

Академія наук України
Інститут фізики напівпровідників

На правах рукопису

Л. Березинський -

БЕРЕЖИНСЬКИЙ Леонід Мосипович

СПЕКТРОСКОПІЯ МОЛЕКУЛЯРНИХ ІОНІВ
ТА ЕЛЕМЕНТАРНИХ НОСІВ ЗАРЯДУ В КРИСТАЛАХ

01.04.10 - фізика напівпровідників та діелектриків

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук

Київ 1994

ЛНБ України ім. В. Стефаника
00801531 (1)

АВ 29.443

Дисертацією в рукопис.

Робота виконана в Інституті фізики напівпровідників АН України

- Офіційні опоненти :
- доктор фізико-математичних наук,
професор САЛЬКОВ Євген Андрійович
 - доктор фізико-математичних наук,
професор ОХРІМЕНКО Борис Андрійович
 - доктор фізико-математичних наук,
професор ІВАНОВ Михайло Олексійович

Провідна організація: Інститут фізики АН України, м. Київ.

Захист відбудеться "29" квітня 1994 р. о 14 год. 15 хв.
на засіданні спеціалізованої ради Д 01.16.25.01 при Інституті
фізики напівпровідників АН України за адресою: 252650 МПС
Київ-28, проспект Науки, 45.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту
фізики напівпровідників АН України за адресою: Київ-28,
проспект Науки, 45.

Автореферат розісланий "18" березня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

ІЩЕНКО С.С.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Практична реалізація ефекту індукованого випромінювання і поява лазерів мала великий вплив на розвиток різних галузей науки і техніки. Чудові властивості лазерного випромінювання забезпечують широкі можливості його практичного використання в усіх галузях людської діяльності: науки, техніки, медицини. Особливо широкі перспективи застосування лазерів відкрились в галузі зв'язку та обробки інформації. Висока частота оптичного випромінювання ($\sim 10^{15}$ Гц) дозволяє переносити і обробляти великі масиви інформації. Наприклад, в інтервалі $\Delta\lambda = 1 \text{ \AA}$ оптичного діапазону можна розмістити більше 2 млн звукових каналів або 10 тис. телевізійних.

Освоєння оптичного діапазону для зв'язку та оптичної обробки інформації привело до виникнення нових галузей науки і техніки. Виникла і одержала широкий розвиток нелінійна оптика, яка досліджує оптичні властивості середовищ в потужних світлових полях. Для здійснення і технічної розробки різних пристроїв (модуляторів, шифраторів, записуючих і відтворюючих модулів і т.п.) необхідні матеріали з відповідними оптичними властивостями, високою променевою міцністю, великою швидкістю.

Оптична обробка інформації - це широкий напрямок, що включає фізичні процеси та відповідні пристрої, які забезпечують, перш за все, перенос інформації на електромагнітне випромінювання оптичного діапазону, потім її передачу, реєстрацію, трансформацію та різні перетворення, запис, відтворення та відображення. Результати досліджень і розробок, представлених в дисертації, попадають в одну з ланок вказаного ланцюжка.

Дослідження оптичних властивостей (електронних, коливальних і обертальних спектрів) кристалів та інших середовищ з метою з'ясування можливостей їх використання для рішення відповідних задач оптичної обробки інформації мають першочергове значення. Це обумовлено тим, що будь-які зміни в оптичних спектрах, що виникають під дією електромагнітного випромінювання, в принципі можна вважати як запис інформації.

Знання про фононні спектри кристалів мають важливе значення для пояснення процесів міжатомної взаємодії, що мають місце в кристалі і визначають його фізичні властивості. Ці знання одержу-

ють шляхом аналізу інфрачервоних спектрів (ІЧ) та спектрів комбінаційного розсіювання (КР) світла на основі теоретико-групових уявлень. Цьому питанню в дисертації надано особливу увагу. Найбільш поширений спосіб проведення теоретико-групового аналізу Багавантама дуже складний і громіздкий, тому в роботі перевага надається більш простішому способу-кореляційних діаграм. Показано, що на його основі для будь-якого кристалу дуже легко і просто одержати набір кристалічних коливань за типами симетрії, користуючись даними про просторову групу кристалу і локальну групу симетрії атомів в елементарній комірі. При цьому використовуються лише довідкові і табличні дані, що містяться в науковій літературі (наприклад /1/).

В дисертації на великій кількості прикладів показані переваги кореляційного методу, його простота і доступність для широкого кола експериментаторів. Запропоновано простий спосіб "розсіпки" одномірних атомних коливань по незвідним представленням фактор-групи кристалу, що здійснюється при побудові відповідних кореляційних діаграм.

Введення домішок в кристалічну ґратку спотворює її фонний спектр, оскільки фонони суттєво впливають на оптичні властивості, то стає ясним, що вивчення коливальних спектрів дефектних кристалів продиктовано також вимогами їх практичного застосування.

Деякий інтерес викликають кристали з домішковими молекулярними іонами, оскільки такі утворення зберігають свою індивідуальність в чужерідній для них ґратці, а їх внутрішні коливання, взаємодіючи з кристалічними, несуть на собі інформацію про характер цієї взаємодії. Крім того, дослідження електронно-коливальних спектрів домішкових молекул (іонів) мають велике значення для теорії твердотільних лазерів, тому що схема рівней квантового генератора - це перш за все схема електронно-коливальних рівней, а теорія контура спектральної лінії, на якій працює кристалічний лазер, це теорія контура електронно-коливальної смуги.

Особливий інтерес викликають дослідження молекулярних центрів в лужно-галоїдних кристалах (ЛГК). Це обумовлено тим, що в цих кристалах можуть утворюватись одні і ті ж дефекти як шляхом жорсткого γ -випромінювання, так і шляхом розпаду електронних станів, що збуджуються видимим або УФ світлом. Тому ЛГК можна вважати не тільки як модельні кристали для вивчення процесів дефектоутворення

і взаємного їх перетворення, але і як хороші об'єкти для розробки радіаційно-чутливих твердотільних запам'ятовувачів інформації середовищ. ЛПК з молекулярними центрами (домішкові іони або центри забарвлення) є активним середовищем для лазерів, що генерують в області 1-4 мкм. Крім того, ЛПК з центрами забарвлення є середовищем здатним для запису інформації.

В дисертації на прикладі іона SO_4^{2-} вивчені механізми взаємодії внутрішньомолекулярних коливань, які по відношенню до фононного спектру кристала є локальними, як між собою, так і з коливаннями ґратки. Розглянуто зміни, які спостерігаються в електронному і коливальному спектрах ЛПК з домішковими іонами NO_2^- та NO_3^- при опроміненні їх УФ випромінюванням, а також одержано ефект оптичного запису інформації на кристалі KCl з $F_A(Li)$ -центрами.

Результати досліджень впливу випромінювання міліметрового діапазону на оптичні характеристики кристалів, що виконані в дисертації, взагалі є піонерськими. Актуальність таких досліджень обумовлена використанням мм-випромінювання в медицині при лікуванні деяких хвороб, а також особливості їх дії на біоб'єкти. Слід зауважити, що спектроскопічні дослідження твердих тіл в мм і субмм діапазонах досить малочисельні із-за складності методики проведення експериментів та складності самої техніки вимірів. Тому такі роботи є надбанням крупних наукових центрів, наприклад ІЗФАН Росії

Приблизно до 60-х років субмм область вважалась "провалом" в шкалі електромагнітних хвиль, тому що проведення спектральних досліджень в цій області було неможливо із-за відсутності відповідних джерел випромінювання. Але і поява генераторів випромінювання мм і субмм діапазонів не скасувала труднощі досліджень. Методична складність полягає в тому, що довжина хвилі випромінювання сорозмірна з характерними розмірами елементів вимірвальної схеми - лінз, віконць, діафрагм, зразків і т.п. Тому практично всі установки субмм техніки мають резонансні властивості. Себто будь-які зміни у вимірюючому тракту - невеличкі зміщення зразка, приймача, зміна віддалей між елементами тракту - обов'язково змінюють апаратну функцію спектрометра, що приводе до спотворення одержаних результатів. Враховуючи сказане, будь-яка інформація про властивості кристалів в мм області спектра представляє відповідну наукову і практичну цінність. Результати, одержані в дисертації, по ре-

зонансному відгуку молекулярних кристалів на дію мм випромінювання виконані вперше в світі.

Використання лазерного випромінювання для передачі інформації вимагає відповідних пристроїв, здатних "посадити" необхідну інформацію на світловий промінь, вилучити її з нього, здійснити необхідні перетворення та відобразити інформацію на табло або екрані. Ці задачі вирішуються за допомогою різних модуляторів та світлово-промінюючих структур, перетворюючих електричний сигнал в світловий.

Використання лазерів ІЧ діапазону в системах зв'язку і оптичної обробки інформації вимагає розробки пристроїв, що управляють такими параметрами лазерного випромінювання як амплітуда, частота або фаза, а також просторовим положенням променя. Робота відповідних пристроїв (модулятори, дефлектори) основана на використанні електрооптичного або акустооптичного ефектів.

Для передачі великих об'ємів інформації від модуляторів вимагається висока швидкодія ($\sim 10^{-8}$ с). Хоча електрооптичний та акустооптичний ефекти малоінерційні і швидкодіючі (наприклад, промислові модулятори МЛ-7, МЛ-8 мають полосу частот 100 МГц), однак практичне здійснення таких високих частот утруднено із-за дуже великої напівхвильової напруги (для електрооптичного ефекту) або великої звукової потужності, що вводиться в модулятор на акустооптичному ефекті. До того ж, модулятори, що працюють на електрооптичному ефекті, мають недостатнє пропускання і малу апертуру. (Наприклад, в МЛ-7 або МЛ-8 використовується кристал GaAs довжиною 8-10 мм і перерізом 3 x 3 мм). Тому розробка високоефективних модуляторів, один з яких виконано в дисертації, з великою апертурою, з високою швидкістю (10^{-8} с) і малими керуючими напругами ($E = 5-10$ В) дуже актуальна і має велику практичну цінність.

