НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ

На правах рукопису

ГАЛКІН ОЛЕГ МИКОЛАЙОВИЧ

ФОРМУВАННЯ СПЕКТРА ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛАЗЕРА ПРИ ВНУТРІШНЬОРЕЗОНАТОРНІЙ ВЗАЄМОДІЇ З БАГАТОЧАСТОТНИМИ ТА МОДУЛЬОВАНИМИ ОБ'ЄМНИМИ ГРАТКАМИ.

Спеціальність 01.04.05 - оптика, лазерна фізика.

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико - математичних наук

Київ - 1997

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00729269 (Z)

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі квантової електроніки Наукового та інженерно - технологічного центру "Сонар" Національної Академії Наук України.

Науковий керівник:
доктор фізико-математичних наук Пархоменко Юрій Миколайович.

Офіційні опоненти:
доктор фізико-математичних наук Яценко Леонід Петрович.
кандидат фізико-математичних наук Анохов Сергій Павлович.

Провідна установа:
Київський Університет ім. Тараса Шевченка.

Захист відбудеться "17" квітня 1997 р. о 14^{30} год. на засіданні спеціалізованої ради Д 01.96.01 при Інституті Фізики НАН України.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Інститута Фізики НАН України.

Автореферат розісланий "14" березня 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради
канд. фіз.-мат. наук Іщук В.А.

Ав 37.746

ВСТУП

Розвиток лазерної фізики справляє значний вплив на сучасну науку і техніку. Так, поява лазерів відкрила такі наукові напрямки, як нелінійна оптика та лазерна спектроскопія. Лазерні системи складають основу високих технологій в обробці матеріалів (напівпровідникова промисловість, різання та зварювання металів, обробка кераміки та пластиків), в медицині та біології (хірургія, фототерапія, аналіз біологічних зразків), в системах передачі інформації (телефонія, кабельне телебачення, комп'ютерні мережі), тощо. Одержали широке комерційне застосування такі продукти, як лазерні зчитувачі штрихового коду, високоякісні аудио та відео апаратура, інформаційні дисплеї та проекційні системи.

Одною з найбільш перспективних проблем у фізиці лазерів є розробка багаточастотних лазерних систем з можливістю активного формування заданої структури спектра випромінювання (з синтезом спектра). Вона є узагальненням традиційного керування частотою в перестроюваних лазерах до формування складного спектрального розподілу, що характеризується багатьма параметрами. Причому тут найбільш цікавим є вивчення випадку, коли синтез спектра здійснюється внутрішньорезонаторними методами в одному лазері, тим більше що такі достатньо тривіальні рішення, як суміщення випромінювання від кількох лазерів чи фільтрація широкосмугового випромінювання, в більшості випадків є енергетично та економічно неефективними.

Актуальність проблеми визначається, по-перше, прогресом в розробці нових широкосмугових лазерних середовищ (наприклад, органічні барвники, F-центри, середовища на електрон-фононних переходах). По-друге, розвитком схем та елементної бази перестроюваних лазерів, що створило передумови для одержання багаточастотної лазерної генерації. По-третє, існуванням значної кількості наукових та практичних застосувань лазерів з керованою структурою спектра. Прикладами можуть бути

Львів ім. В. Стефаника
АН України

зондування атмосфери (методи диференційної абсорбційної спектроскопії), аналіз швидкоплинних процесів (одночасне збудження та детектування кількох хімічних компонентів у полум'ї), створення волоконно-оптичних систем зв'язку (частотне мультиплексування даних для підвищення інформаційної ємності оптичних хвильоводів).

В Інституті Фізики в Києві для вирішення цієї проблеми був запропонований та успішно розвивався метод, що базується на подальшому розвитку лазерів з електронною перестройкою - на збудженні багаточастотної гратки фотопружності всередині дисперсійного резонатора. Зокрема, тут були розвинуті методи одержання керуємої багаточастотної генерації в схемах з просторово однорідними гратками, які використовували додаткові компоненти спектру, тощо. Дисертація є розвитком цього напрямку.

Одною з складових мети роботи є дослідження методів синтезу спектра при переході до просторово неоднорідних граток фотопружності. Актуальність дослідження такої задачі визначається тим, що можливості акустооптики є значно ширшими і не обмежуються лише створенням багаточастотних граток. Зокрема, вона дозволяє достатньо просто задавати та перестроювати просторову структуру граток. Така можливість, як самостійно, так і в комбінації з багаточастотним збудженням, в задачі синтеза спектра не вивчалась. Це дозволило, наприклад, реалізувати більш ефективну схему лазера з дискретним спектром, а також втілити нові можливості в формуванні спектру.

