

Академія Наук України
Ордену Трудового Червоного Прапора
Інститут фізики

На правах рукопису

Яцюк Федір Михайлович

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ВУЗЬКОПОЛОСНІЙ
ЛАЗЕРНІЙ ГЕНЕРАЦІЇ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ МОД

01.04.04 - фізична електроніка

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття вченого ступеня кандидата
фізико-математичних наук

КИЇВ - 1993



00814770 (R)

Роботу виконано в Орді
титуті фізики АН України, м. Київ.

Науковий керівник – доктор фізико-математичних наук,

Хижняк А.І.

Офіційні опоненти:

Молебний Василь Васильович, докт.техн.наук, гол.н.с.,

НВО "Квант"

Обуховський В'ячеслав Володимирович, докт.фіз.-мат.наук,

доцент, Київський університет

Ведуча організація: Ін-т фізики напівпровідників АН України

Захист відбудеться 20 травня 1993 р. в 15⁰⁰ годин на
засіданні спеціалізованої Вченої Ради Д016.04.01 при Інституті
фізики АН України (252650, МСП, Київ – 22, проспект Науки, 48).

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інституту фізики
АН України.

Автореферат розіслано 20 квітня 1993 р.

Вчений секретар

Спеціалізованої Ради

кандидат фіз.-мат. наук

В.А.Ішук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В сучасній науці і техніці широко застосовуються неперервні лазери, довжина хвилі випромінювання яких припадає на ближню ІЧ-область.

На сьогодні створені надстабільні одночастотні потужні системи (1,2), а також малопотужні перестроювані лазери (3). Однак, для ефективного керування спектром випромінювання, що генерується, часто потрібні системи проміжного класу за потужністю і стабільністю, але які забезпечували б можливість прецизійно перестроювати частоту. Але сучасний рівень розвитку технологій, як правило, не дозволяє ефективно і одночасно задовольнити цим вимогам.

Один із можливих шляхів створення подібних лазерів полягає у послідовному врахуванні збурюючих факторів, які перешкоджають досягненню неперервної стабільної перестроюваної генерації, використанні нестандартних методів селекції.

Одна із основних причин багатомодової генерації в лінійному резонаторі при великих накачуваннях і однородному уширенні лінії підсилення (ітрій-алюмінієвий гранат, активований неодимом) - існування просторової неоднорідності інверсної населеності. Просторові структури полів мод різних поздовжніх індексів не співпадають одне з одним. У вузлах генеруючої моди виникають області незвідненої інверсної населеності. Тому, незважаючи на те, що генеруюча мода стабілізує рівень підсилення для себе, інші моди можуть почати генерувати за рахунок того, що будуть наснажуватись енергією із незвіднених областей. Випромінювання перерозсіюється на амплітудно-фазовій ґратці інверсної населеності. В активному середовищі виникає розподілений зсортівний за"язок (РЗЗ), що ускладнює структуру модового спектру.

Тому актуально дослідити, як впливає на спектральні характеристики лазерного випромінювання не тільки властивості селективного резонатору, але і активного середовища, що перебуває у стані насичення.

До цього часу не було досліджено вплив фазової складової ґратки (інверсної населеності) на спектральний склад генерації.

Для керування спектром генерації необхідно мати можливість стабілізувати і перестроювати частоту. Найбільш прийнятні для цього дисперсійні резонатори.

Проблема стабілізації природним чином виникає внаслідок підвищеної чутливості генеруючого лазера до механічних і температурних нестабільностей резонатору і активного середовища (6). Для її розв'язання необхідно забезпечити високу механічну стабільність резонатора, активного елемента і селекторів. Ці вимоги часто протирічать можливості перестроювання довжини хвилі. З іншого боку, для підтримання температурного режиму активного елемента доцільно застосовувати неперервне накачування, а при роботі в неперервному режимі, скажімо, на широко застосовуваних середовищах, активованих неодимом, важко отримувати високі коефіцієнти підсилення. Це накладає додаткові обмеження на величину втрат, які можуть привноситись у генеруючу моду селектуємим елементом.

У зв'язку з цим перспективно використання тонкоплівкових поглинаючих селекторів (надалі - ТПС). Селектор являє собою тонку ($\delta \sim 0.1 \lambda$) металічну плівку, яка наноситься на скляну основу. Він установлюється в лінійному резонаторі у вузол моди, що селекується. Дискримінація мод по втратах виникає за рахунок поглинання випромінювання (7). Для таких селекторів властиві простота, висока селекуюча здатність, надійність. Разом з тим існують обмеження на величину потужності, яка поглинається.

ТПС дозволив сумістити суперечливі вимоги перестроювання

довжини хвилі, її стабілізації - при низьких рівнях втрат, що вносяться в моду (8). Однак проведені до цього час" дослідження обмежувались використанням ТПС для селекції лише поздовжніх мод. Крім того, не досліджувалось питання про характер зміни частотного спектру лазера при перестроюванні ТПС в умовах просторової конкуренції мод.

