



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 88683

(13) C2

(51) МПК (2009)

H01J 33/00

H05H 5/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД(54) ГЕРМЕТИЧНЕ ВІКНО ДЛЯ ВИПУСКУ ПОТОКУ ПРИСКОРЕНИХ ЧАСТИНОК З ВАКУУМНОГО ОБ'ЄМУ
В ЗОВНІШНЄ РОБОЧЕ СЕРЕДОВИЩЕ

1

(21) а200710628

(22) 25.09.2007

(24) 10.11.2009

(46) 10.11.2009, Бюл.№ 21, 2009 р.

(72) ГУРІН ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛІЙОВИЧ, КОЛО-
СЕНКО ВІКТОР ВАСИЛЬОВИЧ, КОВПІК ОЛЕГ
ФЕДОРОВИЧ, КОРНІЛОВ ЄВГЕНІЙ ОЛЕКСАНД-
РОВИЧ, ЄГОРОВ ОЛЕКСІЙ МИХАЙЛОВИЧ, САЄ-
НКО СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ, БІРЮКОВ ОЛЕГ ВОЛО-
ДИМИРОВИЧ(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ХАР-
КІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(56) RU 2137247 C1, 10.09.1999

RU 2101888 C1, 10.01.1998

C Rubbia, J.A. Rubio, F. Carminati, N. Fietier, J.
Galvez, C. Geles, Y. Kadi, R. Klapisch, P. Mandrillon,
J.P. Revol, Ch. Roche.// Conceptual., Design of a
Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier.
European Organization for Nuclear Research". CERN
/ AT / 95-44(ET).1995

SU 777755, 07.11.1980

RU 96119430 A, 10.12.1997

WO 98/03353, 29.01.1998

GB 310329, 9.01.1930

Абрамян Е.А. Промышленные ускорители элект-
ронов. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - С. 165-172(57) 1. Герметичне вікно для випуску потоку при-
скорених частинок з вакуумного об'єму в зовнішнє

2

робоче середовище, що містить перекриваючу
отвір вікна перегородку з вуглець-вуглецевого
композиційного матеріалу, яке **відрізняється** тим,
що згадана перегородка виготовлена з вищезга-
даного матеріалу з густиною, не меншою ніж $1,2$
 г/см^3 , пори в якому, принаймні з одного боку, заку-
порені кремнієм.

2. Вікно за п.1, яке **відрізняється** тим, що зовніш-
ня і внутрішня поверхні згаданої перегородки є
частинами сфери, причому опукла поверхня звер-
нута у бік робочого середовища.

3. Вікно за п.2, яке **відрізняється** тим, що для
випуску потоку прискорених частинок з вакууму в
робоче середовище, тиск в якому менший ніж
 $0,0086 \cdot \sigma$ МПа, де σ - межа міцності матеріалу пе-
регородки на вигин, радіус R_1 опуклої поверхні
перегородки і радіус R_2 увігнутої поверхні перего-
родки відповідають співвідношенням:

$$R_1 = 0,7331 D$$
$$R_2 = 0,7268 D,$$

де: D - діаметр отвору вікна.

4. Вікно за п.2, яке **відрізняється** тим, що згадана
перегородка має фланець, виконаний як єдине
ціле з цією перегородкою з такого ж вуглець-
вуглецевого композиційного матеріалу, при цьому
товщина фланця перевищує товщину перегородки
сферичної форми не менше ніж в чотири рази.

Винахід відноситься до радіаційної техніки і
може знайти застосування в технологіях, що вико-
ристовують опромінювання об'єктів, що знахо-
дяться в робочому середовищі при атмосферному
або іншому тиску, потоками заряджених частинок,
які виводяться з вакуумного об'єму прискорювача.
Наприклад, для біологічного і хімічного очищення
води, її стоків, дезінсекції зерна, консервації про-
дуктів харчування, дезінфекції медичних інструме-
нтів та препаратів, а також в радіаційній хімії,
включаючи очищення газів, зшивання полімерів і
ін. Радіаційна обробка здійснюється як безпосере-
дньо електронними пучками так і рентгенівським

випромінюваннями, при конвертації кінетичної
енергії виведених електронів в рентгенівське ви-
промінювання.

