

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

95-237

P7-95-237

Р.И.Петрова, В.П.Перелыгин,
А.Б.Акопова*, М.М.Гогорян*

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ
ВЫЯВЛЕНИЯ ТРЕКОВ ТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР
В КРИСТАЛЛАХ ОЛИВИНА ИЗ МЕТЕОРИТОВ

Направлено в журнал «Метеоритика»

*Ереванский физический институт

1995

Поиск тяжелых и сверхтяжелых ядер в кристаллах оливина палласитов из метеоритов Марьялахти, Eagle Station, Липовский Хутор и других представляет собой одно из перспективных направлений исследований зарядового и энергетического спектров галактических космических лучей (ГКЛ), преимуществом которого является длительное время экспозиции минералов, достигающее десятков, сотен миллионов лет.

Проводимые с 1973 г. в рамках широкого международного сотрудничества опыты по выявлению и идентификации треков наиболее тяжелых ядер галактического происхождения базируются на прямой пропорциональности атомного номера Z таких ядер и травимой длины треков, полностью заключенных в объеме оливина (VETL) [1,2]. Однако устойчивость результатов, основанных на идентификации атомных номеров Z группы наиболее тяжелых космических ядер по травимым длинам в объеме кристаллов, зависит не только от калибровок этих кристаллов ускоренными ядрами, но и от условий травления треков [3].

Здесь наиболее важное значение имеют выбор оптимального режима и условий выявления треков, а также исследования устойчивости и воспроизводимости результатов в течение многомесячного эксперимента, связанного с обработкой и просмотром кубических см кристаллов оливина, содержащих многие тысячи треков ядер с $Z \geq 50$. Важность этой проблемы подчеркнута в работах [3–5], где авторы исследовали эволюцию выявления треков ядер с $Z \geq 50$ (VETL) в объеме кристаллов оливина в зависимости от времени травления и места пересечения искусственной щели с непроявленным треком.

Здесь уместно вспомнить, что первые исследования треков галактических космических ядер были выполнены еще в 1964 году, когда авторы [4], используя попеременное травление оливинов из Eagle Station в растворах HF и NaOH, впервые обнаружили большое число треков ядер группы железа в этом метеорите. Но малая избирательность этой процедуры травления не позволяла проводить детальные исследования треков в оливинах из метеоритов.

В 1971 году Кришнасвами и др. [5] предложили многокомпонентный травитель, впервые обеспечивший выявление протяженных треков в кристаллах оливина (WO). Состав этого травителя — 40 г трилона Б, 1 см³ 80% ортофосфорной кислоты, 1 г щавелевой кислоты на 100 см³ раствора. Значение pH этого раствора доводилось до 8,0 постепенным добавлением таблеток NaOH при постоянном потенциометрическом контроле. Авторы [5] осуществили травление оливинов в кипящем растворе в течение 2–8 ч.

Недостатком предложенной процедуры было постепенное испарение раствора, что приводило к изменению его состава, а следовательно, и его травящих свойств. Дальнейшее улучшение условий выявления протяженных треков в оливинах из метеоритов было связано с увеличением концентрации щавелевой кислоты от 1 до 4 г на 100 см³ раствора и использованием процедуры травления в герметически замкнутых объемах, что препятствовало испарению исходного раствора при травлении в течение 1–10 суток [2].

Целью настоящей работы явилось более детальное исследование травящих свойств этого раствора в зависимости от pH травителя.

Экспериментальная часть

Для проведения этой работы нами отбирались кристаллы оливина из метеоритов Марьялахти и Eagle Station, расположенные на глубине не более 6–7 см от их первоначальной (доатмосферной) поверхности. Кристаллы содержат более $3 \cdot 10^6$ треков/см² ядер группы Fe (длины треков $2 \leq \ell \leq 15$ мкм) и до $2 \cdot 10^4$ тр./см² ядер с $Z \geq 36$. Размеры кристаллов были от 1,5 до 4 мм в диаметре. Они монтировались в виде таблеток в эпоксидную смолу, шлифовались и полировались.

