Голові спеціалізованої вченої ради
Д 64.052.04
у Харківському національному
університеті радіоелектроніки
61166, м. Харків, просп. Науки, 14

ВІДГУК

офіційного опонента доктора фізико-математичних наук, професора, завідувача відділом фізики високих енергій Інституту ядерних досліджень Національної академії наук України Пугача Валерія Михайловича,
на дисертаційну роботу Проценка Максима Анатолійовича на тему: ***"Технологія виробництва детекторних модулів радіаційного випромінювання"***, подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки

Актуальність теми дисертації

Сучасні експерименти з ядерної фізики та фізики високих енергій потребують детекторні системи, що здатні працювати в умовах високих радіаційних навантажень протягом десятка (і більше) років, забезпечуючи при цьому достатню точність вимірів та ефективність реєстрації фізичних подій. Однак створення нових детекторних модулів для реєстрації елементарних частинок важливо не тільки для фізики високих енергій. Крім того такі системи вже знайшли широке використання в інших галузях наук, що стрімко розвиваються (мікробіологія, матеріалознавство, геофізика, медицина та інш.), застосовуючи потужні джерела синхротронного, рентгенівського випромінювання а також пучків прискорених адронів. Створення детекторних модулів (ДМ) радіаційного випромінювання (РВ) для нових експериментів потребує застосування новітніх матеріалів та технологій.

Вищезгадане свідчить про необхідність робіт, спрямованих на створення нових технологічних процесів виробництва ДМ РВ, що підтверджує актуальність роботи дисертанта Проценка М.А.

Дослідження, результати яких викладені в дисертаційній роботі, проводилися відповідно до держбюджетних науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, які виконувались на ДП Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування, ТОВ "Світлодіодні технології Україна" та у Харківському національному університеті радіоелектроніки: ДКР "Розробка та впровадження перспективних технологій і матеріалів радіоелектронної апаратури ракет-носіїв і космічних апаратів" (ДР №0103U007272),

ХНУРЕ
Вхідний № 01/27-1684
"13" 12 2017 р.

НДР "Розробка технології виготовлення мікрокабелів для проекту ALICE" (ДР №0104U006372), НДР "Розробка, моделювання та дослідження новітніх конструктивно-технологічних рішень детекторних модулів для систем детектування експериментів у галузі фізики високих енергій" (ДР №0113U008109), НДР "Розроблення дослідно-промислової технології створення базових високотехнологічних компонентів детекторних модулів для систем детектування часток в експериментах з фізики високих енергій" (ДР №0113U007364). Автор дисертації приймав безпосередню участь виконанні цих робіт, як виконавець та відповідальний виконавець, ***що також підтверджує актуальність роботи.***

Структура, завдання та короткий зміст роботи

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог державного стандарту, має необхідну структуру і складається з вступу, шести основних розділів, висновків, списку літератури та семи додатків. Стиль викладення матеріалів дисертації доказовий. Графічні матеріали відбивають досліджувані процеси. Допоміжний і інформаційний матеріал, винесений у додатки, допомагає уточнювати деякі положення дисертаційної роботи. Наявні посилання на всі наукові результати раніше виконаних досліджень. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації.

Метою роботи є створення технологічних процесів виробництва детекторних модулів з високою щільністю монтажу компонентів, що дозволяє зменшити спотворення треків заряджених частинок за рахунок багатократного кулонівського розсіювання в товщі матеріалу трекової детекторної системи.

У першому розділі автором виконано змістовний аналіз конструктивно-технологічних рішень сучасних детекторних модулів та обґрунтовано засоби покращення електрофізичних, конструктивних і технологічних характеристик їх компонентів На основі аналізу сформульовані завдання дисертаційних досліджень.

У другому розділі наводяться результати фізико-математичного моделювання залежності завадостійкості ліній передач в детекторних модулях від конструктивних параметрів і технології їх виготовлення. Теоретично обґрунтовано можливість покращення характеристик детекторних модулів за рахунок вдосконалення технології їх виготовлення.

Зокрема, досліджено теплові режими мікрозбірок на вуглепластикових підкладках з анізотропною теплопровідністю. Показано, що температура перегріву поверхні мікрозбірки

за умови використання вуглепластикових підкладок товщиною 0,3 мм та системи рідинного охолодження не буде перевищувати 11 °С.

