

P15-2012-75

А. Ю. Дидык, Р. Вишневский*

ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ, ОБЪЕМНЫХ СВОЙСТВ
И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ ВАНАДИЯ
И НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ, ОБЛУЧЕННЫХ
В ПЛОТНОМ ГАЗООБРАЗНОМ ДЕЙТЕРИИ
 γ -КВАНТАМИ С ПОРОГОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ 23 МэВ

Направлено в журнал «ЖЭТФ»

*Национальный центр ядерных исследований, Отвоцк, Польша

Дидык А. Ю., Вишнеvский Р.

P15-2012-75

Изменения поверхности, объемных свойств и химического состава образцов ванадия и нержавеющей стали, облученных в плотном газообразном дейтерии γ -квантами с пороговой энергией 23 МэВ

Проведены исследования изменения свойств и элементного состава образцов ванадия (V) и нержавеющей стали (SS), облученных в газообразном дейтерии при давлении 2 кбар γ -квантами непрерывного спектра с пороговой энергией 23 МэВ. Обнаружены значительные изменения в структуре поверхности и объемных свойствах облученных V- и SS-образцов и, как и в более ранних работах авторов, в элементном составе. Рассмотрена феноменологическая модель ядерных реакций, приводящих к обнаруженному элементному составу V и SS.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2012

Didyk A. Yu., Wiśniewski R.

P15-2012-75

Changes Observed in the Surfaces, Bulk Properties and Chemical Composition of Vanadium and Stainless Steel Specimens Irradiated in Dense Gaseous Deuterium by γ -Quanta of Threshold Energy 23 MeV

Studies have been carried out into the changes of properties and element composition of vanadium (V) and stainless steel (SS) specimens irradiated in gaseous deuterium under the pressure 2 kbar by γ -quanta of continuous spectrum with the boundary energy 23 MeV. Considerable changes are observed in the surface structure and bulk properties of the irradiated V and SS specimens, as was in the earlier authors studies, and in the element composition. The phenomenological model of nuclear reactions leading to the observed element composition of V and SS is described.

The investigation has been performed at the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2012

ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих работах авторов [1–7] был разработан принципиально новый подход к изучению ядерных реакций в дейтерированных материалах, насыщенных атомарным дейтерием практически стехиометрического состава [8–10], а также в создании новых структур в плотном газообразном дейтерии в металлах.

Данный подход основан на применении: а) специализированных камер высокого давления дейтерия (СКВДД, см. [6]), способных сохранять в течение длительного времени молекулярный дейтерий в газообразном состоянии, находящийся под давлением в диапазоне до 3–4 кбар; б) СКВДД, заполненных плотным газообразным молекулярным дейтерием, в котором размещаются металлические или неметаллические образцы и специальные сборники синтезированных структур; в) СКВДД, облучение которых осуществляется потоком γ -квантов с непрерывным спектром по энергии, получаемых на вольфрамовой тормозной мишени электронными пучками с энергиями до 25 МэВ.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Образцы из ванадия (V) (99,8 %) в виде проволоки диаметром 1,2 мм и длиной 100 мм и нержавеющей стали (SS) типа ОХ18Н10 диаметром 1,96 мм и длиной 71 мм были помещены в СКВДД с давлением газообразного дейтерия примерно 2 кбар. Облучение всех образцов проведено на электронном ускорителе МТ-25 электронами с энергией 23,5 МэВ при среднем токе пучка электронов 11–12 мкА в течение 19,5 ч (т. е. полное время облучения составило $7,02 \cdot 10^4$ с).

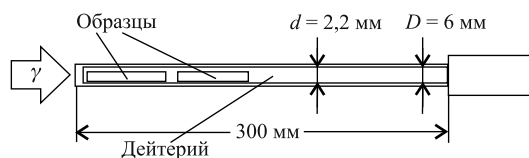


Рис. 1. Схема СКВДД

На рис. 1 представлена СКВДД, предназначенная для облучения γ -квантами серий образцов из различных материалов в виде проволочек и цилиндров [7].

Толщина W тормозной мишени составляла 3 мм, поглотитель из Al имел толщину 25 мм, следовательно, расстояние от первого образца из V-проволоки с учетом толщины входного окна ~ 7 мм из SS равно $L_1 = 35$ мм. Достоинства и недостатки расположения образцов в СКВДД описаны в работе [7], в частности, одним из достоинств является то, что при расположении образцов вдоль СКВДД можно за одно облучение получить различные плотности потоков γ -квантов и доз облучения. Поток γ -квантов через образцы в СКВДД оценен в работах [1, 2].

Необходимо отметить, что в отличие от первого эксперимента, который был детально описан в работах [1, 2, 5, 6], а использованная в нем СКВДД запатентована в [6], в данном эксперименте стенки СКВДД, созданной по иному проекту, состоят из SS типа OX18H10, с тем чтобы исключить химические элементы, которые присутствовали в первом эксперименте, такие как медь и цинк.

