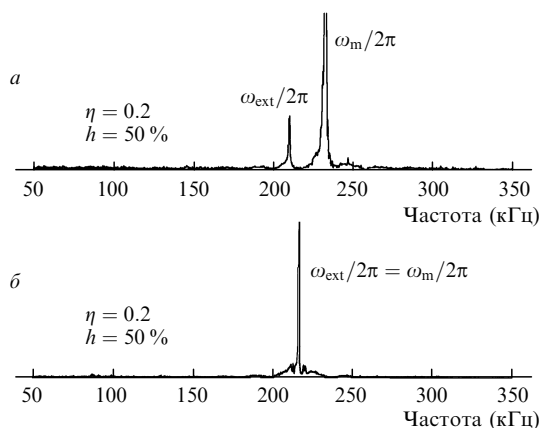


Рис.2. Спектры излучения лазера в отсутствие (а) и при наличии (б) захвата автомодуляционной частоты внешним сигналом при $\eta = 0.2$ и $h = 50\%$.

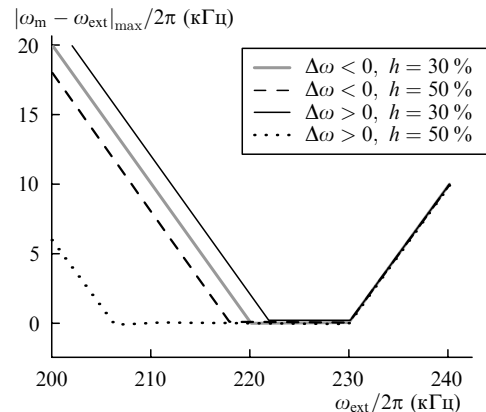


Рис.3. Зависимости ширины области захвата от h и начального положения $\Delta\omega$ при $\eta = 0.17$.

При достаточном приближении частоты модуляции ω_{ext} к частоте ω_m наблюдался захват частоты автомодуляционных колебаний внешним сигналом (в области захвата частота автомодуляционных колебаний оказывалась равной частоте внешнего воздействия ω_{ext} , а искажения автомодуляционного сигнала (т. е. отклонения его формы от синусоидальной) практически отсутствовали). Величина области захвата $\Delta\omega_{\text{max}}$ зависела от превышения накачки над порогом η и глубины модуляции h .

В процессе исследований было установлено, что поведение лазера зависит от направления перестройки частоты ω_{ext} ($\Delta\omega = \omega_{\text{ext}} - \omega_m$). Скачок автомодуляционной частоты при захвате имел место только при $\omega_m - |\Delta\omega|_{\text{max}} < \omega_{\text{ext}} < \omega_m$ и отсутствовал в случае $\omega_{\text{ext}} > \omega_m$.

Сказанное иллюстрируют рис.2–5. Спектры излучения лазера в отсутствие и при наличии захвата автомодуляционной частоты внешним сигналом приведены на рис.2. Четко виден сдвиг (скачок) автомодуляционной частоты, связанный с ее захватом. Видна также зависимость $|\omega_m - \omega_{\text{ext}}|_{\text{max}}/2\pi$ от направления перестройки частоты ω_{ext} , свидетельствующая о гистерезисном характере явления.

На рис.3 приведены зависимости максимальной ширины области захвата от глубины модуляции накачки h при различных направлениях движения частоты ω_{ext} . Видно, что область захвата может достигать 20 кГц. На рис.4 и 5 приведены зависимости максимальной ширины области захвата от глубины модуляции накачки h и превышения накачки над порогом η при разных направле-

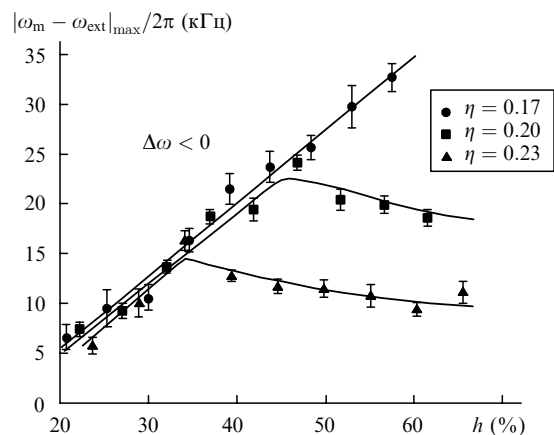


Рис.4. Зависимости ширины области захвата от h и η при начальном положении $\Delta\omega < 0$.

