

P15-2014-50

А. Ю. Дидык *, Р. Вишневский ^{1,**}

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ, СИНТЕЗ ХИМИЧЕСКИХ
ЭЛЕМЕНТОВ И НОВЫХ СТРУКТУР В ПЛОТНОМ ГЕЛИИ
ПРИ ДАВЛЕНИИ 1,1 кбар ПОД ДЕЙСТВИЕМ
ОБЛУЧЕНИЯ ТОРМОЗНЫМИ γ -КВАНТАМИ
С ПОРОГОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ 10 МэВ

Направлено в журнал «Письма в ЭЧАЯ»

¹ Национальный центр ядерных исследований, Отвоцк, Польша

* E-mail: didyk@jinr.ru

** E-mail: roland.wisniewski@gmail.com

Дидык А. Ю., Вишневский Р.

P15-2014-50

Ядерные реакции, синтез химических элементов и новых структур в плотном гелии при давлении 1,1 кбар под действием облучения тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ

Газообразный гелий при начальном давлении 1,1 кбар, находившийся в камере высокого давления гелия (HeHPC), был облучен тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ в течение $1,0 \cdot 10^5$ с при токе электронного пучка 21–24 мкА. При вскрытии HeHPC остаточное давление гелия оказалось равным 0,43 кбар. Внутри HeHPC были обнаружены синтезированные тонкие фольги черного цвета и другие множественные объекты, находившиеся на внутренних поверхностях элементов реакционной камеры, состоящей из меди высокой чистоты (99,99 %) и входного окна γ -квантов из бериллиевой бронзы. Элементный анализ с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и зондового рентгеновского микрозондового анализа (РМЗА) позволил установить, что фольги состоят преимущественно из углерода и в меньших количествах из других элементов от углерода до железа. Предложено объяснение обнаруженных элементов и аномалий на основе ядерных реакций слияния гелия под действием γ -квантов высокой энергии, по аналогии с реакциями на звездах в астрофизике. Развитый подход хорошо согласуется с циклом исследований авторов при воздействии γ -квантов на плотные газы водорода и дейтерия в присутствии в реакционной камере металлов и при их отсутствии.

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

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2014

Didyk A. Yu., Wiśniewski R.

P15-2014-50

Nuclear Reactions, Synthesis of Chemical Elements and Novel Structures in Dense Helium at 1.1 kbar Pressure under the Action of Braking γ -rays with 10 MeV Threshold Energy

A helium high pressure chamber (HeHPC) filled with helium gas at 1.1 kbar initial pressure was irradiated by braking γ -rays with 10 MeV threshold energy during $1.0 \cdot 10^5$ s at the electron beam current 21–24 μ A. The helium gas pressure before opening of the HeHPC was found to be 426 bar. The synthesized black color foils and other objects were observed inside the HeHPC and on the inner surfaces of the reaction chamber from high purity copper (99.99%), beryllium bronze entrance window and copper collector of chemical and nuclear reaction products. An element analysis using scanning electron microscopy (SEM) and microprobe Roentgen analysis (MPRA) permitted us to establish that the observed foils consist predominantly of carbon with smaller quantities of other elements from carbon to iron. The explanation of the observed phenomena and anomalies is introduced on the basis of helium fusion nuclear reactions by analogy with nuclear reactions taking place in stars in astrophysics. The developed approach agrees well with the series of studies carried out by the authors on the influence of γ -rays on dense hydrogen and deuterium gases in the presence or absence of metals in the reaction chamber.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2014

ВВЕДЕНИЕ

Исследования элементного состава синтезированных частиц и объектов, а также структуры поверхностей элементов камеры высокого давления дейтерия (ДНРС) были выполнены на образцах ряда металлов и сплавов Al, V, Cu, Pd, Sn, Re, Y Mn_2 и нержавеющей стали в виде стержней и проволок, находившихся в атмосфере газообразного молекулярного дейтерия при высоком давлении под действием тормозных γ -квантов с энергиями 10 МэВ [1–8] и 23 МэВ [8, 9, 11–14]. Аналогичные исследования для изучения возможностей протекания ядерных реакций были проведены в камерах высокого давления водорода (ННРС) с наличием внутри Pd-стержней [15, 18, 19] и с одним водородом без металлических образцов внутри [16, 17] при облучении 10-МэВ тормозными γ -квантами. Обсуждения возможных феноменологических модельных подходов с ядерными реакциями деления в капельной модели ядра и слияния ядер представлены в [7, 10, 15, 16, 19, 20].

В [21] приведены результаты исследования свойств углеродных фольг, синтезированных при облучении ННРС с плотным гелием при начальном давлении 1,1 кбар тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ.

Цель настоящей работы — описание структур, обнаруженных на внутренних поверхностях всех элементов ННРС: разрезанных пополам входного окна из бериллиевой бронзы и реакционной камеры, а также на поверхности сборника продуктов ядерных и химических реакций из особо чистой меди.

1. ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ОБЛУЧЕНИЯ γ -КВАНТАМИ И ПАРАМЕТРОВ ННРС

На рис. 1 представлена схема модифицированной камеры высокого давления, заполненной гелием (или сокращенно ННРС), на момент облучения γ -квантами имевшим давление 1,1 кбар. Гелий особой спектральной чистоты внутри ННРС имел состав по паспортным данным 99,99 ат.%. При этом наполнение внутренней камеры ННРС гелием осуществлялось трехкратным

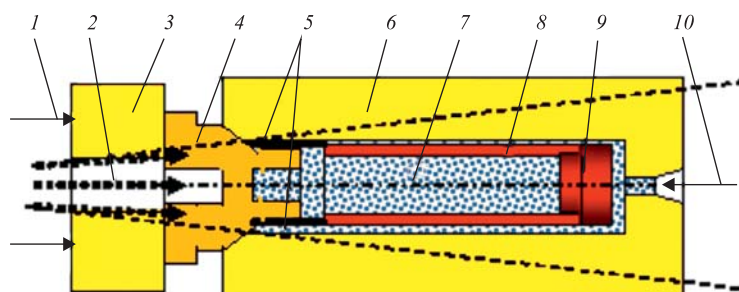


Рис. 1. Элементы камеры высокого давления гелия (HeHPC), использованные при облучении γ -квантами. 1 — винтовое прижимное уплотнение (конус $60^\circ/58^\circ$), которое не показано на этом рисунке; 2 — поток γ -квантов с проходным сечением в 6 мм; 3 — $\text{Cu}_{1-x}\text{Vex}$ входное окно, в которое вставляется прижимной винт; 4 — входное окно γ -квантов; 5 — область, в которой были обнаружены «углеродные» фольги; 6 — камера высокого давления из CuVe_2 , с внешним защитным стальным цилиндром, не показан на рисунке; 7 — гелий; 8 — медная реакционная камера — 99,99% меди; 9 — медный сборник продуктов реакции, закрывающий реакционную камеру; 10 — устройство для загрузки-разгрузки газа и измерения его давления при контроле и в процессе облучения

повторением операции: заполнение камеры с объемом менее 1 см^3 гелием до давления 100 бар, сброс давления до атмосферного и опять — заполнение гелием до 100 кбар. При этом степень очистки от атмосферных газов составляет примерно $(1/100)^3 = 1,0 \cdot 10^{-6}$.

Модификация HeHPC заключалась в двух важных изменениях: 1) уплотнение из витона в месте соединения входного окна для γ -квантов (ВО, рис. 1, поз. 4) и камеры высокого давления из CuVe_2 (рис. 1, поз. 6) было заменено на уплотнение металл по металлу; 2) реакционная камера (РК, поз. 8, рис. 1) и сборник продуктов реакций (МСПР, рис. 1, поз. 9) были изготовлены из меди высокой чистоты (99,99%). Это позволило ограничить присутствие химических элементов вблизи и внутри реакционной камеры только медью и бериллием (до 2–4%) в бериллиевой бронзе во входном окне (ВО).

Исходное давление в HeHPC перед облучением, измеренное с использованием внутреннего тензор-датчика (см. рис. 1, поз. 10) и измерительного модуля (Model P3 Strain indicator and recorder), перед облучением оказалось равным 1092 бар, хотя исходное давление гелия при загрузке составляло ~ 2 кбар и держалось более двух недель без изменений. При давлении гелия около 1,1 кбар его атомную плотность можно оценить как примерно $1,5 \cdot 10^{22} \text{ ат. He} \cdot \text{см}^{-3}$ [10].

Облучение HeHPC было проведено в течение $1,02 \cdot 10^5$ с на ускорителе электронов МТ-25 Лаборатории ядерных реакций им. Г. Н. Флерова. Энергия электронного пучка составляла 10 МэВ при токе пучка электронов от 21 до 24 мкА. Тормозные γ -кванты непрерывного спектра с граничной энергией примерно 10 МэВ были получены с использованием тормозной мишени в виде вольфрамовой фольги с толщиной 2,5 мм и алюминиевого поглотителя электронного пучка толщиной 25 мм. При облучении температура внутри внешнего защитного стального цилиндра (оболочки) HeHPC (рис. 1, поз. 6) составляла около 60°C во время стационарного режима облучения HeHPC.

Давление внутри камеры в начале облучения выросло от 1,10 до 1,24 кбар, т. е. на 140 бар. При вскрытии камеры, а это наиболее объективное и точное измерение, давление в ней оказалось равным 0,43 кбар. Следовательно, давление за время ($1,02 \cdot 10^5$ с) облучения упало на 0,67 бар (см. расчеты по изменению массы гелия в [21]).

После вскрытия HeHPC в области внутренней ее части (см. рис. 1, поз. 5) были обнаружены маслянистые (см. пояснения ниже) округлой формы черные фольги [21]. Эти фольги ориентировочно состоят преимущественно из углерода. Когда фольги были выложены на специальную бумагу (кальку), бумага в месте расположения фольг приобрела вид смоченной маслом влажной поверхности. Этот факт свидетельствует о том, что черные углеродные фольги, возможно, содержали жидкие масла в виде углеводородов.

2. СЭМ-ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР И ОСОБЕННОСТЕЙ РЕЛЬЕФА НА ВХОДНОМ ОКНЕ (ВО) ИЗ БЕРИЛЛИЕВОЙ БРОНЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РМЗА

Изучение структуры поверхности и рентгеновский микрондовый анализ (РМЗА) с измерением спектров характеристического рентгеновского излучения (СХРИ) входного окна из бериллиевой бронзы (ВО), медной втулки (МВ, реакционной камеры) и медного сборника продуктов реакций (МС) были проведены в двух независимых аналитических центрах: в НИИЯФ им. Д. В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова (АЦ-I) и ФГБНУ «НИИ ПМТ» (АЦ-II).

На рис. 2 представлены СЭМ-изображения ВО из бериллиевой бронзы с центральным заглублением и плоским дном, выполненные в АЦ-I и АЦ-II.

Как видно из рис. 2, а, б (АЦ-I и АЦ-II), на стенках и дне обоих заглублений присутствуют частицы, которые практически невозможно зарегистрировать с измерением СХРИ методом РМЗА, так как характеристическое рентгеновское излучение (ХРИ) плохо попадает на детекторы.

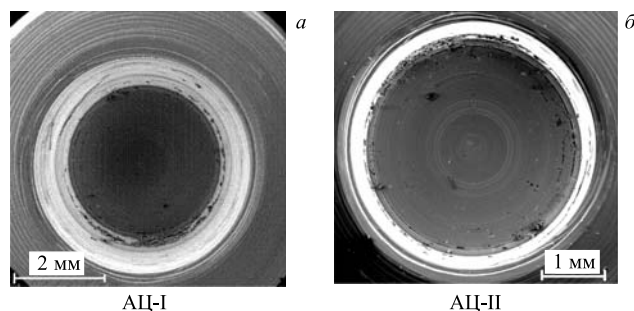


Рис. 2. СЭМ-изображения входного окна (ВО) с центральным заглублением

Отметим, что СЭМ-исследования с РМЗА и соответствующие СХРИ, приведенные на рис. 2, *a*, 3–9, и данные в табл. 1 и 2 получены в АЦ-I.

На рис. 3 представлены СЭМ-изображения крупной структуры длиной 118 мкм и шириной до 54 мкм на резьбе ВО во вторичных электронах (слева) и в отраженных электронах (справа).

Поскольку эта структура в отраженных электронах (справа) темная, то это означает, что она состоит из химических элементов с меньшим порядковым номером элементов, чем медь. На рис. 4 приведен спектр РМЗА, измеренный для этой структуры, а в табл. 1 — соответствующий элементный состав.

Как видно, этот объект преимущественно состоит из углерода (59,81 вес. %, или 72,87 ат. %).

