

Корисна модель належить до галузі прискорювальної техніки, а саме до конструкції вузлів виводу пучків заряджених частинок з вакуумних об'ємів, і може бути використана у прискорювачах електронів з енергією в діапазоні від 3 MeV, які застосовуються для вирішення прикладних та фундаментальних завдань у ядерній фізиці, радіаційному матеріалознавстві, медицині та промисловості.

При експлуатації прискорювачів електронів часто виникає задача виведення пучка з високовакуумної системи в середовище з атмосферним тиском для опромінення зразків. Для розділення вакууму та атмосфери використовуються так звані вивідні вікна, які повинні відповідати специфічним вимогам: бути достатньо тонкими, щоб мінімізувати спотворення параметрів пучка, і водночас достатньо міцними, щоб витримувати значний перепад тиску. Традиційно, як матеріал для таких вікон використовують тонкі металеві фольги, переважно з титану (Ti) або берилію (Be), завдяки їхній високій механічній міцності. Відомим рішенням є вивідне вікно, що містить титанову фольгу товщиною близько 50 мкм, затиснуту у фланцевому з'єднанні [G. D. Kovalenko, V. Y. Kasilov, Yu. H. Kazarinov, S. H. Karpus, I. L. Semisalov, S. S. Kochetov, O. O. Shopen, and I. M. Shliakhov, Prob. At. Sci. Technol. 139, 23 (2022). 10.46813/2022-139-023].

Проте, такі металеві вікна мають суттєві недоліки, що обмежують їхнє застосування у прецизійних експериментах, а саме:

1. Генерація інтенсивного гальмівного випромінювання. Взаємодія високоенергетичних електронів з матеріалом вікна, що має відносно високий атомний номер ($Z=22$ для титану), призводить до генерації значного фону гальмівних гамма-квантів. Цей фон може спотворювати результати експериментів або вимагати додаткового радіаційного захисту.

2. Значне кутове розсіювання пучка. Проходячи через металеву фольгу, електрони зазнають багаторазового розсіювання, що призводить до збільшення кутової розбіжності (дивергенції) пучка та, як наслідок, до збільшення його радіуса на мішені. Це знижує щільність потоку частинок і унеможливорює опромінення малорозмірних об'єктів. Для герметизації таких вікон використовують фланцеве з'єднання типу "зуб на зуб", при цьому між жорсткою титановою фольгою та сталевими фланцями розміщені м'які ущільнюючі прокладки, наприклад, з алюмінію. При стисканні фланців відбувається пластична деформація алюмінієвих прокладок, які заповнюють мікронерівності та забезпечують вакуумну герметичність, в той час як сама титанова фольга не деформується.

Найближчим аналогом є композитне вікно для електронно-променевих гармат [патент US 4,362,965 A, МПК H01J 33/00, публ. 07.12.1982], що містить фланцеве з'єднання та вихідну мембрану (вакуум-щільний бар'єр) у вигляді вакуумно-металізованої плівки, яка складається з полімерної плівки [поліестер Mylar або Kapton®] і металевого шару (алюміній, берилій та титан), та розташованих на відстані один від одного опорних елементів з фольги для підтримки та охолодження композитного вікна. Металевий шар забезпечує теплопередачу тепла, осадженого в металевому шарі, та полієфірної плівки електронним пучком. Полієфірна плівка забезпечує міцність і передачу, необхідні для вікна, що працює у вакуумі з боку електронної гармати, і високого тиску на стороні лазерного резонатора, коли гармата електронного пучка використовується як джерело електронів для створення іонізації в лазерній порожнині. Але, така конструкція пристрою не забезпечує надійну вакуумну ізоляцію і при цьому не вирішена задача мінімізації впливу на параметри пучка, а саме одночасного зниження фону гальмівного випромінювання та зменшення кутового розсіювання електронів.

В основу корисної моделі поставлена задача створення такої конструкції вивідного вікна для пучка високоенергетичних електронів, яка дозволить суттєво покращити якість виведеного пучка та підвищити надійність вакуумної ізоляції вивідного вікна.

Поставлена задача вирішується тим, що у вивідному вікні, яке містить фланцеве з'єднання з ущільнюючими виступами та вакуум-щільний бар'єр, що виконаний у вигляді центральної несучої поліімідної плівки та двох зовнішніх симетричних ущільнюючих поліімідних прокладок, які встановлені у фланцеве з'єднання. Як варіант, центральна несуча плівка та зовнішні ущільнюючі прокладки можуть бути виконані з полііміду Каптон C₂₂H₁₀N₂O₅.

Ущільнення забезпечується багатошаровим полімерним пакетом, що складається з центральної несучої поліімідної плівки та двох зовнішніх ущільнюючих прокладок, також виконаних з поліімідного матеріалу. Герметизація вузла здійснюється таким чином, що ущільнюючі виступи фланців пластично деформують зовнішні поліімідні прокладки, створюючи в них ущільнюючі канавки, що забезпечує надійну вакуумну герметичність. Таким чином, герметизація забезпечується за рахунок пластичної деформації ущільнюючих прокладок виступами фланцевого з'єднання.

Технічним результатом, що досягається при реалізації запропонованого технічного рішення, є одночасне зниження інтенсивності фонового гальмівного випромінювання та зменшення кутового розсіювання пучка електронів, що дозволяє отримати на мішені більш чистий за радіаційним фоном та більш сфокусований пучок, а також підвищення надійності та спрощення процесу герметизації вузла вивідного вікна за рахунок використання поліімідних ущільнюючих прокладок, які ефективно деформуються та усувають потребу в м'яких металевих прокладках.

Для пояснення суті запропонованого технічного рішення на кресл. зображено загальний вигляд вивідного вікна для пучка високоенергетичних електронів.

Вікно для пучка високоенергетичних електронів складається з встановленого на кінці вакуумної системи лінійного прискорювача електронів вузла, що містить роз'ємне фланцеве з'єднання, яке складається з двох фланців 1, які мають концентричні ущільнюючі виступи ("зуб на зуб").

Вакуум-щільний бар'єр виконаний у вигляді центральної несучої поліамідної плівки 2, наприклад Каптону $C_{22}H_{10}N_2O_5$. З обох боків плівки 2 розташовані кільцеві зовнішні симетричні ущільнюючі прокладки 3 з поліамідного матеріалу, наприклад Каптону $C_{22}H_{10}N_2O_5$.

Вивідне вікно для пучка високоенергетичних електронів використовується наступним чином.

При стисканні фланців 1, їх ущільнюючі виступи ("зуби") тиснуть на ущільнюючі прокладки 3, які, завдяки пластичності матеріалу, значно деформуються. В них утворюються глибокі ущільнюючі канавки, які ідеально повторюють геометрію виступів і забезпечують високу герметичність з'єднання. При цьому центральна несуча поліамідна плівка 2 зазнає значно меншої деформації, що зберігає її механічну цілісність.

Ефективність використання запропонованої конструкції вивідного вікна для пучка високоенергетичних електронів підтверджена результатами комп'ютерного моделювання, за яким порівнювалися параметри пучка електронів з енергіями від 3 до 20 MeV після проходження через стандартну титанову фольгу товщиною 50 мкм та каптонну плівку товщиною 110 мкм. Визначено, що сумарна кількість гальмівних гамма-квантів, які генеруються у каптонній плівці, становить в середньому 0.56 від кількості, що генерується у титановій фользі, а коефіцієнт відношення радіусів розсіювання пучка (Каптон/Титан) становить від 0.62 до 0.57, що доводить суттєве покращення параметрів пучка.

