

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Оліха Олега Ярославовича

«Акусто- та радіаційно-індуковані явища в поверхнево-

бар'єрних кремнієвих та арсенід-галієвих структурах»,

яка представлена на здобуття наукового ступеня

доктора фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Встановлення основних закономірностей та фізичних механізмів впливу зовнішніх факторів на експлуатаційні характеристики напівпровідникових бар'єрних структур є надзвичайно актуальною задачею сонячної енергетики та мікроелектроніки. Подібні дослідження дозволяють визначити оптимальні робочі режими різноманітних пристроїв, підвищити точність прогнозування їхньої поведінки у екстремальних умовах експлуатації, а також мають важливе значення для пошуку шляхів розширення функціональних можливостей подібних систем. Актуальність дисертаційної роботи О.Я. Оліха, з одного боку, визначається тим, що предметом досліджень були явища електротранспорту в кремнієвих та арсенід-галієвих структурах, які дуже широко використовуються у сучасній технології. З іншого боку, значна частина роботи присвячена вивченню явищ, причиною яких є ультразвукове навантаження. У численних попередніх експериментальних дослідженнях інших авторів такий акустичний метод зовнішнього впливу довів свою спроможність ефективно модифікувати властивості напівпровідникових кристалів, проте питання щодо закономірностей та механізмів акусто-індукованих явищ у бар'єрних структурах залишалося багато в чому відкритим. Зокрема, це стосується особливостей перенесення заряду у напівпровідникових системах під час поширення в них пружних коливань: відповідні ефекти вперше детально

досліджені у представленій роботі. Таким чином, тема дисертаційної роботи О.Я. Оліха є вельми актуальною як з наукової, так і з практичної точок зору.

Принагідно зауважу, що про актуальність проведених досліджень також свідчить їхня узгодженість із планами науково-дослідних робіт, які проводились у рамках держбюджетних тем на кафедрі загальної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка у 2001-2018 рр.

Основними задачами дослідження були:

- 1) вибір оптимальних способів визначення параметрів напівпровідникових бар'єрних структур шляхом порівняльного аналізу аналітичних і числових методів, а також підходів, що базуються на використанні еволюційних алгоритмів;
- 2) з'ясування механізмів перенесення заряду у кремнієвих та арсенід-галієвих бар'єрних структурах із *p-n*-переходом та контактом Шотткі залежно від ступеню опромінення та виявлення фізичних причин радіаційно-індукованих змін;
- 3) встановлення закономірностей впливу ультразвукового навантаження на процеси електротранспорту в поверхнево-бар'єрних структурах, а також визначення відповідних фізичних механізмів та структури акусто-активних дефектів;
- 4) виявлення механізмів перебудови дефектної структури напівпровідникових систем, викликаних мікрохвильовою та ультразвуковою обробками.

Всі зазначені задачі об'єднані спільною метою пошуку нового вирішення наукової проблеми, яка полягає у встановленні основних закономірностей та фізичних механізмів впливу ультразвукового навантаження та опромінення на процеси проходження струму в напівпровідникових поверхнево-бар'єрних структурах. Сама робота є

цілісною науковою працею, в якій відповідні розділи логічно та послідовно зв'язані між собою та спрямовані на вирішенні визначеної автором мети.

Дисертація містить шість розділів основної частини. Перший розділ присвячено огляду сучасних результатів впливу пружних коливань на напівпровідникові структури та методологічним аспектам застосування ультразвуку. У другому розділі представлені результати дослідження акустоіндукованих ефектів у кристалічних кремнієвих сонячних елементах залежно від ступеню їх радіаційного пошкодження. Третій розділ стосується порівняльного аналізу різноманітних методів визначення параметрів структур метал-напівпровідник на основі їх вольт-амперних характеристик. У четвертому розділі розглянуто ефекти впливу гамма-опромінення на перенесення заряду в структурах $\text{Al-}n\text{-}n^+\text{-Si}$ в температурному діапазоні 130-330 К, а також наслідки ультразвукового навантаження цих систем при кімнатних температурах. Наступний, п'ятий розділ, містить інформацію щодо результатів дослідження динамічних акустоіндукованих змін на проходження струму в структурах $\text{Mo-}n\text{-}n^+\text{-Si}$ при температурах 130-330 К. Нарешті, шостий розділ відображає результати вивчення впливу мікрохвильового опромінення на дефекти в монокристалах GaAs, SiC та епітаксійних арсенід-галієвих структурах, а також ультразвукової обробки на параметри систем $\text{Au-TiB}_x\text{-}n\text{-}n^+\text{-GaAs}$ та гамма-опромінених структур $\text{Au-SiO}_2\text{-Si}$. Окрім цього, дисертація містить також всі інші частини, передбачені вимогами до оформлення подібних робіт, а саме: вступ, перелік умовних позначень та скорочень, список використаних джерел, загальні висновки.

Отримані основні результати, що складають предмет наукової новизни та практичної вагомості дисертаційної роботи і які полягають у наступному.

1. В результаті порівняльного аналізу та тестування 16 методів визначення параметрів діодів Шотткі із їхніх вольт-амперних характеристик, встановлено, що найефективнішим з погляду точності та швидкодії є метод з

використанням алгоритму модифікованої штучної бджолиної сім'ї, а також запропоновано адаптивну процедуру вибору діапазону експериментальних даних для побудови допоміжних функцій при застосуванні аналітичних методів.

2. Виявлено оборотне акусто-індуковане зменшення часу життя носіїв заряду в кремнієвих структурах із *p-n*-переходом; для пояснення особливостей виявлених ефектів запропонована модель акусто-активного комплексного точкового дефекту.

