

PACS: 61.80.Jh; 61.82.Pv  
УДК 541.15

## Способ определения порога регистрации треков высокоэнергетических ионов полимерными пленками

И.В. Воробьева<sup>1</sup>, Б.В. Зайцев<sup>2</sup>, А.Ф. Кобец<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный университет им. Каразина  
Украина, 61077, г. Харьков, пл. Свободы, 4

<sup>2</sup>Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт"  
Украина, 61108, г. Харьков, ул. Академическая 1

Методами оптической микроскопии сравнивается формирование треков ионов Ar и N с энергией 1 МэВ/нукл в ПЭТФ (полиэтилентерефталат) пленках. Исследованы слоистые образцы, составленные из пленок различной толщины. Установлено, что ионы Ar формируют треки вдоль всей траектории движения. Ионы N на начальном отрезке пути, составляющем около 30% полного пробега, не формируют травимых треков. Это связано с тем, что на этом отрезке пути энергетические потери ионов N меньше порога регистрации треков ПЭТФ пленками. Предложен способ определения порога регистрации высокоэнергетических ионов полимерными пленками, основанный на облучении и травлении слоистых образцов.

Методами оптичної мікроскопії порівнюється створення треків іонів Ar та N з енергією 1 МэВ/нукл в ПЕТФ (поліетилентерефталат) плівках. Зразки мали шарувату структуру і склалися із плівок, що мали різну товщину. Встановлено, що іони Ar утворюють треки вздовж усієї траєкторії руху. Іони N на початковій стадії руху, що складає понад 30% загального відрізка шляху, не створюють травимих треків. Це пов'язане з тим, що енергетичні втрати іонів N на цьому відрізку шляху менші ніж поріг реєстрації треків ПЕТФ плівками. Запропановано спосіб встановлення порогу реєстрації високоенергетичних іонів полімерними плівками, зоснований на дослідженні шаруватих зразків.

Comparison of Ar and N ion tracks formation in the polyethyleneterephthalate (PETF) films were made by method of optical microscopy. The energy of both ion kinds was of 1 MeV/u. Samples have the layered structure. It was established that tracks are formed by Ar ions along all path of their trajectory. The N ions create no tracks on the initial path of trajectory. The length of that path is about 30% of full trajectory length. It is connected with the fact that the N ion energy loss on the initial path part is smaller than the track formation registration lever in PETF. The method of determination of the track formation registration level in polymer films are suggested.

Различные типы полимерных пленок применяются в качестве детекторов высокоэнергетических ионов и в последние годы на их основе получают уникальные трековые мембраны с диаметрами отверстий, изменяющимися в пределах от нескольких десятков ангстрем до микрон. Наиболее часто используется полиэтилентерефталат (ПЭТФ), т.к. этот материал характеризуется достаточной прочностью и удобством обработки. ПЭТФ пленки относятся к трековым детекторам, хорошо регистрирующим ионы различных масс и энергий. При получении трековых мембран наиболее часто облучение проводится высокоэнергетическими тяжелыми ионами типа ионов Xe [1-4]. Методика травления и сенсibilизации трекв этих ионов в ПЭТФ пленках хорошо исследована. Однако использование ионов Xe делает процесс получения трековых мембран достаточно дорогостоящим. В последние годы выполнены

работы, в которых показано, что высокоэнергетические ионы Ar также могут успешно применяться для изготовления мембран с диаметрами пор  $\leq 0.1$  мкм [5-6]. Т.к. ускорение ионов Ar гораздо менее энергоёмкий процесс, стоимость мембран должна существенно уменьшиться. Взаимодействие с ПЭТФ пленками более лёгких, чем Ar, ионов практически не исследовано.

В данной работе исследуется формирование травимых трекв в ПЭТФ пленках, облученных ионами N. Мы сравнивали условия формирования травимых трекв ионов N и Ar. Ионы Ar выбраны потому, что они являются одним из наиболее легких типов ионов, используемых для производства трековых мембран.

