

ДОСЛІДЖЕННЯ З ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ РАДІАЦІЙНО-ЗАХИСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ

Сергій Анатолійович Божко

ORCID <https://orcid.org/0009-0006-0736-4968>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Анатолій Федорович Санін

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5614-3882>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Віктор Васильович Хуторний

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6013-5167>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

Космічні технології стали частиною суспільства, яке все більше залежить від ефективної роботи різних космічних систем: прогнозування погоди, розвідки корисних копалин, моніторингу навколишнього середовища, розвитку телекомунікацій і телебачення, і, звичайно ж, забезпечення обороноздатності.

На функціонування бортового електронного обладнання (БЕА) при його експлуатації впливають численні фактори. Особливе значення має вплив полів іонізуючого випромінювання космічного простору. Використання виробів напівпровідникової мікроелектроніки в якості компонентної бази космічних систем зробило актуальною задачу оцінки і прогнозування стійкості вузлів і агрегатів до радіаційних впливів космічного простору.

Широке застосування функціонально складних виробів в радіоелектронній апаратурі космічних апаратів, для яких досить складно виконати весь комплекс робіт для задоволення вимог до радіаційної стійкості, викликає ряд проблем при виробництві відносно повного спектру радіаційно-стійких інтегральних схем (ІС).

Це пов'язано з тим, що багато виробників мікросхем перестали випускати радіаційно-стійку продукцію, в той час як інструменти для розробки і налагодження ІС комерційного рівня якості широко представлені на ринку електронних компонентів.

Таким чином, в даний час намітилася тенденція використання виробів комерційної мікроелектроніки в радіоелектронному обладнанні космічних апаратів. Це забезпечує ряд переваг перед радіаційно-стійкими мікросхемами, оскільки комерційні мікросхеми мають більшу інформаційну стійкість і дешевше.

Однак використання комерційних ІС в електронному обладнанні космічного апарату тягне за собою певний ризик. Це пов'язано з тим, що деякі комерційні ІС непридатні для умов експлуатації в космосі, більшість мають функціональний відсоток відмов близько 10 крад на загальну накопичену дозу (тобто досить низьку), довговічність не контролюється від партії до партії, а надійність в екстремальних умовах експлуатації не визначається.

Ці ефекти проявляються через:

- параметричні відмови бортової радіоелектронної апаратури внаслідок погіршення характеристик ІС з накопиченням дози іонізуючого випромінювання (ІВ);

- відмови ІС від впливу окремих високоенергетичних ядерних частинок.

На функціонування електронного обладнання космічного апарату впливає безліч різних факторів, кожен з яких може викликати збій або вихід з ладу всієї системи. В цілому необхідно враховувати всі діючі фактори. При цьому роль тих чи інших факторів багато в чому залежить від орбіти космічного апарату. Також, ймовірність ефектів під впливом окремих елементарних частинок і атомних ядер значно зростає при знаходженні космічного апарату в зоні Південноатлантичної аномалії та/або при виникненні потужних сонячних спалахів.

Тому дослідження зі створення та вдосконалення засобів захисту радіоелектронної апаратури космічних апаратів особливо актуальні в даний час.

Найбільш ефективним способом підвищення живучості космічного апарату за рахунок зменшення накопиченої дози опромінення є використання захисних матеріалів, які ефективно захищають БЕА від потоку випромінювання.

Захисними матеріалами можуть служити функціональні компоненти космічного апарату (корпус, стінки приладів, сонячні батареї), а також захисні пластини або екрани, спеціально встановлені у космічному апараті. В якості захисного матеріалу найчастіше використовується алюміній, який широко застосовується для виготовлення виробів ракетно-космічної техніки завдяки високій захисній здатності, а також низькій щільності, високій питомої жорсткості і міцності, добрій технологічності і низькій вартості.

Збільшення терміну служби космічного апарату вимагає потовщення алюмінієвого захисту і призводить до збільшення ваги космічного апарату, що в свою чергу небажано з точки зору забезпечення оптимальних техніко-економічних показників навігаційних супутників.

У зв'язку з цим виникла необхідність розробки більш ефективних матеріалів за характеристиками масового захисту в порівнянні з

алюмінієм. Основні труднощі, пов'язані з виробництвом захисних матеріалів, обумовлені як специфікою фізичних процесів взаємодії випромінювання з захисною речовиною, так і самим типом випромінювання, якісні та кількісні параметри якого змінюються в залежності від даної орбіти космічного апарату. Окремим випадком є геостаціонарна орбіта (ГСО), на якій найбільшу небезпеку для БЕА представляє потік електронів з енергетичним спектром від 40 кеВ до 5 МеВ.

Легкі елементи з низьким атомним номером мають найбільшу гальмівну силу загасання електронів, пов'язану з одиначною масою захисту (тобто втрату енергії в МеВ на одиницю масової товщини захисту в г/см²). При цьому у важких елементів перетин пружної взаємодії з електронами вище, ніж у легких, що призводить до збільшення шляху електрона в захисті за рахунок розсіювання і, відповідно, до збільшення втрат енергії електронів на одиницю товщини захисту. Саме тому більшість розробників захисту стають на шлях насичення матеріалів важкими елементами (наприклад, PolyRad від Longhill Technologies або RAD-PAK від Maxwell Technologies). Однак загальна гальмівна ефективність захисту важких елементів істотно не збільшується через збільшення частки гальмівного електромагнітного випромінювання, що виникає, яке характеризується більш високою проникаючою здатністю в порівнянні з первинними електронами. Крім того, важкий захист збільшує масу космічного апарату і саме тому перераховані вище матеріали використовуються для локального екранування найбільш радіаційно-чутливих елементів БЕА.

