

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ, ОПТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛЕНКИ ЦТС-19/1

Н.А. Босак¹⁾, Л.В. Баран²⁾, Л.А. Близнюк³⁾,
В.В. Малютина-Бронская⁴⁾, Т.П. Петроченко³⁾, А.С. Кузьмицкая⁴⁾

¹⁾Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,
пр. Независимости 68/2, Минск 220072, Беларусь, n.bosak@ifanbel.bas-net.by

²⁾Белорусский государственный университет,
пр. Независимости 4, Минск 220030, Беларусь, baran@bsu.by

³⁾НПЦ НАН Беларуси по материаловедению,
ул. П. Бровки 19, Минск 220072, Беларусь, luyda@physics.by

⁴⁾ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»,
пр. Независимости 68, Минск 220072, Беларусь, malyutina@oelt.basnet.by

Проведены исследования тонких пьезокерамических пленок ЦТС-19/1, осажденных в вакууме ($p = 2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.) на кремниевую подложку при многоимпульсном высокочастотном ($f \sim 9-10$ кГц) лазерном воздействии на керамическую мишень при плотности мощности лазерного излучения $q = 26$ МВт/см². Изучена морфология поверхности полученных пленок с помощью атомно-силовой микроскопии, выявлены особенности спектров пропускания в ближней и средней ИК-области, представлены результаты исследования их электрофизических характеристик.

Ключевые слова: высокочастотное лазерное воздействие; пассивный затвор; структура тонких пленок; спектры пропускания и отражения; вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики.

SURFACE MORPHOLOGY, OPTICAL AND ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF PIEZOCERAMIC FILM PZT-19/1

N.A. Bosak¹⁾, L.V. Baran²⁾, L.A. Bliznyuk³⁾,
V.V. Malutina-Bronskaya⁴⁾, T.P. Petrochenko³⁾, A.S. Kuzmitskaya⁴⁾

¹⁾B.I. Stepanov Institute of Physics, National Academy of Sciences of Belarus,
68/2 Nezavisimosti Ave., 220072 Minsk, Belarus, n.bosak@ifanbel.bas-net.by

²⁾Belarusian State University, 4 Nezavisimosti Ave., 220030 Minsk, Belarus, baran@bsu.by

³⁾Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus
for Materials Science, 19 P. Brovki Str., 220072 Minsk, Belarus, luyda@physics.by

⁴⁾SSPA «Optics, Optoelectronics and Laser Technology»,
68 Nezavisimosti Ave., 220072 Minsk, Belarus, malyutina@oelt.basnet.by

Studies of thin piezoceramic film PZT-19/1 was be done and deposited in vacuum ($p = 2 \cdot 10^{-2}$ mm Hg Art) on the silicon substrate under multipulse high-frequency ($f \sim 9-10$ kHz) laser action on a ceramic target at a laser power density $q = 26$ MW/cm². The surface morphology of the obtained films was studied using atomic force microscopy, the features of the transmission spectra in the near and mid-IR regions were revealed, and the results of a study of their electrophysical characteristics were presented.

Keywords: high-frequency laser effect; passive shutter; the structure of thin films; transmission and reflections spectra, current-voltage and farad-voltage characteristics.

Введение

К числу наиболее эффективных сегнетоэлектриков относятся пьезокерамические материалы системы цирконата-титаната свинца $Pb(Ti_x, Zr_{1-x})O_3$ (ЦТС),

представляющие собой твердые растворы цирконата $PbZrO_3$ и титаната свинца $PbTiO_3$, которые могут быть получены не только в виде объемных материалов, но и в виде тонких пленок [1]. Тонкие пленки

ЦТС обладают большой диэлектрической проницаемостью, высоким пьезомодулем, уникальными электрооптическими свойствами.

В данной работе проведены исследования тонких пьезокерамических пленок ЦТС-19/1, осажденных в вакууме на кремниевую подложку при многоимпульсном высокочастотном лазерном воздействии [2]. Изучена морфология поверхности полученных тонких пленок с помощью атомно-силовой микроскопии, выявлены особенности спектров пропускания в ближней и средней ИК-области, исследованы вольт-амперные и вольт-фарадные характеристики.

Материалы и методы исследования

Тонкие пьезокерамические пленки ЦТС-19/1 получены методом высокочастотного лазерного распыления керамики в вакууме ($p = 2 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.) при плотности мощности лазерного излучения $q = 26 \text{ МВт/см}^2$, длительности лазерных импульсов на полувысоте $\tau \sim 85$ нс, частоте повторения импульсов $f \sim 9\text{--}10$ кГц на длине волны $\lambda = 1.06$ мкм.

Морфология поверхности пленок ЦТС-19/1 изучалась методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) с помощью сканирующего зондового микроскопа NEXT II в режиме амплитудно-частотной модуляции методом постоянной силы.

Пропускание оптического излучения тонкими пленками в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне спектра измерялось на спектрофотометре Cary 500 Scan. Спектры пропускания в средней ИК области регистрировались с помощью Фурье-спектрометра NEXUS (Thermo Nicolet) в диапазоне $400\text{--}4000 \text{ см}^{-1}$.

Измерение вольт-амперных характеристик (ВАХ) структур ЦТС-19/1 на кремниевой подложке проводилось с помощью автоматизированного базового лазерного испытательного комплекса. Вольт-фарадные характеристики (ВФХ) были измерены с использованием измерителя иммитанса Е7 - 30 на частоте сигнала

100 кГц с амплитудой сигнала 1 В.

Результаты и их обсуждение

АСМ-изображения морфологии поверхности пленок ЦТС-19/1, полученных на кремниевой подложке, представлены на рис. 1.

