

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ

На правах рукопису

ЩЕРБІН КОСТЯНТИН ВОЛОДИМИРОВИЧ

ГРАТКИ ПРОСТОРОВОГО ЗАРЯДУ В
КУБІЧНИХ НЕЦЕНТРОСИМЕТРИЧНИХ
КРИСТАЛАХ, ЯКІ ІНДУКУЮТЬСЯ
ІНФРАЧЕРВОНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

01.04.07 - фізика твердого тіла

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ-1996

ДВ 33. (15)

Дисертація на правах рукопису

Робота виконана в Інституті фізики НАН України

- Науковий керівник: член кореспондент НАН України
доктор фізико-математичних наук,
професор Одулов Сергій Георгійович
- Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук,
професор Ярашноас Кястутіс Юозович
кандидат фізико-математичних наук,
Волков Владислав Іванович
- Провідна організація: Фізико-технічний інститут імені
А. Ф. Іоффе Російської Академії Наук
Санкт-Петербург

Захист відбудеться " 15 " лютого 1996 р. о 15⁰⁰ годині
на засіданні спеціалізованої Вченої ради Д 01.09.01 при Інституті
фізики НАН України за адресою: 252650, Київ-22, проспект Науки 46.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотечі Інституту фізики
НАН України.

Автореферат розісланий " 15 " січня 1996 р.

Вчений секретар
спеціалізованої Вченої ради

[Signature]
Ішук В. А.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00779439 (\$)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

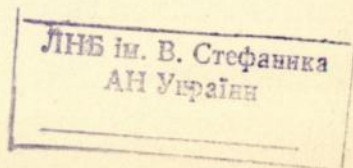
Актуальність теми. Основним оптичним наслідком формування ґраток просторового заряду в нецентросиметричних кристалах за допомогою світла є фоторефрактивний ефект, або просторова модуляція показника заломлення під дією нерівномірного освітлення [1]. Підвищена цікавість до цього явища викликана можливістю його використання для підсилення світлових пучків, оптичної обробки інформації, обертання хвильового фронту та ін. [2,3].

Крім того, дослідження дифракційних властивостей ґраток просторового заряду дозволяє отримувати нову інформацію про процеси переносу заряду в різних матеріалах, яку часто неможливо одержати за допомогою інших методів.

Випромінювання багатьох лазерів на твердому тілі та напівпровідникових лазерів лежить в ближній інфрачервоній області спектру. Використання фоторефрактивних кристалів, чутливих в цій області, у волоконній та інтегральній оптиці відкріє широкі можливості для передачі та обробки оптичних сигналів.

Тому, дослідження фізичних процесів, які лежать в основі запису ґраток просторового заряду інфрачервоним випромінюванням в кубічних нецентросиметричних кристалах, що на сьогоднішній день забезпечують найбільшу чутливість, є актуальною задачею.

Метою роботи було дослідження основних властивостей ґраток просторового заряду, які записуються інфрачервоним випромінюванням в нецентросиметричних кубічних кристалах, визначення з фоторефрактивних вимірювань параметрів, що характеризують процеси транспорту носіїв заряду в матеріалах, які досліджувались, а також, пошук методів підвищення чутливості нецентросиметричних кубічних кристалів для фоторефрактивного запису в інфрачервоному діапазоні спектру.



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

1. Встановлено суттєвий вплив амплітудної ґратки (ґратки коефіцієнту поглинання), яка виникає при формуванні ґратки просторового заряду, на дифракційну ефективність динамічних голограм, що записуються в кубічних нецентросиметричних напівпровідникових кристалах групи симетрії $\bar{4}3m$ без зовнішнього електричного поля (на прикладі арсеніду галію).

2. Експериментально показано суттєву зміну часу релаксації ґрамок просторового заряду, що записуються в кристалах телуриду кадмію, при зміні просторового періоду цих ґрамок.

3. Експериментально здійснено на прикладі кристалів титаноцианіду підвищення фоторефрактивної чутливості широкозонних матеріалів в інфрачервоній області спектру за рахунок попереднього оптичного заселення м'яких пасток за допомогою видимого некогерентного випромінювання.

4. У взаємодії з групою технологів хімічного факультету Чернівецького державного університету знайдено новий ефективний активатор, германій, який суттєво поліпшує фоторефрактивні властивості кристалів телуриду кадмію; зроблені оцінки основних параметрів, що визначають процеси переносу заряду в цьому матеріалі.

