

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ФІЗИКИ

*На правах рукопису*

**ШУМЕЛЮК Олександр Миколайович**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОРЕФРАКТИВНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  В БЛИЖНЬОМУ  
ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ СПЕКТРУ**

*01.04.05 - оптика та лазерна фізика*

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата фізико-математичних наук

**Київ-1996**

№ 6.35.800

Робота виконана в Інституті фізики НАН України.

*Наукові керівники:*

член кореспондент НАН України,  
доктор фізико-математичних наук, професор  
Одулов Сергій Георгійович  
кандидат фіз.-мат. наук  
Щербін Костянтин Володимирович

*Офіційні опоненти:*

доктор фізико-математичних наук, професор  
Обуховський Вячеслав Володимирович  
кандидат фізико-математичних наук, провідний  
науковий співробітник  
Максимяк Петро Петрович

*Провідна організація:*

Ужгородський державний університет,  
м. Ужгород

Захист відбудеться " 21 " листопад 1996 р. о 14<sup>30</sup> годині  
на засіданні спеціалізованої Вченої ради К07. 01. 05 при  
Чернівецькому державному Університеті ім. Ю. Федьковича за адресою:  
274012, м. Чернівці, вул. Коцюбинського, 2.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Чернівецького державного  
університету.

Автореферат розісланий " 12 " листопад 1996 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої Вченої ради

П. В. Полянський

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00760522 (M)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Дослідження явища фоторефракції, тобто зміни показника заломлення кристалів без центру інверсії внаслідок нерівномірного освітлення [1], привертає увагу можливістю практичного застосування як для оптичної обробки інформації, так і для зменшення розбіжності та компенсації спотворень лазерного пучка за допомогою явища обернення хвильового фронту [2].

Через поширеність напівпровідникових лазерів, які випромінюють в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні спектру, важливим є дослідження фоторефрактивних кристалів, які можуть працювати в цій області. Більшість фоторефрактивних кристалів традиційно застосовується у видимій області спектру, а в інфрачервоній, якщо вони й виявляють чутливість, то забезпечують значно менший енергообмін. До того ж для напівпровідникових фоторефрактивних кристалів характерні високі коефіцієнти поглинання, що нівелює і так досить малі значення коефіцієнтів підсилення у двопробних взаємодіях. Тому пошук та дослідження нових кристалів, чутливих в інфрачервоній ділянці спектру, є актуальним з суто практичної точки зору.

З іншого боку, дослідження фоторефрактивних властивостей нових матеріалів привертає увагу і з наукової точки зору, бо дозволяє визначити електрофізичні параметри матеріалів та отримати інформацію про процеси, що відбуваються під час запису. Цю інформацію інколи важко отримати іншими методами.

**Метою роботи** було вивчення фоторефрактивних властивостей тіогіподифосфату цини ( $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ) в інфрачервоному діапазоні спектру та процесів підсилення когерентного лазерного світла при нелінійній взаємодії в цьому матеріалі.

Для досягнення цієї мети були виконані такі конкретні завдання:

- проведення детального дослідження залежностей коефіцієнту підсилення світла від експериментальних параметрів (періоду ґратки, інтенсивності світла, орієнтації зразка та світлових хвиль, поляризації світла, температури);

- вивчення дифракційної ефективності ґраток просторового заряду та динаміки енергообміну під час їхнього запису та оптичного стирання;

- отримання інформації про електрофізичні параметри в результаті зіставлення та аналізу динамічних і стаціонарних характеристик.

**Наукова новітність** роботи полягає в тому, що вперше:

- встановлено, що  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  притаманний нелокальний нелінійний відгук у ближній інфрачервоній області спектру, проявом якого є зміщення поля просторового заряду на чверть періоду відносно інтерференційної картини;

- показано, що стаціонарна ґратка в  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  має "швидку" та "повільну" компоненти, які утворюються фотозбудженими електронами та термічно збудженими дірками;

- за допомогою голографічних методик визначено електрофізичні параметри тіогіподифосфату цини окремо для носіїв різних знаків;

- встановлено, що формування "швидкої" ґратки відбувається за рахунок фотостимульованих стрибків електронів на мілкому рівні захоплення.

