

Электронная микроскопия структуры композиций пленок титаната бария—стронция на подложках Pt—Ti—SiO₂—Si после лазерного отжига

© О.М. Жигалина, Д.Н. Хмеленин, К.А. Воротилов*, А.С. Сигов*, И.Г. Лебо*

Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова Российской академии наук, Москва, Россия

* Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (Технический университет), Москва, Россия

E-mail: vorotilov@mirea.ru

Исследовано влияние лазерного отжига на структуру пленок титаната бария—стронция, полученных методом химического осаждения из растворов. Показано, что воздействие лазерного излучения инициирует процессы кристаллизации и рекристаллизации пленок, а также вызывает аморфизацию внешней поверхности пленки.

Работа выполнена при поддержке гранта аналитической ведомственной целевой программы „Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 гг.)“, подраздел № 2.1.2, и гранта РФФИ № 07-02-12259-офи.

PACS: 77.84.Dy, 68.37.Lp, 68.37.Og

Процесс кристаллизации пленок титаната бария—стронция (ТБС) предусматривает проведение высокотемпературного отжига (600–850°C), что приводит к нежелательным изменениям в структуре нижнего электрода, а также других элементов интегральной схемы [1]. Основным преимуществом лазерного воздействия является возможность селективного отжига отдельных слоев многослойной композиции путем подбора соответствующей длины волны, мощности излучения, что недостижимо при традиционной термообработке. Для снижения и локализации теплового воздействия в работах [2–4] сообщается об использовании эксимерного лазера. В работе [5] показано, что излучение с длиной волны $\lambda = 0.25 \mu\text{m}$ и энергией лазера $0.1\text{--}0.5 \text{ J/cm}^2$ эффективно поглощается в тонком слое ТБС. Воздействие лазера на структуру композиций может быть различным: концентрироваться в тонком поверхностном слое или проникать на достаточную глубину. Особый интерес представляет возможность влияния на процессы кристаллизации, что может обеспечить управление микроструктурой пленок [6]. Однако в зависимости от параметров излучения лазера пленка может разрушаться и содержать значительное количество дефектов и повреждений из-за высокого температурного градиента, возникающего между пленкой и подложкой.

Таким образом, лазерный отжиг может оказывать эффективное воздействие на процессы кристаллизации многослойных гетероструктур на основе сегнетоэлектрических пленок. Механизмы влияния такого рода отжига на микроструктуру формируемых слоев практически не изучены.

Целью настоящей работы было установление влияния лазерного отжига на микроструктуру пленок ТБС.

Пленки ТБС (Ba/Sr = 70/30) были сформированы на подложках Si—SiO₂ (300 nm)—Ti (10 nm)—Pt (100 nm) методом химического осаждения из растворов. Лазерный

отжиг образцов проводили в Физическом институте им. П.Н. Лебедева на установке „ГАРПУН“ (эксимерный криптон—фтор-лазер).

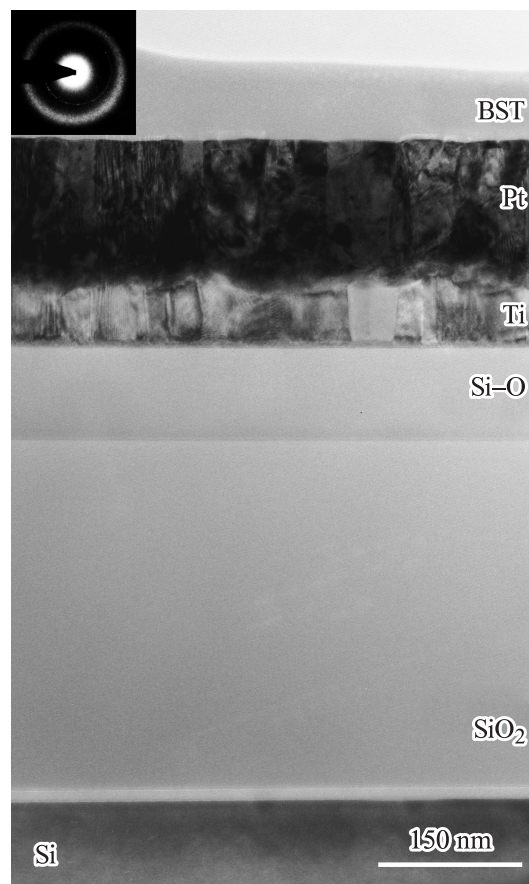


Рис. 1. ПЭМ-изображение поперечного среза структуры до воздействия лазерного излучения (нанесение и сушка слоя ТБС при $T = 500^\circ\text{C}$).