Практична цінність роботи полягає в тому, що в ній:

1. Визначено орієнтації вектора ґратки просторового заряду, при яких порівняно слабка амплітудна ґратка суттєво (приблизно в два рази) підвищує дифракційну ефективність підсумкової динамічної голограми, що записується в напівпровідникових фоторефрактивних кристалах.

2. Отримано максимальну, порівняно зо всіма відомими для напівпровідникових фоторефрактивних кристалів, величину енергообміну при запису відбиваючих фоторефрактивних ґрамок в кристалах телуриду кадмію, легovanому германієм, без використання зовнішніх електричних полів. Показана можливість отримання в даному матеріалі підсилення, що

перевищує лінійне поглинання, при оптимальній геометрії зустрічної двохпучкової взаємодії.

3. Показано, що γ -опромінювання кристалів телуриду кадмію призводить до покращення фоторефрактивних властивостей матеріалу, яке пов'язане зі зміною співвідношення електронної та діркової фотопровідностей.

Положення, що виносяться на захист.

1. Формування амплітудної ґратки, яка пов'язана з перерозподілом заряду по глибоким домішковим рівням, призводить до суттєвої зміни дифракційних характеристик динамічної голограми. Виключно слабка ґратка нелінійного поглинання в GaAs:Cr з амплітудою модуляції $\Delta\alpha \sim 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ змінює в кілька разів дифракційну ефективність сумарної ґратки при її зчитуванні в різних, рівнозначних для фоторефракції, напрямках, що пов'язано з конструктивною (деструктивною) інтерференцією внесків від амплітудної та фазової складових. При запису ґраток просторового заряду в GaAs:Cr кристал просвітлюється в максимумах інтерференційної картини.

2. Формування ґраток просторового заряду в титаносиленіті ($\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$) інфрачервоним випромінюванням обумовлене заселенням мілких пасток носіями заряду за рахунок освітлення кристалів некогерентним видимим світлом; при цьому, перерозподіл фотозбуджених носіїв обох знаків по енергетичним рівням обумовлює немонотонну динаміку поля просторового заряду.

3. Мала довжина дебаєвського екранування носіїв, які створюють ґратку просторового заряду в кристалах телуриду кадмію, легovanому германієм, порівняно з дифузійною довжиною переносу носіїв та періодами ґраток, що записуються, забезпечує суттєву (на три порядки по величині) зміну часу релаксації ґраток при зміні їх періоду.

Методи досліджень світлоіндукованих ґраток просторового заряду були основані на вимірюванні дифракційних властивостей цих ґраток, а саме, на вимірюванні різних залежностей експоненційного коефіцієнту

підсилення Γ при двохпучковій взаємодії та дифракційній ефективності η при чотирьоххвильовій взаємодії.

Достовірність наукових результатів обумовлена використанням експериментальних даних, які були отримані по апробованих методиках за допомогою сучасної вимірювальної апаратури з відомими характеристиками; результати експериментів узгоджуються з сучасними уявленнями про фізичні властивості матеріалів, що досліджувались.

Особистий внесок автора полягає в проведенні всіх експериментальних досліджень, обробці результатів цих досліджень та здійсненні частини теоретичних розрахунків та обґрунтувань.

Апробація роботи. Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на X Міжнародній Вавіловській конференції з нелінійної оптики (Новосибірськ, 1990 р.), 1-й і 2-й Міжнародних конференціях з голографії та кореляційної оптики (Чернівці, 1993 та 1995 рр.), Міжнародній конференції з фоторефрактивних матеріалів, ефектів і приладів (Київ, 1993 р.), 15-й Міжнародній конференції з когерентної та нелінійної оптики (Санкт-Петербург, 1995 р.), 6-й Міжнародній конференції з нелінійної оптики рідких і фоторефрактивних кристалів (Ай-Даниль, 1995 р.), а також на семінарах Інституту фізики НАН України, Інституту фізики АН Латвії, Університету міста Осенабрюк (ФРН).

ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведені стислі порівняльні характеристики трьох груп фоторефрактивних матеріалів - сегнетоелектриків, силенітів і кубічних напівпровідникових кристалів. Обґрунтована актуальність теми, сформульовано мету роботи та положення, що виносяться на захист.

