

УДК 539.186

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).79-85](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).79-85)

В. А. БАТУРІН, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0003-6171-8575>

П. О. ЛИТВИНОВ, кандидат технічних наук
старший науковий співробітник

С. О. ПУСТОВОЙТОВ, молодший науковий співробітник

О. Ю. РОЄНКО, молодший науковий співробітник
(Інститут прикладної фізики НАН України,
м. Суми)

РОЗРОБКА ІНЖЕКТОРА ІОНІВ БЕРИЛІЮ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ УСТАНОВКИ З ВИГОТОВЛЕННЯ ІНФРАЧЕРВОНИХ ФОТОПРИЙМАЧІВ ДЛЯ СИСТЕМ НАВЕДЕННЯ

У статті представлено результати розробки джерела іонів берилію та інших металів, призначеного для розробки технологічного циклу виготовлення приймачів інфрачервоного випромінювання для приладів нічного бачення та систем наведення ракет. Запропоновано та розроблено конструкцію плазмового розпилювального джерела іонів металів з розрядом відбивного типу та холодним порожнистим катодом та інжектор іонів металів на його основі. Створено компактне джерело металевих/газових іонів, в якому шляхом розпорошення іонами аргону катодного та антикатодного електроду забезпечується утворення фази надлишкового тиску парів металу і реалізується його іонізація осцилюючими електронами в поздовжньому магнітному полі. Витягування та формування пучка, що містить іони плазмоутворюючого газу і металу, здійснюється через емісійний отвір у антикатоді.

Парціальне відношення іонів аргон/метал у сформованому пучку знаходиться в інтервалі 3–20. Розроблене джерело має високу стабільність іонного струму в часі, просте в обслуговуванні, може генерувати іони із будь-якого провідного твердого тіла без використання високотемпературної печі для його випаровування.

Проведено моделювання та виготовлення іонно-оптичної системи формування іонного пучка в складі імплантера Інституту прикладної фізики НАН України. Оскільки іонний інжектор буде впроваджено в іонний імплантер MBP-202 фірми «BALZERS» Інституту фізики напівпровідників НАН України ім. В.Є. Лашкарьова, проведено аналіз його оптичної та вакуумної систем, а також елементів живлення. Всі ці фактори були враховані під час розробки іонного джерела, що дозволить безпроблемно впровадити його в імплантер MBP-202.

Ключові слова: інфрачервоні фотоприймачі, іони берилію, іонний імплантер, інжектор іонів металів, джерело іонів металів, іонно-оптична система.

ВСТУП

На основі аналізу локальних війн та збройних конфліктів визначено, що засоби повітряного нападу стали не лише найважливішими, а й єдиними засобами досягнення поставленої мети операції [1]. В міру успіхів військової техніки в областях, де зовнішні умови більш сприятливі для інфрачервоних приладів (на великих висотах, у космічному просторі), інфрачервоної апаратури, що призначена для виявлення та відстеження цілей, приділяється все більш серйозна увага. Можливості інфрачервоної техніки істотно розширюються при розробці більш чутливих фотоприймачів [2].

Тому надзвичайно актуальним є створення технологічного циклу виготовлення приймачів інфрачервоного (ІЧ) випромінювання для систем наведення ракет. Основним сучасним матеріалом для створення ІЧ-фотоприймачів є антимонід індію InSb, який у порівнянні з іншими сполуками (HgCdTe, PbS) має більш високу стабільність, технологічність виготовлення, а також високу структурну досконалість монокристалічного матеріалу. Налагодження вітчизняної технології InSb-фотодіодів дає можливість реалізації замкненого технологічного циклу виробництва в Україні головок наведення для ракет різних типів, що має не лише військове значення, але й розширює експортний потенціал України як виробника високотехнологічної продукції з високим комерційним ефектом. Для формування *p-n* переходів в антимоніді індію необхідно імплантувати іони берилію, які є акцепторною домішкою в цьому матеріалі. Технологічний процес іонної імплантації є ключовим для виготовлення всіх сучасних напівпровідникових приладів та схем. Особливо це стосується технології формування *p-n* переходів у вузькозонних напівпровідниках, які використовуються для фотоприймачів в інфрачервоній області спектру. В цьому випадку термічна дифузія домішок не може бути використана в зв'язку з тим, що використовувані матеріали не витримують високих температур. Тому в Україні є нагальна проблема створення іонного імплантера іонів берилію.

Одним із важливих елементів прискорювальної установки іонної імплантації, що багато в чому визначає її параметри, є іонне джерело. В Інституті прикладної фізики НАН України (м. Суми) накопичено досвід розробки та дослідження інтенсивних іонних джерел газових та металевих іонів для технологічних іонно-променевих установок.