**Практична цінність** роботи полягає в тому, що:

- встановлено можливість використання тіогіподифосфату цини як фоторефрактивного кристалу, чутливого в ближньому інфрачервоному діапазоні спектру, з коефіцієнтом підсилення  $7 \text{ см}^{-1}$  за мілісекундної швидкодії і коефіцієнтом поглинання, меншим  $1 \text{ см}^{-1}$ ;

- експериментально та теоретично показано, що використання рухомої інтерференційної картини в тіогіподифосфаті цини дозволяє повністю виключити запис протифазної ґратки просторового заряду збудженими теплом дірками і за рахунок цього значно збільшити величину стаціонарного енергообміну.

#### Положення, що виносяться на захист

1. За кімнатної температури стаціонарна ґратка просторового заряду в кристалах  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  утворюється за рахунок просторового перерозподілу фотозбуджених електронів; термічно збуджені дірки формують протифазну ґратку, яка частково компенсує електронну.
2. Підвищення чутливості  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  до запису в інфрачервоному діапазоні спектру попередньою засвіткою некогерентним білим світлом досягається збільшенням концентрації електронів на мілких центрах захоплення, що відповідають за формування ґратки просторового заряду.
3. Стаціонарний коефіцієнт підсилення в  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  може бути значно збільшений за рахунок зменшення амплітуди "повільної" ґратки, що формується термозбудженими дірками. Експериментально це досягається шляхом зміщення частоти однієї з записуючих ґратку когерентних світлових хвиль або шляхом зниження температури зразка.
4. Формування фотозбуджених електронних ґраток просторового заряду в  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  під час запису випромінюванням близького інфрачервоного діапазону здійснюється за рахунок фотостимульованих стрибків носіїв заряду.

Вірогідність наукових результатів забезпечувалась використанням добре апробованих експериментальних методик, сучасної виміральної апаратури та обчислювальної техніки і підтверджується їхньою відтворюваністю.

**Особистий внесок автора** полягає у проведенні більшості експериментальних досліджень, обробці їхніх результатів та виконанні теоретичних розрахунків.

**Апробація роботи.** Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на 2-й Міжнародній конференції “Голографія та кореляційна оптика” (Чернівці, 1995 р.), 5-й Міжнародній конференції “Фоторефрактивні матеріали, ефекти та прилади, PR’95” (Аспен Лодж, США, 1995 р.), 6-й Міжнародній конференції “Нелінійна оптика рідких та фоторефрактивних кристалів” (Ай-Даніль, 1995 р.), 17-му Конгресі Міжнародної комісії з оптики ICO-17 “Оптика в науці та для сучасних технологій” (Тайджон, Корея, 1996 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 5 друкованих праць, список яких наведений в авторефераті.

## ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** міститься обґрунтування актуальності проведених в дисертаційній роботі досліджень, сформульовано мету роботи, визначено наукову новітність, а також викладено положення, що виносяться на захист.

**Перший розділ** присвячено огляду літератури з питань формування фоторефрактивних ґраток. Наведено аналіз декількох найуживаніших методик, що дозволяють збільшити величину стаціонарного енергообміну. А саме, прикладання постійного та змінного зовнішнього поля [3], інтенсивнісно-температурний резонанс [4], пошук домішок, які здатні створити рівні в забороненій зоні таким чином, що стає можливим збудження носіїв заряду з цих рівнів випромінюванням близького ІЧ діапазону спектру [5, 6], попереднє освітлення кристалу білим світлом [7].

Наголошено на актуальності пошуку нових матеріалів, чутливих в ІЧ діапазоні спектру. Зокрема, одним з матеріалів, в якому нещодавно було

помічено фоторефрактивний запис на довжині хвилі He-Ne лазера 0,63 мкм, є тіогіподифосфат цини ( $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ ) [8]. Цей кристал належить до моноклінної групи симетрії  $m$ , тобто йому притаманна лише площина симетрії, в якій знаходиться вісь спонтанної поляризації; теоретично не рівні нулеві десять електрооптичних коефіцієнтів [9].  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  оптично прозорий в діапазоні 0,53 - 8 мкм. Оскільки фотопровідність простягається за 900 мкм [10], висунуто припущення про можливість фоторефрактивного запису в ІЧ області спектру. Близькість температури фазового переходу другого роду ( $66^\circ\text{C}$ ) також привертає особливу увагу, оскільки електрофізичні та електрооптичні параметри поблизу цієї точки стрімко змінюються.