Перший розділ присвячено дослідженню фоторефрактивного і фотопружного внесків, а також, внеску амплітудної ґратки в анізотропію дифракційних властивостей динамічних голограм, які записуються в кубічних кристалах класу симетрії 43m. Експериментально отримані для арсеніду галію дані підтверджують необхідність врахування фотопружного ефекту при розрахунку модуляції показника заломлення в кубічних напівпровідниках. Результати експериментів свідчать, що при запису ґраток просторового заряду в кристалах арсеніду галію формується ґратка коефіцієнту поглинання. Теоретично пояснено і експериментально показано суттєвий вплив цієї ґратки на дифракційну ефективність сумарної динамічної голограми.

Як джерело випромінювання використовувався неперервний одномодовий (TEM₀₀) лазер на алюмоітрієвому гранаті з неодимом, який був перероблений з серійного лазера ЛТІ-502. Довжина хвилі випромінювання 1,064 мкм, потужність вихідного пучка не перевищувала 1 Вт. Основою вимірювальної системи служив інтерфейс КАМАК, з'єднаний з мікро-ЕОМ. Електронна схема з'єднання цих пристроїв була змонтована та налагоджена С. С. Слюсаренком. Розроблена методика контролю вихідної інтенсивності лазера дозволяла вимірювати потужність світлових пучків з точністю не гірше ніж 0,5%. Збір та обробка даних, керування експериментом були повністю автоматизовані.

Формування ґраток просторового заряду в нецентросиметричних кристалах за допомогою світла, крім фоторефрактивного, викликає ще фотопружний ефект [4] та модулює у просторі коефіцієнт поглинання [5]. Якщо фоторефрактивний та фотопружний ефекти - це анізотропні ефекти, які описуються тензорами різного рангу, то амплітудна ґратка поглинання ізотропна. Тому, всі вказані ефекти повинні мати неоднакову анізотропію. Визначення впливу цих ефектів на дифракційні властивості ґратки просторового заряду було здійснено на прикладі кристалів арсеніду галію.

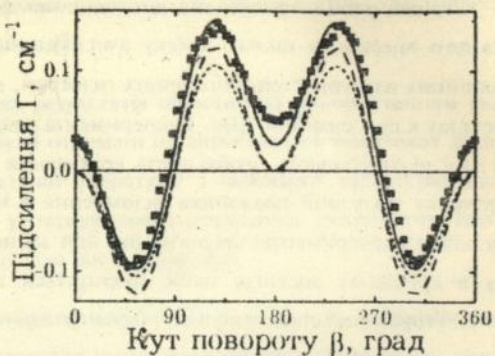
Експериментально вимірювались залежності енергообміну і дифракційної ефективності від кута β між кристалографічним напрямком [001] і

вектором ґратки **К** при заданій поляризації пучків, що записували ґратку. Отримані для кристалів арсеніду галію орієнтаційні залежності коефіцієнту підсилення Γ і дифракційної ефективності η точками зображені на малюнках 1 і 2, відповідно, при поляризації пучків, яка лежить в площині їх сходження.

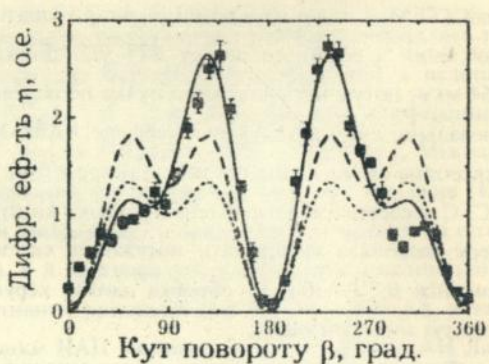
Разом з експериментальними точками показані результати апроксимацій в різних наближеннях теорії. Штриховими лініями з короткими штрихами зображені орієнтаційні залежності для найпростішого випадку

тільки фоторефрактивного запису, довгими штрихами подано розрахунок з урахуванням фотопружного ефекту і, на закінчення, суцільними лініями зображені результати розрахунків, які враховують всі три внески, включаючи амплітудну ґратку. Видно, що останнє наближення теорії найкращим чином якісно і кількісно описує експериментальні результати.

