

Отзыв на автореферат диссертации Черных Игоря Анатольевича

**«Многослойные эпитаксиальные структуры сверхпроводник-интерслоем для увеличения токонесущей способности сверхпроводящих лент второго поколения»**

на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07  
– физика конденсированного состояния.

Последние два десятилетия активно ведутся исследования и разработки ВТСП лент второго поколения – эпитаксиальных ВТСП пленок, осажденных на гибкие металлические ленты-подложки. В настоящее время различные исследовательские группы по всему миру работают над оптимизацией состава и толщин буферных слоев, поиском материала сверхпроводника, а также состава искусственных включений для достижения максимальной токонесущей способности. Данные вопросы рассмотрены в работе Черных И.А., что делает тему диссертационной работы весьма актуальной.

**Первой** из задач диссертационной работы Черных И.А. является изучение особенностей эпитаксиального роста затравочного слоя на металлической подложке Ni-W. Главной проблемой при росте затравочного слоя является наследование текстуры подложки, что в условиях окислительной среды, образующейся при распылении оксидной мишени, видится серьезной исследовательской задачей. Решение данной задачи требует высокого уровня понимания процессов, происходящих при росте пленок методом импульсного лазерного осаждения, а также использования комплекса аналитических методик. Автором впервые был обнаружен эффект перестройки поверхности металлической подложки Ni-W при температурах, характерных для роста буферных слоев, проявляющийся в образовании террасно-ступенчатых структур. Это очень интересное и практически важное наблюдение. С помощью дифракции обратно рассеянных электронов была показана взаимосвязь между ориентацией затравочного слоя оксида иттрия и ориентацией кристаллических зерен подложки – при низких температурах роста в пленке  $Y_2O_3$  появляется нежелательная ориентация  $(111)_{\text{пленки}} \parallel (001)_{\text{подложки}}$ . При повышении температуры роста затравочного слоя были получены полностью биаксиально текстурированные пленки оксида иттрия, что позволяет судить о явной связи эффекта перестройки поверхности подложки с текстурой пленки  $Y_2O_3$ . Далее была достигнута передача текстуры от затравочного слоя в верхние буферные слои, это является необходимым для получения высококачественных пленок сверхпроводника.

**Вторым** важным результатом работы является постановка серии экспериментов по получению и исследованию пленок  $YBa_2Cu_3O_x$  различной толщины. Была достигнута высокая токонесущая способность на текстурированных подложках – более 200 Ампер, что находится на уровне лучших мировых результатов. Выполнен анализ морфологии и текстуры ВТСП пленок, что позволило выделить особенности роста, которые оказывают влияние на критическую плотность тока – это огрубление морфологии поверхности и появление  $a$ -ориентированных кристаллических зерен в пленке.

**Наконец**, автором был реализован рост многослойных эпитаксиальных структур, состоящих из слоев сверхпроводника, разделенных тонкими пленками более простых соединений – титаната стронция и оксида церия. Принцип данного подхода заключается в остановке накопления дефектов в пленке сверхпроводника за счет остановки роста при достижении необходимой толщины сверхпроводника и формировании интерслоя. Это позволило сохранить структурное и морфологическое совершенство отдельных сверхпроводящих слоев в

многослойной структуре, а также остановить падение плотности критического тока, наблюдаемое на однослойных ВТСП пленках.

**В качестве недостатка** следует отметить следующее: в тексте автореферата не упомянуто о первых работах по получению многослойных структур ВТСП/оксидный интерслоем, выполненных исследователями национальной лаборатории в Лос Аламосе (США) и опубликованных в 2002-2005 годах. Возможно, этим пионерским работам уделено должное внимание в основном тексте диссертации. На мой взгляд, автору следовало сформулировать выводы своей работы, связанные с получением и исследованием многослойных структур, с учетом указанных ранних работ и представить свою работу как дальнейшее развитие этой идеи.

Данное замечание не влияет на высокую оценку работы, которая выполнена на мировом уровне.

Автореферат диссертации написан профессиональным языком, достаточно полно иллюстрирован. Судя по автореферату, работа имеет важные фундаментальные результаты, обладает высокой практической значимостью и является законченной научно-исследовательской работой. Основные научные результаты отражены в публикациях автора, изданных в рецензируемых журналах.

Считаю, что диссертационная работа Черных И.А. «Многослойные эпитаксиальные структуры сверхпроводник-интерслой для увеличения токонесущей способности сверхпроводящих лент второго поколения» соответствует предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям требованиям, а Черных И.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07. – «Физика конденсированного состояния».

02 февраля 2016 г.

Технический директор ЗАО «СуперОкс»

К.х.н. \_\_\_\_\_ Молодык Александр Александрович  
e-mail: [a.molodyk@superox.ru](mailto:a.molodyk@superox.ru)

ЗАО «СуперОкс»

117246, г. Москва, научный проезд д.20

Телефон: 8-495-669-79-95

e-mail: [info@superox.ru](mailto:info@superox.ru)

Подпись А.А. Молодыка заверяю

Генеральный директор ЗАО «СуперОкс»

К.х.н. \_\_\_\_\_

С. В. Самойленков