ВІДЗИВ
офіційного опонента

на дисертаційну роботу Притчина Сергія Емільовича «Розробка технології виробництва підкладок арсеніду галію для виробів мікроелектроніки», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання і виробництво електронної техніки

Дисертація Притчина С. Е. присвячена підвищенню якості підкладок арсеніду галію (GaAs) шляхом розробки нової технології виготовлення підкладок, які застосовуються у мікроелектроніці, вдосконаленню і використанню різноманітних методів контролю їх якості у промислових умовах, а також дослідженню механічних і структурних властивостей під впливом залишкових напружень.

GaAs є найважливішим напівпровідником групи A^3B^5, який в сучасній електронній промисловості займає друге місце після кремнію. Широке застосування GaAs обумовлено його унікальними властивостями, які багато в чому перевищують властивості кремнію та германію. Крім того, прилади на основі GaAs здатні працювати при більш високих температурах і мають високу радіаційну стійкість. GaAs широко застосовується в СВЧ електроніці, у виробництві світлодіодів і лазерів, приладів ІЧ-оптики, фотовольтаїки (перетворювачів сонячної енергії) та інших галузях сучасної техніки.

Оскільки GaAs має високу питому електропровідність, він часто використовується в якості ізолюючих підкладок, які, на відміну від кремнію, забезпечують надійну ізоляцію між різноманітними приладами. До якості таких підкладок висуваються жорсткі вимоги до залишкових напружень, вмісту дислокацій та відхиленню від площинності. Залишкові термопружні напруження і спричинювані ними дислокації вже формуються на стадії вирощування монокристалів GaAs і переходять у підкладку при її виготовленні зі зливка. При цьому у підкладку можуть бути внесені додаткові дефекти внаслідок її різки, шліфування, полірування, з'являється відхилення від паралельності і площинності підкладок. В цілому ці фактори здатні змінити електрофізичні характеристики готових мікроелектронних виробів. Для одержання якісних підкладок необхідно провести цілий комплекс науково-технічних заходів по вдосконаленню технологічних процесів одержання структурно досконалих монокристалів GaAs, вивченню впливу механічних властивостей GaAs на залишкові напруження у підкладках, розробці нових технологічних і методичних підходів виготовлення і контролю якості підкладок.

Тому вирішення проблеми підвищення якості підкладок, а також розробка і впровадження нових методів контролю їх якості є вельми *актуальним* як з наукової, так і з практичної точок зору.

Обраний напрямок науково-технічних досліджень *тісно пов'язаний з науковою тематикою* кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського і виконувався в рамках чисельних наукових програм і тем. Відповідно до державної цільової науково-технічною програми «Нанотехнології і наноматеріали на 2010-2014 роки» робота була пов'язана з виконанням наступних науково-дослідних робіт: НДР «Розробка способів і методів експрес-контролю структурних недосконалостей у злитках монокристалічного кремнію й арсеніду галію» ДР №0106V000055; НДР «Дослідження механізму формування термопружних напруг у пластинах кремнію, германію й арсеніду галію методом ІЧ-поляриметрії» ДР № 0109U002281; НДР «Дослідження впливу процесів тепломасопереносу на електрофізичні й структурні властивості монокристалічного кремнію й арсеніду галію в процесі їх вирощування» ДР № 0106V000056; «Створення сучасних технологій вирощування структурно досконалого арсеніду галію» ДР № 0114U003986; «Створення автоматизованих комплексів контролю параметрів напівпровідників» ДР № 0114U003987 і низки госпдоговірних робіт.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень. Матеріали дисертаційної роботи доповідались і обговорювались на багатьох міжнародних і вітчизняних конференціях, які проводилися у Луганську, Івано-Франківську, Кременчуку, Запоріжжі, Харкові, Кацивелі, Одесі, Алушті, Чернівцях, Ужгороді, Полтаві. Основні результати роботи достатньо повно викладені в 56 наукових працях, у тому числі: 26 робіт у спеціалізованих наукових виданнях (з них 6 одноосібних публікацій), які входять до переліку ДАК України, з них 23 – у журналах, які входять до міжнародних науково метричних баз, 3 патенти на винахід України, і 27 – у доповідях і тезах конференцій. При виконанні роботи автором використана широка низка сучасних методів дослідження: метод фотопружності для дослідження внутрішніх напружень у підкладках GaAs; метод світлової інтерферометрії для контролю відхилення від площинності підкладок; методи рентгеноструктурного аналізу і дифрактометрії для визначення параметрів кристалічної решітки підкладок і їх якості після механічної обробки; методи електронної та оптичної мікроскопії для визначення глибини порушеного шару підкладок і контролю густини дислокацій; методи математичної статистики для обробки експериментальних даних та інші. Експериментальні результати неодноразово перевірялися різними методами досліджень. Збіг результатів доводить достовірність експериментальних даних і розрахунків, одержаних автором.