1.1. Экспериментальные результаты в V-проволоке (длиной $L_V = 10,0$ см и диаметром 1,5 мм). После облучения СКВДД имела высокую активацию, в связи с чем сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) и микроэлементный анализ (МА) образцов были проведены только через четыре месяца после завершения облучения. И без всякого анализа видно (см. рис. 2), что V-проволока сильно почернела. На рис. 2 представлены СЭМ-изображения V-проволоки в месте входа γ -квантов.

Видно, что на конце проволоки, в месте входа γ -квантов, наблюдается сильно проплавленный выступ, а вся боковая поверхность выглядит как «змеиная кожа», с высокой поверхностной плотностью трещин, которые отсутствуют на исходной V-проволоке.

На рис. 3 представлено изображение поверхности проволоки с отмеченными участками, на которых был проведен МА (в ат. %), результаты представлены в табл. 1. МА проводился на участках, разительно отличающихся внешне.

СЭМ-изображение выполнено в отраженных электронах, т. е. более светлые участки соответствуют химическим элементам с большими порядковыми номерами (зарядами ядер). Рентгеновский анализ проведен на трех участках с различными оттенками (от светлого до темного), т. е. с различными порядковыми номерами элементов.

Из табл. 1 видно, что поверхность V-проволоки утратила однородность состава, который присутствует в исходном образце (99,8 %). На более темном участке состав оказался с высоким содержанием углерода (53,57 ат. %) и кислорода (35,16 ат. %) и низким содержанием основного элемента проволоки — ванадия (8,34 ат. %).

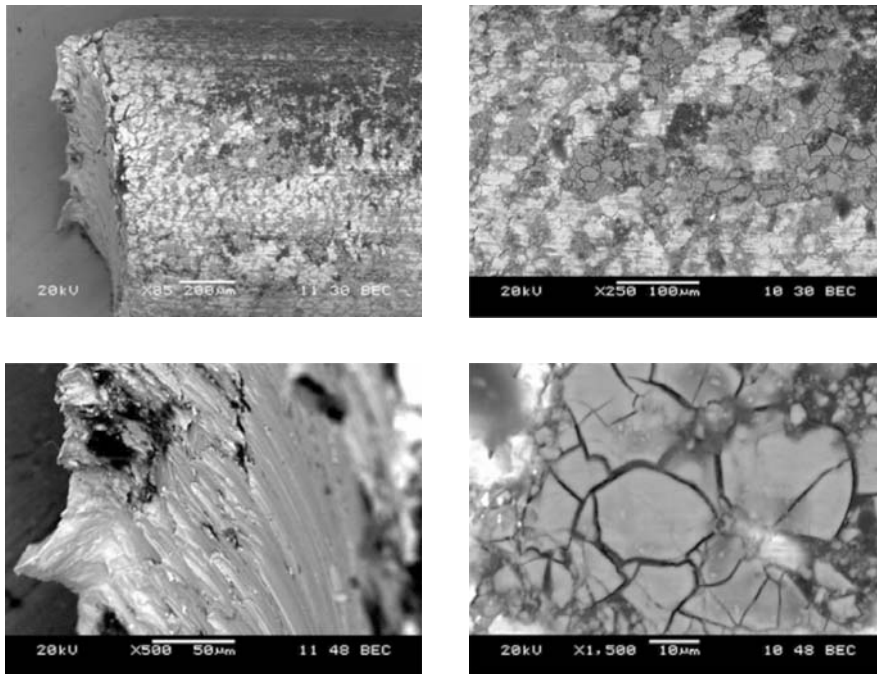


Рис. 2. СЭМ-изображения торца (вверху слева) и прилегающей к нему поверхности (вверху справа) V-проволоки в месте входа γ -квантов. Изображения внизу (слева и справа) получены при большом увеличении

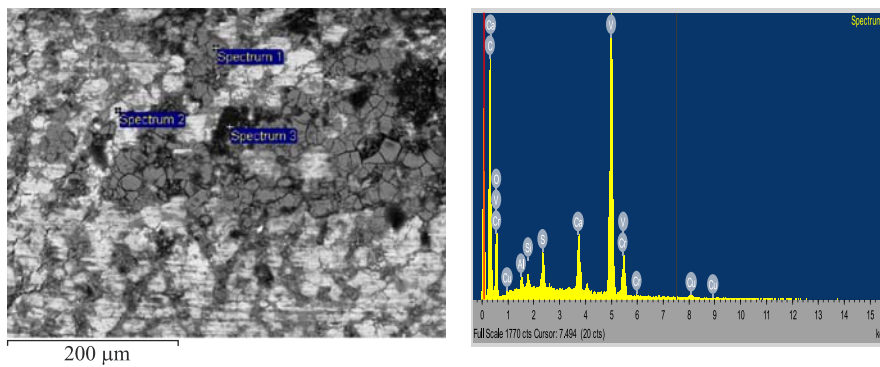


Рис. 3. СЭМ-изображения боковой поверхности V-проволоки с участками, на которых был проведен МА (слева); спектр одного из участков (справа)

Таблица 1

Спектр	C	O	Al	Si	S	Ca	V	Cr	Cu
Исходный	—	—	—	—	—	—	100	—	—
1	29,92	—	0,75	—	—	0,4	68,93	—	—
2	17,43	—	0,44	—	—	—	82,14	—	—
3	53,57	35,16	0,31	0,29	0,69	1,28	8,34	0,18	0,18

На рис. 4 представлено изображение участка деструктурированной боковой поверхности V-проволоки, покрытой сеткой трещин, а МА проведен на участках зерен различного цвета, результаты представлены в табл. 2.