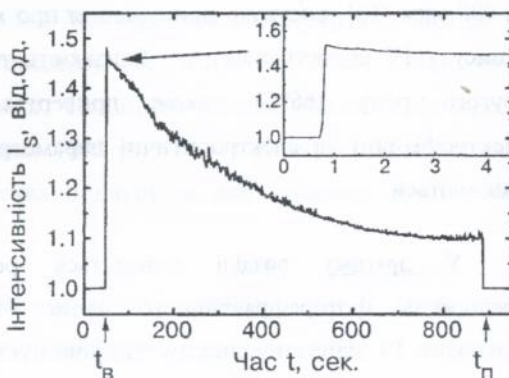
У другому розділі наводяться результати експериментальних досліджень фоторефрактивного запису в  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  випромінюванням близького ІЧ діапазону спектру та пропонується схема енергетичних рівнів, залучених до формування просторового заряду. Подано стислий опис експериментальної установки.

За джерело випромінювання правив неперервний одночастотний лазер на алюмоітрієвому гранаті з неодимом з світлодіодною накачкою, виробництва фірми ADLAS. Довжина хвилі випромінювання 1,064 мкм, потужність до 0,5 Вт. Для збору та обробки експериментальних даних було використано персональний комп'ютер, дані в який вводились за допомогою інтерфейсу КАМАК та цифрового осцилографа С7-109.

Для встановлення можливості фоторефрактивного запису в ІЧ діапазоні випромінювання було зібрано наступну оптичну схему. Пучок світла ІЧ лазера поділявся на два, слабший по інтенсивності - сигнальний, та сильніший - промінь накачки. Обидва промені за допомогою дзеркал були зведені таким чином, щоб забезпечити якомога краще їх перетинання в об'ємі кристалу. Кут зведення променів  $2\theta$  визначав період інтерференційної картини  $\Lambda = \lambda / 2 \sin \theta$ . Кристал Z-зрізу (вісь спонтанної

поляризації майже паралельна кристалографічній осі OX) був зорієнтований таким чином, щоб падаючі промені та вектор спонтанної поляризації знаходились в одній площині. Поляризація променів горизонтальна (в площині падіння світлових променів). Два промені падали на одну грань кристалу, тобто записувалась пропускаюча ґратка. Типова динаміка потужності сигнального променя наведена на мал.1.

Моменти часу, в які відбувалося відкриття та перекриття променя накачки, позначено  $t_B$  та  $t_P$ . Після відкриття променя накачки спостерігається експоненційне зростання потужності сигнального променя з наступним значно повільнішим експоненційним спаданням та виходом на ста-



Мал. 1.

ціонарне значення, яке майже вчетверо менше пікового. Обертання кристалу на  $180^\circ$  навколо осі [001] (бісектриси кута між променями накачки та сигналу) змінювало напрямок енергообміну на протилежний, що є характерним для дифузійного або стрибкового перерозподілу об'ємного заряду.

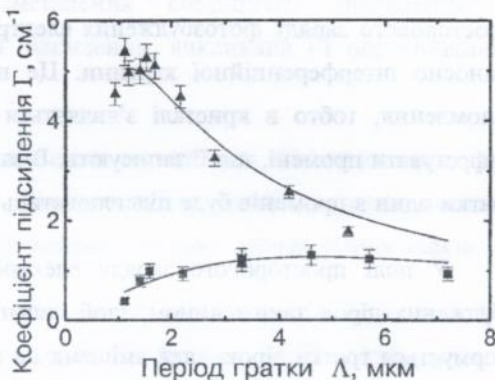
Вимірювання дифракційної ефективності протягом оптичного стирання ґратки показало присутність двох ґраток носіїв різних знаків: ґратки з малим часом формування та ґратки з довгим часом формування. Дослідження інтенсивнісних залежностей постійних часу запису ґраток дозволяє стверджувати, що ґратка з малим часом запису утворюється внаслідок перерозподілу фотозбуджених електронів. ґратка з довгим часом запису формується термічно збудженими носіями іншого знаку.

За допомогою оптичних методик визначено знак рухомого заряду для "швидкої" та "повільної" ґратки. Експеримент полягав у порівнянні

електрооптичних та фоторефрактивних властивостей тіогіподифосфату цини з кристалом SBN, для якого відомий знак носіїв, що формують фоторефрактивну ґратку (електрони). Було встановлено, що фотозбуджену ґратку формують електрони, а темнову - дірки.

