

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Р7-88-696

Г.Н.Флеров, П.Ю.Апель, А.Ю.Дидык,
В.И.Кузнецов, Р.Ц.Оганесян

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
УСКОРИТЕЛЕЙ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЯДЕРНЫХ МЕМБРАН

Направлено в журнал "Атомная энергия"

1988

1. Введение

Исследования на пучках тяжелых ионов в широком диапазоне масс и энергий представляют большие возможности для решения как фундаментальных научных проблем, так и задач прикладного характера. С тяжелыми ионами связан значительный прогресс в области синтеза новых элементов, деления ядер, в изучении свойств ядер вблизи границы устойчивости, исследовании механизма взаимодействия сложных ядер и т. д. /1-4/. Прогресс в области создания и использования ускорителей многозарядных ионов стал особенно заметным в последние годы, когда с лучшими ускорительными установками в СССР и США стали конкурировать ускорители исследовательских центров в ФРГ и Франции.

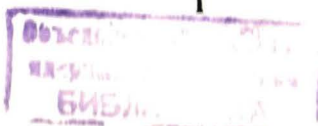
В это же время наблюдается значительный рост интереса к пучкам тяжелых ионов как к уникальному инструменту для преобразования микроструктуры твердых тел. Высокоэнергетичный многозарядный ион, проходя через вещество, вступает в кулоновское взаимодействие с его электронной подсистемой, что сопровождается интенсивной передачей энергии. Энергия сообщается среде локально вдоль траектории частицы, приводя к возбуждению и ионизации атомов. Потери энергии иона $\frac{dE}{dx}$ на пути единичной длины могут быть рассчитаны по формуле Бете-Влоха:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi N Z_3^2 e^4}{m_e \beta^2 c^2} \left[\ln \frac{2m_0^2 \beta^2}{I} \right], \quad (1)$$

где N - число электронов в единице объема тормозящей среды; Z_3 - эффективный заряд иона; m_0 - масса покоя электрона; c - скорость света в вакууме; β - относительная скорость иона; I - потенциал ионизации атомов среды. По мере замедления иона с атомным номером Z его эффективный заряд снижается за счет захвата электронов по следующему закону:

$$Z_3 = Z [1 - \exp(-125\beta/Z^{2/3})], \quad (2)$$

Если тормозящая среда является диэлектриком, то выделяющаяся вдоль траектории тяжелого иона энергия приводит к образованию сплошного протяженного дефекта структуры, называемого треком. Треки обладают способностью к избирательному химическому травлению при взаимодействии подходящих реагентов /6/. Этот эффект, обнаруженный около 30 лет тому назад, используют для изготовления мембран с калиброванными размерами пор. Идея создания микроструктур за счет облучения тяжелыми заряженными частицами вначале была осуществлена при помощи осколков деления тяжелых ядер /6,7/, а затем для этой цели стали использовать ускорители /8,9/.



Эксплуатационные характеристики ядерных мембран зависят от набора следующих структурных параметров: толщины мембраны, диаметра пор, плотности пор, разброса диаметров пор, формы пор. Каждый из этих параметров накладывает определенные требования к качеству применяемых ионных пучков. Для получения калиброванных пор цилиндрической формы необходимо, чтобы скорость травления вдоль треков бомбардирующих частиц, V_t , была на несколько порядков выше скорости травления неповрежденного полимера, V_b . Отношение V_t/V_b является мерой избирательности травления треков. Как правило, величина V_t/V_b подчиняется следующему соотношению:

$$V_t/V_b = 1 + aX^b \quad (3)$$

Здесь в качестве X может быть взята величина $(Z_3/\beta)^2$ или доля потерь энергии иона L_Δ за счет соударений с передачей энергии не выше некоторого порогового значения Δ , которое обычно выбирается в диапазоне от 250 до 1000 эВ / 10-13/. Функция $L_\Delta(E)$ по форме сходна с функцией потерь энергии $dE/dx(E)$, однако быстрее убывает с