Наукова новизна. Серед найбільш вагомих наукових результатів, вперше отриманих автором, слід відзначити такі:

1. Одержання, з використанням методів математичного моделювання, нових даних про значення механічних властивостей підкладок GaAs у довільних кристалографічних напрямках, впливу кристалографічної орієнтації підкладок GaAs на густину дислокацій, визначення величин впливу залишкових напружень на константи пружності GaAs, що в цілому дозволило встановити залишковий рівень напружень, при якому підкладки GaAs залишаються механічно стабільними;
2. Розробка промислової технології одержання підкладок GaAs підвищеної якості для виробів мікроелектроніки;
3. Розробка низки нових методик та створення серії оригінальних приладів для контролю залишкових напружень, установлення відхилення від площинності у підкладках GaAs; вимірювання густини дислокацій; контролю діаметра зливка GaAs в процесі вирощування його монокристалів.

Отримані в роботі науково-технічні результати в сукупності дозволили вирішити важливу *науково-технічну проблему*, а саме: розробити нову технологію виробництва підкладок GaAs підвищеної якості, а також низку методів і пристроїв для контролю їх якості, придатних для використання у промислових умовах.

Практичне значення одержаних результатів полягає насамперед у розробці нової технології виготовлення підкладок GaAs підвищеної якості, а також методів і пристроїв для контролю їх якості, що дозволило у порівнянні з існуючою технологією збільшити відсоток виходу придатних приладів на 5–7 %, що підтверджується актом використання розробок на ВАТ «Малахіт» (акт використання від 03.03.2012 р.). Результати дисертаційних досліджень, впроваджені у виробництво на ЧП «Галар» (м. Світловодськ), дозволили одержати економічний ефект у 200 тис. грн. (акт впровадження від 24.05.2013 р.)

Результати досліджень були також використанні в Інституті фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України при виконанні науково-дослідних робіт, у НДІ Особливо чистих матеріалів для виготовлення епітаксіальних структур, у навчальному процесі кафедри інформаційно-управляючих систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Відносно представленої на захист дисертаційної роботи, на мій погляд, можна зробити деякі *зауваження*:

1. Для визначення метрологічних характеристик розробленого в роботі поляризаційного методу для визначення залишкових напружень у підкладках GaAs в якості еталонного приладу використовувався рентгенівський дифрактометр. Показано належний збіг експериментальних даних, отриманих за допомогою рентгенодифракційного методу і поляризаційного методу, реалізованого пристроєм «Полярон-4». Але в роботі не

коментуються переваги розробленого поляризаційного методу в порівнянні з рентгенодифракційним методом.

2. В роботі відмічається, що основним фактором, який призводить до підвищених концентрацій дислокацій та залишкових напружень у злитках GaAs при вирощуванні, є температурні градієнти. Разом з тим, густина дислокацій (а також і залишкові напруження) в значній мірі залежить і від залишкових домішок в зливках GaAs. Це питання в роботі не обговорюється.
3. В роботі стверджується, що зменшення нестабільності діаметра в процесі вирощування злитка дозволило зменшити температурні градієнти, що призвело до зниження рівня залишкових напружень і густини дислокацій в підкладках GaAs. В роботі нема пояснень, з яких причин зменшення нестабільності діаметра в процесі вирощування злитка дозволило знизити температурні градієнти.
4. Режими відпалу злитків GaAs чомусь характеризуються температурними градієнтами, хоча в дійсності це є швидкості нагріву і охолодження.

Однак ці зауваження не є принциповими і не впливають на високу позитивну оцінку дисертаційної роботи в цілому.

Друковані роботи, опубліковані автором, достатньо повно розкривають зміст дисертаційної роботи і опубліковані у виданнях, затверджених ДАК України.

Автореферат достатньо повно відображає основні положення дисертаційної роботи.

Дисертація Притчина С. Е. по актуальності, науковій новизні і практичному значенню одержаних результатів повністю задовольняє усім вимогам п. 10 «Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» та вимогам ДАК України до докторських дисертацій, а її автор, Притчин Сергій Емільович , безумовно заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.06. – технологія, обладнання і виробництво електронної техніки.

Офіційний опонент,
доктор фіз.-мат. наук, професор,
начальник лабораторії
Інституту фізики твердого тіла,
матеріалознавства та технологій
ННЦ “Харківський фізико-технічний
інститут” НАН України Г.П. Ковтун

Підпис проф. Г.П. Ковтуна засвідчую
Вчений секретар ННЦ ХФТІ О.В. Волобуєв
14.04.2016