У третьому розділі теоретично та експериментально досліджено технологічні процеси формування шарів гнучких з'єднувальних елементів (ГЗЕ) із високою щільністю розміщення провідників для виконання вимог експерименту Compressed Baryonic Matter (CBM, Дармштадт). За умови використання стандартних методів рідинного хімічного травлення алюміній-поліімідних діелектриків під час виготовлення ГЗЕ розглянуто кілька варіантів поліпшення роздільної здатності процесу травлення: вибір оптимальних технологічних режимів формування фоторезистивної маски, вибір складу травника для відтворення розмірів і профілю країв елементів, оптимізація температурних режимів процесу, визначення ефективних поверхнево-активних речовин і їх впливу на процес травлення.

У четвертому розділі досліджено та розроблено технологічні процеси складання детекторних модулів із використанням інноваційної ексклюзивної алюмінієвої технології складання "Chip-on-flex" (COF).

Базуючись на теорії повного факторного експерименту, розроблено експериментально-статистичну модель визначення оптимальних технологічних режимів УЗ-зварювання ГЗЕ на автоматизованому обладнанні.

У п'ятому розділі проведено моделювання параметричної надійності, прогнозування показників надійності мікрозбірок та продемонстровано їх підтвердження у випробуваннях.

Зокрема, з метою отримання інформації щодо стійкості мікрозбірок за умови дії навантажень, що перевищують експлуатаційні режими, для експериментальної оцінки довговічності виробу та підтвердження відповідності значення часу роботи виробу без відмови терміну експлуатації а також виявлення потенційно ненадійних елементів детекторних модулів для експерименту ALICE наведено результати прискорених форсованих випробувань.

У шостому розділі дисертаційної роботи містяться результати експериментальних досліджень, що відповідають меті роботи. На підставі позитивних результатів випробувань експериментального зразка детекторного модуля та його компонентів розроблені технологічні процеси рекомендовані для комплектації детекторних станцій експерименту CBM (Дармштадат).

Наведені у ***висновках*** результати повно відображають суть дисертаційної роботи і мають практичне впровадження.

Наукова новизна результатів, що отримані у дисертаційній роботі

Найбільш важливі нові наукові результати, отримані в дисертації:

- вперше запропоновано технологічні процеси виготовлення детекторних модулів з використанням інноваційної алюмінієвої COF-технології складання, які на відміну від відомих дозволяють забезпечити високу щільність монтажу компонентів і зменшити масу речовини в робочому об'ємі на ~30%;

- розвинена математична модель для встановлення завадостійкості ліній передач детекторних модулів, яка на відміну від відомих дозволяє врахувати вплив конструктивних та технологічних параметрів виготовлення гнучких з'єднувальних елементів. Зокрема, для модулів експерименту СВМ це забезпечує необхідний режим роботи з відношенням сигнал/шум більше 10;

- удосконалено методи обліку значень похибок геометричних розмірів елементів гнучких плат, клину травлення алюмінію, маршрутні схеми та режими процесів виробництва, що дозволило зменшити крок розташування провідників ГЗЕ з безадгезивних алюміній-поліімідних фольгових діелектриків з 80 мкм до 50 мкм та менше, які відповідають кроку стрипів сучасних сенсорів;

- набув подальшого розвитку метод визначення оптимальних технологічних режимів УЗ-зварювання та їх підтвердження у процесі безруйнівного оптичного спостереження. За рахунок цього автоматизовано процес складання детекторних модулів, що дозволило покращити відтворюваність з'єднань і підвищити продуктивність складання більш ніж у 10 разів.

Наведені автором результати досліджень мають достатнє теоретичне обґрунтування, і є вкладом в теорію та практику вирішення завдань щодо створення технологічних процесів виробництва детекторних модулів.