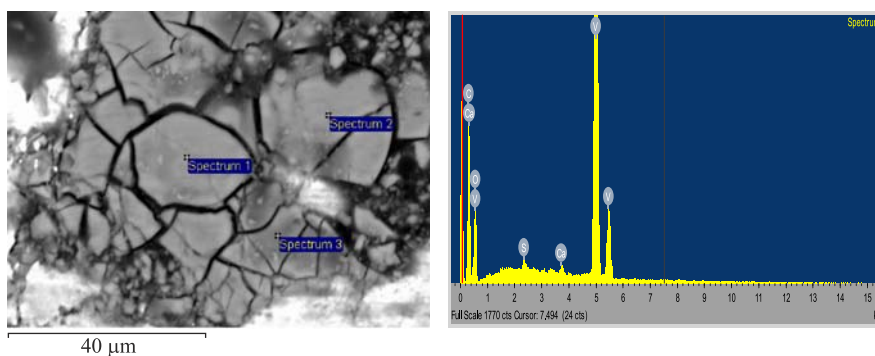


Рис. 4. СЭМ-изображение боковой поверхности V-проволоки, покрытой сеткой трещин, с участками, на которых был проведен МА (слева); спектр одного из участков (справа)

Таблица 2

Спектр	C	O	S	Ca	V
Исходный	—	—	—	—	100
1	27,3	—	—	0,62	72,08
2	18,2	—	1,17	0,68	79,95
3	37,15	42,94	0,24	0,19	19,47

На рис. 5 представлено изображение участка деструктурированной боковой поверхности V-проволоки без трещин (см. рис. 2, светлые участки), а результаты МА, проведенного на участках зерен различного цвета, приведены в табл. 3.

На рис. 6 представлено изображение участка деструктурированной боковой поверхности V-проволоки с сильными аномалиями, покрытого мало-размерными объектами вблизи от места входа γ -квантов, а результаты МА, проведенного на участках зерен различного цвета, представлены в табл. 4.

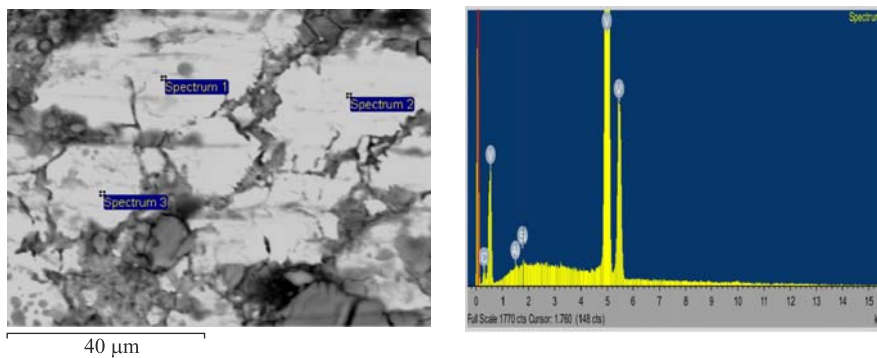


Рис. 5. СЭМ-изображение боковой поверхности V-проволоки со светлыми участками, на которых был проведен МА (слева); спектр одного из участков (справа)

Таблица 3

Спектр	C	Al	Si	V
Исходный	—	—	—	100
1	16,55	—	—	83,45
2	10,32	0,24	0,23	89,22
3	7,14	0,53	0,17	92,16

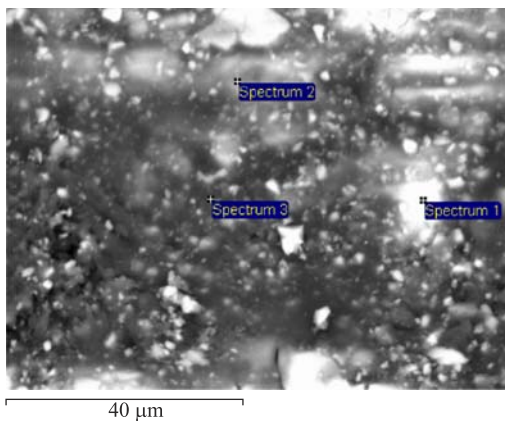


Рис. 6. СЭМ-изображение участка деструктурированной боковой поверхности V-проволоки с сильными аномалиями, покрытого малоразмерными объектами

На рис. 7 представлено изображение участка поверхности V-проволоки в месте входа γ -квантов, с сильными аномалиями, а результаты МА приведены в табл. 5.

