XXVI Международная конференция «Взаимодействие ионов с поверхностью»

21 – 25 августа 2023 год

Д.С. Лукьянцев*, А.В. Лубенченко, Д.А. Иванов, О.И. Лубенченко

*LukyantsevDS@mpei.ru

Modification and sputtering of inhomogeneous multilayer oxidized metal films by low-current argon ion beams

ABSTRACT

Results of generation of various suboxide layers on various thin oxidized niobium films by modification and sputtering of their surfaces with low-current argon ion beams are reported. Niobium films of various thicknesses were grown by magnetron sputtering on oxidized silicon substrates. Few stages of delicate ion bombardment were performed. The surface of films was studied by means of non-destructive methods of X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and angle-resolved XPS. Chemical and phase film profiling was performed. The results of this research show opportunity of generation of suboxide layers of various composition and thicknesses by changing parameters of ion irradiation of metal film surface.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Многослойные тонкие пленки оксидов и субоксидов различных переходных металлов используются для создания структур мемристивных устройств [1-2]. Работоспособность мемристоров определяется стехиометрией и толщиной слоев, а также очередностью их залегания. Одним из перспективных способов формирования неоднородных субоксидных слоев является воздействие слаботочными пучками ионов аргона на поверхность тонкой пленки [3]. Цель настоящей работы заключается в получении различных субоксидных слоев на тонких окисленных пленках ниобия (10 и 100 нм) с помощью модификации и распыления их поверхности слаботочными пучками ионов аргона.

- Рентгеновские фотоэлектронные спектры плёнок ниобия толщиной 10 и 100 нм записаны на модуле электронно-ионной спектроскопии Нанофаб 25 (НТ-МДТ) при параметрах: $p = 10^{-6}$ Па; Mg - 1253.6 эВ; углы зондирования - 0°, 30°, 40°.
- Деликатное слаботочное ионное воздействие проводилось в несколько этапов при параметрах: 70° (от нормали); E = 500 эВ; ток - 50 нА.
- Окисленные плёнки ниобия толщиной 10 и 100 нм до и после ионной модификации исследованы с помощью РФЭС и РФЭС с угловым разрешением. Химический послойный фазовый анализ проведён по методике [4].

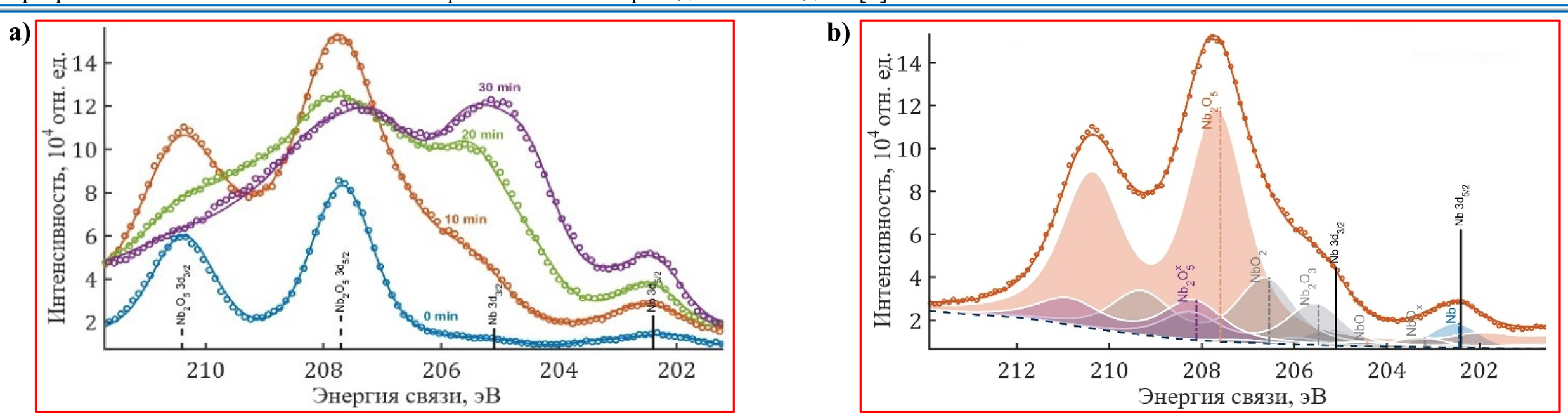

Fig. 1. a) The results of the decomposition of the spectral line of the Nb 3d film 10 nm before and after ion exposure. b) Decomposition of the spectral line of Nb 3d film 10 nm into partial peaks. The circles indicate the experimental data, the solid line is the theoretical interpretation of the spectrum, the shaded areas are the partial theoretical spectra.