Інша складова мети дисертації також пов'язана з задачею синтеза спектру, але вона має й важливе самостійне значення. А саме, в дифракції світла на багаточастотній об'ємній гратці в анізотропному середовищі зовсім нез'ясованим зоставалось принципове питання про формування амплітудно-частотних характеристик з урахуванням впливу інтеркомбінаційних процесів взаємодії. Як буде показано, вони призводять

до якісно нових ефектів. Треба підкреслити, що вивчення цієї задачі є важливим як з наукової, так і з практичної точки зору, тому що багаточастотні об'ємні гратки також широко застосовуються для позарезонаторного керування параметрами лазерного пучка акустооптичними елементами (сканування чи модуляції), в голографії для мультиплексування даних в системах запису інформації, тощо.

МЕТА РОБОТИ

Дослідження багатофононних процесів при дифракції на багаточастотній об'ємній гратці і взаємодії лазерних пучків з просторово неоднорідними гратками фотопружності всередині дисперсійного резонатора, та розробка на цій основі методів формування дискретного та неперервного спектра лазера.

НАУКОВА НОВИЗНА

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в тому, що в ній вперше:

- виявлена ключова роль інтеркомбінаційних багатофононних процесів при дифракції світла на багаточастотних об'ємних гратках в анізотропному середовищі, з'ясовані теоретично та підтверджені експериментально пов'язані з їх впливом ефекти якісних змін передаточних характеристик;
- досліджена задача формування спектру лазерного випромінювання при переході до просторово неоднорідних граток фотопружності;
- з'ясовані закономірності формування дискретного спектра лазера при збудженні всередині дисперсійного резонатора багаточастотної звукової гратки з регульованими розмірами та просторовим положенням її парціальних складових; на цій основі запропоновано та реалізовано ефективний метод керування інтенсивністю додаткового компонента;

- поставлено задачу синтезу лінії генерації лазера з неперервним спектральним розподілом та експериментально реалізовано метод її розв'язання, що заснований на використанні всередині резонатора амплітудно модульованої фотопружної гратки, яка задає коефіцієнт пропускання випромінювання з неплоским фазовим фронтом.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ

- реалізовано макет багаточастотного лазера з незалежним керуванням положенням та інтенсивністю кожного компонента дискретного спектра, що використовує метод керування просторовим перекриттям парціальних складових у багаточастотній звуковій гратці;
- створено макет лазерної системи з електронним керуванням формою лінії випромінювання з неперервним спектральним розподілом, що базується на принципі одночасного задання фази та амплітуди коефіцієнта пропускання всередині резонатора;
- на базі комп'ютера IBM PC створені електронна апаратура керування акустооптичними елементами, автоматизована система реєстрації спектра випромінювання, а також програмне забезпечення для систем активного керування спектром лазера.

ПОЛОЖЕННЯ, ЩО ВИНОСЯТЬСЯ НА ЗАХИСТ

1. При дифракції світла в анізотропному середовищі на двочастотній гратці фотопружності, в аномальній геометрії взаємодії:

- виявляються інтеркомбінаційні багатофононні процеси двох типів, інтенсивність яких порівняльна з интенсивністю головних дифракційних максимумів (перші - з широкополосними залежностями від різниці частот звукових хвиль, характерними для аномальної дифракції, другі - з вузькополосними - для нормальної);

- форма передаточних характеристик головних дифракційних порядків є гибридною (двоступінчастою), в якій одночасно відображаються властивості як аномальної, так і нормальної дифракції;
- взаємність передавання хвиль світла у зустрічних напрямках забезпечується тільки при урахуванні інтеркомбінаційних багатофононних процесів.

2. В дисперсійному резонаторі при збудженні двох просторово неоднорідних граток фотопружності з регульованим ступенем перекриття:

- зміна знаку різниці частот граток міняє характер залежності від ступеня перекриття інтенсивності додаткового компонента, що розташований в спектрі лазера посередині між двома основними;
- інтенсивністю додаткового компонента можна керувати незалежно від основних аж до його повного пригнічення.

3. В дисперсійному резонаторі з просторовим модулятором коефіцієнта пропускання випромінювання, незалежне задання і зміна розподілів його амплітуди (за рахунок вибору закону амплітудної модуляції гратки фотопружності) та фази дозволяє задавати і перестроювати форму лінії генерації з неперервним спектральним розподілом.

Достовірність наукових результатів обумовлена використанням експериментальних даних, що були отримані за апробованими методиками за допомогою сучасної вимірювальної апаратури з відомими характеристиками; результати експериментів узгоджуються з теоретичними розробками та з сучасними уявленнями про фізичні процеси, що досліджувались.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ:

Апробація матеріалу дисертації відбувалась на виїздній сесії відділення інформатики НАН України (1993), Київському семінарі з квантової

електроніки, звітних конференціях НІТЦ "Сонар" (1992, 1994), семінарах відділу Квантової електроніки НІТЦ "Сонар", конференціях "Оптика лазеров" (Ленінград, 1993), Optical Diagnostics of Materials and Devices for Opto-, Micro- and Quantum Elektronics (Київ, 1995).