Берилій не має газоподібних сполук. Тому для генерації іонів берилію робочим середовищем джерела повинен бути металевий берилій. Існує кілька типів джерел металевих іонів для прискорювачів, які ґрунтуються на різних фізичних принципах подачі твердофазної робочої речовини в розряд [3–5]. Найбільш універсальним та надійним способом є розпорошення. Процеси розпорошення, на відміну отримання атомів металу за допомогою випаровування, протікають у поверхневих шарах твердого тіла за умов, далеких від теплової рівноваги [6]. Тому такий спосіб створення робочого середовища

дозволяє формувати атомарну концентрацію металів з будь-якою температурою плавлення та випаровування.

Завданням цієї роботи є створення конструкції інжектора іонів берилію, проведення його стендових випробувань з метою оптимізації геометрії і теплового режиму роботи окремих електродів, а також проведення досліджень масового і зарядового складу пучка, що генерується джерелом.

КОНСТРУКЦІЯ ІНЖЕКТОРА, ПРИНЦИП РОБОТИ ІОННОГО ДЖЕРЕЛА ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРІЇ РОЗРЯДНОЇ СИСТЕМИ ДЖЕРЕЛА

Іонний інжектор є основою будь-якого іонного імплантера і включає в себе джерело іонів та систему первинного формування та фокусування іонного пучка.

Для технологічного процесу іонної імплантації дуже важливо мати іонний інжектор з надійним стабільно працюючим джерелом (в даному випадку іонів берилію), яке б створювало в приймальній камері іонний пучок струмом кілька мікроампер з енергією 20–120 keV. Фізико-технічні завдання розробки плазмових джерел іонів принципово подібні, проте вимоги до вирішення цих завдань в разі генерації іонів берилію специфічні і регулюються «Санітарними правилами при роботі з берилієм та його сполуками». Це вимагає спеціально обладнаних приміщень і накладає деякі обмеження на використання стандартних методів організації роботи з іонним джерелом. За деякими властивостями берилій багатий в чому схожий з алюмінієм (діагональна схожість у періодичній системі елементів Менделєєва). Тому на етапі розробки іонного джерела матеріалом вставки, що розпилюється, можна використовувати алюміній. Після виконання санітарно-технічних умов роботи з берилієм, іонне джерело може бути легко доопрацьовано для отримання іонів Be, використовуючи в якості вставки, що розпилюється, берилій або сплави на основі алюмінію з вмістом берилію 20 % і більше.

Перед конструюванням іонного джерела були зроблені модельні розрахунки окремих елементів джерела, зокрема конфігурації магнітного поля. Також вибрано доступний тип магніту, орієнтовні розміри джерела та його системи живлення з урахуванням подальшого безпроблемного впровадження створеного джерела в іонний імплантер MBP-202 фірми «BALZERS» Інституту фізики напівпровідників НАН України. На цьому імплантері будуть проведені випробування джерела при генерації іонів берилію, а потім імплантація іонів берилію в пластину з антимоніду індію та відпрацювання технології виготовлення інфрачервоних датчиків.

При створенні джерел іонів металів, які б відповідали сучасним вимогам, потрібна ефективна організація наступних основних стадій їх робочого процесу: генерації достатньої концентрації атомів заданої речовини (Al) в об'ємі розрядної камери, іонізації одержаного робочого середовища, а також прискорення та первинного формування іонного пучка.

Конструкція запропонованого джерела схематично показана на рис. 1.

Побудова джерела ґрунтувалась на формуванні плазмового емітера, що містить іони металу, з використанням

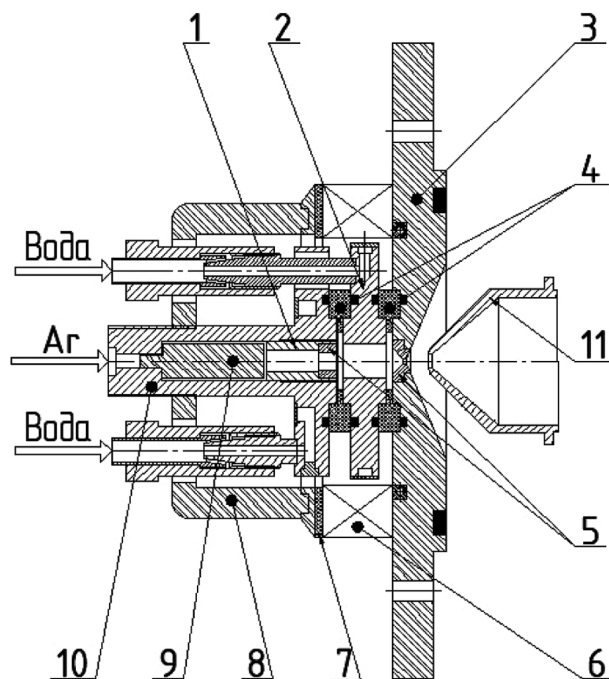


Рис. 1. Конструкція джерела іонів металу: 1 – порожнистий катод; 2 – анод; 3 – антикатод; 4, 7 – ізолятори; 5 – розпилювальні вставки; 6 – NdFeB магніт; 8 – корпус; 9 – феромагнітна вставка; 10 – катодний вузол; 11 – екстрагуючий електрод