—Мета роботи. Дослідження процесів, що приводять до змін в електронних та коливальних спектрах кристалів при їх опроміненні електромагнітним випромінюванням, та з'ясування можливостей використання цих процесів в системах оптичної обробки інформації.

Для досягнення цієї мети

—розглянуто теоретико-групові методи аналізу коливальних спектрів кристалів,

—розглянуто механізми уширення смуг поглинання локальних коливальних домішкових молекулярних центрів та досліджено температурну

залежність коливань домішкового іону SO_4^{2-} .

-досліджено фотоперетворення в коливальних спектрах лужно-галогідних кристалів з домішковими іонами NO_3^- та NO_2^- , що виникають при їх опроміненні УФ світлом,

-досліджено зміни в електронних спектрах ЛГК з домішковими іонами NO_2^- і NO_3^- при УФ опроміненні та розглянуто механізми утворення H^- , V_K - і V_2 -центрів при їх взаємному перетворенні,

-розглянуто процес оптичного запису інформації на $F_A(L1)$ -центрах в кристалах KCl,

-досліджено зміни в коливальних спектрах молекулярних кристалів, що виникають при опроміненні їх електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону,

-проведено дослідження по з'ясуванню можливостей управління параметрами лазерного випромінювання за допомогою електронно-дірочної плазми в напівпровідниках, що знаходяться у схрещених \vec{E} та \vec{H} полях.

Наукова новизна.

1. Показана перевага кореляційного метода аналізу коливальних спектрів кристалів порівняно з стандартним теоретико-груповим методом Багавантама-Венкатарайуду.

2. При розподілі простих одновимірних атомних коливань по незвідним представленням фактор-групи кристалу запропоновано за параметр розподілу використовувати квадрат розмірності представлень фактор-групи.

3. Показано, що характер повного механічного представлення для операції симетрії ($R_\phi | \tau_\phi \neq 0$), що включає часткову трансляцію $\tau_\phi \neq 0$, не завжди дорівнює нулю.

4. Вперше експериментально доведено існування модуляційного механізму уширення смуг локального коливання домішкового молекулярного іона, що обумовлений взаємодією цього коливання з іншими низькочастотними локальними або квазілокальними коливаннями.

5. Показано, що "випалювання" смуги коливання ν_3 домішкового іону NO_3^- , що спостерігається в кристалах KBr(NO_3^-) і KI(NO_3^-) при УФ опроміненні, відбувається внаслідок зниження симетрії іону NO_3^- , яке обумовлено утворенням поблизу молекулярного іону дефектів кристалічної ґратки.

6. Показано, що домішкові молекулярні іони NO_2^- в ЛГК є ефек-

тивними ловушками електронів, що полегшує утворення автолокалізованих дірок (V_K -центрів) при УФ опроміненні.

7. Експериментально показано, що під дією низькоенергетичних квантів електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону в молекулярних об'єктах (кристал, розчин) спостерігається зміна показника заломлення в видимій та ІЧ областях спектру.

8. Вперше на молекулярних кристалах α -гліцину і β -аланіну в області коливальних переходів групи NH_3^+ зареєстровано резонансний відгук кристалу на дію міліметрового випромінювання.

Практична цінність роботи полягає в наступному:

1. Показано, як простим і доступним засобом, який базується на методі кореляційних діаграм, користуючись тільки табличними (довідковими) даними, можна одержати повний набір кристалічних коливань по типам симетрії фактор-групи кристалу. При цьому нема необхідності розглядати модель кристалічної ґратки та слідкувати за переміщеннями атомів в просторі при відповідних операціях симетрії

2. Здійснено оптичний запис інформації на $F_A(L1)$ -центрах в кристалі KCl.

3. Розроблено модулятор та дефлектор лазерного випромінювання ІЧ діапазону, що мають високу швидкодію ($\sim 10^{-8}$ с) і низькі управлєві напруги (5-10 В).

4. Запропоновано простий і ефективний засіб модуляції добротності резонатора CO_2 -лазера за допомогою обертаючогося інтерферометра Фабрі-Перо.

5. Запропоновані світлодіоди з управлєним кольором висвітлення в синьо-зеленій області спектру.

Положення, що виносяться на захист

1. При проведенні теоретико-групового аналізу коливальних спектрів кристалів на основі позиційної симетрії атомів повний набір кристалічних коливань по типам симетрії можна одержати шляхом розподілу простих одномірних атомних коливань по незвідним представленням фактор-групи кристалу, використовувачи як параметр розподілу квадрат розмірності незвідних представлень.

2. Модуляційний механізм уширення смуги локального коливання домішкового молекулярного іону, обумовлений взаємодією цього коливання з іншими локальними і квазілокальними коливаннями, відіграє важливу роль при температурах, коли низькочастотні локальні і ква-

вілокальні коливання суттєво збуджені.

3. В ЛПК з домішковими молекулярними іонами NO_3^- під дією УФ випромінювання відбувається "випалювання" смуги коливання ν_3 внаслідок зниження симетрії іону і утворення поблизу нього дефектів кристалічної ґратки

4. В кристалах $\text{KBr}(\text{NO}_2^-)$ і $\text{KI}(\text{NO}_2^-)$ утворення автолокалізованих дірок (V_K -центрів) відбувається не тільки при наявності аніонних вакансій, але і за допомогою іонів NO_2^- , які є ефективними ловушками електронів.

5. В кристалах $\text{KBr}(\text{NO}_2^-)$ і $\text{KI}(\text{NO}_2^-)$ утворення лінійних трьохчастинкових V_2 -центрів, може відбуватись не тільки при взаємодії Н-центрів між собою, але і при взаємодії Н- і V_K -центрів.

6. Електромагнітне випромінювання міліметрового діапазону, діючи на молекулярні кристали (α -гліцину, β -аланіну, тригліцинсульфату), сприяє утворенню колективних збуджень, які знаходять своє відображення в зміні компонент тензора діелектричної сталості (ϵ_{ij}) і зміні відбивальної здатності кристалів в смугі деформаційного коливання NH_3^+ .

7. Електронно-діркова плазма в напівпровідниках з біполярним типом провідності (наприклад InSb), в яких реалізується магнітоконцентраційний ефект, є зручним середовищем для управління параметрами лазерного випромінювання ІЧ діапазону. При цьому може бути забезпечена висока швидкодія ($\sim 10^{-8}$ с) і низькі управлячі напруги (5 - 10 В).

Достовірність одержаних результатів основана на використанні високоякісної спектральної апаратури і сучасних методів електронної реєстрації сигналів. В оптичних дослідженнях використані прилади СДІ-І, ДС-24, ІЧ спектрофотометр Jasco DS-402G (Японія) в електронними методами синхронного детектування і з лічильниками фотонів. Одержані результати порівнювались з даними теоретико-групового аналізу або з виконаними теоретичними оцінками. Враховувались похибки і розбіг вимірів, які завжди були менші від величини спостерігаємих ефектів, приймався до уваги фізичний смисл одержаних результатів і їх співвідношення з літературними даними.

Публікації. Основні результати дисертації викладені в 44 наукових статтях, що опубліковані в ведучих вітчизняних та зарубіжних журналах, і 5 авторських свідоцтвах.

Апробація роботи. Матеріали, що увійшли в дисертацію, доповідались і обговорювались на різних симпозиумах і конференціях: XVII Всесоюзний з'їзд по спектроскопії (Мінськ 1971), Міжнародна конференція по молекулярній спектроскопії (Вроцлав, Польща 1972), XI Європейський конгрес по молекулярній спектроскопії (Талін, 1973), I Всесоюзна конференція по комбінаційному розсіяню світла (Київ, 1975), Міжнародна конференція "Аморфні напівпровідники" (Пардубиці Чехословаччина, 1978), XX Всесоюзний з'їзд по спектроскопії (Київ, 1988), Міжнародна конференція по спектроскопії (Софія, Болгарія, 1989), XIX Європейський конгрес по молекулярній спектроскопії (Дрезден, Німеччина, 1989), I Український симпозиум "Фізика і техніка міліметрових і субміліметрових радіохвиль" (Харків, 1991), Міжнародний симпозиум по електромагнітній сумісності (Вроцлав, Польща, 1992), I Всесвітній конгрес "Електрика і магнетизм в біології" (Флоріда, США, 1992), Міжрегіональний симпозиум "Структурно динамічні процеси в невідпорядкованих середовищах" (Самарканд, 1992), Міжнародний симпозиум "Лазери і їх застосування в науці, техніці та медицині" (Лос-Анжелес, США, 1993), Міжнародна конференція по ІЧ і ММ хвилям (Colchester, Англія, 1993). Результати досліджень регулярно доповідались на республіканській школі-семінарі "Спектроскопія молекул та кристалів" в 1988-1993 рр.

Особистий внесок автора. В дисертаційній роботі узагальнені результати досліджень, виконаних автором особисто або з співробітниками, що працювали під його керівництвом. В роботах, що увійшли в дисертацію, автору належить ініціатива у постановці задач, безпосередня участь в їх виконанні і одержанні результатів, провідна роль в узагальненні та інтерпретації цих результатів.

Основна частина одержаних результатів доповідалась особисто автором на наукових конференціях та семінарах.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох глав і заключення. Вона містить 226 сторінок, в тому числі 57 ілюстрацій та список літератури із 135 назв.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дана загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета досліджень, наукове і практичне значення одержаних результатів, викладено основні положення,

що виносяться на захист.

— В першій главі дисертації розглянуто методи теоретико-групового аналізу коливальних спектрів кристалів, а саме стандартний метод Багавантама і метод кореляційних діаграм. Поскілки кореляційна діаграма встановлює відповідність між незвідними представленнями локальної групи симетрії атома і фактор-групи кристалу, то це дає можливість встановити як зміщуються атоми в тому чи іншому кристалічному коливанні. Враховуючи, що нормальне коливання кристалу є лінійна комбінація прстих зміщень окремих атомів, в роботі вирішується обернена задача — одержати набір кристалічних коливань за типами симетрії шляхом розподілу прстих коливань атомів між незвідними представленнями фактор-групи.