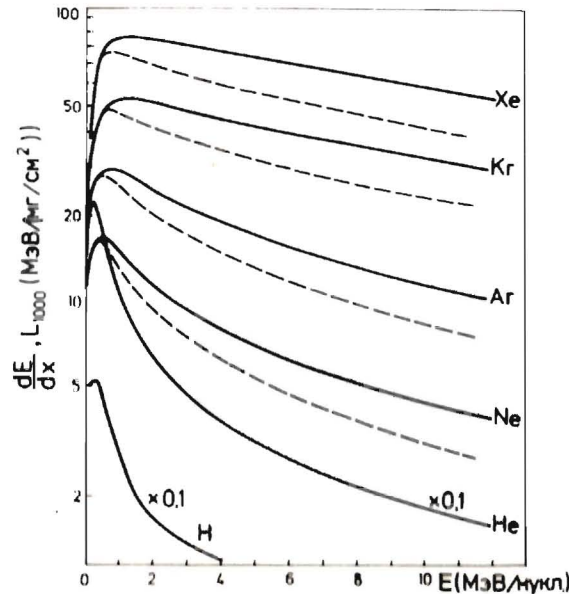


Рис.1. Удельные потери энергии, dE/dx , (сплошные линии) и лицевая передача энергии в соударениях с $\Delta < 1000$ эВ, L_{1000} (штриховые линии) ионов 1H , 4He , ^{20}Ne , ^{40}Ar , ^{84}Kr и ^{132}Xe в полиэтилентерефталате как функции энергии иона E . Данные о потерях энергии взяты из [27].

ростом энергии частиц E (см. рис.1). Коэффициент b в (3) обычно принимает значения 2-3; это означает, что избирательность травления треков быстро растет с повышением L_Δ и, следовательно, с ростом атомного номера иона Z . Это иллюстрируется рисунком 2. Из вышесказанного ясно, что, во-первых, цилиндрическая форма пор получается тем легче, чем выше Z , и, во-вторых, существует оптимальная область энергий с максимумом около 1 МэВ/нуклон, где обеспечиваются наивысшие значения V_t/V_b .

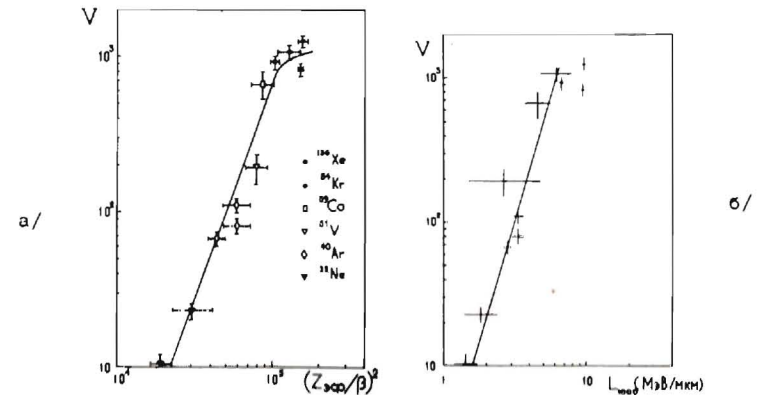


Рис.2. Зависимость избирательности травления треков тяжелых ионов $V = V_t/V_b$ от параметров $(Z_3/\beta)^2$ и L_{1000} в ПЭТФ-пленках. Треки прошли стандартную обработку ультрафиолетовым излучением.

Требуемая энергия бомбардирующих частиц непосредственно связана с толщиной мембран. Обычно толщина ядерных мембран составляет около 10 мкм, что является компромиссным решением при стремлении обеспечить высокий коэффициент проницаемости и достаточную механическую прочность мембраны одновременно. Как видно из соотношений пробег-энергия, для облучения пленок толщиной 10 мкм требуется энергия ионов не менее 1 МэВ/нуклон.

