

Розробка та дослідження потужної газорозрядної електронної гармати для застосування в електронно-променевої технології отримання тугоплавких та хімічно активних матеріалів

Разработка и исследование мощной газоразрядной электронной пушки для применения в технологии получения тугоплавких и химически активных металлов

Development and investigation of powerful glow discharge electron gun for applying in the technology of obtaining of refractory and chemically active metals

1. Номер державної реєстрації 0119U001124

2. Науковий керівник: д.т.н., проф. Мельник І.В., Мельник И.В, Melnyk Igor

3. Суть розробки, основні результати.

(укр.) Сьогодні необхідність розробки високопродуктивного та металозберігаючого обладнання для електронно-променевої плавки тугоплавких та хімічно активних металів стимулюється потребами ядерної, авіаційної, космічної техніки хімічної технології та електронної промисловості в особливо чистих металах та сплавах, які зберігають високу міцність при високих температурах, хімічну стійкість та необхідні електричні параметри. Електронно-променева плавка у вакуумі є найбільш ефективним способом отримання таких матеріалів. Проте використання традиційного обладнання з термокатодними гарматами для таких технологічних процесів внаслідок його складності не забезпечує необхідної надійності роботи та стабільності режимів плавки. Застосування газорозрядної електронної гармати значно спрощує та здешевлює електронно-променеве обладнання, підвищує надійність та стабільність його роботи і, відповідно, знижує витрати на виробництво отримуваних матеріалів при високій їх якості. В результаті проведення теоретичних та експериментальних досліджень розроблена принципово нова газорозрядна електронна гармата діодного типу потужністю 100 кВт, призначена для електронно-променевої плавки тугоплавких та хімічно активних матеріалів. Розроблена конструкція гармати та технічна документація до неї. В процесі виконання роботи було розроблено та виготовлено експериментальний макет гармати, а також макет системи керування тиском газу в розрядному проміжку гармати. Створені макети забезпечили проведення експериментальних досліджень та оптимізацію параметрів газорозрядної гармати та систем керування режимами роботи гармати.

(рос.) Сегодня необходимость разработки высокопродуктивного и металосберегающего оборудования для электронно-лучевой плавки тугоплавких и химически-активных металлов стимулируется потребностями ядерной, авиационной, космической техники, химической технологии и электронной промышленности в особо чистых металлах и сплавах, которые сохраняют высокую прочность при высоких температурах, химическую стойкость и необходимые электрические параметры. Электронно-лучевая плавка в вакууме является наиболее эффективным способом получения таких материалов. Однако использования традиционного оборудования с термокатодными пушками из-за его сложности не обеспечивает необходимой стабильности и надёжности режимов плавки. Применение газоразрядной электронной пушки значительно упрощает и удешевляет электронно-лучевое оборудование, повышает стабильность его работы и, соответственно, снижает затраты на производство получаемых материалов при высоком их качестве. В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований разработана принципиально новая газоразрядная электронная пушка мощностью 100 кВт, предназначенная для электронно-лучевой плавки тугоплавких и химически активных материалов. Разработана конструкция пушки и техническая документация к ней. В процессе выполнения работы разработан и изготовлен экспериментальный макет пушки, а также макет системы управления давлением газа в разрядном промежутке пушки. Созданные макеты обеспечили проведение

экспериментальных исследований и оптимизацию параметров газоразрядной пушки и системы управления режимами работы пушки.