Найбільші труднощі і неоднозначність такого розподілу виникають у випадку кореляції C_1-G_1 (G_1 -фактор-група кристалу), коли група G_1 містить двомірні (E) або тримірні (F) представлення. В роботі показано, що неоднозначність усувається якщо за параметр розподілу взяти квадрат розмірності представлень фактор-групи.

В дисертації наведено багато прикладів використання кореляційного методу для аналізу і інтерпретації коливальних спектрів кристалів і показано його переваги порівняно із стандартним методом Багавантама. Наприклад, для шаруватого напівпровідника $A\text{v}_2\text{S}_3$ використання кореляційного методу дало змогу з'ясувати дублетний характер його коливального спектру, а також розходження в поляризаційних спектрах $K\text{P } Z(Y\text{Y})X$ і $Z(XZ)X$.

Завдяки тому, що при прведенні аналізу кореляційним методом, нема потреби визначати кількість атомів, що залишаються на місці при відповідній операції симетрії, він запобігає деяких труднощів і "казусів", які виникають при використанні стандартного методу. В роботі це ілюструється на прикладі кристалів AgO і N_2O_2 просторової групи симетрії C_{2h}^5 . Ці кристали мають однакову ґратку з однаковим числом атомів в елементарній комірці: AgO містить 4, а N_2O_2 2 формульних молекули (тобто по 8 атомів). Але розташування атомів в комірках різне. В кристалі AgO атоми знаходяться в точках $\text{Ag}(1)-C_1(2)$, $\text{Ag}(2)-C_1(2)$, $\text{O}-C_1(4)$. А в кристалі N_2O_2 всі вісім атомів N і O знаходяться в точках симетрії C_1 . Щоб провести стандартний теоретико-груповий аналіз для цих кристалів, треба визначити характер $\chi(R_\phi)$ повного механічного представлення Γ_M для всіх операцій

симетрії R_φ групи C_{2h}^5 , а потім розкласти їх за допомогою відповідних формул по незвідним представленням фактор-групи кристалу. При цьому характер $X(R_\varphi)$ визначається по відомій формулі

$$X(R_\varphi) = n(R_\varphi)(\pm 1 + 2\cos\varphi),$$

де $n(R_\varphi)$ число нерухомих атомів при операції симетрії R_φ .

В багатьох монографіях та посібниках з теорії груп (наприклад /1/) зазначається, що для операцій симетрії, які містять часткові трансляції $\tau_R \neq 0$, виконується рівність $n(R_\varphi) = 0$, бо часткова трансляція не приводить до співпадиння конгруентних атомів. З монографії /2/ відомо, що всі елементи симетрії групи C_{2h}^5 містять часткові трансляції і тому, виходячи з зазначеного вище положення, характери Γ_M всіх елементів симетрії, крім тотожного (E), для кристалів AgO і N_2O_2 будуть нулі. Характер елемента E дорівнюватиме $3n(R_\varphi) = 24$ і буде однаковим для обох кристалів. Якщо Γ_M розкласти по незвідним представленням групи C_{2h}^5 , то одержимо однаковий для обох кристалів набір коливань по типам симетрії

$$\Gamma = 6A_g + 6B_g + 6A_u + 6B_u.$$

Але ж розташування атомів в елементарній гратці кристалів AgO і N_2O_2 різне, отже і набори мусять бути різними, чого не дає стандартний метод аналізу.

Якщо виконати аналіз за кореляційним методом, то результати дійсно різні, а саме:

$$\Gamma_{AgO} = 3A_g + 3B_g + 9A_u + 9B_u; \quad \Gamma_{N_2O_2} = 6A_g + 6B_g + 6A_u + 6B_u$$

В дисертації показано, чому виникає така невідповідність між двома методами. Показано, що не зважаючи на те, що операція симетрії $I|(a_2+a_3)/2$ містить часткові трансляції, в кристалі AgO існує 4 атоми A_g , що інваріантні відносно неї, тобто при вказаній операції інверсії залишаються на місці. Це означає, що рівність $X(R_\varphi | \tau_R \neq 0) = 0$ не завжди виконується.

Така саме ситуація спостерігається в кристалі CuF_2 групи симетрії C_{2h}^5 , а також в цілому ряді кристалів групи D_4^4 , всі елементи якої містять часткові трансляції /2/.

На прикладі кристалу TeO_2 (група симетрії D_4^4) показано, що для нього неможливо виконати стандартний аналіз, користуючись даними монографії /2/. Цей кристал містить в елементарній комірниці 4 формульних молекули (12 атомів), і поскільки всі елементи групи

D_4^4 містять часткові трансляції /2/, то при виконанні рівності $\chi(R_\varphi | \tau_R \neq 0) = 0$ всі характери Γ_M будуть нулі. Єдиним не нульовим буде характер тотожного елемента $\chi(E) = 3N$ (N -число атомів в елементарній комірниці). Для TeO_2 будемо мати $\chi(E) = 36$ і розклад Γ_M по незвідним представленням фактор-групи стає неможливим, тому що $\chi(E)$ не кратно порядку групи, який дорівнює 8.

Проведення теоретико-групового аналізу для TeO_2 кореляційним методом не викликає ніяких труднощів і, як показано в роботі, виконується легко і просто. В роботі також показано, що в ґратці кристалу TeO_2 існують атоми Te , що інваріантні відносно деяких операцій симетрії, які містять часткові трансляції, і правило $\chi(R_\varphi | \tau_R \neq 0) = 0$ для них не виконується.

Треба зазначити, що серед елементів симетрії групи D_4^4 , що одержані із міжнародних таблиць /3/, є елементи, які не містять часткових трансляцій на відміну від даних /2/. Це дає можливість виконати стандартний теоретико-груповий аналіз для TeO_2 , який в цьому випадку дає результат тотожний з кореляційним методом.

В другій главі викладені результати досліджень домішкових молекулярних іонів CrO_4^{2-} , SO_4^{2-} , NO_2^- і NO_3^- в лужно-галогідних кристалах (ЛГК).

Оскільки іони мають просторову структуру, виникає питання як вони деформуються і змінюють свою симетрію, коли попадають в кристалічну ґратку? Для іонів CrO_4^{2-} (SO_4^{2-}) різні моделі домішкових центрів, що утворюються при зарядовій компенсації як за рахунок двохвалентних катіонів M^{2+} ($M = \text{Ca}, \text{Mg}, \text{Ba}, \text{Sr}$), так і за рахунок галогідних вакансій. При цьому за допомогою теорії груп показано як із зниженням симетрії молекулярних іонів трансформуються їх внутрішньомолекулярні коливання, що експериментально спостерігається в інфрачервоних спектрах поглинання. Показано, що енергетично найбільш доцільним утворенням є комплекс CrO_4^{2-} (SO_4^{2-}) - M^{2+} симетрії C_{2v} , в якому CrO_4^{2-} (SO_4^{2-}) і катіон M^{2+} займають в ґратці сусідні вузли галоїда і лужного металу відповідно. Показано також, що при вирощуванні ЛГК з іонами CrO_4^{2-} (SO_4^{2-}) останні вбудовуються в ґратку саме так, використовувачи іони двохвалентних металів, що присутні в розплаві як неконтрольоване забруднення. Коли ж іони M^{2+} будуть використані повністю, утворяться центри симетрії C_{3v} , в яких компенсація відбувається за рахунок галогідних вакансій. Це

приводє до якісної різниці спектрів поглинання цих іонів на початку росту кристалу і в кінці.

Проникнення молекулярних іонів в кристалічну матрицю приводє до суттєвої перебудови коливальних спектрів обох підсистем. В більшості випадків високочастотні внутрішньомолекулярні коливання можна вважати локальними коливаннями домішкового кристалу. Особливий інтерес викликає характер взаємодії внутрішньомолекулярних коливань між собою і з іншими коливаннями ґратки. Особливості цієї взаємодії проявляються в температурній залежності ширин смуг поглинання локальних коливань.

В роботі було досліджено температурну залежність високочастотних внутрішньомолекулярних коливань іону SO_4^{2-} в комплексі з Ca^{2+} в кристалі KCl. Порівнянням експериментальних результатів з теоретичними кривими, побудованими по формулам, враховуючим різні механізми уширення смуг поглинання високочастотних локальних коливань, було доведено, що існує механізм уширення, обумовлений флуктуаційною модуляцією частоти локального коливання з боку низькочастотних локальних або квазілокальних коливань домішкового іону. При високих температурах, коли заселенність цих низькочастотних коливань дуже велика, цей механізм дає найбільший внесок в уширення відповідних смуг поглинання.

В роботі викладено результати досліджень фотохромного ефекту на молекулярному іоні NO_3^- в матрицях ЛК при ультрафіолетовому (УФ) опроміненні. Досліди було виконано на кристалах KI, KBr і KCl, легованих іонами NO_3^- , що вводилися в розплав під час вирощування кристалу методом Чохральського. При опроміненні таких кристалів УФ промінням поглинання в смузі коливання ν_3 іону NO_3^- зменшується. Опромінення кристалу KI (NO_3^-) на протязі двох годин досить, щоб смуга коливання $\nu_3 = 1373 \text{ см}^{-1}$ повністю зникла. Нагрів кристалу до $400-450^\circ\text{C}$ з послідовним повільним охолодженням до кімнатної температури приводє до повного відтворення початкового спектру. В ряду матриць KI \rightarrow KBr \rightarrow KCl найбільш ефективно процес іде в кристалі KI, який має найбільшу сталу ґратки. Дослідами по опроміненню кристалів γ -квантами і УФ при різних умовах доведено, що "випалювання" смуги ν_3 іону NO_3^- під дією УФ опромінення відбувається внаслідок зніження симетрії іону NO_3^- , обумовленого утворенням поблизу домішкового іону дефектів кристалічної ґратки.

З метою з'ясування природи дефектів, що утворюються при УФ опроміненні ЛТК з іонами NO_2^- і NO_3^- , було досліджено поглинання в області електронно-коливальних переходів NO_2^- . Досліди показали, що в цьому випадку в кристалах $\text{KBr}(\text{NO}_2^-)$ і $\text{KI}(\text{NO}_2^-)$ виникають нові смуги поглинання, максимуми яких знаходяться при 270 і 385 нм в KBr та 290 і 410 нм в KI .

