

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

На правах рукописи

ГОЛОВИН АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ

ВЛИЯНИЕ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АКТИВНОЙ  
СРЕДЕ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ.

01.04.21-лазерная физика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание научной  
степени кандидата физико-  
математических наук

КИЕВ - 1994.

НВ 29.90а

Работа выполнена в Институте физики АН Украины.

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00810513 (1)

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,  
профессор Хижняк А.И.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
профессор Кравченко В.И.  
кандидат физико-математических наук  
Анохов С.П.

Зелудая организация: Институт полупроводников АН Украины

Защита состоится "21" 04 1994г. в 15 часов на заседании специализированного ученого совета Д.018.04.01 в Институте физики АН Украины, 252850, МСП, Киев-22, проспект Науки-46.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института физики АН Украины.

Автореферат разослан 23.02.94.

Ученый секретарь  
специализированного ученого совета

Ищук В.А.

Влияние четырехволнового взаимодействия в активной среде твердотельного лазера на характеристики его излучения.

Содержание:

Введение.

Гл.1. Влияние решетки инверсной населенности на спектр излучения твердотельного лазера.

Гл.2. Одночастотная генерация и переключение направления излучения в лазере на фосфатном неодимовом стекле с кольцевым резонатором и динамическим амплитудным вентиляем.

§2.1. Самодифракция встречных волн на решетке инверсной населенности.

Гл.3. Связанные резонаторы кольцевого лазера с амплитудным вентиляем.

Гл.4. Инжектирование затравочного излучения в кольцевой лазер с модуляцией добротности.

§4.1. Непрерывный одночастотный лазер на АИГ:Nd<sup>3+</sup> с тонкопленочным селектором.

§4.2. Инжектирование затравочного излучения в исполняющие лазеры на АИГ:Nd<sup>3+</sup>.

Заключение.

В в е д е н и е.

Для создания лазеров с предельно возможными монохроматичностью и когерентностью выходного излучения актуальны исследования, направленные на изучение и устранение причин неустойчивостей лазерной генерации.

Исследования, результаты которых изложены в данной работе, посвящены изучению влияния мелкомасштабной неоднородности инверсной населенности на динамику генерации твердотельных лазеров. Известно [1], что стоячая электромагнитная волна в резонаторе лазера приводит к мелкомасштабной пространственной модуляции инверсной населенности или, другими словами, к записи решетки инверсной населенности (РИН). Также хорошо известно, что РИН ответственна за конкуренцию мод лазера. Однако, действие РИН не сводится только к мелкомасштабной пространственной неоднородности усиления вдоль активной среды. В силу того, что показатель преломления активной среды лазера зависит от числа возбужденных ионов, то наряду с амплитудной решеткой усиления, РИН является и фазовой дифракционной решеткой, а фазовая решетка может обеспечить

эффективную перекачку энергии между запирающими ее встречными волнами (2).

Ниже будет показано, что использование представления о само-дифракции встречных волн на фазовой составляющей РИН позволяет объяснить многие эффекты в динамике генерации твердотельных лазеров.

Цель диссертационной работы - доказательство влияния фазовой составляющей РИН на динамику и характеристики генерации твердотельных лазеров, на основании этого уточнить описание физических процессов, происходящих в твердотельных лазерах.

Структура и содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы.

Научная новизна работы заключается в объяснении особенностей динамики генерации кольцевых твердотельных лазеров на основе само-дифракции встречных волн на РИН. Экспериментально доказано образование связанных резонаторов в кольцевом твердотельном лазере с амплитудным вентиляем.

Практическая ценность работы. Представленная работа предоставляет новые технические рекомендации для конструирования лазеров с заданными спектральными и временными характеристиками излучения, на их основе разработан одночастотный перестраиваемый непрерывный миниатюрный АМГ:  $\text{Nd}^{3+}$  лазер.

Достоверность научных результатов - в работе анализируются экспериментальные результаты, полученные с помощью поверенной стандартной измерительной аппаратуры: запоминающих осциллографов сс-14, сс-8, интерферометра ИТ 51-30, стабилизированного лазера ЛН-302. Результаты исследований согласуются с современными представлениями о динамике генерации твердотельных лазеров.

Апробация материала диссертации. Материалы диссертации докладывались на:

- 1) семинаре "Динамические и флуктуационные процессы в лазерах и лазерных измерительных системах", Москва, 1966г.  
(доклад: А.Б.Головин, И.И.Пешко, А.И.Хижняк "Одночастотная стабилизированная квазистационарная генерация лазера на фосфатном стекле").
- 2) Всесоюзной конференции "Оптика лазеров 60", Ленинград, 1960г.  
(доклад: А.Б.Головин, И.И.Пешко, А.И.Хижняк "Генератор серий одночастотных гигантских импульсов").

