

ВІДГУК**офіційного опонента про дисертаційну роботу Ховерка Юрія
Миколайовича на тему “Розроблення елементів сенсорної техніки на
основі структур кремній-на-ізоляторі та мікрокристалів кремнію,
модифікованих домішками бору і нікелю”, поданої на здобуття
наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю
05.27.01 - Твердотільна електроніка****Актуальність теми.**

Особливістю сучасного розвитку науки і техніки є посилений процес втілення мікроелектроніки в усі галузі народного господарства. Успіхи сучасної електроніки в значній мірі визначають технічний рівень багатьох галузей промисловості. Актуальність теми дисертаційної роботи Ховерко Ю.М. не викликає сумніву з огляду на те, що сучасні наука і техніка, а зокрема напівпровідникова електроніка, ставлять все вищі вимоги до застосовуваних напівпровідникових матеріалів, до стабільності параметрів та надійності напівпровідникових приладів на їх основі. Усе це зумовлює пошук нових напівпровідникових матеріалів та дослідження їх властивостей і явищ, що лежать в основі роботи приладів. В роботі проведено комплексне, систематичне і послідовне дослідження мікроструктури полікремнію в КНІ-структурах методом імпедансної спектроскопії, електрофізичних та магнеторезистивних властивостей полікристалічного та ниткоподібного кремнію, результатом якого стало розроблення низки приладів, в т.ч. сенсорів отримані за рахунок злиття технологій виготовлення цих матеріалів.

Звертає увагу особливість підходу в дисертації до даної проблеми через вивчення фізичних процесів, що протікають під час дослідження впливу магнітної домішки на магнетотранспортні властивості кристалів кремнію, концентрація носіїв заряду у яких знаходиться в околі фазового переходу метал-діелектрик.

Дослідження, результати яких наведені в дисертації, проводились у відповідності з програмою наукової тематики кафедри напівпровідникової електроніки Національного університету «Львівська політехніка» та науково-дослідних робіт, що є частиною комплексно-цільових державних та регіональних програм.

Наукова новизна роботи полягає у тому що:

Автором проведено комплексне дослідження електрофізичних властивостей структур кремній-на-ізоляторі та мікрокристалів кремнію у широкому інтервалі температур на постійному та змінному струмах, що є передумовою розроблення фізичних основ створення мікроелектронних сенсорів на базі полікристалічного та ниткоподібного кремнію:

– на основі аналізу характеру електропровідності полікристалічного

- кремнію в КНІ-структурах показано, що електропровідність дрібнозернистих зразків за криогенних температур змінюється стрибкоподібно і зумовлена стрибками по двічі зайнятих станах локалізованих домішкових рівнів, що покладено в основу створення надчутливих сенсорів температури криогенних середовищ;
- виявлено кореляцію між гістерезисом магнетоопору та намагніченістю в ниткоподібних кристалах кремнію, легованих домішками бору і нікелю, обумовлених спіноювою поляризацією магнітних домішок та утворенням магнітних перколяційних кластерів;
 - на основі експериментальних та теоретичних досліджень температурних залежностей провідності та магнітоопору виявлено, що у легованих мікрочисталах та структурах кремній-на-ізоляторі характер зміни провідності з температурою може бути представлений законом Мотта згідно якого значення індукції магнітного поля при якому магнетоопір змінює знак пропорційне $\sim T^{3/8}$, Це вказує на стрибкоподібний характер провідності в таких зразках за низьких температур, що може бути використано для розроблення елементів сенсорної техніки;

Практичне значення одержаних результатів роботи полягає у тому, що результати досліджень використані виробництва елементів сенсорної техніки за технологією, що є сумісною із сучасною технологією мікросистемної техніки:

- на основі легованих мікрочисталів кремнію та структур кремній-на-ізоляторі розроблені та виготовлені сенсори теплових величин з ТКО $\approx -9\% \times K^{-1}$ в інтервалі 4,2–50 К з використанням полі-Si та $0,4 \% / K^{-1}$ для діапазону 77–280 К з використанням мікрочисталів кремнію.

- для мікрочисталів кремнію, модифікованих домішками бору та нікелю, з концентрацією носіїв заряду близькою до фазового переходу метал-діелектрик виявлено гігантський магніто-резистивний ефект, на основі якого запропоновано надчутливий сенсор магнітного поля.

- розроблено конструктивно-технологічні основи виготовлення кремнієвих автоемісійних катодів, що є основою чутливих елементів акселерометра з чутливістю до переміщення ~ 200 нм на основі мікро- та наноструктур кремнію. Технологія їх виготовлення сумісна із сучасною технологією виробництва кремнієвих чіпів.

- результати досліджень імпедансної спектроскопії легованих мікрочисталів кремнію та структур кремній-на-ізоляторі покладені в основу створення як дискретних елементів сенсорної техніки (індуктивні, ємнісні), так і комбінованих (коливальні контури), реалізація яких передбачає використання сумісних технологій.

Новизну практичних розробок захищено патентами України.

Достовірність та ступень обґрунтованості отриманих результатів, наукових положень, висновків і рекомендацій.

Сформульовані висновки логічно виходять зі змісту дисертаційної роботи і підтверджуються великим обсягом експериментальних даних і відтворюваністю результатів, одержаних на великій кількості зразків широкого спектру матеріалів, а також теоретичним обґрунтуванням і повним практичним підтвердженням розроблених технологічних рішень.

