

ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО



«ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ НЕОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИМЕНИ  
АКАДЕМИКА А.А. БОЧВАРА» (АО «ВНИИНМ»)

123060, Москва, а/я 369, АО «ВНИИНМ»; Телеграф: 123060, Москва, «ПЕРЕКАТ»; Телетайп: 111674, Москва, «ДИВО»; Телефон: 8 (499) 190-4994.  
Факс: 8 (499) 196-4168, 8 (495) 742-5721. <http://www.bochvar.ru>. E-mail: [post@bochvar.ru](mailto:post@bochvar.ru)  
ОКПО 07625329, ОГРН 5087746697198, ИНН/КПП 7734598490/773401001

08.08.2016 № П-400/31  
На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

[отзыв на автореферат  
диссертации Черных И.А. ]

Ученому секретарю  
диссертационного совета  
ДМ 002.114.01  
к. ф.-м. н. Фролову К.В.  
119333, г. Москва, Ленинский  
проспект, д.59, ФГБУН ИК РАН

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Черных Игоря Анатольевича  
**«Многослойные эпитаксиальные структуры сверхпроводник-интерслои для  
увеличения токонесущей способности сверхпроводящих  
лент второго поколения»,**  
представленной на соискание ученой степени кандидата  
физико-математических наук по специальности  
01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Диссертационная работа Черных Игоря Анатольевича посвящена исследованию закономерностей эпитаксиального роста пленок при изготовлении высокотемпературных сверхпроводников 2-го поколения (ВТСП-2) и поиску путей повышения токонесущей способности сверхпроводников.

В последние годы наблюдается бурное развитие технологий по производству ВТСП-2. Сам процесс изготовления ВТСП-2 является сложным и многостадийным и, несмотря на определенные успехи, еще многие факторы в этом процессе остаются недостаточно исследованными. Недостаточная изученность процессов формирования пленочных слоев в этих сверхпроводниках препятствует дальнейшему улучшению их свойств, и прежде всего, повышению их токонесущей способности. Поэтому изучение закономерностей роста пленок различных функциональных слоев в этих сверхпроводниках, как буферных, так и сверхпроводящих, особенно поиск путей повышения сверхпроводящих свойств ВТСП-2, представляются весьма актуальными задачами, имеющими и теоретическое и практическое значения.

Анализ автореферата показал, что работа обладает несомненной научной новизной, заключающейся в том, что впервые было обнаружено образование террасно-ступенчатых структур на поверхности текстурированных подложек Ni - W при температурах, характерных для роста буферных слоев. Установлена корреляция морфологии подложки с текстурными характеристиками затравочного слоя  $Y_2O_3$ . Кроме того, необходимо отметить то, что в этой работе впервые было показано, что в многослойных структурах сверхпроводник – интерслои возможно протекание тока через интерслои толщиной до 50 нм. Также впервые показано, что в YBCO пленках кислородная стехиометрия определяется давлением кислорода во время роста пленки, а также параметрами постростового отжига.

Научная значимость полученных в диссертационной работе результатов не вызывает сомнений и подтверждается публикациями в рецензируемых научных изданиях и докладами на ведущих российских и зарубежных конференциях.

Достоверность работы подтверждается использованием комплекса взаимодополняющих аналитических методик.

Содержание автореферата позволяет сделать вывод о том, что Черных И.А. выполнил квалифицированное исследование, имеющее важное практическое значение для науки и имеющее большие перспективы для использования при отработке технологии получения ВТСП-2 композитов.

Изучены закономерности формирования пленки первого буферного («затравочного») слоя  $Y_2O_3$ , который во многом и определяет свойства конечного сверхпроводника. Очень интересными здесь являются наблюдения о связи текстуры получаемой пленки оксида иттрия с состоянием металлической подложки, а именно с наличием и характером вицинальных граней на ее поверхности. На основании этого показаны практические пути улучшения качества текстуры «затравочного» слоя. Успешное решение проблем получения качественного «затравочного» слоя позволило автору перейти к работам по напылению сверхпроводящих пленок.

Автором исследованы закономерности роста сверхпроводящего слоя  $YBa_2Cu_3O_x$  (Y-123), проанализированы различные возможные механизмы, приводящие к ухудшению сверхпроводящих свойств пленок при увеличении их толщины. Сопоставлены результаты собственных экспериментов с зарубежными работами, и сделан вывод о том, что характеристики пленок описываются преимущественно моделью 2D слабого коллективного пиннинга. Особую практическую ценность, на наш взгляд, представляют предлагаемые автором технические решения проблемы ухудшения свойств – рост тонких сверхпроводящих слоев, чередующихся с «интерслоями» оксида церия или титаната стронция. Эти технические решения были автором успешно реализованы, для чего был проделан огромный объем экспериментов. После анализа экспериментов была разработана оптимальная архитектура сверхпроводящей пленки – чередующиеся слои 250 нм Y-123 и 50 нм  $SrTiO_3$ . Были разработаны технологические режимы, необходимые для получения пленок такой архитектуры. Все это позволило автору впервые в России получить образцы ВТСП-2 со значениями критического тока при 77 К более 200 А/см при

толщине сверхпроводящей пленки 1 мкм, то есть не хуже уровня зарубежных аналогов.

В качестве недостатков работы следует отметить следующее:

1. Автор провел интереснейшие наблюдения по связи текстуры получаемых пленок «затравочного» слоя  $Y_2O_3$  с особенностями морфологии исходной подложки. Показано влияние среды высокотемпературного отжига (вакуум или восстановительная смесь  $Ar - 4\% \text{ об. } H_2$ ) на морфологию подложки. Однако, на наш взгляд, эта зависимость от среды термообработки еще недостаточно изучена. Например, как может сказаться среда с большим или меньшим содержанием водорода?

2. В разделе 3.4 (стр.18 – 19 автореферата) отмечено, что в экспериментах автора по напылению слоя Y-123 наблюдалось существенное изменение рельефа поверхности пленки. Но, судя по автореферату, данное обстоятельство не учитывалось при анализе теоретических моделей, связывающих свойства пленки с ее толщиной. Поэтому, возможно, выбранная автором модель 2D слабого коллективного пиннинга не учитывает всех присутствующих факторов и может использоваться только в качестве первого приближения.

Однако отмеченные недостатки не снижают научной и практической ценности выполненных исследований. Автореферат дает полное и ясное представление о достигнутых результатах.

Диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование, удовлетворяющее требованиям п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ (№ 842, от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а Черных Игорь Анатольевич заслуживает присуждения искомой степени по специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния».

Заместитель генерального директора –  
директор отделения АО «ВНИИНМ», к.т.н.  
123098, г. Москва, ул. Рогова, 5а  
Тел.: 8-499-190-82-14  
e-mail: IMAbdyukhanov@bochvar.ru

И.М. Абдюханов

Подпись И.М. Абдюханова заверяю  
Ученый секретарь АО «ВНИИНМ», к.т.н.



А.А. Парфенов