Підкреслимо, що суцільні лінії на малюнках 1 і 2 є результатами розрахунків, а не підгонки з вільними параметрами. Апроксимація даних зроблена з використанням значень амплітуди ґратки коефіцієнту погли-



Мал. 1.



Мал. 2.

нання і ефективного електрооптичного коефіцієнту, що були отримані з незалежних вимірювань енергообміну з орієнтацією двохпучкової взаємодії, при якій вплив фотопружного ефекту неможливий. При розрахунках також використовувались табличні значення п'єзоелектричного коефіцієнту і компонент фотопружного тензору і тензору модуля пружності [4]. Досить гарний кількісний і якісний збіг експериментальних даних з розрахунками свідчить на користь правильності обраної моделі.

Орієнтаційні залежності коефіцієнту підсилення, які були вперше експериментально отримані в даній роботі, підтверджують, що оптимальною орієнтацією, яка забезпечує найбільший енергообмін в кубічних кристалах, дійсно є орієнтація вектора ґратки просторового заряду вздовж просторової діагоналі елементарної комірки. В той же час виґраш у коефіцієнті підсилення порівняно зі стандартною орієнтацією, при якій вектор ґратки спрямований вздовж ребра елементарної комірки, виявляється більше ($\approx 35\%$), ніж очікуване з простої фоторефрактивної моделі значення ($\approx 15\%$). При використанні підходу, що був розвинутий С. М. Шандаровим та ін. [4], вдалося показати, що таке перебільшення пояснюється фотопружним ефектом.

Для встановлення природи амплітудного внеску в GaAs досліджувалась кінетика релаксації ґраток. Характер динаміки запису ґраток просторового заряду і відсутність наведеного поглинання при однорідному освітленні кристалу свідчать про однаковий, а саме, дифузійний механізм формування фазової та амплітудної ґраток.

Таким чином, виключно слабка ґратка нелінійного поглинання, що виникає в арсеніді галію при формуванні ґратки просторового заряду, з амплітудою модуляції $\Delta\alpha \approx 0,025 \text{ см}^{-1}$, суттєво впливає на анізотропію дифракційної ефективності динамічних голограм. При цьому, дифракційна ефективність підсумкової голограми може змінюватись в кілька разів при її зчитуванні в різних, рівнозначних для фоторефракції, напрямках.

У другому розділі повідомляється про використання нового активатора, германію, введення якого до телуриду кадмію дозволяє, за нашими даними, отримати матеріал з найкращими, серед всіх відомих напівпровідникових кристалів, фоторефрактивними характеристиками.

Телурид кадмію є перспективним фоторефрактивним матеріалом тому, що він має найбільший електрооптичний коефіцієнт серед всіх кристалів даного класу. У теперішній час для фоторефрактивного запису використовуються кристали, леговані германієм [8]. Але, характеристики фоторефрактивних ґраток в цьому матеріалі виявляються гіршими, ніж розраховані за табличним значенням електрооптичного коефіцієнту, що пов'язане, скоріше за все, з суттєвою двофазною провідністю. Крім того, введення ванадію значно збільшує поглинання в близькій інфрачервоній області спектру (до $3 \dots 4 \text{ см}^{-1}$ на $\lambda = 1,064 \text{ мкм}$).

Нами були здійснені дослідження фоторефрактивних властивостей високоомних кристалів телуриду кадмію, як номінально чистих, так і з домішками хлору, магнію, германію, кобальту, заліза і титану. Більша частина цих кристалів була вирощена на хімічному факультеті Чернівецького державного університету і надана для досліджень О. Е. Панчуком і П. М. Фочуком.

Запис ґраток просторового заряду був зафіксований тільки в номінально чистих кристалах і в кристалах з германієм. Причому, якщо в номінально чистих кристалах фоторефракція спостерігалась на рівні ресстрації, то в легованих германієм зразках записувались ефективні ґратки, які забезпечували енергообмін без використання зовнішніх полів з коефіцієнтом підсилення до $\Gamma \approx 1,1 \text{ см}^{-1}$. Ця величина перевищує всі відомі з літератури дані для напівпровідникових кристалів. Крім того, коефіцієнт поглинання зразків з германієм не перевищує $1,2 \text{ см}^{-1}$.