Плотность пор n в ядерных мембранах меняется в пределах от 10^5 до 10^{10} см $^{-2}$. При интенсивности выведенного пучка $\sim 10^{12}$ ион/с на облучение 1 м 2 пленки требуется ≤ 100 с; при меньшей интенсивности производительность становится недопустимо низкой для практического использования. Скорость процесса облучения может быть повышена еще одним способом. Если энергия частиц настолько высока, что их пробег в полимере в несколько раз превышает толщину пленки, то возможно облучение одновременно нескольких слоев (или нескольких десятков слоев) полимерной пленки. Однако, помня форму зависимостей

$L_A(E)$ и сказанное выше о закономерностях травления треков, следует подчеркнуть, что многослойное облучение перспективно лишь в случае, если масса частиц достаточно высока. Необходимо также упомянуть об одном обстоятельстве, ограничивающем возможности многослойного облучения. Когда энергия бомбардирующих частиц превышает кулоновский барьер реакции ядра иона с ядрами атомов полимера, в массиве треков появляются треки продуктов ядерных реакций, в том числе реакций слияния (что эквивалентно смещению вверх по шкале Z и вниз по шкале E). Такие треки характеризуются более высокой скоростью травления, а плотность их может составлять $10^2 - 10^5 \text{ см}^{-2} / 14/$. При определенных условиях это отрицательно скажется на однородности пор мембраны.

Диаметр пор ядерных мембран при фиксированных условиях облучения задается режимом и продолжительностью химической обработки. Вопрос о диаметре пор необходимо рассмотреть в совокупности с вопросом о дисперсии диаметров пор. В реальном полимере всегда имеются микро- и макронеоднородности, которые приводят к разбросу величин V_t и V_b . Полимерные пленки также имеют определенный разброс толщины. Основываясь на простейшей модели травления треков в изотропном материале, можно записать следующее выражение для дисперсии диаметров пор ядерной мембраны /15/:

$$S_d^2 = \left(2t - \frac{\bar{I}}{V_t}\right)^2 S_{V_b}^2 + \left(\frac{\bar{V}_b \bar{I}}{2\bar{V}_t^2}\right) S_{V_t}^2 + \left(\frac{\bar{V}_b}{V_t}\right)^2 S_1^2. \quad (4)$$

Здесь S_d^2 - дисперсия диаметров в наименьших сечениях пор; $S_{V_b}^2$, $S_{V_t}^2$, S_1^2 , \bar{V}_b , \bar{V}_t , \bar{I} - дисперсии и средние значения величин V_b , V_t и толщины пленки; t - время химического травления.

Очевидно, что второе и третье слагаемые в (4) зависят от параметров частицы: они растут с уменьшением L_A . Теория подтверждается практикой: многолетний опыт производства ядерных мембран на пучках циклотрона У-300 показывает, что при фиксированных условиях химической обработки разброс диаметров пор и связанный с ним разброс коэффициента проницаемости возрастают при переходе к более легким ионам. Из (4) также следует, что абсолютные значения вкладов S_1^2 и $S_{V_t}^2$ в дисперсию диаметра не зависят от среднего диаметра пор, и поэтому относительная величина разброса пор при прочих равных условиях растет с уменьшением d . Это обстоятельство вынуждало до настоящего времени применять для изготовления мембран с предельно малыми размерами пор (на уровне 0,01 - 0,02 мкм) ионы с большим атомным номером (^{84}Kr , ^{129}Xe)/15,16/.

Физико-химическая обработка облученных ионами полимерных пленок в процессе производства ядерных мембран
 =====

Структурные параметры ядерных мембран зависят не только от параметров бомбардирующих частиц, но и в значительной мере от условий обработки облученной пленки на стадиях сенсibilизации и травления треков. Рассмотрим основные физико-химические закономерности этих процессов на примере технологии изготовления полиэтилентерефталатных (ПЭТФ) ядерных мембран.

Сенсibilизация. На стадии сенсibilизации облученный материал подвергают воздействиям, в результате которых дефектность полимера в треках усиливается, что позволяет дополнительно повысить скорость травления треков в 3-10 и более раз. Сенсibilизация треков позволяет улучшить форму пор, уменьшить дисперсию диаметров, повысить коэффициент проницаемости мембран.