На рис. 5, *a*, *б* представлены СЭМ-изображения крупной структуры сложной формы длиной 106 мкм и шириной 87 мкм на резьбе ВО во вторичных электронах (слева) и в отраженных электронах (справа) и крупной структуры

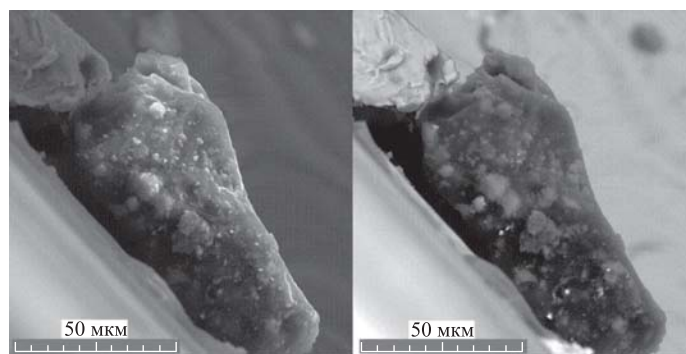


Рис. 3. СЭМ-изображения структуры на резьбе ВО во вторичных электронах (слева) и в отраженных электронах (справа)

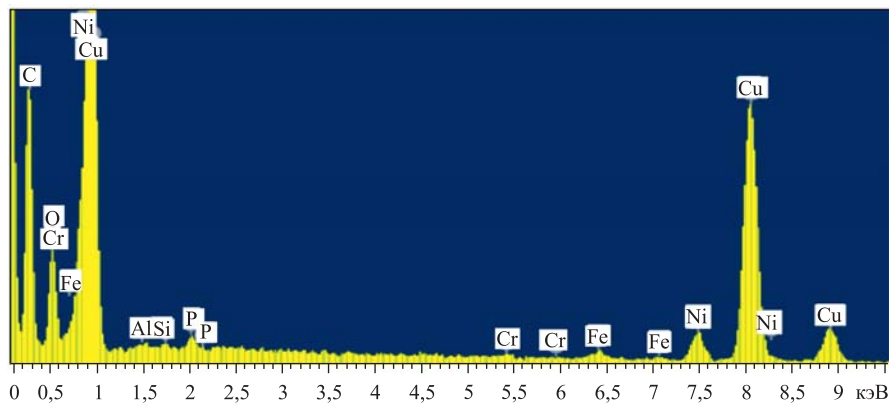


Рис. 4. СХРИ, измеренный РМЗА на рис. 3

Таблица 1. Элементный состав, измеренный с объекта на рис. 3 и соответствующий СХРИ на рис. 4

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Углерод	6	К	59,81	72,87
Кислород	8	К	25,91	23,70
Алюминий	13	К	0,07	0,04
Кремний	14	К	0,08	0,04
Фосфор	15	К	0,23	0,11
Хром	24	К	0,08	0,02
Железо	26	К	0,17	0,04
Никель	28	К	1,12	0,28
Медь	29	К	12,52	2,88

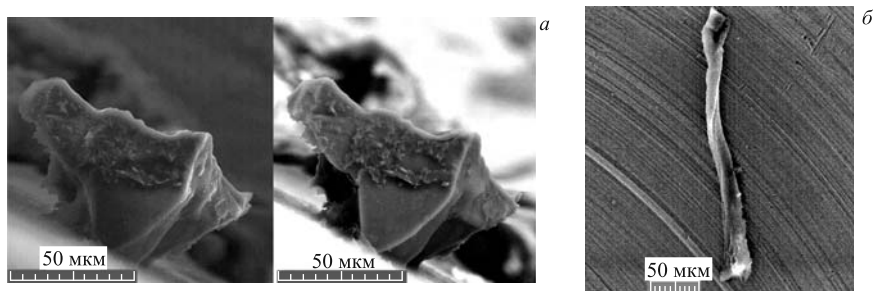


Рис. 5. СЭМ-изображения крупной структуры сложной формы (а) и структуры в виде скрученной трубки (б) на поверхности ВО

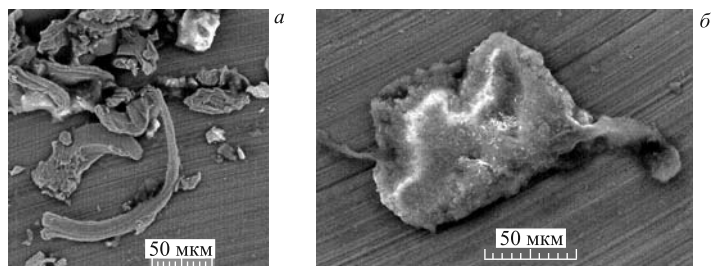


Рис. 6. СЭМ-изображения различных структур на дне центрального заглабления ВО

в виде скрученной трубки с длиной 117 мкм и максимальной шириной 33 мкм на поверхности ВО соответственно.

Структура на рис. 5, б тонкостенная и состоит практически из углерода, так что СХРИ состоит из линий меди из бериллиевой бронзы (здесь бериллий не регистрируется).

На рис. 6, а, б представлены СЭМ-изображения различных множественных частиц сложной формы на дне центрального заглабления ВО, которые представляют собой диэлектрики, так как они заряжались под пучком электронов. Отметим, что после механической обработки при изготовлении заглабления в ВО его дно и стенки были тщательно промыты и исследованы в оптическом микроскопе на присутствие посторонних частиц. Обнаруженные частицы на дне заглабления в ВО при этих исследованиях отсутствовали.

В одной из следующих статей будут приведены структуры со стенок и дна заглабления в ВО, изученные СЭМ и РМЗА после распила ВО на две половинки.

На рис. 7 представлено СЭМ-изображение крупной структуры длиной 38 мкм и шириной 21 мкм на резьбе ВО во вторичных электронах (слева)

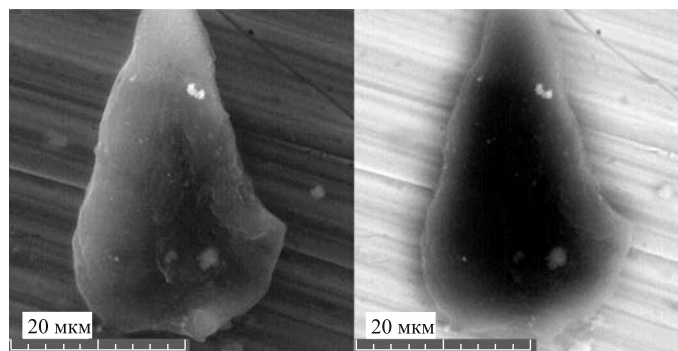


Рис. 7. СЭМ-изображения крупной структуры на резьбе ВО во вторичных электронах (слева) и в отраженных электронах (справа)

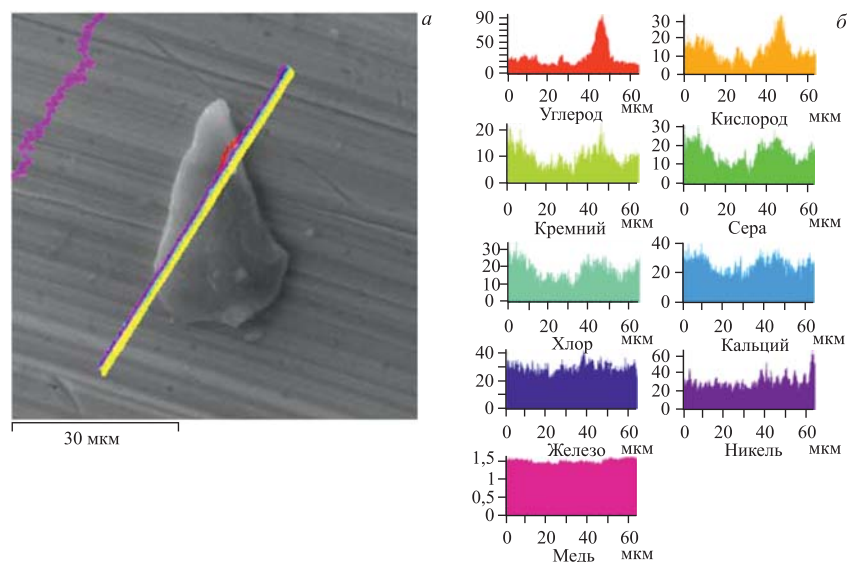


Рис. 8. СЭМ-изображения крупной структуры с линией сканирования при РМЗА (а) и относительные концентрации элементов, полученные РМЗА (б)

и в отраженных электронах (справа). Из того факта, что на рис. 9 (справа) частица очень темная, следует, что элементы, входящие в нее, значительно, более легкие, чем медь.

Состав структуры на рис. 7 был проанализирован РМЗА. На рис. 8, а приведено СЭМ-изображение этой частицы с линией, вдоль которой было проведено измерение относительных концентраций элементов по их СХРИ, которые приведены на рис. 8, б.

На рис. 9 представлен интегральный спектр, рассчитанный из относительных концентраций элементов вдоль линии сканирования на рис. 8, а, а в табл. 2 даны концентрации элементов.

В заключение этого раздела отметим, что при получении СЭМ-изображений структур, а особенно при более длительном наборе их ХРИ-спектров, большинство, если не все, структур на стенках и дне ВО заряжаются, т.е. они являются диэлектриками.

Для большей достоверности синтезированные структуры, которые частично представлены выше, были также изучены СЭМ и РМЗА в АЦ-П.

На рис. 10, а представлена частица на внутренней боковой поверхности заглибления в ВО, а на рис. 10, б соответствующий СХРИ, измеренный в т. 1.

В табл. 3 приведены концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 1 на рис. 10, а.

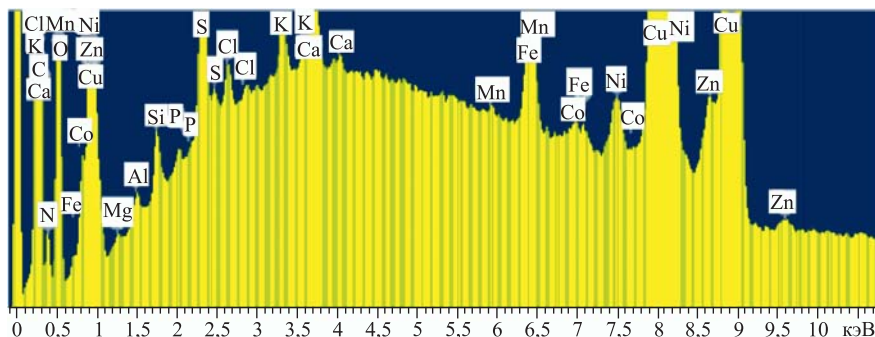


Рис. 9. Интегральный СХРИ, полученный при сканировании РМЗА вдоль линии на рис. 8, а

Таблица 2. Элементный состав, измеренный при сканировании вдоль линии на рис. 8, а, и соответствующий СХРИ на рис. 9

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Азот	7	К	3,66	11,83
Кислород	8	К	8,25	23,33
Магний	12	К	0,16	0,30
Алюминий	13	К	0,24	0,41
Кремний	14	К	0,45	0,72
Фосфор	15	К	0,12	0,18
Сера	16	К	1,09	1,54
Хлор	17	К	0,20	0,26
Калий	19	К	0,16	0,19
Кальций	20	К	0,34	0,38
Марганец	25	К	0,03	0,03
Железо	26	К	0,58	0,47
Кобальт	27	К	0,06	0,05
Никель	28	К	0,37	0,29
Медь	29	К	83,62	59,57
Цинк	30	К	0,65	0,45

На рис. 11, а приведена частица на внутренней поверхности заглупления ВО, та же, что и на рис. 5, а, а на рис. 11, б — соответствующий СХРИ, измеренный в т. 2.

В табл. 4 приведены концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 2 на рис. 11, а.

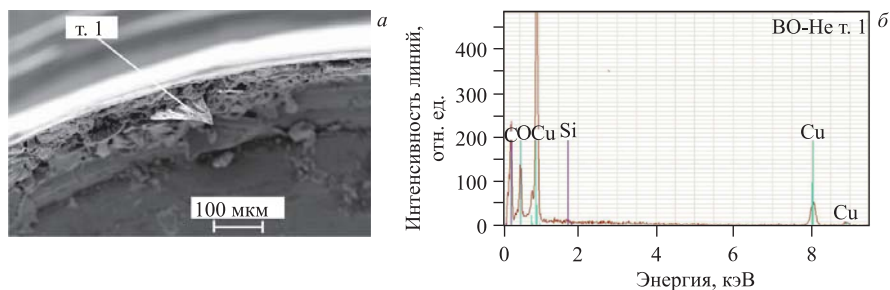


Рис. 10. СЭМ-изображение частицы на внутренней боковой поверхности заглибления в ВО (а) и СХРИ (б), измеренный в т. 1

Таблица 3. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 1 на рис. 10

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$47,07 \pm 11,07$	62,48
Кислород	К	$32,45 \pm 8,47$	32,34
Кремний	К	$0,13 \pm 0,05$	0,08
Медь	К	$20,34 \pm 1,05$	5,10

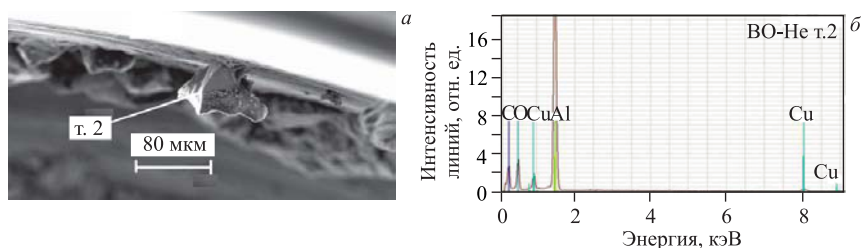


Рис. 11. СЭМ-изображение частицы на внутренней боковой поверхности заглибления в ВО (а) и СХРИ (б), измеренный в т. 2

Таблица 4. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 2 на рис. 11,а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$36,91 \pm 4,71$	53,50
Кислород	К	$25,77 \pm 3,04$	26,61
Алюминий	К	$30,34 \pm 1,29$	18,57
Титан	К	$0,25 \pm 0,04$	0,09
Медь	К	$4,74 \pm 0,17$	1,23

На рис. 12 приведен комплекс пирамидальной формы частиц на внутренней боковой поверхности ВО, при этом измерить СХРИ от них не удалось, так как сигнал слабый и не попадает в детектирующую часть РМЗА.