В багатьох країнах вводяться потужні приско-
рювачі електронів як джерела рентгенівського ви-
промінювання для указаних радіаційних техноло-
гій. Розвиток медицини та поліпшення екології
неможливий без використання радіаційних техно-
логій. Продукція вироблена з використанням раді-
аційними технологій у світі, тільки для медицини
складає десятки мільярдів доларів.

Вікно виводу прискорених частинок є одним із
основних елементів, при використанні потужних

(13) C2

(11) 88683

(19) UA

джерел електронів і рентгенівського випромінювання, для радіаційних технологій.

Відоме герметичне вікно для випуску потоку прискорених частинок (електронів) з прискорювача, яке містить фланець з отвором, закритим перегородкою з фольги [Абрамян Е.А. Промышленные ускорители электронов, -М. Энергоатомиздат, 1986, с.165-172]

Недоліком такого вікна є обмеженість струму пучка електронів, що випускається через нього. Так, із збільшенням діаметра круглого вікна доводиться збільшувати товщину фольги, що призводить до зниження її прозорості і густини струму, що пропускається. У результаті величина струму, що випускається через таке вікно, не залежить від діаметра вікна і у разі алюмінієвої фольги складає приблизно 10^{-2} А.

Відоме також герметичне вікно для випуску потоку прискорених частинок (електронів) [Абрамян Е.А. Промышленные ускорители электронов, -М. Энергоатомиздат, 1986, с.168], що містить фланець з отвором, закритим перегородкою з фольги з підтримуючою підкладкою. В якості підтримуючої підкладки використовують металеві ребра, розташовані на відстані l один від одного. Пучок розрізається ребрами на частини, кожна з яких випускається ділянкою фольги у вигляді стрічки. Якщо ширина кожної стрічки b , сумарна довжина всіх стрічок b , то таке вікно пропускає струм в b/l раз більший, ніж "елементарне вікно" у вигляді квадрата із стороною l . Струм через таке "елементарне вікно" (як і для круглого вікна) не залежить від розміру l і у разі алюмінієвої фольги складає біля $5 \cdot 10^{-3}$ А. Таким чином, повний струм вікна може бути збільшений до будь-якої необхідної величини.

Недоліком такого випускного вікна є втрати струму пучка на ребрах, які становлять 30-40% його величини.

Відоме також технічне рішення (патент Російської Федерації №2137247), яке є вихідним вікном прискорювача заряджених частинок, що містить охолоджувані опорні ґрати і першу металеву фольгу, з вакуумним ущільненням, яка встановлена на вакуумну камеру. В ньому є додаткова металева фольга, з вакуумним ущільненням, встановлена на додаткові охолоджувані опорні ґрати, які з вакуумним ущільненням встановлені на першу фольгу з іншою від вакуумної камери сторони. В просторі між металевою фольгою підтримується тиск нижче за атмосферний, але вище, ніж у вакуумній камері. Цей тиск контролюється вимірювально-сигнальним блоком, який видає сигнал тривоги при зміні тиску в зазорі між фольгами. Для підвищення терміну служби металевої фольги в просторі між ними пропонується використовувати інертний газ. Вважається, що така конструкція підвищує надійність вихідного вікна прискорювача і запобігає аварії.

Проте таке випускне вікно має ті ж недоліки, що і, описані вище рішення, а, саме, обмеженість струму пучка електронів, що випускається через нього і втрати струму пучка на ребрах ґрат.

Найближчим до винаходу, що патентується, є герметичне вікно для випуску потоку прискорених

частинок з вакуумного об'єму в зовнішнє робоче середовище (див. патент Російської Федерації №2101888). Це вікно є випускним вікном електронного прискорювача, і містить фланець з отвором, закритим фольгою і підтримуючою його перегородкою. Ця підтримуюча перегородка виконана з вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу (ВВКМ) (піровуглецевої тканини за термінологією авторів патенту). Максимальна величина струму через вікно визначається властивостями матеріалу фольги, оскільки енергетичні втрати в перегородці з вуглецевого матеріалу значно менші ніж в металевій фользі. Товщина фольги, за наявності підтримуючої перегородки, значно менша тієї, яка була б потрібна, виходячи з технологічних можливостей матеріалу фольги і, реально, вона складає 5мм для титану і 10мм для алюмінію при випуску електронного пучка з вакуумного об'єму прискорювача в атмосферу.