Мета даної роботи полягала в тому, щоб на основі вивчення фізичних процесів, що відбуваються в лазері з однородно уширеною лінією підсилення і тонкоплівковим селектором у лінійному резонаторі, забезпечити оптимізацію системи по втратах різного типу і реалізувати стаду одночастотну генерацію з можливістю прецизійного перестроювання довжини хвилі.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що в ній:

1. Теоретично з урахуванням складної структури лінії підсилення активного середовища і формування в середовищі просторових ґраток - фазової та підсилення - визначено область надпорогових накачувань, в якій забезпечується одночастотна генерація.

2. Отримано перестроєчні залежності для одночастотної генерації з урахуванням фазових характеристик віддзеркалюючого інтерферометра (ВІ), що створюється непрозорим дзеркалом резонатора і тонкоплівковим селектором, в усій полосі пропускання ВІ.

3. Досліджено залежність втрат, що створюються плівкою з довільним радіусом кривизни, для поздовжніх і поперечних мод сферичного резонатора, від розташування селектора в резонаторі, радіуса кривизни дзеркал, товщини плівки і комплексної діелектричної проникності її речовини. На основі цих досліджень з урахуванням дифракційних втрат мод оптимізовано по добротності конфігурації резонаторів.

На захист виносяться такі положення:

1. Для лазера на гранаті з ТПС у резонаторі існування фазової складової ґратки інверсної населеності і складної структури лінії підсилення активного середовища є основними причинами, що зумовлюють звуження діапазону припустимих перекачувань над порогом, в межах якого підтримується одночастотна генерація.

2. При зміщенні ТПС в одному напрямку в межах $\lambda/2$ можлива немонотонна зміна частоти генерації – якщо параметр n , який характеризує діелектричні середовища, що сточують ТПС, вибраний меншим одиниці.

3. Розташування ТПС в місцях, де поверхня ТПС не співпадає з фазовим фронтом хвилі в резонаторі, супроводиться розширенням функціональних можливостей ТПС: забезпечується перестроювання не тільки по поздовжнім, але і по поперечним модам в заданій послідовності. При цьому мінімум втрат для генеруючої моди досягається, коли ТПС виведено із розташованого на оптичній осі резонатора вузла стоячої хвилі моди, що підлягає селекції.

4. В сферичному резонаторі з обмежуючою апертурою на осі резонатора існують області, при розміщенні селектора в яких втрати моди на поглинання в ТПС і дифракцію на обмежуючій апертурі в сумі мінімальні.

Практична цінність роботи полягає в тому, що проведені дослідження одночастотного режиму генерації лазера з тошкоплівковим селектором дозволили створити одночастотний перестроюваний по частоті і стабілізований YAG -лазер.

Такий лазер використовувався як задаючий генератор для імпульсних систем.

Запропоновано конфігурації резонаторів і експериментально

реалізовані лазери на He-Ne і YAG: Nd³⁺, оптимізовані по втра-
тах, які забезпечують задану послідовність перестроювання поз-
довжніх і поперечних мод. При цьому потужність на виході вияв-
ляється більшою, ніж у випадку селекції за рахунок обмеження
апертури.

Апробація роботи. Матеріали дисертації доповідались на
Всесоюзній конференції "Оптика та спектроскопія в народному
господарстві" (Мелітополь, червень 1990 р.), на семінарах Ін-
ституту фізики АН України.

Обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, трьох
розділів, закінчення та списку цитованої літератури, містить 31
рисунок і бібліографію із 33 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність проведених дослід-
жень, стисло викладено зміст дисертації і наведено перелік
основних положень, що виносяться на захист.

Перший розділ присвячено теоретичному дослідженню особли-
востей лазерної генерації в лінійному резонаторі в умовах прос-
торової неоднорідності інверсної населеності, впливу фазової і
амплітудної ґраток в активному середовищі на модовий склад
системи.

У першому підрозділі наведено короткий огляд літератури,
присвяченої структурам із розподіленим зворотнім зв'язком (РЗЗ-
структурам), розглянуто особливості їх формування, властивості,
перетворення спектру генерації лазера при їх застосуванні.

У другому підрозділі виводяться рівняння, які описують
зародження генерації на частоті, відмінній від частоти моди, що
генерує. При цьому враховується структура лінії підсилення

граната I.084 мкм,

У третьому підрозділі проаналізовано вплив просторово неоднорідного розподілу інверсії на спектр генерації лазера.