- 3) VI Всесоюзной конференции по голографии, Витебск, 1990г.  
(доклад: А.Б.Головин, И.И.Пешко, А.И.Хижняк "Влияние динамических объемных решеток в активных средах твердотельных лазеров на режим квазистационарной одночастотной генерации").
- 4) Международной конференции "Оптика лазеров 93", С-Петербург, 1993г.  
а) доклад: А.Б.Головин, А.И.Хижняк "Динамика генерации кольцевых твердотельных лазеров";  
б) доклад: А.Б.Головин, И.И.Пешко, А.И.Хижняк, "Особенности генерации лазера с кольцевым резонатором и амплитудным вентилем переменной длины").
- 5) IV Symposium on Laser Technology, Szczecin-Swinoujscie, 1993.  
report: I. I. Peshko, A. I. Khyzniak, F. M. Yatsyuk, A. B. Golovin, M. M. Lopijchuk, "Fine Tunable Single-Frequency Diode-Pumped YAG Laser."

Основные научные результаты опубликованы в журнальных статьях:

- 1) А.Б.Головин, И.И.Пешко, А.И.Хижняк. Генерация гигантских импульсов с идентичным одночастотным спектром и управляемым интервалом следования лазерами на фосфатном неодимовом стекле. Квантовая электроника, 1991, т.18, №7, с.846-851.
- 2) С.А.Белозеров, А.Б.Головин, И.И.Курятёв, И.И.Пешко, А.И.Хижняк, Ф.М.Яцук. Одночастотная генерация в мини-лазере на  $YAG:Nd^{3+}$  с перестройкой длины волны излучения. Квантовая электроника, 1991, т.18, №10, с.1180-1182.
- 3) A. B. Golovin, I. I. Peshko, A. I. Khiznyak. Generation peculiarities of laser with ring resonator and variable length amplitude isolator. Laser Physics, 1993, v. 3, №3, p. 862-6.  
в прэпринте:
- 4) А.Б.Головин, И.И.Пешко, А.И.Хижняк. Одночастотная генерация в лазере на фосфатном стекле. Прэпринт №3, ИФ АН УССР, 1991.  
в сборниках тезисов конференции:
- 5) "Оптика лазеров 90", стр.261, (Ленинград, 1990).
- 6) VI конференция по голографии, стр.96, (Витебск, 1990).
- 7) "Оптика лазеров 93", стр.287, (С-Петербург, 1993).
- 8) IV Symposium on Laser Technology, p.26-28. (Szczecin - Swinoujscie, 1993).

Личный вклад автора заключается в проведении экспериментальных исследований, интерпретации совместно с другими соавторами результатов расчетов и экспериментов.

### Защищаемые положения.

1. Фазовая составляющая РИН является определяющим фактором динамики генерации твердотельного кольцевого лазера.
2. В кольцевом лазере с амплитудным вентилем порог генерации зависит от относительного положения возвратного зеркала (экспериментально доказано).

### Гл.1. Влияние РИН на спектр излучения твердотельного лазера.

Запись стоячей электромагнитной волны РИН приводит к снижению усиления для тех мод резонатора, чьи пучности попадают на пространственные "дырки" инверсной населенности. Поэтому, спектр излучения лазера состоит из мод, пучности которых менее всего перекрываются в объеме активной среды. Расширение спектра генерации происходит до пространственно-однородного насыщения коэффициента усиления. Спектральный состав излучения лазера в этих условиях меняется хаотически. Такой характер генерации присущ лазерам с линеями резонаторами, в которых устанавливается стоячая электромагнитная волна (исключением является резонатор с "твистующими" модами [3]).

Несколько иная ситуация в лазерах с кольцевыми резонаторами, в которых возможна генерация однонаправленной бегущей волны. Чисто бегущая волна равномерно снимает инверсную населенность в объеме активной среды и не вызывает записи РИН, однако этот режим генерации неустойчив по нескольким причинам. Во-первых, получение чисто бегущей волны трудно осуществимо из-за обратного рассеяния на оптических элементах резонатора (поэтому, даже в кольцевом лазере весьма сложно полностью устранить РИН). Во-вторых, в кольцевых лазерах без дополнительных устройств встречные волны вырождены по потерям.

В большом числе теоретических и экспериментальных работ (см. обзор [4]) было установлено, что относительно сильное взаимное перорассеяние встречных волн приводит к высокочастотной синхронной ( $10+10^2$  кГц) модуляции интенсивности встречных волн. В случае слабого рассеяния наблюдаются низкочастотные ( $1+2$  кГц) переключения направления генерации кольцевых лазеров.

Исследования на устойчивость стационарных решений балансных уравнений, описывающих генерацию кольцевого лазера, показали, что

необходимым условием реализации автомодулированного режима генерации является отстройка частоты излучения от центра линии усиления или сложная внутренняя структура линии усиления в АИГ:  $\text{Nd}^{3+}$  [4]. Причем, для возникновения неустойчивости однонаправленной генерации величина отстройки от центра линии усиления должна быть достаточно велика (десяток межмодовых интервалов). Это позволяет сделать вывод, что неустойчивость стационарной генерации обусловлена фазовой составляющей РИН, причем амплитуда этой составляющей должна превышать некоторую пороговую величину (т.е. отстройка частоты генерации от частоты максимума полосы усиления больше некоторой пороговой величины [4]).