На рис. 13, *а* приведено СЭМ-изображение частицы в виде стержня на внутренней поверхности заглибления ВО, а на рис. 13, *б* — соответствующий СХРИ, измеренный в т. 3.

В табл. 5 приведены концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 3 на рис. 13, *а*.

На рис. 14, *а* приведено СЭМ-изображение крупной частицы с длиной 162 мкм на внутренней поверхности заглибления ВО, а на рис. 13, *б* — соответствующий СХРИ, измеренный в т. 4.

В табл. 6 приведены концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 4 на рис. 14, *а*.

На рис. 15, *а* приведено СЭМ-изображение частицы на торцевой поверхности ВО, а на рис. 15, *б* — соответствующий СХРИ, измеренный в т. 5.

В табл. 7 приведены концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 5 на рис. 15, *а*.

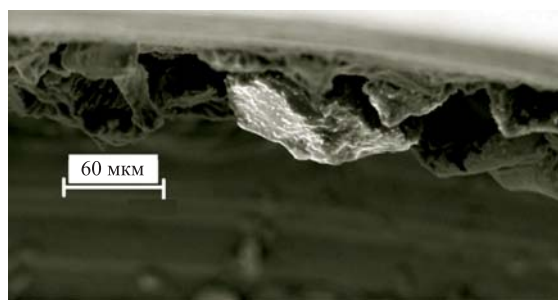


Рис. 12. СЭМ-изображения пирамидальной формы частиц на внутренней боковой поверхности ВО

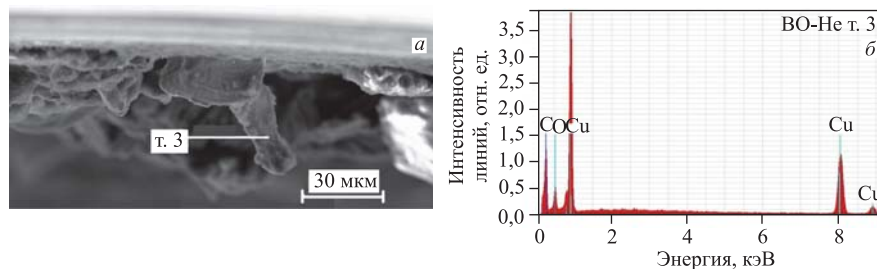


Рис. 13. СЭМ-изображение стержня на внутренней боковой поверхности заглибления в ВО (*а*) и СХРИ (*б*), измеренный в т. 3

Таблица 5. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 3 на рис. 13, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$35,10 \pm 5,41$	64,87
Кислород	К	$11,79 \pm 2,05$	16,35
Магний	К	$0,07 \pm 0,04$	0,06
Алюминий	К	$0,10 \pm 0,04$	0,09
Кремний	К	$0,15 \pm 0,04$	0,12
Сера	К	$0,08 \pm 0,03$	0,05
Хлор	К	$0,14 \pm 0,04$	0,09
Калий	К	$0,02 \pm 0,03$	0,01
Медь	К	$52,55 \pm 1,51$	18,36

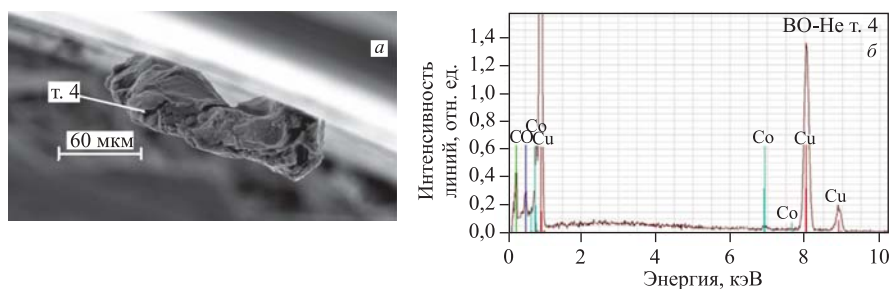


Рис. 14. СЭМ-изображение крупной частицы на внутренней боковой поверхности заглибления в ВО (а) и СХРИ (б), измеренный в т. 4

Таблица 6. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 4 на рис. 14, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$22,22 \pm 4,18$	54,17
Кислород	К	$7,23 \pm 1,49$	13,23
Кремний	К	$0,11 \pm 0,04$	0,11
Железо	К	$0,11 \pm 0,04$	0,06
Кобальт	К	$0,52 \pm 0,06$	0,26
Медь	К	$69,82 \pm 1,92$	32,17

На рис. 16, а приведено СЭМ-изображение частицы на торцевой поверхности ВО, а на рис. 16, б — соответствующий СХРИ, измеренный в т. 6. Ввиду малой толщины частицы спектр РМЗА был снят при пониженном

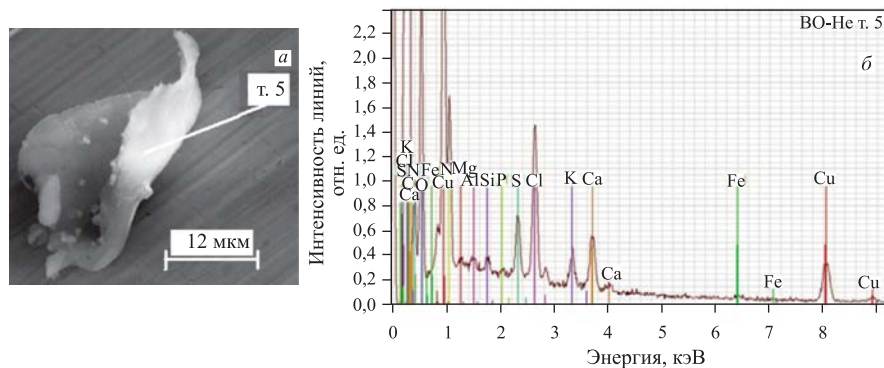


Рис. 15. СЭМ-изображение крупной частицы на торцевой поверхности ВО (а) и СХРИ (б), измеренный в т. 5

Таблица 7. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 5 на рис. 15, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$44,61 \pm 5,77$	54,15
Азот	К	$14,11 \pm 2,52$	14,69
Кислород	К	$28,31 \pm 4,00$	25,80
Натрий	К	$3,36 \pm 0,26$	2,13
Магний	К	$0,36 \pm 0,05$	0,22
Алюминий	К	$0,25 \pm 0,04$	0,14
Кремний	К	$0,18 \pm 0,04$	0,09
Фосфор	К	$0,07 \pm 0,03$	0,03
Сера	К	$0,68 \pm 0,05$	0,31
Хлор	К	$1,99 \pm 0,10$	0,82
Калий	К	$0,49 \pm 0,04$	0,18
Кальций	К	$1,13 \pm 0,06$	0,41
Железо	К	$0,15 \pm 0,04$	0,04
Медь	К	$4,31 \pm 0,17$	0,99

ускоряющем напряжении электронов в 10 кВ, а все предыдущие СХРИ были измерены при 20 кВ.

В табл. 8 приведены концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 6 на рис. 16, а.

На рис. 17, а приведено СЭМ-изображение частицы на торцевой поверхности ВО, а на рис. 17, б— соответствующий СХРИ, измеренный в т. 7.

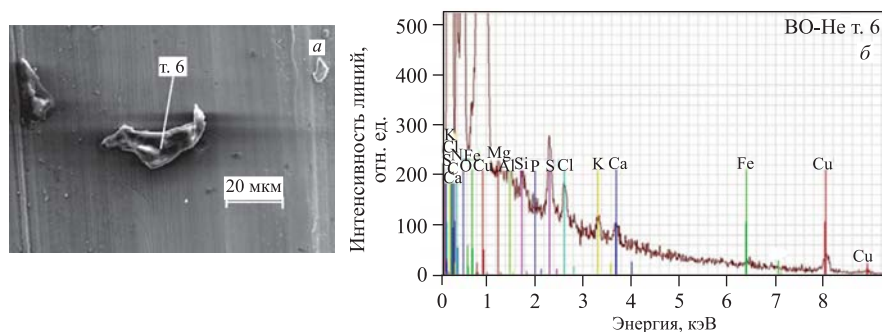


Рис. 16. СЭМ-изображение частицы на торцевой поверхности ВО (а) и СХРИ (б), измеренный в т. 6

Таблица 8. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 6 на рис. 16, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$26,15 \pm 3,30$	47,82
Азот	К	$5,82 \pm 0,99$	9,13
Кислород	К	$17,97 \pm 2,30$	24,67
Магний	К	$0,40 \pm 0,05$	0,36
Алюминий	К	$0,32 \pm 0,05$	0,26
Кремний	К	$0,32 \pm 0,04$	0,25
Сера	К	$0,70 \pm 0,06$	0,48
Хлор	К	$0,46 \pm 0,05$	0,29
Калий	К	$0,26 \pm 0,04$	0,15
Кальций	К	$0,46 \pm 0,05$	0,25
Железо	К	$0,82 \pm 0,11$	0,32
Медь	К	$46,32 \pm 5,37$	16,01

Из рис. 17, а хорошо видно, что вся медная поверхность покрыта тонким налетом из легких элементов, и это, скорее всего, углерод.

В табл. 9 приведены концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 7 на рис. 17, а.

На рис. 18, а приведено СЭМ-изображение темной структуры на торцевой поверхности ВО, а на рис. 18, б – соответствующий СХРИ, измеренный в т. 8.

Из рис. 18, а также хорошо видно, что вся медная поверхность покрыта тонким налетом из легких элементов, которые невозможно промерить РМЗА с какой-нибудь точностью даже снижая энергию (ускоряющее напряжение) электронного пучка.

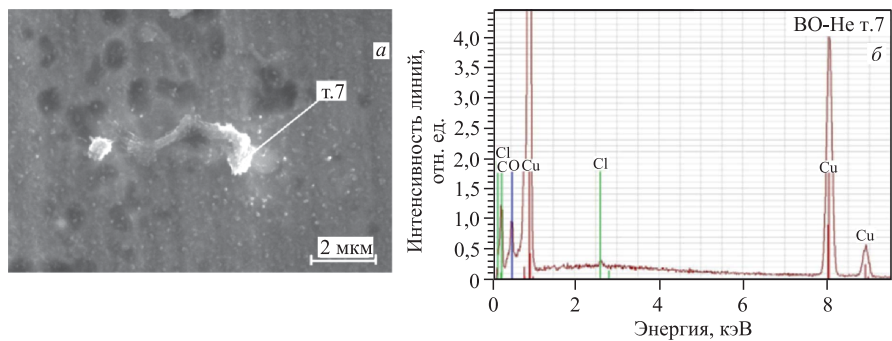


Рис. 17. СЭМ-изображение частицы на торцевой поверхности ВО (а) и СХРИ (б), измеренный в т. 7

Таблица 9. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 7 на рис. 17,а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$22,29 \pm 3,57$	53,81
Кислород	К	$7,87 \pm 1,33$	14,26
Хлор	К	$0,18 \pm 0,04$	0,15
Медь	К	$69,66 \pm 1,97$	31,78

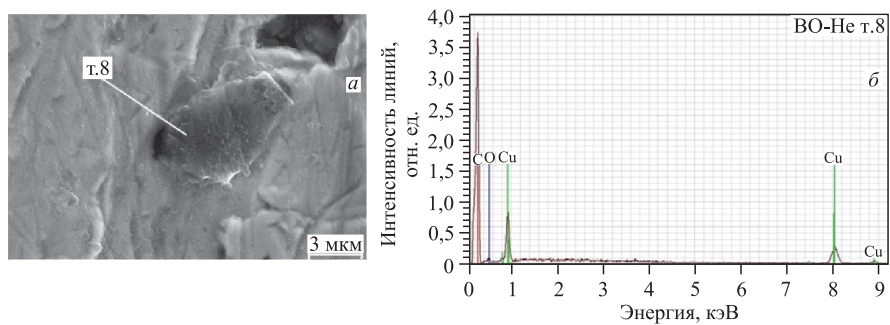


Рис. 18. СЭМ-изображение частицы на торцевой поверхности ВО (а) и СХРИ (б), измеренный в т. 8

В табл. 10 приведены концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 8 на рис. 18, а.