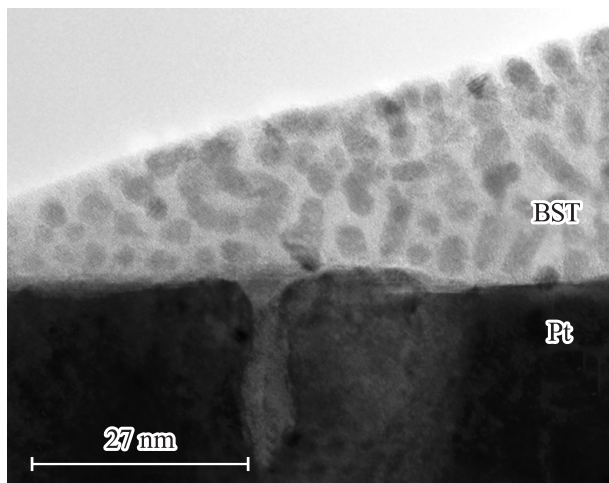


Рис. 2. Электронно-микроскопическое изображение структуры пленки ТБС после лазерного отжига с энергией пучка 0.36 J/cm^2 .

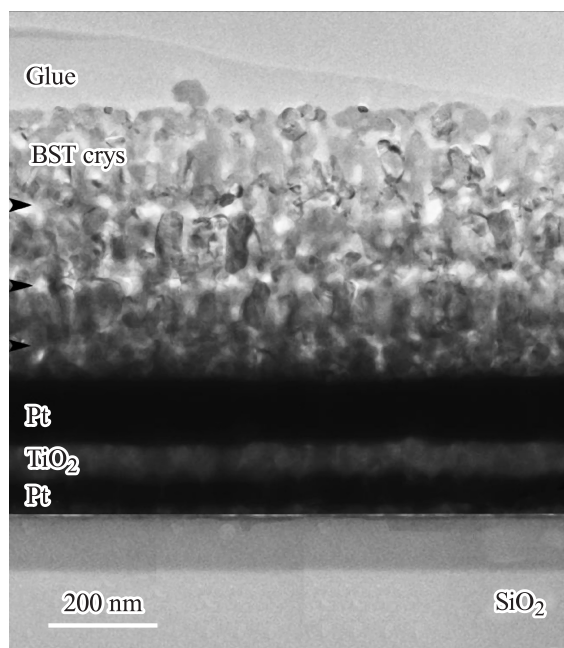


Рис. 3. Поперечный срез образца после кристаллизации при $T = 700^\circ\text{C}$ и лазерного отжига с энергией 1.85 J/cm^2 .

Изучение структуры, фазового и элементного состава слоев проводили методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) высокого разрешения с помощью микроскопа Tescan G² 30STWINc ускоряющим напряжением 300 kV с использованием просвечивающе-растрового режима (STEM) и энергодисперсионного анализа (EDX). Фазовый состав композиций изучали с помощью рентгеноструктурного анализа на дифрактометре RIGAKU на излучении CoK_α симметрично, на отражение.

На рис. 1 представлено изображение поперечного среза исходного образца до воздействия лазерного излучения. На дифракционной картине, полученной от пленки ТБС, видно аморфное гало. После нанесения и сушки при $T = 500^\circ$ пленка не имеет кристаллической структуры, располагается на Pt ровным сплошным слоем. Структура слоя Pt представляет собой столбчатые зерна шириной 20–40 nm, плотно прилегающие друг к другу; толщина слоя составляет около 150 nm.

Электронно-микроскопическое изображение структуры пленки ТБС после лазерного отжига с энергией пучка 0.36 J/cm^2 представлено на рис. 2. В пленке видны кристаллы размером 3–5 nm в основном округлой формы, которые растут в приграничной области Pt–ТБС либо зарождаются в толще пленки. Так как в исходном состоянии пленка была аморфной, можно предположить, что образование мелких кристаллов было инициировано воздействием лазера.

Эксперименты по лазерному отжигу пленок ТБС, прошедших предварительную кристаллизацию при $T = 700^\circ\text{C}$, показали, что лазерное излучение с энергией $0.57\text{--}1.85 \text{ J/cm}^2$ локализуется в верхних слоях и приводит к расплавлению и аморфизации верхней части пленки (рис. 3). При этом толщина аморфного слоя увеличивается от 10–30 до 200 nm при увеличении энергии пучка лазера от 0.57 до 1.85 J/cm^2 . Морфология зерен и состав внутренних слоев практически не изменяются, а средний размер зерен после лазерного отжига с энергией 1.85 J/cm^2 увеличивается на 25%.

Список литературы

- [1] О.М. Жигалина, П.В. Бурмистрова, А.Л. Васильев, В.В. Родатис, К.А. Воротилов, А.С. Сигов. *Микроэлектроника* **3**, 1 (2001).
- [2] O. Balduc, W. Krasser, S. Hofman. *Integrated Ferroelectrics* **30**, 29 (2000).
- [3] M. Knite, G. Mezinskis, L. Shebanovs, I. Pedaja, A. Stenberg. *Ferroelectrics* **286**, 321 (2003).
- [4] K.A. Vorotilov, V.D. Zvorykin, I.G. Lebo, A.S. Sigov. *J. Russian Laser Research* **25**, 234 (2004).
- [5] I.G. Lebo. *J. Russian Laser Research* **26**, 252 (2005).
- [6] O.M. Zhigalina, K.A. Vorotilov, A.S. Sigov, A.S. Kumskov. *Ferroelectrics* **335**, 13 (2006).