



# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЛЬФРАМОВЫХ ПОКРЫТИЙ И ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ He<sup>+</sup> НА НАКОПЛЕНИЕ ГЕЛИЯ

## INFLUENCE OF TUNGSTEN COATING TEMPERATURE AND DOSE IRRADIATION WITH He<sup>+</sup> IONS FOR HELIUM ACCUMULATION

Н.А. Азаренков, В.В. Бобков, Л.П. Тищенко, Ю.И. Ковтуненко, А.А. Скрипник, Л.А. Гамаюнова

N.A. Azarenkov, V.V. Bobkov, L.P. Tishchenko, Yu.I. Kovtunencko, A.A. Skrypnyk, and L.A. Gamayunova

НИ ПЛИП им. Я.М. Фогеля, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков, Украина

E-mail: [bobkov@karazin.ua](mailto:bobkov@karazin.ua)

Исследованы процессы накопления и термодесорбции гелия для вольфрамового покрытия, осажденного на подложку из нержавеющей стали с промежуточным слоем титана, при различных температурах образцов при облучении ионами He<sup>+</sup> до различных доз. Обнаружены зависимости концентрации, коэффициента захвата гелия и характера спектров его термической десорбции в вакуум как от дозы облучения ионами He<sup>+</sup>, так и от температуры образцов при облучении. Предложены возможные механизмы накопления и термодесорбции гелия, а также образования дефектов кристаллической решетки образцов.

The processes of helium accumulation and thermal desorption for tungsten coating deposited on a stainless-steel substrate with an intermediate titanium layer were studied at various temperatures of the samples when irradiated with He<sup>+</sup> ions up to various fluences. The dependences of the helium concentration and its capture coefficient as well as the form of the spectra of thermal desorption into vacuum were studied both on the fluence of He<sup>+</sup> ions and on the temperature of the samples upon irradiation. Possible mechanisms for the accumulation and thermal desorption of helium, as well as the formation of defects in the crystal lattice of the samples, were proposed.

Работа продолжает исследования процессов, сопровождающих имплантацию ионов He<sup>+</sup> в W покрытия функциональных систем [1–5].

**Цель работы** – исследование влияния температуры вольфрамовых покрытий при бомбардировке на накопление и термодесорбцию гелия в вакуум для различных доз облучения ионами He<sup>+</sup>.

**Объект исследования** – вольфрамовые покрытия толщиной ~ 1.0 мкм и со средним размером зерен ~ 60 нм получали методом магнетронного распыления W мишеней в атмосфере Ag и осаждения на подложку из нержавеющей стали с напыленным на нее Ti слоем толщиной 10 нм.

**Образцы** при температурах T<sub>0</sub>: 290, 370, 470, 540, 570, 670 и 870 К облучали ионами He<sup>+</sup> 20 кэВ при плотности тока ~ 5 мкА/см<sup>2</sup> до доз в интервале от 1.0 × 10<sup>17</sup> см<sup>-2</sup> до 1.0 × 10<sup>18</sup> см<sup>-2</sup>. Исследования проводили методами термодесорбционной масс-спектрометрии (TDS) и электронной микроскопии.

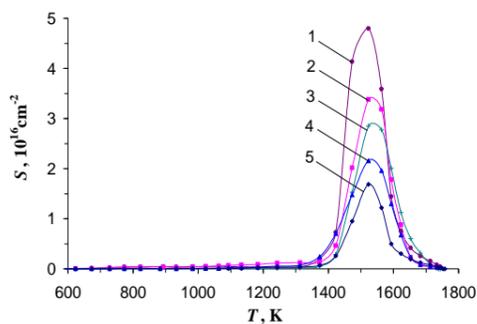


Рис. 1. Спектры термодесорбции гелия из W покрытий, облученных ионами He<sup>+</sup> 20 кэВ с дозой  $\Phi = 2.0 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  при температурах T<sub>0</sub>: 1 – 290 К, 2 – 370 К, 3 – 540 К, 4 – 670 К, 5 – 870 К;  $\alpha = 0.8 \text{ К/с}$ .

Fig. 1. Spectra of helium thermal desorption from W coating irradiated by 20-keV He<sup>+</sup> ions with fluence  $\Phi = 2.0 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  at different temperatures T<sub>0</sub>: 1 – 290 К, 2 – 370 К, 3 – 540 К, 4 – 670 К, 5 – 870 К;  $\alpha = 0.8 \text{ К/с}$ .

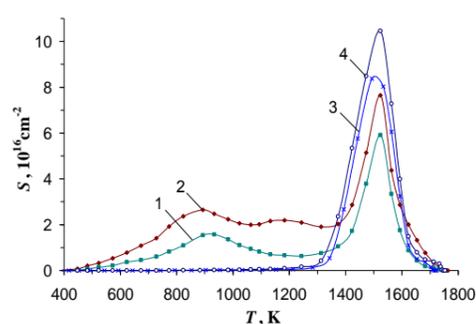


Рис. 2. Спектры термодесорбции гелия из W покрытий, облученных ионами He<sup>+</sup> 20 кэВ с дозами  $\Phi \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ : 1 – 6.1, 2 – 8.3, 3 – 6.5, 4 – 7.0 при температурах T<sub>0</sub>: 1, 2 – 290 К, 3, 4 – 570 К;  $\alpha = 0.8 \text{ К/с}$ .