Просторова неоднорідність в розподілі інверсії в активному середовищі – одна із основних причин багатомодової генерації в лазерах на однорідно уширених середовищах, з лінійними резонаторами. Генеруючи на даній частоті, мода почерпує енергію з активного середовища. В резонаторі формується стояча хвиля, причому в її вузлах інверсія збіднюється найменше. Мода іншого поздовжнього індексу, вузли якої не співпадають у просторі з вузлами генеруючої, наснажується енергією із областей активного середовища із необхідною інверсією. На спектр генерації лазера впливають амплітудна ґратка підсилення і фазова ґратка показника заломлення. Виконаний нами теоретичний аналіз дозволив виявити суттєву роль фазової складової ґратки інверсної населеності в зародженні багатомодової генерації.

До цього часу цій проблемі приділялось недостатньо уваги, оскільки при малих перекачуваннях дифракційна ефективність такої ґратки, а значить, і вплив її на спектр, незначні. Однак, наші дослідження показали, що роль фазової складової ґратки суттєво зростає, коли в резонаторі присутній ТПС.

Так, було встановлено, що при штучному "вимкненні" фазової ґратки коефіцієнт передачі для моди, сусідньої з генеруючою, зменшується. Здавалось би, повинно бути навпаки. Діясно, ґратка являє собою розподілене "дзеркало", на якому відбувається додаткове перерозсіювання фотонів. При виключенні такого розсіювача слід очікувати зростання добротності системи в цілому. Однак, слід враховувати присутність в резонаторі ТПС. Фазова ґратка інверсної населеності виконує роль регулятора надходження фотонів до поглинаючого селектора. При наявності ТПС менша кількість фотонів досягає ТПС, а отже, менша кількість поглинається-

ся. При виключенні ґратки частка енергії моди, що досягає ТПС, зростає. Збільшується поглинання енергії в ТПС добротність моди падає і для компенсації доводиться збільшувати накачування.

При врахуванні додаткового перерозсіювання фотонів негенеруючої моди на фазовій складовій ґратки інверсної населеності, теоретично розрахований діапазон перекачувань, в межах якого зберігається одночастотність, скорочується у 5 разів.

Для цілей селекції і перестроювання частоти важливо знати закон її зміни в залежності від положення ТПС і вихідного дзеркала.

Відомо, що на центрі лінії поглинання CaG:Nd^{3+} 1.064 мкм дисперсія не дорівнює нулю, оскільки в спектральну лінію дають внесок два переходи, що перекриваються - між термами ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$. Ця обставина враховувалась нами при розрахунках спектра лазера із ТПС.

Виконані розрахунки дозволили визначити взаємне розташування ТПС і вихідного дзеркала, при якому забезпечується ефективна стабілізація частоти. Це зумовлено взаємною компенсацією фазових набігів хвиль у системі зв'язаних резонаторів, які виникають при внесенні в резонатор ТПС. Крім того, існують такі взаємні розташування вказаних елементів, при підтримці яких забезпечується максимально швидке перестроювання на бажану частоту.

Рух селектора і дзеркала в резонаторі супроводжується зміною частот і добротностей сусідніх мод, на яких може виникнути генерація. Аналіз спектру при постійному накачуванні виявив існування "острівців несталості" для частот, які відмінні від генеруючої. Такі "острівці" виникають при перестроюванні селектора і вихідного дзеркала (рис. 1). Частоти, що відповідають цим "острівцям", при певних конфігураціях "ТПС - вихідне

дзеркало" конкурують з основною генеруючою модою. При підвищенні накачування розширюються існуючі "острівці" і виникають нові. При подальшому зростанні накачування дифракційна ефективність динамічних ґраток падає внаслідок насичення активного середовища, роль перерозсіювання на них стає невзначною і "острівці" зменшуються в розмірах.

У другому розділі розглядаються теоретичні основи використання тонкоплівкового селектора з довільним радіусом кривизни поверхні для селекції як поздовжніх, так і поперечних мод у сферичному резонаторі.

У першому підрозділі розглядаються основні методи спектральної селекції, визначено місце тонкоплівкового селектора в цьому ряду.

У другому підрозділі розглядаються особливості фазових характеристик віддзеркалюючого інтерферометра, який формується тонкоплівковим селектором і дзеркалом резонатора.

У третьому підрозділі розглянуто особливості використання плоскопаралельного селектора для виділення мод із сферичним фазовим фронтом.

У четвертому підрозділі розглянуто застосування ТПС із довільним радіусом кривизни для селекції поздовжніх і поперечних мод, а також оптимізація резонаторів по втратах.

Коли ТПС вноситься в резонатор, то формується віддзеркалюючий інтерферометр (ВІ), фазові характеристики якого визначають спектр генерації.

Для цілей перестроювання частоти необхідно дослідити поведінку фазових характеристик ВІ при великих змінах положення плівки $\Delta\varphi \sim \pm\lambda/2$. До цього часу подібні дослідження не проводились.