(eng) Today, the necessity of development highly productive and metal-saving equipment for electron-beam melting of refractory and chemically active metals is stimulated by the needs of nuclear, aviation, space technology, chemical technology and the electronics industry in highly pure metals and alloys that retain high strength at high temperatures, chemical resistance and required electrical parameters. Electron beam vacuum melting is the most efficient way to obtain such materials. However, the use of traditional equipment with hot cathode guns, due to its complexity, does not provide the necessary stability and reliability of melting modes. The use of a gas-discharge electron gun greatly simplifies and reduces the cost of electron-beam equipment, increases the stability of its operation and, accordingly, reduces the cost of producing the materials obtained with their high quality. As a result of provided theoretical and experimental studies, a fundamentally new gas-discharge electron gun with a power of 100 kW for electron-beam melting of refractory and chemically active materials has been developed. The design of the gun and complete technical documentation for it have been developed. In the process of performing the work, an experimental model of the gun was developed and manufactured, as well as a model of the gas pressure control system in the discharge gap of the gun. The created mock-ups ensured experimental research and optimization of the parameters of the gas-discharge gun and the control system for the operating modes of the gun.

4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.

1. Патент України на винахід №123969 Клас H01J 37/06 (2006.01) від 12.03.2018. Газорозрядна електронна гармата. / Мельник В.Г., Мельник І.В., Тугай Б.А., Тугай С.Б. ; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

2. Патент України на винахід №120300 від 11.11.2019. Клас H01J 37/06 (2006.01). Газорозрядна електронна гармата та спосіб керування її струмом. / Мельник В.Г., Мельник І.В., Тугай Б.А., Тугай С.Б. ; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

3. Патент України на корисну модель №140445 від 25.02.2020. Клас H01J 37/06 (2006.01). Газорозрядна електронна гармата. / Мельник В.Г., Мельник І.В., Тугай Б.А., Тугай С.Б. ; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

5. Порівняння зі світовими аналогами.

В результаті проведення теоретичних та експериментальних досліджень вперше отримані такі результати:

- визначена особливість генерації та формування потужного електронного пучка в високовольтному тліючому розряді з розвиненим холодним катодом в залежності від конструкції електродної системи, матеріалів електродів та режимів горіння розряду.

- проведено комплексне моделювання та оптимізацію самоузгодженої іонно-електронної оптики електродної системи високовольтного тліючого розряду з розвиненим холодним катодом та показана можливість формування потужного імпульсного електронного пучка з питомою потужністю біля 10^5 Вт/см².

- проведено моделювання та оптимізацію електромагнітної системи проведення короткофокусного електронного пучка із розрядного проміжку в технологічний об'єм через екіпотенціальний канал, що забезпечує перепад тиску між розрядною камерою та технологічним об'ємом на 1,5 – 2 порядки.

- розроблено систему автоматичного керування струмом розряду зміною тиску в розрядному проміжку газорозрядної гармати, час регулювання якого не перевищує одиниць секунд, що забезпечує достатньо ефективне керування енергетичними параметрами електронного пучка газорозрядної гармати.

- на основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблена конструкція газорозрядної гармати потужністю 100 кВт.

Отримані результати проведених досліджень та розробок не мають аналогів науково-технічних досліджень та розробок.

6. Економічна привабливість для просування на ринок.

Для впровадження розробленої гармати з системами керування її параметрами в промислове виробництво необхідне проведення випробування її роботи на обладнанні зацікавлених організацій або підприємств для визначення технологічних можливостей пристроїв. Наявність конструкторської документації дає можливість виготовлення дослідних зразків газорозрядної електронної гармати та системи керування її роботою. Орієнтовні затрати при цьому складуть близько 300 тис. грн.

7. Потенційні користувачі.

Можливими користувачами створених пристроїв є такі підприємства та організації, як Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАНУ (м. Київ), Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАНУ (м. Київ), НВО "Елтехмаш" (м.Вінниця), Запорізьке двигунобудівне конструкторське бюро "Прогрес" (м.Запоріжжя) та інші. Впровадження розробки буде реалізовуватися на комерційній основі шляхом укладення відповідних угод на її передачу. Ефективність впровадження буде залежати від обсягу використання розробки і буде обумовлена в угодах.

8. Стан готовності розробки.

Розроблено виготовлено та протестовано дослідний зразок газорозрядної електронної гармати. Розроблена технічна документація на газорозрядну гармату.

9. Існуючі результати впровадження.