Вопрос о физической природе переключений направления генерации в твердотельных кольцевых лазерах оставался до сих пор открытым. В данной работе показано, что благодаря фазовой составляющей РИН в твердотельных кольцевых лазерах происходит эффективная самодифракция встречных волн, а нестационарная перекачка энергии на фазовой составляющей РИН приводит к переключениям направления генерации.

#### Гл.2. Одночастотная генерация и переключение направления излучения в лазере на фосфатном неодимовом стекле с кольцевым резонатором и динамическим амплитудным вентиляем.

Наиболее простой с технической точки зрения способ получения однонаправленной генерации в кольцевом лазере был предложен еще в 1966 году [5]. Суть предложения состоит в использовании дополнительного внешнего зеркала для возвращения обратно в резонатор излучения одной из встречных волн (рис. 1). Оптическое плечо, образованное зеркалом  $R$ , получило название - амплитудный вентиль (АВ), поскольку, благодаря АВ создаются условия преимущественного развития волны  $E_2$ . Эксперименты с таким лазером на силикатном неодимовом стекле [6] показали принципиальную возможность получения в нем одночастотной генерации. Однако, авторы работы [6] установили, что однонаправленная одночастотная генерация в таком лазере оказалась очень чувствительной к юстировке зеркала АВ, к величине взаимного перераспределения волн  $E_1$  и  $E_2$ , а коэффициент подавления:  $k = E_2^2 / E_1^2$  изменяется в течение импульса генерации. Расчеты не выполненные без учета РИН [7] показали, что коэффициент

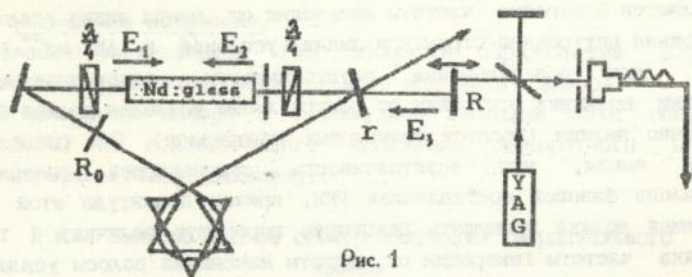


Рис. 1

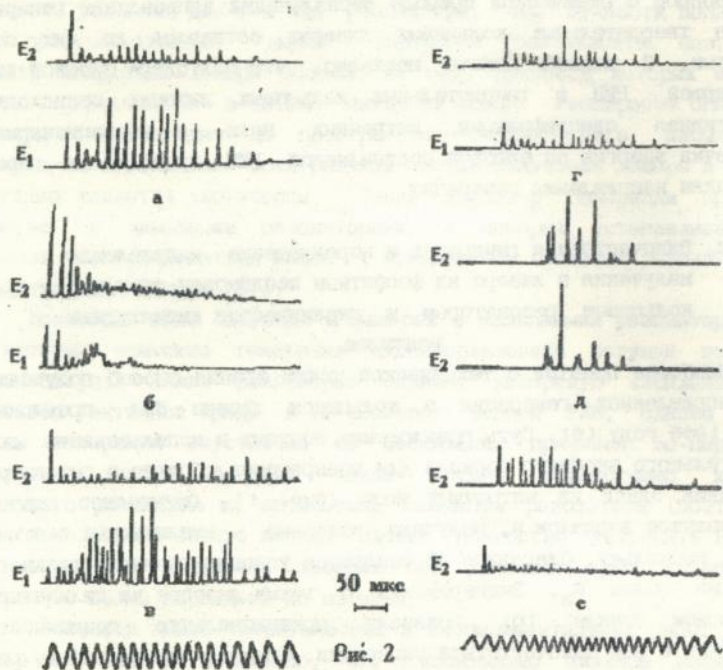


Рис. 2

Рис. 1. Схема кольцевого лазера с АВ.

Рис. 2. Осциллограммы свободной генерации кольцевого лазера с АВ (а, б, в) и кольцевого лазера с АВ и "твистующими" модами (г, д, е) (а, г-  $v=0$ ; б, д-  $v=3\lambda/8T_p$ , зеркало АВ удаляется от резонатора; в, е-  $v=3\lambda/8T_p$ , зеркало АВ приближается к резонатору).

подавления определяется только коэффициентами отражения зеркала АВ - R, выходного зеркала - r и величиной взаимного перерассеяния  $R_0$  волн  $E_1$  и  $E_2$ .

Использование АВ не приводит к устойчивой однонаправленной генерации кольцевого лазера, поскольку не снимает вырождения по потерям встречных волн, а лишь изменяет соотношение интенсивностей встречных волн и, следовательно, глубину РИН. Следовательно, продолжает действовать механизм уширения спектра, обусловленный пространственной неоднородностью коэффициента усиления [1].

Устранить запись РИН можно за счёт движения интерференционной картины встречных волн  $E_1$  и  $E_2$  [1] относительно активной среды, как это сделано в [6]. При этом было обнаружено, что режим одночастотной квазистационарной генерации реализуется только при увеличении длины АВ [2], однако интерпретацию этого эффекта авторы не дали.