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Особистий внесок автора до робіт, що увійшли до дисертації, полягає у підготовці та проведенні експериментальних досліджень, обробці одержаних результатів; в створенні електронної апаратури та програмного забезпечення для автоматизування експерименту і обробки даних; в написанні програм для чисельних розрахунків і їх виконання. Автор також брав участь в обговорюваннях по матеріалам досліджень, підготовці публікацій та доповідях на семінарах та конференціях.

Дисертація має 123 сторінки, містить 39 рисунків. Складається з вступу, трьох глав, заключення, списку літератури з 239 найменувань та додатку.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність, сформульовано мету роботи, наукову новизну, практичну цінність, положення, що виносяться на захист.

У першій главі розглянуто ефекти, що пов'язані з інтеркомбінаційними багатофононними процесами, які виникають при дифракції світла на багаточастотній гратці фотопружності. На початку глави наведено огляд робіт, які присвячені: а) розробкам та застосуванням багаточастотних лазерів, а також одержанню керованої багаточастотної генерації на базі схем електронно перестроюваних лазерів з акустооптичними керуючими елементами; б) задачам про дифракцію світла на кількох звукових гратках.

Слід зазначити, що до цього часу дифракція на багаточастотній гратці була вивчена найбільш докладно для випадку ізотропного середовища.

Урахування багатофононних процесів тут необхідне для одержання правильних кількісних результатів, але вони не призводять до значних якісних змін. Вважалося, що вплив інтеркомбінаційних процесів в анізотропній дифракції не повинен значно відрізнятись від ізотропної, інколи навіть використовувалось наближення бреггівської дифракції. На відміну від цього в нашій роботі показано, що в анізотропному випадку інтеркомбінаційні багатофононні процеси призводять до суттєвих якісних змін: вони змінюють структуру передаточних характеристик та забезпечують фундаментальну властивість - взаємність системи.

В п.1.4 сформульовано теоретичну модель, яка описує дифракцію світла в анізотропному середовищі на двочастотній гратці фотопружності. В основі моделі лежить хвильове рівняння, що описує розповсюдження світла в кристалі, в якому діелектрична проникність є гармонічно промодульованою внаслідок створення акустичних хвиль. Рішення цього рівняння шукалося як сума власних хвиль середовища. Важливою рисою моделі є урахування членів, обумовлених багатофононними інтеркомбінаційними процесами, що відрізняє її від традиційної задачі бреггівської дифракції на одній звуковій хвилі, де можна було залишити тільки два головні дифракційні порядки.

Враховуючи специфіку використання акустооптичного дефлектора всередині резонатора лазера, було розглянуто геометрії акустооптичної взаємодії для двох протилежних напрямків розповсюдження світла: "прямого", де для однофононних процесів були виконані умови аномальної дифракції, та "зворотнього", де були виконані умови нормальної дифракції. Матеріальні параметри, необхідні для розрахунків, були взяті для кристала TeO_2, що є одним з найпопулярніших та перспективних матеріалів для акустооптичних дефлекторів. Подальші експерименти були також виконані з цим кристалом.

Одним із суттєвих результатів чисельного аналізу одержаної теоретичної моделі стало виявлення гібридної двоступінчастої форми передаточних характеристик головних дифракційних максимумів (рис.1) при дифракції на двочастотній звуковій гратці. Ця форма значно відрізняється від випадку одночастотної гратки: замість кривої, що має один екстремум, одержані криві I_{10} та I_{01} в прямому напрямку, та I_{10} в зворотньому є більш складними і мають широке плато (область II на рис.1) з вузьким провалом всередині (область I). Характерні розміри областей I та II дозволяють стверджувати, що при малих значеннях частотної розстройки f_1-f_2 залежність характерна для аномальної дифракції, а для великих - нормальної. Особливо слід відзначити, що форма залежностей I_{10} є однаковою як для прямого, так і для зворотнього напрямків.

Щоб вивчити фізичні причини виявленого ефекту, було проаналізовано властивості інтеркомбінаційних багатофононних процесів. Було знайдено, що вони мають інтенсивності, порівняльні з інтенсивністю головних дифракційних порядків (рис.1). Причому вони мають також різний характер залежностей: I_{1-1} в прямому та I_{-11} в зворотньому напрямках є вузькополосними, а I_{1-1} в зворотньому напрямку є широкополосною. Роль інтеркомбінаційних багатофононних процесів в формуванні передаточних характеристик для головних дифракційних порядків ясно виявляється, якщо порівняти одержані результати з такими ж, але без урахування цих процесів (пунктир на рис.1). В цьому випадку ми маємо прості широкополосні залежності в прямому напрямку (що характерні для аномальної дифракції), та вузькополосні в зворотньому (що характерні для нормальної дифракції). Важливо вказати, що при урахуванні лише однофононних процесів залежності I_{10} не співпадають та мають суттєво різні характерні розміри. Слід також зазначити, що ефективність дифракції в головні порядки падає для f_1-f_2=0 у випадку урахування багатофононних процесів.

