

УДК 539.194

# МАГНИТНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ ЭФФЕКТ В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНКАХ ОКСИДА ЦЕРИЯ И ЦИРКОНАТА ЛАНТАНА

© 2013 г. Ф. Х. Чибирова<sup>1</sup>, Г. В. Котина<sup>1</sup>, Е. А. Бовина<sup>1</sup>, А. В. Клочихина<sup>1</sup>,  
Д. В. Тарасова<sup>1</sup>, В. Р. Халилов<sup>2</sup>, А. А. Полисан<sup>3</sup>, Ю. Н. Пархоменко<sup>3</sup>,  
<sup>1</sup>ФГУП НИФХИ им. Л. Я. Карпова, Москва, Россия  
<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия  
<sup>3</sup>ОАО «Гиредмет», Москва, Россия

Увеличение плотности критического тока в высокотемпературных сверхпроводящих проводах 2-го поколения (ВТСП-2) является важнейшей задачей исследователей и производителей ВТСП-2-проводов во всем мире. Предложен новый подход к увеличению перколяционных путей для сверхпроводящего тока, а именно: увеличение количества малоугловых (<5°) межзеренных границ в эпитаксиальном сверхпроводящем слое YBCO в результате магнитной структурной обработки (МСО) буферных слоев. Представлены новые экспериментальные результаты по применению МСО для улучшения структуры и увеличения остроты текстуры буфера токонесущего элемента ВТСП-2-провода. Влияние МСО на структурные и текстурные свойства исследовано на буфере, состоящем из эпитаксиальных пленок оксида церия  $\text{CeO}_2$  и цирконата лантана  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  в архитектуре  $\text{CeO}_2/4\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ . Обнаружено влияние магнитной обработки буферной эпитаксиальной пленки  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  на огранку зерен пленки. На основе данных, полученных в ходе исследования на атомно-силовом микроскопе показано, что после магнитной обработки огранка зерен значительно улучшилась. Установлено, что многослойный буфер  $\text{CeO}_2/4\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ , каждый слой которого обработан в магнитном поле, отличается высокой степенью ориентации — в рентгеновском спектре наблюдается один дифракционный пик с индексами (200). Результаты съемки методом рентгеновской дифрактометрии в области пика (200) свидетельствуют о хорошо сформированной эпитаксиальной структуре слоев  $\text{CeO}_2$  и  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ . Обнаружено, что текстура буфера вдоль и поперек направления прокатки острее более чем на два градуса по сравнению с текстурой подложки Ni-5% (ат. W).

**Ключевые слова:** высокотемпературные сверхпроводящие провода 2-го поколения (ВТСП-2), магнитная структурная обработка, критический ток, текстура, буфер.

## Введение

Повышение плотности критического тока в высокотемпературных сверхпроводящих проводах 2-го поколения (ВТСП-2) является важнейшей задачей исследователей и производителей ВТСП-2-проводов во всем мире. Суть этой задачи сводится к поиску способов увеличения перколяционных путей для сверхпроводящего тока в эпитаксиальном сверхпроводящем слое иттрий-бариевого купрата  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  (YBCO). Структурным барьером для сверхпроводящего тока являются большеугловые межзеренные границы. Это связано с малой величиной корреляции куперовских пар в ВТСП-материале. Поэтому сверхпроводящий ток беспрепятственно проходит только малоугловые (<5°) межзеренные границы в слое YBCO. Сверхпроводящий ток больше там, где зерно YBCO мельче, поскольку с увеличением размера зерна увеличивается створ угла, что также препятствует сверхпроводящему транспорту.