До последнего времени единственным методом сенсibilизации было облучение ультрафиолетовым (УФ) излучением в кислородсодержащей атмосфере /17/. В случае ПЭТФ метод особенно изыскан, т.к. при воздействии излучения с длиной волны более 310 нм процесс фотоокисления идет только в треках, не затрагивая полимер в окружающем объеме /9/. Существует оптимальное время УФ-облучения, по достижении которого практически не происходит дальнейшего повышения скорости травления треков. Имеется определенная связь между атомным номером бомбардирующего иона и оптимальным временем УФ-облучения: чем легче ион, тем большая экспозиция требуется для завершения процесса фотосенсibilизации /18/. Это, по-видимому, связано с тем, что начальная концентрация активных частиц ниже в треках с меньшей плотностью энерговыделения, и, соответственно, ниже скорость инициирования фотоокислительных реакций.

Недавно был предложен принципиально иной метод сенсibilизации треков в ПЭТФ, заключающийся в обработке облученной пленки растворителями /19/. По данным авторов /19/, этот метод эффективнее фотосенсibilизации, т.к. приводит к более существенному увеличению скорости травления треков, и, кроме того, требует примерно на порядок меньшего времени обработки. Механизм увеличения проницаемости треков при сенсibilизации растворителями заключается скорее всего в удалении из треков "обрывков" макромолекул и морфологических изменениях полимера в околотрековых областях. Этот метод успешно применяется в Центральном институте ядерных исследований (Россендорф, ГДР) для обработки ПЭТФ-пленок, облученных на тандем-генераторе. Особенно перспективно применение данного метода при работе с пучками ионов в области атомных номеров 15-20, например, с получаемыми на ИЦ-100 пучками ионов ^{40}Ar (см. ниже).

Что касается использования еще более легких ионов ($Z = 10$), то в этом случае как один, так и другой метод сенсibilизации могут обеспечить необходимое качество ядерных мембран лишь при диаметрах пор около 1 мкм и более.

Химическое травление. Режимы химического травления полимеров в производстве ядерных микро- и ультрафильтрационных мембран часто существенно отличаются от режимов, предложенных ранее для этих же материалов как детекторов тяжелых заряженных частиц. Это связано с тем, что при изготовлении мембран главной целью является получение пор заданной конфигурации, а не визуализация или идентификация треков частиц. Меняя концентрацию реагентов и температуру, можно управлять (в известных пределах) избирательностью травления треков /15,16,18/. Фактически, от условий сенсibilизации и травления зависят значения коэффициентов a и b в уравнении (3). Режимы химического травления подбирают под конкретный ион, поскольку эффективная энергия активации и концентрационная зависимость избирательности травления трека зависят от ионизационных потерь, а также от метода сенсibilизации /18,20/.

Ускорители тяжелых ионов

Выше уже отмечалось, что для производства ядерных мембран, равно как и для исследований взаимодействия тяжелых ионов с веществом, необходимы интенсивные пучки ионов в широком диапазоне масс и энергий. Эти исследования велись до настоящего времени на ускорителях тяжелых ионов, предназначенных главным образом для фундаментальных исследований по ядерной физике.

В Лаборатории ядерных реакций работы по производству и исследованию ядерных фильтров начались около 15 лет назад и проводятся на 310-см циклотроне У-300, который дает возможность получать пучки тяжелых ионов с энергией $E = 250Z^2/A^2$ МэВ/нуклон /21/. Облучение полимерных пленок толщиной около 10 мкм производится, в основном, ионами Со, Кг, Хе, ускоренными на третьей гармонике частоты обращения, до энергий (1-1,5) МэВ/нуклон с интенсивностями $(2-5) \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$. Кроме того, для облучения пленок толщиной 50 мкм используются ионы аргона с энергией 5,6 МэВ/нукл. Формирование пучка требуемого размера (300 мм по ширине и около 60 мм по высоте) осуществляется внешним электрическим полем синусоидальной формы с максимальной амплитудой 30 кВ и частотой повторения циклов 2 кГц. Облучение полимерных пленок проводится в вакууме. Схема облучения представлена на рис. 4. На ускорителе У-300 наряду с методикой получения ядерных мембран обычной структуры (см. рис. 5) была впервые реализована методика получения так называемых асимметричных (или бипористых) микрофильтров /1,23/.

