Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U002745

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 25-07-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:

II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Положій Гліб Євгенович
2. Hlib Polozhii

Кваліфікація: 104

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-5664-808X

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 104

Назва наукової спеціальності: Фізика та астрономія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: 56300 Фізика (104 Фізика та астрономія)

Дата захисту: 12-09-2024

Спеціальність за освітою: Електронні прилади та пристрої

Місце роботи здобувача: Інститут прикладної фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05399225

Місцезнаходження: вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ1_6618

Повне найменування юридичної особи: Інститут прикладної фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05399225

Місцезнаходження: вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію

Повне найменування юридичної особи: Інститут прикладної фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05399225

Місцезнаходження: вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

V. Відомості про дисертацію

Мова дисертації: Українська

Коди тематичних рубрик: 29.35.39, 29.35.37, 29.35.43

Тема дисертації:

1. Формування пучків в установках протонно-променевої літографії
2. Beams formation in proton beam writing equipment

Реферат:

1. Дисертація присвячена дослідженню технології протонно-променевої літографії, яка застосовується у виробництві малорозмірних структур з мікро- та нанометровою роздільною здатністю. Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та двох додатків. Обсяг дисертації складає 172 сторінки, з яких 139 сторінок основного тексту. Дисертація містить 62 рисунки і 4 таблиці. Перелік використаних джерел складається зі 100 найменувань. За результатами досліджень опубліковано 18 наукових публікацій, серед яких 5 статей у наукових фахових виданнях України, 1 стаття у іноземному науковому фаховому виданні та 12 тез виступів на наукових конференціях. Мета роботи полягала у теоретичному дослідженні можливості збільшення роздільної здатності доступної технології протонно-променевої літографії до десятків-одиниць нанометрів та експериментальному напрацюванні української технологічної бази пов'язаної з протонно-променевою літографією. В роботі вперше проведено комп'ютерне

моделювання динаміки іонного пучка в зондоформуючих системах на основі ортоморфного квадруплету магнітних квадрупольних лінз з одним, двома та трьома октупольними лінзами-коректорами. Продемонстровано теоретичну можливість досягнення роздільної здатності в 10...100 нанометрів.Побудовано формалізм, який описує алгоритм визначення живлення октуполів для повної та часткової корекції сферичних аберацій третього порядку з використанням методу матрицантів. Удосконалено опромінення зразків завдяки впровадженню векторного методу протонно-променевої літографії малорозмірних структур. Векторний метод випробуваний експериментально через створення малорозмірних структур на каналі ядерного скануючого мікрозонду аналітичного прискорювального комплексу "Сокіл" ІПФ НАН України. Удосконалено керування пучком протонів мегаелектронвольтної енергії завдяки впровадженню та випробуванню в експериментальній роботі системи швидкого скидання пучка на каналі ядерного скануючого мікрозонду прискорювального комплексу "Сокіл" Інституту прикладної фізики Національної академії наук України. Вперше проведено експерименти з протонно-променевої літографії по плівкам хітозану, зокрема плівкам хітозану на полікоровій підкладці та товстим не прикріпленим до твердої підкладки плівкам хітозану, покритим тонкими плівками титану, нітриду титану та оксиду цинку. Отримано мікроструктури з заданих з комп'ютера векторних шаблонів, а також лінійні періодичні структури в плівці хітозану на полікоровій підкладці через фокусування протонного пучка в лінію. Результати комп'ютерного моделювання динаміки іонних пучків в зондоформуючих системах на основі ортоморфного квадруплету магнітних квадрупольних лінз вказує на можливість створення установок для протонної літографії з роздільною здатністю десятки-одиниці нанометрів, які можна застосовувати в виробництві наноелектроніки на рівні найкращих сучасних технологічних процесів, при цьому така технологія доступна для реалізації в Україні в найближчому майбутньому з потребою в значно менших інвестиціях ніж було б потрібно для реалізації літографії на жорсткому ультрафіолеті (EUV). Технологія протонно-променевої літографії добре підходить для виготовлення одиничних та дрібносерійних зразків, а застосування відносно простої в реалізації технології наноштампування дасть змогу масштабувати виробництво принаймні в сотні разів, що дасть змогу налагодити масове виробництво передової наноелектроніки. Експериментальні дослідження створення малорозмірних структур з впровадженням векторного методу протонної-променевої літографії та вдосконалення експериментального обладнання каналу ядерного скануючого мікрозонду Інституту прикладної фізики Національної академії наук України демонструють наявність вітчизняної наукової та інженерної бази в галузі виробництва малорозмірних структур та відкривають можливості для подальших досліджень практичних застосувань протонно-променевої літографії. Векторний метод літографії, впроваджений в ході роботи над даною працею, дає змогу створювати структури з плавними лініями без "піксельних" артефактів та значно спрощує масштабування і виготовлення структур певного розміру. Проведені експерименти з літографії по хітозану демонструють можливість протонно-променевої літографії по новим матеріалам, що може бути корисним в технологічних процесах виготовлення малорозмірних структур, зокрема для біомедицини. Технологія протонно-променевої літографії дає змогу виготовляти малорозмірні структури різного спеціального призначення. Серед інших застосувань, зокрема, виділяються фотонні хвилеводи, рідинні структури (в тому числі рідинно-фотонні та рідинно-механічні), дифракційні ґратки для реалізації томографії м'яких тканин методом рентгенівського фазового контрасту, наноштампи для літографії наноструктур, в тому числі для виробництва наноелектроніки. Ці та інші потенційно можливі застосування протонно-променевої літографії потребують подальших експериментальних досліджень.