Ниже предложен новый подход к увеличению перколяцион-

ных путей для сверхпроводящего тока, а именно: увеличение количества малоугловых (<5°) межзеренных границ в эпитаксиальном сверхпроводящем слое YBCO в результате магнитной структурной обработки (МСО) буферных слоев. В работе представлены новые экспериментальные результаты по применению магнитной структурной обработки для улучшения структуры и увеличения остроты текстуры буфера токонесущего элемента ВТСП-2-провода. Такой подход связан с тем фактом, что рост сверхпроводящего слоя YBCO происходит на поверхности многослойного оксидного буфера, как на подложке, которая задает сверхпроводящему слою начальные условия эпитаксиального роста. Чем совершенней структура буфера и чем лучше он транслирует остроту текстуры подложки из сплава Ni-5% W, тем совершенней будет структура и текстура слоя YBCO и тем выше будет плотность критического тока.

Влияние МСО на структурные и текстурные свойства исследовали на буфере, состоящем из эпитаксиальных пленок оксида церия

**Чибирова Фатима Христофоровна**<sup>1</sup> — кандидат физ.-мат. наук, зав. лабораторией, e-mail: chibirova1@yandex.ru; **Котина Галина Васильевна**<sup>1</sup> — научный сотрудник; **Бовина Елена Анатольевна**<sup>1</sup> — научный сотрудник; **Клочихина Алла Викторовна**<sup>1</sup> — научный сотрудник; **Тарасова Джемма Владимировна**<sup>1</sup> — старший научный сотрудник; **Халилов Владимир Рустамович**<sup>2</sup> — доктор физ.-мат. наук, профессор; **Полисан Андрей Андреевич**<sup>3</sup> — доктор технических наук, профессор; **Пархоменко Юрий Николаевич**<sup>3</sup> — доктор физ.-мат. наук, профессор, зав. кафедрой.

<sup>1</sup>Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л. Я. Карпова, 105064, Россия, Москва, Воронцово Поле, д. 10; <sup>2</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, 1; <sup>3</sup>ОАО «Гиредмет», 119017, Москва, Б. Толмачевский пер., 5, стр. 1.

CeO<sub>2</sub> и цирконата лантана La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> в архитектуре CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

### Экспериментальная часть

Магнитный структурный эффект (МСЭ) [1–5] применяли к буферному покрытию из эпитаксиальных слоев оксида церия (CeO<sub>2</sub>) и цирконата лантана (La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) в архитектуре CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> на текстурированной ленте-подложке Ni — 5 % (ат.) W (EVICO, Германия).

Эпитаксиальные слои CeO<sub>2</sub> и La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> получали по жидкофазной технологии PAND [6–8] из нанопорошков CeO<sub>2</sub> и La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, которые вводили в водные растворы термочувствительных полимеров для формирования устойчивых золей, состоящих из наночастиц, — прекурсоров технологии PAND. Прекурсорные слои из золей CeO<sub>2</sub> и La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, нанесенные на текстурированные подложки Ni — 5 % (ат.) W, подвергали «эпитаксиальному» отжигу (способствующему эпитаксиальному сращиванию) для формирования из них буферных пленок. Пленки оксида церия CeO<sub>2</sub> толщиной 30 нм отжигали при температуре 900 °С в течение 30 мин в газовой смеси Ar + 5 % H<sub>2</sub>. Пленки цирконата лантана La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> толщиной 40 нм отжигали при 950 °С в течение 60 мин в газовой смеси Ar + 5 % H<sub>2</sub>.

Магнитную обработку эпитаксиальных пленок CeO<sub>2</sub> и La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> осуществляли в переменном магнитном поле с напряженностью  $H = 0,05 \pm 0,30$  Тл и частотой  $\omega = 10 \pm 150$  Гц.

Для улучшения кристаллической структуры буфера CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и увеличения остроты его текстуры по сравнению с остротой текстуры ленты-подложки Ni — 5 % (ат.) W слой оксида церия CeO<sub>2</sub> и каждый предыдущий слой цирконата лантана La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> обрабатывали в магнитном поле перед нанесением следующего эпитаксиального слоя.

Исследования топографии поверхности буфера CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> проводили с помощью атомно-силового микроскопа Femtoscan (Россия) в контактном режиме и латеральных силах.