тілючого розряду Пеннінга. Осциляція електронів в ньому дозволяє використовувати низький тиск у розрядній камері і підтримувати, таким чином, необхідні вакуумні умови в робочій камері іонного імплантера.

Газорозрядна камера джерела складається із порожнистого катоду 1, аноду 2, антикатоду 3 та корпусу 8, які утворюють пеннінгівську геометрію розряду. Однорідне магнітне поле в газорозрядній камері створюється NdFeB магнітом 6 та магнітопроводами 3, 8, 9. Магнітопровід виділено на рис. 1 штрихуванням STEEL. Газ (Ar), для підпалу плазми та підтримки горіння розряду, подається в тильну частину катоду 1 розрядної камери. Для виключення прив'язки розряду до отвору для входу газу до розрядної камери, в цьому джерелі передбачена газорозподільна порожнина. Газ в розряд надходить через вузьку (0,5 мм) кільцеву щілину в периферійній області катодного вузла 10.

Моделювання магнітного поля джерела іонів проводилось з використанням програми «TRUCK». Магнітне поле у проміжку катод-антикатод задавалось на рівні 0,1–0,2 Т. Моделювання показало, що при використанні постійного магніту NdFeB (кільце розміром 100x70x20 мм) напруженість магнітного поля всередині порожнистого катоду, аноду та антикатоду досягає величини $B = 0,16\text{--}0,2$ Т, що є прийнятним для створюваного джерела іонів.

Перегрів електродів, що контактують з розрядом, може привести до зміни режиму горіння розряду. Для виключення цього явища катодний вузол 10 та анод 2 іонного джерела охолоджуються водою.

Вставки 5, що розпилюються, запресовуються безпосередньо в порожнистий катод і антикатод для ефективного формування робочого середовища в розрядній

камері джерела. Розпилювальні вставки виготовляються із матеріалу, іони якого потрібно одержувати. На етапі відпрацювання конструкції джерела і режимів його роботи вставки виготовлялись із алюмінію. Катод 1 виготовлений із молібдену.

При подачі напруги на електроди джерела між катодом 1, анодом 2 і антикатодом 3 загоряється тліючий розряд з напругою ~ 400 В і струмом в межах 100–400 мА. Іони аргону бомбардують розпилювальні вставки в катоді та антикатоді, створюючи в емісійній області газорозрядної камери робоче середовище із розпилених атомів Al і буферного газу Ar, що використовується для підпалу та підтримки горіння розряду. Швидкі осцилюючі електрони, які в основному зосереджені на осі розряду, іонізують робоче середовище. Іони, що потрапили в зону дії електричного поля, екстрагуються в область іонно-оптичного тракту джерела і формуються в іонний пучок. Плазмовий меніск, що емітує іони, формується усередині емісійного отвору діаметром 1,5 мм. Іони емітуються під впливом напруги екстрагування 30 кВ, прикладеної між антикатодом 3, який є емітуючим електродом і екстрагуючим електродом 11.

Важливою складовою джерела розпилювального типу є необхідність термалізації робочої компоненти джерела (атомів металів), оскільки розпилені атоми мають високу енергію, в середньому ~ 10 еВ. При цьому розпилені атоми будуть мати високу кінетичну енергію та занадто малий термін перебування в зоні іонізації, отже, термалізація необхідна для підвищення вірогідності іонізації робочої компоненти.

Щоб адекватно представляти механізм термалізації розпилених атомів металу, що відбувається в пеннінгівській розрядній камері, необхідно знати величину тиску P_0 в камері і їх початкову енергію E_0 . За початкову енергію розпилених атомів можна прийняти величину $E_0 = 10$ еВ [5]. Для вимірювання тиску в пеннінгівській розрядній камері був виготовлений спеціальний електрод, який монтувався на місце антикатода. На осі цього електроду кріпився манометричний перетворювач ПМИ-10-2. Величина тиску при відсутності розряду вимірювалася з урахуванням витікання газу з розрядної камери через емісійний отвір $\varnothing = 1,5$ мм і складала $P_0 = 2,5$ Па. На підставі наведених значень P_0 і E_0 і при даних розмірах розрядної камери механізм термалізації розпилених атомів можна представити таким чином. Розпилені атоми будуть рухатися переважно в режимі без зіткнень, поки не досягнуть розігрітої до температури T_s внутрішньої поверхні анода. Після декількох зіткнень з циліндричною поверхнею і обміну енергією між ними і поверхнею, атоми, в кінцевому підсумку, придуть з нею в стан термодинамічної рівноваги і будуть адсорбовані. В результаті теплових флуктуацій існує ймовірність їх термічної десорбції з температурою, рівною температурі поверхні. Таким чином, в пеннінгівській розрядній камері, де відбувається осциляція швидких електронів, буде формуватися концентрація десорбованих атомів металу з енергією $E_d = kT_s \ll E_0$, де k – константа Больцмана.