З метою характеризації цього матеріалу були проведені комплексні дослідження його фоторефрактивних властивостей. Вимірювались інтен-

сивнісні, орієнтаційні та просторово-частотні залежності стаціонарних характеристик запису та часу релаксації ґраток просторового заряду.

У напівпровідникових кристалих довжина дебаєвського екранування менше дифузійної довжини переносу носіїв заряду та просторових періодів ґраток, що індукуються світлом. У зв'язку з цим, час оптичного стирання ґраток просторового заряду виявляється дуже чутливим до їх просторової частоти і співвідношення характерних довжин транспорту носіїв [9]. Просторово-частотна залежність зворотнього часу релаксації динамічних голограм в телуриді кадмію при рівній інтенсивності стируючого світла, яка зображена на малюнку 3, показує, що час релаксації ґраток може бути змінений в широких межах за рахунок зміни їх просторового періоду.

В роботі показано, що для напівпровідникових кристалих динамічні характеристики ґраток просторового заряду виявляються більш інформативними та забезпечують більш достовірні дані при



Мал. 3.

визначенні електрофізичних параметрів порівняно зі стаціонарними характеристиками. Пов'язано це з тим, що вимірювання часу релаксації не потребує абсолютних вимірювань, немає необхідності у врахуванні анізотропії матеріалу при переході від пропускаючих ґраток до відбиваючих, зміна ефективної довжини вадмоції при зміні кута сходження пучків в кристалі не впливає на результати вимірювань та ін.. У зв'язку з цим, наведені в таблиці 1 дані були отримані, в основному, з апроксимацій самих релаксаційних кривих, а також, різних залежностей характерного часу релаксації (див., наприклад, Мал. 3).

Таблиця 1.

Коефіцієнт поглинання	$\alpha \approx 1,2 \text{ см}^{-1}$
Темнова провідність	$\sigma_d \approx 5 \cdot 10^{-8} \text{ (Ом} \cdot \text{см)}^{-1}$
Константа фотопровідності	$\kappa \approx 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ (} \approx 3 \cdot 10^{-7} \text{) см}^2/\text{В}$
Довжина дебаєвського екранування	$l_s < 0,19 \text{ (} \approx 0,05 \text{) мкм}$
Ефективна концентрація центрів захоплення	$N_T > 1,6 \cdot 10^{16} \text{ (} \approx 2,3 \cdot 10^{17} \text{) см}^{-3}$
Дифузійна довжина переносу носіїв заряду	$L_D > 0,46 \text{ (} \approx 1,3 \text{) мкм}$
Добуток рухливості та часу життя носіїв заряду	$\mu \tau \geq 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ (} \approx 6 \cdot 10^{-7} \text{) см}^2/\text{В}$

В дужках наведені найбільш імовірні значення параметрів за результатами апроксимацій теоретичними залежностями, нерівності показують достовірну нижню, або верхню межу для можливих значень кожного з параметрів.

Як вже відзначалось, легований германієм телурид кадмію забезпечує найкращі фоторефрактивні характеристики серед всіх відомих в теперешній час напівпровідникових фоторефрактивних кристалів. Але ці характеристики ще далекі від передбачених теорією, внаслідок присутності неосновних носіїв заряду. Разом з відділом фізики радіаційних процесів Інституту фізики НАН України (А. П. Шахов) нами були здійснені спроби вплинути на електрофізичні властивості телуриду кадмію, легованому германієм, за рахунок їх γ -опроміювання. Зразок телуриду кадмію, з явно двошполярною провідністю (співвідношення електронної та діркової провідностей $\approx 1,3$) і з великою концентрацією центрів захоплення був підданий γ -опроміюванню з підсумковою дозою 10^7 Рад. У всьому діапазоні досяжних періодів ґратки просторового заряду коефіцієнт підсилення Γ збільшився приблизно в 2,5 рази, в той час, як ефективна концентрація центрів захоплення затишилася приблизно на тому ж рівні.

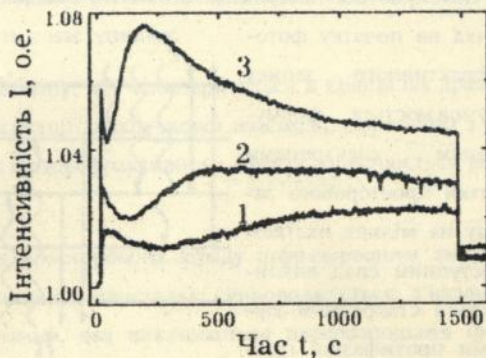
Таким чином, під впливом γ -опроміювання в кристалах телуриду кадмію, легованому германієм, відбувається формування дефектних станів,

які зв'язують неосновні фотозбуджені носії заряду, що призводить до покращення фоторефрактивних властивостей матеріалу.