Съемку рентгеновских спектров буфера CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> на ленте-подложке Ni — 5 % (ат.) W проводили на дифрактометре с вращающимся анодом Rigaku D/MAX 2500 (Rigaku, Япония) в режиме отражения (геометрия Брега—Брентано) с использованием излучения CuK<sub>α</sub> и графитового монохроматора. Для определения остроты текстуры буфера CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и ленты-подложки Ni — 5 % (ат.) W использовали приставки XRD-Phi-Scan к дифрактометру с вращающимся анодом Rigaku D/MAX 2500 (Rigaku, Япония).

### Результаты и их обсуждение

Исследование поверхности образца пленки La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> до и после магнитной обработки на атомно-

силовом микроскопе (АСМ) (рис. 1, см. вторую стр. обложки) показало, что после магнитной обработки размер зерна пленки La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> остается таким же, как в необработанном в магнитном поле образце ( $d = 40$  нм). Однако огранка зерен пленки La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> после магнитной обработки становится более четко выраженной.

На рис. 2 и 3 представлены результаты рентгеновских исследований структуры и текстуры образца буфера CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Рентгеновский спектр образца буфера CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, представленный на рис. 2, свидетельствует о высокой степени одноосности (100) и хорошо сформированной структуре эпитаксиальных слоев CeO<sub>2</sub> и La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, составляющих буфер.

Из сравнения данных, представленных на рис. 3, об остроте внеплоскостной текстуры (ширина пика на половине высоты  $\omega$ -сканирования — FWHM) буфера CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> и ленты-подложки Ni — 5 % (ат.) W следует, что текстура буфера  $\text{FWHM}_{\text{CeO}_2(200)\text{LZO}(400)} = 4,8^\circ$  и ленты-подложки  $\text{FWHM}_{\text{Ni}(200)} = 7^\circ$  в направлении, перпендикулярном к направлению прокатки, более острая, чем в направлении прокатки:  $\text{FWHM}_{\text{CeO}_2(200)\text{LZO}(400)} = 7,25^\circ$  и  $\text{FWHM}_{\text{Ni}(200)} = 8,9^\circ$ .

Этот результат ожидаем, так как объясняется анизотропными деформациями в ленте Ni — 5 % (ат.) W, которые появляются в ней в процессе прокатки.

Однако вдоль и поперек направления прокатки текстура буферного покрытия более чем на 2° острее, чем текстура ленты-подложки Ni — 5 % (ат.) W.

Это — интересный и неожиданный результат, который наблюдается впервые.

Так, авторы работы [9] очень подробно и всесторонне исследовали буферные эпитаксиальные пленки La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, выросшие на подложках Ni — 5 % (ат.) W. В том числе была исследована способность эпитаксиальной пленки La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> транслировать текстуру подложки Ni — 5 % (ат.) W.

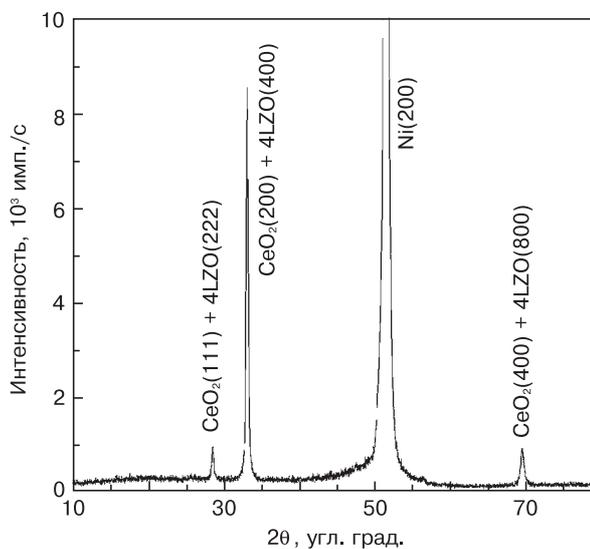


Рис. 2. Рентгеновский спектр образца буфера Ni — 5 % (ат.) W/CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (LZO)

