

ВІДГУК
додаткового 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 – фізики твердого тіла

Перш за все, варто зазначити актуальність проблеми, розв'язанню якої присвячена представлена робота. Протягом тривалого часу серед напрямків наукової діяльності, до яких найбільш активно долучалася світова наукова спільнота, завжди були присутні ті, що так чи інакше пов'язані з розробкою та вдосконаленням методів контролю властивостей напівпровідників кристалів та структур на їхній основі. Один з найбільш поширеніх шляхів вирішення цього завдання пов'язаний із застосування опромінення для модифікації дефектної підсистеми напівпровідників. У рецензованій роботі проведено визначення фізичних механізмів впливу високоенергетичних фотонів на дефекти у приповерхневій області арсенід-галієвих монокристалів та епітаксійних структур і на електротранспортні властивості кремнієвих структур з контактом Шотткі, що є актуальним з точки зору розширення функціональних можливостей вказаного методу. Іншим нагальним питанням у цьому контексті була та залишається проблема розробки нових способів активного керування властивостями напівпровідників систем. Багаточисленні експериментальні доробки показали, зокрема, перспективність застосування у цьому напрямі акустичних коливань. Найбільш широко вивченими у цьому аспекті є незворотна модифікація параметрів внаслідок ультразвукової обробки об'ємних кристалів з високою концентрацією лінійних дефектів та акусто-динамічні ефекти у системах із п'єзоелектричними складовими. На відміну від інших дослідників, О.Я. Оліха осередив свою увагу на встановленні основних закономірностей та фізичних причин саме оборотних акусто-індукованих явищ у поверхнево-бар'єрних структурах на основі такого мало дислокаційного та неп'єзоелектричного матеріалу як кремній, що також визначає наукову та практичну актуальність дисертаційної роботи. Нарешті, представлені результати щодо особливостей

акусто-дефектної взаємодії в опромінених структурах з $p-n$ -переходом та контактом Шотткі актуальні з погляду створення комплексного акусто-радіаційного методу зовнішнього управління характеристиками напівпровідників та доповнюють науково-значимі дані щодо взаємодії пружних коливань із порушеннями періодичності у кристалічних системах.

Треба відзначити, що тема дисертації Оліха О.Я. узгоджена з планами наукових досліджень кафедри загальної фізики фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка в рамках держбюджетних тем №01БФ051-09 «Теоретичне та експериментальне дослідження фізичних властивостей неоднорідних систем на основі матеріалів акусто-опто-електроніки та мікроелектроніки» (2001-2005рр.), №06БФ051-04 «Експериментальне та теоретичне дослідження структури та фізичних властивостей низькорозмірних систем на основі напівпровідникових структур, різних модифікацій вуглецю та композитів» (2006-2010рр.), №11БФ051-01 «Фундаментальні дослідження в галузі фізики конденсованого стану і елементарних частинок, астрономії і матеріалознавства для створення основ новітніх технологій» (2011-2015рр.), №16БФ051-01 «Формування та фізичні властивості наноструктурованих композитних матеріалів та функціональних поверхневих шарів на основі карбону, напівпровідникових та діелектричних складових» (2016-2018р.) та міжнародного проекту Українського Науково-Технологічного Центру №3555 «Дослідження та створення методів опто-акустичного контролю матеріалів» (2006-2008р.).

Метою роботи Оліха О.Я. було встановлення основних закономірностей акусто-індукованих динамічних ефектів у кремнієвих структурах із $p-n$ -переходом та контактом Шотткі, вияснення фізичних механізмів впливу опромінення та ультразвукового навантаження на проходження струму в напівпровідникових поверхнево-бар'єрних структурах. Об'єктом дослідження виступав процес проходження струму в напівпровідникових структурах, предметом дослідження - ефекти впливу ультразвукового навантаження та опромінення на процеси проходження струму та фотоелектричного перетворення у поверхнево-бар'єрних кремнієвих та арсенід-галієвих структурах.

На відміну від багатьох дисертацій, дана робота дійсно є цілісною науковою працею, в якій вдало сформульовані задачі дослідження, а відповідні розділи логічно та послідовно зв'язані між собою: всі вони спрямовані на вирішення визначеній автором мети. Тому я не бачу потреби зупинятися на окремих розділах дисертації, а підкреслю лише основні, по-справжньому нові результати, що були отримані автором і представлені в даній в роботі.

- Виявлено оборотні ефекти збільшення величини прямого та зворотного струму в поверхнево-бар'єрних кремнієвих структурах внаслідок поширення в них пружних коливань ультразвукового діапазону та встановлено їхні основні закономірності.
- Встановлено, що основними причинами динамічних акусто-індукованих явищ в структурах кремній-метал є рух дислокаційних перегинів, тоді як у системах із $p-n$ -переходом – зміна рекомбінаційної активності точкових дефектів; для опису останнього ефекту запропоновано модель акусто-активного комплексного дефекту.
- Проаналізовано фізичні причини немонотонних змін параметрів структур кремній-метал при опроміненні гамма-квантами та встановлено взаємозв'язок дозової залежності висоти бар'єру Шотткі з неоднорідністю контакту.
- Встановлено, що при мікрохвильовому опроміненні у монокристалах SiC і GaAs та епітаксійних структурах на основі арсеніду галію у приповерхневому шарі збільшується кількість міжузольних атомів, що викликає перебудову основних рекомбінаційних центрів та збільшення ступеню деформації.
- Виявлений ефект низькотемпературного акусто-індукованого відпалу радіаційних дефектів у структурах Si-SiO₂ та показано, що він зумовлений дифузією міжузольних атомів кисню та водню в акустичному полі.
- Визначено найоптимальніші з точки зору точності та швидкодії методи визначення параметрів діодів Шотткі з їхніх вольт-амперних характеристик; запропоновано оптимізацію процедури побудови допоміжних функцій, що дозволяє підвищити точність аналітичних методів.