Таблица 4

Спектр	C	O	Al	Si	S	Ca	V	Cr	Cu
Исходный	—	—	—	—	—	—	100	—	—
1	39,38	35,48	—	—	—	—	25,14	—	—
2	53,72	32,82	0,13	—	0,34	0,07	12,69	—	0,23
3	67,14	26,37	0,17	0,16	0,61	0,06	5,02	0,17	0,31

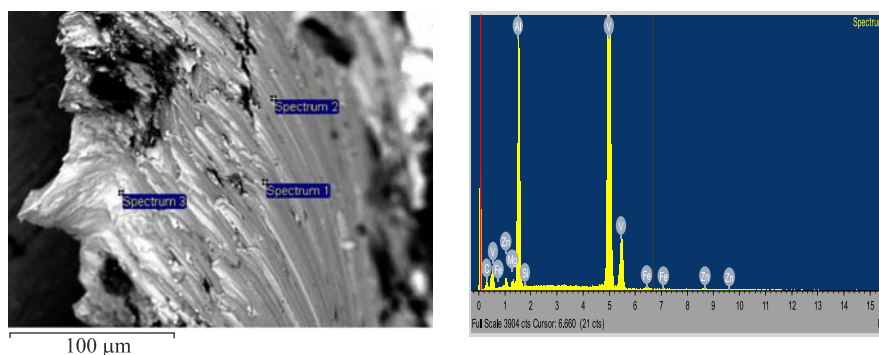
Рис. 7. СЭМ-изображение участка поверхности V-проволоки в месте входа γ -квантов, с сильными аномалиями (слева); спектр одного из участков (справа)

Таблица 5

Спектр	C	O	Mg	Al	Si	V	Cr	Fe	Zn
Исходный	—	—	—	—	—	100	—	—	—
1	10,6	18,49	0,87	28,38	—	40,34	0,39	—	0,94
2	16,4	—	1,14	33,98	0,25	46,74	—	0,41	1,07
3	9,15	16,96	—	10,86	—	61,52	0,92	—	0,58

На рис. 8 представлено изображение участка боковой поверхности V-проволоки с бóльшим увеличением.

Оценим соотношение измеренных концентраций Fe, Cr и Ni, приведенных в табл. 6, приняв их суммарную концентрацию за 100 %, тогда можно эти результаты представить в виде табл. 7, из которой следует, что элементный состав слоя из Fe, Cr и Ni, покрывающего поверхность V, находится в очень хорошем согласии и практически совпадает с составом материала внутренней поверхности стенки СКВДД (см. табл. 7) и представляет собой SS типа OX18N10 (Fe — 72 %, Cr — 18 %, Ni — 10 %). Отсюда можно сделать вывод о том, что СЭМ- и МА-методы достаточно эффективны при определении изменений в элементном составе образца в виде V-проволоки после воздействия γ -квантов.

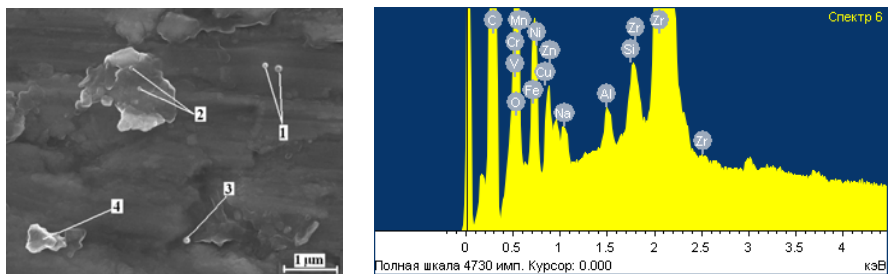


Рис. 8. СЭМ-изображение участка V-провода, удаленного от места входа γ -квантов (слева); один из спектров, измеренных на нем (справа)

Таблица 6

Спектр	O	Na	Al	Si	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Ge	Zr
Исходный	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—
1	24,55	—	0,38	—	52,21	1,99	—	6,93	1,20	—	—	0,59	12,14
2	42,60	0,41	0,51	0,48	30,46	2,97	0,28	10,68	2,04	0,37	0,21	—	9,01
3	27,45	—	—	—	38,78	4,24	0,40	16,46	2,69	—	—	0,34	9,65
4	37,85	—	0,54	—	21,24	3,22	0,28	11,21	1,81	—	0,29	—	23,56

Таблица 7

Спектр	Fe	Cr	Ni
Исходный	74,37	16,61	9,01
Среднее	68,99	19,14	11,88
1	68,48	19,66	11,86
2	68,07	18,93	13,00
3	70,37	18,13	11,50
4	69,03	19,83	11,15

1.2. Экспериментальные результаты, полученные для проволоки из нержавеющей стали. На рис. 9 представлены СЭМ-изображения SS-провода (длиной 7,1 см и диаметром 2,0 мм) с одного и другого концов.