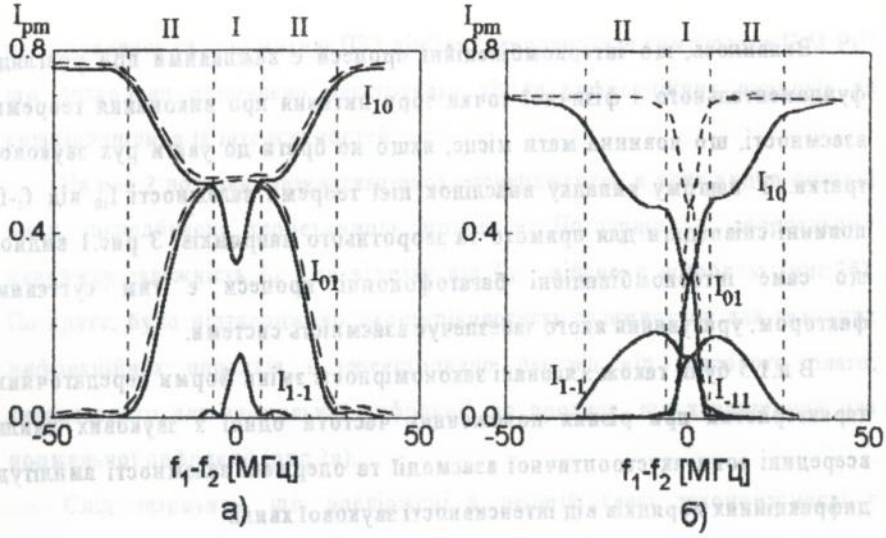

Рис.1. Розраховані залежності інтенсивностей дифракційних максимумів від розстройки частот f_1-f_2 для прямого (а) та зворотнього (б) напрямків розповсюдження світла: —— - з урахуванням багатофононних процесів, --- - без їх урахування.

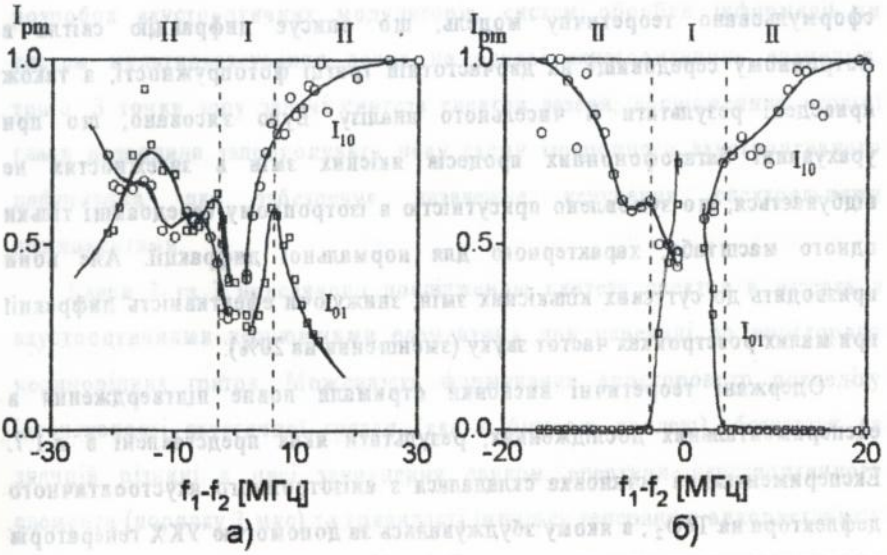

Рис.2. Експериментальні залежності інтенсивностей дифракційних максимумів від розстройки частот f_1-f_2 для прямого (а) та зворотнього (б) напрямків розповсюдження світла.

Виявилось, що інтеркомбінаційні процеси є важливими при розгляді фундаментального з фізичної точки зору питання про виконання теореми взаємності, що повинна мати місце, якщо не брати до уваги рух звукової гратки. У нашому випадку внаслідок цієї теореми залежності I_{10} від f_1-f_2 повинні співпадати для прямого та зворотнього напрямків. З рис.1 видно, що саме інтеркомбінаційні багатофононні процеси є тим суттєвим фактором, урахування якого забезпечує взаємність системи.

В п.1.5 були також з'ясовані закономірності зміни форми передаточних характеристик при різних положеннях частоти одної з звукових хвиль всередині зони акустооптичної взаємодії та одержані залежності амплітуд дифракційних порядків від інтенсивності звукової хвилі.

