

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМ. І. ФРАНКА

На правах рукопису

ПАВЛИШЕНКО

Богдан Михайлович

УДК 621.315.592

РЕКОМБІНАЦІЙНИЙ МЕХАНІЗМ
П'ЄЗОФОТОРЕЗИСТИВНОГО ЕФЕКТУ В
НАПІВПРОВІДНИКАХ

01.04.10 - фізика напівпровідників і діелектриків

- А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Львів - 1995

621. 3151. 89
334. 226

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00761497 (Y)

Дисертація є рукопис.
Роботу виконано на кафедрі фізики
державного університету ім. І.Франка

Науковий керівник - кандидат фізико-математичних наук, доцент
ШУВАР Р. Я.

Офіційні опоненти:

доктор фізико-математичних наук, професор
САВИЦЬКИЙ В.Г.
кандидат фізико-математичних наук, професор
ЦЮЦЮРА Д.І.

Провідна організація - Інститут фізики напівпровідників
ІАН України.

Захист дисертації відбудеться < 6 > *середня* 1995 р.
о 15 год. на засіданні спеціалізованої Ради Д 04.04.08 при Львівському державному університеті ім. І.Франка (290005, Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8, Велика фізична аудиторія).

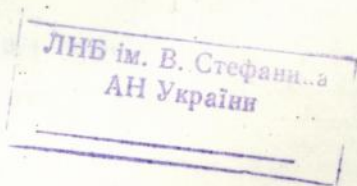
З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці
Львівського університету ім. І.Франка (вул. Драгоманова, 5).

Відгуки на автореферат у двох примірниках, завірені печаткою
просимо надсилати за адресою: 2900005, м.Львів, вул. Кирила і
Мефодія, 8, фізичний факультет, вченому секретарю.

Автореферат розіслано < 2 > *листом* 1995 року.

Вчений секретар
спеціалізованої Ради Д 04.04.08
доктор фіз.-мат. наук, професор

Л. Блажівський
БЛАЖИЄВСЬКИЙ Л.Ф.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Дослідження нових ефектів, які виникають в напівпровідниках, в умовах спільної дії на напівпровідниковий кристал декількох, відмінних за своєю природою, зовнішніх факторів є одним з перспективних напрямків фізики. Характер відгуку напівпровідника на таке комбіноване збудження визначається як параметрами кристалу так і параметрами збуджуючих полів, в залежності від яких реалізуються різні механізми відгуку. Це створює перспективу застосування даних ефектів у функціональній електроніці і в якості нових методів дослідження параметрів напівпровідників. З огляду на векторний характер деформаційного збудження та широкий спектр зміни параметрів кристалу, керованих деформацією та світлом, особливу увагу заслуговує спільна дія на напівпровідник світла та змінного в часі механічного тиску.

В даній роботі аналізується збудження напівпровідникового кристалу спільною дією світла з області спектру власного поглинання та періодично змінного в часі механічного тиску. Експериментально встановлено, що в цих умовах виникає п'єзофоторезистивний ефект (ПФРЕ), який полягає у виникненні складової провідності кристалу, нелінійної по добутку інтенсивності збуджуючого світла та величини деформації. Поряд з експериментальним дослідженням ПФРЕ створюється його теорія, аналізуються основні механізми даного ефекту. В неп'єзоелектричних напівпровідниках достатньо вивченим механізмом ПФРЕ є генераційний механізм, зумовлений модуляцією динамічною деформацією коефіцієнта поглинання світла, що приводить до періодичної зміни з частотою деформації темпу оптичної генерації. Однак, концентрації нерівноважних носіїв визначаються як генераційними так і рекомбінаційними процесами. Вплив змінної деформації на темп рекомбінації нерівноважних фотоносіїв на даний момент недостатньо вивчено з точки зору можливого механізму

виникнення п'єзофоторезистивного ефекту. Звідси впливає основна ідея роботи - дослідити рекомбінаційний механізм ПФРЕ. Ці основні положення і визначають актуальність даної роботи.

Мета роботи - теоретичне вивчення рекомбінаційного механізму п'єзофоторезистивного ефекту (ПФРЕ) в напівпровідниках та аналіз впливу на даний механізм фактора прилипання, особливостей зонної структури, дифузійно-дрейфових процесів.