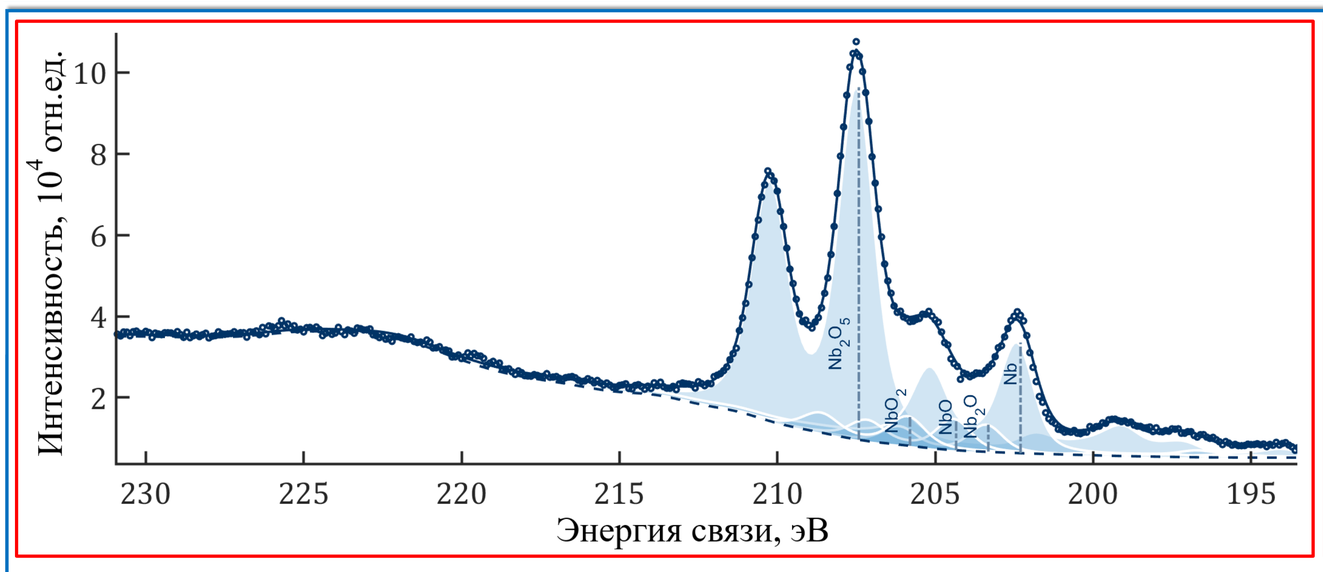

Fig.2. Detailed spectrum of the Nb 3d line before exposure to the 100 nm film.

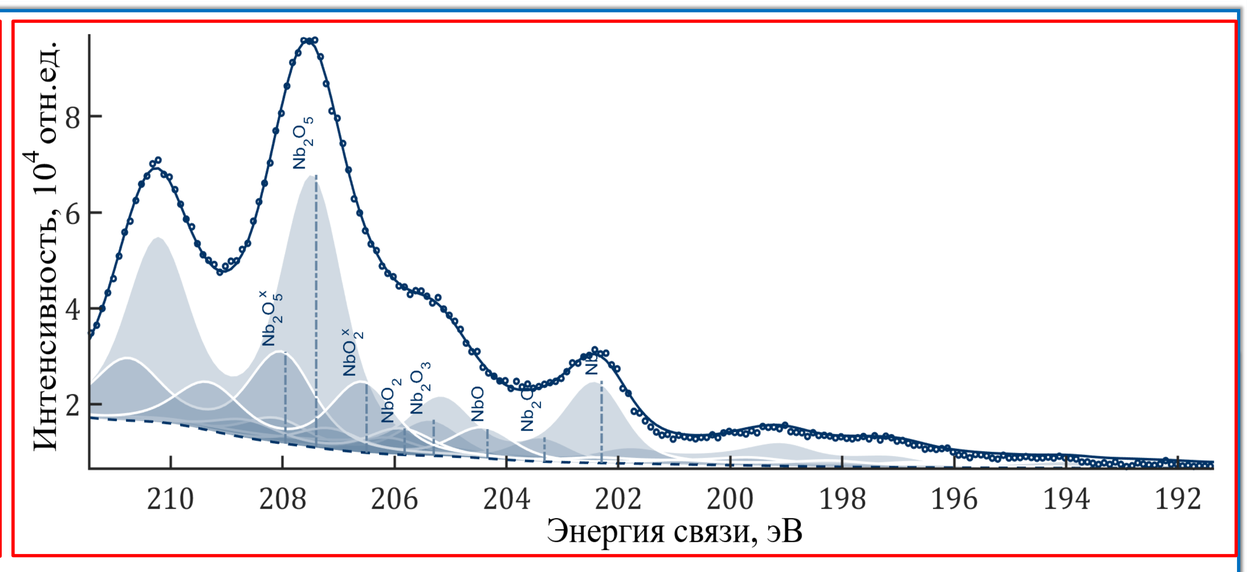

Fig.3. Detailed line spectrum of Nb 3d film 100 nm after 1 step (40°).