Відомо, що в чистих ЛТК під дією γ і УФ радіації можуть утворюватись Н- і V_K -центри, які уявляють собою двогалогідні сполуки. Н-центр - це два галоїда, один з яких нейтральний, розташовані в одному галоїдному вузлі ґратки. V_K -центр має такий же склад, але займає одночасно два галоїдних вузла. Спектральне положення Н- і V_K -центрів дуже близьке: 380 і 385 нм в KBr та 446 і 400 нм в KI відповідно. Проте температури існування цих центрів різні: Н-центри розпадаються при $T \sim 50-60$ К, а V_K -центри відпалюються при 170 - 210 К. Проведені в роботі температурні дослідження показали, що в нашому випадку спостерігаються смуги поглинання, які належать V_K -центрам. Але для утворення V_K -центрів потрібна наявність галоїдних вакансій, і, якщо останні спеціально не створюються, їх концентрація дуже мала. В роботі показано, що іон NO_2^- є ефективною ловушкою електронів, і тому, захоплюючи електрон від збудженого УФ радіацією екситону, він сприяє утворенню V_K -центрів.

Досліди температурної залежності інтенсивностей смуг поглинання, наведених УФ опроміненням, показали, що в кристалах KBr в інтервалі температур 4-170 К і в кристалах KI ($T=4-110$ К) Н- і V_K -центри взаємодіють між собою з утворенням V_2 -центрів. V_2 - це лінійний центр, що містить 3 атома галоїда. Один з них іонізований, а два інших нейтральні. Центр займає два аніонних вузла ґратки і один катіонний. Показано, що створення V_2 -центрів і їх спостереження стало можливим завдяки присутності в кристалах іонів NO_2^- .

В роботі проведено досліді по реалізації оптичного запису інформації в кристалах KCl з $F_A(Li)$ -центрами. $F_A(Li)$ -центр лінійний, витягнутий вздовж одного з напрямків $[100]$, $[010]$, $[001]$. Присутність іону Li знижує симетрію F-центра і приводить до розщеплення його полоси поглинання в електронному спектрі на дві: F_{A1} ($\lambda_{\text{max}} = 6020 \text{ \AA}$) і F_{A2} ($\lambda_{\text{max}} = 5500 \text{ \AA}$). Поляризація переходу F_{A1} паралельна зв'язку F-центр - іон Li , а поляризація смуги F_{A2} перпендикулярна цьому напрямку.

Виходячи з того, що $F_A(Li)$ -центр лінійний і розташований вздовж одного з вказаних вище напрямків, на ньому було реалізовано оптичний запис інформації, використовуючи механізм оптичної переорієнтації. Це зумовлено різними швидкостями оптичної переорієнтації в основному і збудженому станах. Темнова переорієнтація $F_A(Li)$ -центру практично відсутня, бо бар'єр переорієнтації в основному стані ~ 1 еВ. В збудженому електронному стані цей бар'єр настільки малий, що навіть при низьких температурах спостерігається переорієнтація.

Запис інформації здійснювався на довжині хвилі 5106 Å (випромінювання Cu-лазера), що попадає в полосу F_{A2} , в поляризації [100]. Попадаючи в збуджений стан і здійснюючи переорієнтацію в напрямку [100], центри будуть випадати з подальшого процесу поглинання, бо в цьому випадку площина поляризації переходу F_{A2} перпендикулярна поляризації падаючого світла. Таким чином через деякий час опромінення більшість центрів будуть переорієнтовані паралельно напрямку поляризації падаючого світла, тобто [100]. Якщо на шляху падаючого світла розмістити транспорант, то відбувається запис його зображення.

Відтворення записаного зображення здійснювалось випромінюванням He-Ne лазера ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$) з поляризацією [100], яке попадає в смугу поглинання F_{A1} . Оскільки поляризація випромінювання He-Ne лазера співпадає з напрямком, в якому зелене (записуюче) світло зорієнтувало більшість $F_A(Li)$ -центрів, тобто співпадає з поляризацією F_{A1} смуги, то в цих місцях на довжині хвилі 6328 Å буде спостерігатись велике поглинання. В тих же місцях, де не відбувалась дія записуючого світла, буде рівномірне розподілення $F_A(Li)$ -центрів по всім трьом напрямкам, і тому там швидко наступить просвітлення. Тобто в червоному світлі буде спостерігатись картина обернена тій, що була в зеленому (записуючому) світлі.

Роздільна здатність запису залежить від однорідності розподілу $F_A(Li)$ -центрів, від якості обробки поверхні кристалу та якості використовуваних оптичних елементів. В наших експериментах роздільна здатність досягала 100 мкм, тобто порядку 10 ліній на мм.

Деяка втрата інформації при її відтворенні, внаслідок переорієнтації частини $F_A(Li)$ -центрів під дією світла He-Ne лазера, а також низька температура ($\sim 90\text{K}$), при якій знаходиться кристал, дещо ускладнюють практичне застосування цього ефекту.

Третя глава присвячена вивченню нелінійних оптичних явищ, що спостерігаються в складних органічних сполуках під дією випромінювання міліметрового діапазону. Ці дослідження були стимульовані терапевтичним ефектом, що має місце при використанні мм випромінювання для лікування деяких хвороб людини. Теоретичне тлумачення цього феномену дуже важке із-за складності об'єкту опромінення, яким є біосистема. Тому досліди були виконані на більш простих системах, а саме на молекулах (іонах) простих амінокислот (гліцин, аланін), які є складовими елементами білків. При нейтральному значенні рН в розчинах та в кристалах амінокислоти знаходяться у вигляді біполярних іонів, на одному кінці котрих розташована від'ємно заряджена група COO^- , а на другому - позитивно заряджена група NH_3^+ .

Методами інфрачервоної спектроскопії та комбінаційного розсіювання світла були досліджені коливальні спектри кристалічного β -аланіну. Одержані результати свідчать, що спектри складні і містять велику кількість смуг, як це передбачено проведенням теоретико-груповим аналізом.

Було знайдено, що під дією мм випромінювання частоти $f = 37,5$ ГГц в кристалах β -аланіну (β -Ala) в області $1500-1570, 700-800 \text{ cm}^{-1}$ спостерігається значна зміна інтенсивності смуг відбивання. Така сама картина спостерігається і в кристалах α -гліцину (α -Gly) в області $1450-1550 \text{ cm}^{-1}$ при опроміненні їх мм випромінюванням частоти $f = 46,69$ ГГц, та в кристалах тригліцинсульфату (TGS) в області $1350-1520 \text{ cm}^{-1}$ при $f = 46,9$ і 51 ГГц. Абсолютні значення змін відбиття незначні (не перевищують 5%, але при реєстрації у відносних одиницях вони в 5-7 разів перевищують похибки експерименту. Досліджувані зразки мали вигляд кристалічних пластинок товщиною 1-2 мм і розмірами 5 x 8 мм. Схема експерименту була така: ІЧ відбиття вимірювалось від однієї сторони пластинки, а на протилежну сторону падало мм випромінювання від генератора Г4-І4І або Г4-І42. Досліди показали, що величина спостерігаємих змін відбиття залежить від взаємної орієнтації векторів електричного поля E мм і ІЧ випромінювання, а також від орієнтації кристалу.

Спроби виміряти діелектричні резонанси досліджуваних кристалів шляхом реєстрації безпосереднього поглинання в них мм випромінювання виявились марними. Це обумовлено тим, що практично всі сис-

теми мм діапазону мають геометричні резонанси, які неможливо відізнати віддіелектричних. Геометричні резонанси неможливо уникнути, бо вони пов'язані з однопорядковістю довжини хвилі і елементів вимірювального тракту: зразок, діафрагма, щілини і т.п. Щонайменше переміщення їх відносно один одного або стінок хвильовода змінює геометричні резонанси. Ці обставини утруднюють можливість врахування останніх і дуже ускладнюють техніку вимірів в мм діапазоні. Тому резонансний відгук кристалів β -аланіну та α -гліцину на дію мм випромінювання було виміряно оптичним методом.

Експерименти проводили таким чином: спектрометр встановлювався на смугу відбивання $\nu \approx 1500 \text{ см}^{-1}$, яка найбільш чутлива до дії мм випромінювання. Перед відкритим кінцем хвильоводу розташовувався кристал у вигляді пластинки. За допомогою вимірювальних голівок, узгоджених з хвильоводами і встановлених на вході і виході хвильоводного тракту, розраховувались в деякій області частот його геометричні резонанси, що відповідають даному розміщенню зразка і інших елементів тракту. Відбите від зразка ІЧ випромінювання спрямовувалось для реєстрації в спектрометр. Змінюючи в цій же області частоту генерації мм випромінювання, вимірювали за допомогою ІЧ спектрометра величину $\Delta R/R$ в смугі $\nu = 1505 \text{ см}^{-1}$ для β -аланіну і $\nu = 1520 \text{ см}^{-1}$ для α -гліцину. (ΔR - зміна відбиття при дії мм випромінювання, R - відбиття при його відсутності). Співставляючи криву, що описує геометричні резонанси хвильоводного тракту, з кривою $\Delta R/R$ як функції частот було одержано резонанси, які відповідають відгуку кристалів на дію мм випромінювання. Виявилось, що вони дискретні і мають напівширину 50-60 МГц.

З метов з'ясування природи зміни відбиття в кристалах α -Gly та TGS при їх взаємодії з мм випромінюванням, процес відбиття було розглянуто теоретично. Вказані кристали відносяться до моноклінної сингонії (класу C_2), в якій тензор діелектричної проникності симетричен, але, крім ненульових діагональних членів ϵ_{11} , містить ще $\epsilon_{23} = \epsilon_{32}$. У відповідності із схемою нашого експерименту теоретичний аналіз інтенсивності ІЧ світла, що відбивається від кристалу, було виконано для слідувчого випадку. Кристал вирізався у вигляді плоскопаралельної пластинки перпендикулярно вісі OY, вздовж якої направлена вісь C_2 . В цьому випадку ненульовими будуть Y-компоненти хвильових векторів падаючої, віддзеркаленої та проходячої хвиль.