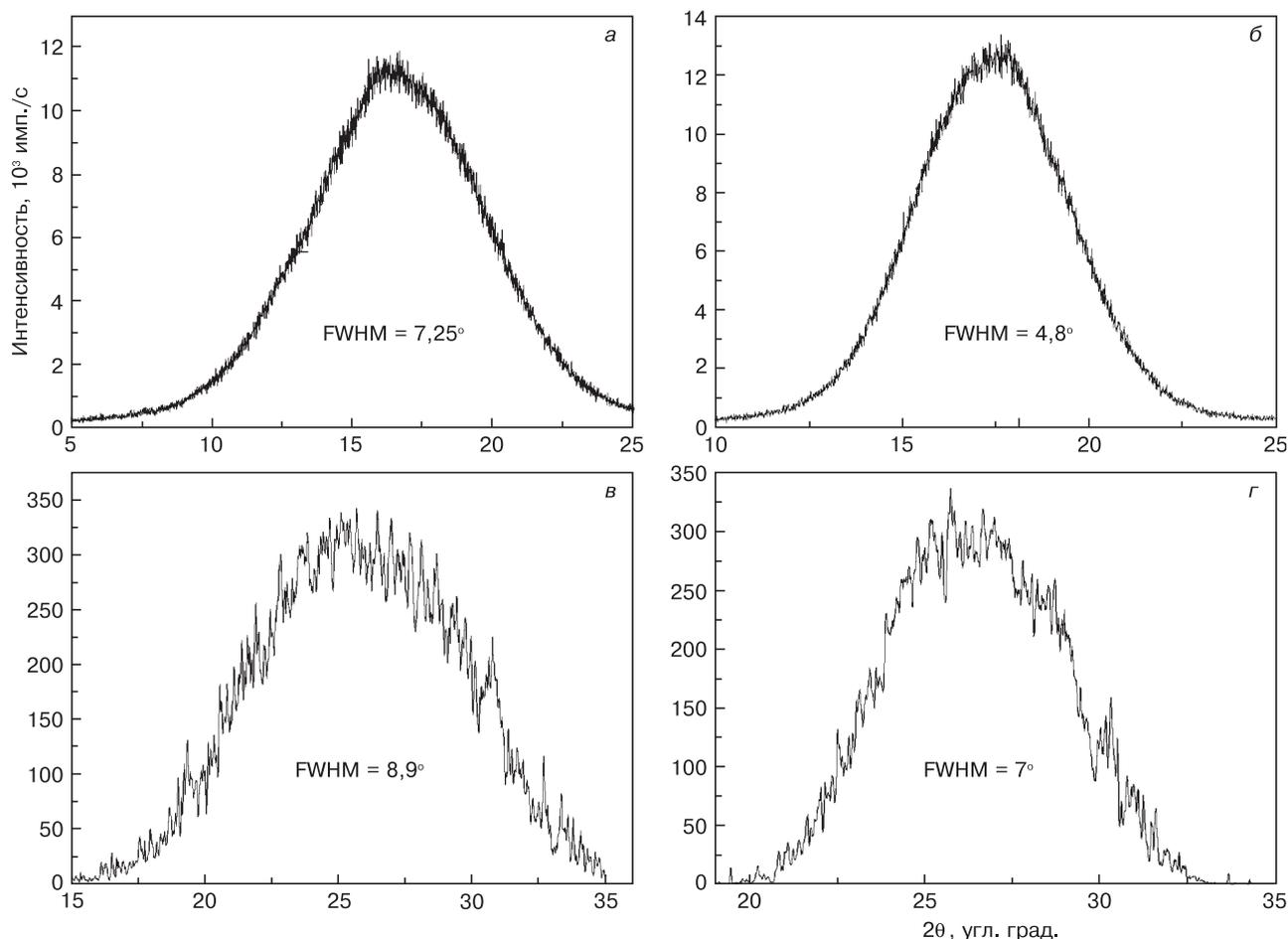


Рис. 3. Острота внеплоскостной текстуры буфера  $\text{CeO}_2/4\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  (а, б) и ленты-подложки Ni — 5 % (ат.) W (в, г): а, б —  $\omega$ -сканы пика  $\text{CeO}_2(200)/\text{LZO}(400)$  вдоль и поперек направления прокатки ленты-подложки Ni — 5 % (ат.) W; в, г —  $\omega$ -сканы пика Ni(200) вдоль и поперек направления прокатки соответственно