Как отчетливо видно, произошли значительные изменения обоих торцевых концов, они приобрели формы типа ступенчатых пирамид с несколько закругленными вершинами. Причем углы граней пирамид по отношению к оси проволоки несколько отличаются на одном и другом торцевых концах.

На рис. 10 представлено изображение поверхности SS-провода с отмеченными участками, где был проведен МА (в ат. %), результаты которого отображены в табл. 8. Также дан состав исходного образца SS.

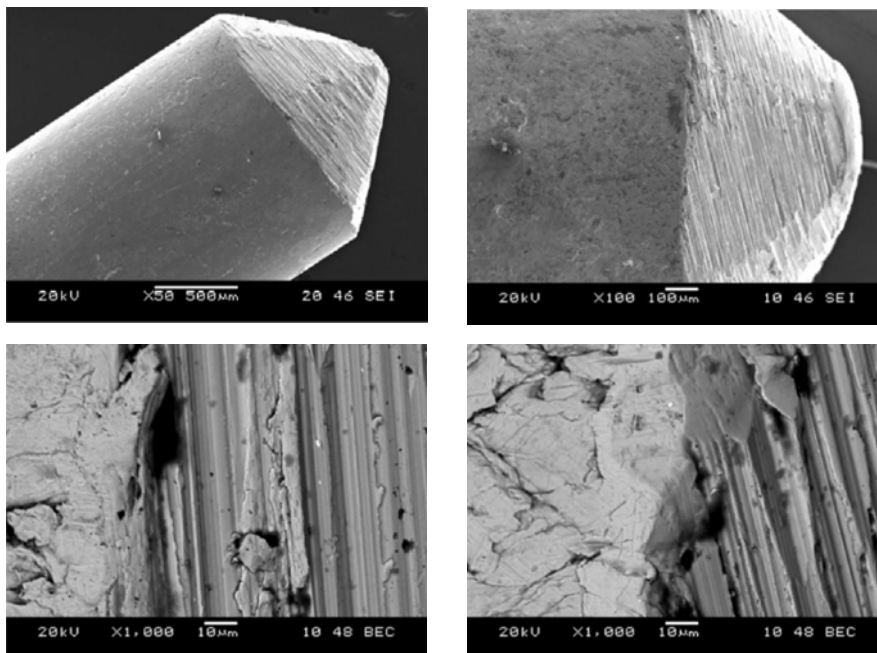


Рис. 9. СЭМ-изображения торцевых концов: прилегающего к V-проволоке (слева) и обратного к ней (справа)

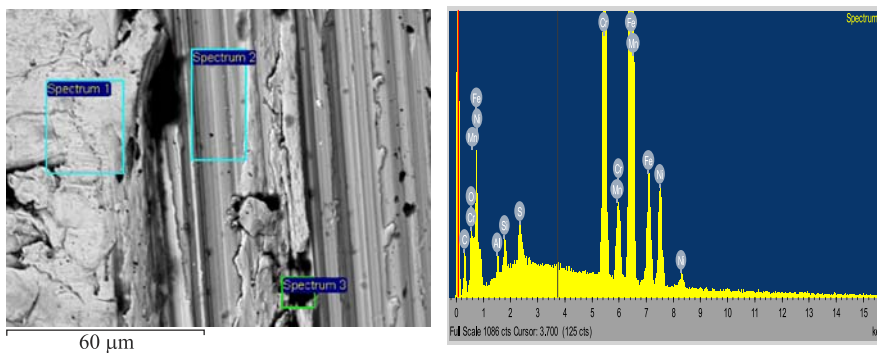


Рис. 10. СЭМ-изображение боковой поверхности SS-проволоки с участками (слева), на которых был проведен МА одного из спектров (справа)

На рис. 11 представлено изображение поверхности SS-проволоки с измененной структурой вдоль направления воздействия γ -квантов с отмеченными участками, на которых был проведен МА (в ат. %), результаты приведены в табл. 9.

Таблица 8

Спектр	C	O	Na	Al	Si	S	Cl
Исходный	21,33	—	—	2,36	0,41	—	—
1	20,67	7,66	—	1,17	1,24	0,97	—
2	15,19	5,65	—	3,12	1,09	0,86	—
3	54,71	19,8	1,4	1,2	1,67	0,39	0,29

Спектр	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni
Исходный	—	—	12,46	0,89	55,78	6,76
1	—	—	14,2	1,60	44,69	7,79
2	—	—	15,64	1,68	48,29	8,48
3	0,16	0,46	4,33	0,47	12,92	2,21