Третій розділ присвячено дослідженню ґраток просторового заряду, що записуються в кристалах ВТО інфрачервоним випромінюванням. Можливість такого запису обумовлена заселенням мілких пасток носіями заряду за допомогою освітлення кристалів більш короткохвильовим випромінюванням. Проведені дослідження свідчать про фоторефрактивний запис з дифузійним механізмом переносу носіїв. Запропоновано модель, яка пояснює немонотонний характер енергообміну. За результатами досліджень зроблено оцінки енергії активації глибоких пасток.

Внаслідок великих електрооптичних коефіцієнтів широкозонних матеріалів, амплітуда модуляції показника заломлення в них більше, ніж у напівпровідників. Але, здійснити запис ґраток інфрачервоним випромінюванням в широкозонних матеріалах часто неможливо, так як в них відсутні донорні рівні, які підходять для цього спектрального діапазону. В той же час відомо, що в кристалах типу силеніту є велика кількість незаповнених мілких пасток. При їх примусовому заселенні фоторефрактивний запис в цих кристалах інфрачервоним випромінюванням став би можливим.

Для заселення мілких пасток носіями заряду використовувалося освітлення кристалів ВТО видимим некогерентним світлом. Досліджувалась динаміка енергообміну. Зміна інтенсивності слабкого пучка, який пройшов через кристал, що був витриманий в темряві не менше ніж три дні, зображена на малюнку 4 (крива 1). Підсилення пучка збільшувалось в кілька разів після попе-

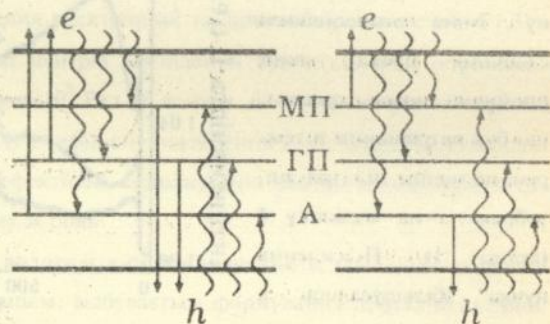


Мал. 4.

реднього освітлення зрачка видимим некогерентним світлом. На малюнку 4 показано зміну інтенсивності сигнального пучка після п'ятихвилинного освітлення кристалу видимим світлом. Затримка між попереднім освітленням і початком запису ґратки складає 20 секунд для кривої 3 та 18 годин для кривої 2. На всіх трьох кривих видно присутність двох піків, після проходження яких встановлюється стаціонарне значення інтенсивності. При повороті кристалу на 180° навколо осі, яка перпендикулярна передній грані, напрямок енергообміну симетрично змінюється, що свідчить про фоторефрактивний запис з дифузійним механізмом переносу заряду для обох максимумів.

Для пояснення експериментальних даних нами використовується модель, яка поєднує дві відомі моделі [10,11], що залучались раніше для пояснення процесів переносу заряду в силенітах (Мал. 5). При освітленні кристалу видимим світлом електрони і дірки генеруються з глибоких рівнів (електрони з А і ГП, а дірки з МП і ГП) та захоплюються на відповідні мілкі пастки (електрони на МП, а дірки на А). При освітленні інфрачервоним світлом носії заряду можуть генеруватися тільки з відповідних мілких пасток, глибина залягання яких в силенітах $\approx 0,7$ еВ. Фотозбуджені носії можуть або знову захоплюватися на тіж рівні, або на більш глибокі.

З використанням запропонованої моделі, експериментальні результати пояснюються наступним чином. Різкий ріст інтенсивності сигнального пучка на початку фоторефрактивного запису обумовлюється формуванням електронами ґратки просторового заряду на мілких пастках. Наступний спад викликається створенням дірками протифазної ґрат-



Мал. 5.