Полученные в работе [10] результаты  $\omega$ -сканирования вдоль и поперек направления прокатки для пленки  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  показали ухудшение остроты текстуры ( $\text{FWHM} = 10,4^\circ$  и  $6,6^\circ$  соответственно) по сравнению с остротой текстуры подложки Ni — 5 % (ат.) W ( $\text{FWHM} = 8,7^\circ$  и  $5,3^\circ$ ). Авторы работы [9] считают полученную остроту текстуры пленки  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  хорошей, но не совершенной, и объясняют это достаточно большим решеточным несоответствием (7,6 %) между материалом подложки (никелем) и цирконатом лантана, которое допускает эпитаксиальный рост, но ограничивает совершенство получаемой эпитаксиальной структуры.

Авторами настоящей работы показано, что применение МСЭ к буферным слоям  $\text{CeO}_2$  и  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  позволило увеличить остроту текстуры буфера  $\text{CeO}_2/4\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  так, что она стала острее текстуры подложки Ni — 5 % (ат.) W.

Таким образом, продемонстрировано, что применение МСЭ на разных стадиях формирования буфера сложной архитектуры  $\text{CeO}_2/4\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ , которое дает последовательное улучшение структурных характеристик эпитаксиальных пленок, в конечном счете выразилось в улучшении структуры и текстуры всего буфера.

Развитые в работах [2—4] представления о микроскопическом механизме МСЭ вместе с новыми представлениями о макроскопическом механизме МСЭ позволяют дать качественное объяснение полученным результатам.

Согласно микроскопической модели [2—4], основное действие перпендикулярного плоскости дефекта постоянного магнитного поля на заряженный точечный дефект проявляется в изменении области локализации слабосвязанного на дефекте заряда (электрона или дырки) и в возникновении кругового тока вероятности заряда. Оба эти обстоятельства способствуют захвату слабосвязанного заряда ловушками или ближайшими ионами, которые с большой вероятностью могут оказаться в новой области локализации заряда. Но через короткое время  $10^{-16}$ — $10^{-14}$  с заряд вновь может быть захвачен уже другими ловушками или ионами. Поскольку время действия магнитного поля примерно в  $10^{15}$  раз превышает время захвата заряда, то слабосвязанные заряды могут многократно быть захвачены разными ловушками. Но на заряды, захваченные ионами и попавшими в сильное кулоновское поле ядра, магнитное поле повлиять больше не может. Таким образом, заряды, захваченные ионами, навсегда покинут свои дефекты.

Это приведет к тому, что через какое-то время действия магнитного поля определенная часть зарядов из тех, что первоначально под действием магнитного поля покинули дефекты-ловушки, будет захвачена ионами. В результате произойдет перераспределение зарядов в системе и накопление в ней точечных дефектов, утративших заряды, «стабилизировавшие» их в структуре. Иными словами, система станет неравновесной, и встает вопрос выхода дефектов на поверхность, т. е. макроскопического механизма МСЭ. Согласно экспериментальным данным [5], «проработка» магнитным полем всего объема частиц порошка магнетита занимает время порядка 10—300 с. Поскольку скорости диффузии в твердом теле при комнатной температуре слишком низки для такого процесса, можно предположить, что существует другой механизм «выноса» дефектов на поверхность, а именно: выход на поверхность точечных дефектов вместе с дислокациями. В пользу этого механизма говорит тот экспериментальный факт, что за 10—300 с воздействия магнитного поля на магнетит совершенствуется структура всех кристаллитов порошка, т. е. уменьшается количество точечных и протяженных дефектов (дислокаций).