Причому для проходного світла хвильовий вектор буде величиною комплексною. Вважається, що падаюче ІЧ випромінювання має довільну поляризацію і задається виразом

$$\vec{E}_0(\Gamma, t) = (A_{0X} \vec{e}_X + A_{0Z} \vec{e}_Z) \exp[i(ky - \omega t)],$$

де A_{0X} і A_{0Z} компоненти амплітуди поля, \vec{e}_X і \vec{e}_Z орти вдовж вісі ОХ і ОZ. Рішення рівнянь Максвелла із звичайними граничними умовами дозволяє знайти вираз для віддзеркаленої хвилі

$$\vec{E}_1(\Gamma, t) = (A_{1X} \vec{e}_X + A_{1Z} \vec{e}_Z) \exp[-i(k_0 y + \omega t)],$$

поляризація якої в загальному випадку відрізняється від початкової і визначається набором амплітуд A_{1j} ($j = X, Z$), які виражаються через компоненти ϵ_{1j} ($i, j = X, Z$). (Вирази для A_{1j} одержані в роботі). Виходячи з того, що падаюче світло має природну поляризацію, а при відбитті реєструється інтенсивність світла I_R в поляризацію, що утворив кут φ з віссю ОХ, то після усереднення інтенсивності віддзеркаленого випромінювання по випадковим фазам падаючих хвиль було знайдено

$$I_R(\varphi) = I_0 R_D F(\varphi), \quad (1)$$

де I_0 - інтенсивність падаючого світла, R_D - амплітудний коефіцієнт відбиття, а функція $F(\varphi)$ виражає поляризаційну структуру віддзеркаленого світла

$$F(\varphi) = D_1 + D_2 \sin^2 \varphi + D_3 \sin 2\varphi. \quad (2)$$

Тут прийнято наступні позначення

$$D_1 = \left| 1 + (\epsilon_{XX} - \epsilon_{ZZ})U \right|^2 + 4 \left| \epsilon_{XZ}U \right|^2$$

$$D_2 = -4 \operatorname{Re}[(\epsilon_{XX} - \epsilon_{ZZ})U] \quad (3)$$

$$D_3 = 4 \operatorname{Re}[\epsilon_{XZ}U]$$

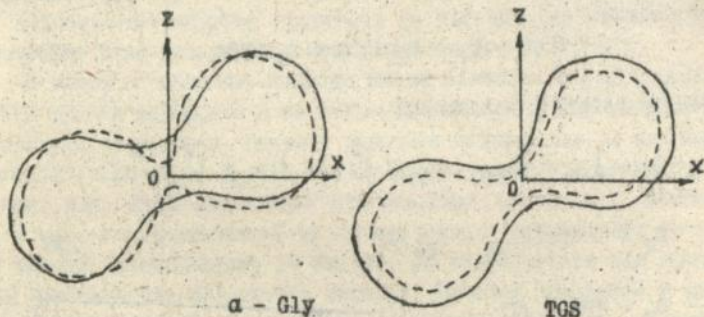
ЛНБ ім. В. Стефанька
АН України

U - є функція, що визначається через ϵ_{xx} , ϵ_{zz} та ϵ_{xz} . (аналітичний вираз функції U одержано в роботі).

Графік функції (2) в полярних координатах має вигляд гантелі, тому в загальному випадку кутова залежність $I_R(\varphi)$, тобто індикатриса поляризації, має вигляд гантелі, напрямком максимума якої утворює з віссю Ox кут

$$\varphi_{\max} = -\arctg(2D_3/D_1) \quad (4)$$

Виміри проводили слідувачим чином. Кристал α -Gly або TGS у вигляді пластинки товщиною 1-2 мм і розмірами 5 x 8 мм розташовувались на столику так, що вісь Ox була паралельна вхідній щілині спектрометра. З одного боку на пластинку нормально падало мм випромінювання, а з другого боку - неполяризоване випромінювання глобару. Хвильовий вектор падаючого ІЧ світла мав напрямок вздовж осі Oy . Перед приймачем ІЧ випромінювання в спектрометрі встановлювався поляризатор, що обертався в діапазоні кутів $0-360^\circ$. Експериментально спостерігаємі поляризаційні індикатриси $I_R(\varphi)$ для α -Gly ($\nu = 1610 \text{ см}^{-1}$, $f = 46,65 \text{ ГГц}$) і TGS ($\nu = 1506 \text{ см}^{-1}$ і $f = 49,98 \text{ ГГц}$) показані на малюнку. Пунктирна крива відповідає індикатрисі, що спостерігається при дії мм випромінювання, а суцільна - при його відсутності. Вачимо, що індикатриси дійсно ма-



ють гантелеподібну форму і повернені на деякий кут відносно крис-

талографічних осей (наслідок того, що $\epsilon_{xz} \neq 0$). Анізотропний характер зміни індикатриси поляризації для α -Gly і ізотропний для TGS свідчать про те, що під впливом мм випромінювання компоненти тензора ϵ_{ij} в α -Gly змінюються неоднаково, а в TGS - ідентично.

Поскільки індикатриса обумовлена компонентами тензора діелектричної сталої ϵ_{ij} , то ці експерименти однозначно підтверджують, що мм випромінювання змінює діелектричну сталу кристалу (системи біомолекул). Цей висновок було підтверджено дослідями, виконаними на голографічному інтерферометрі, за допомогою якого було зафіксовано зміну показника заломлення водного розчину плазми крові (системи біомолекул) під дією мм випромінювання.

Принцип дії голографічного інтерферометру полягає в наступному. Формується голографічне зображення досліджуваного зразка в проходячому світлі He-Ne лазера, яке записується на термопластику. Потім за допомогою плоскопаралельної пластинки все поле зору інтерферометра вкривають інтерференційними смугами. На зразок (в нашому випадку квітка з розчином) накладають зовнішнє збурення, і його голограму в реальному часі накладають на записану. Якщо під дією збурення показник заломлення змінюється, то в полі зору, обмеженому контуром зразка, спостерігається зсув інтерференційних смуг відносно тих, що лежать поза його межами.

При опроміненні 2% водного розчину плазми крові мм випромінюванням потужністю 10 мВт на частоті $f = 51,5$ ГГц було одержано зсув більше 4-х інтерференційних смуг. В той же час опромінення чистої води в тих же умовах за той же час дає зсув менше однієї смуги. Знаючи геометричні розміри квітки можна було розрахувати величину зміни показника заломлення, яка становила $\Delta n = 2,5 \cdot 10^{-4}$.

Приймаючи до уваги, що поглинання мм випромінювання так чи інакше приводе до нагріву, доцільно було порівняти спостережуємі зміни Δn з тепловими. Для цього було зроблено оцінку можливого підвищення температури розчину при умові, що вся енергія мм випромінювання за час опромінення витрачається тільки на нагрів. Причому відтоком тепла в зовнішнє середовище було знехтувано. Розрахунки показали, що в цих умовах температура розчину може піднятися не більше, як на 1° . Експериментально це було перевірено за допомогою тепловізора Thermovision 880 AGEMA (Швеція). При $T_{\text{кім}} = 28^\circ\text{C}$ на металевому оточині було розміщено краплі води об'ємом $0,6 \text{ см}^{-3}$ в

температурою 16°C . До краплі хвильоводом підвели мм випромінювання потужністю 10 мВт на частоті $f = 60,5\text{ ГГц}$, яка відповідає максимуму поглинання молекулярного кисню, розчиненого у воді. Через 6 хвилин після включення генератора мм випромінювання температура краплі підвищилась на $0,7-0,9^{\circ}$ (точність фіксації температури тепловізором $0,1^{\circ}$). З літератури відомо, що температурний коефіцієнт зміни показника заломлення для води становить $5 \cdot 10^{-5}\text{ град}^{-1}$, тобто значно менше спостережуваних в наших експериментах. Більш того, експерименти показали, що мм випромінювання і тепло змінюють показник заломлення в різних напрямках: якщо при нагріві n зменшується, то при дії мм випромінювання навпаки n збільшується.

Таким чином, дослідження поляризаційної індикатрисы відбиття, а також експерименти з голографічним інтерферометром свідчать про те, що під дією мм випромінювання, енергія квантів якого $\sim 10^{-4}\text{ еВ}$, змінюються компоненти діелектричної сталої, яка обумовлює оптичні властивості середовища (n або R) в видимій і ГЧ областях спектру (вище за енергію квантів мм випромінювання в 10^2-10^4 разів). Звідси можна зробити висновок, що мм випромінювання здійснює деякий синхронізуючий вплив на міжмолекулярну взаємодію в середовищі, робить її когерентною, або інакше кажучи, приводить до утворення колективних станів. А це, в свою чергу, обумовлює деяку направленість фізичних процесів в середовищі в тому числі і на високоенергетичному рівні. Вказати конкретні механізми взаємодії мм випромінювання неможливо, це вимагає їх моделювання і постановки відповідних експериментів.

— В четвертій главі представлені результати досліджень елементарних носіїв заряду (електронів і дірок) в кристалах, що знаходяться в схрещених \vec{E} і \vec{H} полях, а також дано опис деяких конкретних пристроїв, розроблених автором, що складають елементну базу систем оптичної обробки інформації.

Якщо через кристалічну пластинку з біполярним типом провідності, розміщену в магнітному полі, пропускати струм, то в залежності від напрямку \vec{E} і \vec{H} полів сила Лоренца буде виносити носії заряду на ту чи іншу її сторону. Якщо товщина пластинки сумірна з

дифузійною довжиною носіїв, а швидкості поверхневої рекомбінації носіїв на протилежних поверхнях різні, то в цьому випадку спостерігається перерозподіл концентрації носіїв по об'єму зразка (магніто-концентраційний ефект), і можна одержати такий розподіл носіїв, коли їх концентрація в об'ємі значно нижче рівноважної, а на одній з поверхнь суттєво більше. Маніпулюючи концентрацією носіїв, можна змінювати плазмову частоту $\omega_p^2 = 4\pi e^2 N / \epsilon_\infty m^*$ (e - заряд електрону, N - концентрація носіїв, m^* - їх ефективна маса, ϵ_∞ - високочастотна діелектрична стала).