Из табл. 10 видно, что эта черная структура содержит до 92,24 ат. % углерода. Поверхность ВО в изучаемом месте сильно деструктирована, что

Таблица 10. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 8 на рис. 18, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$75,28 \pm 8,10$	92,24
Кислород	К	$2,91 \pm 0,86$	2,67
Хлор	К	$0,02 \pm 0,03$	0,01
Кальций	К	$0,07 \pm 0,03$	0,02
Ванадий	К	$0,20 \pm 0,04$	0,06
Никель	К	$0,63 \pm 0,08$	0,16
Медь	К	$20,87 \pm 0,62$	4,83
Олово	К	$0,02 \pm 0,03$	0,00

Таблица 11. Концентрации элементов, измеренные РМЗА в т. 9 на рис. 19, а

Элемент	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C , ат. %
Углерод	К	$14,34 \pm 2,02$	31,62
Кислород	К	$18,95 \pm 2,36$	31,37
Азот	К	$4,16 \pm 0,84$	7,87
Алюминий	К	$0,10 \pm 0,03$	0,10
Кремний	К	$0,13 \pm 0,04$	0,12
Сера	К	$0,19 \pm 0,04$	0,16
Хлор	К	$0,13 \pm 0,03$	0,09
Кальций	К	$11,59 \pm 0,34$	7,66
Медь	К	$50,41 \pm 1,26$	21,01

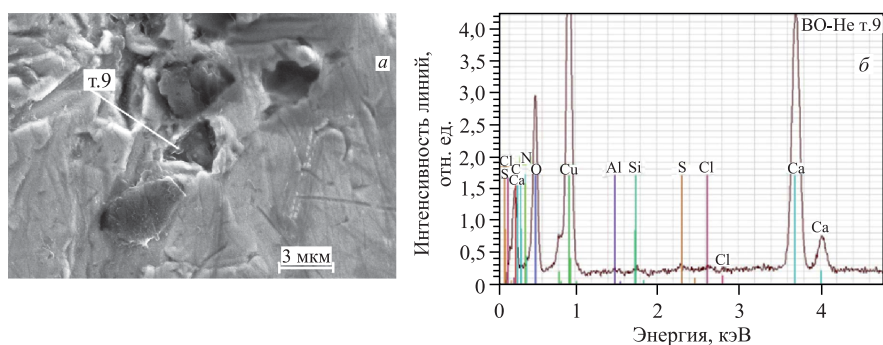


Рис. 19. СЭМ-изображение частицы на торцевой поверхности ВО (а) и СХРИ (б), измеренный в т. 9

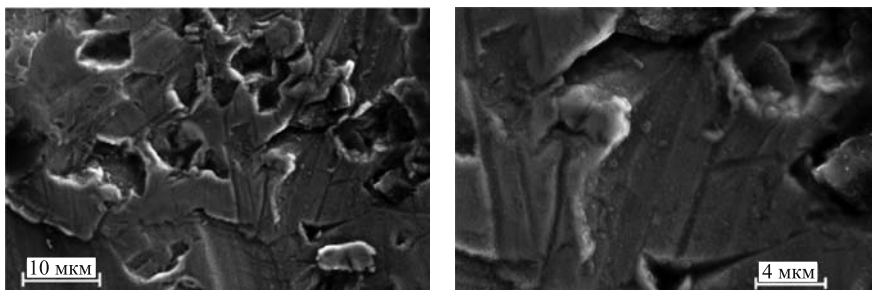


Рис. 20. СЭМ-изображения поверхности ВО с различным увеличением

особенно хорошо видно из рис. 19, *а*, на котором в т. 9 был проведен РМЗА, а соответствующий СХРИ приведен на рис. 19, *б*. Элементный состав в т. 9 представлен в табл. 11.

Из табл. 11 видно, что эта черная частица содержит много кальция (7,66 ат. %) и азота (7,87 ат. %). Завершая этот раздел, приведем на рис. 20 два СЭМ-изображения поверхности ВО с различным увеличением.

Из рис. 20 видно, что вся поверхность ВО покрыта тонким налетом из легких элементов, скорее всего углеродом.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУР И ОСОБЕННОСТЕЙ РЕЛЬЕФА НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРЕЗАННОЙ ПОПОЛАМ МЕДНОЙ ВТУЛКИ

3.1. В АЦ-I. На рис. 21 представлены два СЭМ-изображения структур на поверхности МВ, образовавшиеся в результате облучения HeHPC тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ.

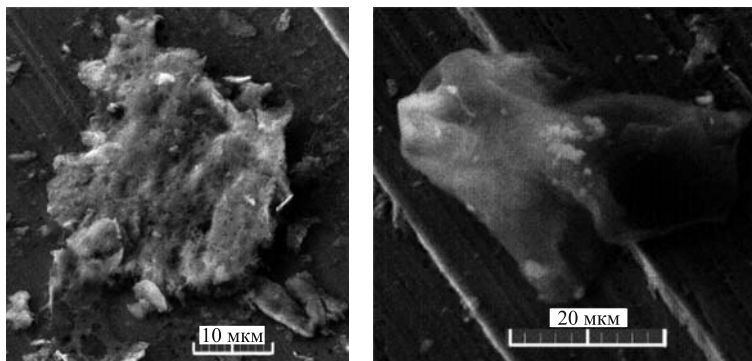


Рис. 21. СЭМ-изображения двух структур по поверхности МВ

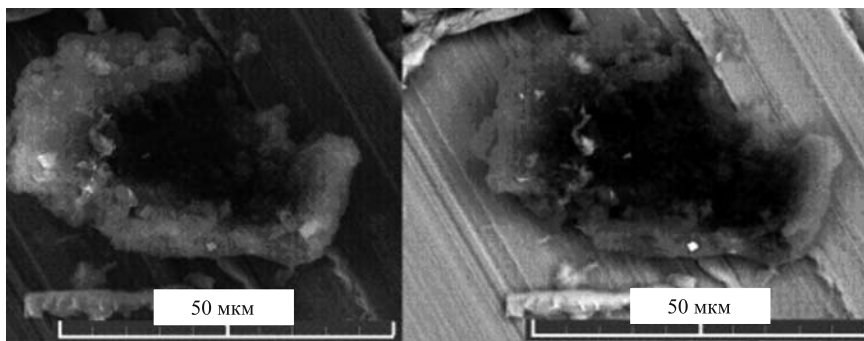


Рис. 22. СЭМ-изображения крупной структуры на поверхности МВ во вторичных электронах (слева) и в отраженных электронах (справа)

На поверхности обеих структур видны вкрапления светлых частиц малого размера.

На рис. 22 представлены СЭМ-изображения крупной структуры длиной 52 мкм и шириной 37 мкм на поверхности МВ во вторичных электронах (слева) и в отраженных электронах (справа).

Структура в отраженных электронах имеет темный цвет, это означает, что ее элементный состав гораздо легче, чем подложка, состоящая из особо чистой меди.

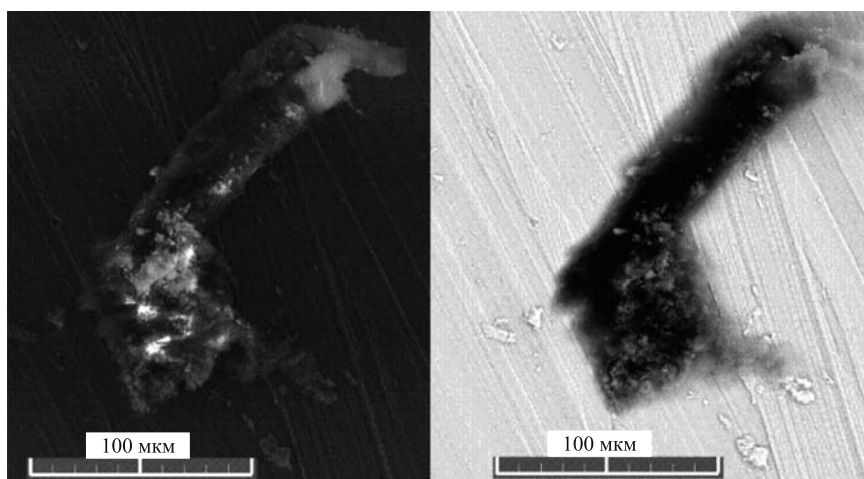


Рис. 23. СЭМ-изображения другой крупной структуры на поверхности МВ во вторичных электронах (слева) и в отраженных электронах (справа)

На рис. 23 представлены СЭМ-изображения другой крупной структуры в виде фольги длиной 204 мкм и шириной 109 мкм на поверхности МВ во вторичных электронах (слева) и в отраженных электронах (справа).

На рис. 24 представлено СЭМ-изображение участка поверхности МВ со структурой, в выделенной области которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ из этой области (б), а в табл. 12 приведен соответствующий элементный состав.

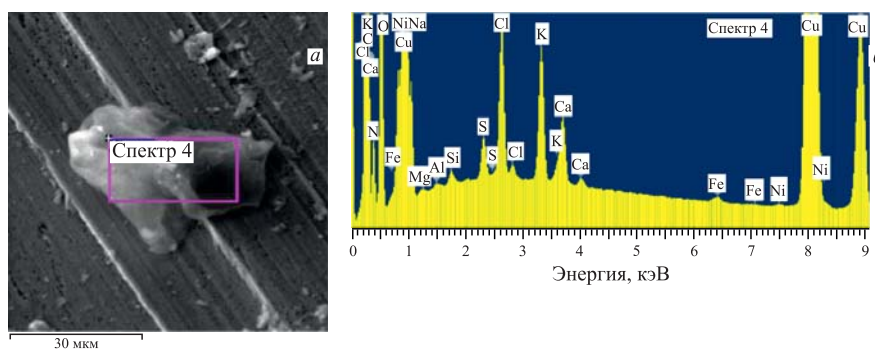


Рис. 24. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со структурой, на которой в обл. 4 был сделан РМЗА (а), и СХРИ (б)

Таблица 12. Элементный состав структуры на поверхности МВ на рис. 24, а, соответствующий СХРИ на рис. 24, б

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Азот	7	К	15,98	28,47
Кислород	8	К	28,28	44,11
Натрий	11	К	5,71	6,19
Магний	12	К	0,10	0,10
Алюминий	13	К	0,08	0,07
Кремний	14	К	0,23	0,21
Сера	16	К	0,56	0,44
Хлор	17	К	1,99	1,40
Калий	19	К	1,45	0,92
Кальций	20	К	0,70	0,43
Железо	25	К	0,07	0,03
Никель	28	К	0,05	0,02
Медь	29	К	44,80	17,60

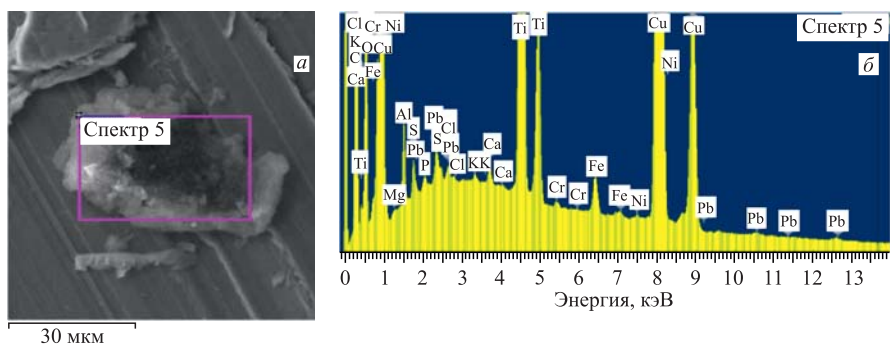


Рис. 25. СЭМ-изображение структуры на поверхности МВ с выделенной обл. 5, в которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ из этой области (б)

Таблица 13. Элементный состав структуры на поверхности МВ на рис. 25,а, соответствующий СХРИ на рис. 25, б

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Кислород	8	К	33,30	63,61
Магний	12	К	0,16	0,20
Алюминий	13	К	1,80	2,04
Кремний	14	К	0,58	0,63
Фосфор	15	К	0,17	0,17
Сера	16	К	0,24	0,22
Хлор	17	К	0,14	0,12
Калий	19	К	0,06	0,05
Кальций	20	К	0,14	0,11
Титан	22	К	15,45	9,86
Хром	24	К	0,08	0,05
Железо	25	К	0,54	0,29
Никель	28	К	0,07	0,04
Медь	29	К	46,92	22,57
Свинец	82	К	0,35	0,05

На рис. 25 представлено СЭМ-изображение участка поверхности МВ со структурой, в выделенной обл. 5 которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ из этой области (б), а в табл. 13 приведен соответствующий элементный состав.