Нами розраховано спектри частот резонатора з активним

середовищем і ТПС в усьому діапазоні змін положень ТПС^U на осі резонатора (в межах $\pm \lambda/2$). Це надало змогу виявити особливий вплив характеристик середовищ, що межують із ТПС, на характер перестроювання частотного спектра. Так, встановлено, що вигляд перестроювальної залежності частоти якісно змінюється, якщо параметр n , що дорівнює відношенню показників заломлення середовищ іззовні і усередині ВІ, стає < 1 . А саме, спостерігається неможлива зміна частоти генерації при однаправленому русі селектора вздовж оптичної осі резонатора в межах $\lambda/2$. При дослідженні залежностей добротності ВІ від положення селектора встановлено, що в точці, де напрямок уходу частоти змінюється на протилежний, змінюється також швидкість зростання втрат. Це означає, що даний ефект виникає внаслідок взаємодії поля із системою двох зв'язаних резонаторів - ВІ і лазерного. Швидкості зростання протифазних амплітуд хвилі, відбитої переднім дзеркалом інтерферометра і хвилі, що виходить із середини, приблизно рівні і відрізняються знаком. На складному дзеркалі постійно знаходиться вузол моди і частота її залишається сталою. Якщо швидкості наростання амплітуд змінюються, вузол моди зміщується відносно дзеркала, що еквівалентно зміщенню частоти. Напрямки відхилень частот резонаторів (осциляторів) при перестроюванні одного із них розрізняються. Із теорії зв'язаних осциляторів відомо, що частота коливань системи затуляється у бік частоти більш добротного осцилятора. При перестроюванні добротностей парціальних резонаторів зсувом ТПС існують такі його положення, при яких затулювання частоти буде незначним і, більше того, змінить знак.

До цього часу при теоретичному аналізі селекції з допомогою ТПС використовувалось наближення плоских хвиль. При експериментальних перевірках плівка завжди встановлювалась або паралельно плоскому фазовому фронту (10), або її поверхня виконувалась

лась узгодженою із сферичним фронтом. Однак, при русі селектора в процесі перебудовування довжини хвилі генерації, або при пошуках оптимальних положень селектора в резонаторі з метою мінімізації втрат, важко досягти співпадання фазових фронтів і поверхні селектора. Причина цього полягає у тому, що кривизна фронту хвилі у сферичному резонаторі залежить від поздовжньої координати. При встановленні плівки з іншою кривизною поверхні (наприклад, плоскої), плівку може перетнути декілька фазових поверхонь різних поперечних і поздовжніх мод. Втрати моди на поглинання залежать від ступеня перекриття поля моди із ТПС. Ступінь перекриття буде зростати при збільшенні кривизни фронту в місці розташування плоскої плівки.

Для селекції даної моди необхідно встановити плівку в положенні, при якому досягається мінімум втрат. Для цього необхідно зменшити ступінь перекриття поля стоячої хвилі із ТПС, знизивши таким чином омичні втрати моди. Цього можна досягти, зменшуючи кривизну фронту у місці розташування плоскої плівки, або зміщуючи плівку із вузла стоячої хвилі в сторону сферичного дзеркала. Відомо, що поперечний розподіл амплітуд мод відмінних індексів різниться один з одним. Величина втрат на поглинання в плівці для різних мод теж буде різнитись між собою і плівка зможе працювати як селектор поперечних мод. Мінімум втрат при цьому досягається, звісно, у точці, яка не співпадає з точкою перетину вузлової поверхні з віссю резонатора.

Нами було вперше визначено, як змінюється добротність мод із гауссовим розподілом інтенсивності у поперечному арізі при внесенні в резонатор сферичної поглинаючої плівки із довільним радіусом кривизни R_1 . Для цього розраховувались втрати енергії в плівці за рахунок поглинання, як відношення частки енергії, що втрачається в плівці, до енергії, що накопичена в моді з індексами (n, m, α) :

$$\eta = \frac{\int_{\text{Плівки}} |E|^2 (1 - e^{-\alpha h}) dx dy dz}{\int_{\text{Умоди}} |E|^2 dx dy dz} \quad (1.1)$$

де α - коефіцієнт поглинання в плівці, z - місце розташування плівки в резонаторі, h - товщина плівки. Обмежились для простоти випадком мод $m=0$, після інтегрування втрати вдалося представити у вигляді:

$$\eta = A C_1 + \frac{\cos \left[2(\alpha+1) \arctg \frac{z}{b} - (\alpha+1) \arctg \frac{z}{b} \left(1 - \frac{R}{R_1} \right) - 2kz \right]}{\left[1 + \frac{z^2}{b^2} \left(1 - \frac{R}{R_1} \right)^2 \right]^{\frac{\alpha+1}{2}}} \quad (1.2)$$

де $2kz = 2\pi \frac{z}{L_p} n + \alpha$, α - величина, що змінюється в межах $0 - 2\pi$ і характеризує положення плівки в межах довжини хвилі, L_p - довжина резонатора, n - номер поздовжньої моди, поряд із вузлом якої здійснюється селекція, b - параметр конфокальності, R - радіус кривизни хвильового фронту в точці z на осі резонатора, A - коефіцієнт пропорційності, залежить від товщини плівки, її властивостей, довжини хвилі випромінювання.