Проте навіть при вказаній товщині металевої фольги енергетичні втрати в ній при проходженні пучків заряджених частинок будуть достатньо високими. Ці втрати призводять до нагріву фольги. Тому виникає необхідність в спеціальних заходах для її охолодження при випуску пучків заряджених частинок із вакууму в робоче середовище.

Задача, на рішення якої направлений винахід, полягає в удосконаленні вікна для випуску пучків прискорених частинок з вакуумного об'єму в робоче середовище. Винахід повинен забезпечити можливість збільшення розміру вікна при зниженні енергетичних втрат в ньому, забезпечення достатньої міцності і надійності при збільшенні терміну його експлуатації. Задача повинна розв'язуватися шляхом використання у вікні перегородки з ВВКМ без використання додаткової металевої фольги. Для цього необхідно зробити ВВКМ газозіщільним, здатним для утримання вакууму.

Поставлена задача розв'язується в описуваному нижче герметичному вікні для випуску потоку прискорених частинок з вакуумного об'єму в зовнішнє робоче середовище, яке, також як і вікно, прийняте за прототип, містить перекриваючу отвір вікна, перегородку з вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу.

Відрізняється запропоноване вікно від відомого вікна тим, що в ньому згадана перегородка виготовлена з ВВКМ з густиною не менше $1,2 \text{ г/см}^3$, в якого, принаймні з одного боку, пори закупорені кремнієм.

Зовнішня і внутрішня поверхні згаданої перегородки можуть бути поверхнями частин сфери, причому опукла поверхня повинна бути звернута у бік робочого середовища.

Для випуску потоку прискорених частинок або рентгенівського випромінювання з вакууму в робоче середовище, тиск в якому менший $0,0086 \cdot \sigma$ МПа, де σ - межа міцності матеріалу перегородки на вигин, радіус R_1 опуклої поверхні перегородки і радіус R_2 увігнутої поверхні перегородки відповідають співвідношенням: $R_1=0,7331D$; $R_2=0,7268D$, де: D - діаметр отвору вікна.

Для герметичного ущільнення вікна перегородка може мати фланець з такого ж вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу, товщина

якого перевищує товщину перегородки сферичної форми не менше ніж в чотири рази. Цей фланець виконується як єдине ціле з цією перегородкою.

Матеріал для перегородки створюють шляхом піролітичного осадження вуглецю (піровуглецю) з газової фази в об'єм заготовки з вуглецевої тканини, забезпечуючи густину одержуваного ВВКМ матеріалу не менше $1,2\text{г/см}^3$. Такий матеріал має високі міцнісні характеристики, особливо на стиснення. Проте, через його пористість, перегородка, виготовлена з нього, не має потрібної герметичності, щоб її можна було використовувати для відділення вакуумного об'єму прискорювача від зовнішнього середовища. Щоб для герметизації вікна не потрібно було використовувати металеву фольгу пори в матеріалі перегородки закупорюють кремнієм. Таке закупорювання здійснюється в спеціальній печі, де на поверхні заздалегідь виготовленої з ВВКМ заготовки для перегородки, розміщують шар порошку з кремнію і підвищують температуру до температури його плавлення. Розплавлений кремній частково потрапляючи в пори, і частково залишаючись на поверхні надійно закупорює їх. Піролітичний вуглець при температурі плавлення кремнію не створює карбідів, тому насичена кремнієм поверхня ВВКМ стає придатною для ущільнення на вакуум.

Така перегородка, маючи всі перевагами ВВКМ (висока механічна міцність, малі втрати енергії електронів в ній), забезпечує надійну герметизацію вікна. Кремній, просочивши ВВКМ, забезпечує вакуумне ущільнення і захист від окислення цього матеріалу. Втрати енергії електронів в такому матеріалі складають 75кеВ/мм , що в 2,33 рази менше ніж в берилії, який має мінімальні втрати з металів і є найлегшим з металів.