#### §2.1 Самодифракция встречных волн на РИН.

С целью проведения исследования динамики генерации твердотельного кольцевого лазера была собрана установка, ее оптическая схема представлена на рис.1. В состав установки входит кольцевой лазер на фосфатном неодимовом стекле с АВ и интерферометр Майкельсона, который освещался непрерывным излучением АИГ:  $\text{Nd}^{3+}$  лазера. Зеркало АВ было установлено на пьезокерамическом движителе и его перемещения измерялись при помощи интерферометра Майкельсона (с точностью  $\lambda/40$ ). Оптическая связь между кольцевым лазером и интерферометром Майкельсона отсутствовала.

Зависимость динамики генерации кольцевого лазера от знака доплеровского смещения частоты, вызываемого изменением длины АВ, объясняется дифракцией волн  $E_1$  и  $E_2$  на сдвиговой фазовой составляющей РИН. Рассмотрим что происходит в активной среде лазера при удалении зеркала АВ от резонатора. Наши измерения показали, что удаление зеркала АВ со скоростью  $v$  от резонатора обеспечивает квазистационарный одночастотный режим на протяжении всего импульса генерации, если выполняется условие [10]:  $v = 3\lambda/v_T$  (с точностью  $\pm 25\%$ ), где  $\lambda$  - длина волны генерации,  $T_p$  - интервал времени между пиками свободной генерации при неподвижном АВ. При указанных скорости и направлении движения происходит отставание на  $\pi/4$  интерференционной картины волн  $E_1$  и  $E_2$  от РИН, а такое отставание, если решетка фазовая, обеспечивает наиболее

эффektivную перекачку энергии от слабой волны к сильной (2). Поскольку в описанной ситуации перекачка энергии происходит от волны  $E_1$  к волне  $E_2$ , то потери для волны  $E_2$  уменьшаются, а для волны  $E_1$  — возрастают (рис.2б). В результате условия генерации для волны  $E_1$  не выполняются и ее амплитуда определяется только величиной рассеяния встречной волны  $E_2$ . Вырождение по потерям встречных волн снимается, коэффициент подавления возрастает, глубина РИН уменьшается, автоколебательная система — кольцевой лазер — становится устойчивой.

Если зеркало АВ движется к резонатору, то перекачка энергии происходит от волны  $E_2$  к волне  $E_1$ . Интенсивность встречных волн уравнивается, глубина РИН становится максимальной, а характер генерации остается пиковым и многочастотным (рис.2в).

Традиционно считается, что РИН — это амплитудная решетка усиления, предложенная нами интерпретация эксперимента основывается на учете ее фазовой компоненты\*. Однако это предположение требовало проверки. Для этого с двух сторон активного элемента были установлены четвертьволновые пластинки так, чтобы в активной среде лазера установились "звистующие" моды (рис.1), которые не вызывают записи РИН.

Характер генерации лазера изменился: во-первых, коэффициент подавления перестал изменяться на протяжении импульса генерации (рис.2г). Во-вторых, при движении зеркала АВ в любом направлении и при любой скорости не устанавливается квазистационарная генерация (рис.2д). В-третьих, если четвертьволновые пластинки повернуты так, что режим "звистующих" мод не реализуется и пластинки лишь увеличивают светорассеяние, то вновь восстанавливается динамика коэффициента подавления и его зависимость от направления движения зеркала АВ.

Таким образом показано, что особенности генерации кольцевого лазера существуют лишь в условиях записи РИН. Зависимость же режима генерации от направления движения зеркала АВ доказывает

\* Фазовая составляющая РИН обусловлена ростом поляризуемости возбужденного состояния иона неодима относительно основного (1,11). При записи РИН происходит уменьшение показателя преломления в пучностях интерференционной картины по сравнению с ее узлами.

определяющий характер фазовой составляющей ГИИ, поскольку амплитудная часть ГИИ не может приводить к такому эффекту.

### Гл.3.Связанные резонаторы кольцевого лазера с АВ.

На осциллограммах (рис.2б) квазистационарной одночастотной генерации кольцевого лазера с движущимся зеркалом АВ видна мелко-масштабная периодическая модуляция интенсивности волны  $E_2$ . Ее причиной является зависимость пороговых потерь кольцевого лазера с АВ от фазы волны  $E_3$ , теоретически показанная в [12], с учетом образования зеркалом АВ и рассеивающими центрами линейного резонатора, связанного с кольцевым. Нами была проведена экспериментальная проверка этой теоретической модели.

Предварительные измерения при неподвижном зеркале АВ и превышении порогового значения энергии накачки не больше, чем на 3+4% (при этом излучалось не более 5-и пичков) показали, что спектр состоял из одной продольной моды. Это означает, что если при изменении положения зеркала АВ в генерацию выходит не более 5-и пичков, то генерация происходит на одной продольной моде резонатора. Зависимости, полученные в этих условиях при фиксированном уровне накачки, представлены на рис.4. Точки 1 - интенсивность первого пичка свободной генерации как функция относительного положения возвратного зеркала АВ. Точки 2 - временной интервал между пичками  $T_p$ . Зависимости 1 и 2 показывают, что при линейном изменении длины АВ осциллирует величина превышения порога генерации. В нашем случае - при фиксированном уровне накачки, это означает осцилляцию уровня пороговых потерь резонатора.

