

Исследования воздействия локализованного с помощью диэлектрических матриц ионизирующего излучения на живые системы

Б. Мерзук¹, Д. К. Миннебаев¹, А. В. Кожемяко¹, Е. Н. Муратова², А. А. Шемухин^{3*}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
физический факультет, кафедра общей ядерной физики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет имени В. И. Ульянова (Ленина) «ЛЭТИ»
Россия, 197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5

³Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцина МГУ
Россия, 119992, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

(Статья поступила 24.04.2018; Подписана в печать 21.05.2018)

Исследован эффект прохождения ионного пучка гелия с энергией 1.5–2 МэВ. Показано, что даже незначительное отклонение мембраны от нормали ($1.5-3^\circ$) по отношению к направлению распространения ионного пучка приводит к уменьшению выхода обратно рассеянных ионов с HfO_2 мишени и, следовательно, к уменьшению фиксируемого тока. Таким образом, созданные и исследованные мембраны-шаблоны обеспечивают выполнение функций каналирования высокоэнергетического потока ионов. Установлено, что коэффициент прохождения ускоренных ионов через мембрану может превышать 60%.

Показана возможность применения мембран $por-Al_2O_3$ в качестве среды для роста и размножения живых организмов, в частности колоний бактерий. Был выбран раствор на основе флюоресцина с целью проведения первичного визуального изучения свойств мембран без применения дополнительных методов диагностики. Расчет капиллярного течения проводился по закону Пуазейля. В результате было определено, что для мембран с малым (≈ 20 нм) и с большим (≈ 200 нм) диаметром пор, полученных в электролите на основе серной и ортофосфорной кислот, расход жидкости через мембрану составляет $Q_1 = 0.0023$ и $Q_2 = 0.03$ мм³/с, соответственно.

Предложена методика по использованию сфокусированных ионных пучков высоких энергий, которая позволит локально воздействовать на исследуемые биологические микрообъекты, а также выявлено, что мембраны являются хорошей платформой для их жизни и роста.

PACS: 87.53.-j

УДК: 539.8.

Ключевые слова: ионные пучки, транспортировка пучков, биологические микрообъекты, пористый оксид алюминия, мембраны.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все живые организмы на земле подвергаются радиационному воздействию, от излучения природного (которое избежать невозможно) или промышленного до облучения в целях медицинской диагностики (которое можно контролировать) [1, 2]. Реакция живого организма на ионизирующие облучения зависит от дозы и времени облучения, а также от размеров поверхности тела, подвергающегося облучению, типа излучения и мощности дозы [3]. При превышении определенной дозы облучения живые системы, а также ткани биологических объектов могут мутировать либо погибнуть [4, 5]. Ослабление иммунитета провоцирует возникновение любых заболеваний, в том числе и раковых. В связи с этим актуальным являются исследования влияния ионизирующего излучения на живые системы с помощью локализованного воздействия высокоэнергетических заряженных пучков. Важной задачей при использовании пучков частиц является транспортировка их к объекту исследования.

Данная работа направлена на разработку методики формирования пучка с помощью конических диэлектрических каналов, которая позволит получить достаточно интенсивный микропучок ускоренных ионов, воздействующий на биологические объекты.

Для достижения поставленной цели были выбраны мембраны пористого анодного оксида алюминия ($por-Al_2O_3$) в качестве диэлектрической фокусирующей матрицы, обеспечивающей транспортировку пучков ускоренных заряженных частиц через диэлектрические капилляры, что должно позволить локализовать высокоэнергетическое ионное воздействие. Особенность $por-Al_2O_3$ заключается в том, что в процессе электрохимического анодирования алюминиевой фольги он проявляет способность к самоорганизации, образуя структуру с заданной геометрией при вариации технологических условий [6, 7, 8]. Такие мембраны обладают меньшим разбросом диаметра пор по сравнению с трековыми и полимерными мембранами, высокой проницаемостью и степенью однородности каналов по размерам [9, 10]. Технология создания матричного слоя позволяет получать мембраны $por-Al_2O_3$ (рис. 1) с упорядоченной структурой, высоким аспектным отношением (до 500) и заданным диаметром пор (20–200 нм).