### Методика эксперимента

ПЭТФ пленки последовательно облучались коллимированными потоками ионов N и Ar с энергией 1 МэВ/нукл на Харьковском линейном ускорителе

тяжелых ионов. Доза облучения ионами  $N$  была  $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ , ионами  $Ar$  –  $10^6 \text{ см}^{-2}$ . Образцы бутербродного типа состояли из контактирующих друг с другом пленок различной толщины. Использовались пленки толщиной 3, 6 и 10 мкм, из которых составлялись образцы с различной комбинацией толщин контактирующих пленок. После облучения образцы протравливались в 5N растворе  $NaOH$  при  $T = 55^\circ\text{C}$  в течение 1 часа. Поверхности протравленных пленок исследовались на оптическом микроскопе МИМ-10.

### Результаты и обсуждение

Для описания полученных результатов достаточно рассмотреть два типа образцов: первый состоял из пленок толщиной 3, 3 и 6 мкм, второй – 3, 3, 3 и 6 мкм. Все остальные комбинации толщин пленок (3, 6, и 10 мкм; 6 и 10 мкм; 3, 3 и 10 мкм; 3, 3, 3, 3 мкм) дали аналогичные результаты.

Схемы облученных образцов и протравившихся на их поверхностях треков показаны на рис 1(а, б). Ионы  $Ar$  показаны жирными линиями, ионы  $N$  – более тонкими. Треугольными канавками показаны протравившиеся треки. Установлено, что на (а) и (б) поверхностях всех образцов протравились только треки ионов  $Ar$ . Фотографии этих треков показаны на рис. 2. На поверхностях (в), кроме ямок травления на треках ионов  $Ar$ , появилось небольшое количество более мелких ямок травления треков ионов  $N$ . На поверхностях (г) и (д) обеих образцов протравились все треки ионов  $Ar$  и  $N$ . Их плотность соответствует плотности, заданной дозой облучения. Фотографии протравленных треков показаны на рис. 3. На поверхности (е) (рис. 1а) не протравились ни треки ионов  $Ar$ , ни треки ионов  $N$ . На поверхности (е) (рис. 1б) протравились все треки ионов  $N$  и около половины треков ионов  $Ar$ . На поверхности (ж) (рис. 1б) протравлено до 80% треков ионов  $N$  и отсутствуют треки ионов  $Ar$ . На поверхности (з) (рис. 1б) не протравились ни треки ионов  $Ar$ , ни треки ионов  $N$ .

Анализируя все образцы с различными комбинациями толщин пленок, мы установили, что ионы  $Ar$  с энергией 1 МэВ/нукл имеют в ПЭТФ пленках пробег  $\approx 9 \text{ мкм}$  и формируют травимые треки вдоль всего своего пробега. Ионы  $N$  той же энергии имеют пробег  $\approx 10 \text{ мкм}$ . Основной полученный результат состоит в том, что в начале пробега ионы  $N$  не формируют травимых треков. Треки этих ионов начинают травиться только после того, как ионы потеряют часть своей энергии, пройдя в объеме пленки расстояние  $\geq 3 \text{ мкм}$ . Объяснить этот результат можно следующим образом. Известно, что каждый детектор характеризуется своим значением порога регистрации (чувствительности) – минимальными энергетическими потерями, которые должен произвести данный ион в данном детекторе, чтобы треки этого иона были зарегистрированы. На рис. 4 показаны зависимости ионизационных потерь

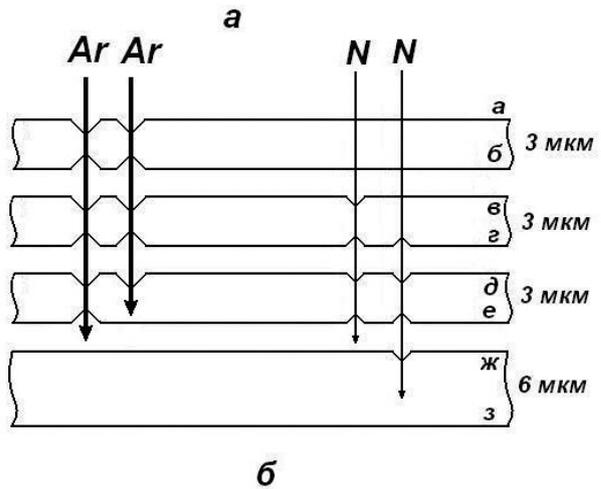
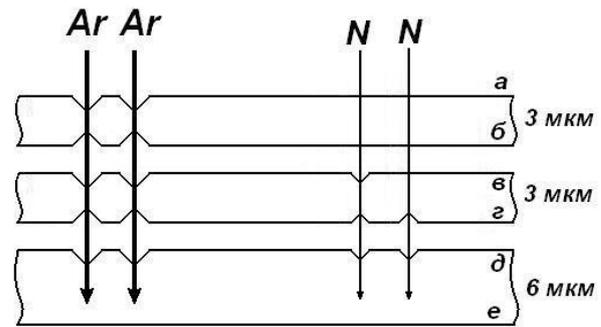