3. Визначено особливості впливу ультразвукового навантаження на опромінені монокристалічні кремнієві сонячні елементи та визначено природу основних радіаційних акусто-активних дефектів.

4. Показано взаємозв'язок між характером немонотонності дозової залежності зміни висоти бар'єру Шотткі при гамма-опроміненні структур кремній-метал зі ступенем неоднорідності контакту.

5. Виявлено оборотні зміни висоти бар'єру Шотткі, фактору неідеальності та величини зворотного струму за умов ультразвукового навантаження структур $\text{Mo-n-p}^+\text{-Si}$, а також показано що механізм акусто-індукованих змін зумовлений рухом дислокаційних перегинів.

6. Встановлено, що при мікрохвильовому опроміненні причиною перебудови дефектів, розташованих у про поверхневому шарі монокристалів GaAs, SiC та епітаксійних арсенід-галієвих структурах є зростання концентрації міжвузольних атомів.

7. Практично показано можливість використання ультразвукової обробки для зменшення розкиду параметрів арсенід-галієвих діодів Шотткі, створених в єдиному технологічному процесі.

Достовірність отриманих у дисертації результатів визначається комплексним характером проведених досліджень, зіставленням отриманих експериментальних результатів із даними теоретичного аналізу та окремими результатами інших авторів, чіткою картиною вивчених явищ і

закономірностей, які добре узгоджуються із наявними теоретичними уявленнями про характер змін у структурі напівпровідників та їхніми фізичними характеристиками. В усіх випадках перевірялася відтворюваність результатів, проводився аналіз точності та похибок вимірювань.

Як наслідок, обґрунтованість наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації, їх достовірність та новизна не викликають сумнівів. Результати роботи є важливими для розробки і застосування нових акустичних методів керування струмом у напівпровідникових поверхнево-бар'єрних структурах та прогнозування поведінки подібних систем за умов радіаційного опромінення чи високочастотної деформації.

Основні результати дисертації повністю викладені у наукових фахових виданнях. Зокрема опубліковано 25 наукових статей, з них 9 у наукових фахових виданнях України, які входять до переліку ВАК/ МОН України та 16 в іноземних виданнях. 17 статей опубліковано у виданнях, які входять до наукометричної бази даних Scopus. 12 із 25 наукових статей, опублікованих за темою дисертації, є одноосібними роботами здобувача, що свідчить його високий рівень як науковця. Основні положення дисертаційної роботи пройшли апробацію на 26 міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

Автореферат дисертації вірно та повно відображає її основні положення та зміст.

Мушу відмітити і деякі недоліки дисертації, що розглядається. А саме.

1. У роботі для обчислення коефіцієнта поглинання світла у кристалах кремнію використовується формула (2.6). Вона запропонована досить давно (Solid-State Electron., vol. 22, p. 793–795, 1979), згадується у різноманітних підручниках, проте на сьогодні вважається, що її застосування призводить до помилок у оцінці величини коефіцієнта поглинання.

2. У розділі 2 для позначення добутку послідовного опору на площу структури (див. формулу (2.1)) та в інших розділах для позначення

послідовного опору (див., наприклад, формули (3.1) та (4.1)) використовується однаковий символ R_s .

3. Дані, наведені у табл.3.2, мають на меті дозволити порівняти час, необхідний для визначення параметрів структур метал-напівпровідник при використанні різних методів. Проте назва цієї таблиці не відображає її призначення і тому є невдалою.

4. Висновок про домінуючу роль кисневмісних преципітатів у рекомбінаційних процесах, що відбуваються у досліджених кремнієвих сонячних елементах, варто було б підтвердити застосуванням додаткових методів, які безпосередньо дозволяють оцінити концентрацію подібних дефектів. Наприклад, подібним методом могла б бути інфрачервона томографія.

5. У пункті 4.4.2 автор, спираючись на дані рисунку 4.34, робить висновок про пороговий характер акусто-індукованих змін висоти бар'єру Шотткі при збільшенні інтенсивності введенного ультразвуку. Проте, якщо врахувати похибки наведених величин, цей висновок не виглядає настільки очевидним.

6. Загалом дисертація написана гарною мовою, легко читається, тому негативне враження справляють поодинокі граматичні та стилістичні помилки, які зустрічаються у тексті роботи.

Зроблені зауваження не зменшують наукової цінності виконаних автором досліджень та значимість представлених в дисертаційній роботі результатів і не впливають на загальну позитивну оцінку у цілому.

Оцінюючи весь комплекс досліджень, які представлені в рукописі, слід зазначити що дисертаційна робота О.Я. Оліха «Акусто- та радіаційно-індуковані явища в поверхнево-бар'єрних кремнієвих та арсенід-галієвих структурах» безперечно є закінченим науковим дослідженням; отримані в ній суттєві результати мають як наукове значення для фізики твердого тіла, так і перспективи практичного застосування.

Загалом докторська дисертаційна робота «Акусто- та радіаційно-індуковані явища в поверхнево-бар'єрних кремнієвих та арсенід-галієвих структурах» відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013 року (зі змінами внесеними згідно з постановами Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015, №1159 від 30.12.2015 та №567 від 27.07.2016), а її автор, Оліх Олег Ярославович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

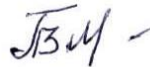
Офіційний опонент,
завідувач лабораторії фізико-технічних
основ напівпровідникової фотоенергетики
Інституту фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
доктор фіз.-мат. наук, ст. н. с.



В.П. Костильов

/Підпис В.П. Костильова засвідчую:

Учений секретар Інституту фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
доктор х. наук, проф.



В.М. Томашик