Fig. 2. Spectra of helium thermal desorption from W coating at different temperatures T<sub>0</sub>: 1, 2 – 290 К; 3, 4 – 570 К;  $\Phi, 10^{17} \text{ см}^{-2}$ : (1) 6.1; (2) 8.3; (3) 6.5; (4) 7.0;  $\alpha = 0.8 \text{ К/с}$ , 20-keV He<sup>+</sup> ions.

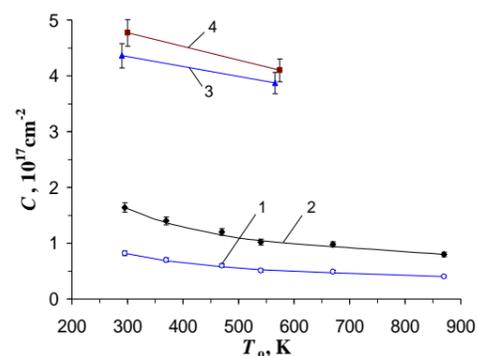


Рис. 3. Зависимости  $C = f(T_0)$  для W покрытий при облучении ионами He<sup>+</sup> 20 кэВ для доз  $\Phi, 10^{17} \text{ см}^{-2}$ : 1 – 1.0, 2 – 2.0, 3 – 6.5, 4 – 7.0.

Fig. 3. The dependences  $C = f(T_0)$  for W coatings irradiated by 20-keV He<sup>+</sup> ions with fluence  $\Phi, 10^{17} \text{ см}^{-2}$ : (1) – 1.0; (2) – 2.0; (3) – 6.5; (4) – 7.0

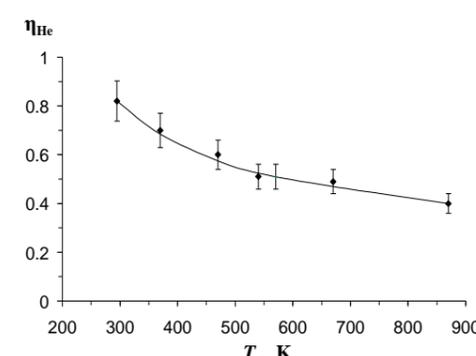


Рис. 4. Зависимость коэффициента захвата гелия  $\eta_{\text{He}} = f(T_0)$  для W покрытий при облучении ионами He<sup>+</sup> 20 кэВ с дозой  $\Phi = 1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ .

Fig. 4. The dependences  $\eta_{\text{He}} = f(T_0)$  for W coatings irradiated by 20-keV He<sup>+</sup> ions with fluence  $\Phi = 1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ .

Как видно из рис. 1, характер спектров термодесорбции гелия из W покрытия, облученного ионами He<sup>+</sup> до дозы  $\Phi = 2.0 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  из интервала малых значений  $\Phi \leq 4.0 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , сохраняется при различных температурах T<sub>0</sub>. ТД спектры имеют вид зависимостей с одним пиком. Наибольшая термодесорбция гелия наблюдается при значениях температуры T<sub>max</sub> ≈ 1520 К.

Рис. 2 показывает, что характер спектров термодесорбции гелия из W покрытия, облученного ионами He<sup>+</sup> до дозы  $\Phi \sim 7.0 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  из интервала больших значений  $4.7 \times 10^{17} \text{ см}^{-2} \leq \Phi \leq 8.3 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ , зависит от значений температуры T<sub>0</sub>. Для T<sub>0</sub> = 290 К (кривые 1 и 2) наблюдается как основная область выделения гелия в пике с T<sub>max</sub> ≈ 1520 К, так и другая область его выделения в интервале температур 450 К – 1300 К. Для T<sub>0</sub> = 570 К (кривые 3 и 4) ТД спектры гелия из W покрытий имеют вид зависимостей с одним преимущественным пиком при T<sub>max</sub> ≈ 1520 К.

Из рис. 3 и таблицы видно уменьшение концентрации C гелия с увеличением T<sub>0</sub> как для малых (см. кривые 1 и 2), так и больших доз облучения (см. кривые 3 и 4).

Зависимость коэффициента захвата  $\eta_{\text{He}}$  гелия от температуры T<sub>0</sub> вольфрамового покрытия при облучении ионами He<sup>+</sup> с дозой  $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  представлена кривой на рис. 4. Уменьшение величины  $\eta_{\text{He}}$  наблюдается в пределах ошибки эксперимента с увеличением T<sub>0</sub> и для остальных  $\Phi$ .

Исследования микроструктуры W пленок, содержащих гелий, имплантированный при температуре T<sub>0</sub> ≈ 290 К, показали, что в покрытиях, облученных ионами He<sup>+</sup> ( $\Phi < 7.0 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$ ), обнаружено образование междоузельных дислокационных петель и дислокационных сеток. При этом образования гелиевых пузырьков не замечено. Пузырьки гелия со средним диаметром 2.5 нм были видны при  $\Phi \geq 7 \times 10^{17} \text{ см}^{-2}$  [4].