ки на рівні А. Потім електрони звільняють мілкі пастки і записують ґратку на більш глибоких рівнях. Її прояв в енергообміні - це початок другого піку. Аналогічно, дірки залишають свої мілкі пастки та утворюють ґратку на глибоких рівнях, яка частково компенсує ґратку електронів. Після цього процес запису припиняється і встановлюється стаціонарне значення інтенсивності.

При освітленні кристалу під час запису видимим світлом другий пік в динаміці енергообміну повністю зникає. Відбувається це тому, що мілкі пастки в процесі запису не спустошуються, а постійно заповнюються носіями. Крім того, попередньо освітлений зразок просвітлюється під час запису, що є результатом спустошення мілких пасток. Ці факти, а також інші проведені експерименти, підтверджують запропоновану модель. Тобто запис ґраток просторового заряду в кристалах ВТО інфрачервоним випромінюванням є результатом заселення мілких пасток носіями заряду в наслідок освітлення кристалів короткохвильовим світлом. Немонотонна динаміка поля просторового заряду пояснюється нерезподілом фотозбуджених носіїв заряду по енергетичним рівням.

Результати досліджень впливу спектрального складу зовнішнього освітлення на характер енергообміну свідчать, що енергія активації глибоких пасток близька до 2 еВ, що узгоджується з відомими даними.

В заключенні сформульовані основні результати і висновки дисертаційної роботи, які полягають у наступному:

- Підвищення енергообміну, яке спостерігається в кристалах арсеніду галію при оптимальній орієнтації двохпучкової взаємодії, порівняно з розрахунковим значенням для фоторефрактивного ефекту, пояснюється впливом фотопружного ефекту.

- Формування ґратки просторового заряду інфрачервоним випромінюванням в напівпровідникових кристалах супроводжується з'явленням ґратки коефіцієнту поглинання, яка викликається нерезподілом фото-

збуджених носіїв заряду по пастках. Не дивлячись на малу модуляцію поглинання в кристалах арсеніду галію, амплітудна ґратка призводить до суттєвої зміни анізотропії дифракційних характеристик підсумкової ґратки.

- Телурид кадмію, легований германієм, є найкращим фоторефрактивним матеріалом серед всіх відомих напівпровідників. При оптимальній геометрії зустрічної взаємодії енергообмін в цьому матеріалі може забезпечувати підсилення слабкого пучка, яке перевищує лінійне поглинання.

- γ -опромінювання кристалів телуриду кадмію може викликати утворення центрів захоплення неосновних носіїв заряду, що в свою чергу призводить до покращення фоторефрактивних властивостей матеріалу.

- При визначенні характерних довжин переносу носіїв заряду в напівпровідникових кристалах просторово-частотні залежності часу стирання ґраток просторового заряду є більш інформативними та забезпечують більшу достовірність, ніж аналогічні залежності енергообміну.

- Освітлення кристалів титаносиленіту видимим некогерентним світлом призводить до заселення мілких пасток носіями заряду, що забезпечує можливість запису ґраток просторового заряду інфрачервоним випромінюванням. Перерозподіл фотозбуджених носіїв заряду по енергетичних рівнях при запису ґратки просторового заряду обумовлює її немонотонну динаміку.

Основні результати дисертації опубліковані в роботах:

1. С. Г. Одулов, С. С. Слюсаренко, К. В. Щербин, "Енергообмен при записи сдвиговых решеток в теллуриде кадмия", Письма в ЖТФ **15**, вып. 11, с. 10-14 (1989).
2. С. Г. Одулов, О. Э. Панчук, С. С. Слюсаренко, П. М. Фочук, К. В. Щербин, "Чистое усиление при двухпучковом взаимодействии в высокоомном фоторефрактивном теллуриде кадмия", УФЖ **35**, № 9, с. 1302-1304 (1990).

3. S. G. Odoulov and K. V. Shcherbin, "Beam Coupling in BTO in Near Infrared", *Laser Physics* **3**, № 6, p. 1124-1127 (1993).
4. S. G. Odoulov, K. V. Shcherbin, A. N. Shumelyuk, "Photorefractive recording in BTO in the near infrared", *J. Opt. Soc. Am. B* **11**, 1780 (1994).

Література, що цитувалась.