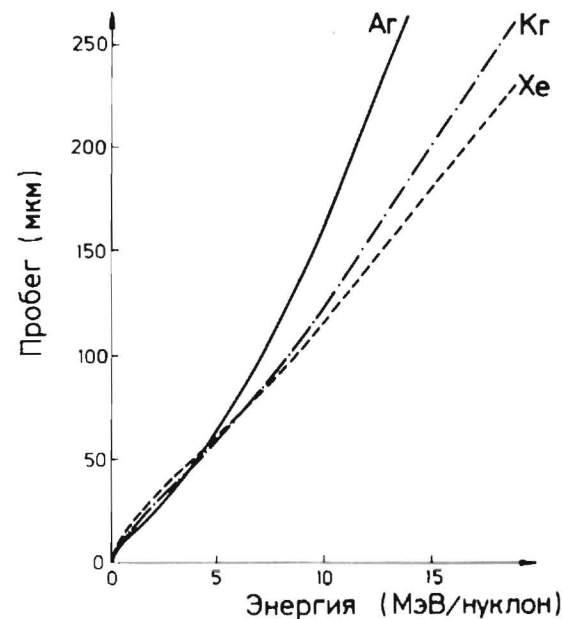


Рис. 3. Пробег ионов ^{40}Ar , ^{84}Kr и ^{132}Xe в ПЭТФ как функция энергии /27/.

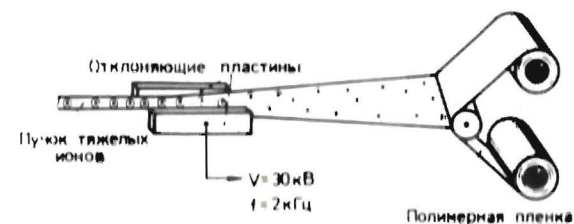
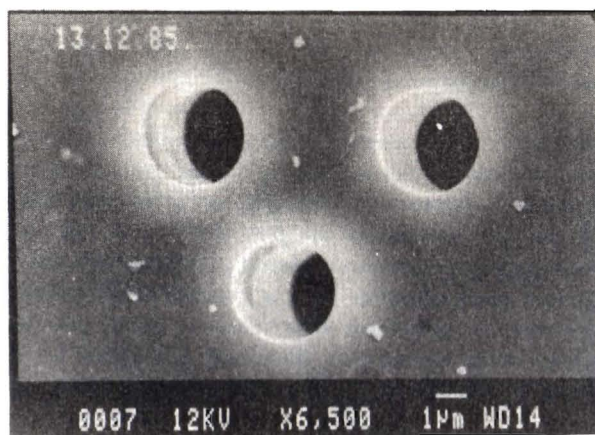
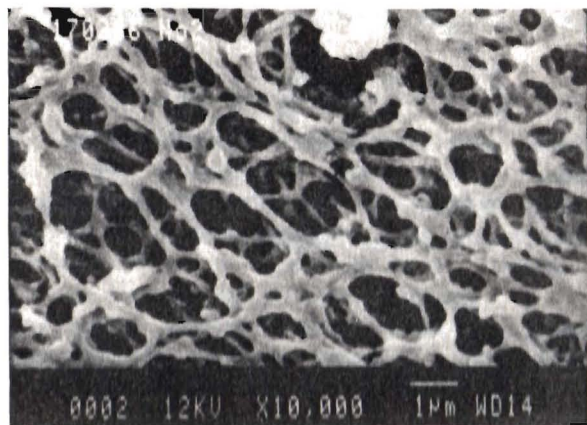


Рис. 4. Схема облучения полимерных пленок тяжелыми ионами на ускорителе У-300.

Примерно такая же схема облучения применяется в Центральном институте ядерных исследований (Россендорф, ГДР) /19/. В качестве исходного пучка используются ионы хлора с энергией 40 МэВ и интенсивностью $\sim 10^{11} \text{ с}^{-1}$, ускоренные на тандеме ЭПТ-10-1 с потенциалом на терминале 5 МВ. Получение пучка заданных размеров ($250 \times 10 \text{ мм}^2$) на экспозиционном окне производится электрическим



a/



b/

Рис. 5. Электронная микрофотография поверхности ядерной мембраны (а) и обычной мембраны, получаемой методом формирования из раствора полимера (б).