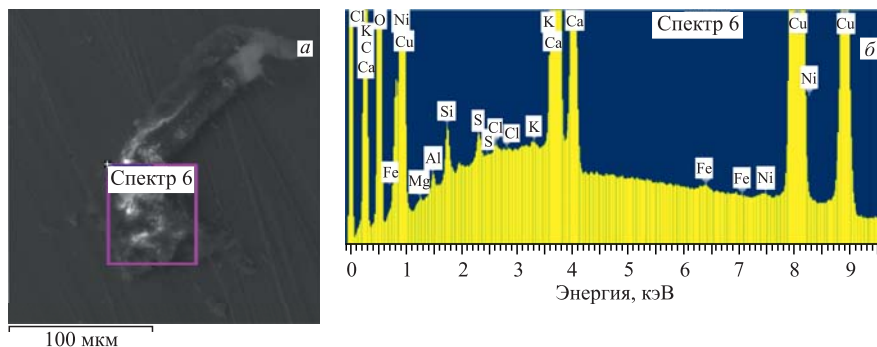


Рис. 26. СЭМ-изображение участка поверхности МВ из выделенной обл. 6, в которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ из этой области (б)

Таблица 14. Элементный состав структуры на поверхности МВ на рис. 26, а, соответствующий СХРИ на рис. 26, б

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Кислород	8	К	37,24	67,21
Магний	12	К	0,11	0,13
Алюминий	13	К	0,26	0,28
Кремний	14	К	0,57	0,59
Сера	16	К	0,20	0,18
Хлор	17	К	0,05	0,04
Калий	19	К	0,02	0,02
Кальций	20	К	13,47	9,70
Железо	25	К	0,04	0,02
Никель	28	К	0,04	0,02
Медь	29	К	47,98	21,80

На рис. 26 представлено СЭМ-изображение участка поверхности МВ со структурой, в выделенной обл. 6 которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в этой обл. (б), а в табл. 14 приведен соответствующий элементный состав.

3.2. В АЦ-II. На рис. 27 представлено СЭМ-изображение участка поверхности МВ со структурой, в выделенных тт. 1 и 2 которых был сделан РМЗА (а), и СХРИ с т. 1 (б), а в табл. 15 приведены соответствующие элементные составы.

На рис. 28 представлены СЭМ-изображение участка поверхности МВ с плоской структурой, в выделенной т. 3 которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ, измеренный в этой точке 3 (б). В табл. 16 приведен соответствующий элементный состав. СХРИ измерен при уменьшенном ускоряющем напряже-

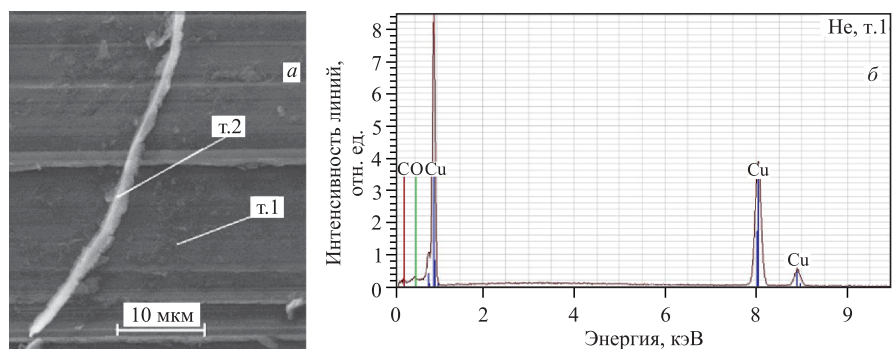


Рис. 27. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ, измеренный в т. 1 (б)

Таблица 15. Элементные составы поверхности МВ в выделенных тт.1 и 2 на рис.27,а

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %		C , ат. %	
			т. 1	т. 2	т. 1	т. 2
Углерод	6	K	$11,73 \pm 2,25$	$37,31$	$6,37 \pm 1,06$	$24,39$
Кислород	8	K	$5,39 \pm 0,98$	$12,86$	$3,63 \pm 0,59$	$10,45$
Медь	29	K	$82,88 \pm 1,91$	$49,83$	$90,00 \pm 9,99$	$65,16$

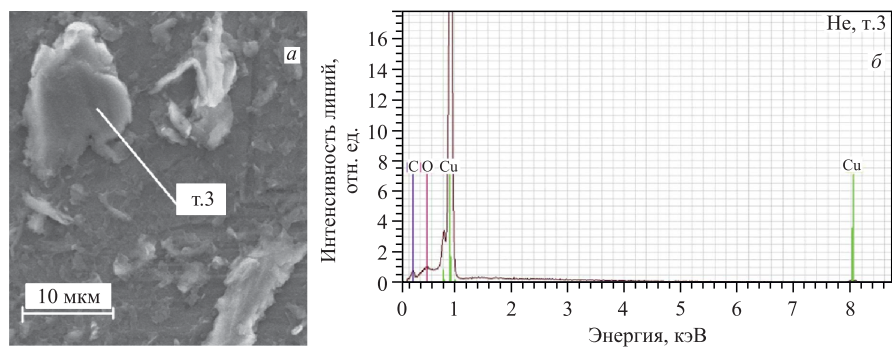


Рис. 28. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 3 (б)

нии со значения 24,74 до 10 кВ с тем, чтобы повысить выход рентгеновского излучения из самой структуры по сравнению с медной подложкой МВ, так как эта структура достаточно тонкая. Поэтому пик от меди при энергии примерно 8 кэВ очень мал и практически не наблюдается.

Таблица 16. Элементный состав поверхности МВ в отмеченной т.3 на рис.28,а

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	6	К	$4,41 \pm 0,80$	18,32
Кислород	8	К	$2,80 \pm 0,48$	12,86
Медь	29	К	$92,80 \pm 10,28$	72,95

На рис.29 и 30 представлены два СЭМ-изображения участков поверхности МВ со структурами, в выделенных тт.4 и 5 которых были сделан РМЗА (а), и соответствующие СХРИ в тт.4 и 5. В табл.17 приведены элементные составы. СХРИ также измерены при уменьшенном ускоряющем напряжении электронов до 10 кВ.

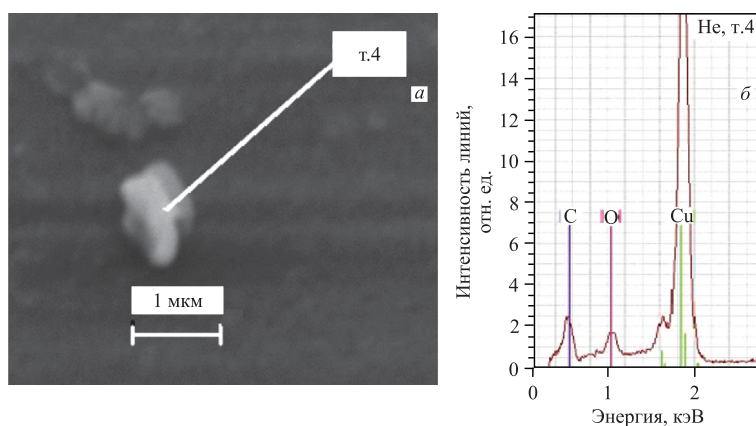


Рис. 29. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т.4 (б)

Таблица 17. Элементный состав поверхности МВ в выделенных тт.4 и 5 на рис.29 и 30,а соответственно

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
			т.4 (рис.29,а)		т.5 (рис.30,а)	
Углерод	6	К	$14,71 \pm 2,18$	43,43	$7,02 \pm 1,15$	15,16
Кислород	8	К	$5,42 \pm 0,87$	12,00	$30,96 \pm 4,20$	50,18
Кальций	20	К	—	—	$39,16 \pm 1,41$	25,34
Медь	29	К	$79,87 \pm 9,09$	44,57	$22,86 \pm 3,10$	9,33

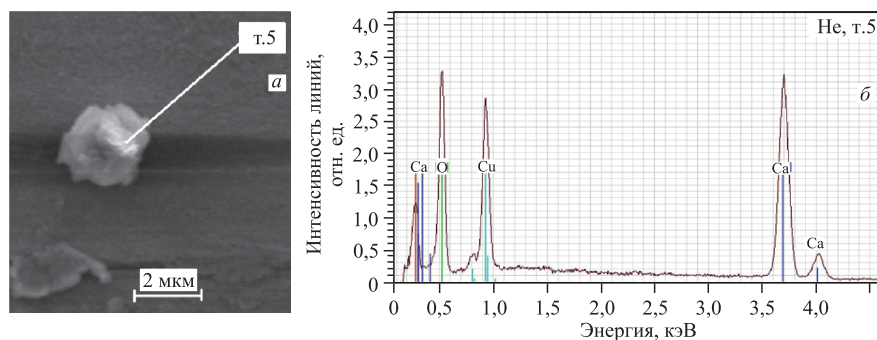


Рис. 30. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 5 (б)

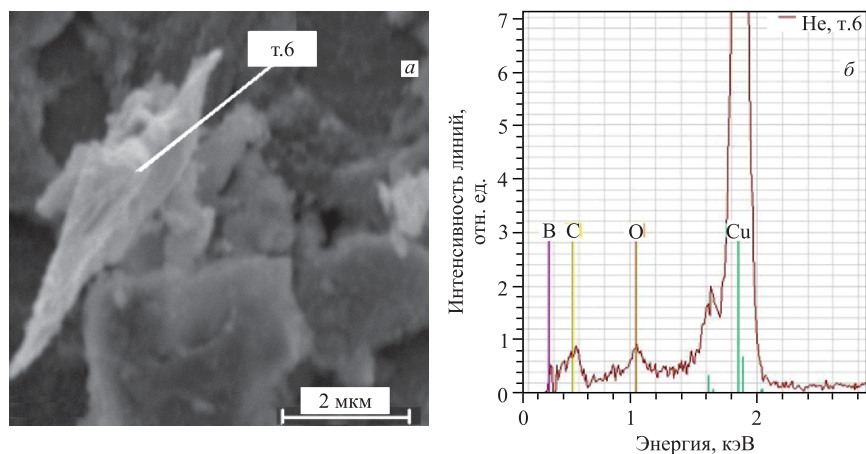


Рис. 31. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 6 (б)

На рис. 31 и 32 представлены два СЭМ-изображения участков поверхности МВ со структурами, в выделенных тт. 6 и 7 которых был сделан РМЗА (а), и соответствующие СХРИ в тт. 6 и 7, а в табл. 18 приведены элементные составы. СХРИ сняты при ускоряющем напряжении электронов 10 кВ.

Особо отметим обнаружение в СХРИ на рис. 31, б пика, соответствующего бору, т.е. элементу с порядковым номером $Z = 5$. А его концентрации имеют значения $(10,94 \pm 3,75)$ вес. %, или 32,06 ат. %.

На рис. 33 и 34 представлены два СЭМ-изображения участков поверхности МВ со структурами, в выделенных тт. 8 и 9 которых были сделаны РМЗА (а), и соответствующие СХРИ в этих тт. 8 и 9, а в табл. 19 приве-

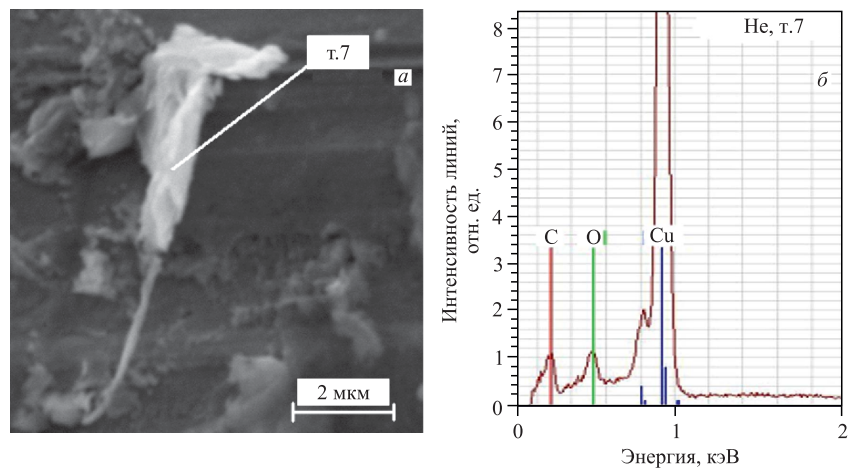


Рис. 32. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 7 (б)

Таблица 18. Элементный состав поверхности МВ в отмеченных тт. 6 и 7, которым соответствуют СХРИ на рис. 31, б (т. 6) и 32, б (т. 7)

Элемент	Z	Серия	(C ± ΔC), вес. %		C, ат. %	
			т. 6 (рис. 31, а)	т. 7 (рис. 32, а)	т. 6 (рис. 31, а)	т. 7 (рис. 32, а)
Бор	5	К	10,94 ± 3,75	—	32,06	—
Углерод	6	К	8,51 ± 1,90	9,31 ± 1,60	22,45	31,92
Кислород	8	К	3,60 ± 0,81	4,83 ± 0,82	7,14	12,43
Медь	29	К	76,94 ± 9,57	85,86 ± 9,89	38,36	55,65

дены элементные составы. СХРИ измерены при еще меньшем ускоряющем электроны напряжении 6,06 кВ.