Таблица. Параметры захвата и термодесорбции гелия из W покрытий

Композ. система	Ион	Усл. облучения		Параметры		$\Delta T, \text{ К}$	$T_{\text{max}}, \text{ К}$	
		T <sub>0</sub> , К	$\Phi, 10^{17} \text{ см}^{-2}$	C, $10^{17} \text{ см}^{-2}$	$\eta, \pm 10\%$			
н. ст. + W	He <sup>+</sup>	290	1.0	0.82	0.82	700–1750		1510
	He <sup>+</sup>	290	2.0	1.64	0.82	700–1750		1520
	He <sup>+</sup>	290	3.1	2.51	0.81	700–1750		1510
	He <sup>+</sup>	290	4.0	3.16	0.79	700–1750		1520
	He <sup>+</sup>	290	4.7	3.59	0.76	500–1750	900	1520
	He <sup>+</sup>	290	6.1	4.36	0.71	500–1750	900	1525
	He <sup>+</sup>	290	7.0	4.77	0.68	500–1750	900	1520
	He <sup>+</sup>	290	8.3	5.31	0.64	500–1750	900	1520
	He <sup>+</sup>	290	10.0	6.00	0.60	450–1750	900, 1200	1520
	He <sup>+</sup>	290	1.0	0.82	0.82	700–1750		1510
	He <sup>+</sup>	290	2.0	1.64	0.82	700–1750		1520
	He <sup>+</sup>	370	1.0	0.68	0.68	750–1750		1520
	He <sup>+</sup>	370	2.0	1.40	0.70	750–1750		1520
	He <sup>+</sup>	470	1.0	0.57	0.57	800–1750		1530
	He <sup>+</sup>	470	2.0	1.22	0.61	800–1750		1530
	He <sup>+</sup>	540	1.0	0.52	0.52	800–1750		1530
	He <sup>+</sup>	540	2.0	1.00	0.50	800–1750		1530
	He <sup>+</sup>	570	6.5	3.87	0.60	900–1750		1520
	He <sup>+</sup>	570	7.0	4.10	0.58	900–1750		1520
	He <sup>+</sup>	670	1.0	0.47	0.47	800–1750		1540
He <sup>+</sup>	670	2.0	0.94	0.47	800–1750		1540	
He <sup>+</sup>	870	1.0	0.40	0.40	950–1750		1520	
He <sup>+</sup>	870	2.0	0.80	0.40	950–1750		1520	

**Выводы.** Исследовано влияние температуры T<sub>0</sub> образца при бомбардировке ионами He<sup>+</sup> до различных доз облучения на физические и структурные свойства W покрытий. Изучены спектры термодесорбции гелия в вакуум, определены концентрация C и коэффициент захвата  $\eta_{\text{He}}$  гелия в покрытиях. Величины C и  $\eta_{\text{He}}$  уменьшаются с увеличением T<sub>0</sub> образцов при имплантации в них ионов He<sup>+</sup>. Предположено образование в покрытиях в результате облучения следующих типов радиационных нарушений: дефекты вакансионного типа, дислокационные петли внедрения, гелий-вакансионные комплексы и пузырьки.

- V.V. Bobkov, L.P. Tishchenko, A.V. Onishchenko, E.N. Zubarev, R.I. Starovoitov, Yu.I. Kovtunencko, Yu.E. Logachev, and L.A. Gamayunova, J. Surf. Investig: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 5 (2011) 806, <http://link.springer.com/article/10.1134/S102745101080052>.
- N.A. Azarenkov, V.V. Bobkov, L.P. Tishchenko, R.I. Starovoitov, Yu.I. Kovtunencko, Yu.E. Logachev, L.A. Gamayunova, Problems of Atomic Science and Technology, Ser: Plasma Physics 22, No 6 (2016) 73, [https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2016\\_6/article\\_2016\\_6\\_73.pdf](https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2016_6/article_2016_6_73.pdf).
- V.V. Bobkov, L.P. Tishchenko, Yu.I. Kovtunencko, O.B. Tsapenko, A.O. Skrypnyk, Yu.E. Logachev, L.A. Gamayunova, Problems of Atomic Science and Technology, Ser: Plasma Physics 118, No 6 (2018) 63, [https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT\\_2018\\_6/article\\_2018\\_6\\_63.pdf](https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2018_6/article_2018_6_63.pdf).
- V.V. Bobkov, L.P. Tishchenko, Yu.I. Kovtunencko, R.I. Starovoitov, Yu.E. Logachev, A.B. Tsapenko, L.A. Gamayunova, Ukr. J. Phys., 65, No 1, (2020) 61, <https://doi.org/10.15407/ujpe65.1.61>.
- V.V. Bobkov, L.P. Tishchenko, Yu.I. Kovtunencko, A.B. Tsapenko, A.A. Skrypnyk, and L.A. Gamayunova, J. Surf. Investig: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 4 (2020) 899, <http://link.springer.com/article/10.1134/S1027451020050031>.