Для досягнення поставленої мети були розв'язані наступні завдання:

- створення моделі рекомбінаційного механізму ПФРЕ в умовах просторово однорідного стаціонарного фотозбудження напівпровідника з простою структурою зон з врахуванням впливу прилипання нерівноважних носіїв;

- вивчення люкс-амперних та частотних характеристик рекомбінаційного механізму ПФРЕ;

- аналіз впливу особливостей зонної структури на рекомбінаційний механізм ПФРЕ при наявності у валентній зоні двох підзон;

- дослідження впливу дифузійно-дрейфових процесів на рекомбінаційний механізм ПФРЕ при просторово неоднорідному фотозбудженні.

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

1. Методом гармонічного балансу в лінійному наближенні по тензору деформації в околі стаціонарного фотозбудження проаналізовано рекомбінаційний механізм виникнення п'єзофоторезистивного ефекту (ПФРЕ) в напівпровідниках. Досліджено люкс-амперні і частотні характеристики даного механізму та вплив на нього фактора прилипання.

2. Показано, що рекомбінаційний механізм ПФРЕ дає можливість ефективно керувати при допомозі стаціонарного фотозбудження динамічною тензочутливістю напівпровідників.

3. Методами чисельного моделювання досліджено вплив нелінійності темпу рекомбінації на п'єзофоторезистивний відгук.

4. Проаналізовано вплив міжпідзонних переходів фотоносіїв на рекомбінаційний механізм ПФРЕ при наявності підзон в структурі валентної зони.

5. Показано, що в умовах просторово неоднорідного фотозбудження внаслідок впливу дифузійно-дрейфових процесів на рекомбінаційний механізм ПФРЕ виникають деформаційно індуковані хвилі змінних концентрацій фотоносіїв.

Практична цінність. Результати роботи можуть бути використані при створенні нових приладів функціональної електроніки, при експериментальному дослідженні п'єзофоторезистивного ефекту, а також при дослідженні параметрів напівпровідників методами комбінованого збудження кристалу спільною дією декількох зовнішніх полів.

Положення, які виносяться на захист:

1. В напівпровідниковому кристалі з простою структурою зон при просторово однорідному збудженні світлом з області спектру власного поглинання та одночасно низькочастотним змінним механічним тиском реалізується рекомбінаційний механізм п'єзофоторезистивного ефекту (ПФРЕ). Даний механізм зумовлений впливом динамічної деформації на темп термічної генерації локалізованих на рекомбінаційних рівнях носіїв заряду в зону провідності та у валентну зону внаслідок деформаційної зміни енергетичного положення країв зон та локальних рівнів.

2. Вплив прилипання нерівноважних носіїв заряду на рекомбінаційний механізм ПФРЕ є суттєвим при знаходженні

квазірівня Фермі в околі енергетичного положення рівня прилипання і проявляється в зміні люкс-амперних та частотних характеристик даного механізму.

3. Нелінійність темпу рекомбінації по концентрації нерівноважних носіїв заряду приводить до зміщення деформаційно індукованих змінних концентрацій фотоносіїв на сталу величину, залежну від частоти деформації.

4. При наявності підзон в структурі валентної зони п'єзофоторезистивний відгук визначається як рекомбінаційною складовою, так і складовою, яка виникає внаслідок модуляції динамічною деформацією темпу міжпідзонних переходів нерівноважних носіїв заряду.

5. Рекомбінаційний механізм ПФРЕ в умовах просторово неоднорідного фотозбудження зумовлює модуляцію динамічною деформацією коефіцієнтів амбіполярної дифузії та дрейфу, внаслідок чого виникають хвилі змінних концентрацій фотоносіїв.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались на Українській фізичній конференції молодих вчених (Львів, 23-27 квітня 1991 року); на науковій конференції присвяченій 40-річчю фізичного факультету Львівського державного університету ім. Ів.Франка, секції: "Експериментальна фізика", "Радіофізика", "Теоретична фізика і астрофізика" (Львів, 27-28 травня 1993 року); на міжнародній конференції "Фізика в Україні", секція "Радіофізика та електроніка" (Київ 22-27 липня, 1993 року); міжнародній конференції "Матеріалознавство алмазоподібних і халькогенідних напівпровідників" (Чернівці, 4-6 жовтня 1994 року); на міжнародній науковій конференції, присвяченій 150-річчю від дня народження Ів.Пулюя (Львів, 23-26 травня 1995р.); на щорічних звітних наукових конференціях викладачів та співробітників Львівського університету ім. І.Франка (1992-1994р). Матеріали дисертаційної роботи обговорювались на семінарі кафедри фізики напівпровідників ЛДУ "Рекомбіна-

ційні та дифузійні механізми впливу фотозбудження на динамічну тензочутливість напівпровідників" (ЛДУ, КФНП, 16 березня 1994 р).