Рассчитанная нами в предположении одного рассеивателя зависимость задержки между первым и вторым пичками свободной генерации  $T_p$  - кривая 3 (рис.4). Видно, что экспериментальные зависимости имеют более сложный характер. Это и не удивительно, в эксперименте рассеивателей несколько: диафрагма, торцы активного элемента (просветленные и скошенные на 3 градуса от нормали к оси резонатора), дисперсионные призмы, зеркала резонатора и т.п. Это приводит к образованию более сложной системы связанных резонаторов, более сложных условий интерференции, и поэтому трудно ожидать получения в эксперименте простой периодической зависимости.

Обнаруженная в эксперименте зависимость пороговых потерь кольцевого резонатора от длины плеча АВ естественно проявляется

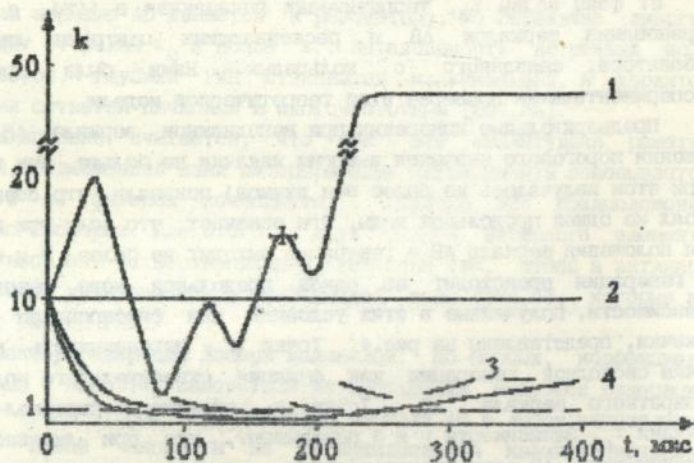


Рис.3. Изменение коэффициента подавления  $k$  в течение импульса генерации. Начальное значение  $k=10$ . 1 - зеркало АВ удаляется от резонатора  $v=3\lambda/\text{вт}$ ; 2 - кольцевой лазер с АВ и "гвинтующими" модами; 3 - кольцевой лазера с АВ; 4 - зеркало АВ приближается к резонатору  $v=3\lambda/\text{вт}$ .

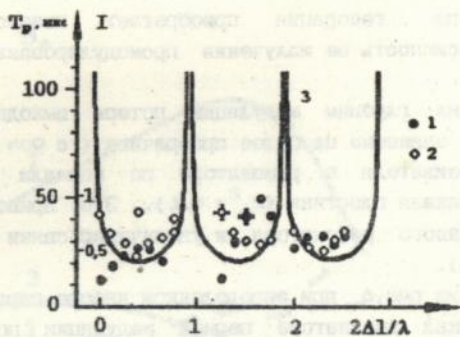


Рис. 4

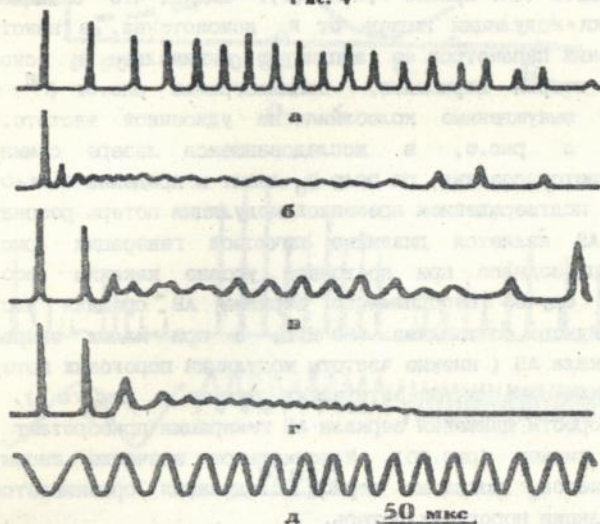


Рис. 5

Рис. 4. Экспериментальные зависимости средней интенсивности пиков 1 (сточки 1) и средней величины временного интервала между пиками  $T_p$  (сточки 2) от изменения длины плеча АВ; расчетная зависимость среднего значения  $T_p$  (кривая 3).

Рис. 5. Осциллограммы свободной генерации кольцевого лазера с АВ (а - в, г -  $v = \Delta l / \Delta T_p$ , д - сигнал с фотоприемника интерферометра Маякельсона).

при движении зеркала АВ. Из рис.5б видно, что после завершения переходного этапа генерация приобретает квазистационарный характер, но интенсивность ее излучения промодулирована с периодом равным  $\lambda/2v$ .

Для увеличения глубины модуляции потерь выходное зеркало резонатора 4 было заменено на более прозрачное (с 90% на 50%), а в качестве рассеивателя в резонаторе по нормали к его оси установлена стеклянная пластина ( $R_0^2 = 0.1$ ). Это привело к росту добротности линейного резонатора и увеличению связи между ним и кольцевым (рис.5в).