Розроблений підхід до задачі дифракції на багаточастотній звуковій гратці було також використано для випадку ізотропного середовища. Це корисно як для порівняння наслідків проявлення багатофононних процесів, так і для розробки нових схем акустооптичних елементів. В п.1.6 сформульовано теоретичну модель, що описує дифракцію світла в ізотропному середовищі на двочастотній гратці фотопружності, а також приведені результати її чисельного аналізу. Було з'ясовано, що при урахуванні багатофононних процесів якісних змін в залежностях не відбувається, що зумовлено присутністю в ізотропному середовищі тільки одного масштабу, характерного для нормальної дифракції. Але вони призводять до суттєвих кількісних змін, знижуючи ефективність дифракції при малих розстройках частот звуку (зменшення на 20%).

Одержані теоретичні висновки отримали повне підтвердження в експериментальних дослідженнях, результати яких представлені в п.1.7. Експериментальна установка складалася з анізотропного акустооптичного дефлектора на TeO_2, в якому збуджувались за допомогою УКХ генераторів дві звукові хвилі. Як джерела випромінювання використовувались He-Ne (λ=0.63 мкм) чи YAG:Nd^{3+} (λ=1.06 мкм) лазери. Дифракційні порядки

реєструвались за допомогою ПЗЗ лінійки, керованої від комп'ютера IBM PC, що дозволяло одночасно реєструвати кілька дифракційних порядків та співвідношення їх інтенсивностей.

На рис.2 показані результати двох експериментів, в яких видно основні риси, передбачені теоретичною моделлю. По-перше, в зворотньому напрямку залежність I_{10}, на відміну від I_{01}, дійсно є широкою (рис.2б). По-друге, було підтверджено двоступінчастість залежностей для головних дифракційних порядків і зареєстровано перехід від широкого плато, характерного для аномальної дифракції, до провалу, що характерний для нормальної дифракції (рис.2а).

Слід зазначити, що досліджені в першій главі закономірності є загальними і не залежать від природи граток та хвиль, що взаємодіють. Аналогічні процеси будуть проявлятись також і при взаємодії світла з хвилями заряду, голографічними об'ємними гратками, тощо. Одержані результати є корисними також і для прикладних досліджень, наприклад для розробок акустооптичних модуляторів, систем обробки інформації чи систем мультиплексування даних на основі акустооптичних елементів, тощо. З точки зору задачі синтеза спектра лазера, дослідженння першої глави дозволили запропонувати нову схему ізотропного акустооптичного дефлектора, яка забезпечує незалежне керування спектральними компонентами.

Глави 2 та 3 присвячено дослідженню синтезу спектра в лазерах з акустооптичними керуюючими елементами при переході до просторово неоднорідних граток. Можливість формування просторового розподілу інтенсивності акустичної гратки (яка є бігучою хвилею), базується на значній різниці в часі заповнення звуком апертури акустооптичного елемента (порядку 1 мкс) та тривалості імпульсу генерації в використаних у наших експериментах лазерах (10 нс). Тому в таких умовах випромінювання сприймає акустичну хвилю як статичну діафрагму, форма якої може

електронно перестроюватися за рахунок модуляції радіочастотного сигнала, що збуджує звук.

Другу главу присвячено експериментальному дослідженню метода одержання багаточастотної генерації, який дозволяє регулювати умови виникнення додаткових спектральних компонентів. Як показали попередні роботи, ці компоненти виникають при неавтоколімаційному відбитті світла від дисперсійного елемента та його дифракції на різних акустичних гратках у зустрічних напрямках. Ідея запропонованого методу полягає у використанні просторово неоднорідної багаточастотної акустичної гратки з незалежним регулюванням просторового положення меж парціальних складових. На відміну від попередніх досліджень, де використовувались звукові хвилі, які повністю заповнювали апертуру дефлектора, в запропонованому методи акустичні гратки заповнюють дефлектор лише частково. Оскільки додатковий компонент виникає при взаємодії одночасно між двома гратками, то при зменшенні ступеня просторового перекривання граток він повинен ослаблюватись.

Для реалізації методу була створена експериментальна установка на основі лазера на органічному барвнику, відмінною особливістю якої була система перестроюваних діафрагм. Остання включала кілька УКХ генераторів, сигнал кожного з яких можна було незалежно модулювати генераторами імпульсів.

Виконані експерименти показали ефективність запропонованого методу: у випадку двох звукових граток зменшення ступеня їх перекриття призводило до зменшення амплітуди додаткового компоненту аж до його повного пригнічення. Більш детальне експериментальне вивчення лазерної системи виявило також той факт, що додатковий компонент зникає не при повному розділенні граток, а значно раніше, коли ступінь перекриття дорівнює приблизно 50%.