Стопоры дислокаций — это группы заряженных точечных дефектов, на которые, согласно микроскопической модели МСЭ, также действует магнитное поле. Поэтому перераспределение зарядов при магнитной обработке не может не захватить и эти группы дефектов, что приведет к снятию стопора и движению дислокации к поверхности. При этом наверняка будут увлечены к поверхности и другие точечные дефекты, связанные с дислокацией. Поэтому макроскопическая модель МСЭ, т. е. быстрый вынос на поверхность кристалла дефектов из его объема, по-видимому, связана с влиянием магнитного поля на дислокационные стопоры, т. е. группы точечных заряженных дефектов.

Исходный образец имеет точечные дефекты и равновесие конфигурационной структуры с дислокациями, фиксированными на стопорах в объеме. Включая магнитное поле, мы, в соответствии с микроскопической моделью, «выключаем» (или ослабляем) стопоры, что делает систему неравновесной. Часть дислокаций срывается со стопоров и движется к поверхности со скоростью ~100 нм/с [10, 11], унося с собой облака точечных дефектов и проходя за 10 с расстояние ~1000 нм, которое сравнимо со средним размером частиц в микропорошках. В результате в приповерхностных областях частиц порошка возникает избыток точечных дефектов, а в объеме появляются области, где точечных дефектов и дислокаций становится меньше. На границах «дефектных» и «бездефектных» областей могут зарождаются новые дислокации и, как следствие, новые точечные дефекты. Под действием магнитного поля может пройти несколько циклов такого «дыхания» дефектов между объемом и поверхностью до достижения

нового равновесия — равновесия в магнитном поле с заданными значениями напряженности и частоты.

### Заключение

Наблюдаемое на АСМ-изображениях улучшение гранки зерен в пленке  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  после магнитной обработки однозначно следует связать с улучшением кристаллической структуры пленки, т. е. с МСЭ в пленке  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$ .

Установлено, что высокая степень одноосности и хорошо сформированная структура эпитаксиальных  $\text{CeO}_2$ - и  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_3$ -слоев буфера  $\text{CeO}_2/4\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_3$  — это результат МСЭ, так как магнитная обработка слоя-предшественника улучшает структуру его объема и уменьшает количество дислокаций на его поверхности, что создает хорошие условия для эпитаксиального роста следующего слоя буфера.

Показано, что вдоль и поперек направления прокатки текстура буфера более чем на  $2^\circ$  острее, чем текстура подложки Ni — 5 % (ат.) W. Это — результат МСЭ, так как магнитная обработка слоя-предшественника уменьшает на его поверхности количество дислокаций и напряжений, которые, как известно, являются причиной формирования большеугловых межзеренных границ.

Однако суть МСЭ не только в структурных изменениях в результате достижения нового равновесия под действием магнитного поля, но и в том, что произошедшие в структуре изменения необратимы и сохраняются после воздействия магнитного поля. Можно прекратить воздействие поля в любой момент до достижения нового равновесия, т. е. можно зафиксировать изменения структуры в любой точке на зависимости структуры от времени магнитной обработки. Это дает принципиальную возможность управлять с помощью МСЭ структурой материала.