Газорозрядна електронна гармата та технічна документація на неї знаходиться в лабораторії електронно-променевих технологічних пристроїв та систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, факультет електроніки, кафедра електронних пристроїв та систем. Гармата впроваджена в навчальний процес кафедри кафедра електронних пристроїв та систем.

10. Назва підрозділу, телефон, e-mail.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, факультет електроніки, кафедра електронних пристроїв та систем. 044-204-95-03, imelnik@phbme.kpi.ua.

11. Фото розробки.



12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання.

1. Melnyk, I., Tyhai, S., Pochynok, A. Universal Complex Model for Estimation the Beam Current Density of High Voltage Glow Discharge Electron Guns. // Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, 152, с. 319-341.

2. Melnyk Igor V., Pochynok Alina V. Modeling of electron sources for high voltage glow discharge forming profiled electron beams. – Radioelectronic and Communication Systems, v. 62, #6 (684), 2019. P. 311 – 323. (Scopus, Web of Science) <http://radioelektronika.org/issue/view/2019-06>

3. Мельник І.В., Починок А.В. Система конструктивних геометричних параметрів моделі електронних гармат високовольтного тліючого розряду, які формують профільні електронні пучки. – Системні дослідження та інформаційні технології. 2019, №1. – С. 50–65.

<http://journal.iasa.kpi.ua/article/view/168261/168033>

4. Мельник І.В., Починок А.В. Алгоритм розрахунку фокальних параметрів профільних електронних пучків, які формуються газорозрядними гарматами. – Системні дослідження та інформаційні технології. 2019, №2. – С. 7 – 17.

<http://journal.iasa.kpi.ua/article/view/175550>

5. Мельник І.В., Починок А.В. Использование матричных алгоритмов для расчета траекторий заряженных частиц и определения фокальных параметров электронного пучка. – Электронное моделирование, 2020, Т. 42, № 1. – с. 73—90.

<https://www.emodel.org.ua/ru/archive-rus/2020-год/42-1/c-73-90>

6. Мельник І.В., Починок А.В. Обобщённая методика оценки и аппроксимации положения и формы границы анодной плазмы в электродных системах источников электронов высоковольтного тлеющего разряда. Электронное моделирование, 2018, т. 40, №5, С. 77-90.

http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILE=&2_S21STR=elmo_2018_40_5_8

7. Мельник І.В., Починок А.В. Вибір методу інтерполяції граничних траєкторій короткофокусних електронних пучків за умови їхнього транспортування в іонізованому газі. – Прикладні питання математичного моделювання. Т. 3, № 1. – С. 117 – 130.

<http://visnyk.kntu.net.ua/index.php/aqmm/article/view/521>

8. Мельник І.В., Починок А.В. Интерполяция граничной траектории электронного пучка в прифокальной области линейными и квадратичными функциями с использованием арифметико-логических выражений. Вісник херсонського національного технічного університету, вип. 2 (69), Частина 2, Херсон, 2019, С. 23 – 30.

<https://mkmm.org.ua/upload/Вісник%20ХНТУ%20частина%202.pdf>

9. Мельник І.В., Починок А.В. Особливості використання методів матричного програмування в математичних моделях джерел електронів високовольтного тліючого розряду. Вісник Університету «Україна». Серія: «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика». №2, 2019. – С. 151 – 165.

https://visn-it.uu.edu.ua/files/visnyk_2019_2_print_153-167.pdf

Докторська дисертація

1. Кузьмичев А.І. «Газорозрядні системи з вторинними емітерами для електронної апаратури». 2018 р.

Статті у виданнях, що входять до бази Scopus (основні)

1. Melnyk, I., Tyhai, S., Pochynok, A. Universal Complex Model for Estimation the Beam Current Density of High Voltage Glow Discharge Electron Guns. // Lecture Notes in Networks and Systems, 2021, 152, с. 319-341.

http://link-springer-com-443.webvpn.fjmu.edu.cn/chapter/10.1007%2F978-3-030-58359-0_18

2. Igor V. Melnyk Estimating of current rise time of glow discharge in triode electrode system in case of control pulsing. – Radioelectronic and Communication Systems, v. 56, #12, 2013. – P. 51 – 61.

