ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Левченко Ірини Валеріївни**

"Взаємодія InAs, InSb, GaAs, GaSb з водними розчинами

$(NH_4)_2Cr_2O_7$-HBr-розчинник",

представлену на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук за спеціальністю 02.00.01 - неорганічна хімія.

Актуальність теми. Дисертаційна робота Левченко Ірини Валеріївни присвячена дослідженню механізмів хімічної взаємодії монокристалів InAs, InSb GaAs, GaSb, які належать до класу напівпровідникових фаз $A^{III}B^{V}$, з травильними композиціями $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr–розчинник. Зростаючий вплив нових технологій у сучасному світі, вирішення екологічних проблем та енергозбереження вимагає створення нових функціональних матеріалів із придатними для практичного використання властивостями. В цьому напрямку важливим об'єктом для дослідження є напівпровідникові фази $A^{III}B^{V}$, як важливі напівпровідникові матеріали сучасної техніки. Напівпровідники $A^{III}B^{V}$ знаходять широке практичне застосування для виготовлення високоефективних приладів (сонячних елементів, фотоприймачів, що працюють в середній і дальній ІЧ-області, систем космічного зв'язку). Ефективність роботи елементів, виготовлених на їхній основі, в значній мірі залежить від якості полірування та чистоти поверхні підкладок. Дослідження закономірностей і механізму взаємодії напівпровідників $A^{III}B^{V}$ з травильними композиціями, вибір їхніх оптимальних складів для формування бездефектної та полірованої поверхні підкладок з необхідними структурними та електрофізичними властивостями і, як наслідок, практичних рекомендацій щодо використання, підтверджує важливість та актуальність теми дисертації.

Актуальність теми дисертаційної роботи засвідчує її зв'язок з тематикою науково-дослідних робіт з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки в Україні. Дисертаційна робота виконана в Інституті фізики напівпровідників ім.

В.Є. Лашкарьова НАН України у відповідності з науковими напрямками досліджень в рамках держбюджетних тем "Розробка і оптимізація нових ефективних травильних композицій і технологічних процесів хімічної обробки поверхні монокристалів і плівок напівпровідників типу $A^{II}B^{VI}$, $A^{III}B^{V}$ і $A^{IV}B^{VI}$ та твердих розчинів на їх основі" (№ держреєстрації 011211002349), "Фізико-хімічні явища в напівпровідниках, вуглецевих нанокомпозитах і гетероструктурах, вплив на них технології виготовлення і зовнішніх дій" (№ держреєстрації 0116U002626), "Розробка процесів і способів формування нанорозмірних кристалів та рельєфу на поверхні напівпровідників $A^{II}B^{VI}$, $A^{III}B^{V}$ і твердих розчинів на їх основі" (№ держреєстрації 0116U002626).

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і списку використаних літературних посилань (197 найменувань на 22 сторінках). Робота викладена на 169 сторінках, містить 14 таблиць та 52 рисунки.

У **Вступі** обгрунтована актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами, вказана мета та основні завдання досліджень, висвітлена наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** приведена загальна характеристика напівпровідників $A^{III}B^{V}$, їхніх властивостей та практичного використання. Проаналізовано особливості механізмів розчинення кристалів InAs, InSb, GaAs, GaSb в травильних композиціях за участю гідрогенпероксидних, бромовмісних сумішей та сумішей на основі HNO_3. Окремо проведено аналіз стосовно використання для полірування напівпровідників $A^{III}B^{V}$ хромовмісних сумішей. Описано методи хімічної обробки поверхні напівпровідників. На основі огляду літератури зроблено висновки щодо перспективи дослідження композицій складу $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr–розчинник з кристалами InAs, GaAs, InSb та GaSb.

У **другому розділі** описано методику попередньої підготовки кристалів InAs, GaAs, InSb та GaSb, методи дослідження процесу розчинення в хромовмісних композиціях та засоби контролю отриманої поверхні з використанням металографічного аналізу, атомно-силової мікроскопії, мікро-раманівської спектроскопії, рентгенівського аналізу.

Третій розділ включає результати експериментального дослідження особливостей взаємодії досліджуваних напівпровідників з водними розчинами композицій $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr і $(NH_4)_2Cr_2O_7$– Br–$CH_2(OH)CH_2(OH)$, $(NH_4)_2Cr_2O_7$ – HBr–H_2O. Приведені концентраційні залежності швидкості травлення, аналіз механізмів процесу травлення та якості обробленої поверхні. Виділено області з високою і низькою швидкостями травлення.

У **четвертому розділі** приведені результати взаємодії кристалів InAs, GaAs, InSb та GaSb з травильними композиціями $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr–органічна кислота ($C_6H_8O_7$, $C_4H_6O_6$, $C_3H_6O_3$). Приведені графіки концентраційних залежностей швидкості травлення, наведені результати атомно-силової спектроскопії поверхонь кристалів. Визначено межі поліруючих і неполіруючих областей.

У **п'ятому розділі** описано дослідження взаємодії InAs, GaAs, InSb, GaSb з бромвиділяючими сумішами із застосуванням методу хіміко-механічного полірування, а також стану необробленої та полірованої поверхні. Вивчено вплив часу зберігання травника на його властивості. Наведено результати дослідження поверхні кристалів в залежності від різних типів обробки. Приведено аналіз закономірностей розчинення кристалів в травильних композиціях $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr–розчинник.