2. The thesis is dedicated to research of proton beam writing technology that is used for fabrication of small-sized structures with micro- and nanometer resolution. The thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of used sources and two appendixes. The volume of the thesis is 172 pages of which 139 pages of the main part. The thesis contains 62 figures and 4 tables. The list of used sources consists of 100 items. The results of the research are published in 18 scientific publications of which are 5 articles in specialized scientific journals of Ukraine, 1 article in a foreign specialized scientific journal and 12 abstracts from scientific conferences. The aim of the thesis was in theoretical investigation of the possibility to increase resolution of proton beam writing technology to tens or ones of nanometers and experimental work on Ukrainian technology base related to

proton beam writing. In the thesis, for the first time, computer simulation of the dynamics of the ion beam in probe-forming systems based on an orthomorphic quadruplet of magnetic quadrupole lenses with one, two, and three octupole lenses-correctors was carried out. The theoretical possibility of achieving a resolution of 10...100 nanometers has been demonstrated. A formalism has been developed that describes the algorithm for determining the power supply of octupoles for the full and partial correction of spherical aberrations of the third order using the matrizant method. Irradiation of samples has been improved thanks to the introduction of the vector method of proton-beam lithography of small-sized structures. The vector method was tested experimentally through the creation of small-sized structures on the channel of the nuclear scanning microprobe of the Sokil analytical accelerator facility of the Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine. The control of the megaelectronvolt energy proton beam has been improved thanks to the implementation and testing in experimental work of the fast beam blanker system on the channel of the nuclear scanning microprobe of the Sokil accelerator complex of the IAP NASU. For the first time, experiments on proton beam writing on chitosan films, in particular chitosan films on a polycor substrate and thick chitosan films not attached to a solid substrate, covered with thin films of titanium, titanium nitride and zinc oxide, were carried out. Microstructures were obtained from computer-generated vector templates, as well as linear periodic structures in a chitosan film on a polycortical substrate due to focusing a proton beam into a line. The results of computer modeling of the dynamics of ion beams in probe-forming systems based on an orthomorphic quadruple of magnetic quadrupole lenses indicate the possibility of creating units for proton beam writing with a resolution of tens to ones of nanometers, which can be used in the production of nanoelectronics at the level of the best modern technological processes, while this technology is available for implementation in Ukraine in the near future with the need for much smaller investments than would be required for the implementation of hard ultraviolet (EUV) lithography. The technology of proton beam writing is well suited for the production of single and small-series samples, and the use of relatively simple to implement nanostamping technology will make it possible to scale production at least hundreds of times, which will make it possible to establish mass production of advanced nanoelectronics.