Таблица 19. Элементный состав поверхности МВ в отмеченных тт. 8 и 9, которым соответствуют СХРИ на рис. 33, б (т. 8) и 34, б (т. 9)

Элемент	Z	Серия	(C ± ΔC), вес. %		C, ат. %	
			т. 8 (рис. 33, а)	т. 9 (рис. 34, а)	т. 8 (рис. 33, а)	т. 9 (рис. 34, а)
Углерод	6	К	9,72 ± 1,80	9,31 ± 1,60	33,46	31,92
Кислород	8	К	4,04 ± 0,78	4,83 ± 0,82	10,43	12,43
Медь	29	К	86,24 ± 10,21	85,86 ± 9,89	56,10	55,65

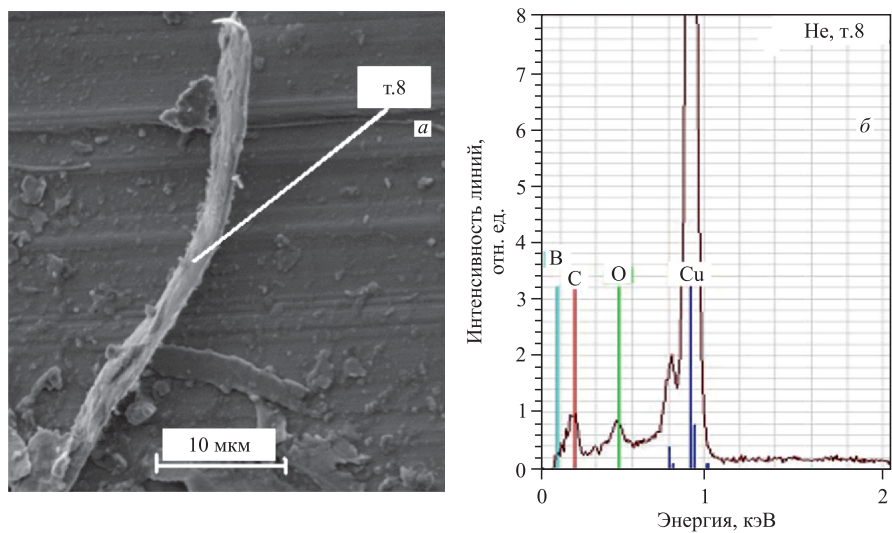


Рис. 33. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ с трубчатой структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 8 (б)

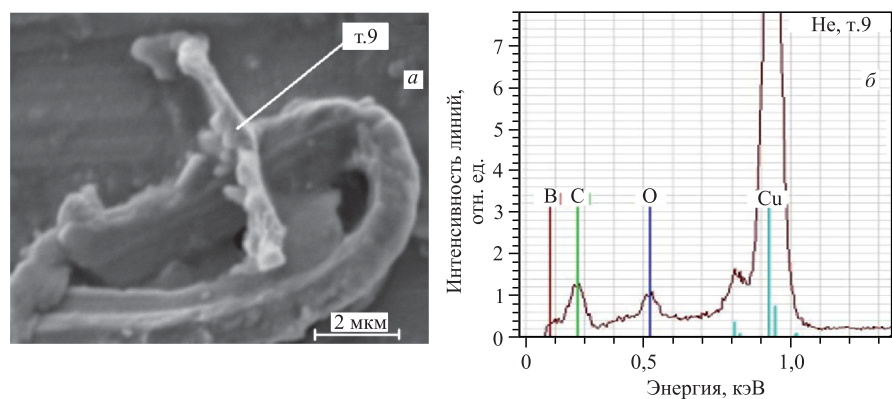


Рис. 34. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ с трубчатой структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 9 (б)

На рис. 35 представлено СЭМ-изображение той же структуры, что и на рис. 34, однако РМЗА был сделан в другой т. 10 (а), а также приведен СХРИ, измеренный в т. 10. В табл. 20 приведен элементный состав. СХРИ измерены при пониженном ускоряющем напряжении 6,06 кВ.

Особо отметим присутствие в структуре на рис. 35, а, в т. 10 которой сделан РМЗА, наличие всех легких элементов от бора ($Z = 5$), углерода

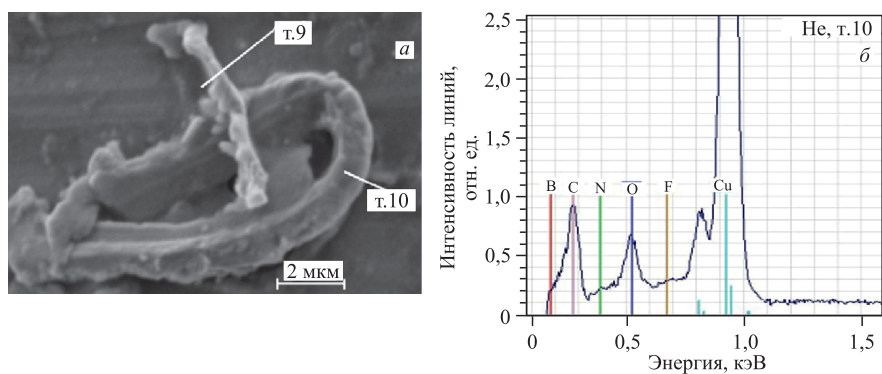


Рис. 35. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со сложной трубчатой структурой, на которой был сделан РМЗА (а) и СХРИ в т. 10 (б)

Таблица 20. Элементный состав поверхности МВ в отмеченной на рис.35,а т. 10

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Бор	5	К	$8,30 \pm 1,60$	24,41
Углерод	6	К	$8,68 \pm 1,24$	22,99
Азот	7	К	$1,90 \pm 0,38$	4,30
Кислород	8	К	$4,15 \pm 0,64$	8,25
Фтор	9	К	$1,31 \pm 0,26$	2,20
Медь	29	К	$75,66 \pm 8,53$	37,85

(Z = 6), азота (Z = 7), кислорода (Z = 8) и фтора (Z = 9) в значительных количествах, более 2 ат. %.

На рис. 36 представлено СЭМ-изображение участка поверхности МВ с свернутой пленочной структурой, в выделенной т. 11 которой был сделан РМЗА (а), и соответствующий СХРИ в т. 11. В табл. 21 приведен элементный состав. СХРИ измерен при ускоряющем напряжении электронов 6,06 кВ.

На рис. 37 и 38 представлены два СЭМ-изображения участков поверхности МВ с различными структурами, в выделенных тт. 13 и 14 которых был сделан РМЗА (а), и соответствующие СХРИ в тт. 13 и 14 (б). В табл. 22 приведен элементный состав. СХРИ измерен при ускоряющем напряжении электронов 6,06 кВ.

На рис. 39 представлено СЭМ-изображение участка поверхности МВ с мелкодисперсными структурами, в выделенной светлой структуре, в т. 14 которой был сделан РМЗА (а), и соответствующий СХРИ — в т. 14. В табл. 23

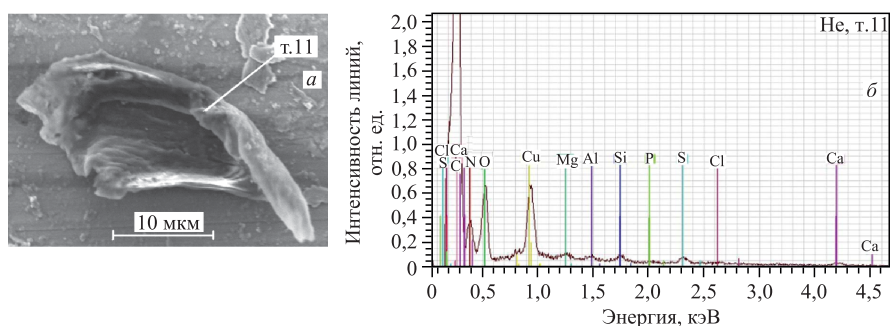


Рис. 36. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ со сложной трубчатой структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 10 (б)

Таблица 21. Элементный состав поверхности МВ в отмеченной на рис. 36, а т. 11

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	6	К	$44,11 \pm 5,29$	69,00
Азот	7	К	$7,14 \pm 1,24$	9,58
Кислород	8	К	$9,33 \pm 1,41$	10,96
Магний	12	К	$0,48 \pm 0,06$	0,37
Алюминий	13	К	$0,35 \pm 0,05$	0,24
Кремний	14	К	$0,93 \pm 0,09$	0,62
Фосфор	15	К	$0,13 \pm 0,04$	0,08
Сера	16	К	$1,03 \pm 0,09$	0,60
Хлор	17	К	$0,37 \pm 0,06$	0,30
Кальций	20	К	$2,21 \pm 0,23$	1,03
Марганец	25	К	$1,08 \pm 0,36$	0,37
Медь	29	К	$14,31 \pm 2,05$	4,23
Теллур	52	М	$16,97 \pm 3,53$	2,50
Барий	56	М	$1,57 \pm 0,69$	0,21

приведен элементный состав. СХРИ измерен при ускоряющем напряжении электронов 20 кВ.

На рис. 40 представлены два СЭМ-изображения сильно изъязвленных участков поверхности МВ с различным увеличением.

На рис. 41 представлено СЭМ-изображение участка поверхности МВ со светлой круглой структурой, в т. 16 которой был сделан РМЗА (а), и соответствующий СХРИ — в т. 16 (б). В табл. 24 приведен элементный состав. СХРИ измерен при ускоряющем напряжении электронов 20 кВ.

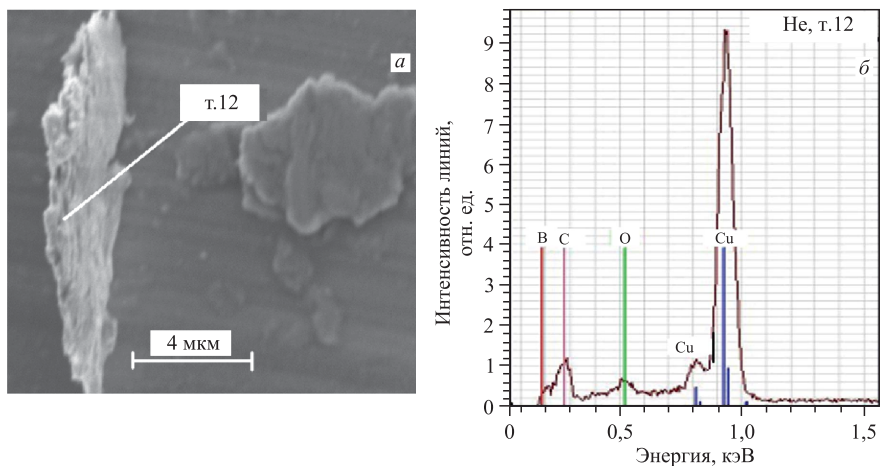


Рис. 37. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ с протяженной структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 12 (б)

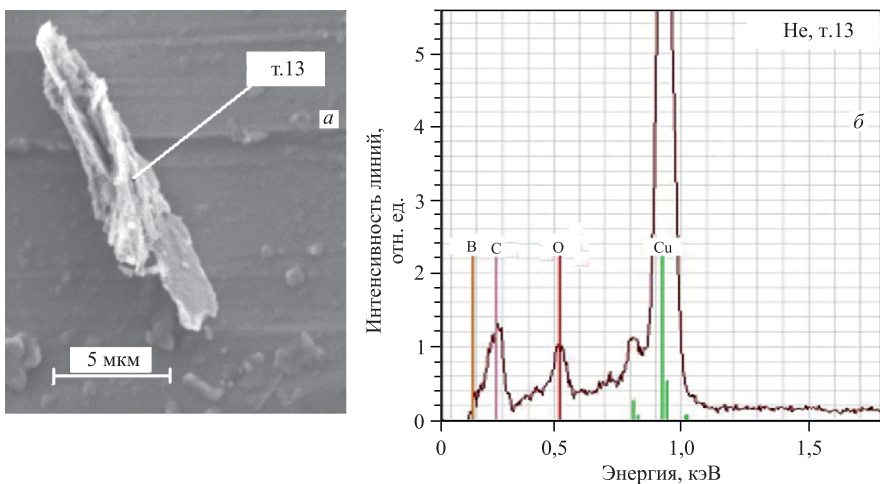


Рис. 38. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ с протяженной структурой, на которой был сделан РМЗА (а), и спектр СХРИ в т. 13 (б)

Элементный состав овальной структуры на поверхности МВ в отмеченной на рис. 41, а т. 16.

