

1323



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В.П. Перелыгин, С.П. Третьякова, И. Звара

1323

РЕГИСТРАЦИЯ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР
С ПОМОЩЬЮ АМОРФНЫХ СРЕД,
СОДЕРЖАЩИХ SiO_2

Дубна 1963

В.П. Перелыгин, С.П. Третьякова, И. Звара

1323

РЕГИСТРАЦИЯ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР
С ПОМОЩЬЮ АМОРФНЫХ СРЕД,
СОДЕРЖАЩИХ SiO_2

Направлено в ПТЭ

Дубна 1963

В 1959 году обнаружено, что осколки деления ядер производят в слюде^{/11/} и тонких пленках UO_2 ^{/12/} нарушения структуры, видимые в электронный микроскоп. Эти нарушения структуры имеют форму темных треков в случае слюды и пустотелых каналов в случае UO_2 , шириной = 100.Å и длиной порядка нескольких микрон. Образование таких следов в твердых средах обусловлено большими удельными потерями энергии осколков от деления ядер. Следует отметить, что видимые в электронный микроскоп треки осколков деления имеют длину, меньшую чем пробег осколков в этих средах. Порог регистрации осколков деления составляет = 1000 электронвольт на ангстрем для UO_2 ^{/13/}.

Частицы, имеющие удельные потери энергии меньше этой величины, не могут быть зарегистрированы с помощью данного метода. Это обстоятельство позволяет производить регистрацию осколков деления ядер в условиях очень большого фона γ -лучей, нейтронов, протонов, α, β -частиц.

Правдюком и Голяновым^{/4,5/} были проведены более подробные исследования механизма воздействия осколков деления на тонкие пленки металлов, изготовленные по методу кадотного распыления. Благодаря этому, были измерены диаметры каналов на разных участках траекторий осколков в различных средах, а также удалось дискриминировать тяжелый и легкий осколки.

Важным результатом, полученным авторами^{/4,5/}, явилось установление факта образования пустотелых каналов в аморфных и кристаллических слоях с диаметром зерен меньше 50 Å. Авторы отмечают, что такие каналы не наблюдались в слоях металлов с размерами кристаллов свыше 100 Å.

Итак, было показано, что возможна непосредственная регистрация осколков деления ядер по нарушениям структуры, производимым в тонких пленках. Однако трудоемкость просмотра по площади на электронном микроскопе, а также необходимость применения тонких слоев вещества ограничивают возможности данной методики для ядерных исследований.

Прайс и Уокер^{/6,7/} в 1962 году предложили усиливать треки, образованные осколками деления в слюде, с помощью травления в растворах плавиковой кислоты.

Благодаря такой процедуре, им удалось добиться увеличения диаметров следов осколков деления до микрона при длине до пяти микрон. Такие следы можно легко наблюдать в обычный оптический микроскоп.

Созданная Прайсом и Уокером методика отличается большой простотой и доступностью, нечувствительна к фону легких заряженных частиц^{/17/}. Однако применение природной слюды в качестве детектора ограничено ее собственным фоном, обусловленным спонтанным делением урана за геологические промежутки времени. Этот фон обычно равняется = 100 следов $см^2$ и не бывает ниже 10 следов на $см^2$.

Целью настоящих опытов было расширить область применения этой методики на

аморфные среды, содержащие SiO_2 , такие, как стекла, фарфоры, керамики, минералы. Осколки деления производят в таких средах разрушение химических связей и образование каналов вдоль траекторий.

Облученные осколками деления аморфные среды подвергались травлению в растворах плавиковой кислоты.

В результате такого травления на поверхностях всех испытанных образцов появлялись углубления конической формы с четко выраженными вершинами; их глубина достигала 4-6 мк.

На рис. 1 изображены конические углубления, образованные на облученной осколками поверхности обычного стекла при травлении в 5-процентном растворе плавиковой кислоты в течение 10 мин при температуре $18^\circ C$.

Конические углубления вытянутой формы соответствуют малым углам погружения осколков в среде. Более темные круглые углубления соответствуют углам погружения, близким к 90° .

При продолжении травления конические углубления переходят в чечевицеобразные, а их диаметр возрастает до десятков микрон. Поскольку стекло имеет аморфную структуру, одновременно с образованием конических углублений идет процесс травления всей поверхности стекла.

На рис. 2 изображена зависимость процесса травления для фотостекла (ГОСТ 683-52) от времени и концентрации плавиковой кислоты при температуре $19^\circ C$.

Значком ϕ обозначены кривые возрастания диаметров конических углублений, значком Δ - кривые изменения толщины слоев, удаляемых с поверхности при травлении.

Из этих кривых видно, что скорости увеличения диаметров углублений и скорости травления поверхностей примерно совпадают.

Наиболее благоприятным в отношении формы конических углублений и времени обработки является режим обработки в 2,5-процентной плавиковой кислоте.

Размеры конических углублений при этой концентрации для удобства наблюдения следует доводить до 7-8 мк.