Аналіз (1.2) підтвердив, що розведення поверхонь ППС і хвильового фронту дозволяє забезпечити селекцію як поздовжніх, так і поперечних мод. Якщо плівку встановлено опуклою стороною в бік сферичного дзеркала резонатора, то можливо підібрати такі області розташування ППС, при перестроюванні селектора в яких буде забезпечуватись бажаний порядок виходу в генерацію мод різних поперечних і поздовжніх індексів (керування розходимістю випромінювання). Так, при розташуванні селектора в області 40

см (рис. 2) порядок слідування мод буде $\alpha = 0, 1, 3, 8$, в області 140 см - $\alpha = 0, 8, 1, 3$, в області 180 см - $\alpha = 0, 3, 8, 1$.

Критичність лазера на основі YAG: Nd^{3+} з напівпровідниковим накачуванням і ТПС в резонаторі до втрат, змушує звернутись до проблеми оптимізації конфігурації резонатора з метою мінімізації втрат. Було виконано низку модельних розрахунків залежності втрат на поглинання у плівці, дифракційних і сумарних, від радіуса кривизни сферичного дзеркала, провідності плівки σ , числа Френеля резонатора n . Це надало змогу оптимізувати по втратах ряд відомих лазерних систем, а також запропонувати нові конфігурації резонаторів із ТПС. Розташування мінімуму сумарних втрат у лазері на шкалі κ/L суттєво залежить від величини провідності матеріалу ТПС. Так, при $\sigma \propto 10^{12} \text{ с}^{-1}$ для мінімізації сумарних втрат в системі, що створюється на основі промислового лазера ЛН-215, доцільно замінити стандартне дзеркало $\kappa = 500$ см на дзеркало $\kappa = 800$ см.

Нами встановлено, що найбільш ефективно селекція поперечних мод з використанням плоскопаралельного ТПС здійснюється у конфокальному резонаторі. Причина цього полягає у тому, що, скажімо, у концентричному резонаторі завеликий абсолютний рівень втрат для всіх мод, у плоскому резонаторі абсолютний рівень втрат малий, але втрати різних мод близькі між собою, а значить, їх важко селектувати. Тільки конфокальна конфігурація забезпечує прийнятне співвідношення абсолютних і відносних втрат.

Аналіз залежностей втрат поперечних мод від положення ТПС у резонаторах різних типів згідно (1.2) виявив, що в процесі перестроювання по поперечних модах неможливо чинити зміну співвідношення втрат моди, яку виділяють, та її сусідів. Для селекції поперечних мод необхідно досягти максимальної селек-

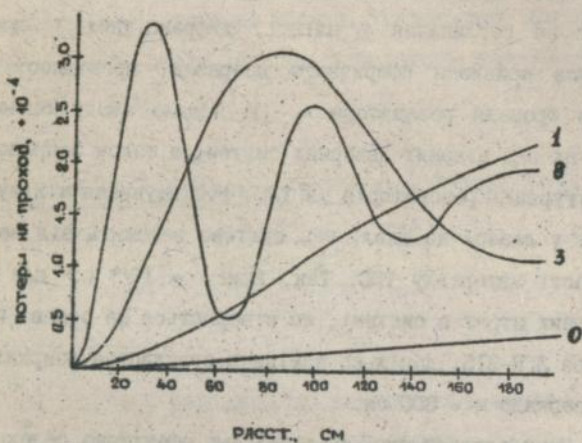


Рис. 2. Втрати для мод $\alpha = 0, 1, 3, 8$ у резонаторі (довжина бази $L = 180$ см, радіус кривизни дзеркала 500 см) із ТПС (радіус кривизни поверхні плівки $r_1 = 0.5 R$, R - кривизна фрон-та хвилі в точці z на осі резонатора) в залежності від положення ТПС на осі резонатора

тучної здатності ТПС в резонаторі заданої конфігурації. Для цього поряд з вимогою мінімізації абсолютних втрат, важливо домагатись максимальної різниці по втратах для мод, сусідніх із модою, що виділяється.