На рис. 42 представлено СЭМ-изображение участка поверхности в месте распила медной втулки, в т. 15 которой был сделан РМЗА (а), и соответствующие СХРИ в т. 15. В табл. 25 приведен элементный состав. СХРИ измерен при ускоряющем напряжении электронов 20 кВ.

Таблица 22. Элементный состав поверхности МВ в отмеченных на рис. 37, а и 38, а тт. 12 и 13

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
			т. 12 (рис. 37, а)		т. 13 (рис. 38, а)	
Бор	5	К	9,54 ± 2,34	29,11	6,92 ± 1,71	21,59
Углерод	6	К	8,58 ± 1,49	23,57	9,41 ± 1,49	26,43
Кислород	8	К	3,10 ± 0,62	6,39	4,79 ± 0,81	10,10
Медь	29	К	78,79 ± 9,52	40,92	78,89 ± 9,29	41,89

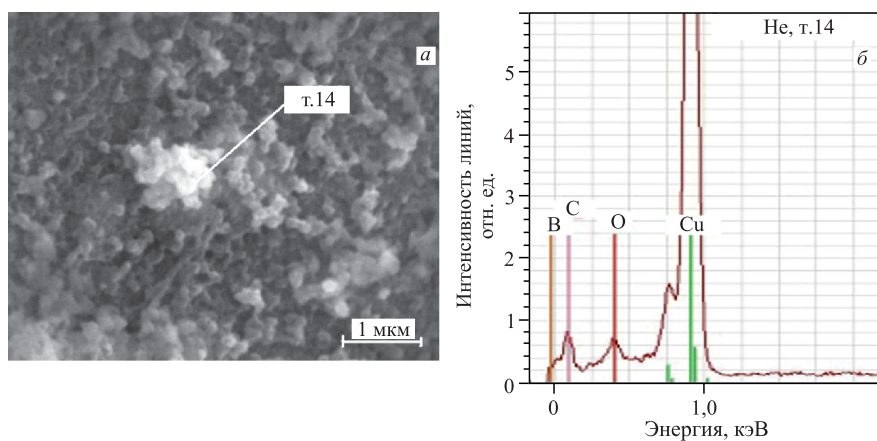


Рис. 39. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ с мелкодисперсными структурами, на которых был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 14 (б)

Таблица 23. Элементный состав поверхности МВ в отмеченной на рис. 39, а т. 14

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Бор	5	К	25,11 ± 5,68	42,40
Углерод	6	К	23,72 ± 4,15	36,04
Кислород	8	К	8,04 ± 1,44	9,17
Медь	29	К	43,13 ± 1,33	12,39

Как видно, бор присутствует в очень больших количествах внутри МВ, что является совершенно необъяснимым фактом, см. также комментарии в разделе «Заключение и выводы».

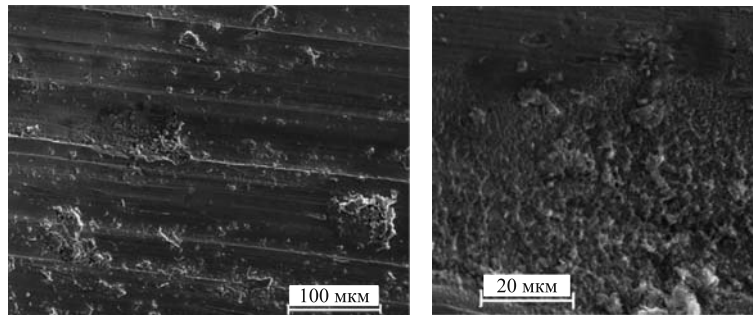


Рис. 40. СЭМ-изображение сильно изъязвленной поверхности МВ

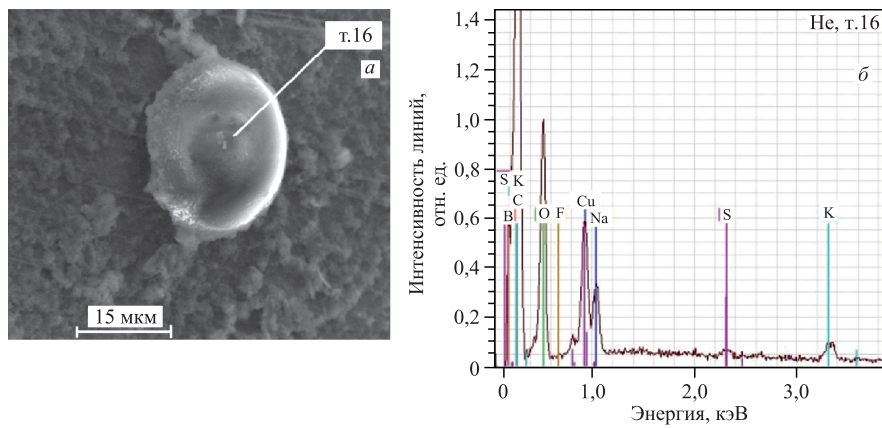


Рис. 41. СЭМ-изображение участка внутренней поверхности МВ с овальной структурой, на который был сделан РМЗА (а), и СХРИ в т. 16 (б)

Таблица 24. Элементный состав овальной структуры на поверхности МВ в отмеченной на рис. 41, а т. 16

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Бор	5	К	$6,12 \pm 2,22$	7,73
Углерод	6	К	$55,20 \pm 7,41$	62,71
Кислород	8	К	$31,52 \pm 4,70$	26,88
Фтор	9	К	$1,09 \pm 0,40$	0,78
Натрий	11	К	$1,58 \pm 0,14$	0,94
Сера	16	К	$0,12 \pm 0,03$	0,05
Калий	19	К	$0,43 \pm 0,05$	0,15
Медь	29	К	$3,35 \pm 0,16$	0,72
Тантал	73	L	$0,60 \pm 0,08$	0,05

Таблица 25. Элементный состав внутри МВ в отмеченной на рис. 42, а т. 15

Элемент	Z	Серия	($C \pm \Delta C$), вес. %	C, ат. %
Бор	5	К	18,02 ± 5,16	45,74
Углерод	6	К	7,42 ± 1,79	16,94
Кислород	8	К	4,00 ± 0,82	6,85
Медь	29	К	70,56 ± 1,98	30,46

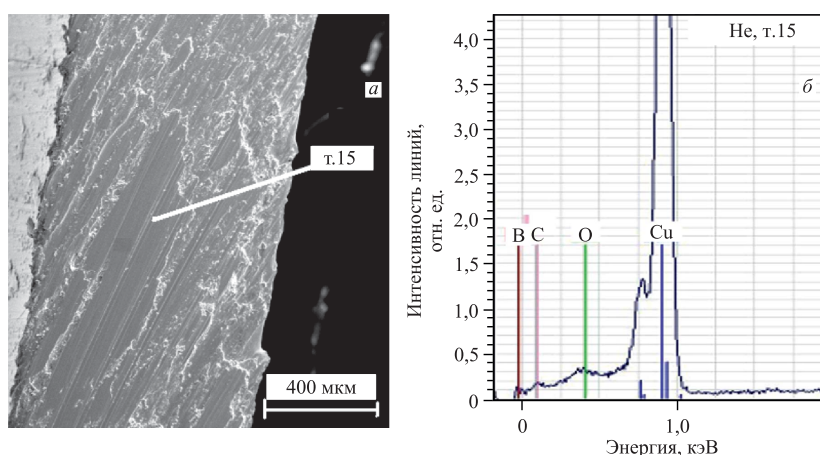


Рис. 42. СЭМ-изображение поверхности медной втулки в месте распила, в т. 15 которой был сделан РМЗА (а), и соответствующие СХРИ в т. 15 (б)

4. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ОБЪЕКТОВ НА МЕДНОМ СБОРНИКЕ (МС) ПРОДУКТОВ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В HeHPC

На рис. 43 представлено СЭМ-изображение участка исходной поверхности МС, т. е. без изменений, со всей выделенной площади изображения которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ из этой области (б), а в табл. 26 приведен элементный состав.

Отметим, что углерод здесь при расчете концентраций был убран.

На рис. 44 приведены три СЭМ-изображения трех структур, обнаруженных на поверхности МС при различном увеличении.

На рис. 45 представлено СЭМ-изображение участка поверхности с одной из размытых тонких структур на поверхности МС, на всей выделенной

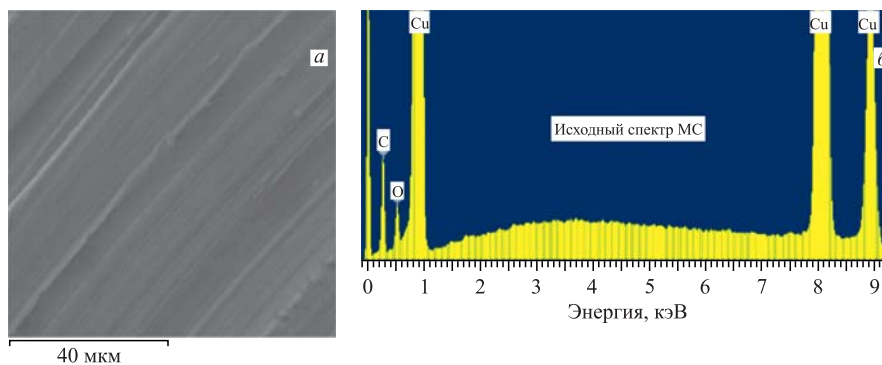


Рис. 43. СЭМ-изображение исходной поверхности МС, на всей площади которой был сделан РМЗА (а), и спектр СХРИ из этой области (б)

Таблица 26. Элементный состав поверхности МС, на всей площади которой сделан РМЗА (рис. 43, а), соответствующий СХРИ на рис. 43, б

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Кислород	8	K	4,23	14,91
Медь	29	K	95,77	85,09

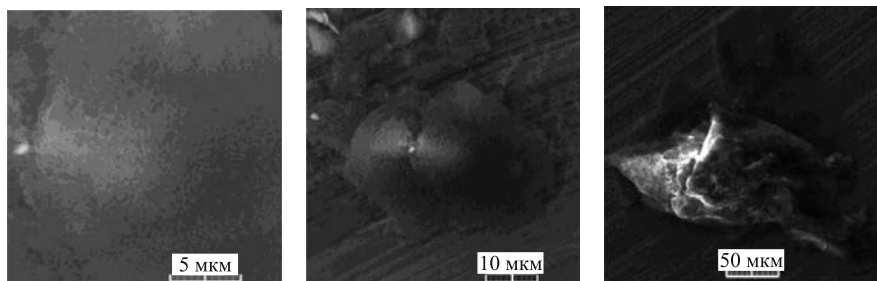


Рис. 44. СЭМ-изображения трех различных структур на поверхности МС

площади изображения которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ из этой области (б), а в табл. 27 приведен соответствующий элементный состав.

На рис. 46 представлено СЭМ-изображение участка поверхности с крупной структурой сложной формы на поверхности МС, со всей выделенной площади изображения которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ из этой области (б), а в табл. 28 приведен соответствующий элементный состав.