Дослідження впливу попередньої засвітки на коефіцієнт підсилення, розпочате з кристалами  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  [7], було продовжене з  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ . На мал. 2 наведено залежності коефі-

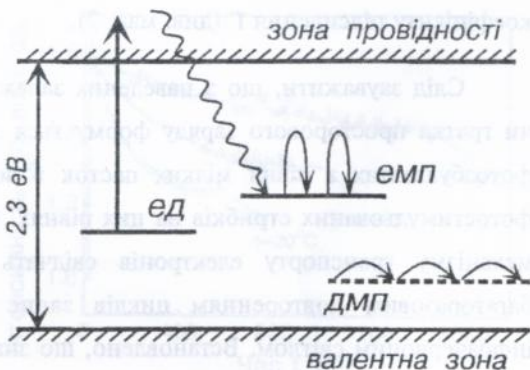
цієнту підсилення електронної ґратки від її періоду. Квадратики відповідають вимірам коефіцієнту підсилення кристалу, що тривалий час перебував у темряві (біля двох місяців), трикутники - після освітлення некогерентним білим світлом. Неперервні лінії - це числове моделювання з урахуванням обмеженої довжини Дебаєвого екранування [1].



Мал. 2.

особливо на малих періодах.

Проведені експерименти дозволяють запропонувати схему енергетичних рівнів, залучених до формування об'ємного заряду в тіогіподифосфаті цини (мал. 3). В забороненій зоні існують глибокі електронні рівні - донори електронів (ед), мілкі рівні електронних пасток



Мал. 3.

(емп), частково заселені електронами та мілкі рівні діркових пасток (дмп), частково зайняті термічно збудженими дірками.

Під час освітлення зразка двома когерентними хвилями виникає інтерференційна картина інтенсивності. Нерівномірність освітлення зразка призводить до просторової нерівномірності ймовірності стрибка електрона на рівні мілких пасток. В результаті електрони перерозподіляються в місця, де менша ймовірність їхніх стрибків. Внаслідок цього процесу поле просторового заряду фотозбуджених електронів зміщене на чверть періоду відносно інтерференційної картини. Це поле викликає зміну показника заломлення, тобто в кристалі з'являється фазова ґратка, на якій будуть дифрагувати промені, що її записують. В залежності від напрямку зсуву цієї ґратки один з променів буде підсилюватись, інший - послаблюватись.

У полі просторового заряду електронів відбувається рух термічно збуджених дірок таким чином, щоб скомпенсувати це поле. В результаті формується ґратка дірок, яка зміщена на півперіоду відносно електронної ґратки.

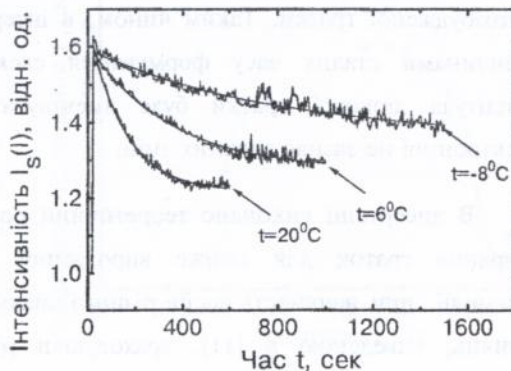
З поглинанням високоенергетичного кванту білого світла електрони збуджуються в зону провідності, звідки частина електронів повертається на глибокі рівні, а частина захоплюється на мілких пастках (емп). Це зменшує Дебаєву довжину екранування електронів, що призводить до збільшення коефіцієнту підсилення  $\Gamma$  (див. мал. 2).

Слід зауважити, що з наведених залежностей неможливо встановити чи ґратка просторового заряду формується за рахунок дифузії електронів, фотозбуджених з рівня мілких пасток в зону провідності, чи внаслідок фотостимульованих стрибків на цих рівнях. Однак на користь стрибкового механізму транспорту електронів свідчать результати експериментів з багаторазовим повторенням циклів запис - оптичне стирання ґраток інфрачервоним світлом. Встановлено, що значення коефіцієнту підсилення

не зменшується при багаторазових послідовних циклах запис - стирання. Мало того, при освітленні зразка інтенсивним інфрачервоним світлом потужністю біля  $50 \text{ Вт/см}^2$  протягом 12 годин величина коефіцієнту підсилення суттєво не змінюється. Якби при освітленні зразка інфрачервоним світлом відбувалось переведення електронів у зону провідності, частина електронів поверталась би на глибокі пастки, і Дебаєва довжина для електронів збільшувалась. Як наслідок, з повторенням вимірів спостерігалось би зменшення коефіцієнта підсилення. В експерименті зміна коефіцієнта підсилення, викликана ІЧ опроміненням, не спостерігалась.