Как следует из рис.6 при определенном наборе параметров рассеивателя и зеркал резонатора период модуляции потерь может сократиться вдвое (см. кривые 1, 2 и 3, 4). Видно, что зависимость 1-ой гармоники модуляции потерь от  $R_0$  монотонна, в некоторой области значений параметров ее амплитуда минимальна и основную роль играет вторая гармоника. Осциллограмма рис.5г ( $r^2 = 0.7$ ) демонстрирует вынужденные колебания на удвоенной частоте. В соответствии с рис.6, в исследованном лазере суммарный коэффициент светорассеяния по полю  $R_0$  лежит в пределах  $0.01 \pm 0.1$ .

Еще одним подтверждением временной модуляции потерь резонатора с движущимся АВ является динамика пиковой генерации (рис.7). Эксперимент проводился при постоянном уровне накачки (300 Дж) и  $k = 400$ . В случае неподвижного зеркала АВ средняя частота следования пиков составляла 110 кГц, а при малых скоростях движения зеркала АВ (низкие частоты модуляции пороговых потерь) генерация имела вид серий затухающих пиков (рис.7а). При увеличении скорости движения зеркала АВ генерация приобретает вид незатухающих пиков (рис.7б). Максимальное значение амплитуды пиков наблюдается, когда их период следования сравнивается с периодом модуляции пороговых потерь.

Дальнейшее увеличение скорости зеркала АВ приводит к уменьшению интенсивности пиков и срыву генерации регулярной последовательности пиков. Пики генерации следуют парами (рис.7в), причем интервал времени между пиками в паре соответствует  $\lambda/2v$ , а интервал между парами близок нескольким  $\lambda/2v$ .

Таким образом, учитывая результаты Гл.2, показывающие существенность рассеяния на РИН, легко понять, что когда основным рассеивателем является РИН, то образуется система динамически

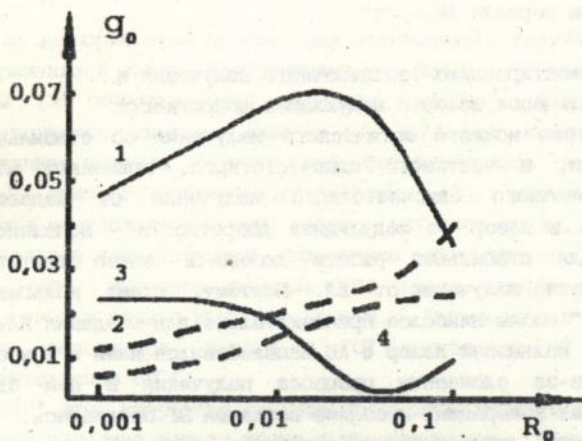


Рис. 6

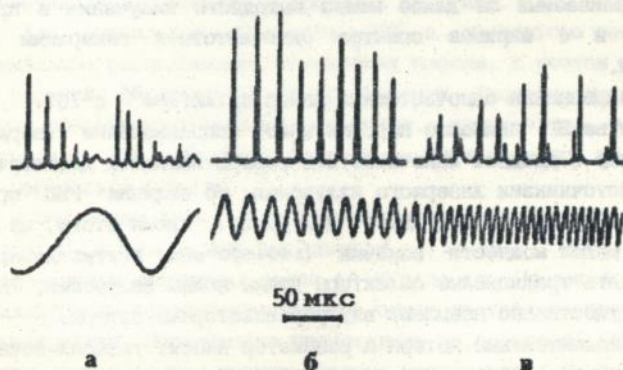


Рис. 7

Рис. 6. Интенсивность первой (1.3) и второй (2.4) гармоник Фурье - спектра модуляции пороговых потерь резонатора  $g_0$ , при линейном изменении длины АВ как функция величины светорассеяния  $R_0$ .

Рис. 7. Осциллограммы свободной генерации кольцевого лазера при движущемся зеркале АВ ( а-  $T_p < \lambda/2v$ , б-  $T_p = \lambda/2v$ , в-  $T_p > \lambda/2v$  ).

связанных резонаторов. Это объясняет режим хаотических пульсаций при стационарном зеркале АВ.

#### Гл. 4. Инжектирование затравочного излучения в кольцевой лазер с модуляцией добротности.

Для получения мощного оптического излучения со стабильными характеристиками, в частности одночастотного, применяют метод инжекции затравочного одночастотного излучения от задающего генератора (ЗГ) в лазер с модуляцией добротности - исполняющий лазер (ИЛ). Для стабильной работы любого ЗГ важно отсутствие отраженного обратно излучения от ИЛ. Поэтому, схема кольцевого лазера "бегущей" волны наиболее привлекательна для создания ИЛ.

Импульсный кольцевой лазер с АВ использовался нами в качестве ЗГ (13), но из-за сложности процесса получения в нем одночастотного режима генерации, проблема создания ЗГ оставалась.

Поэтому, были проведены исследования с целью создания ЗГ который удовлетворял бы следующим основным требованиям: режим работы - непрерывный, мощность выходного излучения не менее 1 мВт, легко перестраиваемый по длине волны выходного излучения в пределах  $1 \text{ см}^{-1}$  и с шириной спектра одночастотной генерации не более 100 МГц.