<http://radioelektronika.org/article/view/S0735272713120066>

3. Igor V. Melnyk Simulation of energetic efficiency of triode high voltage glow discharge electron sources with account of temperature of electrons and its mobility in anode plasma. . – Radioelectronic and Communication Systems, v. 60, #7, 2017. – P. 413 – 424.

<http://radioelektronika.org/article/view/S0735272717070056>

4. Denbnovetskiy S., Melnyk V., Tugai B., Tuhai S., Wojcik W., Lawicki T., Assambay A., Luganskaya S. Principles of operation of high voltage glow discharge electron guns and particularities of its technological application. Proceedings of SPIE – The International Society of Optical Engineering. – 2017. – P. 10445 – 10455.

5. Melnyk Igor V., Pochynok Alina V. Modeling of electron sources for high voltage glow discharge forming profiled electron beams. – Radioelectronic and Communication Systems, v. 62, #6 (684), 2019. P. 311 – 323. (Scopus, Web of Science) <http://radioelektronika.org/issue/view/2019-06>

6. Volpian O.D., Kuzmichev A.I., Obod Y.A., Sigov A.S. Modeling of fast neutral atoms flow generation in channel rays of glow discharge. – Journal of Physics: Conference Series, 2018, 1121 (1), article № 012034. (Scopus, Web of Science)

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85058210550&doi=10.1088%2f1742-6596%2f1121%2f1%2f012034&partnerID=40&md5=186fbb4aece65d27af508d32e8e203a>

7. Drozd, I. Kuzmichev, A., Maikut S., Tsybulsky, L. Investigation of electron cut-off in a cylindrical electrode system in pulsed magnetic field of an inductor. – Problems of Atomic Science and Technology, 2018, 118 (6), pp. 281-284. (Scopus, Web of Science)

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85060691873&partnerID=40&md5=09906da4e5819cc4b7341e002352f74d>

8. Denbnovetsky S.V., Felba J., Melnik V.I., Melnik I.V. Model Of Beam Formation In A Glow Discharge Electron Gun With A Cold Cathode. - Applied Surface Science, 111 (1997). - P. 288-294. (Scopus, Web of Science)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169433296007611?via%3Dihub>

9. Denbnovetsky S.V., Melnyk V.G., Melnyk I.V. High voltage glow discharge electron sources and possibilities of its application in industry for realising of different technological operations. – IEEE Transactions on plasma science. – Vol. 31, #5, October, 2003. – P. 987-993.

<https://ieeexplore.ieee.org/document/1240048>

10. Denbnovetsky S.V., Melnyk V.I., Melnyk I.V., Tugay B.A. Model of control of glow discharge electron gun current for microelectronics production applications. – Proceedings of SPIE. Sixth International Conference on “Material Science and Material Properties for Infrared Optoelectronics”. – Vol. 5065 (2003). – P. 64-76.

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/5065/0000/Model-of-control-of-glow-discharge-electron-gun-current-for/10.1117/12.502174.short>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/1422668>

11. Melnik I.V. Simulation of geometry of high voltage glow discharge electrodes' systems, formed profile electron beams. – Proceedings of SPIE (2006). V. 6278. Seventh Seminar on Problems of Theoretical and applied Electron and Ion Optics.– P. 627809-1–627809-13.

<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/6278/627809/Simulation-of-geometry-of-high-voltage-glow-discharge-electrodes-systems/10.1117/12.693202.short>

12. Igor V. Melnyk, Numerical simulation of distribution of electric field and particle trajectories in electron sources based on high-voltage glow discharge. – Radioelectronic and Communication Systems, v. 48, #6, 2005. – P. 61 – 71.

<http://radioelektronika.org/article/view/S0735272705060087>

13. Ключові слова. Високовольтний тліючий розряд, газорозрядна електронна гармата, електронно-променева плавка.