Третій розділ присвячено вивченню можливості збільшення величини стаціонарного енергообміну за рахунок зміни співвідношення амплітуд фоторефрактивних ґраток, що сформовані носіями заряду різних знаків.

У попередньому розділі зазначено, що діркова ґратка формується за рахунок темнових носіїв, які генеруються теплом. Щоб підтвердити це припущення, доцільно було дослідити вплив зміни температури на формування діркової ґратки. В експерименті для охолодження зразка тіогіподифосфату цини до  $-15^\circ\text{C}$  використовувався елемент Пельтьє. Проводились вимірювання зміни в часі потужності сигнального променя при наявності променя накачки при різних температурах (мал. 4). Не важко помітити, що зменшення температури призводить не тільки до зменшення амплітуди ґратки, сформованої дірками, але й до збільшення сталої часу формування цієї ґратки. Тобто, шляхом зменшення температури вдається майже повністю подавити розвиток



Мал. 4.

діркової ґратки.

Аналізуючи залежність сталої часу запису діркової ґратки від температури, можна визначити енергію  $\Delta E$  термічного збудження дірок ( $W \propto \exp(-\Delta E/kT)$ ).

Інший шлях зменшення негативного впливу ґратки, що формується дірками, на величину стаціонарного енергообміну полягає у використанні записуючих променів, які відрізняються по частоті. У випадку тіоподифосфату цини сталі часу формування електронної та діркової ґраток відрізняються на декілька порядків. Якщо частотні зміщення досить малі, тобто різниця частот  $\Omega$  значно менша величин, обернених до сталої часу формування електронної та діркової ґраток  $1/\tau_e$ ,  $1/\tau_p$ , то як електронна, так і діркова ґратки будуть встигати повністю записуватись навіть при рухомій інтерференційній картині. Зі збільшенням частоти до величин, співвимірних з оберненим часом формування діркової ґратки, відбудеться поступове зменшення амплітуди цієї ґратки за рахунок того, що вона не встигатиме повністю сформуватись. Подальше збільшення частоти буде призводити тільки до зменшення амплітуди діркової ґратки, аж поки частота зсуву променя не досягне значення, співвимірного з оберненою величиною часу формування електронної ґратки. Наступне збільшення частоти призводитиме також до зменшення амплітуди фотозбудженої ґратки. Таким чином, в інтервалі частот між оберненими величинами сталих часу формування електронної та діркової ґраток амплітуда діркової ґратки буде зменшуватись до нуля, а амплітуда електронної не зазнає значних змін.

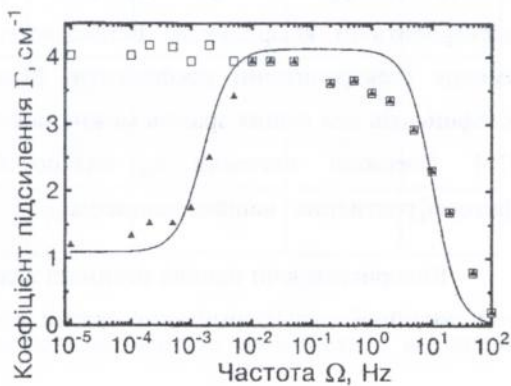
В дисертації виконано теоретичний розрахунок динаміки запису та стирання ґраток для майже виродженої за частотою двопрменевої взаємодії при наявності носіїв різного знаку. Ми скористались системою рівнянь, наведеною в [11], враховуючи різницю частот. Тобто, були