##### 54.1. Непрерывный одночастотный лазер на АИГ: $\text{Nd}^{3+}$ с ТСИ.

В качестве ЗГ наиболее перспективно использование твердотельных лазеров с диодной накачкой. Эти лазеры являются достаточно стабильными источниками лазерного излучения, но наличие РИН приводит к уширению спектра выходного излучения. Кроме этого, из-за относительно малой мощности накачки (100-800 мВт) в этих лазерах трудно применять традиционные селекторы длины волны излучения, поскольку они существенно повышают внутрирезонаторные потери.

Малые дополнительные потери в резонатор вносит тонкопленочный селектор Троицкого (ТСИ). Удобство ТСИ состоит в том, что он оказывает двойное действие: во-первых, вносит потери в моды, в пучности которых расположен, во-вторых, образует вместе с зеркалом резонатора отражательный интерферометр Фабри-Перо [ 14 ]. Однако, РИН выступает в роли распределенной обратной связи (РОС) и ослабляет действие ТСИ. Для устранения влияния РОС мы пошли по пути максимального уменьшения длины резонатора лазера, тогда возрастает межмодовый интервал между соседними продольными модами и

из-за конечной спектральной селективности РИИ исключается влияние РОС.

Для экспериментов по инъекции затравочного излучения в качестве ЗГ применялся лазер, изображенный на рис.8. В качестве активной среды (3) использовался кристалл АИГ:Nd<sup>3+</sup> 03x7 мм. Накачка производилась диодным лазером (1) ИЛИН-112 мощностью 120 мВт. Излучение накачки ( $\lambda=0.81$  мкм) фокусировалось в объем активной среды с помощью трехлинзового объектива (2), диаметр накачиваемой области составлял 300 мкм. Торец активной среды, через который происходила накачка, имел дихроичное покрытие с  $R_{1,06} > 99\%$  и  $T_{0,81} = 90\%$ . Выходное зеркало (5) имело коэффициент отражения  $R_{1,06} = 99\%$  и радиус кривизны 1.5 м. Оптическая и геометрическая длина резонатора вместе с ТСТ составляла 47 мм и  $L=35$  мм соответственно (15).

ТСТ это кварцевая плоскопараллельная пластинка (4), с одной стороны напылена пленка хрома с просветлением, с другой нанесено только просветляющее покрытие (коэффициент отражения 0.4%). Селектор и выходное зеркало крепились на пьезокерамике (6), которая обеспечивала перемещение в пределах  $\pm 1.5$  мкм.

Для правильной установки ТСТ в резонаторе рассчитывалось оптимальное расположение поглощающей пленки, с учетом несовпадения ее плоской поверхности со сферическим фронтом выделяемой моды вблизи сферического выходного зеркала, кроме этого, в вычислениях учитывалась РИИ. Задача о нахождении оптимального местоположения ТСТ решалась в (15,16).

В описанном лазере с ТСТ была получена одночастотная генерация мощностью 8 мВт и шириной спектра  $\leq 16$  МГц. Через 1 ч. работы дрейф частоты составлял менее 10 МГц за 1с. На рис.9 приведены осциллограммы перестройки спектра одночастотной генерации по продольным модам. Перестройка происходила по 11 модам, этот диапазон перестройки превышал ширину спектра многомодовой генерации.

#### 54.2. Инжектирование затравочного излучения

в исполняющие лазеры на АИГ:Nd<sup>3+</sup>.

Непрерывный АИГ:Nd<sup>3+</sup> лазер с ТСТ выполнял роль ЗГ, его излучение инжектировалось в два независимых кольцевых ИЛ с модуляцией добротности. ИЛ работали с частотой повторения  $1+10$  Гц. База ИЛ составляла 3 м., для выделения только аксиальных мод внутри каждого резонатора находилась диафрагма. Модуляция

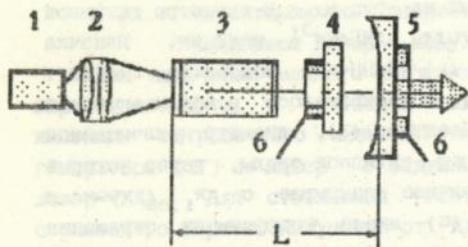


Рис. 8

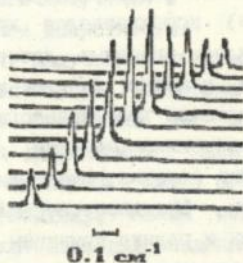


Рис. 9

Рис. в. Схема АИГ:  $\text{Nd}^{3+}$  лазера с ТОТ.

Рис. г. Осциллограммы спектра одночастотной генерации АИГ:  $\text{Nd}^{3+}$  при перестройке по 11 продольным модам.

добротности осуществлялась электрооптическими модуляторами. Длительность каждого гигантского импульса составляла 100 нс, длина волны излучения обоих гигантских импульсов совпадала, задержка между ними могла изменяться в пределах 0-100 нс, частота следования пар импульсов  $1 \cdot 10$  Гц.

В наших экспериментах база ИЛ подстраивалась с помощью зеркала на пьезокерамике. Исследования показали, что форма гигантских импульсов зависит от частотной настройки ИЛ. Гигантский импульс наиболее гладкой формы соответствовал настройке ИЛ на длину волны инжектируемого излучения. В отсутствие такой настройки, наблюдалась генерация многочастотного гигантского импульса, стартующего из спонтанного излучения (такой импульс имеет мелкоструктурную модуляцию и большую задержку от момента включения добротности резонатора).