Імовірність іонізації розпилених атомів в розряді можна описати виразом, наведеним в роботі [7]:

$$w_i = \sigma_i j_e L / v_o, \quad (1)$$

де σ_i – перетин іонізації електронним ударом, j_e – щільність струму іонізуючих електронів, L – довжина взаємодії розпилених атомів з іонізуючими електронами, v_o – швидкість розпиленних нейтральних атомів. Тоді щільність іонів n_i , що утворилися після взаємодії розпиленних нейтральних атомів з щільністю n_o з іонізуючими електронами, можна записати як:

$$n_i = w_i n_o = \sigma_i j_e L n_o / v_o. \quad (2)$$

Звідси випливає, що для підвищення щільності іонів металу на осі розряду треба, щоб уздовж його осі був сформований потік іонізуючих електронів високої щільності і розпорошені атоми з високою щільністю та з мінімальною швидкістю.

Через неповну іонізацію розпиленних атомів в розряді значна їх частина з плазми потрапляє на стінки емісійної камери, де вони або знову десорбуються (з аноду), або знову розпилюються (з торцевих стінок), але в обох випадках потрапляють назад в розряд [8]. Таким чином, втрати робочої речовини в даному джерелі зведені до мінімуму.

Для підвищення надійності роботи джерела з його конструкції були принципово виключені всілякі нагрівачі, а необхідний температурний режим електродів розрядної камери досягався за рахунок розподілу потужності розряду між окремими його елементами.

ІОННО-ОПТИЧНА СИСТЕМА ІНЖЕКТОРА

Іонно-оптична система інжектора є важливою конструктивною частиною іонного інжектора, яка відповідає за відбір частинок із плазмової границі та первинне формування і фокусування пучка. Ця система в значній мірі визначає емітанс пучка іонів, який повинен бути узгоджений з аксептансом конкретного прискорювального комплексу, в якому планується використовувати джерело. Геометричні розміри іонно-оптичної системи вибирались з урахуванням проведеного комп'ютерного моделювання. Для моделювання використовувалася бібліотека IBSimu мови програмування C++ [9].

На рис. 2 показано конструкцію іонно-оптичної системи іонного інжектора.

Елементи іонно-оптичної системи виготовлені із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т та високовакуумної кераміки Al_2O_3 . Цангові зажими для керамічних ізоляційних стрижнів використовуються для прецизійного регулювання розмірів зазорів між окремими оптичними елементами та юстування іонної оптики в цілому.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЖЕРЕЛА ІОНІВ МЕТАЛІВ

Відпрацювання конструкції іонного джерела та дослідження робочих характеристик проводилися на іонному імплантері Інституту прикладної фізики НАН України [10], схематично показаному на рис. 3.

Система живлення іонного джерела в імплантері була адаптована до блоків живлення іонного імплантера Інституту фізики напівпровідників НАН України ім. В.Є. Лашкарьова, оскільки іонне джерело буде впроваджено там. Робочі характеристики живлення іонного джерела наступні:

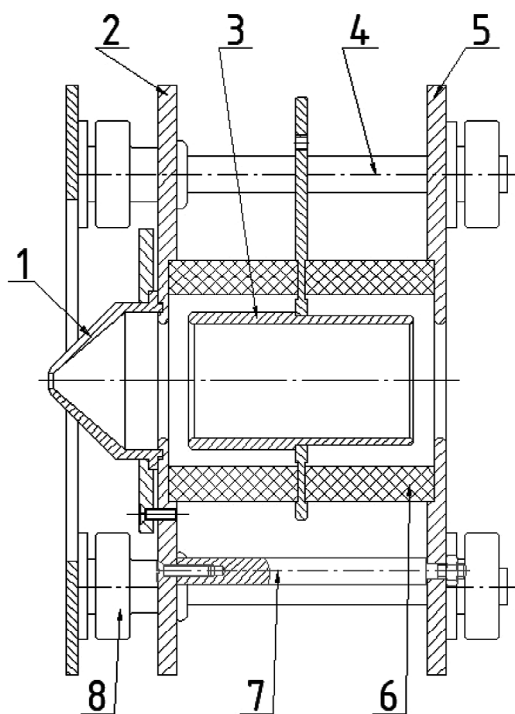


Рис. 2. Іонно-оптична система інжектора: 1 – екстрагуючий електрод; 2, 3, 5 – електроди однопотенційної електростатичної лінзи; 4 – керамічний ізолюючий стрижень; 6 – керамічне центруюче кільце; 7 – стягуюча шпилька; 8 – цанга