Публікації та внесок автора. По матеріалах дисертації опубліковано 14 наукових робіт, список основних з яких наведено в кінці автореферату. В цих роботах авторові належать результати і висновки, які опубліковано в дисертації та авторефераті.

Структура і об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, основних висновків та списку літератури і містить 171 сторінку машинопису, 24 рисунки, 133 бібліографічних посилання.

КОРОТКИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовується актуальність теми, наукова новизна, сформульована мета роботи та основні положення, які виносяться на захист, дана коротка структура дисертації та апробация роботи.

У першому розділі приведено літературний огляд ефектів модуляції фотопровідності при допомозі зовнішніх полів. Розглянута модуляція довжини хвилі та інтенсивності збуджуючого світла, методи електро-модуляційної та термомодуляційної фотопровідності. Окремо розглянута деформаційна модуляція фотопровідності. Приведені результати експериментального дослідження впливу стаціонарного фотозбудження на провідність динамічно деформованих кристалів $TlInSe_2$, In_4Se_3 , CdS . Відзначено, що вивчення п'єзофотомодуляційних спектрів є ефективним методом дослідження енергетичної залежності густини станів в шаруватих напівпровідниках. Розглянуті роботи, в яких аналізуються можливі механізми виникнення ПФРЕ, зокрема, генераційний механізм, який обумовлений модуляцією динамічною деформацією коефіцієнту поглинання світла. Приведені дані про вплив динамічної деформації на процеси рекомбінації, дифузії та дрейфу фотоносіїв, міждолинні переходи в багатодолинних напівпровідниках.

На основі розглянутих літературних даних, в кінці розділу зроблені висновки та сформульовані невирішені питання.

В другому розділі досліджено рекомбінаційний механізм ПФРЕ в умовах спільної дії на напівпровідник просторово однорідного стаціонарного фотозбудження та змінного механічного тиску. Аналіз методом гармонічного балансу в лінійному наближенні по тензору деформації в околі стаціонарного фотозбудження проводиться на прикладі моделі напівпровідника з простою структурою зон, в якому рекомбінація нерівноважних носіїв через локальні рівні в забороненій зоні описується статистикою Шоклі-Ріда. Вплив змінної деформації на зонний спектр враховано через модуляцію динамічною деформацією енергетичного положення країв зон та локальних рівнів. Часова залежність концентрацій вільних та локалізованих носіїв заряду розглядається у вигляді наступного розкладу

$$\{N(t)\} = \{N\} + \{\Delta N\} \exp(i\omega t), \quad (1)$$

де $\{N\}$ - стаціонарні концентрації носіїв заряду при наявності лише фотозбудження, $\{\Delta N\}$ - комплексні амплітуди змінних складових концентрацій носіїв заряду, що обумовлені спільною дією стаціонарного фотозбудження та змінного механічного тиску. В результаті аналізу отримана система лінійних алгебраїчних рівнянь для комплексних амплітуд $\{\Delta N\}$, яка для вільних електронів та дірок має такий вигляд

$$i\omega \Delta p = \Delta g - \frac{\Delta p}{\tau_p} + \sum_i \pi_{pi}(G, u); \quad i\omega \Delta n = \Delta g - \frac{\Delta n}{\tau_n} + \sum_i \pi_{ni}(G, u). \quad (2)$$

Величини τ_p , τ_n - відіграють роль часу релаксації для змінних концентрацій вільних носіїв і в області низьких частот співпадають з часами життя нерівноважних фотоносіїв. Член Δg описує генераційний механізм ПФРЕ. Члени $\pi_{ni}(G, u)$, $\pi_{pi}(G, u)$ - складні функції від темпу оптичної генерації нерівноважних фотоносіїв G та тензора