Рис. 1. Схематическое изображение двух слоистых образцов, облученных ионами  $Ar$  и  $N$ . Образец (а) состоял из двух пленок толщиной 3 мкм и одной пленки толщиной 6 мкм. Образец (б) состоял из трех пленок толщиной 3 мкм и одной пленки толщиной 6 мкм. Жирными стрелками показаны траектории движения ионов  $Ar$ . Более тонкими стрелками – ионов  $N$ . Канавки на поверхности пленок показывают протравившиеся треки.

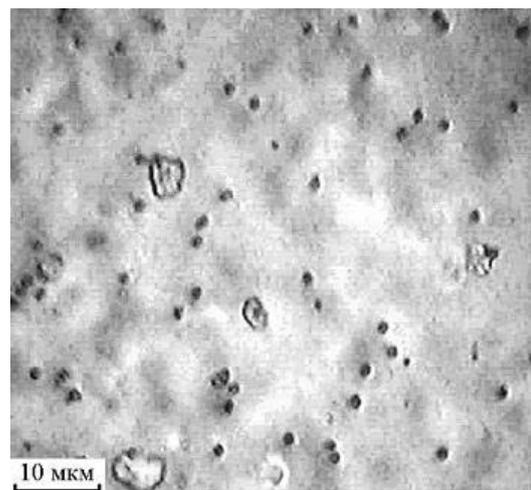


Рис. 2. Протравленные треки ионов  $Ar$  на поверхности (а) трехслойного образца, показанного на рис 1а.

различных ионов в различных детекторах от энергии и скорости ионов [7]. Пунктирными горизонтальными линиями показаны пороги регистрации треков в этих

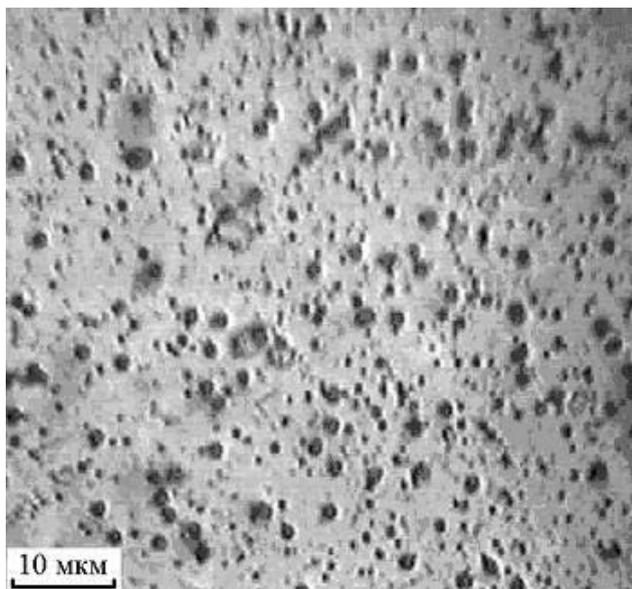


Рис. 3. Треки ионов *Ar* (крупные) и *N* (мелкие) на поверхности (г) четырехслойного образца, показанного на рис 1б.

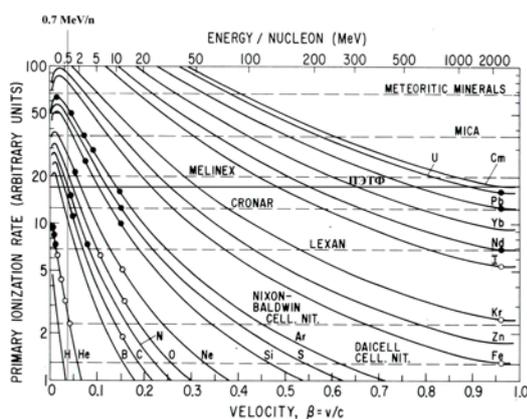


Рис. 4. Зависимости ионизационных потерь от энергии и скорости различных ионов [7]. Пунктирными горизонтальными линиями показаны пороги регистрации треков в различных детекторах. Сплошной горизонтальной линией показан порог регистрации треков ПЭТФ пленками.