*E-mail: shemuhin@gmail.com

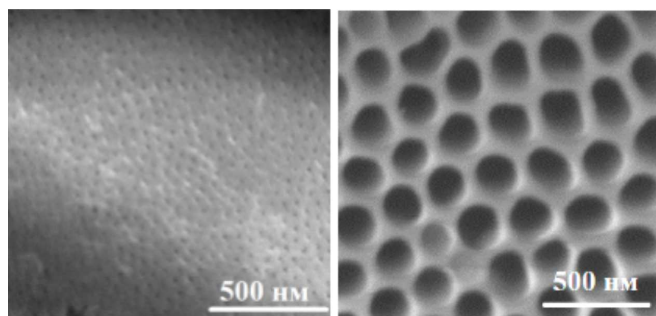


Рис. 1: РЭМ изображения мембран *por*– Al_2O_3 , полученных в электролитах на основе H_2SO_4 при $U = 20$ В (а); H_3PO_4 с добавлением 10% глицерина при $U = 125$ В (б)

Также важно отметить, что мембраны *por*– Al_2O_3 нашли интересное применение в области прикладных задач физики заряженных частиц [11,12]. В последнее время стало активно изучаться применение диэлектрических матриц из нанокapилляров для расширения возможностей резерфордского обратного рассеяния (РОР). Используя диэлектрические каналы в методике РОР, можно управлять пучками ионов и фокусировать их. В силу таких особенностей как технологичность, невысокие время и ресурсозатратность, возможность получать различные в широком диапазоне по геометрическим параметрам пористые слои, оксид алюминия находит все большую популярность в данной области исследований.

В связи с этим мембраны *por*– Al_2O_3 представляют исключительный интерес в исследованиях по использованию в качестве диэлектрической фокусирующей матрицы [13], обеспечивающей транспортировку пучков ускоренных заряженных частиц через диэлектрические капилляры, что позволит проводить как высоколокальный анализ структуры и состава образцов [14] вне условий высокого вакуума, так и топологически упорядоченное нанолокализованное воздействие.

В ходе выполнения работы, изготовленные нанопористые мембраны исследовались в НИИЯФ МГУ на эффект прохождения ионного пучка гелия с энергией 1.5–2 МэВ. На рис. 2 представлен спектр резерфордского обратного рассеяния для мембран с диаметром пор ≈ 20 нм. В качестве «регистрирующей» среды–мишени за мембраной располагался образец, содержащий более «тяжелый» элемент, в частности, гафний (Hf).

Даже незначительное отклонение мембраны от нормали (1.5–3°) по отношению к направлению распространения ионного пучка приводит к уменьшению выхода обратно рассеянных ионов с HfO₂ мишени и, следовательно, к уменьшению фиксируемого тока. Таким образом, созданные и исследованные мембраны–шаблоны обеспечивают выполнение функций каналирования высокоэнергетического потока ионов. Установлено, что коэффициент прохождения ускоренных ионов через мембрану, может превышать 60%. Это

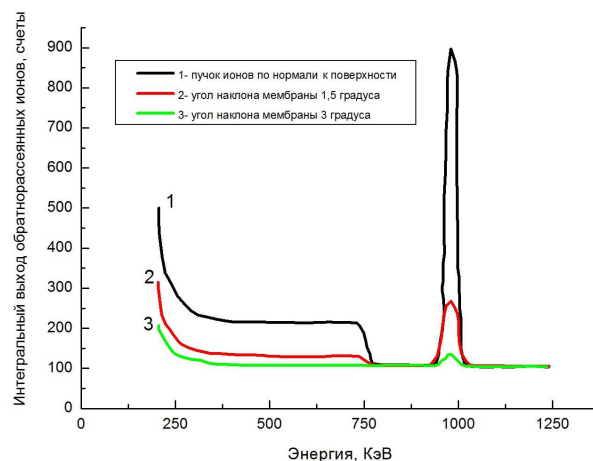


Рис. 2: Энергетический спектр обратнорассеянных ионов He^+ с энергией 1.7 МэВ для угла рассеяния 120°

позволяет реализовать пространственную локализацию ионного воздействия на подложку с наноразмерным разрешением.