Діелектричну сталу матеріалу $\epsilon(\omega)$ в області частот $\hbar\omega < E_G$ (E_G - край поглинання) в наближенні $\omega\tau \gg 1$ (τ - час релаксації) можна записати у вигляді

$$\epsilon(\omega) = n^2(\omega) = \epsilon_\infty (1 - \omega_p^2 / \omega^2). \quad (5)$$

Звідси видно, що змінюючи концентрацію носіїв (змінюючи тим самим ω_p), можна керувати оптичними властивостями матеріалу. Дійсно, враховуючи що коефіцієнт відбиття $R = (n - 1)^2 / (n + 1)^2$ залежить від показника заломлення $n = \sqrt{\epsilon}$, то при варіації N (або ω_p) R може змінюватись в межах від 0 (при $\omega_{\min} = \omega_p (\epsilon_\infty / (\epsilon_\infty - 1))^{1/2}$) до 100% при $\omega = \omega_p$ (плазмовий резонанс).

Таким чином віддзеркалене від напівпровідника, розташованого в магнітному полі, випромінювання, частота якого близька до частоти плазмового резонансу, можна ефективно модулювати за допомогою протікаючого через нього струму. Досліди показали, що для InSb в схрещених полях на відбиваючій поверхні можна змінювати концентрацію носіїв в межах $3 \cdot 10^{14} - 10^{17} \text{ см}^{-3}$, що відповідає діапазону плазмового резонансу 40 мкм - 0,8 мм.

Модулятор було реалізовано на пластинці InSb товщиною ~ 80 мкм і розмірами 4×10 мм, яка була розташована в магнітному полі напруженість $(5-8) \cdot 10^3$ Е. На торці пластинки чистим In наносили контакти для підключення джерела керуваних імпульсів струму (генератор Г5-4А). Поверхня пластинки, на яку падало випромінювання, оброблялась стандартним травником СР-4А, що на декілька порядків знижувало швидкість поверхневої рекомбінації носіїв. Цей модулятор було використано для модуляції випромінювання лазера, працюючого на па-

рах важкої води з довжиною хвилі 118 мкм. Була одержана 80% амплітудна модуляція при напругах управляючого електричного поля E в межах 5-7 В. Швидкодія пристрою обумовлена швидкістю прольоту носіїв від однієї поверхні пластинки до іншої і дорівнює 10^{-8} с.

Магніто-концентраційний ефект було використано також при розробці дефлектора ІЧ випромінювання. Дефлектор працює на принципі об'єднаної ґратки і уявляє собою інтерферометр Фабрі-Перо, утворений з двох паралельних дзеркал, рознесених на відстань L , через які під деяким кутом проходить лазерне випромінювання. При цьому між дзеркалами здійснюється багаторазове розщеплення падаючого пучка, в результаті чого з дефлектора в межах його апертури виходить система паралельних пучків. Якщо за дефлектором розташувати лінзу, то в її фокусі буде спостерігатись інтерференційна картина, внаслідок різниці фаз між сусідніми пучками, що набігає в інтерферометрі. Якщо змінити оптичну різницю ходу між інтерферуючими пучками (наприклад за рахунок L), то напрямок хвильового фронту системи пучків, що виходять з інтерферометра, повернеться на деякий кут відносно початкового положення, а інтерференційна картина в фокусі лінзи зсується. Таким чином в межах апертури інтерферометра Фабрі-Перо в фокусі лінзи можна здійснювати просторове переміщення лазерного випромінювання.

Пристрій описаного типу для сканування випромінювання CO_2 -лазера $\lambda = 10,6$ мкм був реалізований за допомогою плоскопаралельної пластинки із $InSb$ з концентрацією домішок 10^{-12} cm^{-1} і розмірами $5 \times 10 \times 0,1$ мм, що розташовувалась в схрещених \vec{E} і \vec{H} полях. Напруженість магнітного поля H дорівнювала 5 кЕ. За допомогою контактів з чистого In до пластинки підключали управляюче поле E . Останнє мало постійну складову ~ 1 В, що забезпечувало невеликий нагрів кристалу і збільшувало концентрацію вільних носіїв до $3 \cdot 10^{16}$ cm^{-3} . За допомогою від'ємного імпульсу $E = 40$ В/см здійснювалось виснаження носіїв до рівня 10^{13} cm^{-3} . Відповідні зміни показника заломлення відображались на інтерференційній картині в фокусі лінзи з фокусною віддаллю 5 см, що була виготовлена з ZnS . Коефіцієнт відбиття граничної плоскопаралельної пластинки - інтерферометра за допомогою діелектричних покриттів було доведено до 90%. Випромінювання CO_2 -лазера направлялось на інтерферометр під кутом $\sim 30^\circ$ і реєструвалось призмачем з $CdHgTe$ при 77К. За допомогою цього пристрою було досяг-

нито сканування випромінювання CO_2 -лазера в межах 10^0 з швидкодією 10^{-8} с.

В цій же главі дано опис запропонованого способу модуляції добротності резонатору CO_2 -лазера. Спосіб дозволяє одержати потужні короткі імпульси випромінювання від CO_2 -лазера, що працює в неперервному режимі генерації. Суть способу полягає в тому, що між вихідним дзеркалом резонатора і газорозрядною трубкою розміщується інтерферометр Фабрі-Перо у вигляді плоскопаралельної пластинки з матеріалу прозорого в області генерації. Цей інтерферометр кріпиться на вісі двигуна і може обертатись навколо вісі перпендикулярної до вісі лазера. Як відомо, прозорість інтерферометра Фабрі-Перо залежить від різниці ходу між інтерферуючими променями довжини хвилі λ , яка описується формулою

$$2dn\cos\varphi = m\lambda/2 \quad (6)$$

(d - товщина інтерферометру, n - його показник заломлення, φ - кут падіння випромінювання на інтерферометр, m - ціле число). Для парних m інтерферометр має максимум пропускання, для непарних - максимум відбиття. Будучи розташований в середині резонатору і вносячи додаткові втрати, інтерферометр перешкоджає розвитку генерації. Але коли він обертається, то завжди знайдеться такий кут φ , що для довжини хвилі λ умова (6) буде виконуватись для парних m . В цьому випадку випромінювання досягає вихідного дзеркала, відбивається в активне середовище і утворює зворотній зв'язок, необхідний для розвитку генерації.

Крутість фронту імпульсів, що генеруються, і їх амплітуда (потужність) залежить від швидкості включення високої добротності лазерного резонатору. Тому параметри імпульсів генерації обумовлюються швидкістю обертання інтерферометру і шириною його інтерференційного максимуму на довжині хвилі λ . З теорії інтерферометра відомо, що ширина інтерференційного максимуму

$\Delta\lambda^2 = \lambda / 2dN_{\text{еф}}$, $N_{\text{еф}} = \kappa VR / (1 - R)$ - число інтерферуючих променів, що дають значний внесок в інтерференцію. Звідси ясно, що більш товстий інтерферометр буде мати більш вузький інтерференційний максимум і при одній і тій же швидкості обертання за його допомогою можна одержати більш вузькі імпульси генерації (а значить і більш потужні). Так за допомогою інтерферометру з $S1$ розмірами

8x8x0,3 мм при швидкості обертання 10 тис. об/хв від лазера ЛГ-22, який працює в неперервному режимі генерації потужністю 30 Вт, було одержано імпульси тривалістю 400 нс і амплітудою в 400 разів вище від імпульсів, що одержано від цього лазера за допомогою дискового переривача, встановленого поза резонатором. А інтерферометр з того ж матеріалу при тій же швидкості обертання, але товщиною 1,4 мм забезпечував імпульси генерації тривалістю 100 нс і амплітудою в 2000 разів вище від амплітуди імпульсів дискового переривача.

Головна властивість цього способу модуляції полягає в тому, що інтерферометр ніяк не впливає на амплітуду імпульсів генерації (вона цілком обумовлена енергією, що запасає активне середовище між імпульсами генерації). Він не чутливий до биття вісі двигуна, бо генерація відбувається завжди при одній і тій же прозорості інтерферометра, тобто при одній і тій же різниці ходу між інтерферуючими пучками. Тому биття може приводити лише до зміни моменту генерації, не змінюючи амплітуди імпульсів. Оцінки показують, що при швидкості обертання 30 тис. об/хв биття вісі на $\pm 1^\circ$ приводить до нестабільності імпульсів в часі ± 5 мкс.

В цій же главі викладено результати досліджень світловипромінюючих структур на основі SiC, що можуть використовуватись в системах відображення інформації (табло, екрани, індикатори). Треба зазначити, що особлива увага приділяється структурам, випромінюючим в синьо-зеленій області спектру, бо одержання таких кольорів випромінювання на основі традиційних матеріалів $A^{3,5}B$ неможливе.

Було досліджено випромінювання від р-п переходів, утворених на SiC, що випромінюють світло з максимумом 4300 Å. Світловипромінюючі структури було одержано шляхом нарощування на промислові кристали α -SiC n-типу методом парофазної епітаксії тонкого ~ 10 мкм шару цього матеріалу, в якому створювали р-провідність імплантацією Al, або вплавленням сплаву Al+Ni. Були досліджені спектри фотоі електролюмінесценції та вольт-амперні характеристики (ВАХ). Останні оброблялись за методикою, що базується на теорії інжекційно-контактних явищ в напівпровідниках. В основі аналізу ВАХ лежить розгляд диференційної степені ВАХ в функції напруги. Такий аналіз дозволяє зробити деякі висновки про механізми протікання струму через р-п перехід.

