

Відгук

офіційного опонента на дисертацію Полоцького Дениса Юрійовича
«Електронні, магнітні й оптичні властивості та мікроструктура гібридних
гетеросистем TiN/Fe/C і AlN», подану на здобуття наукового ступеня кандидата
фізико-математичних наук зі спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла

Актуальність теми дисертації

Як відомо, рівень мікромініатюризації сучасної електроніки, створеної на базі класичних напівпровідникових структур, досяг рівня, коли вплив зовнішніх факторів вносить суттєві корективи і впливає на технічні характеристики наноелектричних приладів. Подальший рух в цьому напрямку впритул наблизить людство до суперпарамагнітної межі, загрожуючи тим, що майбутні електронні прилади зможуть працювати лише при криогенних температурах. Конче необхідно зосередити увагу на пошуку матеріалів, які мали б високі значення коефіцієнту анізотропії і величини магнітного моменту, який би хаотично не змінював свого напрямку під впливом теплових флуктуацій. Іншим важливим напрямком розвитку фізики твердого тіла є отримання матеріалів, що мають здатність пропускати випромінювання у визначених спектральних діапазонах і при цьому блокувати випромінювання з високим рівнем фоновому шуму в ІЧ діапазоні, тобто виконувати роль селективного фільтра. Вирішення цих питань будуть сприяти технологічному прогресу в галузі наноелектроніки і електротехніки.

На пошук таких перспективних матеріалів і спрямована дисертаційна робота Полоцького Д. Ю., яка мала на меті, по-перше, отримання та дослідження магнітних і електричних властивостей гетеросистем TiN/Fe з наноструктурованими вуглецевими структурами та без них, а по-друге синтез і дослідження оптичних і структурних особливостей нітриду алюмінію на термолабільних підкладах, для практичного використання цих матеріалів у пристроях збереження інформації і селективних фільтрах. Роботи, що увійшли до дисертації, виконувались в Інституті металофізики ім. Г. В. Кудюмова НАН України і була частиною 6 науково-дослідницьких робіт.

Загальна характеристика роботи

Дисертація складається з анотації, вступу, оглядового розділу, трьох оригінальних розділів і загальних висновків. Робота викладена на 202 сторінках і містить 16 таблиці, 96 рисунки і список літератури вітчизняних і закордонних авторів зі 158 найменувань.

У **Вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, висвітлено її зв'язок з науковими програмами, сформульовано мету і основні завдання дослідження, об'єкт і предмет дослідження, показано наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення, описано структуру і об'єм дисертації.

Розділ 1 присвячено огляду наукових праць з іонно-плазмових методів у технології отримання тонких плівок.

У **розділі 2** розглянуто будову та фізичні принципи роботи гібридного геліконно-дугового іонно-плазмового реактора (ГГДІПР). Представлено результати дослідження характеристик розробленого геліконного джерела плазми та плазово-дугового пришвидшувача. Обговорено 2 режими роботи геліконного джерела — відомий режим об'ємного розряду та виявлений новий режим «плазова колона». Виявлено ефекти керування в просторі плазовим потоком плазово-дугового прискорювача (ПДП).

У розділі 3 представлено результати створення та вивчення фізичних властивостей гібридних наноструктур TiN/Fe і TiN/Fe/C. Наведено температурні й польові залежності магнітного моменту та розрахунки щодо параметрів магнітних кластерів заліза. Встановлено суперпарамагнітний характер структур TiN/Fe. Запропоновано метод по подоланню суперпарамагнітної межі шляхом синтезу на впорядкованих нанокластерах заліза вуглецевих наноструктур. Описаний виявлений на ВАХ гетеро структур TiN/Fe/C стан незвичайної провідності і наведена його інтерпретація в рамках тунельної моделі. Наведені приклади ефектів електронної нестійкості, що спостерігалися на ВАХ зазначених структур, які призводять до перемикання структури під дією двополярної струмової розгортки між високоомним і низькоомним станами.

Розділ 4 описано методику синтезу плівок AlN на гнучких термолабільних полімерних плівкових підкладках із фторопласту і майлару та монокристалічного кремнію, наведено результати вивчення морфології поверхні, рентгенівських досліджень, спектральні характеристики в ІЧ-діапазоні (2–25 мкм).

Наукова новизна

На основі результатів, наведених у розділах 3 і 4, можна сформулювати положення, які визначають наукову новизну дисертації. Доцільно розглянути найважливіші з них:

1. Вперше виявлено явище високоенергетичного режиму геліконного розряду «Плазмова колона», при якому плазма високої густини розповсюджується із розрядної камери в технологічну зону. Використання на практиці цього режиму надало змогу модифікувати поверхню кремнію і закласти основу росту регулярних впорядкованих наноструктур, а також отримати островкові структуру заліза на гранулах нітриду титану. При відсутності цього потужного режиму плазмового інструмента, яким є геліконний розряд, отримання таких зразків було б неможливим.
2. Виявлений суперпарамагнітнетизм в гетеросистемах TiN/Fe, який безперечно доказує факт, що поверхня плівки представляє собою окремі нанорозмірні островки, а не суцільну плівку. Досягнення цього результату надало можливість впритул наблизитись до суперпарамагнітної межі, цього паразитного для електротехніки ефекту і запропонувати метод його подолання шляхом синтезу на поверхні залізних островків вуглецевих наноструктур. Вперше встановлено, що наноструктурований вуглець, синтезований на кластерах заліза (наноструктура TiN/Fe/C), сприяє підвищенню в декілька разів магнітну сприйнятність порівняно із зразком без вуглецю (наноструктура TiN/Fe) та підвищує до кімнатних температур температуру суперпарамагнітної межі.
3. Проведені вимери з використанням чотирьохзондової методики електричних характеристик гетеросистем TiN/Fe/C при кімнатній температурі вказують на можливість реалізації низьких значень опору для вуглецево - залізних наноструктур, внаслідок формування в них стану перкаляційній провідності, а також і на можливість реалізації мемристорної поведінки ВАХ внаслідок перемикання між високоомним ($1,3 \cdot 10^{-2}$ Ом) і низькоомним ($3 \cdot 10^{-4}$ Ом) станом динамічного опору.
4. Використання працюючих в симбіозі плазово-дугового прискорювача і геліконного джерела надало можливість вперше отримати плівки широкозонного напівпровідника AlN на полімерних гнучких підкладках тефлона і майлару, які, внаслідок цієї модифікації, почали демонструвати характеристики смуги залишкових променів в діапазоні $\lambda \approx 10\text{--}20$ мкм, що призводить до ефективного блокування ІЧ-випромінювання,