використані тільки матеріальні рівняння (зміну інтенсивності світлових променів в об'ємі зразка враховано не було) в припущенні, що контраст інтерференційної картини є малим. Остаточний вираз для коефіцієнта підсилення  $\Gamma$  має вигляд:

$$\Gamma(t) \sim KE_D \frac{1 + \ell_{Sn}^2 K^2}{(1 + \ell_{Sn}^2 K^2)^2 + (\tau_m^p \Omega)^2} \left( - \frac{1 + \ell_{Sp}^2 K^2}{(1 + \ell_{Sp}^2 K^2)^2 + (\tau_m^p \Omega)^2} \times \left\{ 1 - \exp \left( - \frac{1 + \ell_{Sp}^2 K^2}{\tau_m^p (1 + \ell_{Dp}^2 K^2)} t \right) \times \left( \cos \left( \frac{\Omega}{1 + \ell_{Dp}^2 K^2} t \right) + \frac{\tau_m^p \Omega}{1 + \ell_{Sp}^2 K^2} \sin \left( \frac{\Omega}{1 + \ell_{Dp}^2 K^2} t \right) \right) \right\} - \left\{ 1 - \exp \left( - \frac{1 + \ell_{Sn}^2 K^2}{\tau_m^n (1 + \ell_{Dn}^2 K^2)} t \right) \times \left( \cos \left( \frac{\Omega}{1 + \ell_{Dn}^2 K^2} t \right) + \frac{\tau_m^n \Omega}{1 + \ell_{Sn}^2 K^2} \sin \left( \frac{\Omega}{1 + \ell_{Dn}^2 K^2} t \right) \right) \right\} \right)$$

де  $K=2\pi/\Lambda$  - просторова частота ґратки;  $E_D$  - дифузійне поле;  $\ell_{Sn}$ ,  $\ell_{Sp}$  - Дебаєві довжини екранування електронів та дірок;  $\ell_{Dn}$ ,  $\ell_{Dp}$  - дифузійні довжини переносу електронів та дірок;  $\tau_m^n$ ,  $\tau_m^p$  - характерні часи діелектричної релаксації для електронів та дірок.

В експерименті частотне зміщення одного з променів здійснювалось за допомогою електрооптичного модулятора. Два промені зводились під кутом  $60^\circ$  (період ґратки  $\Lambda=1\mu\text{км}$ ) і проводилось вимірювання потужності слабого променя в часі. Далі обраховувались коефіцієнт підсилення електронної ґратки та стаціонарний коефіцієнт підси-



Мал. 5.

лення. На мал. 5 побудовано залежність цих коефіцієнтів підсилення від частоти зміщення променя. Коефіцієнт підсилення електронної ґратки позначений квадратами, а сумарної - трикутниками. Неперервна лінія відповідає чисельному розрахунку за формулою, наведеною вище. Результати теоретичного розрахунку добре узгоджуються з експериментальними даними. Зазначимо існування інтервалу частот, на якому стаціонарний коефіцієнт підсилення збігається або дуже близький до коефіцієнту підсилення електронної ґратки. Це свідчить про те, що амплітуда ґратки, які формуються за рахунок дірок, майже дорівнює нулеві.

Четвертий розділ присвячено визначенню електрофізичних параметрів для кількох зразків тіогіподифосфату пини. Отримані дані зведені до таблиці 1.

У припущенні наявності однієї електронної ґратки було проведено визначення ефективної концентрації електронів на мілких пастках (мал. 3) за її стаціонарними характеристиками. Відомо [12], що максимальне значення залежності коефіцієнта підсилення від періоду відповідає  $\ell_{Sn}$ -Дебаєвій довжині екранування (мал. 2). Визначивши  $\ell_{Sn}$ , можна знайти концентрації електронів на мілких пастках для зразка як до, так і після освітлення.

З тих самих залежностей  $\Gamma = \Gamma(\lambda)$  було оцінено також ефективні електрооптичні коефіцієнти. Встановлено, що попередня засвітка не змінює електрооптичні коефіцієнти. Різницю значень електрооптичних коефіцієнтів для різних зразків можна пояснити немонодоменністю зразків [13]. Одержані значення  $\gamma_{ef}$  значно більші, ніж для традиційних фоторефрактивних напівпровідників.

Використовуючи раніше отримані значення для  $\ell_{Sn}$ ,  $\ell_{Sp}$ , із залежностей постійної часу формування ґратки від інтенсивності за процедурою,

детально описаною в [14], було визначено дифузійні довжини переносу носіїв заряду  $l_{Dn}$ ,  $l_{Dp}$ .

Таблиця 1.