### З а к л ю ч е н и е.

В проведенных исследованиях получены следующие результаты:

- 1) в неоднородных активных средах решетка инверсной населенности является не только амплитудной, но и фазовой;
- 2) в типичных условиях эффективность дифракции на решетке инверсной населенности превышает внутрирезонаторное светорассеяние;
- 3) нестационарность коэффициента подавления в кольцевом твердотельном лазере с амплитудным вентиляем обусловлена рассеянием (динамической дифракцией) встречных волн на изменяющейся решетке инверсной населенности;
- 4) для стабилизации однонаправленной генерации в кольцевом лазере необходимо обеспечить направленный энергообмен между встречными волнами (что снимает вырождение встречных волн по потерям), это можно сделать за счет самодифракции встречных волн на сдвинутой решетке инверсной населенности, причем фаза решетки должна отставать от интерференционной картины стоячих волн;
- 5) перерассеяние встречных волн в кольцевом лазере с амплитудным вентиляем вызывает образование связанных резонаторов, что проявляется в периодической зависимости пороговых потерь резонатора, при изменении расстояния до зеркала амплитудного вентиля на величину равную длине волны излучения;
- 6) линейное перемещение зеркала амплитудного вентиля вызывает модуляцию интенсивности квазистационарной генерации, причем период модуляции зависит от коэффициента отражения выходного зеркала, величины светорассеяния волн и скорости движения зеркала амплитудного вентиля;
- 7) тонкопленочный селектор Троицкого позволяет селективировать моды лазера на АИГ:  $\text{Nd}^{3+}$  со сферическим резонатором и малым уровнем усиления, благодаря этому был создан одночастотный перестраиваемый миниатюрный АИГ лазер, работающий в непрерывном режиме;
- 8) использование задающего генератора с управляемой длиной волны выходного излучения, позволило создать частотно - периодический генератор пар гигантских импульсов с идентичным управляемым одночастотным спектром выходного излучения и регулируемой временной задержкой между гигантскими импульсами.

## Л и т е р а т у р а .

1. Ханнин Я.И. Динамика квантовых генераторов. ( Квантовая радио-физика. Т.2 ). М. "Сов. радио", 1975, 496 с.
2. Одулов С.Г., Соскин М.С., Хижняк А.И. Лазеры на динамических решетках: Оптические генераторы на четырехволновом смешении. - М.: Наука, 1990. - 272 с.
3. Dragert D.A. IEEE J. QE-9, 235-9, (1972).
4. Zeghlache H., Mandel P., Abraham N.B., Hoffer L.M., Lippi G.L. and Mello T. Phys. Rev. A 37, 470 (1988).
5. Hercher M., Young M., Smoyer C.B. J. Appl. Phys. 36, 3351, (1965).
6. Кравченко В.И., Тарабров В.В. ЖПО. 13, 719-21, (1970).
7. Марусия Т.Я., Хижняк А.И. Квантовая эл. 6, 1345-7, (1979).
8. Макогон М.М., Солодов А.М. Письма в ЖТФ. 3, 767-70, (1979).
9. Солодов А.М. Диссертация канд. физ.-мат. наук. Томск, 1984.
10. Golovin A.B., Peshko I.I., Khiznyak A.I. Laser Physics. 3, 662-6, (1993).
11. Ананьев Ю.А. Оптические резонаторы и проблема расходимости лазерного излучения. - М.: Наука, 1979, с. 328.
12. Миловский Н.Д., Попова Л.Л. В кн.: "Квантовая эл.", вып.20, Киев, 1981, с12-23.
13. Головин А.Б., Пешко И.И., Хижняк А.И. Квантовая эл. 18, 846-50, (1991).
14. Троицкий Ю.В. Многолучевые интерферометры отраженного света. Новосибирск. Наука, 1988, 208 с.
15. С.А.Белозеров, А.Б.Головин, И.И.Куратов, И.И.Пешко, А.И.Хижняк, Ю.В.Цветков, Ф.М.Яцук. Квантовая электроника, 18, 1180-2 (1991).
16. Peshko I.I., Khizniak A.I., Yatsyuk F.M., Golovin A.B., Lopijchuk M.M., "Fine Tunable Single-Frequency Diode-Pumped YAG Laser." 1V Symposium on Laser Technology, Szczecin -Swinoujscie, 1993, p.26-8.

ГОЛОВИН АНДРЕЙ БОРИСОВИЧ

ВЛИЯНИЕ ЧЕТЫРЕХВОЛНОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В АКТИВНОЙ СРЕДЕ  
ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.

Підписано до друку 15.01.94 р. Формат паперу 60x84/16. Папір офсетний 72 гр/м. Офсетний друк. Ум.-друк.арк.1,12. Вид арк.0,83. Тираж 100. Зам.3. Безкоштовно.

Институт фізики АН України, ВНТІ,  
252028 Київ-28, проспект Науки, 46.





462,868

AB 29.962

ECILATHO