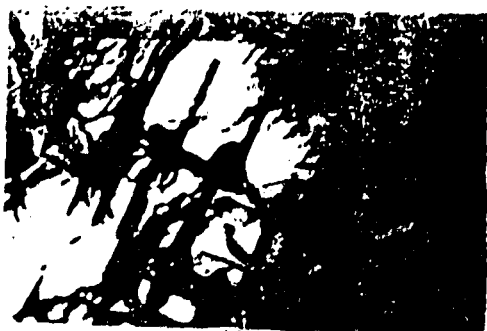
Для более точного воспроизведения данных о соотношении скоростей травления вдоль следа тяжелого ядра и скорости травления поверхности $V_{\text{тр}}/V_{\text{пов}}$ нами использовались оливины из метеорита Марьялахти, калиброванные ускоренными ядрами свинца—

208 с энергией 17,14 МэВ/п. Калибровка оливинов ядрами ^{208}Pb проводилась на внешнем пучке ускорителя UNILAC (GSI, Дармштадт). Угол вхождения этих ядер к поверхности составлял 30° , каждый кристалл облучался дважды во взаимно перпендикулярных (по азимутальному углу) направлениях. Интенсивность была в пределах $5 \cdot 10^5 - 5 \cdot 10^6$ тр/см² для каждого из двух направлений облучения.

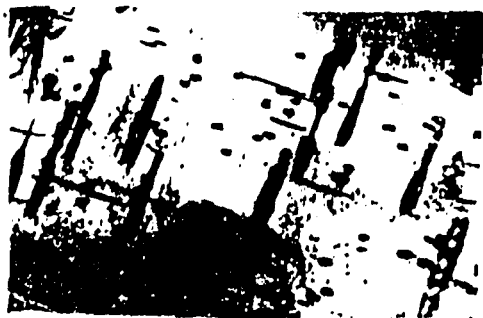
Для травления этих кристаллов значения pH травителя были выбраны равными pH=7,3; 7,6; 7,8; 7,85; 7,95; 8,0; 8,2; 8,4; 8,88; 9,0; 9,42; 9,8 с точностью $\pm 0,05$. Каждый травитель выдерживали в течение двух недель и повторно контролировали его pH. Травление проводили в герметически замкнутых тefлоновых сосудах при $t^\circ = 100 \pm 4^\circ\text{C}$ в течение 1—48 ч. При pH < 8 треки шириной 6—8 мкм протравливались при этой температуре за: 5—10 ч, а при температуре 90—95°C — за несколько суток, т.е. повышение температуры значительно ускоряет процесс травления. При 150°C такие треки получаются за 3 часа, но ухудшается качество поверхности кристаллов: расширяются трещины, выпадают кристаллы из эпоксидной матрицы. После завершения каждого этапа травления в кристаллах измеряли длины и ширины не менее 10 треков на каждом образце и определяли среднее значение скорости травления $V_{\text{тр}} = \frac{2\ell}{d}$, где ℓ — выявленная средняя длина треков, d — их средний диаметр. При увеличении длительности травления наблюдалось резкое увеличение ширины треков (в 2—3 раза), в то время как длина треков ^{208}Pb практически не изменялась, так как эти треки протравливались до конца. Скорость травления древних треков в оливинах метеорита Марьялахти в 2 раза меньше, чем скорость травления треков ядер ^{208}Pb с $E=17,14$ МэВ/п. Это может быть обусловлено, по-видимому, частичной термической регрессией древних треков за их среднее время пребывания в космосе — около 90 млн. лет.

Анализ экспериментальных данных показывает, что значение pH травителя оказывает большое влияние на форму трека, а следовательно, на условия выявления треков в оливинах. С уве-

личением рН от 8 до 8,9 уменьшается скорость травления поверхности кристалла и увеличивается скорость травления вдоль трека, что очень важно при проявлении полной травимой длины трека. При рН > 9 травление идет очень слабо и при рН ≥ 9,8 прекращается. Даже при очень длительном времени травления треки не проявляются.