Аналогичная картина наблюдается на кварцевом стекле, фарфоре. Единственным условием для регистрации осколков от деления ядер с помощью аморфной среды является наличие гладкой поверхности (с неровностями порядка долей микрона) без посторонних включений, иначе травление приводит к образованию структур, мешающих наблюдению конических углублений. Полученные при травлении аморфных сред конические углубления удобно наблюдать с помощью обычных биологических или металлографических микроскопов (например, МБИ-3 или МИМ-7).

Благодаря большим размерам этих углублений, при просмотре по площади можно использовать увеличения 100-200X, что в несколько раз ускоряет поиски актов спонтанного деления ядер по сравнению с ядерными фотоэмульсиями.

Для целого ряда задач, например поисков очень редких событий, необходимо иметь

представление о собственном фоне метода. С этой целью нами был предпринят просмотр 10^3 см^2 поверхности стекла, обработанного указанным выше способом. На этой площади не было обнаружено следов, образованных осколками от деления ядер.

Регистрацию актов спонтанного деления необходимо производить в условиях фона тепловых и быстрых нейтронов. С этой целью мы произвели облучение двух образцов по 10 см^2 потоком тепловых и быстрых нейтронов соответственно 10^9 и 10^{10} нейтр./ см^2 . На этих образцах также не было найдено следов от осколков деления, что соответствует содержанию урана менее 0,5 микрограмма на 1 см^3 стекла.

Таким образом, данная методика обладает очень малым фоном. Нами исследовалось также влияние нагревания стекла на способность следов от осколков деления к проявлению при травлении. Стеклопластинка, облученная осколками деления U^{235} , разрезалась на части, которые подвергались нагреву различной продолжительности. Одна часть оставлялась в качестве контрольного препарата при комнатной температуре. Полученные результаты приведены в таблице № 1.

Эти данные показывают, что применяемый нами сорт стекла может быть использован для регистрации осколков деления при температуре до 200° без существенного ухудшения эффективности регистрации и различимости следов. При более высоких температурах регистрация становится малоэффективной, а измерение малых эффектов - мало надежным. В этом случае углубления, получаемые при травлении, по величине и форме мало отличаются от структурных образований на поверхности травленного стекла и от формы частиц загрязнений.

Для изучения влияния окружающей среды на каналы от осколков деления облученное стекло до травления сохранялось при комнатной температуре и относительной влажности = 70% 3,5 месяца. Затем стекло обрабатывалось в 2,5-процентном HF при $20^\circ C$ 23 минуты и просматривалось под микроскопом. Измерения показали, что за данное время никаких изменений как по количеству, так и по качеству лунок не произошло.

Для всевозможных количественных измерений необходимо знать эффективность регистрации актов деления ядер с помощью данного метода. Эта эффективность была определена с помощью ядерных фотоэмульсий. К имеющемуся в нашем распоряжении тонкому препарату юрия помешались на определенное время фотопластинки и стекла. Затем, после соответствующей обработки, на фотопластинках и стеклах производился подсчет числа следов осколков.

На фотопластинках было зарегистрировано за 1 час 485 следов осколков. Эффективность регистрации актов деления фотоэмульсиями для данного препарата равнялась $(50 \pm 10)\%$. На стекле за то же время было найдено 385 следов, т.е. около 80% от числа, зарегистрированного с помощью фотоэмульсий.

Таким образом, эффективность регистрации деления ядер с помощью данного метода достигает $(40 \pm 10)\%$ от полного числа актов спонтанного деления для тонкого препарата делящегося вещества.

Настоящая методика отличается нечувствительностью к фону заряженных частиц вплоть до частиц с удельными потерями 2,5 Мэв/мк для стекла.

Основным преимуществом методики регистрации деления ядер с помощью аморфных сред, содержащих SiO_2 , по сравнению со слюдяными детекторами является практически полное отсутствие фона.

Благодаря этому, данная методика может быть применена при измерениях периодов полураспада спонтанно делящихся ядер, при определении сечений деления ядер легкими частицами, для измерения потоков тепловых и быстрых нейтронов и определения содержания малых количеств урана и тория в различных веществах.

Гросмотр стеклянных пластинок и поиски конических углублений, имеющих размеры $\sim 5-10$ мк, существенно легче, чем поиски следов осколков деления в слюде, и может производиться с большой скоростью при увеличении 100-150 на обычных биологических микроскопах.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность члену-корреспонденту АН СССР Г.Н.Флерову за помощь, постоянное внимание к работе и полезные советы.

Авторы благодарят старшего лаборанта Т.И.Рыбакову, выполнившую значительную часть измерений.