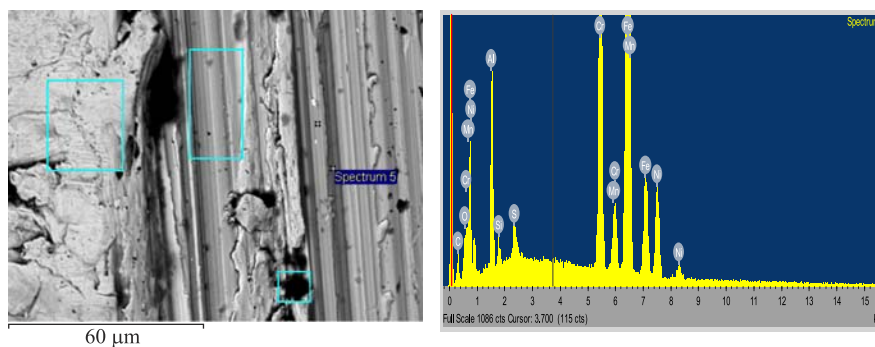


Рис. 11. СЭМ-изображение поверхности SS-проволоки с участками, на которых был проведен МА (слева); спектр одного из участков (справа)

Таблица 9

Спектр	C	O	Al	Si	S	Cr	Mn	Fe	Ni
Исходный	21,33	—	2,36	0,41	—	12,46	0,89	55,78	6,76
4	11,45	4,04	2,52	0,99	1,1	16,49	1,62	52,41	9,39
5	14,81	4,83	11,26	1,16	0,79	14,25	1,18	43,87	7,84

Оценим соотношение измеренных концентраций Fe, Cr и Ni из табл. 9, приняв их суммарную концентрацию за 100 %, тогда можно эти результаты представить в виде табл. 10.

На рис. 12 представлено изображение поверхности SS-проволоки, которая была выдавлена в сторону, противоположную месту входа γ -квантов, с отмеченными участками, где проведен МА (в ат. %), результаты которого показаны в табл. 11.

Таблица 10

Спектр	Fe	Cr	Ni	Mn
Исходный	74,37	16,61	9,01	0,89
Среднее	66,624	21,536	11,71	1,31
1	67,02	21,30	11,68	1,60
2	66,69	21,60	11,71	1,68
3	66,39	22,25	11,36	0,47
4	66,51	20,93	11,91	1,62
5	66,51	21,60	11,89	1,18

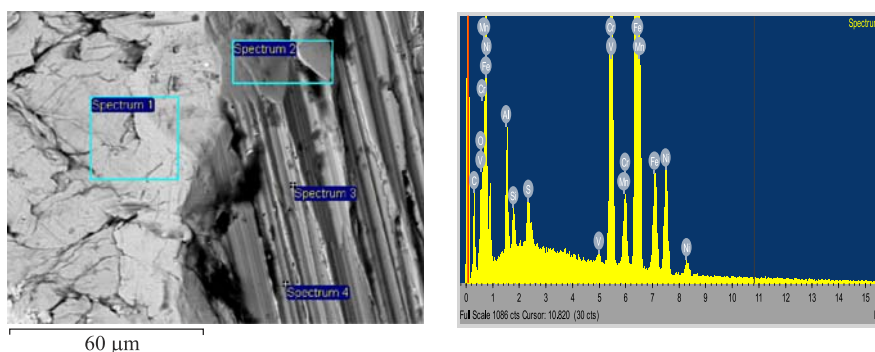


Рис. 12. СЭМ-изображение поверхности SS-проволоки в месте выхода γ -квантов с участками, на которых был проведен МА (слева); спектр одного из участков (справа)

Таблица 11

Спектр	C	O	Al	Si	S	Ca
Исходный	21,33	—	2,36	0,41	—	—
1	19,73	11,48	1,09	1,34	0,92	0,19
2	33,28	6,78	3,19	1,33	0,68	0,18
3	26,77	—	0,98	1,43	0,95	—
4	32,04	6,48	4,91	1,29	0,81	—

Спектр	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn ₃₀
Исходный	—	12,46	0,89	55,78	6,76	—
1	—	13,52	1,45	42,00	7,7	0,59
2	0,41	11,45	1,12	35,16	6,41	—
3	—	14,52	1,31	45,44	8,59	—
4	0,24	11,44	1,1	34,92	6,77	—

Таблица 12

Спектр	Fe	Cr	Ni	Mn
Исходный	74,37	16,61	9,01	0,89
Среднее	66,19	21,425	12,40	1,245
1	66,43	21,39	12,18	1,45
2	66,31	21,60	12,09	1,12
3	66,29	21,18	12,59	1,31
4	65,73	21,53	12,74	1,10

Оценим соотношение измеренных концентраций Fe, Cr и Ni, приведенных в табл. 11, приняв их суммарную концентрацию за 100 %, тогда можно эти результаты представить в виде табл. 12.

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные в данной работе результаты по изменению структуры поверхности, объемных свойств и химического состава образцов V и SS при облучении γ -квантами непрерывного спектра с граничной энергией 23 МэВ в целом подтверждают ранние данные по синтезу новой структуры и образованию химических элементов более легких, чем палладий, на внутренних поверхностях всех конструкций СКВДД (см. [1–5]) и результаты второго эксперимента, выполненного с такой же СКВДД, как и на рис. 1, но с заполнением Pd- и Re-проволочками [7].