З цієї метою нами було введено функцію якості селектора (II):

$$Q = \frac{\eta_m - \eta_n}{\eta_n} (\eta_m - k) \quad (1.3)$$

де η_i - втрати i -ї моди згідно (I.3), k - емпіричний коефіцієнт втрат, який вводиться для того, щоб охарактеризувати величину абсолютних втрат моди, що виділяється. Положення плівки в резонаторі визначалось, виходячи із вимоги досягнення максимуму функції якості Q . Це дало змогу запропонувати декілька конкретних резонаторів з ТПС, в яких забезпечується прийнятний рівень абсолютних втрат мод, що виділяються, і максимальна різниця по втратах між ними.

Третій розділ присвячений експериментальному дослідженню одночастотної перестроюваної генерації в умовах однорідного уширення лінії активного середовища.

У першому підрозділі розглядається апаратна частина автоматизованої експериментальної установки.

У другому підрозділі дано опис структури керуючого програмного комплексу, особливостей застосованих методів стабілізації і перестроювання частоти.

У третьому підрозділі наводяться експериментальні результати стабілізації і перестроювання частоти.

До складу автоматизованого вимірювального комплексу входили (II): одночастотний перестроюваний стабілізований YAG-лазер, система контролю частоти, блок керування, ЕОМ IBM PC-AT, блок комутації. Активним елементом слугував кристал YAG: Nd³⁺ o 3x7

мм із плоскими торцями. Торець, через який здійснювалось накачування, мав дихроїчне покриття із $R_{\text{д.од}} > 99,9\%$ і $T_{\text{д.од}} = 90\%$. Вихідне дзеркало лазера мало коефіцієнт відбиття 98% і радіус кривизни 1,5 м. Оптична довжина резонатора складала 4,7 см. Плівка хрому наносилась на скляну плоскопаралельну основу, друга поверхня якої просвітлювалась до коефіцієнта відбиття менше 0,4%. Селектор і вихідне дзеркало лазера закріплювались на п'єзокерамічних зрушувачах, які забезпечували зміщення елементів в межах $\pm 1,5$ мкм від положення рівноваги. Швидкість дрейфу частоти генерації нестабілізованої системи через годину роботи складала 10 МГц/с.

До складу системи контролю частоти входили кільцевий скануючий інтерферометр (КСІ) з базою 3 м (міжмодовий інтервал 100 Мц), скануючий інтерферометр Фабрі-Перо з базою 0,5 см (міжмодовий інтервал 30 Гц) і стабілізований He-Ne лазер (ЛН-302), що використовувався як репер частоти. Через годину роботи дрейф частоти генерації склав приблизно 1,2 МГц.

На рис. 3 наведені результати, що були отримані при стабілізації γ_{63} -лазера. Реєструвались сигнали від γ_{63} -лазера на поточному та попередньому кроках стабілізації, а також напрямок відхилення сигналу. Абсолютна величина сигналу від γ_{63} -лазера здавалась на рівні половини від максимально можливої. Це відповідало розташуванню робочої точки на схилі полюси пропускання КСІ на рівні 1/2 від максимуму. З урахуванням наведеного визначення відхилення сигналу відхилення +100% відповідає зсуву робочої точки вниз по схилу до мінімуму, зсув -100% - вверх по схилу до максимуму. Для компенсації відхилення сигналу виступала керуюча напруга, прямо пропорційна величині відхилення і зворотня по знаку. Систему вдавалось утримувати поблизу робочої точки на протязі 22,5 с. Величина сигналів ЦАП, які подавались на п'єзокерамічні зрушувачі ТПС і дзеркало (КСІ