Розміри $a \times b \times c$ , мм <sup>3</sup>	Зразок №1		Зразок №2	Зразок №3	
	3×3×2		6×6×1,2	9×5×4,5	
	до освітл.	після освітл.	після освітл.	до освітл.	після освітл.
$\Gamma_1 A \cos \theta$	8,4	8,4	11	12	12
Дебаєва довжина екранування електр. $l_{Se}$ , мкм	4,2	1,6	0,9	4,7	1,2
Дебаєва довжина екранування дірок $l_{Sh}$ , мкм	-	3,8	-	-	-
Дифузійна довжина переносу електронів $l_{De}$ , мкм	-	0,6	-	-	-
Дифузійна довжина переносу дірок $l_{Dh}$ , мкм	-	0	-	-	-
Час максвелівської релаксації електр. $\tau_{1d}$ , сек.	2	2	2	-	-
Час максвелівської релаксації дірок $\tau_{2d}$ , сек.	-	280	-	-	-
Концентрація електронів на рівні $N_{es}$ , см <sup>-3</sup>	9,6×10 <sup>14</sup>	6,7×10 <sup>15</sup>	2,1×10 <sup>16</sup>	7,7×10 <sup>14</sup>	1,2×10 <sup>16</sup>
Добуток рухливості на час життя для електр. $\mu_n \tau_n$ , см <sup>2</sup> /В	-	1,5×10 <sup>-7</sup>	-	-	-
Ефективний електрооптичний коефіцієнт $\Gamma_{ef}$ , пм/В	35,5	35,5	50	53	53
Енергія термічного збудження дірок $\Delta E$ , еВ	-	0,3	-	-	-
Темнова провідність $\sigma_d$ , 1/(Ом×см)	-	10 <sup>-11</sup>	-	-	-
Постійна фотопровідності $\kappa$ , см/В <sup>2</sup>	-	7×10 <sup>-10</sup>	-	-	-

**В заключній частині** сформульовані основні результати і висновки дисертаційної роботи:

- Встановлено можливість застосування тіогіподифосфату цини для фоторефрактивного запису в ближній інфрачервоній області спектру як матеріалу з найбільшим коефіцієнтом підсилення за мілісекундної швидкодії у цьому діапазоні спектру.

- При фоторефрактивному записі у тіогіподифосфаті цини формуються дві ґратки: “швидка” ґратка записується за рахунок фотостимульованих стрибків електронів, а “повільна” - за рахунок термічно збуджених дірок.

- Попередня засвітка кристалу тіогіподифосфату цини некогерентним білим світлом перерозподіляє електрони з глибоких на мілкі пастки, внаслідок чого збільшується кількість електронів та зменшується Дебаєва довжина екранування електронів, що значно збільшує коефіцієнт підсилення.

- Проведено детальний теоретичний розрахунок невідродженої двохпучкової взаємодії за наявності носіїв різного знаку. Результати розрахунку якісно і кількісно збігаються з результатами експерименту.

- Зниження температури кристалу тіогіподифосфату цини дозволяє збільшити стаціонарний коефіцієнт підсилення за рахунок “виморожування” темних дірок і, внаслідок цього, зменшення амплітуди деструктивної діркової ґратки.

- Спираючись на голографічні методики, розраховано ряд електрофізичних параметрів тіогіподифосфату цини.

#### **Основні результати дисертації опубліковані в роботах:**

1. Odoulov S., Shumelyuk A., Hellwig U., Rupp R., and Brost G., “New Photorefractive Ferroelectric for Red and NearInfraRed: Tin Hypothiodiphosphate”, Japanese J. Appl. Phys. vol.35, part 1, № 9B, pp. 4-6 (1996).

2. Odoulov S. G., Shumelyuk A. N., Hellwig U., Rupp R. A., Grabar A. A., "Photorefractive beam coupling in Tin-Hypothiodiphosphate in the Near-Infrared", Optics Letters, vol. 21, №10, pp. 752-754 (1996).
3. Odoulov S. G., Shumelyuk A. N., Hellwig U., Rupp R. A., Grabar A. A., and Stoyka I. M., "Photorefraction in Tin-Hypothiodiphosphate in the Near-Infrared", JOSA B, vol. 13, №10, pp. 2352-2360 (1996).
4. Odoulov S., Shumelyuk A., Hellwig U., Rupp R., and Brost G., "New Photorefractive Ferroelectric for Red and NearInfraRed: Tin Hypothiodiphosphate", Proceedings of ICO-17, v.2778, pp. 756-757 (1996).
5. G. von Bally, Rickermann F., Odoulov S. and Shumelyuk A., "Near-Infrared Holographic Recording in  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  with Nanosecond Pulses", Phys. Stat. Solidi (a), vol.157, N 1, pp. 199-204 (1996).