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО ПОСЛОЙНОГО ФАЗОВОГО АНАЛИЗА

Niobium film 10 nm thick

до воздействия			10 мин			20 мин			30 мин		
d, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ	*d*, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ	*d*, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ	*d*, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ
7.9	Nb_2O_5	207.6	0.3	0.62 NbO_2 + 0.31 Nb_2O_3 + 0.07 NbO	206.5 205.5 204.4	1.1	0.38 NbO_2 + 0.41 Nb_2O_3 + 0.21 NbO	—//— —//— —//—	1.5	0.38 NbO_2 + 0.41 Nb_2O_3 + 0.21 NbO	—//— —//— —//—
			0.4	$Nb_2O_5^x$	208.1	0.5	$Nb_2O_5^x$	—//—	0.5	$Nb_2O_5^x$	—//—
			6.8	Nb_2O_5	—//—	4.7	Nb_2O_5	—//—	3.0	Nb_2O_5	—//—
1.2	$NbO_{x\approx0.8}$	203.2	0.8	$NbO_{x\approx0.8}$	—//—	0.5	$NbO_{x\approx0.8}$	—//—	0.8	$NbO_{x\approx0.8}$	—//—
–	Nb	202.4	–	Nb	—//—	–	Nb	—//—	–	Nb	—//—
–	SiO_2/Si	–	–	SiO_2/Si	–	–	SiO_2/Si	–	–	SiO_2/Si	–

Niobium film 100 nm thick

до воздействия (0°)			20 мин									40 мин (0°)		
			0°			30°			40°					
d, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ	*d*, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ	*d*, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ	*d*, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ	*d*, нм	Хим.соед.	$E_{св}$, эВ
3.7	Nb_2O_5	207.4	0.4	0.38 Nb_2O_3+ 0.62 NbO_2^x	205.3 206.5	0.5	0.33 Nb_2O_3+ 0.67 NbO_2^x	—//— —//—	0.5	0.33 Nb_2O_3+ 0.67 NbO_2^x	—//— —//—	0.7	0.32 Nb_2O_3+ 0.57 NbO_2^x+ 0.11 NbO^x	205.3 206.5 204.4
			1.1	$Nb_2O_5^x$	207.9	1.0	$Nb_2O_5^x$	—//—	1.0	$Nb_2O_5^x$	—//—	1.5	$Nb_2O_5^x$	—//—
			2.5	Nb_2O_5	207.4	2.8	Nb_2O_5	—//—	2.8	Nb_2O_5	—//—	2.3	Nb_2O_5	—//—
0.6	0.5 NbO+ 0.5 NbO_2	204.3 205.8	0.6	0.42 NbO+ 0.58 NbO_2	—//—	0.6	0.42 NbO+ 0.58 NbO_2	—//—	0.6	0.42 NbO+ 0.58 NbO_2	—//—	0.5	0.42 NbO+ 0.58 NbO_2	—//—
0.8	Nb_2O	203.3	0.9	Nb_2O	—//—	0.8	Nb_2O	—//—	0.8	Nb_2O	—//—	0.8	Nb_2O	—//—
–	Nb	202.4	–	Nb	—//—	–	Nb	—//—	–	Nb	—//—	–	Nb	—//—
–	SiO_2/Si		–	SiO_2/Si		–	SiO_2/Si		–	SiO_2/Si		–	SiO_2/Si	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В процессе окисления на атмосферном воздухе на плёнках ниобия образуются слои пентаоксида и различных стехиометрических и нестехиометрических субоксидов.
- В процессе ионного воздействия состав и толщины глубинных субоксидов не изменяются.
- Распыляется и модифицируется только поверхностный слой пентаоксида ниобия.
- В процессе ионного воздействия во всех пленках формируются различные слои стехиометрических субоксидов и пентаоксидов других фаз, отличных от первоначальных, причем состав поверхностных субоксидных слоев меняется незначительно.

Результаты исследования показывают возможность формирования субоксидных слоев различных состава и толщины при изменении параметров ионного облучения поверхности металлической плёнки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов А.Н. и др. Мемристорные структуры для микро- и наноэлектроники. Физика и технология // Изв. вузов. Электроника.2017. Т.22. №4. С.305-321. *Doi:10.24151/1561-5405-2017-22-4-305-321*.
2. Gul M.. Formation of a Ti→TiO2-graded layer and its effect on the memristive properties of TiOx(/Ti/TiOx) structures//J. of M. Sc.: Mat. in Electr. 2022.T.33.№.10. C.7423-7434.
3. Song W.D. et al. Nano suboxide layer generated in Ta2O5 by Ar+ ion irradiation//Appl.P. Lett.2015.T.106.№3.
4. Lubenchenko A.V. et al. XPS study of multilayer multicomponent films//Appl.Surf.Sc.2018.T.427.C.711-721.