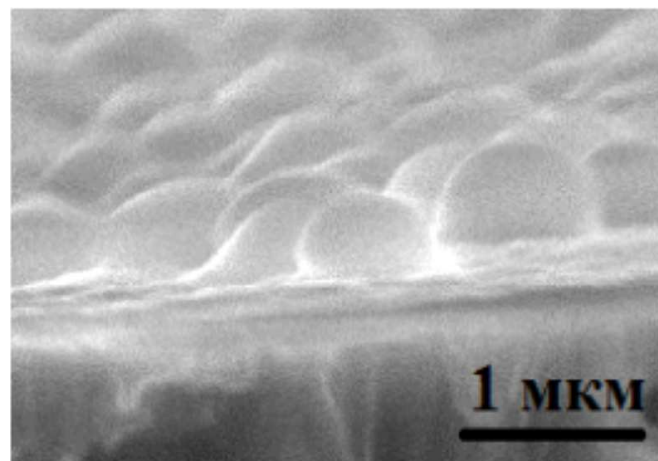


Рис. 3: Фотография колоний бактерий стафилококка (*s. aureus*) в зоне микропоры

Кроме того, исследовалась возможность применения мембран *por*– Al_2O_3 в качестве среды для роста и размножения живых организмов, в частности колоний бактерий. В связи с этим данные мембраны подвергались исследованию на проницаемость жидкой среды. Был выбран раствор на основе флюоресцеина с целью проведения первичного визуального изучения свойств мембран, без применения дополнительных методов диагностики. Расчет капиллярного течения проводился по закон Пуазейля. В результате было определено, что для мембран с малым (≈ 20 нм) и с большим (≈ 200 нм) диаметром пор, полученных в электролите на основе серной и ортофосфорной кислот, расход жидкости через мембрану составляет $Q_1 = 0.0023$ и $Q_2 = 0.03 \text{ мм}^3/\text{с}$, соответственно. Из проведенных

расчетов было установлено, что скорость протекания жидкость через мембрану довольно большая. Это позволяет визуалью в реальном времени наблюдать и оценивать проницаемость мембраны.

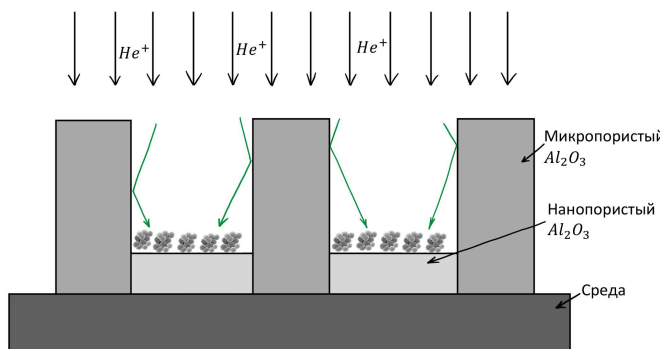


Рис. 4: Схема проведения эксперимента

Далее проводились исследования по росту колоний различных бактерий на данных матрицах-мембранах, которые выступали в качестве ростового модуля (рис. 3). Медико-биологические исследования созданных ростовых платформ [1], выполняв-

ших функцию субстрата для осуществления подачи питательной среды, подтвердили эффективность их использования при проведении экспресс-анализа колоний патогенных бактерий, резко сокращая временной интервал для роста.

Таким образом, можно сказать, что проведение комплексных исследований, направленных на оценку выживаемости и мутации бактериальных культур в условиях их облучения ионами водорода и гелия с помощью диэлектрических матриц является решаемой задачей (рис. 4). Предлагаемая методика по использованию сфокусированных ионных пучков высоких энергий позволит локально воздействовать на исследуемые биологические микрообъекты, а мембраны являются хорошей платформой для их жизни и роста. Возможность выбора типа ионов, а, следовательно, и типа излучения, с контролируемыми величинами и мощностями дозы излучения будет способствовать эффективно-му проведению исследования в режиме *in vitro* и получению достоверного результата.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 31 16-38-60110 мол_а_дк.