змінної деформації u . Дані функції описують рекомбінаційний механізм п'єзофоторезистивного ефекту, який полягає в модуляції дилатмічною деформацією темпу термічної генерації нерівноважних носіїв з i -го локального рівня в зону провідності та у валентну зону внаслідок деформаційної зміни енергетичного положення країв зон та локальних рівнів. Основні закономірності рекомбінаційного механізму ПФРЕ були розглянуті на прикладі моделі напівпровідника з одним типом рекомбінаційних центрів. В лінійному наближенні по малій величині динамічної деформації в околі стаціонарного фотозбудження рекомбінаційний механізм ПФРЕ описується люкс-амперними (ЛАХ) та частотними характеристиками комплексних амплітуд динамічних концентрацій вільних носіїв заряду Δn , Δp . Характерним для люкс-амперної залежності цих амплітуд є насичення, яке виникає в області інтенсивності фотозбудження, в якій стаціонарна заселеність рекомбінаційних рівнів локалізованими носіями заряду виходить на насичення. Для випадку квазістаціонарної деформації отримано вираз для величини насичення амплітуд Δn , Δp :

$$(\Delta n)_{\text{Нас}} = (\Delta p)_{\text{Нас}} = \frac{C_{nr} \Delta n_{1r} + C_{pr} \Delta p_{1r}}{C_{nr} + C_{pr}}, \quad \text{де} \quad \Delta n_{1r} = \frac{\Delta E_r - \Delta E_c}{k \cdot T} \cdot n_{1r},$$

$$\Delta p_{1r} = \frac{\Delta E_v - \Delta E_r}{k \cdot T} \cdot p_{1r}, \quad n_{1r} = N_c \exp\left(\frac{E_r - E_c}{k \cdot T}\right), \quad p_{1r} = N_v \exp\left(\frac{E_v - E_r}{k \cdot T}\right), \quad (3)$$

де N_c , N_v - ефективні густини станів в зонах; E_c , E_v , E_r , ΔE_c , ΔE_v , ΔE_r - енергетичне положення країв зон, локального рівня та амплітуди деформаційної зміни даних величин; C_{nr} , C_{pr} - коефіцієнти захоплення на рекомбінаційний рівень електронів та дірок. Приведені результати чисельних розрахунків ЛАХ - залежності величини амплітуд Δn , Δp від темпу оптичної генерації нерівноважних носіїв заряду G . Ця залежність має суттєво нелінійний характер в області максимальної фоточутливості стаціонарної заселеності носіями рекомбіна-

ційного рівня. Стационарні концентрації фотоносіїв $\{N\}$, які входять як параметри в рівняння (2) для комплексних амплітуд Δn , Δp знаходились чисельним розв'язком нелінійної системи рівнянь неперервності. Аналіз впливу центрів прилипання електронів на рекомбінаційний механізм ПФРЕ проведено окремо для випадку дискретних рівнів прилипання та випадку неперервного енергетичного розподілу рівнів прилипання в забороненій зоні. Вплив центрів прилипання на п'єзофоторезистивний відгук приводить до зміни величини комплексних амплітуд Δn , Δp і в умовах квазістационарної деформації суттєво проявляється в області інтенсивності фотозбудження, в якій квазірівень Фермі F_n лежить в околі енергетичного положення рівня прилипання E_t , а при $F_n = E_t$ люкс-амперна характеристика ПФРЕ набуває максимуму. У випадку неперервного енергетичного розподілу рівнів прилипання в забороненій зоні, вивчення люкс-амперних характеристик рекомбінаційного механізму ПФРЕ дає змогу отримати інформацію про характер даного розподілу. Зокрема, залежність амплітуди Δn від квазірівня Фермі F_n , який визначається інтенсивністю стационарного фотозбудження, прямо пропорційна густині розподілу пасток $g(\epsilon)$ при частотах змінної деформації ω , які задовільняють умову

$$\tau(G)^{-1} \ll \omega \ll \tau_t(G)^{-1}, \quad (4)$$

де $\tau(G)$ - час життя нерівноважних носіїв, $\tau_t(G)$ - характерний час релаксації змінних концентрацій носіїв заряду, локалізованих на рівні прилипання.