В отличие от предыдущих работ [1, 2, 4, 5], в данных исследованиях элементы новой СКВДД были заменены на SS (см. рис. 1), чтобы исключить наличие в камере таких химических элементов, как медь и цинк. Энергия γ -квантов была увеличена до 23 МэВ, чтобы ввести в рассмотрение процессы, обусловленные гигантским дипольным резонансом [7, 11].

На V-проволоке в месте входа γ -квантов наблюдается сильно проплавленный выступ, а вся боковая поверхность выглядит как «змеиная кожа», с высокой поверхностной плотностью трещин, которые отсутствуют на исходной V-проволоке. На обоих концах SS-проволоки образовались выдавленные уступы в виде ступенчатых пирамид в местах выхода и входа γ -квантов (см. рис. 8). В химическом составе V-проволоки обнаружены следующие примеси: ${}^6\text{C}$, ${}^8\text{O}$, ${}^{11}\text{Na}$, ${}^{12}\text{Mg}$, ${}^{13}\text{Al}$, ${}^{14}\text{Si}$, ${}^{16}\text{S}$, ${}^{20}\text{Ca}$, ${}^{23}\text{V}$, ${}^{24}\text{Cr}$, ${}^{25}\text{Mn}$, ${}^{26}\text{Fe}$, ${}^{28}\text{Ni}$, ${}^{29}\text{Cu}$, ${}^{30}\text{Zn}$, ${}^{32}\text{Ge}$ и ${}^{40}\text{Zr}$. В целом V-проволока оказалась покрыта толстым слоем непроводящего окисла, который ввиду его значительной толщины прогорает под действием пучка электронов при измерении спектров МА. Как известно, взаимодействие V с водородом/дейтерием, кислородом и углеродом происходит при значительных температурах. Образующаяся при взаимодей-

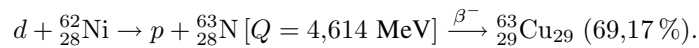
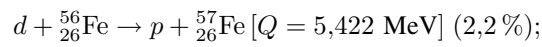
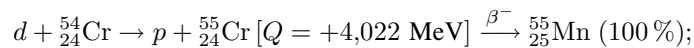
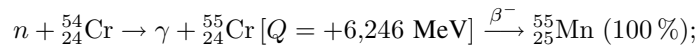
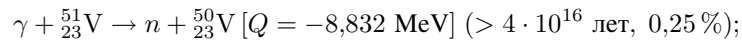
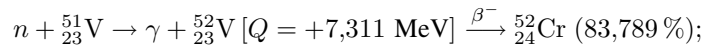
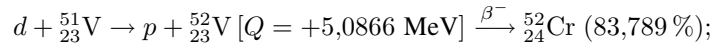
ствии металла с кислородом пленка из оксида ванадия (V_2O_5) прочно связана с металлом при температурах ниже $675\text{ }^\circ\text{C}$. Выше этой температуры оксид ванадия плавится и не защищает металл от дальнейшего окисления. Из факта образования оксидной пленки и видимого потемнения поверхности можно сделать вывод о том, что окисление V произошло при его облучении γ -квантами и вызванными ими ядерными реакциями с образованием как кислорода, так и углерода. Следует отметить, что кислород и углерод отсутствовали в СКВДД, которая была заполнена дейтерием (98,0 %) при давлении примерно 2 кбар.

В проволоке из SS в областях ступенчатых выступов с обоих концов обнаружены следующие химические примеси: ${}_6\text{C}$, ${}_8\text{O}$, ${}_{11}\text{Na}$, ${}_{12}\text{Mg}$, ${}_{13}\text{Al}$, ${}_{14}\text{Si}$, ${}_{16}\text{S}$, ${}_{17}\text{Cl}$, ${}_{19}\text{K}$, ${}_{20}\text{Ca}$, ${}_{23}\text{V}$, ${}_{24}\text{Cr}$, ${}_{25}\text{Mn}$, ${}_{26}\text{Fe}$, ${}_{28}\text{Ni}$ и ${}_{30}\text{Zn}$. Концентрация Fe, Ni, Cr на поверхности V (табл. 7) и состав SS в проволоке на входе (табл. 10) и на выходе (табл. 12) γ -квантов несколько различаются. В частности, среднее значение относительной концентрации железа на более чем 2 ат. % превышает, а по хромю на те же 2 ат. % ниже в сравнении с их концентрациями на поверхности вблизи входа и выхода γ -квантов в проволоке из SS. Относительная концентрация никеля на поверхности вблизи выхода γ -квантов в проволоке из SS в среднем на 0,5 ат. % выше, чем на поверхности V и месте входа γ -квантов в проволоку из SS.

Хорошо известно из [8–10], что поглощение или насыщение V и SS не происходит даже при высоких давлениях. При облучении СКВДД γ -квантами такие процессы могут иметь место только за счет диссоциации молекулярного дейтерия на атомарный дейтерий. Следовательно, процессы, вызванные реакциями деления, могут происходить как в приповерхностных слоях, так и в объеме V- и SS-проволок.