полам треугольной формы с амплитудой 7,5 кВ и частотой следования циклов 1 кГц. Пленка облучается в камере, где поддерживается высокий вакуум ($\sim 10^{-5}$ торр), скорость движения пленки меняется в пределах от 1 до 100 см/с.

В 1983 г. во Франции (Кан) введен один из крупнейших в мире ускорителей тяжелых ионов - циклотронный комплекс GANIL, позволяющий получать пучки ионов от углерода до урана с энергиями

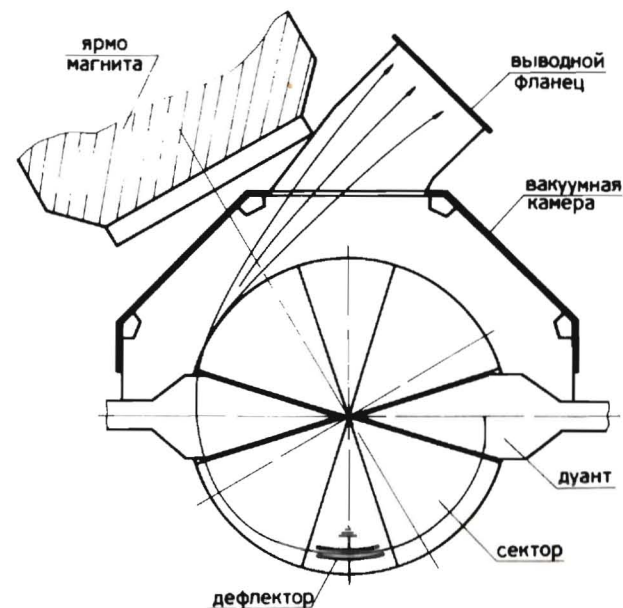


Рис. 6. Схема вывода пучка тяжелых ионов из циклического имплантатора ИЦ-100.

(8-95) МэВ/нуклон. Наряду с большой программой фундаментальных физических исследований на ускорителе GANIL ведутся прикладные исследования, значительную часть которых составляет производство ядерных мембран [24]. Для этой цели используют ионы Ag, K_g, Xe с энергиями (5-7) МэВ/нуклон, а также ионы более высокой энергии. Интенсивность падающего на пленку пучка составляет $(1-3) \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$. Формирование пучка необходимой формы обеспечивается быстрыми магнитными полями. Облучение проводится при давлении, близком к атмосферному.

В Обществе исследований с тяжелыми ионами (Дармштадт, ФРГ) для проведения крупномасштабных экспериментов по ядерной физике используют линейный ускоритель UNILAC, генерирующий пучки тяжелых ионов от азота до урана включительно с энергиями 20 МэВ/нуклон и интенсивностями $10^{13}-2 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$. Облучение полимерных детекторов, в том числе с целью получения микрофильтров, осуществляется расфокусированным пучком ионов с энергиями 1,4 и 10 МэВ/нуклон [25].

Итак, как уже было отмечено, прикладные исследования на пучках тяжелых ионов (в том числе и производство ядерных фильтров) до настоящего времени проводятся на больших ускорителях, предназначенных для решения фундаментальных физических проблем. Физические эксперименты требуют использования тяжелых ионов с энергиями в десятки МэВ/нуклон, для чего необходимо создавать