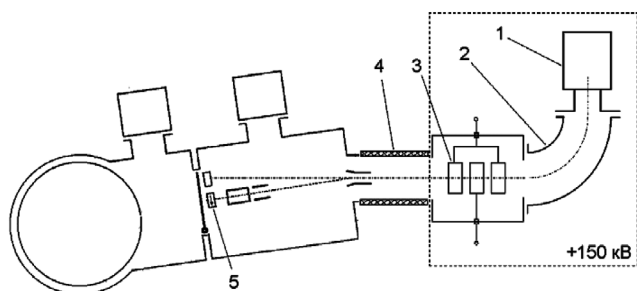


Рис. 3. Іонно-оптична система інжектора: 1 – іонне джерело; 2 – магнітний мас-сепаратор; 3 – одиночна електростатична лінза; 4 – прискорювальна трубка; 5 – циліндр Фарадея

- напруга катод-анод – 100–800 V;
- розрядний струм – 100–400 mA;
- вакуум – $1 \cdot 10^{-3}$ – $2 \cdot 10^{-3}$ Pa;
- магнітне поле – 0,16–0,2 T.

На етапі налагодження іонного джерела та вибору режимів його роботи розпилювальні вставки (катодна та антикатодна) виготовлялись із Al, оскільки в Інституті прикладної фізики НАН України відсутні санітарно-технічні умови роботи з берилієм.

Іонний пучок, екстрагований із іонного джерела 1 та сформований іонно-оптичною системою імплантера, сепарувався за масами у магнітному мас-сепараторі 2, формувалася одиночною електростатичною лінзою 3, прискорювався у трубці прискорення 4 і попадав на циліндр Фарадея 5. Вакуум в приймальній камері підтримувався на рівні $1 \cdot 10^{-4}$ – $5 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Напруга екстракції іонів із джерела підтримувалась в усіх експериментах на рівні 30 kV. Для всіх експериментів енергія іонів після прискорення в імплантері підтримувалась на рівні 100 kV. Струм іонного пучка вимірювався циліндром Фарадея 5.

Основні вимірювання характеристик джерела проводилися із пучком іонів алюмінію. Металева складова робочого тіла (Al) в розрядній камері джерела формувалась шляхом розпорошення катоду та антикатоду іонами Ar^+ .

Були зняті залежності струму іонів Al^+ , Ar^+ від розрядного струму, тиску плазмоутворюючого газу та величини напруги екстракції.

На рис. 4 та 5 показано залежність іонного струму іонів Al^+ та Ar^+ від розрядного струму анод-катод при різних парціальних тисках аргону в діапазоні $(1,1\text{--}1,7) \cdot 10^{-3}$ Pa (іонний струм вимірювався циліндром Фарадея 5).

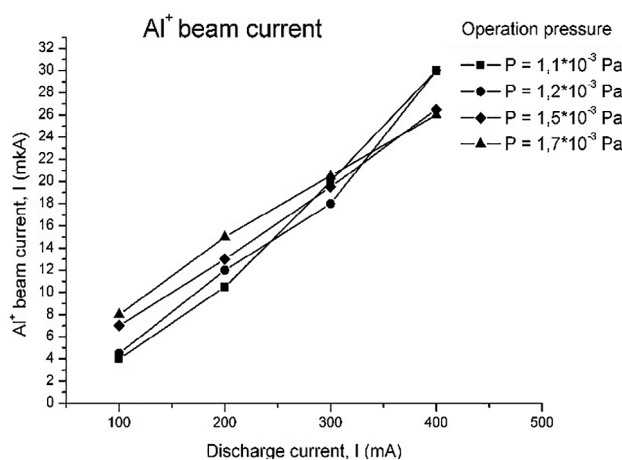


Рис. 4. Залежність струму іонів Al^+ від розрядного струму при різних значеннях тиску

