

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Тимчука Ігоря Трохимовича «Конструктивно-технологічне забезпечення виробництва компонентів сенсорних систем детектування фізичних експериментів», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки

Актуальність теми.

Незважаючи на суттєві досягнення у галузі створення компонентів сенсорних систем детектування часток міжнародних фізичних експериментів, питання створення нових конструктивів і розробки нових наукових положень із вдосконалення технології виготовлення елементів комутації та матеріалів для їх реалізації не повністю вивчені, деталізовані та реалізовані.

Так, однією з особливостей створення зовнішніх детекторних шарів модернізованої Внутрішньої Трекової Системи (ВТС) експерименту ALICE у Європейській організації з ядерних досліджень CERN (Швейцарія) є значна довжина (біля 1,5 м) детекторних лінійок. При цьому, для функціонування сенсорів, має бути забезпечено падіння напруги живлення не більше 0,1 В на всій довжині детекторної лінійки (ДЛ). Водночас, компоненти, що використовуються, мають бути реалізовані з матеріалів, які забезпечуватимуть мінімізацію маси речовини в об'ємі детектування.

Іншим ключовим аспектом створення зовнішніх детекторних шарів модернізованої ВТС експерименту ALICE та експерименту Mu3e є вибір та обґрунтування конструктивно-технологічних рішень створення удосконалених детекторних модулів для забезпечення радіаційної довжини модулів на рівні 0,1-0,2 X_0 .

При цьому, дотепер, номенклатура наявних алюміній-поліімідних матеріалів є надзвичайно малою та недостатньою для реалізації компонентів сенсорних систем, що обумовлює необхідність розробки нових та удосконалення існуючих

технологічних процесів створення таких матеріалів і виробів на їх основі.

Все вищевикладене обумовлює **актуальність** сформульованої теми дисертаційної роботи.

Дослідження, результати яких викладені в дисертаційній роботі, проводилися відповідно до держбюджетних науково-дослідних робіт, які виконувались у Харківському національному університеті радіоелектроніки та у ТОВ «Науково-виробниче підприємство «ЛТУ» (м. Харків) і автор брав участь у виконанні даних робіт як виконавець та відповідальний виконавець.

Варто відзначити, що результати роботи впроваджені у виробництво як на вітчизняних підприємствах (ТОВ «НВП «ЛТУ», Харків та ДП «НДІ мікроприладів», Київ), так і у науково-дослідних інститутах Європи (NIKHEF, Національний інститут субатомної фізики, Нідерланди) та США (LBNL, Національна лабораторія ім. Лоуренса в Берклі) при створенні та виробництві компонентів ВТС міжнародного експерименту ALICE у CERN (Швейцарія), що **також підтверджує актуальність роботи.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Структурно дисертація Тимчука І. Т. складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків та додатків.

Виконані автором дослідження базуються на всебічному та ретельному огляді наукових та практичних досягнень в галузі створення компонентів сенсорних систем детектування часток. В дисертації відзначена сукупність завдань для досягнення основної мети дисертаційної роботи, пов'язаної зі створенням високотехнологічних компонентів сенсорних систем детектування фізичних експериментів (на прикладі зовнішніх детекторних шарів Внутрішньої Трекової Системи експерименту ALICE та внутрішніх шарів експерименту Mu3e) за рахунок розробки технологічних процесів виготовлення безадгезивних плівкових алюміній-поліімідних матеріалів та виробництва компонентів детекторних лінійок, з метою мінімізації маси матеріалу в об'ємі детектування та забезпечення необхідних електричних параметрів компонентів для функціонування чутливих елементів.

У першому розділі здобувачем проведено огляд сучасного стану та розглянуто шляхи удосконалення ВТС міжнародного експерименту ALICE, проведено огляд та аналіз вимог до компонентів системи. Визначено склад та особливості ВТС, а саме, що містить кілька детекторних шарів, які реалізуються за рахунок створення детекторних лінійок довжиною до 1,5 м. На основі огляду та аналізу розроблено концепцію створення компонентів детекторних шарів та сформулювати основні завдання дослідження.

