

XXIX

РОССИЙСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ЭЛЕКТРОННОЙ
МИКРОСКОПИИ

Современные методы
электронной, зондовой
микроскопии
и комплементарных методов

в исследованиях наноструктур
и наноматериалов

СБОРНИК ТЕЗИСОВ

RSEM2022

29–31 АВГУСТА 2022 ГОДА

**XXIX Российская конференция
по электронной микроскопии**

29-31 августа 2022 г.

Сборник тезисов

XXIX Российская конференция по электронной микроскопии «Современные методы электронной, зондовой микроскопии и комплементарных методов исследования наноструктур и наноматериалов». г. Москва, 29 – 31 августа 2022 г. 633 с.

В сборнике опубликованы материалы XXIX Российской конференции по электронной микроскопии «Современные методы электронной, зондовой микроскопии и комплементарных методов исследования наноструктур и наноматериалов», прошедшей 29-31 августа 2022 г. в Москве. Представлены тезисы докладов в соответствии тематическими секциями: «Новые методы просвечивающей и растровой микроскопии», «Крио-ЭМ и применение электронной, конфокальной сканирующей микроскопии в биологии и медицине», «Электронная микроскопия, электронная дифракция и микроанализ в исследовании новых материалов и процессов», «Растровая электронная и ионная микроскопия. In-situ исследования в РЭМ», «Электронная микроскопия в геологии», «Методы электронной микроскопии и микроанализа в исследованиях предметов культурного наследия», «Сканирующая зондовая микроскопия», «Исследование сверхбыстрых процессов, фемтосекундная микроскопия, динамическая электронная кристаллография», «Электронная и ионная литография. Микроскопия и современные технологии», «Комплементарные методы».

Данное издание предназначено для учёных, специалистов, аспирантов и студентов, интересующихся современными методами электронной и зондовой микроскопии в исследованиях органических, неорганических наноструктур и нано-биоматериалов.

© 2022, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН.

Успехи и перспективы сфокусированных ионных пучков с газовым автоионным источником

Петров Ю.В.¹, Вывенко О.Ф.¹

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: y.petrov@spbu.ru*

Системы со сфокусированным ионным пучком давно и широко используются для анализа и обработки поверхности материалов с субмикронным разрешением. Наиболее распространены системы с жидкометаллическим источником ионов, а также системы с газовым плазменным источником. В данной работе речь идёт о системах, источником ионов в которых является острие, а ионизация газа происходит в области порядка межатомного расстояния.

В основе газовых автоионных источников лежит описанная Мюллером ионизация газа в сильном электрическом поле вблизи металлического острия [1]. Заложенные им принципы автоионной микроскопии позволяют с атомарным разрешением исследовать поверхность острия и наблюдать процесс изменения его формы. Именно эти принципы позволили разработать методы управляемого формирования острия и наблюдения одиночных атомов, на котором происходит ионизация газа [2]. В конце прошлого – начале нынешнего веков были разработаны газовые автоионные источники гелия [3], аргона [4], неона [4], ксенона, криптона [4], азота [5] и водорода [6], обладающие достаточно высокой яркостью для использования в ионных микроскопах и системах со сфокусированным ионным пучком. Однако, для коммерциализации таких систем требовалась стабильность источника на протяжении достаточно длительного периода. Наибольших успехов по стабилизации формы острия удалось добиться в случае источника ионов гелия. Позднее на основе гелиевого автоионного источника был разработан коммерчески доступный сканирующий ионный гелиевый микроскоп [7].

Появление готового устройства дало толчок к развитию применения сфокусированного пучка ионов гелия в нескольких направлениях. Было показано, что при воздействии ускоренными ионами гелия возбуждаются вторичные электроны с меньшими энергиями, чем при воздействии электронами той же энергии [8]. Этот факт в сочетании с малым сечением рассеяния легких ионов позволил получить рекордное разрешение литографии с использованием резиста [9]. С другой стороны, ионное облучение и распыление с разрешением в несколько нанометров, открыло возможность для развития ряда новых технологических приложений. В дальнейших работах, посвященных использованию систем со сфокусированным ионным пучком с газовым автоионным источником, выполненных, в том числе, и нашим коллективом, была показана возможность локального управления свойствами различных материалов. В частности, была продемонстрирована локальная модификация

оптической восприимчивости полупроводниковых квантовых ям для создания экситонных дифракционных решеток [10]. Показана возможность создания краевых состояний в графене [11]. Были созданы различные вихревые и скирмионные структуры в пленках с перпендикулярной магнитной анизотропией [12], а также Джозефсоновские переходы в сверхпроводящих пленках [13], при сохранении механической целостности пленок. Продемонстрирована возможность использования локальной модификации химических свойств для создания нанoeлектромеханических элементов [14]. Таким образом, системы с газовыми автоионными источниками имеют ряд уникальных качеств, а перспективы их дальнейшего развития требуют пристального внимания.

Результаты получены с использованием оборудования Междисциплинарного ресурсного центра по направлению «Нанотехнологии» Научного парка СПбГУ.

Список литературы:

- [1] E. Muller. *Advances in Electronics and Electron Physics*, **13**, 83 (1960).
- [2] J.H. Orloff, L.W. Swanson. *J. Vac. Sic. Techn.* **12**, 1209 (1975)
- [3] T. Sakata, K. Kumagai, M. Naitou et al. *J. Vac. Sci. Techn. B*, **10**, 2842 (1992)
- [4] H. Shichi, S. Matsubara, T. Hashizume. *Microsc. Microan.*, **25**, 105 (2019).
- [5] M. Schmidt, A. Yasaka, M. Akabori, H. Mizuta. *Microsc. Microan.*, **23**, 758 (2017)
- [6] G.L.Allan, G.J.F.Legge, J.Zhu. *Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B*, **34**, 122 (1988)
- [7] J. Notte, B. Ward, N. Economou, R. Hill, R. Percival, L. Farkas and S. McVey. *AIP Conf. Proc.*, **931**, 489 (2007)
- [8] Yu.V. Petrov, O.F. Vyvenko. Book Chapter in *Helium Ion Microscopy*. Springer, Berlin (2016)
- [9] V. Sidorkin, E. van Veldhovven, E. van der Drift, P. Alkemade, H. Salemnik and D. Maas. *J. Vac. Sci. Technol. B*, **27**, L18 (2009)
- [10] Yu.V. Kapionov, P.Yu. Shapochkin, L.Yu. Beliaev, Yu.V. Petrov, et al. *Optics Letters*, **41**, 104 (2016)
- [11] Yu.I. Latyshev, A.P. Orlov, V.A. Volkov, V.V. Enaldiev, I.V. Zagorodnev, O.F. Vyvenko, Yu.V. Petrov and P. Monceau. *Scientific Reports*, **4**, 7578 (2014)
- [12] Д.А. Татарский, Н.С. Гусев, В.Ю. Михайловский, Ю.В. Петров, С.А. Гусев. *ЖТФ*, **89**, 1674 (2019)
- [13] S. A. Cybart, E.Y. Cho, T.J. Wong, B.H. Wehlin, M.K. Ma, C. Huynh and R. C. Dynes. *Nature Nanotechnology*, **10**, 598 (2015)
- [14] Yu.V. Petrov, E.A. Grigoryev, A.P. Baraban. *Nanotechnology*, **31**, 215301 (2020)