детекторах. Отсутствие треков на первых трех микронах пути ионов *N* в ПЭТФ пленках свидетельствует о том, что энергетические потери, производимые этими ионами на начальном отрезке пути, меньше потерь, необходимых для создания травимых треков, т.е. ниже порога регистрации. Для определения значения порога регистрации треков в ПЭТФ пленках мы воспользовались зависимостью пробега ионов *N* в полиэтилентерефталате от их энергии [8]. Из [8] следует, что после 3 микрон пробега энергия ионов *N* уменьшится до  $\approx 0.7$  МэВ/нукл. Тогда значение порога регистрации треков в ПЭТФ пленках будет таким, как показано на рис. 4 сплошной горизонтальной линией. Видно, что ионы *Ar* с энергией 1 МэВ/нукл,

имеющие в момент влета энергетические потери выше порога регистрации, создают травимые треки вдоль всей траектории своего движения. Ионы *N* такой же энергии в начале пробега производят энергетические потери ниже порога регистрации. Эти ионы начинают создавать травимые треки только после того, как их энергетические потери становятся выше потерь, соответствующих порогу регистрации, т.е. после 3 микрон пробега.

Таким образом, в работе найден простой способ определения порога регистрации треков высокоэнергетических ионов полимерными пленками, основанный на использовании слоистых образцов. Ранее порог регистрации определялся в результате длительных экспериментов, основанных на облучении детекторов ионами различных масс и энергий. Варьируя энергию ионов, определяли ту энергию, при которой данные ионы создают в данном детекторе травимые треки [7]. Использование слоистого образца позволяет определить порог регистрации в результате только одного облучения. Результат будет более точным при использовании как можно менее тонких слоев. Также установлено, что ионы *N* создают травимые треки только тогда, когда их энергия  $\leq 0.7$  МэВ/нукл. Ионы такой энергии имеют пробег  $\approx 7$  мкм. Это определяет максимальную толщину фильтра, который можно получить при облучении ПЭТФ пленок ионами *N*.

## Выводы

1. Ионы *Ar* с энергией 1 МэВ/нукл формируют треки вдоль всей траектории движения в ПЭТФ пленках. Ионы *N* такой же энергии на начальном отрезке пути, длина которого составляет  $\approx 30\%$  полного пробега, не формируют травимых треков. Это связано с тем, что на этом отрезке пути энергетические потери ионов *N* меньше порога регистрации треков ПЭТФ пленками.
2. Предложен способ определения порога регистрации высокоэнергетических ионов полимерными пленками, основанный на облучении и травлении слоистых образцов.

1. Г.Н. Флеров, П.Ю. Апель, А.Ю. Дидык, В.И. Кузнецов, Р.Ц. Оганесян, Препринт ОИЯИ, Р7-88-696, Дубна (1988).
2. P. Apel, A. Shulz, R. Spohr, C. Trautmann, V. Vutsadakis, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 146, 468 (1998).
3. Z. Zhu, Y. Maekawa, H. Koshikawa, Y. Suzuki, N. Yonezawa, M. Yoshida, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 217, 449 (2004).
4. P.Yu. Apel, S.N. Dmitriev, D. Root, V.A. Vutsadakis, Particles and Nuclei, Letters, 4, 69 (2000).
5. M.T. Bryk, A.F. Kobets, A. Kryshchal, I.V. Vorobyova, B.V. Zaitsev, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 251, 419 (2006).

6. V.A. Bomko, A.F. Burban, A.F. Kobets, A. Kryshtal, I.V. Vorobyova, B.V. Zaitsev, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 266, 256 (2006).
7. R.L. Fleisher, Corporate Research and Development, Technical Information Series, Schenectady, New York (1978).
8. J.F. Ziegler, J.P. Biersack, U. Littmark, "The Stopping and Range of Ions in Matter", Pergamon Press, New York (1985).