Було експериментально виявлено різні за характером залежності інтенсивності додаткового компонента від ступеня перекриття звукових граток у випадках позитивної та негативної розстройки звукових частот $\Delta f=f_1-f_2$ (при одночасному збереженні взаємного просторового розподілу акустичних граток). А саме, у випадку $\Delta f<0$ додатковий компонент існує у двох різних діапазонах, коли ступінь перекриття дорівнює 100÷50% та 25÷35%, в той час як для $\Delta f>0$ він спостерігався тільки в першому з них. Крім цього при негативній розстройці частот значною мірою посилюється нестабільність амплітуд спектральних компонентів та їх конкуренція.

На основі вивчених закономірностей в створеній лазерній системі були реалізовані режими трьохчастотної генерації з можливістю незалежного керування параметрами кожного спектрального компонента, причому кількість компонент в спектрі була лімітована тільки кількістю наявних УКХ генераторів. В одному з випадків генерація відбувалася на двох головних компонентах та одному додатковому (пригнічення третього головного компонента виконувалось за методом, запропонованим в попередніх роботах). В другому випадку була одержана генерація на трьох головних компонентах.

В третій главі розглянуто новий підхід до задачі синтеза спектра лазера, який ще не обговорювався в літературі. А саме, до цього часу метою розробок було вивчення фізичних принципів електронного синтезу лінійчатих спектрів (в руслі цього підходу є дослідження глави 2). Іншими словами спектр лазера в цьому випадку складається з кількох дискретних ліній, а керування ним полягає в керуванні частотою та амплітудою кожного з компонентів. При цьому форма окремих ліній не має значення і не контролюється. На відміну від цього, пошук методів формування саме лазерної лінії, що має неперервний спектральний розподіл, а також розробка засобів для їх практичної реалізації становлять головний зміст даної глави.

Для розв'язання задачі синтеза лінії лазера з неперервним спектральним розподілом в дисертації запропоновано метод, основою якого є назалежне задання та перестроювання просторових розподілів фази та амплітуди випромінювання всередині дисперсійного резонатора. Для цього було застосовано функціонально новий керуючий елемент, що складається з лінзового телескопа та акустооптичного просторового модулятора. За рахунок невеликої розстройки телескопа всередині резонатора створювався та міг перестроюватися параболічний просторовий розподіл фази випромінювання (що забезпечувало умови, коли різним областям резонатора відповідали різні спектральні компоненти). За допомогою акустооптичного модулятора створювався просторовий розподіл амплітуди коефіцієнта пропускання, форма якого перестроювалась комп'ютером (що дозволяло регулювати амплітуду кожного спектрального компонента).

Фізичні міркування дозволяють вказати на параметри резонатора, необхідні для ефективного керування параметрами лінії генерації. По-перше, щоб запобігти дифракційному зв'язку між окремими спектральними компонентами, треба мати резонатор з числом Френеля $N_f>1$. По-друге, присутність мод більш високого порядку, ніж TEM_{00}, може значно знизити ефективність керування спектром, що вимушує працювати з резонаторами з числами Френеля $N_f<10$.

Слід відзначити, що ефективна реалізація запропонованого методу можлива лише при застосуванні електронних засобів керування параметрами спектру. Тому спеціально для запропонованої схеми лазера була створена електронна апаратура, керована від комп'ютера IBM PC. Вона складалася з плати модулятора УКХ генератора на основі швидкого АЦП, системи реєстрації спектра випромінювання на основі ПЗЗ лінійки та системи синхронізації. Розроблене програмне забезпечення дозволяло задавати та коректувати модуляційний сигнал та одночасно реєструвати спектр лазера виключно за допомогою комп'ютера.

Виконані експерименти показали ефективність створеної лазерної системи. Була продемонстрована можливість керування тонкою структурою лінії випромінювання, для характеристики якої були вибрані функції від моментів спектрального розподілу - дисперсія, коефіцієнти асиметрії та ексцесу (на рис.3 показано кілька з одержаних спектрів). Крім того запропонований метод дозволяє не тільки перестроювати кілька моментів лінії, а й створювати спектр більш складної структури, аж до переходу до дискретних ліній.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. Теоретично та експериментально встановлено, що при дифракції світла в анізотропному середовищі (кристалі TeO_2) на двочастотній гратці фотопружності крім головних дифракційних порядків з'являються також інтенсивні багатофононні інтеркомбінаційні порядки, найбільш потужні з яких: в прямому напрямку - I_{1-1} , в зворотньому - I_{-11} та I_{1-1}.