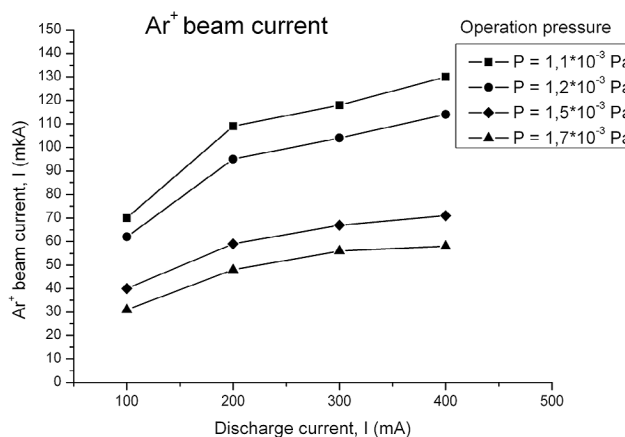


Рис. 5. Залежність струму іонів Ar^+ від розрядного струму при різних значеннях тиску

Іонна компонента Al^+ (рис. 4) майже не залежить від тиску в розрядній камері та практично лінійно збільшується з ростом розрядного струму в усьому діапазоні змін тиску аргону. Таку залежність іонного струму можна пояснити тим, що основна атомна компонента Al формується в районі антикатоду при його розпиленні, тут же проходить їх іонізація і формування в іонний пучок.

Як видно із рис. 5, струм іонів аргону майже лінійно росте з ростом розрядного струму анод-катод і суттєво

залежить від тиску плазмоутворюючого газу в джерелі. Очевидно, що із підвищенням тиску у розрядній камері джерела іонна компонента Ar^+ у плазмі зменшується за рахунок перезарядних процесів, що проходять на нейтральній компоненті атомів аргону.

В зведеній табл. 1 представлено усереднені експериментальні дані іонних струмів Al^+ , Ar^+ та їх відношення при різних умовах роботи іонного джерела.

Таблиця 1. Відношення іонних струмів в залежності від розрядного струму I_p , напруги на розряді U_p для різних значень тиску в розрядній камері

Operation pressure $P(\text{Ar})=1,1 \cdot 10^{-3}$				
I_p	U_p	$I(\text{Al}^+)$	$I(\text{Ar}^+)$	$I(\text{Ar}^+)/I(\text{Al}^+)$
mA	V	mkA	mkA	
100	370	4	70	17,5
200	420	10,5	109	10,4
300	500	20	118	5,9
400	560	30	130	4,3
Operation pressure $P(\text{Ar})=1,2 \cdot 10^{-3}$				
I_p	U_p	$I(\text{Al}^+)$	$I(\text{Ar}^+)$	$I(\text{Ar}^+)/I(\text{Al}^+)$
mA	V	mkA	mkA	
100	370	4,5	62	13,8
200	420	12	95	7,9
300	500	18	104	5,8
400	560	30	114	3,8
Operation pressure $P(\text{Ar})=1,5 \cdot 10^{-3}$				
I_p	U_p	$I(\text{Al}^+)$	$I(\text{Ar}^+)$	$I(\text{Ar}^+)/I(\text{Al}^+)$
mA	V	mkA	mkA	
100	380	7	40	5,7
200	420	13	59	4,5
300	480	19,5	67	3,4
400	540	26,5	71	2,7
Operation pressure $P(\text{Ar})=1,7 \cdot 10^{-3}$				
I_p	U_p	$I(\text{Al}^+)$	$I(\text{Ar}^+)$	$I(\text{Ar}^+)/I(\text{Al}^+)$
mA	V	mkA	mkA	
100	380	8	31	3,9
200	430	15	48	3,2
300	490	20,5	56	2,7
400	550	26	58	2,2

Аналіз результатів, представлених в табл. 1, свідчить про те, що парціальна доля іонів металів в загальному іонному струмі збільшується з ростом величини розрядного струму. Очевидно, це пов'язано із зростанням парціального тиску металевої складової в розрядній камері джерела.

Були проведені випробування розробленого іонного інжектора на стабільність вихідного струму металевих іонів. З осцилограми, наведеної на рис. 6, видно, що інжектор має високу стабільність струму, що екстрагується. Таким чином, характеристики інжектора повністю задовольняють критеріям його експлуатації у складі імплантера MBP-202 фірми «BALZERS».

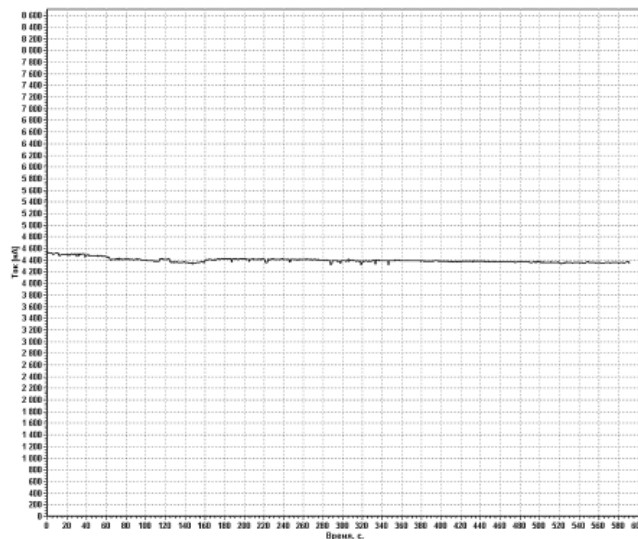


Рис. 6. Залежність іонного струму від часу роботи джерела для пучка іонів Al^+

ВИСНОВКИ

Отримані в цій роботі результати дозволяють відзначити наступне.