Також зазначу, що в дисертації вперше проведено узагальнення літературних даних щодо впливу ультразвуку на параметри напівпровідниківих кристалів та структур, пов'язаних з необоротними та оборотними процесами модифікації системи дефектів, щодо низькотемпературного акусто-відпала радіаційних дефектів, а також використання пружних коливань як інструменту різnobічної характеризації напівпровідників та як компоненти різноманітних технологічних процесів. Проаналізовано близько 230 робіт, які охоплюють часовий інтервал починаючи з 80-х рр. минулого століття і до сьогодення, тобто практично весь період дослідження можливостей активного ультразвуку. Загалом зауважу, що практично кожне питання, що порушується у дисертаційній роботі, супроводжується достатньо ґрунтовним оглядом сучасних даних із відповідної тематики. Це свідчить, що автор значну увагу присвятив роботі з літературою (загальний перелік використаних джерел перевищує 650 найменувань) і є однією з позитивних рис рецензованої роботи.

Оскільки автором дисертації використовувалися адекватні експериментальні методи, строгий математичний апарат та загальновідомі моделі фізичних процесів (рекомбінація Шоклі-Ріда-Хола, термоелектронна емісія через неоднорідний контакт, дислокаційно-індукований імпеданс, поглинання ультразвуку Брейсфолда), можна із впевненістю стверджувати, що отримані результати, сформульовані положення та зроблені висновки є достатньо науково-обґрунтованими та достовірними.

Слід також підкреслити практичну цінність та значення отриманих Оліхом О.Я. та представлених в дисертації результатів, які можуть бути використані для розробки нових сенсорів гамма-опромінення та методів керування струмом напівпровідниківих діодів, прогнозування робочих характеристик подібних систем залежно від умов функціонування. Всі головні положення дисертаційної роботи, винесені на захист, були опубліковані у 25 статтях у реферованих міжнародних та українських журналах і пройшли апробацію на 26 конференціях. Деякі з представлених результатів та запропонованих підходів вже знайшли своє використання в дослідженнях інших

вчених й цитуються в літературі: кількість цитувань опублікованих робіт автора складає понад 90 згідно зі Scopus та понад 160 згідно з Google Scolar.

Однак, проведений детальний аналіз дисертаційної роботи дозволив виявити певні недоліки. А саме.

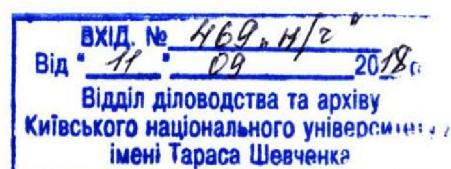
- При розгляді впливу опромінення на характеристики бар'єрних структур (підрозділ 4.3) та акусто-індуковані ефекти (підрозділи 2.5 та 4.4) проводилися дослідження на сукупностях зразків з достатньо малою різноманітністю доз: для гамма-квантів розглядалися лише дози 10^6 та 10^7 рад, тоді як флюенс нейтронного опромінення складав лише $4 \cdot 10^{-11}$ см⁻². На мій погляд, розширення дозового діапазону було б доречним.
- У підрозділі 6.2 з аналізу польових залежностей зворотного струму діодів Шотткі зроблено лише якісний висновок про переважання тунельного чи термоемісійного механізмів перенесення заряду. Водночас не проведено визначення кількісних характеристик досліджених структур, як це, наприклад, було зроблено в розділах 4 та 5. Подібні розрахунки могли б дозволити більш точно охарактеризувати зміни, що відбуваються у структурах Au–TiB_x–n–n⁺–GaAs внаслідок ультразвукової обробки.
- Доцільно було б порівняти отримане у п.5.2.3 значення енергії активації дислокаційних перегинів 90 мeВ з літературними даними.
- У пункті 3.4.1 запропоновано шляхи оптимізації методу Mikhelashvili, який дозволяє визначити параметри діодів Шотткі на основі диференційних коефіцієнтів воль-амперних характеристик різних порядків. Фактично, запропонована процедура спрямована на зниження шуму при чисельному диференціюванні експериментальних даних. Відомо, що подібна мета може бути досягнена і при використанні чисельних алгоритмів, наприклад тих, що базуються на розв'язанні системи рівнянь, отриманих з використанням інтегральних рівнянь Вольтерри першого типу (Journal of Computational Physics, v. 295 (2015), p. 307–321). У роботі не зроблено порівняння ефективності запропонованої оптимізаційної процедури з іншими підходами.

Зроблені зауваження спрямовані, скоріше, на перспективи й поліпшення якості подальших досліджень дисертанта, вони не применшують значимість представлених в дисертаційній роботі результатів та загальну позитивну оцінку самої роботи у цілому.

Детальне вивчення автореферату дисертації показав, що сам автореферат та наведені у ньому публікації адекватно й у достатній мірі повно передають зміст дисертації.

За своїм змістом, спрямованістю, результатами та висновками представлена дисертаційна робота цілком відповідає спеціальності 01.04.07 – фізики твердого тіла.

Ступінь обґрунтованості висновків та основних положень, актуальність обраної тематики, беззаперечна новизна, важливість та достовірність отриманих результатів дозволяють впевнено стверджувати, що подана 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 – фізики твердого тіла.



Додатковий опонент,
завідувач лабораторії
радіаційних технологій
Інституту фізики НАН України,
доктор фіз.-мат. наук, ст. н. с.

В.Б. Неймаш

Підпис В.Б. Неймаша засвідчує:
Учений секретар Інституту фізики НАН України,
кандидат фіз.-мат. наук



В.С. Манжара