Державний реєстраційний номер ДіР:

Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки: Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності: Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

Підсумки дослідження: Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

Публікації:

- S.V. Kolinko, I.S. Kolinko, H.E. Polozhii, A.G. Ponomarev Beam scanning control system for proton beam writing // East European Journal of Physics, 2021, № 3, 14028, p. 134 — 140
- Polozhii H.E., Ponomarev A.G., Kolinko S.V., Rebrov V.A. Vector proton beam writing system // Problems of Atomic Science and Technology, 2022, No. 3, p. 52 — 55
- Polozhii H.E., Ponomarev A.G., Kolinko S.V., Rebrov V.A. Vector proton beam writing system // Problems of Atomic Science and Technology, 2022, No. 3, p. 52 — 55
- Ponomarev A.G., Kolinko S.V., Polozhii H.E., Rebrov V.A. High demagnification probe-forming systems with spherical aberration correction for a nuclear microprobe // Nuclear Inst. and Methods in Physics Research. B, 2023, V. 543, p. 165102.
- Ponomarev A.G., Kolinko S.V., Polozhii H.E., Rebrov V.A. High Resolution Probe-forming System With Spherical Aberration correction for nuclear microprobe // Problems of Atomic Science and Technology, 2023, No. 3, , p 153 — 157

- H. Ye. Polozhii, A. G. Ponomarev, S. V. Kolinko, V. A. Rebrov, R. O. Shulipa, O. M. Kalinkevich, O. V. Kalinkevich Proton beam writing: World experience and prospectives in Ukraine // Nuclear Physics and Atomic Energy 2023, volume 24, issue 1, pages 72-80
- Oksana Kalinkevich, Hlib Polozhii, Sergey Kolinko, Yevgen Zinchenko, Aleksei Kalinkevich, Sergei N. Danilchenko, Aleksandr G. Ponomarev, Ivan Yu. Protsenko Proton beam writing on chitosan films for bionanomedicine and microfluidics: pilot experiments // Proceedings of the 2020 IEEE 10th International Conference on "Nanomaterials: Applications and Properties", NAP 2020, Sumy State University, 9309570.
- Калінкевич О. В., Положий Г.Є., Колінко С. В., Зінченко Є.І., Карпенко А.Ю., Батурин В.А., Пономарьов О.Г., Калінкевич О. М., Данильченко С.М., Controllable structures on the surface of natural polymers made by proton beam writing and femtosecond laser treatment // 7th International Conference "NANOBIOPHYSICS: Fundamental and Applied Aspects", October 4–8, 2021, B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the NAS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. p.51
- O.M. Kalinkevich, O.V. Kalinkevich, E.I. Zinchenko, O.Yu. Karpenko, H.E. Polozhii, S.N. Danilchenko, A.M. Sklyar, I.Buchvarov, L.Angelova, A.Daskalova Chitosan-based nanostructured materials medicine // Proceedings of Ukrainian Conference with International Participation «Chemistry, Physics and Technology of Surface» devoted to the 35th anniversary of the Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine and Workshop «Nanostructures and Nanomaterials in Medicine : Challenges, Tasks and Perspectives». – Kyiv, 2021.
- H.E. Polojiy, A.G. Ponomarev, S.V. Kolinko, V.A. Rebrov, V.F. Salivon Vector Proton-Beam Writing System // XXVII International conference on charged particle accelerators, September 21-24, 2021 Ukraine, Kharkov, p. 91-92
- Положій Г. Є., Ребров В. А., Колінько С. В., Саливон В. Ф., Пономарьов О. Г., Калінкевич О. М., Калінкевич О. В., Зінченко Є. І. Вдосконалення каналу протонно-променевої літографії на АПК “СОКОЛ” в Інституті прикладної фізики НАН України // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, молодих учених, науково-педагогічних працівників та фахівців з міжнародною участю, присвяченої 30-річчю незалежності України. м. Суми, 12-14 квітня 2021 р. – Суми: СумДПУ, 2021. – с. 66.
- Г. Є. Положій, О. Г. Пономарьов, С. В. Колінько, В. А. Ребров, Р. О. Шуліпа Протонна літографія: Світовий досвід та перспективи в України // XXIX щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 26 - 30 вересня 2022 року), с.72-73.
- A.G. Ponomarev, H.E. Polozhii, S.V. Kolinko, V.A. Rebrov, V.F. Salivon Proton beam writing of X-ray difraction gratings using a quadruplet of magnetic quadrupole lenses with individual power supplies // 18-th International conference on nuclear microprobe technology and applications (ICNMTA2022), September 11-16, 2022, Ljubljana, Slovenia, p. 89.
- Пономарьов О.Г., Колінько С.В., Положій Г.Є. Формування пучка в установках протонно-променевої літографії високої роздільної здатності // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 24-26 жовтня 2022 р. – Суми: ІПФ НАН України, 2022. – с. 65.
- Пономарьов О.Г., Колінько С.В., Ребров В.А., Положій Г.Є., Салівон В.Ф. Система скидання пучка зі зразка для каналу протонно-променевої літографії аналітичного прискорювального комплексу ІПФ НАН України // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 24-26 жовтня 2022 р. – Суми: ІПФ НАН України, 2022. – с. 64-65.
- Положій Г. Є., Пономарьов О. Г., Ребров В. А., Колінько С. В., Салівон В. Ф., Калінкевич О. М., Калінкевич О. В., Шуліпа Р. О. Протонна літографія в Україні та світі // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 10-12 квітня 2023 року – с. 71-72.