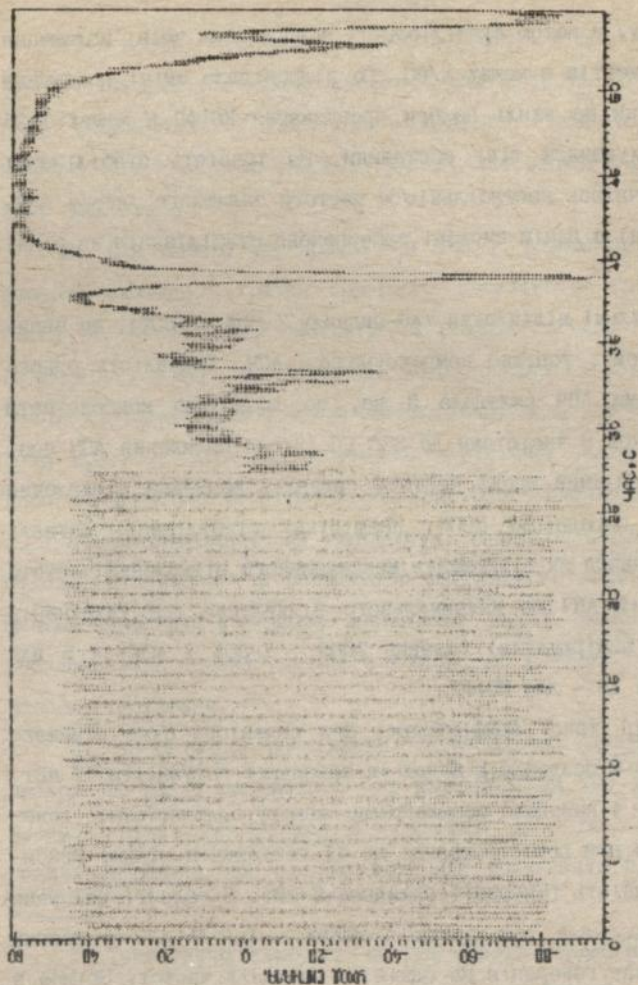


Рис. 3. Результати вимірювань вихідного одночастотного сигналу YAG-лазеру при увімкненій системі АПЧ (час виміру 22.5 с) і при її вимкненні.

і уаг-лазеру) з метою стабілізації, відповідала зміні положення рухомих елементів в межах $\lambda/80$. Це відповідало зміні положення робочої точки на схилі долини пропускання КСІФП в межах 1.25 МГц. З урахуванням тієї обставини, що точність стабілізації КСІФП визначалась нестабільністю частоти задаючого лазера ЛН-302 (1.2 МГц) в даній системі забезпечено стабілізацію на рівні $2 \text{ МГц} \pm 10\%$.

Максимальні відхилення уаг-сигналу ($-80\% + +50\%$), що виникали в системі, успішно компенсувались АПЧ. Тривалість одного циклу системи АПЧ складала 3 мс, що дозволяло компенсувати вплив перешкод з частотами до 330 Гц. Після вимкнення АПЧ спостерігався змінний дрейф частоти сигналу; величина відхилення складала в середньому 200%. Коефіцієнт стабілізації сигналу (який визначався як відношення максимального відхилення частоти при вимкненій АПЧ до максимального відхилення при увімкненій АПЧ за час вимірювання) складав $200\% : (-80\% + 40\%) = 5$ для уаг-лазеру і 16 - для КСІФП.

У лазері такої конфігурації без селектора було отримано генерацію на 5 поздовжніх модах із загальною потужністю 17 мВт.

На рис. 4 наведено осцилограми спектру одночастотної генерації лазера при перестроюванні по 11 поздовжнім модам. Максимальна потужність генерації складала 8 мВт. В області положень вихідного дзеркала уаг-лазеру в межах $\sim 0.2 \times \lambda/2$ у певний момент виникає генерація на одній із сусідніх частот. Згідно з розрахунками, які були виконані раніше, це відповідає випадку, коли коефіцієнти передачі селекуємої і 7-ої сусідньої моди одночасно перевищують одиницю (критерій початку генерації).

У закінченні сформульовано висновки дисертації.

ВИСНОВКИ

1. В роботі теоретично і експериментально досліджено особливості генерації в лінійному резонаторі з ТПС в умовах просторової неоднорідності інерсної населеності. Визначено вплив на модовий склад системи фазової ґратки, яка записується в активному середовищі.

2. Для лазера на гранаті з ТПС у резонаторі наявність фазової складової ґратки інерсної населеності призводить до того, що на частоті, сусідній із генеруючою на центрі лінії підсилення, коефіцієнт передачі моди зростає за рахунок додаткового перерозсіяння фотонів негенеруючої моди. Це еквівалентно 5-ти кратному звуженню діапазона допустимих перекачувань над порогом, у якому зберігається одночастотна генерація.

3. Встановлено, що наявність складної структури лінії підсилення YAG:Nd^{3+} у резонаторі розглянутої конфігурації зумовлює асиметрію у порядку досягнення порогу генерації модами, розташованими справа і зліва від моди, що генерує на максимумі полоси підсилення.

4. Теоретично досліджено спектральний склад генерації лазера із ТПС у залежності від розташування ТПС у резонаторі лазера і рівня накачування. Встановлено, що спектр має "острівцевий" характер, що несприятливо для досягнення одночастотної генерації.

5. Теоретично показано, що при однонаправленому русі ТПС у резонаторі з метою селекції у межах $\lambda/2$ можлива немонотонна зміна частоти генерації - якщо параметр n , що характеризує прилегли до ТПС діелектричні середовища, вибраний меншим одиниці.

6. Показано, що розташування ТПС в резонаторі в місцях, де поверхня ТПС не співпадає з фазовим фронтом моди, зумовлює розширення функціональних можливостей селектора - забезпечує-

ся перестроювання не тільки по поздовжніх, але і по поперечних модах у заданій послідовності.

7. Мінімум втрат для генеруючої моди в сферичному резонаторі спостерігається, коли ТПС виведено із вузла стоячої хвилі моди, що виділяється.

8. Втрати, які вносяться ТПС для поздовжніх і поперечних мод у сферичному резонаторі, складним чином залежать від розташування селектора в резонаторі, радіусу кривизни дзеркал, комплексної діелектричної проникності матеріалу плівки та її товщини.