### Библиографический список

1. Chibirova, F. Kh. Magnetic structural effect in nonequilibrium defective solids // *Modern Phys. Lett. B.* – 2005. – V. 19. – P. 1119–1130.
2. Khalilov, V. R. Effect of a constant magnetic field on an electron bound into a singular potential / V. R. Khalilov, F. Kh. Chibirova // *Inter. J. Modern Phys. A.* – 2006. – V. 21. – P. 3171–3179.
3. Chibirova, F. Kh. Effect of cross uniform electromagnetic field on loosely localized electron states / F. Kh. Chibirova, V. R. Khalilov // *Modern Phys. Lett. A.* – 2005. – V. 20, N 9. – P. 663–671.
4. Khalilov, V. R. Electron bound by a potential well in the presence of a constant uniform magnetic field / V. R. Khalilov, F. Kh. Chibirova // *J. Phys. A.* – 2007. – V. 40. – P. 6469–6480.
5. Чибирова, Ф. Х. Особенности перестройки дефектной структуры магнетита в вихревом магнитном поле по данным мессбауэровской спектроскопии // *ЖФХ.* – 2008. – Т. 82, № 9. – С. 1–3.
6. Чибирова, Ф. Х. Патент RU 2387050 C1. – 2009.
7. Тарасова, Д. В. Синтез зольей диоксида церия ионообменным методом / Д. В. Тарасова, Е. А. Бовина, А. М. Сергеев, М. М. Содержинова, Р. С. Дулина, Ф. Х. Чибирова // *Коллоидный журнал.* – 2007. – Т. 69, № 1. – С. 3–7.
8. Bovina, E. A. Synthesis of lanthanum zirconate hydrosols by the ion exchange method / E. A. Bovina, J. V. Tarasova, F. Kh. Chibirova // *J. Phys.: Conf. Ser.* – 2011. – V. 291. – P. 012037–01241.
9. Knoth, K. Detailed investigations on  $\text{La}_2\text{Zr}_2\text{O}_7$  buffer layers for YBCO-coated conductors prepared by chemical solution deposi-

tion / K. Knoth, R. Huëhne, S. Oswald, L. Schultz, B. Holzapfel // *Acta Mater.* – 2007. – V. 55. – P. 517–529.

10. Даринская, Е. В. О влиянии концентрации точечных дефектов в кристаллах NaCl и LiF на поле насыщения магнито-пластического эффекта / Е. В. Даринская, Е. Хартманн // ФТТ. – 2003. – Т. 45, № 11. – С. 2013–2016.

11. Головин, Ю. И. *In situ* исследование влияния магнитного поля на подвижность дислокаций в деформируемых монокристаллах KCl : Ca / Ю. И. Головин, Р. Б. Моргунов, В. Е. Иванов // Там же. – 1997. – Т. 39. № 4. – С. 630–633.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки (Государственный контракт № 14.513.11.0005 от 11 марта 2013 г.).

Статья поступила в редакцию 08 августа 2013 г.

ISSN 1609–3577 *Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki* = *Materials of Electronic Technics*. 2014, vol. 17, no. 1, pp. 37–41.

### Magnetic Structural Effect (MSE) in Epitaxial Films of Cerium Oxide and Lanthanum Zirconate

**Chibirova Fatima Khristoforovna**<sup>1</sup> — PhD, Head of Laboratory; **Kotina Galina Vasilevna**<sup>1</sup> — Researcher; **Bovina Elena Anatolevna**<sup>1</sup> — Researcher; **Klochikhina Alla Viktorovna**<sup>1</sup> — Researcher; **Tarasova Gemma Vladimirovna**<sup>1</sup> — PhD, Senior Researcher; **Khalilov Vladislav Rustemovich**<sup>2</sup> — Doctor of Physics and Mathematics, Professor; **Polysan Andrey Andreyevich**<sup>3</sup> — Doctor of Technical Science, Professor; **Parkhomenko Yuriy Nikolaevich**<sup>3</sup> — Doctor of physical and mathematical sciences, Head of Chair.

<sup>1</sup>Karpov Institute of Physical Chemistry, 105064, Moscow, Vorontsovo Pole, 10; <sup>2</sup>Moscow State University, 19991, Moscow, Leninskie Gory, 1; <sup>3</sup>The Federal State Research and Design Institute of Rare Metal Industry, 119017, Moscow, B. Tolmachevsky lane, Building 5–1.