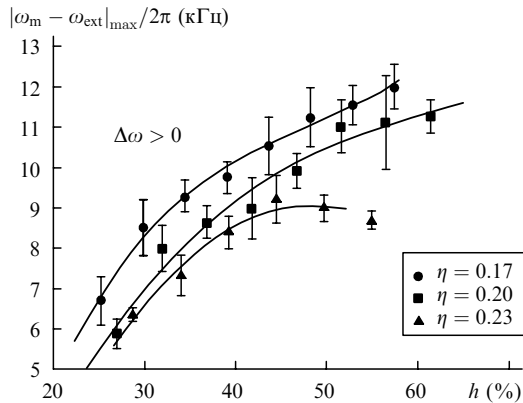


Рис. 5. Зависимости ширины области захвата от h и η при начальном положении $\Delta\omega > 0$.

ниях движения частоты ω_{ext} . Сопоставление кривых на рис. 4 и 5 также свидетельствует о гистерезисном характере зависимостей $|\omega_m - \omega_{\text{ext}}|_{\text{max}}/2\pi$.

С приближением частоты модуляции накачки к релаксационной частоте автомодуляционный режим, как и следовало ожидать, сменился режимом динамического хаоса. Область захвата (область частот $\omega_r - \omega_{\text{ext}}$, внутри которой существовал режим динамического хаоса) в этом случае оказалась порядка 10 кГц.

4. Заключение

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что при периодической модуляции излучения накачки твердотельного кольцевого лазера, работающего в автомодуляционном режиме, область захвата автомодуляционной частоты частотой внешней силы (т.е. область, внутри которой частота автомодуляции оказывается равной частоте внешнего воздействия) может достигать нескольких десятков кГц. При этом захват частоты имеет место только в том случае, когда частота автомодуляции больше частоты внешнего воздействия.

Авторы благодарны Н.И.Наумкину и С.Н.Чекиной за помощь в проведении экспериментов. Работа поддержана РФФИ (гранты № 02-02-16391 и 02-02-06203).

1. Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г. *Квантовая электроника*, **30**, 105 (2000).
2. Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Наумкин Н.И., Сидоров С.С., Фирсов В.В., Чекина С.Н. *Квантовая электроника*, **31**, 189 (2001).
3. Хандохин П.А., Ханин Я.И. *Квантовая электроника*, **11**, 1483 (1984).
4. Золотоверх И.И., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г., Макаров А.А., Фирсов В.В. *Квантовая электроника*, **22**, 213 (1995).
5. Золотоверх И.И., Кравцов Н.В., Кравцов Н.Н., Ларионцев Е.Г., Макаров А.А. *Квантовая электроника*, **24**, 638 (1997).
6. Золотоверх И.И., Кравцов Н.В., Ларионцев Е.Г. *Квантовая электроника*, **23**, 625 (1996).

ПОПРАВКИ

П.В.Булаев, О.И.Говорков, И.Д.Залевский, В.Г.Кригель, А.А.Мармалюк, Д.Б.Никитин, А.А.Падалица, А.В.Петровский. Влияние особенностей гетероструктур с квантовыми ямами InGaAs/(Al)GaAs, полученных методом МОС-гидридной эпитаксии, на спектр излучения одномодовых лазерных диодов («Квантовая электроника», 2002, т. 32, № 3, с. 216–218).

В статье допущена следующая опечатка: на с. 217 в левой колонке на 3-й строке снизу вместо «... в работах [3, 4]. ...» следует читать «... в работах [2–4]. ...».

В.И.Козловский, Х.Х.Кумыков, И.В.Мальшев, Ю.М.Попов. Температурный режим работы лазерного экрана электронно-лучевой трубки («Квантовая электроника», 2002, т. 32, № 4, с. 297–302).

В статье допущена следующая опечатка: на с. 300 в подрисуночной подписи к рис. 4 вместо « $L_c = 5$ мкм. ...» следует читать « $L_c = 15$ мкм. ...».

В.Д.Курносков, К.В.Курносков, Р.В.Чернов. Исследование характеристик одночастотных полупроводниковых лазеров в системе GaAs/AlGaAs («Квантовая электроника», 2002, т. 32, № 4, с. 303–307).

В статье допущены следующие опечатки:

1. На с. 304 формула (9) должна иметь следующий вид:

$$v_{\text{gr}} \left[\Gamma_a g(E_m) - \varepsilon_m S_m - \sum_{q \neq m} D_q S_q - \alpha \right] S_m + \beta R_{\text{sp}} = 0, \quad (9)$$

2. На с. 305 в правой колонке на 3-й строке снизу вместо «... 4×10^{16} см²» следует читать «... 4×10^{-16} см²».