тоді як монокристалічний нітрид алюмінію має полосу залишкових променів в діапазоні $\lambda \approx 10-16$ мкм.

Достовірність результатів та ступінь обґрунтованості наукових положень

Достовірність результатів, одержаних у дисертаційній роботі та ступінь обґрунтування наукових положень забезпечується, у першу чергу, використанням сучасних методів експериментальних досліджень із залученням високоточного обладнання під час вимірювань та обробки результатів. Також достовірність отриманих результатів обґрунтовується наступним:

1. Адекватно підібраними умовами виготовлення та вимірювання характеристик зразків, що досліджувалися в роботі.
2. Достатнім рівнем апробації та високим статусом наукових видань, у яких висвітлено результати роботи.

Практичне значення результатів роботи і рекомендації щодо їх використання

Результати, отримані в дисертаційній роботі Полоцького Д. Ю., можуть бути використані у подальших прикладних дослідженнях та розробках функціональних елементів для систем обчислення, зберігання та передачі інформації. Використані в роботі іонно-плазмові джерела та розроблені оригінальні підходи і методи для синтезу наноструктурованих плівкових структур різного ступеня складності можуть бути успішно використані для отримання наступних результатів:

- **гетеросистеми TiN/Fe** - для створення носіїв інформації з високою щільності запису, здатних працювати в галузі кріогенної електроніки;
- **гетеросистеми TiN/Fe/C** - для розробки нових енергонезалежних пристроїв для запису даних – мемристорів;
- **AlN** - для створення приладів на гнучких носіях. Крім того отримані результати про блокування інфрачервоного випромінювання в плівкових структурах нітриду алюмінію синтезованих на діелектричних полімерних підкладках тефлона і майлара дозволяють говорити не тільки о створенні теплових екранів для кріостатів, але і о маскувальних покриттях на їх основі.

Зауваження до роботи

Робота, на мою думку, має деякі недоліки:

1. Не має жодного обґрунтування чому для подолання, як пише автор суперпарамагнітної межі, був вибраний саме вуглець;
2. Зовсім не зрозумілим з тексту дисертації чому величина магнітного моменту гетероструктур TiN/Fe/C зросла більш ніж в сім разів порівняно з отриманими при тих же вимірах для TiN/Fe?
3. Визиває питання, яка фізика процесу збільшення температури суперпарамагнітної межі від 150 К для структур без вуглецю до кімнатних температур для структур TiN/Fe/C?
4. При поясненні магнітної сприйнятливості залізо - вуглецевої підсистеми автор пише о колективних електронах заліза, що, при взаємодії з підсистемою вуглецю, збільшують щільність станів поблизу рівня Фермі. На мою думку, автору слід було б виконати детальніший аналіз природи вказаного явища.

5. Залишає питання чому для дослідження електричних характеристик гетероструктур TiN/Fe/C була вибрана точкова чотирьохзондова методика, який перехідний контактний опір і наскільки достовірні отримані ВАХ зі станом гігантської провідності.

6. Не зрозумілим залишилось чому при отриманні настільки нетривіальних даних для гігантської провідності не були проведені вимірювання ВАХ гетероструктур TiN/Fe/C в широкому інтервалі температур. Це дало би можливість встановити механізм протікання струму в досліджуваних зразках.

Загальний висновок

За матеріалами дисертації опубліковано 26 наукових праць, серед яких 13 статей у вітчизняних та закордонних наукових фахових журналах, 1 розділ у колективній монографії та 12 праць і тез конференцій. Автореферат і опубліковані роботи достатньо повно відображають основний зміст дисертаційної роботи.

Дисертація Полоцького Д. Ю. є завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримано нові результати у рамках нового напрямку фізики твердого тіла – наноструктуровані матеріали з унікальними магнітними, електричними і оптичними властивостями, що придатні для використання у мікро- і наноелектроніці.

Таким чином, за актуальністю тематики, за новизною отриманих результатів, їх обсягом, достовірністю та обґрунтованістю, науковим і практичним значенням розглянута дисертаційна робота **«Електронні, магнітні й оптичні властивості та мікроструктура гібридних гетеросистем TiN/Fe/C і AlN»** відповідає вимогам ВАК України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Полоцький Денис Юрійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Офіційний опонент
старший науковий співробітник
відділу високих тисків та перспективних технологій
Донецького фізико-технічного інституту
імені О.О. Галкіна НАН України
доктор фізико-математичних наук

В.Ю. Таренков

Підпис Таренкова В.Ю. засвідчую:

Вчений секретар Донецького фізико-технічного
інституту імені О.О. Галкіна НАН України
канд. техн. наук



В.Ю. Дмитренко