За відповідними теоретичними формулами було підраховано n_{\min} — мінімальна концентрація носіїв заряду в шарі, що забезпечує протікання спостерігаемого струму I_{\max} , а також величину об'ємного заряду, або число носіїв N_g в точці мінімуму питомої провідності шару. Порівняння цих величин дає змогу зробити висновок, що в нашому випадку має місце біполярна інжекція носіїв і рекомбінаційне обмеження кризного току. А оскільки при цих же значеннях I і V спостерігається випромінювання на довжині хвилі 4300 \AA , то можна говорити, що відбувається випромінювальна рекомбінація. Для неї було зроблено оцінку коефіцієнту рекомбінації γ за формулами, що дає вказана вище теорія, і порівняно з величиною γ , одержаною в загальній теорії зона-зонної рекомбінації. Виявилось, що ці величини однопорядкові, а це свідчить, що спостерігаємо випромінювання 4300 \AA близьке за своїм характером до зона-зонної рекомбінації. Враховуючи будову енергетичних зон $\alpha\text{-SiO}_2$, а саме положення вільного екситону, а також реальну структуру, і приймаючи до уваги чисельні оцінки параметрів n_{\min} , γ , τ_p , одержаних за допомогою теорії, було зроблено висновок, що випромінювання 4300 \AA є наслідок анігіляції вільних екситонів. На підставі цих досліджень було запропоновано світлодіод з управляємим кольором випромінювання в області $4300 - 5300 \text{ \AA}$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Показані переваги кореляційного методу проведення теоретико-групового аналізу коливальних спектрів кристалів порівняно із стандартним методом Багавантама. Кореляційний метод не вимагає розрахунків характеристик повного механічного представлення для елементів симетрії групи кристалу. Отже нема потреби розглядати модель кристалічної ґратки, що дуже важливо при дослідженні складних кристалічних структур з великою кількістю атомів в елементарній комірі.

2. Показано, що повний набір кристалічних коливань по типам симетрії можна одержати кореляційним методом шляхом розподілу простих одномірних атомних коливань по незвідним представленням фактор-групи кристалу, використовуючи як параметр розподілу квадрат розмірності незвідних представлень.

3. Показано, що рівність $X(R_\phi | \tau_\phi \neq 0) = 0$ не завжди виконується, тобто характер повного механічного представлення для операції симетрії, яка містить часткову трансляцію $\tau_\phi \neq 0$, не завжди дорівнює нулеві.

4. При проникненні двозарядних іонів SrO_4^{2-} (SO_4^{2-}) в матрицю ЛГК найбільш енергетично вигідним утворенням є комплекс $\text{SrO}_4^{2-}-\text{M}^{2+}$ (M^{2+} - іон двохвалентного металу). Тому, якщо іони M^{2+} в шхиту додатково не вводяться, то спочатку в кристалі утворюються комплекси з використанням іонів M^{2+} , присутніх як забруднення, а в кінцевій стадії росту кристалу утворюються комплекси з галогідними вакансіями.

5. Якщо домішковий молекулярний іон має низькочастотні локальні або квазілокальні коливання, то при високих температурах має місце модуляційний механізм уширення смуг високочастотних коливань цього іону обумовлений їх взаємодією з низькочастотними локальними і квазілокальними коливаннями.

6. "Випалівання" полоси коливання ν_3 домішкового іону NO_3^- , що спостерігається в кристалах $\text{KBr}(\text{NO}_3^-)$ і $\text{KI}(\text{NO}_3^-)$ при УФ опроміненні, відбувається за рахунок зниження симетрії іону NO_3^- , обумовленого утворенням поблизу нього дефектів кристалічної ґратки.

7. Домішковий молекулярний іон NO_2^- в ЛГК є ефективною ловушкою електронів, що забезпечує утворення автолокалізованих дірок (V_k -центрів) при УФ опроміненні.

8. В кристалах $\text{KBr}(\text{NO}_2^-)$ і $\text{KI}(\text{NO}_2^-)$ при температурі нижче T дисоціації V_k -центрів в присутності іонів NO_2^- відбувається утворення V_2 -центрів внаслідок взаємодії H - і V_k -центрів.

9. Показано, що $F_A(Li)$ -центри в KCl можуть бути використані для оптичного запису інформації.

10. Під дією електромагнітного випромінювання мм діапазону в молекулярних кристалах $\alpha\text{-Gly}$, $\beta\text{-Ala}$, TGS спостерігається зміна видобиття в ІЧ області спектру за рахунок зміни компонент ϵ_{1j} .

11. Вперше на молекулярних кристалах $\alpha\text{-Gly}$ і $\beta\text{-Ala}$ в області коливальних переходів групи NO_3^+ зареєстровано резонансний відгук кристалу на дію мм випромінювання.

12. Розроблено і запропоновано швидкодіючі модулятор і дефлектор лазерного випромінювання в ІЧ діапазоні. Швидкодія пристроїв

$\sim 10^{-8}$ с, а величина управляющих напряг 5 - 10 В.

13. Запропоновано модулятор добротності лазерного резонатора, що нечутливий до биття вісі обертання.

14. Показано, що випромінювання а-SiC світлодіодів $\lambda = 4300 \text{ \AA}$ обумовлено рекомбінацією носіїв заряду через екситонні стани. Запропоновано світлодіод з управляємим кольором випромінювання в області 4300 - 5300 \AA .

Цитована література:

1. Пуле А., Ж.-П.Матье. Колебательные спектры и симметрия кристаллов.- М.: Мир. - 1973. - 438 с.

2. Ковалёв О.В. Неприводимые представления пространственных групп. - Киев: Изд. АН УССР. - 1961. - 165 с.

3. International tables for X-rays crystallography. - Ed. N.F.Henry, K.Lonsdale.- Birmingham: Knoch Press.-1952.-510 p.

Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Бережинский Л.И., Вешка Я. Анализ колебательных спектров кристаллов на основе позиционной симметрии атомов// Укр. физ. журн. - 1981.- Т.26, № 3.- С. 377-383.

2. Лисица М.П., Валах М.Я., Бережинский Л.И., Шека В.И. Особенности колебательного спектра слоистого полупроводника As_2S_3 // Укр. физ. журн.- 1973.- Т., № 1.- С. 98-104.

3. Колебательные спектры кристаллов SbI_3 и BiI_3 / В.В.Артамонов, Л.И.Бережинский, М.Я.Валах и др.// ФТТ.- 1975.- Т.17, № 12.- С. 3621-3624.

4. Спектры комбинационного рассеяния халькогенидов германия и олова/ М.П.Лисица, В.В.Артамонов, Л.И.Бережинский и др./ Укр. физ. журн.- 1976.- Т. 21, № 2 - С. 218-220.

5. Бережинский Л.И., Валах М.Я., Лисица М.П. Колебательные спектры стеклообразных и кристаллических халькогенидов германия// Proceedings of the conference "Amorphous Semiconductors - 78", CSSR, Pardubice.- 1978.- P. 408-411.

6. Колебательные спектры кристаллических и стеклообразных халькогенидов германия/ В.В.Артамонов, Л.И.Бережинский, Д.И.Блецкан и др.//Укр. физ. журн.- 1979.- Т. 24, № 13.- С. 334-339.

7. Резонансное взаимодействие колебательных состояний диоксидов цинка и кадмия./ В.В.Артамонов, Л.И.Бережинский, М.Я.Валах и др.// ФТТ.- 1976.- Т18, № 5.- С. 1418-1421.
8. Колебательные спектры второго порядка и дисперсия фононных ветвей в $ZnPr_2$./ В.В.Артамонов, Л.И.Бережинский, М.Я.Валах и др.// ФТТ.- 1979.- Т. 21, № 6.- С. 1777-1781.
9. Бережинский Л.И. Теоретико-групповой анализ колебательного спектра TaO_2 //Квантовая электроника, - 1983.- № 25.- С. 86-90.
10. Бережинский Л.И., Круликовский Б.К., Береза В.Ф. Инфракрасное поглощение ионов CrO_4^{2-} , внедренных в кристаллы KBr.// Укр. физ. журн.- 1971.- Т. 15, № 2.- С. 261-267.
11. Лисица М.П., Бережинский Л.И. Локальная симметрия иона CrO_4^{2-} в кристаллах KBr.//Укр. физ. журн.- 1971.- Т.15, № 8.- С.1347-1351
12. Лисица М.П., Тарасов Г.Г., Бережинский Л.И. Температурная зависимость колебательного спектра иона SO_4^{2-} в кристалле KCl// ФТТ.- 1974.- Т. 16, № 5.- С. 1302-1307.
13. Бережинский Л.И., Белокриницкая Л.М., Прядко И.Ф., Халимонова И.Н. Фотохимическое превращение иона NO_3^- в щелочно-галогидных кристаллах.// ФТТ.- 1981.- Т. 23, № 11.- С. 3477-3479.
14. Белокриницкая Л.М., Бережинский Л.И., Халимонова И.Н. Фотохромный эффект в щелочно-галогидных кристаллах, легированных ионами NO_3^- // ЖПС.- 1982.- Т. 37, № 1, С. 145-149.
15. Лисица М.П., Бережинский Л.И., Тараненко Н.Л. Влияние γ -облучения на колебательные спектры ионов NO_2^- и NO_3^- кристаллах KBr.// ЖПС.- 1989.- Т. 51, № 3.- С. 539-542.
16. Бережинский Л.И., Лисица М.П., Тараненко Н.Л. Влияние УФ-облучения на колебательные спектры ионов NO_2^- и NO_3^- в кристалле KBr// Укр. физ. журн.- 1989.- Т. 34, № 11.- С. 1659-1663.
17. Бережинский Л.И., Лисица М.П., Тараненко Н.Л. Спектроскопия дефектов в кристаллах KBr(NO_2^-) и KI(NO_2^-) при низкотемпературном УФ-облучении.// ЖПС.- 1990.- Т. 53, № 3.- С. 410-415.
18. Lisitsa M.P., Berezhinsky L.I., Taranenko N.L. UV-light - induced defects in alkali-halide crystals KBr and KI with molecular ions NO_2^- // J. Molecul. Structure.-1990.-v.219, № 1.-P.79-84
19. Тараненко Н.Л., Бережинский Л.И. Термостимулированное преобразование радиационных дефектов в KBr(NO_2^-) и KI(NO_2^-) при 4-300K// ЖПС.- 1990.- Т. 53, № 6.- С. 992-996.

