

Исследование особенностей фазового состава и электронной структуры ионно-лучевых пленок Mo-Si методом ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии

И.В. Польшин¹, Е.И. Гайворонская¹, М.И. Гайворонская¹, Е.С. Керсновский¹, А.В. Ситников², Г.П. Потуданский^{1,3}, К.А. Барков¹

¹ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Университетская пл.1, 394018

² ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, Московский проспект 14, 394026

³ АО «РТ Лабс», г. Москва, пр. Вернадского, 41, 119415

Тонкие пленки Mo-Si являются важным компонентом при создании сверхпроводниковых детекторов дальнего ИК излучения [1,2]. Особенности данного композита предполагают формирование аморфных структур Mo-Si для достижения наибольшей эффективности детекторов. Основная проблема заключается в невосприимчивости большинства наиболее распространенных методов к подобным структурам. В рамках данной работы предлагается использование метода ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии (УМРЭС) для анализа фазового состава пленок Mo-Si.

Пленки Mo-Si были получены методом ионно-лучевого распыления составной мишени [3] которая представляет собой пластину молибдена с кремневыми навесками с постоянно уменьшающимся зазором между ними. Данная конфигурация позволила получить пленки Mo-Si с содержанием Mo от ~45 до 75 ат.%. Далее методом УМРЭС определялся фазовый состав пленок.

Метод УМРЭС реализуется на уникальной научной установке «Рентгеновский спектрометр-монохроматор РСМ-500». Данный метод позволяет узнать распределение плотности электронных состояний в валентной зоне. Помимо этого, изменяя величину ускоряющего напряжения, можно регулировать глубину анализа. На данный момент установка настроена на регистрацию эмиссионных Si $L_{2,3}$ спектров, поэтому наибольший интерес в рамках настоящей работы представляют силициды молибдена.

На рисунке 1 представлены эмиссионные Si $L_{2,3}$ спектры пленок Mo-Si. По форме валентной зоны пленки с содержанием Mo ~45 ат.% можно сказать о преобладании в фазовом составе высших силицидов. На это указывает широкий главный максимум (90 эВ) и высокая интенсивность вблизи потолка валентной зоны (94–99 эВ). Компьютерное моделирование подтвердило наличие в пленке ~55% фазы Mo_5Si_3 , и ~25% фазы MoSi_2 . Помимо этого, также обнаружено формирование ~15% фазы низшего силицида Mo_3Si и ~5% SiO_2 .

При содержании Mo в пленке ~75 ат.% форма валентной зоны говорит о формировании в пленке низших силицидов, на что указывает узкий главный максимум, а также низкая интенсивность вблизи потолка валентной зоны. По результатам компью-

терного моделирования было установлено, что в пленке формируется 100% Mo_3Si .

Таким образом, методом УМРЭС обнаружено формирование в пленке Mo-Si фазы низшего силицида Mo_3Si .

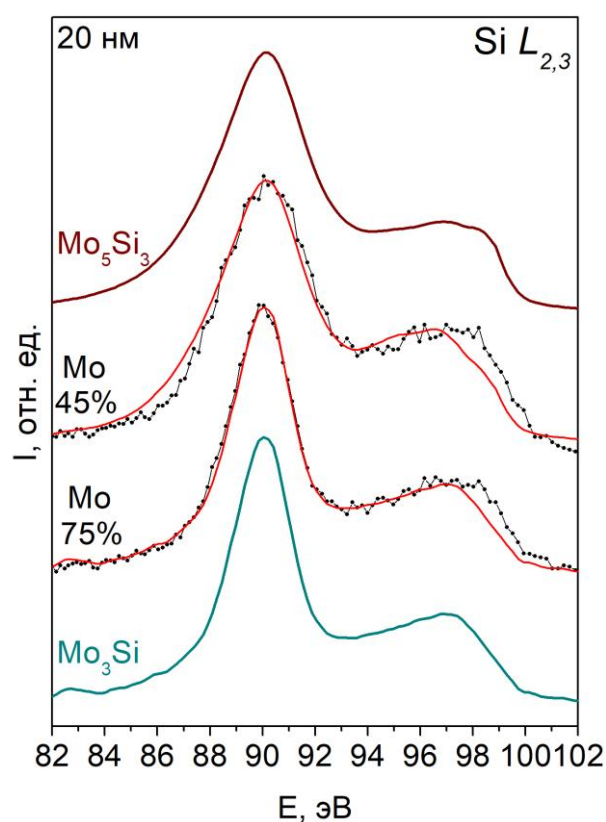


Рис. 1. Эмиссионные Si $L_{2,3}$ спектры пленок Mo-Si с содержанием Mo ~45 и 75 ат.%, полученные при глубине анализа ~20 нм; а также эталонов Mo_5Si_3 , рассчитанного в рамках теории функционала плотности и Mo_3Si [4].

1. Banerjee A. et al. Characterisation of amorphous molybdenum silicide (MoSi) superconducting thin films and nanowires //Superconductor Science and Technology. – 2017. – Т. 30. – №. 8. – С. 084010.
2. Grotowski S. et al. Optimizing the growth conditions of superconducting MoSi thin films for single photon detection //Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – №. 1. – С. 2438.
3. Gridnev S. A. et al. Nonlinear phenomena in nano-and microheterogeneous systems //Moscow: Binom. – 2012.
4. Miyata N. et al. Buried Interfaces of Heat-Loaded Mo/Si Multilayers Studied by Soft-X-Ray Emission Spectroscopy //Surface Review and Letters. – 2002. – Т. 9. – №. 02. – С. 663-667.