Другий розділ присвячено розробці конструктивно-технологічних рішень кабелю живлення для ВТС експерименту ALICE. Також, враховуючи розроблену концепцію реалізації детекторної лінійки (ДЛ), кабелю живлення (КЖ) та вимоги до компонентів ДЛ розроблено фізико-топологічну модель КЖ. Розроблена модель дозволила визначити необхідні конструктивні особливості компонентів КЖ та обрати матеріали, які дозволять реалізувати КЖ. Проведені розрахунки та моделювання дозволили визначити необхідність створення нових алюміній-поліімідних безадгезивних матеріалів з товщиною алюмінієвої фольги 100 мкм та розроблено ТП виготовлення двошарового алюміній-поліімідного матеріалу з товщиною алюмінієвої фольги 100 мкм з використанням аплікатору. Розроблений ТП впроваджено у виробництво компонентів КЖ.

У третьому розділі розглянуто шляхи удосконалення існуючих ТП виготовлення компонентів ДЛ на основі безадгезивних алюміній-поліімідних матеріалів та розробка новітніх матеріалів і ТП виготовлення компонентів ДЛ на їх основі.

Удосконалено математичну модель вигину, викликаного зміною температури в процесі виготовлення двошарових плівкових безадгезивних алюміній-поліімідних структур, яка пов'язує механічний момент вигину зі зміною температури, конструктивними розмірами та параметрами пружних шарів. Це дозволяє розрахувати всі параметри напружено-деформованого стану двошарової структури. Розроблена математична модель разом з експериментальними дослідженнями зразків алюміній-поліімідних матеріалів з різною товщиною фольги та поліімідного шару

дозволили визначити оптимальні практичні товщини поліїмідного шару для алюмінієвої фольги різної товщини.

Отримані результати впроваджені у виробництво компонентів ДЛ експерименту ALICE

Четвертий розділ присвячено розробці конструктивних й технологічних рішень надлегких детекторних модулів для міжнародних експериментів ALICE та Mu3e на основі надновітніх кремнієвих MAPS піксельних сенсорів і безадгезивних алюміній-поліїмідних діелектриків з мінімальною масою речовини. Отримані результати дозволили реалізувати надлегкі детекторні модулі з радіаційною довжиною $\sim 0,1 X_0$.

Розроблено модель впливу розмірів елементів плати в області зварювання на подовження алюмінієвого провідника для вибору оптимальних розмірів. Отримані результати моделювання дозволили визначити оптимальні конструктивні параметри зон зварювання компонентів детекторних модулів.

У п'ятому розділі наведено результати дослідження макетів та прототипів багат шарових плат, детекторних модулів та детекторних лінійок.

Отримані результати досліджень, що здійснювалися не лише на вітчизняних підприємствах, а й у європейських інститутах та організаціях підтвердили правильність розроблених конструктивно-технологічних рішень компонентів та дозволили використати розроблені рішення для створення компонентів ДЛ зовнішніх шарів удосконаленої внутрішньої трекової системи експерименту ALICE у CERN.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність отриманих результатів обумовлена тим, що під час виконання роботи автором використано комплекс взаємодоповнюючих сучасних експериментальних методик, проведено порівняння отриманих результатів з літературними даними, запропоновано моделі, які адекватно пояснюють знайдені автором ефекти. Результати роботи представлялись на вітчизняних та міжнародних наукових конференціях по темі дисертації. Основні результати дисертації опубліковані в відомих наукових виданнях по темі роботи які індексуються у науко-

метричних базах Scopus та WoS а також у наукових фахових видання які входять до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт.

Автореферат в повній мірі відображає зміст дисертації.

Наукова новизна досліджень.