Слід підкреслити, що, як показали випробування, при густині ВВКМ менше $1,2\text{г/см}^3$ він не має необхідних властивостей для виготовлення з нього перегородки вакуумнощільного вікна, яке б не втрачало переваг ВВКМ. А, саме, розміри пір в ньому такі значні, що при більш низькій щільності ВВКМ не тільки не має достатньої міцності але і потрібна значна кількість кремнію, щоб закупорити пори. При цьому густина матеріалу зростає за рахунок значної кількості кремнію, і, відповідно, зростають енергетичні втрати прискорених частинок в ньому.

Виготовляючи перегородку з ВВКМ сферичної форми можна значно збільшити розмір вікна і виводити з вакуумного об'єму прискорювача в робоче середовище великі потоки прискорених частинок. Розрахунки на міцність перегородки показали, що, знаючи величину σ - межу міцності матеріалу перегородки на вигин, можна обчислювати радіуси R_1 і R_2 за умови, що тиск зовнішнього середовища не перевищує $0,0086\sigma$ МПа. При цьому одержуємо товщину сферичної перегородки як $R_2 - R_1$.

Виконуючи фланець для ущільнення перегородки з ВВКМ як єдине ціле з нею, спрощують конструкцію вікна і підвищують надійність його експлуатації. Розрахунки показали, що оскільки площа фланця в місці його з'єднання з сферичною перегородкою сприймає на себе під дію зовнішнього тиску розтягувальну напругу, товщину

його необхідно збільшити не менше ніж в чотири рази в порівнянні з товщиною сферичної перегородки.

Суть винаходу пояснюється графічними матеріалами. На фігурі показано варіант виконання вікна призначеного для випуску прискореного пучка електронів з вакуумного об'єму прискорювача в робоче середовище, яким є вода при тиску $0,2\text{МПа}$.

Розглянемо варіант виконання вікна плоскої форми. Перегородку в такому вікні виготовляють з ВВКМ густиною $1,5\text{г/см}^3$. Пори в ньому з боку вакуумного об'єму прискорювача закупорені кремнієм. Таке вікно призначене для випуску пучка електронів з енергією 4МеВ з вакуумного об'єму прискорювача в робоче середовище, яким є вода під тиском 1кг/см^2 . Враховуючи, що межа міцності матеріалу на вигин при такій густині становить 60МПа , перегородка, товщиною 2мм може мати діаметр 100мм . Енергетичні втрати в ній складуть 150кзВ .

Розглянемо варіант виконання вікна сферичної форми. Густина ВВКМ $1,5\text{г/см}^3$, тиск, що відповідає межі міцності - 60МПа . Конструктивне воно прилягає до камери для очищення води або її стоків або розріджених відходів виробництва і призначено для обробки рідин за допомогою сильнострумових електронних пучків з прискорювачів як прямої дії, так і лінійних, індукційних і інших типів. В цій камері (див. графічні матеріали) випускне вікно електронів має перегородку 1 великих розмірів, на порядок більше за площею, порівняно з тими що виготовляються з металевої фольги. Ця перегородка виконана з вуглець-вуглецевого композиційного матеріалу (ВВКМ). Пори в цьому матеріалі як з боку вакуумного об'єму, так і з боку робочого середовища (води або її стоків) закупорені кремнієм. Кремній забезпечує вакуумне ущільнення і захист від окислення цього матеріалу. Зовнішня і внутрішня поверхні перегородки є поверхнями частин сфери. Опукла поверхня звернута у бік робочого середовища, яке може циркулювати в об'ємі між перегородкою 1 і оболонкою камери 2. Пристрій 3 призначений для формування електронного пучка на виході з прискорювача. Герметичне ущільнення перегородки з вихідною секцією прискорювача електронів забезпечується за допомогою фланця 4, виконаного з ВВКМ як єдине ціле з перегородкою. Діаметр випускного вікна $D=480\text{мм}$. Виходячи із співвідношень $R_1=0,7331D$ і $R_2=0,7268D$, одержуємо для радіусу опуклої поверхні перегородки $R_1=351,9\text{мм}$, для радіусу увігнутої поверхні $R_2=348,9\text{мм}$. Товщина перегородки, відповідно, дорівнює $R_1 - R_2 = 3\text{мм}$. Товщина фланця 12мм . Інтенсивність напружень, які можуть виникати в перегородці через перепад тиску, складуть у вершині купола - 11МПа , в місці з'єднання з фланцем - 25МПа . При цьому допустимі напруження в матеріалі з ВВКМ завтовшки 3мм складають 45МПа .