20. Бережинский Л.И., Машовец В.П., Тарасов Г.Г. Оптическая память в системах с ориентационным механизмом оптической нелинейности // XI Украинская школа-семинар "Спектроскопия молекул и кристаллов". Харьков, май 1993. - Тезисы. - С. 130.
21. Бережинский Л.И., Довбешко Г.И., Лисица М.П., Литвинов Г.С. Колебательные спектры кристаллического β -аланина в ближней и дальней инфракрасной области // Биополимеры и клетка. - 1991. - т. 7, № 6. - С. 57-64.
22. Бережинский Л.И., Довбешко Г.И., Лисица М.П., Литвинов Г.С. Индуцированные миллиметровым излучением изменения в колебательном спектре β -аланина // ДАН УССР, Сер. Физ.-мат. и техн. науки. 1990. - № 11. - С. 47-50.
23. Dovbeshko G., Berezhinsky L.I., Lisitsa M.P., Litvinov G.S. Nonlinear optical properties of biomolecules and biocrystals under weak electromagnetic field // Proc. SPIE. - 1993. - № 1890. - P. 135-140.
24. Литвинов Г.С., Бережинский Л.И., Довбешко Г.И., Лисица М.П. Воздействие миллиметрового излучения на спектр инфракрасного отражения монокристалла β -аланина // Биополимеры и клетка. - 1991. - Т. 7, № 3. - С. 77-82.
25. Резонансный отклик колебательных переходов в кристаллах аминокислот на воздействие миллиметрового излучения. / Е.А. Андреев, Л.И. Бережинский, Г.И. Довбешко и др. // Биополимеры и клетка. - 1992. - Т. 8, № 1. - С. 43-46.
26. Бережинский Л.И., Довбешко Г.И., Лисица М.П., Литвинов Г.С. Резонансное воздействие мм излучения на структуру спектров ИК отражения монокристаллов аминокислот // Украинский симпозиум "Физика и техника мм и суб.мм радиоволн". Харьков. - 1991. - Тезисы докладов. - Ч. 2. - С. 117-118.
27. Litvinov G.S., Berezhinsky L.I., Dovbeshko G.I., Lisitsa M.P. Infrared spectroscopy detection of millimeter-wave effect upon biomolecules // Proc. 18th Inter. Conf. on IR and MM waves. - P. 382-383. - University of Essex Colchester, United Kingdom, 1993.
28. Перестройка в поляризованных колебательных спектрах глицин-содержащих кристаллов под действием миллиметрового излучения / Л.И. Бережинский, Г.И. Довбешко, Г.С. Литвинов и др. // Оптика и спектроскопия. - 1993. - Т. 75, № 3. - С. 628-636.

29. Нелинейные оптические свойства глицинсодержащих молекулярных кристаллов при воздействии миллиметрового излучения. / Л.И.Бережинский, Г.И.Довбешко, Г.С.Литвинов и др. // Межрегиональный симпозиум "Структурно-динамические процессы в неупорядоченных средах". Самарканд, 1992.- Тезисы докладов.- Ч. I.- С. 58-59.
30. Berezhinsky L.I., Dovbeshko G.I., Lisitsa M.P., Litvinov G.S. MM-wave field effects upon optical properties of aminoacid crystals // Proc. Intern. Symposium on Electromagnetic Compatibility. Wroclaw, Poland.- 1992.- part 1, P. 63-66.
31. Berezhinsky L.I., Dovbeshko G.I., Litvinov G.S., Obukhovskiy V.V. Rearrangements in polarized vibrational spectra of glycine-containing crystals under millimeter wave irradiation effect. // Proc. 18th Intern. Confer. on IR and MM Waves.- P. 386-387.- University of Essex Colchester, United Kingdom.- 1993.
32. Голографическая интерферометрия плазмы крови, находящейся под воздействием миллиметрового излучения. / Л.И.Бережинский, Н.Я.Гридина, Г.И.Довбешко и др. // ДАН УССР. Сер. физ.- мат. и техн. наук.- 1991.- № 12.- С. 46-49.
33. Бережинский Л.И., Довбешко Г.И., Гридина Н.Я., Машовец В.П. Голографическая регистрация внешних воздействий на структуру неупорядоченных систем. // Межрегиональный симпозиум "Структурно-динамические процессы в неупорядоченных средах". Самарканд.- 1992.- Тезисы.- Ч. I.- С. 7-8.
34. Coherent macroscopic changes in blood plasma under mm-wave resonance irradiation. / L.I. Berezhinsky, G.S. Litvinov, N.Ya. Gridina et al. // Proc. SPIE.- 1993.- № 1889.
35. Визуализация действия миллиметрового излучения на плазму крови. / Л.И.Бережинский, Н.Я.Гридина, Г.И.Довбешко и др. // Биофизика.- 1993.- Т. 38, № 2.- С. 378-384.
36. Бережинский Л.И. Блок питания модулятора ММ-8 в широком диапазоне частот. // Квантовая электроника.- 1980.- № 19.- С. 77-79.
37. Бережинский Л.И., Липтуга А.И., Мальченко В.К. Управление параметрами лазерного излучения в ИК области. // Квантовая электроника.- 1985.- № 28.- с. 15-21.
38. Бережинский Л.И., Липтуга А.И. Модуляция лазеров ИК диапазона полупроводниковой плазмой. // Квантовая электроника.- 1984.- № 27 С. 50-54.
39. Berezhinsky L.I., Liptuga A.I., Maluyutenko V.K. Modulation of

- far-infrared radianon by electron-hole plasma in indium antimonide.//Infrared Physics.- 1983.- V. 23, № 1.- P. 33-34.
40. Бережинский Л.И., Липтуга А.И., Лисица М.П., Малютенко В.К. Модулятор ИК-излучения.// А.С., № 966196, 1982.
 41. Бережинский Л.И., Коновал М.И., Сукач Г.А. Устройство для непрерывного измерения количества вещества в движущемся бумажном полотне.// А.С., № 1282694, 1986.
 42. Малютенко В.К., Липтуга А.И., Бережинский Л.И., Ботте В.А. Полупроводниковые устройства управления параметрами лазерного излучения.//В сб. "Применение лазерных средств измерения в системах технической диагностики авиационной техники". Киев КНИГА.- 1986.- С. 50-53.
 43. Бережинский Л.И., Ботте В.А., Липтуга А.И. Дефлектор ИК излучения.// А.С. № 1165163, 1986.
 44. Бережинский Л.И., Липтуга А.И., Малютенко В.К. Интерферометр Фабри-Перо, активный модулятор добротности CO₂-лазера// Квантовая электроника.- 1981.- № 21.- С. 17-22.
 45. Berezhinsky L.I., Liptuga A.I., Malyutenko V.K. CO₂-laser with vibration - proof Q-switch.// Optic communications.- 1985.- V.55, № 1.- P. 185-187.
 46. Бережинский Л.И., Лисица М.П., Романенко В.Ф., Фекелгази И.В. Светодиод с управляемым цветом свечения.- А.С. № 1457750, 1988
 47. Бережинский Л.И., Лисица М.П., Рассохин И.Т., Сергеев О.Т. Способ термообработки монокристаллов карбида кремния.// А.С., № 1299181, 1986.
 48. Синее свечение вплавленных р-п переходов на основе α-SiC.//Л.И.Бережинский, С.И.Власкина, Р.К.Джамарова и др.//Укр. физ. журн.- 1992.- Т. 37, № 4.- С. 565-569.
 49. Бережинский Л.И., Власкин В.И., Власкина С.И., Кищик Н.В. Светоизлучающие структуры в синей области спектра.//Труды Укр. конфер."Материаловедение и физика полупроводниковых фаз переменного состава".- Ч. 3.- С. 362-364.- Нежин.- 1993.

РЕЗЮМЕ

Диссертация посвящена исследованиям процессов, приводящих к изменениям в электронных и колебательных спектрах кристаллов при их облучении электромагнитным излучением. Интерес к подобному рода ис-

следованиям вызван развитием такого направления, как оптическая обработка информации. В работе рассмотрены методы теоретико-группового анализа колебательных спектров кристаллов и показаны преимущества корреляционного метода по сравнению со стандартным методом Багавантама. Представлен простой способ получения набора кристаллических колебаний по типам симметрии путем распределения простых одномерных атомных колебаний по неприводимым представлениям группы кристалла. Исследованы колебательные спектры примесных молекулярных ионов CrO_4^{2-} , SO_4^{2-} , NO_2^- , NO_3^- в ЦКГ; рассмотрены структура и симметрия центров, изучены механизмы уширения полос высокочастотных локальных колебаний; исследованы фотопревращения в колебательных спектрах ЦКГ с примесными ионами NO_3^- , возникающие при УФ облучении; дано объяснение изменениям, наблюдаемым в электронных спектрах этих кристаллов при УФ облучении и рассмотрены механизмы образования H , V_K и V_2 центров и их взаимные превращения; экспериментально осуществлена оптическая запись информации на $\text{F}_\text{A}(\text{Li})$ центрах в кристалле KCl . Изучены особенности воздействия электромагнитного излучения мм диапазона на молекулярные кристаллы α -глицина, β -аланина и триглицинсульфата: обнаружено изменение их отражательной способности в области деформационного колебания NH_3^+ ($\sim 1500 \text{ см}^{-1}$); показано, что эти изменения обусловлены изменением компонент ϵ_{11} диэлектрической постоянной; экспериментально зарегистрирован резонансный отклик молекулярного кристалла на воздействие мм излучения. На основании проведенных исследований сделан вывод о возникновении в среде коллективных состояний под действием мм излучения. Исследованы возможности управления параметрами лазерного излучения с помощью электронно-дырочной плазмы в полупроводниках, находящихся в скрещенных E и H полях; предложен модулятор и дефлектор лазерного излучения ИК диапазона с быстродействием $\sim 10^{-8} \text{ с}$. и управляющими напряжениями 5–10 В; предложен модулятор добротности лазерного резонатора, не чувствительный к биениям оси вращения и позволяющий получать гигантские импульсы от лазера, работающего в непрерывном режиме. Исследована природа свечения 4300 \AA светоизлучающих структур на основе $\alpha\text{-SiC}$ и предложен светодиод с управляемым цветом свечения в области $4300\text{--}5300 \text{ \AA}$.

Підп. до друку. 103.94. Формат $60 \times 84 \frac{1}{4}$ Папір офс
Друк. офс. Умовн. друк. арк. 1,8 Обл.-вид. арк. 1,3 тир. 100
Зам. 4-2146

Київська книжкова друкарня наукової книги. Київ, Репіна, 4.

100

AB 29443
AB 29.443