Основними узагальненими новими науковими результатами можна вважати:

– удосконалено ТП виготовлення ДМ на основі новітніх MAPS сенсорів, що дозволили реалізувати надлегкі ДМ для експериментів ALICE та Mu3e з радіаційною довжиною $0,1-0,2 X_0$, що вдвічі-втричі краще ніж у існуючих аналогів;

– удосконалено модель вигину гнучкого двошарового матеріалу діелектрик-провідник для застосування під час виготовлення алюміній-поліімідного матеріалу, в якій на відміну від існуючої, розглянуто спільну дію температури і механічної сили, що дозволило визначити оптимальні параметри товщин шарів у процесі виготовлення вихідного матеріалу для створення компонентів ДЛ;

– удосконалено модель усадки компонентів (одношарових елементів комутації) ДЛ у процесі їх виробництва від товщини діелектричних і провідникових шарів, що дозволило визначити конструктивні обмеження для розробки компонентів ДЛ і ДМ та забезпечити виробництво якісних компонентів ДЛ;

– вперше розроблено ТП виготовлення тришарового безадгезивного матеріалу поліімід-алюміній-поліімід і ТП виготовлення гнучких компонентів з зазначеного матеріалу, що дозволило виготовляти вироби з алюмінієвої фольги із двосторонньою ізоляцією поліімідом, а саме поперечні кабелі для ДЛ експерименту ALICE.

Повнота викладу основних результатів.

Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи отримані автором самостійно. За темою дисертації автором опубліковано 21 наукову працю (з яких 6 у збірниках що індексуються у науково-метричній бази даних SCOPUS), у тому числі 3 статті у закордонних журналах та 7 –

у збірниках тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських конференціях. Результати досліджень також були захищені 5 патентами України (з яких 1 заявка на патент України).

Опубліковані праці повністю освітлюють матеріали дисертаційної роботи.

Основні результати дисертаційної роботи здобувача пройшли всебічну апробацію на достатній кількості наукових конференцій.

Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює основні отримані результати, зроблені висновки.

Оцінка змісту дисертації.

Варто відзначити, що робота Тимчука І.Т. являє собою закінчене і цілісне дослідження з чіткою структурою і логічним викладом матеріалу. Вона узагальнює і розвиває дослідження автора, започатковані у науково-дослідних роботах.

Дисертаційне дослідження направлено на розробку нових технологічних процесів для промислового виробництва приладів електронної техніки, чим відповідає формулі та другому та третьому пунктам паспорта спеціальності 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.

Оформлення дисертації в цілому відповідає вимогам п.п. 9, 11-14 "Порядку присудження наукових ступенів". Стиль викладання матеріалів досліджень, наукових положень і висновків забезпечує доступність їх сприйняття.

Разом з тим дисертація має ряд недоліків та зауважень:

- в роботі недостатньо розкрито питання використання рідинного травління провідних та діелектричних шарів у порівнянні з іншими методами формування таких шарів (лазерна обробка, плазмові та плазмово-хімічні процеси травлення),
- при розробці конструктивно-технологічних рішень кабелю живлення не розраховано максимально можливі граничні струми роботи кабелю живлення,
- не достатньо детально розкрито питання впровадження результатів роботи у вітчизняних та зарубіжних підприємствах та установах,
- деякі рисунки не достатньо чіткі, що обумовлено не кольоровим друком;

– у тексті дисертації зустрічаються друкарські помилки та незначні стилістичні вади.

В той же час, вказані зауваження не стосуються наукової новизни роботи, її висновків, положень, що виносяться на захист і не впливають на загальну високу позитивну оцінку дисертації.

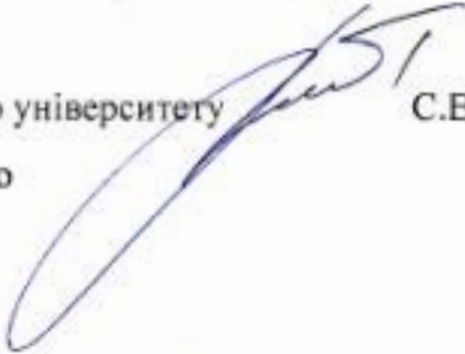
Загальні висновки.

За актуальністю теми, ступенем обґрунтованості та достовірності результатів, науковою новизною та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота Тимчука І.Т. відповідає вимогам п. 9, 11-14 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами) щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, та пунктів 2 та 3 паспорту спеціальності, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, доцент,
професор кафедри автоматизації та інформаційних
систем,

Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського

 С.Е. Притчин

Підпис засвідчую:

Вчений секретар

Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського

 Л.В. Герасименко