В третьому розділі приведені результати аналізу частотних характеристик рекомбінаційного механізму ПФРЕ. Частотні залежності комплексних амплітуд Δn , Δp визначаються часами життя нерівноважних носіїв і при інтенсивності фотозбудження в області

насичення стаціонарної заселеності рекомбінаційного рівня описуються функцією

$$(\Delta n)_{Нас}(\omega) = (\Delta n)_{Нас}^0 \cdot \frac{1}{1 + i\omega\tau(G)}, \quad (5)$$

де амплітуда $(\Delta n)_{Нас}^0$ визначається формулою (3). Приведені результати чисельного моделювання частотних характеристик при різних інтенсивності фотозбудження, вплив якого на частотні характеристики ПФРЕ обумовлений залежністю часів життя фотоносіїв τ від темпу оптичної генерації нерівноважних носіїв G . Введення центрів прилипання приводить до виникнення складової п'єзофоторезистивного відгуку, яка має резонансний характер залежності від частоти зміни деформації. Резонансна частота ω_0 та добротність Q_0 , якими характеризується дана складова, визначаються часом життя нерівноважних носіїв $\tau(G)$ та часом релаксації концентрацій носіїв заряду, локалізованих на рівні прилипання $\tau_l(G)$:

$$\omega_0(G) = \frac{1}{\sqrt{\tau(G) \cdot \tau_l(G)}}, \quad Q_0(G) = \sqrt{\frac{\tau_l(G)}{\tau(G)}}. \quad (6)$$

Методами чисельного інтегрування нелінійної системи рівнянь неперервності та чисельного спектрального аналізу досліджено вплив нелінійності темпу рекомбінації нерівноважних носіїв заряду по їх концентрації на п'єзофоторезистивний відгук. Проаналізовано виникнення складових відгуку на комбінаційних частотах звукового і світлового сигналів, та появу вищих гармонік в умовах одночасної реалізації генераційного і рекомбінаційного механізмів ПФРЕ. Нелінійність темпу рекомбінації по концентрації нерівноважних носіїв заряду приводить до зміщення деформаційно індукованих змінних концентрацій фотоносіїв на сталу величину, залежну від частоти деформації та інтенсивності фотозбудження. Запропоновано на основі даного ефекту реалізувати амплітудну демодуляцію звукових сигналів, з

одночасним підсиленням огинаючої та фільтрацією несучої складової. Стационарне фотозбудження змінює характер нелінійності темпу рекомбінації, що зумовлює залежність від інтенсивності фотозбудження величини прояву нелінійних ефектів п'єзофоторезистивного відгуку.

В четвертому розділі досліджено вплив особливостей зонної структури на рекомбінаційний механізм ПФРЕ при наявності у валентній зоні двох підзон. В лінійному наближенні по тензору деформації в околі стационарного фотозбудження проаналізована модель напівпровідника з двома р-підзонами та одним типом рекомбінаційних центрів. В рівняннях неперервності даної моделі поряд із стандартними рекомбінаційними членами по Шоклі-Ріду були введені члени, що описують динаміку міжпідзонних переходів. Показано, що в цих умовах поряд з рекомбінаційною складовою п'єзофоторезистивного відгуку, виникає підзонна складова, зумовлена модуляцією динамічною деформацією міжпідзонного перерозподілу фотозбуджених носіїв заряду внаслідок деформаційної зміни енергетичної відстані між краями підзон. Проаналізовані особливості реалізації п'єзофоторезистивного ефекту в напівпровідниках типу GaAs. У випадку низької частоти деформації ($\omega\tau \ll 1$) для амплітуд Δn , Δp_1 , Δp_2 змінних складових концентрацій відповідно електронів, тяжких та легких дірок, наступуючі величинами вищих порядків малості отримано:

$$\Delta p_1 + \Delta p_2 = \Delta p = \Delta n = F_R + F_S, \quad \Delta p_2 = \frac{\Delta E_{v2} - \Delta E_{v1}}{k \cdot T} \cdot p_2, \quad (7)$$

$$F_R = \frac{\gamma \cdot N_r \Delta n_{1r} + P_r \Delta p_{1r}}{\gamma \cdot P_r + N_r}, \quad F_S = \frac{N_r \Delta p_2}{\gamma \cdot P_r + N_r}, \quad \gamma = \frac{p_1 + p_{1r}}{P_r + n + n_{1r}}, \quad (8)$$