Т а б л и ц а № 1

Режим термической обработки		Характер проявления следов		Режим травления температура 20°C	
Температура °C	Продолжительность часы	Средний диаметр углублений	Количество	Концентрация %	Время мин.
180°	0	7,0	Число следов 365		
	6	5,2	Число следов 244; хорошо различимы	2;5	20
	0	9,0	Число следов 365		
	6	7,0	Число следов 243	2,5	25
350	0	6,5	Число следов резко падает, несмотря на большую продолжительность травления. Следы трудно различимые, плоские углубления	5	10
	1	5,2		5	15
	3	4,5			
	8	-			
650	0	6,0		5	7
	1	-	Сохраняются отдельные следы, диаметр углублений 1-1,5 мк, почти не различимы от структурных форм травленной поверхности стекла		
	3	-			
	4	-			

Л и т е р а т у р а

1. E.C.H.Silk, R.S.Barnes. Phil. Mag, Y.4, N44, p.971 (1959).
2. I.O. Stiegler, T.S.Noggle. Bull. Am. Phys. Soc., ser. II, 4, 141 (1959).
3. T.S.Noggle, I.O. Stiegler. Journ. Appl. Phys. Y.31, N12, 1299 (1960).
4. Н.Ф. Правдюк, В.М. Голянов. Properties of Reactor Materials and the Effects of Radiation Damage, Butterworths 88, Kingsway London, p.160 (1961).
5. Н.Ф. Правдюк, В.М. Голянов. Radiation Damage in Solids. International Atomic Energy Agency, Vienna, p. 333 (1962).
6. P.B.Price, R.M.Walker. Phys. Rev. Letters, Y.8, N5, 217 (1962).
7. P.B.Price, R.M.Walker. Phys. Letters, Y.3, N3, 113 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
8 июня 1963 года.

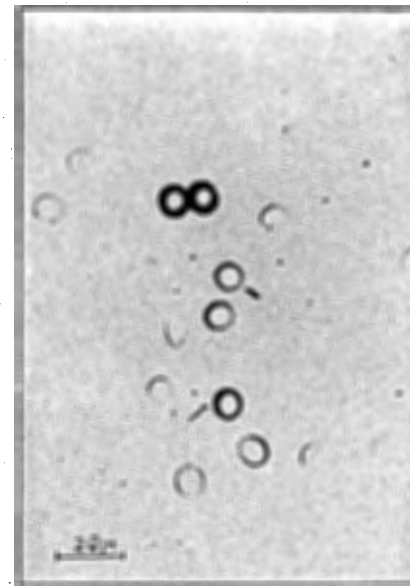


Рис. 1. Углубления конической формы, образованные при травлении облученной осколками деления стеклянной поверхности в 5-процентной плавиковой кислоте в течение 10 мин при 18°C.

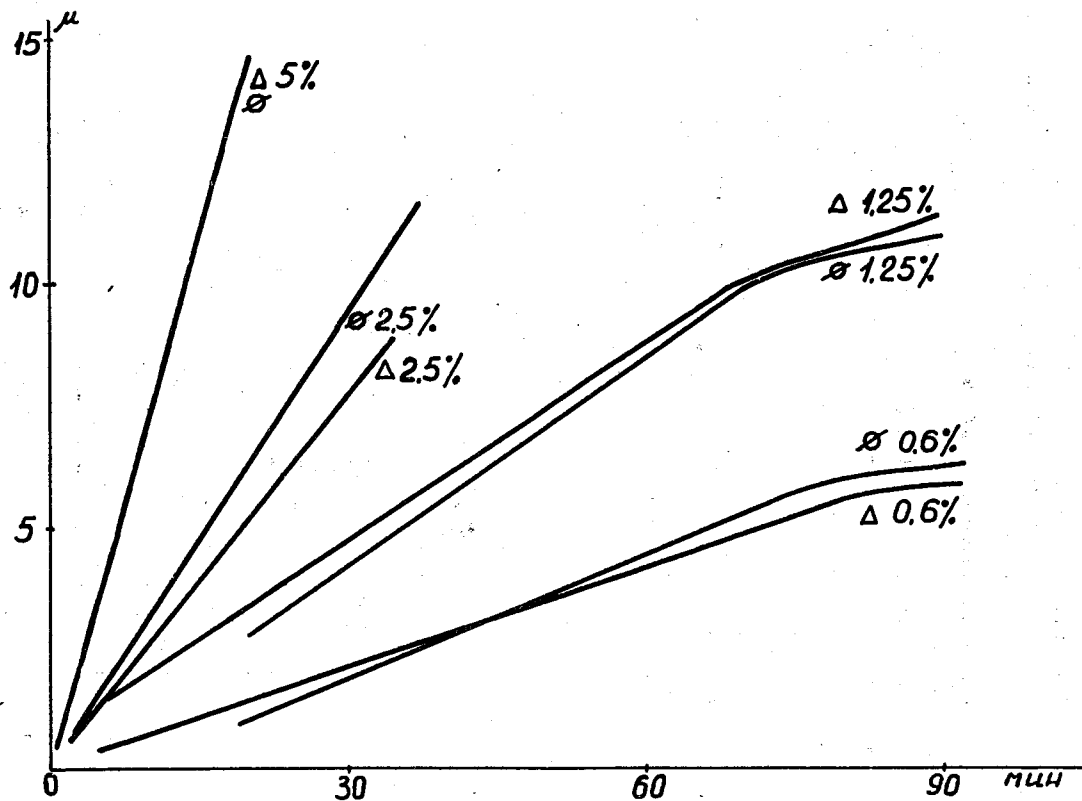


Рис. 2. Скорости травления поверхностей (Δ) и увеличения диаметров следов от осколков деления (ϕ) в зависимости от концентрации плавиковой кислоты при температуре 19°C .