2. Показано, що в таких системах існує два типи інтеркомбінаційних багатофононних процесів, а саме з широкополосною (I_{1-1} в зворотньому напрямку) та вузькополосною (I_{-11} в зворотньому та I_{1-1} в прямому напрямках) залежністю від різниці частот звукових хвиль. Вигляд залежності визначається особливостями геометрії взаємодії: вона є широкополосною, коли геометрія переходу на одному з фононів фіксована, та вузькополосною, коли геометрія змінюється для переходів на обох фононах.

3. Теоретично показано, що вимога взаємності передачі хвиль світла в прямому та зворотньому напрямках при дифракції в анізотропному середовищі на багатчастотних гратках різної природи задовольняється лише за рахунок асиметричного вкладу інтеркомбінаційних процесів двох типів в різних напрямках і наближення дифракції Брегга для розглянутої системи є принципово недостатнім.

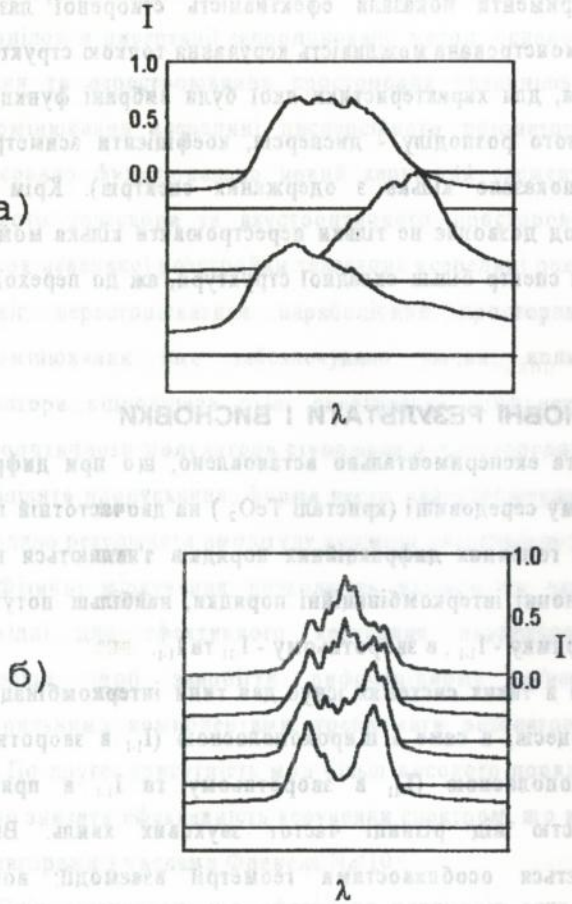

Рис.3. Формування лінії генерації лазера з неперервним спектральним розподілом: а) зміна коефіцієнту асиметрії; б) зміна коефіцієнту ексцеса.

4. Виявлено, що передаточні характеристики головних дифракційних порядків мають гібридну двоступінчасту форму, в якій одночасно виявляються властивості аномальної та нормальної геометрій взаємодії. Ця форма буде визначати важливі риси алгоритму формування спектра в багаточастотному лазері, визначаючи зміну амлітуд спектральних компонент, що викликана перестройкою частоти однієї з них.

5. Встановлено, що при зміщенні фіксованої частоти звуку з центру зони акустооптичної взаємодії форма передаточних характеристик змінюєтся: вона становиться несиметричною за рахунок зсуву широкої частини залежності по відношенню до вузької.

6. Запропоновано нову схему акустооптичного керуючого елемента на ізотропному середовищі, відмінною особливістю якої є геометрія, де різні спектральні компоненти випромінювання падають на елемент під різними кутами. В цій системі кожен компонент дифрагує лише на відповідній йому гратці і не відчуває присутності інших граток поза зоною нормальної дифракції.

7. Експериментально показано, що в лазері з багаточастотною акустичною граткою перехід до просторової модуляції її парціальних компонентів дозволяє одержати дискретний спектр як в режимі генерації двох головних спектральних компонентів (з незалежним керуванням їх частотами та інтенсивностями), так і в режимі двох головних та додаткового компонента (з незалежним керуванням тільки їх інтенсивностями).

8. Знайдено два типи залежності амплітуди додаткового компонента від ступеня перекриття звукових граток; в залежності від знаку різниці частот звукових хвиль цей компонент формується при дифракції на різних звукових гратках або в одному об'ємі, або в різних об'ємах, що не перекриваються.

9. Експериментально реалізовано багаточастотний лазер з назалежним керуванням положення та інтенсивності кожного компонента дискретного спектра; при цьому були реалізовані режими генерації: а) тільки на основних компонентах з пригніченням додаткових; б) на двох основних та одному додатковому компонентах.

10. Експериментально реалізовано комп'ютерно керовану лазерну систему, що вирішує нову задачу синтеза форми лінії випромінювання з неперервним спектральним розподілом. Задання і перестройка форми виконується за рахунок незалежного керування просторовими розподілами амплітуди та фази коефіцієнта пропускання випромінювання всередині дисперсійного резонатора. Експериментально продемонстровано керування основними моментами лінії лазера (дисперсією, коефіцієнтами асиметрії та ексцесу), а також можливість одержання довільної форми спектра на прикладі лінійчатого спектру.