9. На основі отриманих результатів в сферичному резонаторі з обмежуючою апертурою визначено області, при розміщенні селектора в яких втрати моди на поглинання в ТПС і дифракцію на обмежуючій апертурі в сумі мінімальні.

10. Запропоновано конфігурації резонаторів і експериментально реалізовано лазери на He-Ne і YAG:Nd^{3+} , оптимізовані по втратах, які забезпечують задану послідовність перестроювання поздовжніх і поперечних мод. При цьому вихідна потужність виявляється більшою, ніж у випадку звичної селекції з допомогою обмежуючих апертур.

II. Теоретичні і експериментальні дослідження одночастотного режиму генерації лазера з тонкоплівковим селектором надали змогу створити одночастотний перестроюваний по частоті і стабілізований YAG -лазер. Стабільність випромінювання ($2 \text{ МГц}/20 \text{ с}$) і потужність одномодової генерації (8 мВт) порівняні з існуючими аналогами.

Матеріали дисертації опубліковані в таких працях:

І. Р.Водницький, А.Длугашек, М.Новак, И.И.Пешко, А.И.Химняк, З.Якович, Ф.М.Яцок. Тонкопленочный селектор в сферическом

резонатора. — Квант. эл., т.18, в.7, с.123-125, 1991.

2. С.Белозеров, А.Б.Головин, И.Куратов, И.И.Пешко, А.И.Хижняк, Ф.Цветков, Ф.М.Яцук. Одночастотная генерация в мини-лазере на YAG:Nd^{3+} с перестройкой длины волны излучения. — Квант. эл., т.18, в.10, с.1180-1182, 1991.

3. А.Б.Головин, М.М.Лопиачук, И.И.Пешко, А.И.Хижняк, Ф.М.Яцук. Управление модовым составом лазерной генерации с помощью тонкопленочного поглощающего селектора. — Препринт № 20 ИФ АН Украины, 1993.

Особистий внесок автора полягає у проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, інтерпретації отриманих експериментальних результатів, створенні програмного забезпечення автоматизованого керування лазерного комплексу. Інші співавтори приймали активну участь в обговоренні результатів і експериментальних дослідженнях.

Цитована література

1. Арзуманов В.Н., Галактионова Н.М., Гершун Б.В. и др. Одночастотный YAG:Nd^{3+} лазер, стабилизированный с помощью активного стандарта. — Квант. эл., т.2, в.8, с.1824-1826, 1975.

2. Гусев А.А., Зайцев Г.Ф., Кружалов С.В. и др. Одночастотный лазер на YAG:Nd^{3+} с улучшенной стабильностью частоты. — Автоматика, в.5, с.108-110, 1979.

3. Бабушкин А.В., Воробьев Н.С., Коробкин В.В. Одночастотная генерация, обеспечиваемая призмным селектором. Квант. эл., т.11, в.4, с.819-821, 1984.

4. Голяев Ю.Д., Грушецкая А.В., Евтыхов К.Н. и др. Простая система для стабилизации частоты излучения непрерывного лазера на YAG:Nd^{3+} . — Радиотехн. и эл., т.24, в.4, с.860-871, 1979.

5. Bing-kun Zhou, T. J. Kane, G. J. Dixon, R. L. Byer. Efficient

v.10, n.2, p.62-64, 1988.

6. Евтихов К.Н., Збогчил В., Капцов Л.Н. Влияние освобождения тепла в активной среде на стабильность частоты непрерывно излучающего лазера на гранате с неодимом.- Изв. вуз. Приборостр., т.28, n.II, с.91-95, 1983.

7. Троицкий Ю.В., Голдина Н.Д. О выделении одного типа колебаний в оптическом резонаторе.- Письма ЖЭТФ, т.7, n.2, с.49-52, 1988.

8. Троицкий Ю.В., Хопленен В.П. Перестройка и стабилизация частоты оптического квантового генератора с селективными потерями.- Автометрия, n.I, с.52-55, 1971.

9. Раутиан С.Г. Некоторые вопросы теории газового квантового генератора.- Труды ФИАН, т. 43, с. 3-115, 1968.

10. Ю.В.Троицкий. Самосинхронизация продольных мод в газовом лазере с искусственным выравниванием межмодовых частотных интервалов.- Письма в ЖТФ, т.I, n.4, с.200-203, 1975.

11. А.Б.Головин, М.М.Лопиячук, И.И.Пенко, А.И.Хижняк, Ф.М.Яцок. Управление модовым составом лазерной генерации с помощью поглощающего селектора.- Препринт № 20 ИФ АН УССР, 1983.

Зам. № 455. Тир. 100. ВПЦ. "Київський університет" 1993 р.

MS. 205

465311

AB 27.205

AB 27.205