- [1] Линденбратен Л. Д., Лясс Ф. М. Медицинская радиология. М., 1986.
- [2] Ивановский Ю. А. Вестник ДВО РАН. 2006. № 6. С. 86.
- [3] Бурлакова Е. Б., Конрадов А. А., Мальцева Е. Л. Химическая физика. 2003. 22, № 2, С. 21.
- [4] Кашнер Д. Жизнь микробов в экстремальных условиях. М.: Мир, 1981.
- [5] Шибкова Д. З., Аклев А. В. Адаптационно-компенсаторные реакции системы кроветворения при хроническом радиационном воздействии. Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2006.
- [6] Eftekhari A. Nanostructured materials in electrochemistry. Weinheim, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
- [7] Masuda H., Abe A., Nakao M. et al J. of Advanced Materials. 2003. № 15(2). P. 161.
- [8] Thompson G. E. Thin Solid Films. 1997. 297. P. 192.
- [9] Муратова Е. Н. Искусственно и естественно упорядоченные микро- и наноразмерные капиллярные мембраны на основе анодного оксида алюминия: дис. канд. техн. наук. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». СПб, 2014.
- [10] Муратова Е. Н., Спивак Ю. М., Мошников В. А. и др. Физика и химия стекла. 2013. 39. С. 473.
- [11] Лучинин В. В., Муратова Е. Н., Шемухин А. А. Нано и микросистемная техника. 2013. № 12. С. 39.
- [12] Шемухин А. А., Муратова Е. Н. ПЖТФ. 2014. 40. № 5. С. 67.
- [13] Шемухин А. А., Муратова Е. Н., Мошников В. А., Лучинин В. В., Черных В. С. Вакуумная техника и технология. 2014. 24, № 1. С. 43.
- [14] Шемухин А. А., Балакишин Ю. В., Черных П. Н. и др. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2013. № 4. С. 25.

Ion irradiation influence on living systems by dielectric matrices

B. Merzuk¹, D. K. Minnebaev¹, A. V. Kozemyako¹, E. N. Muratova², A. A. Shemuhin^{3,a}

¹Department of General Nuclear Physics Physics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University
Moscow 119991, Russia

²St. Petersburg State Electrotechnical University V.I. Ulyanov (Lenin) «LETI», Saint-Petersburg, 197022, Russia

³Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University
Moscow 119992, Russia

E-mail: ^ashemuhin@gmail.com

This work studies passing of an helium ion beam with an energy of 1.5–2 MeV. It is shown that even a slight deviation of the membrane from the normal (1.5 ... 3°) leads to a decrease in the yield of backscattered ions from the target HfO₂ and, consequently,

to a decrease in the measured current. Thus, the created and studied template membranes ensure the channeling functions of the high-energy ion flux. It is established that the coefficient of passing accelerated ions through the membrane can exceed 60%.

It has been shown that it is possible to apply *por*-Al₂O₃ membranes as a medium for growth and reproduction of living organisms, in particular bacterial colonies. A solution based on fluorescein was chosen to perform a primary visual study of membrane properties, without extra diagnostic methods. The calculation of the capillary flow was carried out according to the Poiseuille law. As a result, it was determined that for membranes with a small (≈ 20 nm) and large (≈ 200 nm) pore diameter obtained in the electrolyte based on sulfuric and orthophosphoric acids, the liquid flow through the membrane is $Q_1 = 0.0023$ and $Q_2 = 0.03$ mm³/s, respectively.

It has been proposed to use the technique of focused high-energy ion beams that allows a local effect on under study biological micro-objects, and it has been revealed that membranes are a good platform for their life and growth.

PACS: 87.53.-j

Keywords: ionbeams, beam transport, biological microobjects, porous aluminium oxide, membranes.

Received 24 April 2018.

Сведения об авторах

1. Мерзук Барбара — студентка; e-mail: mbarbara1996@mail.ru.
2. Миннебаев Дамир Кашифович — студент; e-mail: srpxvf@gmail.com.
3. Кожемяко Анастасия Владимировна — аспирант; e-mail: stasya-paint@mail.ru.
4. Муратова Екатерина Николаевна — канд. техн. наук, науч. сотрудник; e-mail: sokolovaeknik@yandex.ru.
5. Шемухин Андрей Александрович — канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник; e-mail: shemuhin@gmail.com.