Дисертація основана на матеріалах, опублікованих у роботах:

1. О.Н.Галкин, В.И.Кравченко, Ю.Н.Пархоменко. О дифракции света на многочастотных объемных решетках.- Письма в ЖЭТФ, 1992, т.55, вып.7, с.380-383.

2. O.N.Galkin, V.I.Kravchenko, A.I.Liushenko, Yu.N.Parkhomenko. Light diffraction from multifrequency volume gratings in anisotropic media.- International Journal of Nonlinear Optical Physics, 1994, v.3, №1, p.55-68.

3. О.Н.Галкин, Ю.Н.Пархоменко, Ю.С.Плаксий. Формирование многочастотного спектра перестраиваемого лазера при возбуждении в акустооптическом дефлекторе пространственно модулированных решеток.- Квантовая электроника, 1995, т.22, №2, стр.137-139.

4. О.М.Галкін, В.Й.Кравченко, Ю.М.Пархоменко, Ю.С.Плаксій. Лазер з перестроюваною формою спектра випромінювання.- Український Фізичний Журнал (лист до редакції), 1995, т.40, №9, с.920-921.

5. Y.N.Parkhomenko, O.N.Galkin, O.V.Gorbenko. Laser with spectrum shape control for spectroscopic measurements.- Abstracts of Optical Diagnostics of Materials and Devices for Opto-, Micro- and Quantum Electronics. Kiev, Ukraine. 1995. F-9.

Галкин О.Н.

ФОРМИРОВАНИЕ СПЕКТРА ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА ПРИ ВНУТРИРЕЗОНАТОРНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С МНОГОЧАСТОТНЫМИ И МОДУЛИРОВАННЫМИ ОБЪЕМНЫМИ РЕШЕТКАМИ.

Диссертация является рукописью.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико - математических наук по специальности 01.04.05 - оптика, лазерная физика. Інститут Физики НАН Украины, Киев, 1997.

В работе теоретически и экспериментально исследованы физические особенности дифракции света на многочастотной решетке фотоупругости. Показана важная роль интеркомбинационных многофононных процессов, которые приводят к гибридным двухступенчатым зависимостям коэффициентов передачи волн в основные дифракционные порядки и обеспечивают взаимность системы. Экспериментально изучены закономерности формирования спектра лазера при использовании пространственно неоднородных многочастотных акустических решеток внутри дисперсионного резонатора. Впервые предложен и реализован метод активного формирования структуры линии лазера с непрерывным спектральным распределением, основанный на одновременном управлении пространственными распределениями фазы и амплитуды коэффициента пропускания внутри резонатора. На этой основе созданы лазеры с возможностью активного синтеза дискретного и непрерывного спектра излучения.

Galkin O.N.

FORMATION OF LASER IRRADIATION SPECTRUM USING INTRACAVITY INTERACTION WITH MULTIFREQUENCY AND MODULATED VOLUME GRATINGS.

Thesis is manuscript.

Thesis is submitted as fulfillment of the requirements for Ph.D. degree in speciality 01.04.05 - optics, laser physics. Institute of Physics of the NAS of Ukraine, Kyiv, 1997.

In thesis, the physical peculiarities of light diffraction on multifrequency sound grating have been investigated theoretically and experimentally. The important role of the intercombined multiphonon processes has been shown. These processes give rise to the hybrid two-step dependencies of the wave's transmission coefficients into main diffraction orders and ensure the validity of the Reciprocity Theorem. The formation of laser spectrum using the spatially nonuniform multifrequency sound gratings inside the dispersive resonator has been investigated experimentally. The method of active shaping of the laser line structure with the continuous spectral distribution has been proposed and realized for the first time. It is based on simultaneous control of the phase and amplitude distributions of the transmission coefficient in resonator. On the basis of these studies the lasers with the possibilities of active synthesis of the discrete and continuous irradiation spectra have been created.

Ключові слова: електронно перестроювані лазери, синтез спектра лазера, багаточастотні та просторово неоднорідні об'ємні гратки, багатофононні інтеркомбінаційні процеси, акустооптична взаємодія, внутрішньорезонаторна взаємодія, акустооптичний дефлектор.

Підписано до друку 13.03.97 Формат 60х84/16.
Друк офсетний. Умовн. друк. арк. 1,395.
Зам. 7-0386. Тираж 100 прим.
Надруковано у "Поліграфцентрі Київського університету
ім. Тараса Шевченка"
252017, Київ, бульвар Т.Шевченка, 14
тел. 224-01-05

Ав 37.746