#### Література, що цитувалась.

1. Photorefractive materials and their application 1,2. ed. by P. Gunter and J. P. Huignard - Springer-Verlag, TAPb61, 62 Heidelberg, Berlin, (1987).
2. Ю. А. Ананьев, Квантовая электроника №1, с. 1669-1672 (1974).
3. S. I. Stepanov and M. P. Petrov, Opt. Commun. 53, 292 (1985).
4. P. Gravey, G. Picoli, and J. Y. Labandibar, Opt. Commun. 70, 190 (1989).
5. G.W.Ross, P.Hribek, R.W.Eason, M.H.Garret, and D.Rytz, Opt. Commun., 101, 60, (1993).
6. B.A.Wechsler, M.B.Klein, C.C.Nelson, and R.N.Schwartz, Opt. Lett., 19, 536, (1994).
7. S.G. Odoulov, K.V. Shcherbin, A.N. Shumelyuk, J. Opt. Soc. Am. B 11, №9, pp 1780 (1994).
8. Р.О. Влох, Ю.М. Высочанский, А.А. Грабар, А.В. Китык, В.Ю.Сливка, Неорганические материалы, т.27, №4, ст.689-691, (1991).
9. Ю. М. Высочанский, В. Ю. Сливка, "Сегнетоэлектрики семейства  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ . Свойства в окрестности точки Лифшица", Львов (1994).
10. В.П. Тербан, А.Д. Семак, А.А. Грабар, "Материалы оптоэлектроники", Изд. "Техніка", ст. 103-107, (1992).
11. S. Zhivkova and M. Miteva, J. Appl. Phys. 68 (7), pp. 3099-3103, (1990).
12. M. B. Klein, G. C. Valley, J. Appl. Phys. 57, 4901 (1985).
13. Yu. Vysochansky, M.M. Mayor, S.I. Perechinsky, N.A. Tikhomirova, ISFD, Volgograd, p. 71, (1989).
14. Н. В. Кухтарев, Письма в ЖТФ 2, №24, с. 1114-1119 (1976).

## Shumelyuk A. N. Photorefraction of $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$ in Near InfraRed.

Thesis for Candidate of Science Degree in Physics and Mathematics.

01.04.05 - Optic and Laser Physics, Chernovtsy University, Chernovtsy, 1996.

Infrared photorefractive recording in Tin hypthiodiphosphate is studied in this work. The model of space charge development is formulated and justified and the main electrophysical parameters of  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  are evaluated from optical data. The pre-exposure of  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  samples to white light is shown to improve significantly their sensitivity to infrared recording. The gain factor up to  $7 \text{ cm}^{-1}$  at  $10^{-3}$  s response times are achieved. The dynamics of nearly degenerate two-beam coupling is calculated which describes quantitatively well the experimental dependences.

Шумелюк А. Н. Исследования фоторефрактивных свойств  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  в ближнем инфракрасном диапазоне спектра.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 - Оптика и лазерная физика, Черновицкий госуниверситет, Черновцы, 1996.

В работе проведены исследования фоторефрактивной оптической записи в тигиподифосфате олова излучением ближней инфракрасной области спектра. Предложена и обоснована модель формирования пространственного заряда, а также определены основные электрофизические параметры  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  по оптическим данным. Показано, что предварительная засветка образцов  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  белым светом существенно повышает их чувствительность к ИК записи. Достигнуто усиление до  $7 \text{ cm}^{-1}$  при миллисекундном нелинейном отклике. Теоретически рассчитана динамика квазивырожденного двухпучкового взаимодействия; результаты расчета хорошо согласуются с экспериментальными данными.

**Ключові слова:** ґратки просторового заряду, фоторефрактивний ефект, тигіподифосфат цини, мілкі пастки, темнові носії.

ШУМЕЛЮК Олександр Миколайович

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОТОРЕФРАКТИВНИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ  $\text{Sn}_2\text{P}_2\text{S}_6$  В БЛИЖНЬОМУ  
ІНФРАЧЕРВОНОМУ ДІАПАЗОНІ СПЕКТРУ

Підписано до друку 07.10.1996. Формат паперу

Папір овсетний 80 гр/м<sup>2</sup>. Офсетний друк.

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

Тираж 100. Зам.

Безкоштовно.

1120700

БЕЗКОШТОВНО

AB. 35.800  
**AB 35.800**