**Abstracts.** An increase of the critical current density in the second generation high-temperature superconducting wires (2G HTS) is the major challenge for researchers and manufacturers of 2G HTS wires all over the world. We proposed a new approach to increasing the number of percolation paths for superconducting current, i.e. increasing the number of low angle grain boundaries ( $<5^\circ$ ) in the epitaxial superconducting YBCO layer by magnetic structural processing (MSP) of buffer layers. New experimental results have been presented on the application of MSP for improving the structure and increase the texture sharpness of buffer in electrical conducting element of 2G HTS wire. The influence of MCO on the structural and textural properties has been investigated in a buffer consisting of epitaxial films of cerium oxide CeO<sub>2</sub> and lanthanum zirconate La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> in the CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> architecture. The influence of the magnetic processing of the epitaxial La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> buffer film on the shape of grains has been found. A study under an atomic force microscope has shown that after magnetic processing the shape of grains improved significantly. A multilayer CeO<sub>2</sub>/4La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> buffer each layer of which was processed in a magnetic field, has a high degree of orientation: only one diffraction peak with (200) indexes is observed in the X-ray spectrum. X-ray settings of diffraction peak (200) indicate a well developed epitaxial structure of CeO<sub>2</sub> and La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> layers. The texture of the buffer is by more than two degrees sharper than that of the Ni–5 at.% W substrate.

**Key words:** second generation high-temperature superconducting wires (2G HTS), magnetic structural processing, critical current, texture, buffer.

### References

- Chibirova F. Kh. Magnetic structural effect in nonequilibrium defective solids. *Modern Phys. Lett. B*. 2005, vol. 19, pp. 1119–1130.
- Khalilov V. R., Chibirova F. Kh. Effect of a constant magnetic field on an electron bound into a singular potential. *Inter. J. Modern Phys. A*. 2006, vol. 21, pp. 3171–3179.
- Chibirova F. Kh., Khalilov V. R. Effect of cross uniform electromagnetic field on loosely localized electron states. *Modern Phys. Lett. A*. 2005, vol. 20, no. 9, pp. 663–671.
- Khalilov V. R., Chibirova F. Kh. Electron bound by a potential well in the presence of a constant uniform magnetic field. *J. Phys. A*. 2007, vol. 40, pp. 6469–6480.
- Chibirova F. Kh. Features of reorganization of defective structure of magnetite in a vortex magnetic field according to messbauerovsky spectroscopy. *Zhurnal fizicheskoi khimii*. 2008, vol. 82, no. 9, pp. 1–3. (In Russ.).
- Chibirova F. Kh. *Patent RU 2387050 C1*. 2009.
- Tarasova D. V., Bovina E. A., Sergeev A. M., Soderzhinova M. M., Dulina R. S., Chibirova F. Kh. Synthesis fill in cerium dioxide with an ion-exchange method. *Kolloidnyi zhurnal*. 2007, vol. 69, no. 1, pp. 3–7. (In Russ.).
- Bovina E. A., Tarasova J. V., Chibirova F. Kh. Synthesis of lanthanum zirconate hydrosols by the ion exchange method. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2011, vol. 291, pp. 012037–01241.
- Knoth K., Huëhne R., Oswald S., Schultz L., Holzapfel B. Detailed investigations on La<sub>2</sub>Zr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> buffer layers for YBCO-coated conductors prepared by chemical solution deposition. *Acta Mater.* 2007, vol. 55, pp. 517–529.
- Darinskaya E. V., Khartmann E. About influence of concentration of dot defects in NaCl and LiF crystals in the field of saturation of magnetoplastic effect. *Fizika tverdogo tela*. 2003, vol. 45, no. 11, pp. 2013–2016. (In Russ.).
- Golovin Yu. I., Morgunov R. B., Ivanov V. E. *In situ* research of influence of a magnetic field on mobility of dislocations in deformable monocrystals of KCl : Ca. *Fizika tverdogo tela*. 1997, vol. 39, no. 4, pp. 630–633. (In Russ.).

**Acknowledgements:** This work was financially supported by the Ministry of Education and Science (State contract No. 14.513.11.0005 of March 11, 2013).

Received August 08, 2013