1. Розроблено надійний, недорогий та універсальний інжектор металевих іонів на основі розпилювального пеннінгівського джерела.

2. Для ефективної роботи створеного джерела в його емісійній камері сформовано область термалізованої концентрації атомів металу, а вздовж осі цієї області організовано осциляцію іонізуючих електронів.

3. Парціальне відношення іонів аргон/метал у сформованому пучку знаходиться в інтервалі 3–20 і залежить від розрядного струму та тиску газу в розрядній камері джерела.

4. Проведено моделювання та виготовлення іонно-оптичної системи формування іонного пучка в складі інжектора.

5. Розроблене джерело має високу стабільність іонного струму у часі.

6. Характеристики іонного інжектора повністю задовольняють критеріям його експлуатації у складі імплантера MBP-202 фірми «BALZERS» Інституту фізики напівпровідників НАН України ім. В.Є. Лашкарьова.

Важливо відмітити, що джерело просте в обслуговуванні і універсальне в тому, що може генерувати іони з будь-якого газу та будь-якого металу без використання високотемпературної печі для його випаровування.

Подальші дослідження будуть спрямовані на впровадження розробленого інжектора іонів металів в імплантер MBP-202 фірми «BALZERS» Інституту фізики напівпровідників НАН України, де будуть проведені його випробування при генерації в ньому іонів берилію, а по-

тім імплантацію іонів берилію в пластини з антимоніду індію. Це відкриває можливість ефективного впровадження цієї технології у промислове виробництво.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ткачов В.В., Камінський В.В., Степанов Г.С., Оріховський П.В. Погляди на організацію протиповітряної оборони в сучасних умовах. Наука і оборона. 2021. № 4. С. 13–16.
2. Гринченко Л.Я., Пономаренко В.П., Филачев А.М. Современное состояние и перспективы инфракрасной фотоэлектроники. Прикладная физика. 2009. № 2. С. 57–64.
3. Саенко В.А. Устройство термоионного осаждения (обзор). ПТЭ. 1985. № 3. С. 9–21.
4. Потемкин Г.В., Лигачев А.Е. Генератор многокомпонентной плазмы, получаемой катодным распылением. Взаимодействие излучений с твердым телом: 7-я Межд. конф. 26–28 сентября. 2007. Минск. Беларусь.
5. Браун Я. Физика и технология источников ионов. М.: Мир. 1998. 496 с.
6. Плешивцев Н.В. Катодное распыление. М.: Атомиздат. 1968. 347 с.
7. Gersch, H.-U. & Wittmaack, K. Postionization of sputtered neutrals by focused electron beam. J. of Vacuum Science and Technology A. 1993. Vol. 11. No. 1. Pp. 125–135.
8. Батурин В.А., Литвинов П.А., Пустовойтов С.А., Роенко О.Ю. Термализация и ионизация атомов рабочей среды в металлическом ионно-распылительном источнике. ВАНТ. 2021. № 6(136). С. 99–102. <https://doi.org/10.46813/2021-134-099>.
9. <http://ibsimu.sourceforge.net>.
10. Литвинов П.А., Батурин В.А., Пустовойтов С.А. Разработка и исследование источника ионов металлов для технологических ускорительных установок. Ж-л техн. физики. 2014. Т. 84. Вып. 4. С. 126–131.

REFERENCES

1. Tkachov, V.V., Kaminsky, V.V., Stepanov, G.S. & Orikhovsky, P.V. (2021). "Pogliady na organizatsiiu protypovitrianoi oborony v suchasnykh umovakh" [Look at the organization of counter-defense in today's minds], Science and defense. No. 4. Pp. 13–16.
2. Grinchenko, L.Ya., Ponomarenko, V.P. & Filachev, A.M. (2009). "Sovremennoe sostoiannie i perspektivy infrakrasnoi fotoelektroniki" [Current state and prospects of infrared photoelectronics], Applied Physics. No. 2. Pp. 57–64.
3. Saenko, V.A. (1985). "Ustroistvo termoionnogo osazhdeniia (obzor)" [Thermionic deposition device (review)], PTE. No. 3. Pp. 9–21.
4. Potemkin, G.V. & Ligachev, A.E. (2007). "Generator mnogokomponentnoi plazmy, poluchaemoi katodnym raspyleniem" [Multicomponent plasma generator produced by cathode sputtering], Interaction of radiation with a solid body: 7th Intern. Conf. September 26–28. Minsk. Belarus.
5. Brown, I.G. (2004). "Phizika i tekhnologiya istochnikov ionov" [The physics and technology of ion sources]. New York: Wiley. 396 p.
6. Pleshivtsev, N.V. (1968). "Katodnoe raspylenie" [Cathode sputtering], Atomizdat. M. 347 p.