- Ponomarev A.G., Kolinko S.V., Polozhii H.E., Rebrov V.A. High demagnification probe-forming systems with spherical aberration correction for nuclear microprobe // Сучасні проблеми експериментальної, теоретичної фізики та методики навчання фізики: матеріали IX Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю, м. Суми, 10-12 квітня 2023 року – с. 13-15.
- О.Г. Пономарьов, С.В. Колінько, Г.Є. Положій, В.А. Ребров Зондоформуючі системи високої роздільної здатності з корекцією сферичних аберацій для ядерного скануючого мікрозонду // XXI конференція з фізики високих енергій та ядерної фізики (Харків, 21 - 24 березня 2023 року), с.13.

Наукова (науково-технічна) продукція: пристрої; методи, теорії, гіпотези

Соціально-економічна спрямованість: створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту

Охоронні документи на ОПІВ:

Впровадження результатів дисертації: Планується до впровадження

Зв'язок з науковими темами: 0120U101035

VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Пономарьов Олександр Георгійович
2. Olexandr G. Ponomarev

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.20

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4517-5635

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут прикладної фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05399225

Місцезнаходження: вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

Офіційні опоненти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лисенко Олександр Володимирович
2. Oleksandr V. Lysenko

Кваліфікація: д. ф.-м. н., професор, 01.04.01

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0001-6925-4007

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Сумський державний університет

Код за ЄДРПОУ: 05408289

Місцезнаходження: вул. Харківська, буд. 116, Суми, Сумський р-н., 40007, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Карпусь Степан Геннадійович
2. Stepan G. Karpus

Кваліфікація: к. ф.-м. н., 01.04.20

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1087-9245

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Національний науковий центр "Харківський фізико-технічний інститут" Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 14312223

Місцезнаходження: вул. Академічна, буд. 1, Харків, Харківський р-н., 61108, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Новак Олександр Петрович
2. Oleksandr P. Novak

Кваліфікація: к. ф.-м. н., старший науковий співробітник, 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-9316-4885

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут прикладної фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05399225

Місцезнаходження: вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лебединський Сергій Олександрович

2. Serhii O. Lebedynskyi

Кваліфікація: к. ф.-м. н., 01.04.02

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-0191-6040

Додаткова інформація:

Повне найменування юридичної особи: Інститут прикладної фізики Національної академії наук України

Код за ЄДРПОУ: 05399225

Місцезнаходження: вул. Петропавлівська, буд. 58, Суми, Сумський р-н., 40000, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Національна академія наук України

Ідентифікатор ROR:

VIII. Заключні відомості

Власне Прізвище Ім'я По-батькові голови ради	Сторіжко Володимир Юхимович
Власне Прізвище Ім'я По-батькові головуючого на засіданні	Сторіжко Володимир Юхимович
Відповідальний за підготовку облікових документів	Ворошило Олексій Іванович
Реєстратор	УкрІНТЕІ
Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є відповідальним за реєстрацію наукової діяльності	Юрченко Тетяна Анатоліївна