

## Влияние барьерных слоёв на химический состав и отражательные характеристики многослойных зеркал Cr/Be

*Е.С. Фатеева, С.С. Сахоненков, Е.О. Филатова*

*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия*

Многослойные наносистемы являются одними из ключевых элементов в рентгенооптике благодаря доступности технологий их производства и возможности получения высоких отражательных характеристик зеркал. Основными кандидатами для области коротковолнового излучения (3 – 6 нм) являются многослойные рентгеновские зеркала (МРЗ) на основе Cr. Такие зеркала перспективны для применения в приборах элементного анализа материалов, а также могут использоваться для решения различных задач современной физики и техники, таких как создание микроскопов в спектральных областях “окон прозрачности” воды и углерода ( $\lambda = 2\text{--}5$  нм), что открывает широкий спектр возможностей для изучения углеродосодержащих веществ и биологических структур.

Существенное влияние на величину отражательной способности МРЗ оказывают промежуточные слои, формирующиеся на межфазной границе в результате многих факторов, таких как взаимодиффузия материалов, механическое проникновение падающих атомов в процессе напыления зеркал, химические реакции, минимизация поверхностной энергии и т.д. Присутствие таких слоёв в многослойной структуре значительно снижает ее теоретически ожидаемые рентгенооптические параметры.

В настоящей работе рассматривались многослойные рентгеновские зеркала на основе пары материалов Cr/Be с ультратонкими слоями. В ходе работы были изучены особенности строения протяженных переходных зон, а также возможности влияния на них путем введения барьерных слоёв C и  $\text{V}_4\text{C}$ . Кроме того, было изучено влияние барьерных слоев на отражательные характеристики зеркал.

Исследования химического состава МРЗ проводились с использованием метода рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС). Измерения проводились на лабораторном модуле ЭСХА Курчатовского института, где в качестве возбуждающего излучения использовался монохроматический пучок фотонов с энергией 1486.6 эВ (фотоэмиссионная линия Al  $K_{\alpha}$ ). Измерения отражательной способности многослойных структур проводились методом рефлектометрии рентгеновских лучей в центре синхротронного излучения BESSY.

В результате проведенного исследования было установлено:

- (i) В наноразмерных многослойных структурах происходит полное перемешивание слоёв хрома и бериллия с образованием бериллидов  $\text{CrBe}_2$  и  $\text{CrBe}_{12}$ ;
- (ii) Введение барьерного слоя (C,  $\text{V}_4\text{C}$ ) приводит к подавлению содержания бериллида  $\text{CrBe}_2$  с одновременным увеличением содержания  $\text{CrBe}_{12}$ , независимо от порядка нанесения барьерного слоя (на Cr или на Be). Кроме того, образуются карбиды хрома и бериллия и борид хрома (в случае прослойки  $\text{V}_4\text{C}$ );
- (iii) Лучшую отражательную способность демонстрирует многослойное рентгеновское зеркало  $[\text{C}/\text{Cr}/\text{Be}]_{\times 180}$ .

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 19-72-20125.*

1. Svechnikov, M. V., Chkhalo, N. I., Gusev, S. A., Nechay, A. N., Pariev, D. E., Pestov, A. E., Polkovnikov, V. N., Tatarskiy, D. A., Salashchenko, N. N., Schäfers, F., Sertsu, M. G., Sokolov, A., Vainer, Y. A., Zorina, M. V., Influence of Barrier Interlayers on the Performance of Mo/Be Multilayer Mirrors for next-Generation EUV Lithography // Opt. Express 2018, doi.org/10.1364/oe.26.033718

2. S.S. Sakhonenkov, E.O. Filatova, S.A. Kasatkov, E.S. Fateeva, R.S. Pleshkov, and V.N. Polkovnikov, Layer intermixing in ultrathin Cr/Be layered system and impact of barrier layers on interface region // Applied Surface Science 2021, <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151114>