ускорители сложных конструкций (большие габариты, масса, мощность питания, высокая стоимость, осложненная радиационная обстановка). Вместе с тем, для многих научно-прикладных задач достаточно иметь тяжелые ионы с энергией (1-2) МэВ/нуклон. Исходя из возможностей существующих ионных источников, а также опыта создания циклотронов тяжелых ионов в ЛЯР в течение 1984-1985 гг. был создан и введен в эксплуатацию ускоритель циклотронного типа - циклический имплантатор ИЦ-100 /26/. Он позволяет получать пучки ускоренных тяжелых ионов от бора до аргона с энергиями (0,5-1,2) МэВ/нуклон. В отличие от вышеописанных схем, в которых формирование падающего на пленку пучка осуществляется внешними устройствами, на ИЦ-100 задача получения однородного пучка большой площади решена другим способом. Использование особенности рассеянного магнитного поля циклотрона с высоким градиентом (~ 50 Гл/м), вызывающим сильную дефокусировку отклоненного пучка в радиальном направлении, позволяет получать на мишени, стоящей на 0,5 м от выводного фланца, пучок шириной 300 мм и высотой 10-15 мм; интенсивность выведенного пучка при этом составляет $\sim 50\%$ от интенсивности внутреннего пучка (см. рис.6). Облучательная установка пристыкована к выводному фланцу вакуумной камеры, схема транспортировки облучаемой пленки аналогична применяемой на У-300. Облучению полимерных пленок толщиной 3-10 мкм осуществляется ионами $^{40}\text{Ar}^{7+}$ и $^{22}\text{Ne}^{4+}$ с интенсивностями ($5 \cdot 10^{11}$ - $5 \cdot 10^{12}$) с^{-1} и энергиями (1,1-1,2) МэВ/нуклон, а также ионами $^{35}\text{Cl}^{4+}$ с энергией 0,5 МэВ/нуклон и интенсивностью $6 \cdot 10^{12}$ с^{-1} . Суммарная потребляемая мощность составляет около 150 кВт.

Созданный имплантатор ИЦ-100 является первым в мире ускорителем циклотронного типа, предназначенным для проведения прикладных исследований на пучках тяжелых ионов. Он отличается компактностью, надежностью в работе, простотой в управлении и является абсолютно безопасным в отношении радиации. Имплантатор ИЦ-100 может послужить основой при разработке целой серии подобных машин, для размещения которых требуется не более 150 м^2 площади без дополнительной биологической защиты.

Заключение

=====

Анализ современного состояния научно-технического направления, связанного с разработкой и применением ядерных мембран, показывает, что в этой области наблюдается быстрый прогресс как в количественном, так и качественном отношении. Сейчас определился ряд отраслей, где использование ядерных мембран особенно эффективно. Ядерные мембраны с порами порядка 0,5 - 1 мкм широко применяются для аналитических целей в физико-химических исследованиях, биологических, медицинских экспериментах. Мембраны с диаметрами отверстий 0,1 - 0,2 мкм идут на изготовление фильтров тонкой очистки технологических сред в производстве полупроводниковых приборов. Наиболее тонкопористые структуры ($< 0,1$ мкм) находят важные применения в технике глубокой очистки газов и в микробиологической промышленности. Потребность в ядерных мембранах будет быстро расти. В связи с этим представляются весьма важными разработка и создание специализированных ускорителей, способных обеспечить массовое производство высококачественного фильтровального материала.

Литература

1. Флеров Г.Н. Вестник АН СССР, 1984, N 4, с.35.
2. Физика тяжелых ионов - 85. ОИЯИ, Р7-86-322, Дубна, 1986.
3. GSI scientific report 1986. GSI-87-1. Darmstadt, 1987.
4. Gregoire C. Preprint GANIL p.84.03, Caen, 1984, pp.1-154.
5. Флейшер Р.Л., Прайс П.Б., Уджер Р.М. Треки заряженных частиц в твердых телах. М., Энергоиздат, 1981.
6. Price P.B., Walker R.M. Pat. USA No.3303085, 1962.
7. Catalog Lab 50. Nuolepore Corporation, Pleasanton, 1980, pp.1-80.
8. Флеров Г.Н., Барашенков В.С. Успехи физических наук, 1974, 114, с.351.
9. Акальев Г.Н., Барашенков В.С., Самойлова Л.И. и др. Деп. публ. ОИЯИ Б1-14-8214, Дубна, 1974.
10. Benton E.V., Nix W.D. Nucl. Instrum. & Meth., 1969, 67, p.343.
11. Lueck H.B. Nucl. Instrum. & Meth., 1974, 114, p.139.
12. Katz R. Nucl. Tracks, 1983, 7, p.31.
13. Somogui G., Grabish K., Soherzer R. et al. Nucl. Instrum. & Meth., 1976, 134, p.129.
14. Апель П.В., Третьякова С.П. Приборы и техн. экспар., 1980, N 3, с. 58.