де n , p_1 , p_2 , N_r , P_r - стационарні концентрації вільних фотоносіїв та носіїв, локалізованих на рекомбінаційному рівні; величини n_{1r} , p_{1r} , Δn_{1r} , Δp_{1r} визначаються виразами (3); ΔE_{v1} , ΔE_{v2} - деформаційна зміна краю валентних підзон важких та легких дірок. F_R є рекомбінаційною складовою, яка характерна для напівпровідників з

простою структурою зон, а F_S - підзонною складовою п'єзофоторезистивного відгуку. Залежність амплітуд Δn , Δp_1 , Δp_2 від фотозбудження визначається фотозалежністю стаціонарних концентрацій n , p_1 , p_2 , N_v , P_r . Приведені результати чисельного моделювання люкс-амперної характеристики ПФРЕ для моделі з параметрами p-GaAs. При певному значенні інтенсивності стаціонарного фотозбудження, в залежності від характеру деформаційного зміщення країв p-підзон п'єзофоторезистивний відгук зникає внаслідок взаємної компенсації рекомбінаційної та підзонної складових.

В п'ятому розділі викладені результати аналізу впливу дифузійно-дрейфових процесів на реалізацію рекомбінаційного механізму ПФРЕ при просторово неоднорідному фотозбудженні. В лінійному наближенні по тензору деформації отримано рівняння неперервності для комплексної амплітуди Δn , яке описує дифузійно-дрейфові процеси переносу в динамічно деформованих біполярних напівпровідниках в умовах просторово неоднорідного фотозбудження:

$$\begin{aligned} & \tilde{D} \cdot \frac{\partial^2 \Delta n}{\partial x^2} - E \tilde{\mu} \cdot \frac{\partial \Delta n}{\partial x} + \\ & + \Delta n \left(\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial \tilde{D}}{\partial n} - \tilde{E} \cdot \frac{\partial n}{\partial x} \cdot \frac{\partial \tilde{\mu}}{\partial n} - \tilde{\mu} \cdot \frac{\partial n}{\partial x} \cdot \frac{\partial \tilde{E}}{\partial n} - \left(\frac{1}{\tau} + i\omega \right) \right) = \pi(x), \end{aligned} \quad (9)$$

де n - стаціонарні концентрації фотоносіїв; $\tilde{\mu}$, \tilde{D} - коефіцієнти амбіполярної дифузії та дрейфу; $\pi(x)$ - функція, яка описує модуляцію динамічною деформацією темпу термічної генерації локалізованих на рекомбінаційних центрах носіїв у відповідні зони і по своїй суті є аналогічна до членів $\pi_{ni}(G, u)$, $\pi_{pj}(G, u)$ рівнянь (2). При певних значеннях інтенсивності фотозбудження, за рахунок членів рівняння (9), обумовлених деформаційною модуляцією коефіцієнтів амбіполярної дифузії та дрейфу, внаслідок їх залежності від

концентрації фотоносіїв n , виникають осцилюючі розв'язки. Враховуючи, що змінні концентрації визначаються виразом $n(x,t) = \exp(i\omega t) \Delta n(x)$, де $\Delta n(x)$ - осцилююча функція, дані розв'язки описують деформаційно індуковані стоячі концентраційні хвилі, обумовлені неоднорідною взаємодією змінних складових дифузійних, дрейфових та рекомбінаційних процесів. Характеристики цих концентраційних хвиль визначаються просторовим розподілом стаціонарних концентрацій фотоносіїв та густиною постійного струму в кристалі. В області частот деформації, для яких $\omega\tau > 1$, стає суттєвим комплексний член $i\omega$ рівняння (9), який обумовлює розв'язки типу біжучих концентраційних хвиль, викликаних появою залежного від координати фазового зсуву, внаслідок рекомбінаційного запізнення в умовах дифузії та дрейфу фотоносіїв. Приведено результати чисельного інтегрування рівняння (9) методом кінцевих різниць. Проаналізовано вплив модуляції динамічною деформацією коефіцієнта амбіполярної дифузії на високочастотний фотовідгук напівпровідника.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ВИСНОВКИ

1. В умовах спільної дії на напівпровідниковий кристал світла з області спектру власного поглинання та змінної механічної деформації реалізується рекомбінаційний механізм п'єзофоторезистивного ефекту (ПФРЕ), який приводить до виникнення змінної складової провідності кристалу, пропорційної добутку величини змінної деформації на нелінійну по інтенсивності фотозбудження функцію.

