

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

**X МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ЛАЗЕРНЫЕ, ПЛАЗМЕННЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ  
ЛАПЛАЗ-2024»**

**СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

Москва

УДК:001.89:[621.373.826+533.9+539.2+621.384+530.1+531.761](06)378.014

ББК:22.31:72

М 43

X Международная конференция «Лазерные, плазменные исследования и технологии ЛаПлаз-2024»: Сборник научных трудов. М.: НИЯУ МИФИ, 2024. – 440 с.

Сборник научных трудов содержит доклады, включенные в программу IX Международной конференции «Лазерные, плазменные исследования и технологии – ЛаПлаз-2023», которая пройдет с 26 по 29 марта 2024 года в смешанном формате. Организатором конференции выступает Институт лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ.

Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов: лазерная физика и лазерные технологии; физика плазмы и плазменные технологии; сверхсильные лазерные поля; управляемый термоядерный синтез; современные проблемы теоретической физики; современные проблемы физики твердого тела, функциональных материалов и наносистем; ускорители заряженных частиц и радиационные технологии; современные проблемы квантовой метрологии, физика высокой плотности и энергии, электрофизическое и ядерное приборостроение, синхротронные и нейтронные методы исследования новых материалов, проектная деятельность, математическое моделирование, современные образовательные технологии, виртуальные тренажеры.

Статьи получены до 12 марта 2024 года. Материалы издаются в авторской редакции.

Ответственный редактор: Крупышева Полина Олеговна

ISBN 978-5-7262-3051-1

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2024

---

Подписано в печать: 29.03.2024.

Формат 210×297 1/16.

Изд. №008-2.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

115409, Москва, Каширское шоссе, 31

И.В. НИКОЛАЕВ<sup>1</sup>, Н.Г. КОРОБЕЙЩИКОВ<sup>1</sup>, А.В. ЛАПЕГА<sup>1</sup>, Д.В. ТОПАКОВ<sup>2</sup>,  
Д.В. ЧЕСНОКОВ<sup>3</sup>, Н.А. УСУБАЛИЕВ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>АО «ГЕРМАНИЙ», Красноярск, Россия

<sup>3</sup>ООО «СОЛЕННА», Новосибирск, Россия

## СГЛАЖИВАНИЕ ШЛИФОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ГЕРМАНИЯ ИОННО-КЛАСТЕРНЫМ ПУЧКОМ АРГОНА

Проведена обработка поверхности пластин монокристаллического германия кластерными ионами аргона при различных удельных энергиях кластеров. Продемонстрировано, что взаимодействие ионно-кластерного пучка аргона со шлифованной поверхностью германия приводит к снижению шероховатости поверхности приблизительно на 15%. Проведено сравнение воздействия кластерных ионов с удельной энергией кластеров 10 и 105 эВ/атом.

I.V. NIKOLAEV<sup>1</sup>, N.G. KORBEISHCHIKOV<sup>1</sup>, A.V. LAPEGA<sup>1</sup>, D.V. TOPAKOV<sup>2</sup>,  
D.V. CHESNOKOV<sup>3</sup>, N.A. USUBALIEV<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>JSC GERMANIUM, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup>SOLENNА Ltd, Novosibirsk, Russia

## SMOOTHING OF THE GRINDED SURFACE OF SINGLE-CRYSTAL GERMANIUM BY AN ARGON CLUSTER ION BEAM

The treatment of surface wafer of single-crystal germanium is performed by argon cluster ions at different specific cluster energies. It is demonstrated that the interaction of argon cluster ion beam with a grinded germanium surface leads to a decrease in surface roughness by approximately 15%. A comparison is made of the impacts of cluster ions with specific cluster energies of 10 and 105 eV/atom.

Германий является высоко востребованным материалом в оптике и радиоэлектронике и широко используется при изготовлении тепловизоров, линз, оптоволокон, диодов, транзисторов и др. [1–3]. В настоящее время улучшение функциональных характеристик германия для современных приложений остается актуальной задачей.

Коллективное взаимодействие газовых кластеров с твердой поверхностью приводит к уникальным особенностям ионно-кластерной обработки, таким как латеральное распыление атомов, высокая локальная плотность энерговыделения и малоинвазивное воздействие (глубиной несколько нанометров). Это позволяет использовать ионно-кластерные пучки для различных видов модификации поверхности материалов, таких как полировка поверхности, формирование упорядоченных наноструктур и др. [4–6].

В данной работе проведена обработка поверхности пластин монокристаллического германия ионно-кластерным пучком аргона. На основе результатов, полученных нами ранее [7–9], для обработки поверхности мишени использовались кластерные ионы с различной энергией, приходящейся на один атом в кластере – 10 и 105 эВ/атом.

Исследованы особенности сглаживания шлифованной поверхности монокристаллического германия кластерными ионами аргона. С помощью атомно-силового микроскопа NTEGRA Prima HD получены изображения топографии поверхности мишеней до и после обработки в различных режимах. Показано, что обработка высокоэнергетическими (105 эВ/атом) кластерными ионами обеспечивает наибольшую эффективность сглаживания шлифованной поверхности германия (исходная среднеквадратичная шероховатость  $R_q \approx 50$  нм), что существенно отличается от результатов сглаживания поверхностей с меньшей шероховатостью ( $R_q \approx 20$  нм) и исходной субнанометровой шероховатостью ( $R_q \leq 1$  нм) [8,9]. Оценены усредненные значения параметров шероховатости. Продемонстрировано, что обработка ионно-кластерным пучком аргона приводит к сглаживанию неровностей с латеральными размерами от 120 нм до 1.4 мкм.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-10061 (<https://rscf.ru/project/23-79-10061/>) с использованием оборудования ЦКП «Прикладная физика» НГУ.

### Список литературы

1. G. Fisher, M.R. Seacrist, R.W. Standley // Proc. IEEE, 2012, Vol. 100, p. 1454.
2. E.E. Haller // Mater. Sci. Semic. Proc., 2006, Vol. 8, p. 408.
3. A. Toriumi, T. Nishimura // Jpn. J. Appl. Phys., 2018, Vol. 57, No. 1, Article No. 010101.
4. I. Yamada, J. Matsuo, N. Toyoda, A. Kirkpatrick // Mater. Sci. Eng. R, 2001, Vol. 34, p. 231.
5. V.N. Popok // Mater. Sci. Eng. R, 2011, Vol. 72, p. 137.
6. А.Е. Иешкин, А.Б. Толстогузов, Н.Г. Коробейщиков, В.О. Пеленович, В.С. Черныш // УФН, 2022, Том 192, №7, стр. 722.
7. N.G. Korobeishchikov, I.V. Nikolaev, V.V. Atuchin, I.P. Prosvirin, A.V. Kapishnikov, A. Tolstogouzov, V. Pelenovich, D.J. Fu // Mater. Res. Bull., 2023, Vol. 158, Article No. 112082.
8. N.G. Korobeishchikov., I.V. Nikolaev, V.V. Atuchin et al. // Surf. Interfaces, 2021, Vol. 27, Article No. 101520.
9. I.V. Nikolaev, P.V. Geydt, N.G. Korobeishchikov et al. // Nanomaterials, 2022, Vol. 12, p. 670.