

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Сахоненкова Сергея Сергеевича на тему: «Изучение влияния материала барьерного слоя и температуры отжига на процесс формирования межслоевых областей в многослойных короткопериодных рентгеновских зеркалах на основе бериллия», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа Сахоненкова Сергея Сергеевича посвящена исследованию процессов формирования переходных областей в многослойных короткопериодных зеркалах на основе пар материалов W/Be и Cr/Be, а также изучению влияния введения тонких барьерных слоев В<sub>4</sub>С и Si и условий отжига на химический состав и протяженность переходных областей. Необходимость проведения данных исследований обусловлена тем фактом, что отражательные характеристики многослойных зеркал во многом определяются резкостью границ раздела слоев, которая может уменьшаться в связи с перемешиванием слоев или формированием межслоевой шероховатости. Представленное в работе исследование проводится с применением экспериментальных методов рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, просвечивающей электронной микроскопии и рентгеновской рефлектометрии. Помимо этого, теоретически рассматривается влияние метода магнетронного распыления, который применялся для синтеза всех исследуемых структур, на формирование перемешанных областей.

Актуальность диссертационной работы определяется в первую очередь выбором объектов исследования - многослойные зеркала на основе пар материалов W/Be, Cr/Be, которые могут применяться в широком диапазоне рентгеновского излучения, что крайне важно в настоящее время, когда и в России, и за рубежом идет активное развитие инфраструктуры для использования синхротронного излучения в самых различных областях науки и технологий. Среди наиболее интересных и практически важных результатов исследования можно отметить определение состава и протяженности переходных областей в многослойных зеркалах на основе пары материалов W/Be, Cr/Be; влияния сформированных переходных слоев на отражательные характеристики зеркал W/Be; роли барьерных слоев В<sub>4</sub>С и Si в характеристиках переходных слоев, и в итоге, отражательных характеристик изучаемых рентгеновских зеркал.

Новизна работы определяется тем, что основная часть экспериментальных результатов была получена впервые:

- химический состав и протяженность слоев в многослойных структурах Cr/Be;
- влияние введения барьерных слоев В<sub>4</sub>С и Si в многослойных зеркалах W/Be и условий отжига на состав и протяженность переходных слоев, а также на отражательные свойства зеркал;

Научная обоснованность сделанных выводов определяются применением современных подходов и корректностью постановки конкретных задач для достижения поставленных целей работы. Надежность полученных результатов базируется на применении самых современных методов изучения материалов на современном высокотехнологическом оборудовании и использованием комплексного подхода к исследованию переходных областей в многослойных зеркалах, включающий в себя подбор и получение объектов исследования таким образом, чтобы сосредоточиться на определенных изучаемых деталях (например, переходный слой только на определенной границе раздела). Результаты работы были представлены на различных международных и российских конференциях, а также опубликованы в 4-х статьях в высокорейтинговых научных журналах, индексируемых WoS и Scopus. Для научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, характерна внутренняя непротиворечивость. Выводы диссертации научно обоснованы.

Структура диссертации построена логично, сама работа при этом хорошо изложена и проиллюстрирована. При этом, Сахоненкову С.С. не удалось избежать опечаток, неточностей и орфографических ошибок. Среди недочетов следует выделить следующие:

1. Из текста работы не ясно, напылялся ли слой В<sub>4</sub>С путем распыления отдельных мишеней В и С с заданным соотношением, или же путем распыления одной мишени В<sub>4</sub>С;
2. В таблице 2.5 отсутствуют параметры давления остаточных газов, тока разряда, напряжения и скорости распыления для многих образцов;
3. Желательно более детальное описание получения и характеристики используемых в работе эталонных образцов.
4. Спектры на рисунках 4.13 и 4.14 и подписи к ним представлены крайне неудачно. Они сложны для самостоятельного анализа, а осознание, какой из спектров к какому из образцов относится занимает продолжительное время;
5. По оси ординат на графиках фотоэлектронных спектров откладываются то CPS (counts per second), то нормализованная интенсивность (см., например, рисунок 4.8.) – наверное лучше было бы делать это единообразным способом.
6. В тексте часто используются обозначения по типу VP-495, PR-454 и т.п., которые интуитивно непонятны из-за чего в процессе чтения постоянно приходится

подсматривать либо в таблицу 2.5, либо возвращаться к месту в тексте, где было дано описание обозначений, что осложняет восприятие смысла текста.

7. В пункте 3.3 на странице 79 представлены значения поверхностных энергий для разных материалов. Так как эти значения достаточно сильно зависят от структуры поверхности, то хорошо бы уточнить эту структуру.

Указанные выше замечания, тем не менее, не отражаются на высоком уровне проделанной работы и их следует воспринимать как пожелания к дальнейшим работам автора в этой крайне актуальной области.

Считаю, что диссертационная работа Сахоненкова Сергея Сергеевича представляет собой законченное научное исследование, в котором получен целый ряд новых научных результатов и решена важная задача, имеющая значение для физики конденсированного состояния.

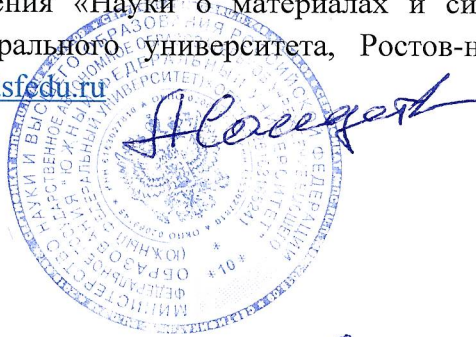
Считаю, что диссертация Сахоненкова Сергея Сергеевича на тему: «Изучение влияния материала барьерного слоя и температуры отжига на процесс формирования межслоевых областей в многослойных короткопериодных рентгеновских зеркалах на основе бериллия» полностью соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а сам соискатель Сахоненков Сергей Сергеевич несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния. Пункты 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не нарушены.

Член диссертационного совета Солдатов А.В.

Доктор физико-математических наук (01.04.07 - физика конденсированного состояния), Профессор, Научный руководитель направления «Науки о материалах и синхротронно-нейтронные исследования» Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, ул. Сладкова 178/24, тел. 8(863)2199724, [soldatov@sfsu.ru](mailto:soldatov@sfsu.ru)

8 сентября 2022 г.

Подпись Солдатов А В удостоверяю,  
Руководитель дирекции перспективного развития



Полякова Ю. Н.