2. В умовах просторово однорідного фотозбудження вплив низькочастотної деформації кристалу на темп рекомбінації фотоносіїв в напівпровідниках з простою структурою зон обумовлений деформаційною зміною енергетичного положення країв зон та локальних рівнів, що приводить до зміни темпу термічної генерації локалізованих на рекомбінаційних рівнях носіїв у відповідні зони.

3. Рекombінаційний механізм ПФРЕ дає можливість ефективно змінювати стаціонарним фотозбудженням коефіцієнти динамічного п'єзоопору в залежності від параметрів рекombінаційних рівнів.

4. Вплив центрів прилипання на рекombінаційний механізм ПФРЕ при квазістаціонарній деформації є найбільш суттєвим в області інтенсивності фотозбудження, в якій квазірівень Фермі знаходиться в околі енергетичного положення рівня прилипання. При неперервному енергетичному розподілі рівнів прилипання, в певній області частот, яка визначається характерними часами динаміки обміну носіями між локальними рівнями та зонами, залежність амплітуди динамічних концентрацій від квазірівня Фермі дає можливість прямо визначити густину енергетичного розподілу рівнів прилипання.

5. Частотна характеристика рекombінаційного механізму ПФРЕ визначається часами життя нерівноважних фотоносіїв та залежністю цих часів від інтенсивності фотозбудження. Частотна характеристика складової рекombінаційного механізму, обумовленої впливом фактора прилипання має резонансний характер з резонансною частотою та добротністю, величини яких залежать від інтенсивності фотозбудження.

6. Нелінійність темпу рекombінації по концентрації нерівноважних носіїв заряду приводить до зміщення деформаційно індукованих змінних концентрацій фотоносіїв на сталу величину, залежну від частоти деформації та інтенсивності фотозбудження.

7. При наявності в структурі валентної зони двох підзон, поряд з рекombінаційною складовою п'єзофоторезистивного ефекту, виникає підзонна складова, обумовлена модуляцією динамічною деформацією міжпідзонного перерозподілу фотозбуджених носіїв заряду. При певних значеннях інтенсивності фотозбудження виникає параметричне послаблення тензочутливості внаслідок взаємної компенсації рекombінаційної та підзонної складових п'єзофоторезистивного відгуку.

8. В умовах просторово неоднорідного фотозбудження модуляція динамічною деформацією коефіцієнтів амбіполярної дифузії та дрейфу через рекомбінаційний механізм приводить до виникнення деформаційно індукованих концентраційних хвиль.

9. Деформаційна модуляція коефіцієнту дифузії з частотою, співмірною з частотою модуляції інтенсивності фотозбудження, підсилює високочастотний фотовідгук напівпровідника внаслідок зростання дифузійної глибини проникнення високочастотних змінних складових неосновних нерівноважних носіїв.

Основні результати дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Стахіра Й.М., Шувар Р.Я., Павлишенко Б.М. Рекомбінаційний механізм ефекту підсилення динамічної тензочугливості напівпровідників при фотозбудженні. // УФЖ.-1995.-т.40, №7.- с.723-726.

2. Стахіра Й.М., Шувар Р.Я., Павлишенко Б.М., Савчин В.П. Вплив фотозбудження на п'єзорезистивні властивості напівпровідників. // Вісник Львівського університету: сер. фізична, вип.26, 1993р, с.89-93.

3. Павлишенко Б.М., Шувар Р.Я. Просторовий розподіл нерівноважних фотоносіїв в динамічно деформованих напівпровідниках. // Вісник Львівського університету: сер. фізична, вип.27, 1994р.

4. Павлишенко Б.М., Шувар Р.Я. Вплив міжпідзонних переходів носіїв на характеристики п'єзофоторезистивного ефекту. // Львів. ун-т.- Львів, 1994. - 21с. - Бібліогр.:11 назв: Укр. Деп. в ДНТБ України 22.09.94, №1894 - Ук94.