Практичне значення результатів

На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень та отриманих нових наукових результатів розроблені моделі, які дозволяють врахувати вплив конструктивних та технологічних параметрів на завадостійкість ліній передач детекторних

модулів. Експериментально відпрацьовані та впроваджені удосконалені технологічні процеси виробництва та УЗ-зварювання алюміній-поліімідних гнучких з'єднувальних елементів з кроком розташування провідників 50 мкм, а також складання гнучко-жорстких ДМ та їх тривимірного монтажу з використанням інноваційної COF-технології складання.

Практичне значення роботи підтверджується тим, що ***результати роботи впроваджено*** у виробництво у ТОВ "Світлодіодні технології Україна" (м. Харків), у GSI Центрі із дослідження важких іонів ім. Гельмгольца (м. Дармштадт, Німеччина) та на ДП "Науково-дослідний інститут мікроприладів" (м. Київ). Результати досліджень також були використані в навчальному процесі на кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки ХНУРЕ та на кафедрі інформаційних технологій електронних засобів Запорізького національного технічного університету.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень і висновків

Обґрунтованість наукових положень та висновків підтверджується коректним застосуванням методів експериментальних досліджень і статистичного аналізу отриманих результатів; положень теорії факторного експерименту для визначення оптимальних технологічних режимів УЗ-зварювання; методів конформних перетворень для розрахунку електричної ємності лінії зв'язку; методів математичного та комп'ютерного моделювання для розробки моделі деградаційних процесів і прогнозування надійності зварних з'єднань; методів термоциклічних випробувань для дослідження надійності мікрозбірок;.

Нові положення, що виносяться на захист, досить повно відбиті в 46 наукових працях здобувача, опублікованих у необхідному обсязі у фахових наукових виданнях України та закордонних виданнях з технічних наук. Викладені у статтях основні результати повністю віддзеркалюють результати досліджень, отримані особисто автором та наведені у роботі. У процесі виконання досліджень автор провів достатню для кандидатських дисертацій роботу з їхньої апробації на представницьких наукових конференціях перед науковою громадськістю і на науково-технічних семінарах за участю провідних спеціалістів у галузі технології, обладнання та виробництва електронної техніки.

У дисертаційній роботі Проценка М.А. є окремі ***недоліки та зауваження***, серед них такі:

1. В роботі не розглянуто альтернативні методи формування наскрізних отворів в ізолюючих діелектричних прокладках для зменшення діелектричної проникності (за допомогою лазера або механічної обробки).

2. В дисертації відсутнє обґрунтування вибору процесів рідинного хімічного травлення алюміній-поліімідних діелектриків, що забезпечують найбільш високий технічно-економічний результат у порівнянні з плазмовими та плазмово-хімічними процесами травлення.

3. Не проведено оцінку допустимих граничних токових навантажень на області міжшарових зварних з'єднань алюмінієвих пласких виводів гнучких плат і алюмінієвих виводів з контактними площинками мікросхем.

4. Не описано засіб одержання результату по десятикратному покращенню «продуктивності складання ДМ»

4. У тексті дисертації зустрічаються друкарські помилки та незначні стилістичні вади (розділ3 – « …формування ***слоїв*** ГЗЕ ...»; стор. 157 – « … ***відказів***»; Рис. 2.1 – російською мовою; Рис. 5.5 – неповний: відсутні написи-позначення

Означені недоліки ***не є принциповими*** і не впливають на основні результати роботи.

Загальні висновки

Незважаючи на вказані недоліки, треба відмітити, що дисертація є ***завершеною науковою працею***, містить нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності розв'язують задачу розробки та удосконалення технології виробництва детекторних модулів радіаційного випромінювання.

Обраний напрямок досліджень та отримані результати відповідають паспорту спеціальності 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки (п. 2 – розроблення нових технологічних процесів для промислового виробництва приладів електронної техніки, приладів контролю (вимірювання) параметрів електронної техніки).

За актуальністю, науковим і прикладним рівнем, новизною та практичною спрямованістю отриманих результатів ***дисертація відповідає вимогам*** п.п. 9, 11-14 "Порядку

присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.

Офіційний опонент:
Доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач відділом фізики високих енергій
Інституту ядерних досліджень
НАН України В.М. Пугач

Підпис В.М. Пугача
засвідчую:
Вчений секретар
Інституту ядерних досліджень Н.Л. Дорошко
НАН України
канд. фіз.-мат. наук