Наукова новизна і достовірність результатів.

Достовірність отриманих дисертантом експериментальних результатів базується на використанні різноманітних сучасних методів дослідження (металографічний аналіз, растрова електронна та атомно-силова мікроскопія, мікро-раманівська спектроскопія, рентгенівський аналіз).

Дисертантом вперше досліджено механізми хімічного розчинення кристалів InAs, InSb, GaAs та GaSb у водних розчинах $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr–розчинник з використанням методів хіміко-динамічного та хіміко-механічного полірування.

На основі експериментальних даних побудовано 28 проекцій поверхонь однакових швидкостей розчинення напівпровідників і визначено склади та

концентраційні області поліруючих та неполіруючих травильних сумішей. Проведено аналіз впливу компонентів досліджуваних композицій на параметри хімічного травлення кристалів: зростання швидкості розчинення підкладок при насичені розчину окисником та її зменшення при збільшенні концентрації розчинника. Встановлено, що процес розчинення кристалів InAs, InSb, GaAs та GaSb має однотипний характер при використанні методів хіміко-динамічного та хіміко-механічного полірування. Використовуючи методи растрової електронної та атомно-силової мікроскопії досліджено елементний склад поверхні кристалів після їх розчинення в поліруючих та неполіруючих сумішах на основі $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr–розчинник.

На основі комплексного дослідження вибраних об'єктів розроблено методики хімічної обробки кристалів InAs, InSb, GaAs та GaSb травильними композиціями $(NH_4)_2Cr_2O_7$–HBr–етиленгліколь, які характеризуються поліруючими і згладжуючими властивостями та сприяють зменшенню шорсткості поверхні. Розроблені методики використовуються в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в десяти наукових статтях у фахових вітчизняних і міжнародних журналах, апробовані на 9 наукових конференціях. Автореферат дисертації повністю відображає її зміст і достатньо повно охоплює основні викладені положення та результати дослідження.

Дисертаційна робота написана згідно стандартів із послідовним викладенням матеріалів дослідження, її оформлення відповідає існуючим вимогам

До дисертаційної роботи Левченко І.В. можна зробити наступні зауваження:

1. У розділі "Висновки до літературного огляду" недостатньо зроблено акцент на перспективі дослідження саме травильних композицій на основі $(NH_4)_2Cr_2O_7$, які, згідно літературних даних, використовуються і при дослідженні інших напівпровідників (наприклад, CdTe).

2. У розділі “Методи експериментальних досліджень” не зазначено, яким чином отримані монокристали досліджуваних сполук InAs, InSb, GaAs та GaSb.

3. В дисертаційній роботі зазначено, що одним з методів аналізу досліджуваних об’єктів є скануюча електронна мікроскопія. Проте, в дисертації приведено елементний склад тільки для сполуки InSb. Чи проводився аналіз елементного складу для інших досліджуваних сполук (InAs, GaAs, GaSb)?

5. За результатами дослідження травильних композицій $(NH_4)_2Cr_2O_7–HBr–H_2O$ зазначено про значний вплив природи розчинника (H_2O) на властивості травників (ст. 128). Можливо, у цьому випадку варто брати до уваги і вплив концентраційного фактору?

5. При описі хімічної взаємодії досліджуваних напівпровідників з компонентами травильних композицій подана характеристика окремих компонентів досліджуваних кристалів. Проте, твердження, що для As більш характерний ступінь окиснення +3, а для Sb - +5 некоректне. Виходячи з періодичності зміни властивостей елементів зверху вниз в Періодичній системі стабілізуються нижчі ступені окиснення елементів, тому для Sb характерніший ступінь окиснення +3.

6. В дисертаційній роботі відсутній окремий розділ з обговорення отриманих результатів дослідження механізмів хімічної обробки поверхні напівпровідників InAs, InSb, GaAs та GaSb хромовмісними травильними композиціями, який дав би можливість провести порівняльну характеристику ефективності вибраних композицій з раніше дослідженими композиціями інших компонентних складів.

Наведені зауваження, носять, в основному, дискусійний або рекомендаційний характер і суттєво не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи, яка представляє завершене наукове дослідження. Сформульовані у дисертації наукові положення, висновки і рекомендації відображені у 10 опублікованих працях та 9 тезах доповідей наукових конференцій, які в достатній мірі відображають основний зміст роботи. Отримані експериментальні дані достовірні, висновки та основні положення дисертації обґрунтовані і не викликають сумнівів.

За актуальністю, обсягом та рівнем виконаного експериментального дослідження, новизною, достовірністю та практичним значенням отриманих результатів дисертаційна робота Левченко І.В. "Взаємодія InAs, InSb, GaAs, GaSb з водними розчинами $(NH_4)_2Cr_2O_7$-HBr-розчинник" відповідає усім вимогам до кандидатських дисертацій, а її автор Левченко Ірина Валеріївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата хімічних наук за спеціальністю 02.00.01-неорганічна хімія.

Провідний науковий співробітник
кафедри неорганічної хімії
Львівського національного університету
імені Івана Франка, кандидат хім. наук Л.П. Ромака

Підпис Ромаки Л.П. засвідчую

Вчений секретар Львівського національного
університету імені Івана Франка О.С. Грабовецька