Все (γ, n) -ядерные реакции под действием γ -квантов с энергиями до 23 МэВ в ядрах химических элементов, находящихся в СКВДД и изученных V- и SS-проволочках, имеют место. Пороги этих реакций рассчитаны в работах [3, 5]. Поскольку максимальные энергии парных нейтронов и протонов из реакции фоторасщепления дейтронов для γ -квантов с граничной энергией 23 МэВ равны $E_{n,p}^{\max} = 0,5(23 - 2,22) = 10,39$ МэВ, то, помимо (γ, n) -реакций, следует также отметить и возможность протекания реакций деления дейтронов под действием нейтронов $n'(d, p)2n$ с энергиями $E_{n'} \geq E_n^{\text{Threshold}} = 3,24$ МэВ и протонов $p'(d, n)2p$ с энергиями $E_{p'} \geq E_p^{\text{Threshold}} = 3,39$ МэВ, приводящих к размножению нейтронов и протонов, которые в каждом акте деления (расщепления) дейтрона будут иметь суммарные энергии $E_n + E_p + E_{n''} = E_{n'} - E_n^{\text{Threshold}}$ и $E_n + E_p + E_{p''} = E_{p'} - E_p^{\text{Threshold}}$, где $E_{p'}$ и $E_{n'}$ — энергии протонов и нейтронов из реакций фоторасщепления дейтронов. В целом подход к образованию продуктов деления ядер, описанный в работах [3, 5], применим и к обнаруженным изменениям элементного состава для V и SS. Хотя можно ввести в рассмотрение

и несколько других реакций:



Особо отметим, что при применении γ -квантов с энергиями до 23 МэВ для облучения СКВД с V- и SS-проволочками были достигнуты достаточно высокие температуры с выделением энергии от ядерных реакций деления с коэффициентом полезного действия, значительно превышающим единицу, что однозначно подтверждает возможность применения дейтерированных реакторов деления на пучках γ -квантов для получения энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Nuclear Reactions in Gaseous Deuterium under High Pressure and in Saturated with Deuterium Palladium by γ -Quanta // *Eur. Phys. Lett.* 2012. V. 99. P. 22001-p1–22001-p6.
2. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Chemical Composition and Structural Phase Changes of Pd Sample and Properties of Novel Synthesized Structure at Dense Deuterium Gas under Irradiation by γ -Quanta. JINR Preprint E15-2012-34. Dubna, 2012. 30 p.
3. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Phenomenological Nuclear Reaction Description in Deuterium Saturated Palladium and Synthesized Structure in Dense Deuterium Gas under Irradiation by γ -Quanta. JINR Preprint E15-2012-35. Dubna, 2012. 25 p.
4. *Дидык А. Ю., Вишневский Р., Вилчинска-Китовска Т.* Устройство для получения энергии. Патент, регистрационный № 2012125875 от 21 июня 2012 г.
5. *Дидык А. Ю., Вишневский Р.* Синтез новых структур в плотном газообразном дейтерии и насыщенном дейтерием палладии при ядерных реакциях, индуцированных γ -квантами // *Физика и химия обработки материалов.* 2012. № 5 (в печати); Препринт ОИЯИ Р15-2012-50. Дубна, 2012 г. 17 с.
6. *Дидык А. Ю., Вишневский Р., Вилчинска-Китовска Т.* Реакции фоторасщепления дейтрона, термоядерного синтеза и деления ядер, индуцированных γ -квантами, в насыщенном дейтерием палладии и плотном газообразном дейтерии с синтезом новых структур // *Материалы XXII Международной конференции «Радиационная физика твердого тела», Севастополь, 9–14 июля 2012 г.* С. 12–26.

7. Дидык А. Ю., Вишнеvский Р. Ядерные реакции в насыщенном дейтерием палладии и рении в атмосфере плотного дейтерия при облучении γ -квантами непрерывного спектра с граничной энергией 23 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2012-63. Дубна, 2012. 23 с.
8. Дидык А. Ю., Вишнеvский Р. Водород и его свойства. Особенности получения плотных газов водорода и его изотопов. Области применения // ЭЧАЯ. 2013 (в печати).
9. Гидриды переходных металлов / Ред. Е. Л. Мюттертиз. М.: Мир, 1975. 311 с.
10. Гидриды металлов / Под ред. В. Мюллера, Д. Блекледжа и Дж. Либовица. М.: Атомиздат, 1973. 429 с.
11. Ишханов Б. С. и др. Сечения фотопоглощения ядер атомными ядрами с числом нуклонов 12–65. Препринт НИИЯФ МГУ 2002-27/711. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 2002. 22 с.

Получено 28 июня 2012 г.

Редактор *А. И. Петровская*

Подписано в печать 19.09.2012.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 1,06. Уч.-изд. л. 1,28. Тираж 225 экз. Заказ № 57769.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/