5. Павлишенко Б.М., Шувар Р.Я. Вплив динамічної деформації на дифузію і дрейф нерівноважних фотоносіїв в неп'єзоелектричних напівпровідниках. // Львів.ун-т.-Львів, 1994.- 17с. - Бібліогр.:10 назв: Укр. Деп. в ДНТБ України 16.09.94, №1890 - Ук94.

6. Павлишенко Б.М., Шувар Р.Я. Рекombінаційний механізм деформаційної взаємодії фотоносіїв і акустичних хвиль в напівпровідниках. // Львів. ун-т.-Львів, 1994.-20с.-Бібліогр.: 10 назв. Укр. Деп. в ДНТБ України 13.09.94 №1865 - Ук94.

7. Demkiv T.M., Fetsuyh I.M., Galiy P.V., Loboiko V.S., Nenckuk T.M., Pavlishenko B.M., Savchin V.P., Shuvar R.Ya., Stakhira J.M., Tovstyuk N.K. Peculiarities of electron properties in layer semiconductors. // International Conference "Physics in Ukraine", Kiev, 22-27 June, 1993, "Radiophysics and Electronics", p.63-66.

8. Павлишенко Б.М., Шувар Р.Я., Відгук напівпровідника на комбіноване фотодеформаційне збудження. // Матеріалознавство халькогенідних і алмазоподібних напівпровідників. Тези доповідей першої міжнародної конференції т.1. Чернівці: ЧДУ. - 1994. - с.224.

9. Павлишенко Б.М., Шувар Р.Я. Нелінійні ефекти в напівпровідниках при фотодеформаційному збудженні. // Міжнародна наукова конференція, присвячена І. Пулюю. Тези доповідей. Львів.-1995. - с.237-238.

Pavlishenko B.M. Recombinational mechanism of piezophotorestrictive effect in semiconductors (manuscript).

The dissertation advanced for a degree of Philosophy Doctor in the speciality 01.04.10 - Semiconductor and Insulator Physics, I.Franko Lviv State University, Lviv, 1995.

Recombinational mechanism of the piezophotorestrictive effect in semiconductors is theoretically investigated in the work. Influence of trap factor; band structure peculiarity, diffusion-drift processes on this mechanism is analysed. It is shown that this mechanism gives a possibility to change effectively dynamical piezophotorestrictance coefficient by stationary photoexcitation in dependence on the parameters of recombinational centers.

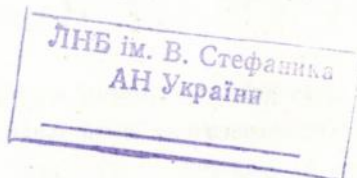
Павлишенко Б.М. Рекомбинаційний механізм пьезофоторезистивного ефекта в напівпровідниках (рукопись).

Дисертація на соискание ученої степені кандидата фізико-математических наук по спеціальності 01.04.10 - фізика напівпровідників і діелектриків. Львівський державний університет ім. І.Франка. Львів, 1995.

В роботі теоретически дослідован рекомбінаційний механізм пьезофоторезистивного ефекта в напівпровідниках. Проаналізовано вплив на даний механізм фактора прилипання, особностей зонної структури, дифузіонно-дрейфових процесов. Показано, що даний механізм дає можливість ефективно змінювати з допомогою стаціонарного фотовозбудження коефіцієнти динаміческого пьезоопротивлення в залежності от параметров рекомбінаційних центрів.

Ключові слова: пьезофоторезистивний ефект, фотопровідність, тензочутливість, рекомбінація, деформаційні ефекти, амбіполярна дифузія та дрейф фотоносіїв, функціональна електроніка.

Павлишенко Богдан



Підписано до друку 22.09.95. Формат 60x84/16. Папір друк. № 1.
Друк. офсетн. Умовн. друк. арк. 1, 5. Умовн. фарб. відб. 1, 5.
Обл. вид. арк. 1, 6. Тираж 100. Зам. 243.

Машинно-офсетна лабораторія Львівського держуніверситету
Ім. І. Франка. 290602 Львів, вул. Університетська, 1.

AB 33.405

AB 33.405