15. Апель П. Ю., Кузнецов В. И., Житарюк Н. И. и др. Коллоидн. журн., 1985, 47, с.3.
16. Кузнецов В. И., Апель П. Ю., Самойлова Л. И. В кн.: 4 Совещание по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. ОИЯИ, P18-82117, Дубна, 1982, с.129.
17. Crauford W.T., DeSorbo W., Humphrey J.S. Nature, 1968, 220, p.1313.
18. Tretyakova S.P. et al. In: Proc. 10th Intern. Conf. on SSNTD's. Pergamon Press, Oxford, 1980, p.283.
19. Люк Г.-Б. и др. В кн.: Совещание по использованию ядерных фильтров для решения научно-технических и народнохозяйственных задач и радиационному материаловедению. ОИЯИ, P18-86-110, Дубна, 1986, с.37.
20. Lueck H.V. Nucl. Instrum. & Meth., 1983, 213, p.507.
21. Shelaev I.A. et al. In: Proc. 6th Int. Cycl. Conf., New York, 1972, p.232.
22. Флеров Г.Н., Воробьев Е.Д., Кузнецов В.И. и др. Ат. энергия, 1982, 53, N 3, с.181.
23. Апель П. Ю., Коликов В. М., Кузнецов В. И. и др. Коллоидн. журн., 1985, 47, N 4, с.772.
24. Vieth C. В кн.: Труды 10-го всеос. совещания по ускорителям заряженных частиц. т.2, ОИЯИ, ДР-87-105, Дубна, 1986, с.124.
25. Spohr R. Nucl. Tracks, 1980, v.4, No 2, 101.
26. Флеров Г.Н. и др. В кн.: Труды 10-го всеос. совещания по ускорителям заряженных частиц. т.2, ОИЯИ, ДР-87-105, Дубна, 1986, с.131.
27. Northcliffe L.C., Shilling R.F. Nucl. Data Tables, 1970, A7, p.4-236.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 сентября 1988 года.

Флеров Г.Н. и др.
Использование ускорителей тяжелых ионов для изготовления ядерных мембран

P7-88-696

Исследован круг основных проблем, связанных с использованием ускорителей тяжелых ионов для изготовления ядерных мембран - нового вида полимерных микро- и ультрафильтрационных материалов. Задача получения пористых структур с заданными параметрами анализируется на основе результатов, накопленных в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в процессе разработки ядерных мембран из полиэтилентерефталата. Показана взаимосвязь между эксплуатационными параметрами ядерных мембран /толщиной, диаметром и плотностью пор, их формой, разбросом диаметров/ и характеристиками ионных пучков, применяемых для облучения полимерных пленок. Рассмотрены важнейшие физико-химические закономерности процессов сенсбилизации и химического травления треков тяжелых ионов в полимере. Дан краткий обзор работ по ядерным мембранам, проводимых на ускорителях тяжелых ионов в зарубежных научных центрах. Рассмотрена проблема создания специализированных ускорителей многозарядных ионов для прикладных исследований.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Перевод О.С.Виноградовой

Flerov G.N. et al.
The Use of Heavy Ion Accelerators for the Production of Nuclear Track Membranes

P7-88-696

The class of problems related to the use of heavy ion accelerators for the production of nuclear track membranes, a new type of polymer micro- and ultrafiltration material, is considered. The problem of forming a porous structure with required parameters is analysed on the basis of the experience gained in the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR, when developing the nuclear track membranes from polyethylene terephthalate. The relationship between technical parameters of membranes (thickness, diameter and density of pores, pore shape, straggling of pore size) and characteristics of ion beams used for irradiation of polymer films is shown. The most important physical and chemical phenomena accompanying the processes of track sensibillization and etching in polymers are discussed. A brief survey of the works on nuclear track membranes which are in progress in foreign scientific centres is given. The problem of elaboration of specialized multicharged-ion accelerators for applied investigations is considered.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear reactions, JINR.
Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988