Аналіз вищесказаного, а також інших особливостей конструкції захисту дозволив встановити, що найбільш ефективного захисту можна досягти шляхом оптимального поєднання вмісту легких і важких елементів в композиційному матеріалі (КМ).

Згідно з теоретичними розрахунками, були розроблені зразки КМ, які мають більш високу гальмівну здатність електронів, ніж алюміній або його сплави, що використовуються в даний час в космічних апаратах практично у всьому діапазоні спектра, характерного для ГСО. Дослідження з використанням лінійного прискорювача електронів ELIAS показали, що отримані зразки КМ більш ніж в 1,3 рази ефективніше за захисними властивостями в порівнянні з алюмінієм при енергіях електронів порядку 2-3 МеВ. Є передумови для отримання ще більш ефективного загасання електронного потоку в порівнянні з «еталонним» алюмінієм за рахунок варіації як якісного складу КМ, так і його структури.

Об'єктом розробки і дослідження були процеси взаємодії матеріалів з корпускулярним випромінюванням в широкому діапазоні енергій, а предметом дослідження - екранування електронних і протонних

потоків з енергіями до 100 МеВ дисперснозаповненими композиційними матеріалами з полімерною матрицею.

Сучасні дослідження спрямовані на отримання композиційних матеріалів, які мають здатність послаблювати і розсіювати як легкі, так і важкі частинки. Сьогодні провідні космічні країни - США, Росія, Франція - йдуть по шляху використання захисних екранів і конструкцій з композитних матеріалів з полімерною матрицею.

Вченими України відкрито «Явище аномального послаблення рентгенівського випромінювання ультрадисперсними середовищами» (№ А-006 від 29.05.93), на основі якого створено теоретичні та експериментальні основи отримання нових матеріалів для радіаційного захисту. Дослідження українських вчених дозволяють повністю імплементувати результати фундаментальних досліджень на практиці та суттєво скоротити час на досягнення мети.

На фізико-технічному факультеті ДНУ ім. О. Гончара розроблені принципово нові композитні матеріали, які перевершують за ефективністю захисту ті, що використовуються сьогодні – металеві, і не поступаються кращим світовим аналогам [1]. Попередні результати теоретичних і експериментальних досліджень, в тому числі з використанням комп'ютерного моделювання та імітаційних експериментів на прискорювачах електронів і протонів, дозволили зробити висновки про можливість підвищення комплексу захисних властивостей і перспективи створюваних матеріалів. Потік високоенергетичних електронів зменшується в 1, 4 рази, а протонів - в 1, 6 рази в порівнянні з алюмінієвими сплавами. Підприємства космічної галузі України проявили великий інтерес до використання нових захисних матеріалів. Аналіз наявної інформації показує, що створені матеріали, перевершують за експлуатаційними параметрами ті, що використовуються сьогодні в Китаї, Росії, Україні та інших космічних країнах.

Але розроблені композити, отримані за розробленими технологіями, мають такий суттєвий недолік як нестабільність захисних властивостей по різним напрямкам, або анізотропія. Вона формується в процесі твердіння композита, так як матеріал отримують змішуванням епоксидної смоли, що є полімерною матрицею, та дрібнодисперсних частинок важкого наповнювача з порядковим номером не менше 60. Матриця полімеризується протягом певного часу за який важкі частинки встигають опуститися на дно форми під дією сили тяжіння. Щоб запобігти цьому явищу була запропонована наступна технологічна схема [2].

На першому етапі виготовляли заготовки з максимальним вмістом важкого наповнювача – 92%, коли частки мають щільну упаковку по всьому перетину заготовки. Потім, на другому етапі, отримані

заготовки подрібнювали спочатку в щокеровому подрібнювачі до середнього розміру часток від 0,5 до 1 мм, а потім в шаровому млині. При цьому, завдяки м'якій полієфірній матриці, частки мали майже сферичну форму. На третьому етапі отримані гранули розподіляли за розмірами за допомогою вібросита. В результаті отримували новий наповнювач у вигляді сферичних гранул із вмістом важкого елемента 92% і однорідною ізотропною структурою.

На останньому, заключному етапі, отримували радіаційно-захисний матеріал шляхом введення в полієфірну полімерну матрицю визначеної кількості виготовлених гранул. При цьому, вміст важкого елемента знаходили шляхом нескладних розрахунків за умови щільного упакування сферичних гранул визначеного діаметру, або конкретної вузької фракції. Різниця показників радіаційного захисту в різних точках, отриманого таким чином матеріалу, не перевищує 1%. Результати досліджень мікроструктури виготовлених зразків довели, що дисперсні частки важкого наповнювача (вольфраму і карбиду вольфраму) розподілені по об'єму рівномірно як у поперечному розрізі, так і по висоті зразка. Така технологія доволі гнучка і дозволяє отримувати вироби з радіаційно-захисного матеріалу потрібної форми і геометрії, що значно розширює межі його використання.

Висновки. Таким чином, розроблені технології виробництва радіаційно-захисних матеріалів з високими і стабільними властивостями, а також захисних конструкцій для електронного обладнання різних форм і розмірів.

Посилання

1. Патент на винахід №108672 Матеріал для захисту від космічного випромінювання. Державний реєстр патентів України на винаходи 25.05.2015.
2. Патент на винахід №108673 Спосіб отримання захисного матеріалу від космічного випромінювання. Державний реєстр патентів України на винаходи 25.05.2015.