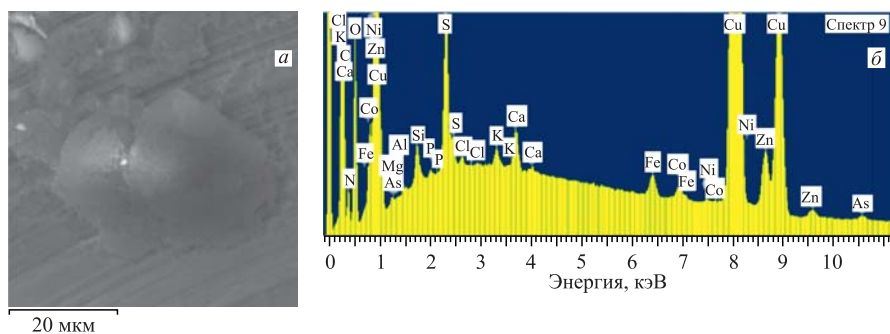


Рис. 45. СЭМ-изображение размытой тонкой структуры, со всей площади которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ с этой площади (б)

Таблица 27. Элементный состав поверхности размытой тонкой структуры, на всей площади которой сделан РМЗА (рис. 45, а), соответствующий СХРИ на рис. 45, б

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Азот	7	К	10,51	24,12
Кислород	8	К	18,53	37,21
Магний	12	К	0,39	0,52
Алюминий	13	К	0,20	0,23
Кремний	14	К	0,88	1,01
Фосфор	15	К	0,18	0,18
Сера	16	К	2,79	2,79
Хлор	17	К	0,18	0,16
Калий	19	К	0,22	0,18
Кальций	20	К	0,51	0,41
Железо	25	К	0,39	0,22
Кобальт	27	К	0,23	0,13
Никель	28	К	0,07	0,04
Медь	29	К	62,32	31,52
Цинк	30	К	2,31	1,14
Мышьяк	33	К	0,29	0,13

Отметим, что углерод здесь при расчете концентраций был также убран, в связи с тем, что его концентрация очень высокая и не позволяет оценить присутствие других элементов, концентрации которых низкие, но которые все

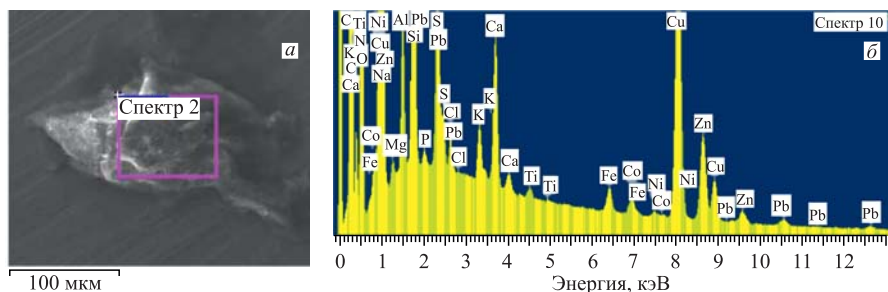


Рис. 46. СЭМ-изображение крупной структуры сложной формы, на выделенной площади (спектр 2) которой был сделан РМЗА (а), и СХРИ из этой области (б)

Таблица 28. Элементный состав крупной структуры сложной формы на поверхности МС, на площади (спектр 2) которой сделан РМЗА (рис. 46, а), соответствующий СХРИ на рис. 46, б

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Азот	7	К	8,62	11,91
Кислород	8	К	59,51	72,01
Натрий	11	К	2,69	2,26
Магний	12	К	0,52	0,41
Алюминий	13	К	2,90	2,08
Кремний	14	К	6,49	4,47
Фосфор	15	К	0,21	0,13
Сера	16	К	2,04	1,23
Хлор	17	К	0,33	0,18
Калий	19	К	0,51	0,25
Кальций	20	К	1,54	0,74
Титан	22	К	0,14	0,06
Железо	25	К	0,42	0,15
Кобальт	27	К	0,36	0,12
Никель	28	К	0,13	0,04
Медь	29	К	9,60	2,93
Цинк	30	К	3,22	0,95
Свинец	82	L	0,78	0,07

же присутствуют в синтезированных структурах. При исключении углерода из расчетов проявляются химические элементы с низкими концентрациями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Результаты по изучению структуры и состава синтезированных фольг черного цвета, которые были обнаружены при вскрытии HeHPC в этом эксперименте, представлены в [21]. Данные, полученные в этой части работы, дополняют и детализируют изменения и образование элементов и разнообразных структур на поверхностях входного окна из бериллиевой бронзы, медной втулки (реакционной камеры) и медного сборника продуктов ядерных реакций (см. рис. 1).

Как видно, в табл. 18 (рис. 31, *a*, т. 6), 20 (рис. 35, *a*, т. 10), 22 (рис. 37, *a*, т. 12 и рис. 38, *a*, т. 13), 23 (рис. 39, *a*, т. 14), 24 (рис. 41, *a*, т. 16) и 25 (рис. 42, *a*, т. 15) присутствует бор, элемент с порядковым номером $Z = 5$. Этот элемент появляется при наборе и обработке СХРИ программой, которая вычисляет концентрации элементов, превышающие фон. Следует отметить, что линия бора близка к L-линии Р и С1, а также к M-линии Мо. Кроме того, спектры измерялись не вполне по правилам: нет прямого угла при регистрации, нет полировки поверхности и нет гомогенности, а для сокращения времени набора СХРИ использовалась неполная статистика. Поэтому все эти спектры были пересчитаны с удалением бора. Вместо табл. 23 (рис. 39, *a*, т. 14), табл. 24 (рис. 41, *a*, т. 16) и табл. 25 (рис. 42, *a*, т. 15) представлены пересчитанные данные в табл. 29, 30 и 31 соответственно.

Особо следует отметить, что в СХРИ часто присутствуют линии (пики), которые программа обработки спектров, прилагаемая к каждому СЭМ, не идентифицирует, выдавая несколько химических элементов, СХРИ которых энергетически близки линиям элемента в спектре. Часто эти элементы даже более тяжелые, чем входящие в материалы, присутствующие внутри камер высокого давления, которые нами не принимаются во внимание и не рассматриваются.

Сравнивая экспериментальные концентрации элементов, входящих в углеродные фольги в [21], можно констатировать, что в обнаруженных объектах присутствуют близкие концентрации углерода и других более тяжелых химических элементов. Внутренняя поверхность латунной втулки (реакционной камеры) также покрыта тонкими слоями углерода, из которых, скорее всего, и были образованы массивные углеродные фольги в [21].

Таблица 29. Пересчитанные концентрации элементов для табл. 23 (рис. 39, *a*, т. 14) без бора

Элемент	Z	Серия	C , вес. %	C , ат. %
Углерод	6	К	$23,05 \pm 3,63$	53,27
Кислород	8	К	$10,10 \pm 1,62$	17,53
Медь	29	К	$66,85 \pm 1,83$	29,21

Таблица 30. Пересчитанные концентрации элементов для табл. 24 (рис. 41, а, т. 16) без бора и тантала

Элемент	Z	Серия	$(C \pm \Delta C)$, вес. %	C, ат. %
Углерод	6	К	$51,06 \pm 6,97$	60,93
Кислород	8	К	$40,09 \pm 5,79$	35,92
Натрий	11	К	$2,47 \pm 0,21$	1,54
Алюминий	13	К	$0,04 \pm 0,03$	0,02
Фосфор	15	К	$0,03 \pm 0,03$	0,01
Сера	16	К	$0,16 \pm 0,04$	0,07
Хлор	17	К	$0,07 \pm 0,03$	0,03
Калий	19	К	$0,73 \pm 0,06$	0,27
Железо	26	К	$0,12 \pm 0,04$	0,03
Медь	29	К	$5,25 \pm 0,24$	1,18

Таблица 31. Пересчитанные концентрации элементов для табл. 25 (рис. 42, а, т. 15) без бора

Элемент	Z	Серия	C, вес. %	C, ат. %
Углерод	6	К	$7,05 \pm 1,72$	25,91
Кислород	8	К	$4,62 \pm 0,94$	12,73
Медь	29	К	$88,33 \pm 2,47$	61,35

Возможная интерпретация обнаруженных явлений, структур и химических элементов представлена в приложении к [21].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Nuclear Reactions, Induced by Gamma Quanta, in Palladium Saturated with Deuterium Surrounded by Dense Deuterium Gas // *Eur. Phys. Lett.* 2012. V. 99. P. 22001-1–22001-6.
2. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Nuclear Reactions in Deuterium-Saturated Palladium under Irradiation by 10 MeV γ -Quanta in Dense Molecular Deuterium at 1.2 kbar Pressure // *Eur. Phys. Lett.* 2013. V. 103. P. 42002-1–42002-6.
3. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Chemical Composition and Structural Phase Changes of Novel Synthesized Structure and of Pd Sample under γ -Quanta Irradiation in Dense Deuterium Gas // *Phys. Part. Nucl. Lett.* 2012. V. 9, No. 8. P. 615–631; JINR Preprint E15-2012-34. Dubna, 2012. 26 p.

4. Дидык А. Ю., Вишневецкий П. Синтез новых структур в плотном газообразном дейтерии и насыщенном дейтерием палладии при ядерных реакциях, инициированных γ -квантами // Физика и химия обработки материалов. 2012. №5. С. 5–13; Препринт ОИЯИ P15-2012-50. Дубна, 2012. 16 с.
5. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* Deuteron Disintegration, Thermonuclear and Nuclear Fission Reactions Induced by γ -Quanta in D-Saturated Palladium and Dense Deuterium Gas with Synthesis of New Structures // J. Surface Investigation. X-ray, Synchrotron and Neutron Techn. 2013. V. 7, No. 2. P. 239–247.
6. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Synthesis of New Structures in Dense Deuterium Gas and Deuterated Palladium under Nuclear Reactions Induced by γ Quanta // Inorganic Materials: Appl. Res. 2013. V. 4, No. 3. P. 5–13.
7. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* Changes of Surface Structure and Elemental Composition of Pd Rod and Collector of Nuclear Reaction Products Irradiated with 10-MeV γ -Quanta in Dense Deuterium Gas // Phys. Part. Nucl. Lett. 2013. V. 10, No. 7. P. 804–819; JINR Preprint P15-2013-15. Dubna, 2013. 39 p.
8. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R., Wilczynska-Kitowska T.* Changes of Surface Structure and Elemental Composition of Components of Deuterium High-Pressure Chamber with Pd Rod Inside Irradiated with 10-MeV γ -Quanta in Dense Deuterium Gas // Phys. Part. Nucl. Lett. 2013. V. 10, No. 7. P. 820–832; JINR Preprint P15-2013-20. Dubna, 2013. 32 p.
9. Дидык А. Ю., Вишневецкий П. 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 P15-2012-63. Дубна, 2012. 22 с; *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2012. No. 5. P. 5–13;
10. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Properties of Hydrogen and Its Isotopes under High Pressure, and Technological Application: Monograph. Dubna: JINR, 2013. 320 p.
11. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* The Study of Changes in the Element Compositions of Pd and Re Specimens Irradiated in Dense Gaseous Deuterium by γ -Quanta with Boundary Energy up to 23 MeV // J. Phys. Sci. Application. 2013. No. 3(4). P. 209–217.
12. Дидык А. Ю., Вишневецкий П. Изменения поверхности, объемных свойств образцов ванадия и нержавеющей стали, облученных в плотном газообразном дейтерии γ -квантами с пороговой энергией 23 МэВ. Препринт ОИЯИ P15-2012-75. Дубна, 2012. 15 с.
13. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Results from the Irradiating Aluminum and Homogeneous Alloy YMn₂ by 23 MeV γ -Quanta in a Molecular Deuterium Atmosphere at 2 kbar Pressure // Phys. Part. Nucl. Lett. 2014. V. 11, No. 2. P. 169–179.
14. *Didyk A. Yu., Wiśniewski R.* Results from the Irradiation of Stainless Steel and Copper by 23 MeV γ -Quanta in the Atmosphere of Molecular Deuterium at a Pressure of 2 kbar // Phys. Part. Nucl. Lett. 2014. V. 11, No. 3. P. 309–328.
15. Дидык А. Ю., Вишневецкий П. Изменения структуры и элементного состава Pd стержня и сборника продуктов реакций, облученных 10 МэВ-ными тормозными γ -квантами в камере высокого давления молекулярного водорода при давлении 2,5 кбар // Препринт ОИЯИ P15-2013-80. Дубна, 2013. 32 с.; Письма в ЭЧАЯ. 2014. Т. 11, №4(188). С. 796.

16. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. Синтез микрочастиц в молекулярном водороде при давлении 1 кбар при ядерных реакциях под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ. Химический состав и структуры на внутренних поверхностях компонент камеры высокого давления. Препринт ОИЯИ Р15-2014-2. Дубна, 2014, 44 с.; Письма в ЭЧАЯ (направлено).
17. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. Синтез микрочастиц в молекулярном водороде при давлении 1 кбар при ядерных реакциях под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ. Химический состав синтезированных частиц и структур на поверхности реакционной камеры. Препринт ОИЯИ Р15-2014-3. Дубна, 2014. 44 с.; Письма в ЭЧАЯ (направлено).
18. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. Синтез новых структур на поверхности Pd-стержня и элементов ННРС и их химический состав при ядерных реакциях под действием тормозных γ -квантов с пороговой энергией 10 МэВ в молекулярном водороде при давлении 0,5 кбар. Препринт ОИЯИ Р15-2014-6. Дубна, 2014. 34 с.; Письма в ЭЧАЯ (направлено).
19. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. Химический состав и структура синтезированных частиц на поверхности ННРС при ядерных реакциях при облучении тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ в молекулярном водороде при давлении 0,5 кбар. Препринт ОИЯИ Р15-2014-7. Дубна, 2014. 24 с.; Письма в ЭЧАЯ (направлено).
20. Didyk A. Yu., Wsniowski R. Phenomenological Nuclear-Reaction Description in Deuterium-Saturated Palladium and Synthesized Structure in Dense Deuterium Gas under γ -Quanta Irradiation // Phys. Part. Nucl. Lett. 2013. V. 10, No. 3(180). P. 437–457; JINR Preprint E15-2012-35. Dubna, 2012. 25 p.
21. Дидык А. Ю., Вишневецкий Р. Свойства структур на основе углерода, синтезированных в ядерных реакциях в гелии при давлении 1,1 кбар под действием облучения тормозными γ -квантами с пороговой энергией 10 МэВ. Препринт ОИЯИ Р15-2014-38. Дубна, 2014. 24 с.; Письма в ЭЧАЯ (направлено).

Получено 26 июня 2014 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 16.09.2014.

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

Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 3,04. Тираж 225 экз. Заказ № 58333.

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

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/