1. A. Ashkin, G. D. Boyd, J. M. Dzedzich, R. G. Smith, A. A. Ballman, J. J. Levinstein, K. Nassau, *Appl. Phys. Lett.* **9**, 72 (1966).
2. N. V. Kukhtarev, V. B. Markov, S. G. Odoulov, M. S. Soskin, and V. L. Vinetskii, *Ferroelectrics* **22**, 949 (1979).
3. P. N. Gunter, *Phys. Report.* **98**, 199 (1982).
4. С. И. Степанов, С. М. Шандаров, Н. Д. Хатьков, *ФТТ* **29**, 3054 (1987).
5. А. В. Алексеев-Понов, А. В. Князьков, А. С. Сайкин, *Письма в ЖТФ* **9**, 1108 (1983).
6. В. В. Шепелевич, Е. М. Храмович, *Оптика и спектроскопия* **85**, 403 (1986).
7. С. Г. Одулов, С. С. Слюсаренко, К. В. Щербин, *Письма в ЖТФ* **15**, вып. 11, 10 (1989).
8. R. B. Bylsma, P. M. Bridenbaugh, D. H. Olson, and A. M. Glass, *Appl. Phys. Lett.* **51**, 889 (1987).
9. M. V. Klein, *Opt. Lett.* **9**, 350 (1984).
10. А. А. Камшинин, М. П. Петров, *ФТТ* **23**, 3110 (1981).
11. В. Н. Астратов, А. В. Ильинский, В. А. Киселев, *ФТТ* **28**, 3438 (1986).

Shcherbin K.V. Space charge gratings in cubic crystals without a center of symmetry induced by infrared light.

Thesis for a Physics and Mathematics candidate's degree on the speciality 01.04.07 - Solid State Physics, Institute of Physics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1995.

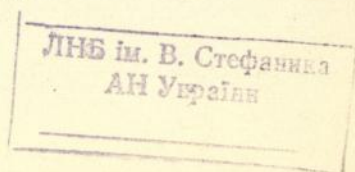
Study of the space charge gratings recording by infrared light in cubic crystals without a center of symmetry is presented. The strong effect of the elastooptic effect and of the nonlinear absorption is shown on the diffraction properties of the space charge grating recording in crystals of $\bar{4}3m$ group of symmetry taking as an example gallium arsenide. Germanium doped cadmium telluride is shown to possess the best photorefractive properties among the other semiinsulating crystals. Space charge grating formation in BTO crystal by infrared light is realized as a result of shallow traps population due to white light illumination of the sample.

Щербин К.В. Решетки пространственного заряда в кубических нецентросимметричных кристаллах, индуцированные инфракрасным излучением.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика твердого тела, Институт физики НАН Украины, Киев, 1995.

В работе проведены исследования решеток пространственного заряда, записываемых инфракрасным излучением в нецентросимметричных кубических кристаллах. На примере арсенида галлия показано сильное влияние фотоупругого эффекта и амплитудной решетки коэффициента поглощения на дифракционные свойства решеток пространственного заряда, формируемых в кристаллах группы симметрии $\bar{4}3m$. Для кристаллов теллурида кадмия, легированного германием получены наилучшие для всех известных полупроводников фоторефрактивные характеристики. Осуществлена запись решеток пространственного заряда в кристаллах ВТО инфракрасным излучением за счет заселения мелких ловушек носителями заряда в результате освещения образцов видимым светом.

Ключові слова: гратки просторового заряду, фоторефрактивний ефект, арсенід,галію, теллурид кадмію, мілкі пастки.



ЩЕРБІН КОСТЯНТИН ВОЛОДИМИРОВИЧ

ГРАТКИ ПРОСТОРОВОГО ЗАРЯДУ В
КУБІЧНИХ НЕЦЕНТРОСИМЕТРИЧНИХ КРИСТАЛАХ, ЯКІ
ПІДУКЮЮТЬСЯ ІНФРАЧЕРВОНИМ ВІПРОМІНЮВАННЯМ

Підписано до друку 10.01.1996 Формат паперу 60 × 84 16

Папір оцетний 80 гр/м². Офсетний друк.

Ум.-друк аркушів 1 Об.-вид аркушів 0,7.

Тираж 100 Зам 1

Безкоштовно.

Інститут фізики НАН України, ВНТІ.

252650, Київ-22, ДСП, проспект Науки 46.

БЕЗКОШТОВНО

АВ 33.779