Запропоноване вікно працює таким чином.

Пучок електронів створюється, прискорюється і формується у вакуумних секціях прискорювача. Вікно встановлюється на виході з прискорювача. Перегородка 1 (див. графічні матеріали) герметич-

но ущільнена за допомогою фланця 4. Формуючим пристроєм 3 пучок розподіляється по всій поверхні перегородки. Для обробки електронним пучком вода поступає в камеру, обмежену оболонкою 2, і виводиться з неї по напрямках, вказаних стрілками. Моделювання температурних режимів при вказаній вище товщині перегородки 3мм показує, що при втратах в ній енергії електронного пучка 2000Вт/м^2 через вікно можна пропустити в безперервному режимі пучок з енергією 6MeV потужністю 8МВт. Потужність такого пучка дозволяє знезаражувати за добу 34560 кубічних метрів води при необхідній дозі поглинання електронів в ній 20кГр, яка забезпечує повну бактеріологічну очистку.

Вікно з перегородкою з ВВКМ, з порами закупореними кремнієм може бути використане для електроядерного реактора, де необхідно вводити протонний пучок з енергією 1ГеВ, струмом 20МА, діаметром 150мм через вікно діаметром 300мм в робоче середовище у вигляді розплавленого свинцю. Таке вікно повинне витримувати тиск на нього 44,8т., при температурі 700°C. Якщо перегородку вікна виготовляти з вольфраму, то за авторів проекту електроядерного реактора, воно зможе прослужити 8 місяців, при циклі завантаження палива 5 років. [C Rubbia, J.A. Rubio, F. Carminati, N. Fietier, J. Galvez, C. Geles, Y. Kadi, R. Klapisch, P. Mandrillon, J.P. Revol, Ch. Roche. // Conceptual., Design of a Fast Neutron Operated High Power Energy Amplifier. European Organization for Nuclear Research». CERN/AT/95-44(ET).1995]. Запропоноване вікно з ВВКМ витримує цей тиск при товщині

в сферичній частині 10мм і товщині обичайки фланця 20мм. Втрати енергії протонів в такому вікні в 5,8 раз менші ніж у вольфрамовому.

Вуглецеві матеріали витримують флюенс нейтронів 10^{22}н/рік . При інтенсивності потоку нейтронів в реакторі $3\cdot 10^{14}\text{н/сек-см}^2$ навантаження дозою складає $9,33\cdot 10^{21}\text{н/рік}$. Цей рівень флюенса є цілком допустимим. По відношенню до нейтронів матеріал з ВВКМ буде достатньо стійким. Зменшення міцності вікна з ВВКМ за рахунок дії нейтронів і високоенергетичних протонів можна компенсувати збільшенням товщини вікна, оскільки втрати в ньому значно менші ніж у вольфрамі. Можна очікувати, що таке вікно витримуватиме напруження за часом до 5 років.

Відзначимо також наступне. Якщо при виготовленні ВВКМ використовувати як матрицю тканину з вуглецевих нановолокон, (див., наприклад, www/sci-innov.ru/news), то міцнісні властивості ВВКМ значно зростуть тому, що міцність вуглецевих нановолокон дорівнює сталі. Це дозволить виготовляти перегородки з меншою товщиною, і знизити, таким чином, енергетичні втрати прискорених частинок, які проходять через перегородку.

Таким чином, запропоноване вікно з перегородкою з ВВКМ, в якому пори закупорені кремнієм, має значні переваги по енергетичних втратах і радіаційній стійкості в порівнянні з вікнами, що мають перегородки з металевої фольги, при випуску пучків прискорених частинок з вакуумного об'єму прискорювача в робоче середовище.