рН = 7.3



рН = 7.5



рН = 7.85



рН = 8.0

Рис.1. Микрофотография треков ионов ^{208}Pb ($E=17$ МэВ/н) в кристаллах оливина из метеорита Марьялахти, проявленных при разных значениях рН травителя

Как видно из рис.1, форма треков существенно лучше при рН около 7,8, чем при рН=7,3÷7,5. Кроме того, при больших и

меньших значениях pH сильно возрастает относительная скорость травления поверхности $V_{\text{пов.}}$, что приводит к эрозии полированной поверхности кристалла и ухудшает условия просмотра. На рис.2 приведены зависимости скоростей травления вдоль трека для кристаллов метеорита Марьялахти (древние треки и треки ядер ^{208}Pb) и метеорита Eagle Station. Как следует из этого рисунка, оптимальное значение pH травителя находится в районе

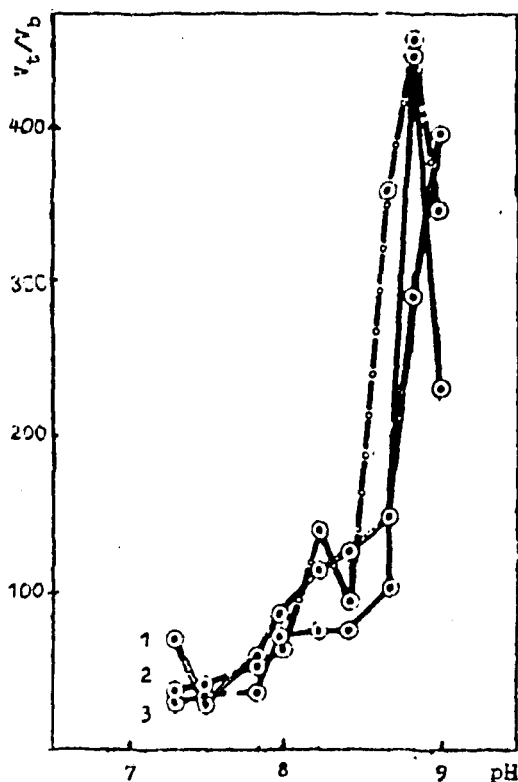


Рис.2. Зависимость скорости травления от pH для кристаллов оливина из метеорита Марьялахти (древние треки (1) и треки ^{208}Pb , $E=17$ МэВ/н (2)) и из метеорита Eagle Station (3)

$\text{pH}=8,45-8,88$ для оливинов обоих метеоритов. Применение этого оливинового травителя позволяет получать треки ультратяжелых космических ядер длиной до 1,6–2 мм в одной стадии травления, без существенного ухудшения оптических свойств полированной поверхности кристаллов, что обеспечивает более оптимальные условия поиска и измерений протравленных треков под микроскопом.

Это обстоятельство делает травитель с $\text{pH} = 8,45 \div 8,88$ наиболее перспективным средством выявления древних треков в опытах по поиску и идентификации треков сверхтяжелых галактических космических ядер. Он обеспечивает оптимальные условия выявления треков, полностью заключенных в объеме кристаллов

оливина, и впервые способствует выявлению полных травимых длин треков ускоренного урана-238 при пересечении таких треков с единственной щелью (микротрещиной) в неотожженных кристаллах, имеющих длину до 1,6–2,0 мм.

В заключение авторы выражают глубокую признательность Российскому фонду фундаментальных исследований и Международному научному фонду за финансовую поддержку этих исследований.

Литература

1. Перельгин В.П., Стеценко С.Г., Поиск следов галактических космических ядер с $Z \geq 110$ в оливинах из метеоритов, Письма в ЖЭТФ, 1980, 32, N 10, с.622–625.
2. Перельгин В.П., Стеценко С.Г., Лхагвасурэн Д., Отгонсурэн О., Ядав Д.С., Пеллас П., Перро К., Талева Т., Фатер П., Якупи Б. Поиск треков сверхтяжелых космических ядер в оливинах из метеоритов. Сб. Космические лучи. Материалы VII Европейского симпозиума, Ленинград, 1980, с.207–216.
3. Yadav J.S., Perelygin V.P., Stetsenko S.G., Track kinetic of volume tracks in crystals. Nucl. Tracks, Radiation Meas., 1986, v.12, N 1–6, p.439–442.
4. Maurette M., Pellas P., Walker R.M., Cosmic ray induced particle tracks in a meteorite, Nature, 1964, 204, N 4961, p.821–823.
5. Krishnaswami S., Lal P., Prabhu N., Tamhane A., Olivines: revelation of track of charged particles, Science, 1971, 174, N 4012, p.287–291.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 июня 1995 года.