7. Gersch, H.-U. & Wittmaack, K. Postionization of sputtered neutrals by focused electron beam. J. of Vacuum Science and Technology A. 1993. Vol. 11. No. 1. Pp. 125–135.
8. Baturin, V.A., Litvinov, P.A., Pustovoitov, S.A. & Roenko, O.Yu. (2021). "Termalizatsiia i ionizatsiia atomov rabochei sredy v metallicheskom ionno-raspylitelnom istochnike" [Thermalization and ionization of atoms of the working medium in a metal ion-spray source], VANT. No. 6 (136). Pp. 99–102. <https://doi.org/10.46813/2021-134-099>.
9. <http://ibsimu.sourceforge.net>.
10. Litvinov, P.A., Baturin, V.A. & Pustovoitov, S.A. (2014). "Razrabotka i issledovanie istochnika ionov metallov dlia tekhnologicheskikh uskoritelnykh ustanovok" [Development and research of a source of metal ions for technological accelerators]. J. of Techn. Physics. Vol. 84. No. 4. Pp. 126–131.

Baturin V., Litvinov P. Pustovoitov S., Roenko O.

DEVELOPMENT OF A BERYLLIUM ION INJECTOR FOR A TECHNOLOGICAL INSTALLATION FOR THE PRODUCTION OF INFRARED PHOTODETECTOR FOR GUIDANCE SYSTEMS

The article presents the development results of beryllium ions source and other metals intended for the development of the technological cycle of manufacturing infrared radiation receivers for night vision devices and missile guidance systems. The design of a plasma spray source of metal ions with a reflective discharge type and a cold hollow cathode, and on its basis a metal ion injector is proposed and developed. A compact source of metal/gas ions has been created in which by argon ion spraying of the cathode and anticathode electrode the formation of the phase of excess pressure of metal vapors is ensured and its ionization by oscillating electrons in the longitudinal magnetic field is realized. Extraction and formation of the beam containing ions of plasma-forming gas and metal is carried out through the emission hole in the anticathode.

The partial ratio of argon/metal ions in the formed beam is in the range of 3–20. The developed source has high ion current stability over time, easy to maintain, can generate ions from any conductive solid without using a high temperature furnace to evaporate.

Modeling and fabrication of the ion-optical system of ion beam formation as a part of the implanter of the Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine is carried out. Since the ion injector will be introduced into the ion implanter MBP-202 company «BALZERS» of the Institute of Semiconductor Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine V.Ye. Lashkaryova, an analysis of its optical and vacuum systems, as well as batteries is carried out. All these factors were taken into account during the development of the ion source, which will allow it to be seamlessly implemented in the MBP-202 implanter.

Keywords: *infrared photodetectors, beryllium ions, ion implanter, metal ion injector, metal ion source, ion-optical system.*

Відомості про авторів:**Батурін Володимир Андрійович**

кандидат фізико-математичних наук
старший науковий співробітник
заступник завідувача відділу
Інституту прикладної фізики НАН України
м. Суми, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-6171-8575>
e-mail: baturin49@gmail.com

Литвинов Петро Олексійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Інституту прикладної фізики НАН України
м. Суми, Україна

Пустовойтов Сергій Олександрович

молодший науковий співробітник
Інституту прикладної фізики НАН України
м. Суми, Україна

Роєнко Олег Юрійович

молодший науковий співробітник
Інституту прикладної фізики НАН України
м. Суми, Україна

Information about the authors:**Volodymyr Baturin**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences
Senior Research Fellow
Deputy Head department
Institute of Applied Physics of the NAS of Ukraine
Sumy, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-6171-8575>
e-mail: baturin49@gmail.com

Peter Litvinov

Candidate of Technical Sciences
Senior Research Fellow
Institute of Applied Physics of the NAS of Ukraine
Sumy, Ukraine

Sergey Pustovoitov

Junior Research Fellow
Institute of Applied Physics of the NAS of Ukraine
Sumy, Ukraine

Oleg Roenko

Junior Research Fellow
Institute of Applied Physics of the NAS of Ukraine
Sumy, Ukraine