В основу експериментальних досліджень легованих мікрокристалів кремнію та структур кремній-на-ізоляторі за низьких температур на змінному та постійному струмах покладено спеціально розроблені методики з використанням сучасних цифрових метрологічних засобів у Міжнародній лабораторії сильних магнітних полів та низьких температур (м. Вроцлав, Польща).

Суть висновків, отриманих у результаті виконаних досліджень, дає змогу застосовувати їх і в подальших наукових дослідженнях, і в промисловому виробництві, розвивати технологію сенсорів різноманітних фізичних величин нового покоління.

Ознайомлення з дисертацією, зокрема використаними методами досліджень (атомно-силова спектроскопія, імпедансна спектроскопія тощо), дає підстави стверджувати про вагомість і достовірність отриманих наукових результатів та їх значення як з фундаментальної, так і практичної точки зору. Робота виконана на високому науковому рівні, а практичні результати підтверджені рядом експериментів. Основні положення дисертації викладено в 104 наукових публікаціях та використані під час виконання низки науково-дослідних робіт.

Ще раз наголошуючи на високому теоретичному рівні дисертаційного дослідження та його практичній значущості, не можемо обійти увагою деякі недоліки. До **недоліків** роботи слід віднести наступне:

1. Відомо, що магнітні пристрої запам'ятовування на основі пристроїв з гігантським магнітоопором можуть конкурувати з традиційними напівпровідниковими пристроями запам'ятовування за щільністю інтеграції, швидкістю та вартістю. Крім того мале енергоспоживання забезпечує їх високу конкурентоспроможність. Дисертант у **розд. 6** приділяє велику увагу розробленню приладів, в основу яких покладено дослідження поперечного та повздовжнього магнетоопору кристалів. Однак з результатів досліджень (**розд. 6**) не зрозуміло чи досліджував автор кутову залежність магнітоопору за низьких температур в полях до 14 Тл. Такі дослідження дали б більш повну картину про виявлені магнітотранспортні характеристики, зокрема гігантський магнітоопір у кристалах.

2. Автором не наведені можливі механізми утворення радіаційних дефектів у ниткоподібних кристалах після їх опромінення високоенергетичними електронами. Зокрема в дисертації не наведені

відмінності типів радіаційних дефектів, що виникають при різних видах опромінення, не наведені дані щодо врахування руху дислокацій, спричинених високоенергетичним опроміненням структур кремній-на-ізоляторі.

3. Було б доцільним більш детально привести дані щодо контролю концентрації носіїв заряду у структурах кремній-на-ізоляторі та мікрокристалах кремнію.

4. Не зрозумілим є доцільність ілюстрування результатів експериментальних досліджень намагніченості (розд.6, ст.198) для мікрокристалів кремнію та сторонніх матеріалів (яких саме). Необхідно інтерпретувати розмірність по осях координат (рис.6.12, 6.13) з використанням термінології на українській мові.

5. В авторефераті на стор.20 зазначається, що із рис.15 впливає наявність гістерезису в залежності відносної зміни опору від індукції магнітного поля мікрокристалів кремнію в області низьких температур. Такий висновок є непереконливим, оскільки в тексті і на рисунку не вказана температура, або діапазон температур, в якому проводились дослідження.

6. В авторефераті на стор.23 зазначається «Принцип дії таких сенсорів ґрунтується на значному магніто-резистивному ефекті (~250%) для зразків, концентрація яких знаходиться у безпосередній близькості до переходу метал-діелектрик». Не зрозуміло, що значить безпосередня близькість до переходу метал-напівпровідник.

7. Із рис.21 автореферату не зрозуміло функціональне призначення виводів сенсора. Крім того, їх третя і п'ята контактні площадки є незадіяними.

8. В авторефераті стор.26 зазначається, що на фотографії рис.27 зображена схема сенсора температури, хоча на світлинці на рис.27 а) приведена топологія сенсора.

9. В авторефераті мають місце граматичні помилки та використання русизмів: «превалюючий вклад магнітної домішки (стор.22), легуюча домішка (стор.23) і т.п.

10. Невдало сформульований об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є процеси, а предметом дослідження є структури, мікрокристали та прилади.

Проте висловлені зауваження та побажання не є концептуальними і не знижують загальної високої оцінки рецензованого дослідження.

Автореферат дисертації відповідає вимогам МОН України, в ньому ґрунтовно розкрито зміст дисертації, що дозволить широкому колу науковців ознайомитися з її основними положеннями. Зміст автореферату та основні положення дисертації є ідентичними.

Кількість публікацій, обсяг, якість, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам МОН України та «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника»

Отже, дисертація Ховерка Юрія Миколайовича «Розроблення елементів сенсорної техніки на основі структур кремній-на-ізоляторі та мікрокристалів кремнію, модифікованих домішками бору і нікелю» - самостійне й актуальне дослідження, що характеризується компетентним аналізом матеріалу, глибокими теоретичними висновками і практичною цінністю одержаних результатів, відповідає вимогам МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.27.01 – твердотільна електроніка, а її автор заслуговує присудження цього ступеня.

Завідувач кафедри радіотехніки
та інформаційної безпеки
д.т.н., професор



Л.Ф. Політанський

Підпис засвідчую