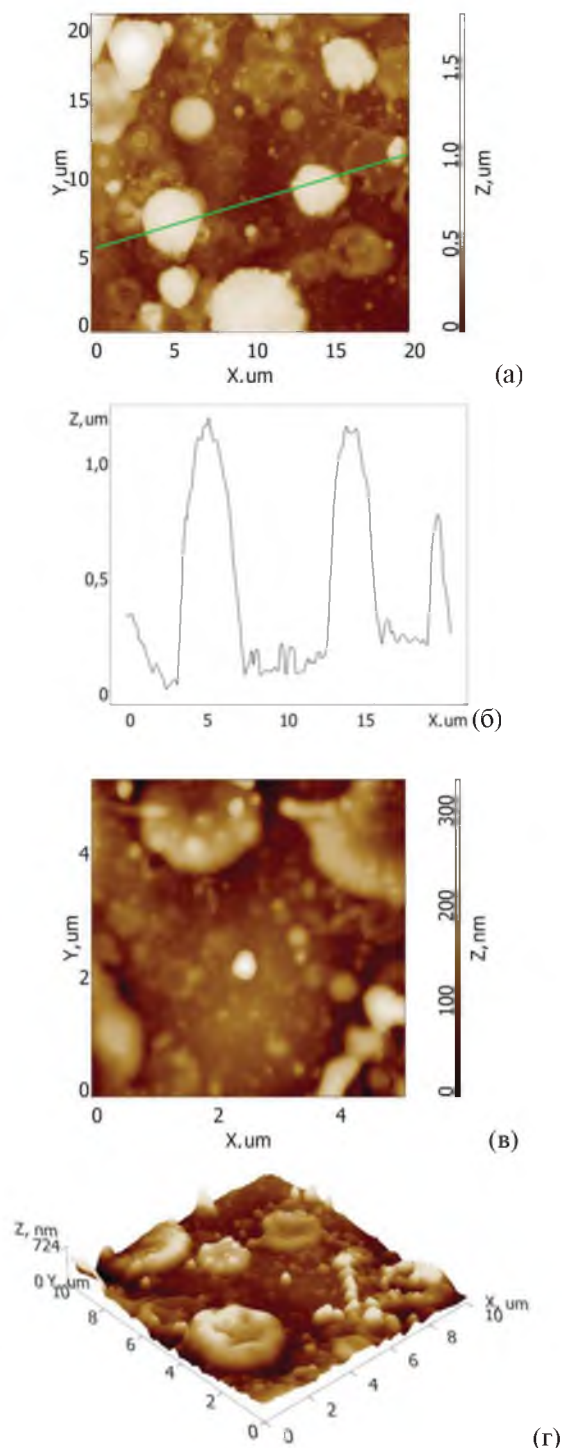


Рис. 1. Морфология поверхности пленки ЦТС-19/1 на кремниевой подложке: а, в – двумерное АСМ-изображение; б – профиль сечения вдоль выделенной линии; г – трехмерное АСМ-изображение

Методом атомно-силовой микроскопии установлено, что при осаждении на кремниевую подложку формируются пленки с развитой поверхностью. На поверхности пленок ЦТС-19/1 наблюдается большое количество капель в виде плоских вогнутых цилиндрических пластин, в некоторых местах накладывающихся друг на друга, и крупные конгломераты, латеральный размер которых варьируется от 1 до 6 мкм, высота от 0.2 до 3 мкм. Средний перепад высот рельефа поверхности пленки, осажденной на кремниевую подложку, составляет 582 нм при среднеквадратичной шероховатости 326.2 нм.

На рис. 2 показаны спектры пропускания кремния лазерно-осажденной пьезо-керамической пленки ЦТС-19/1 на кремниевой подложке в ближней (а) и средней ИК-области (б).

Пропускание лазерно-осажденной пьезо-керамической пленки ЦТС-19/1 в ближней ИК-области спектра возрастает от $T = 0.4\%$ на длине волны $\lambda = 1010$ нм до ве-

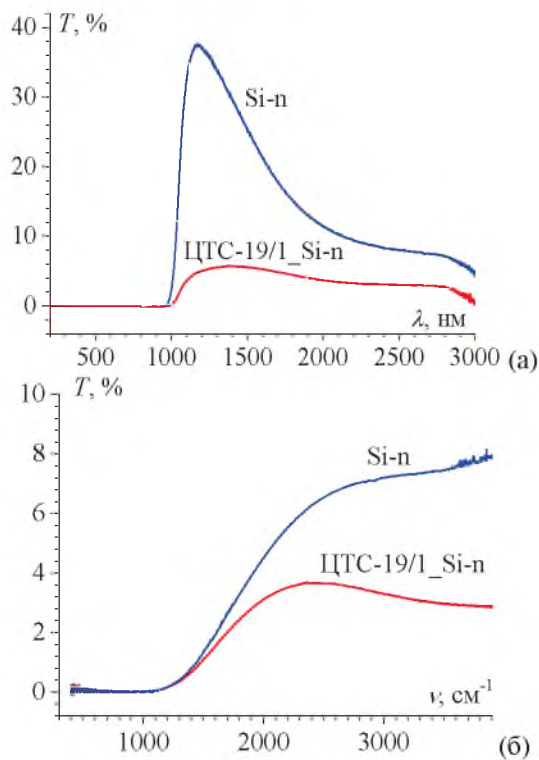


Рис. 2. Спектры пропускания кремния лазерно-осажденной пьезо-керамической пленки ЦТС-19/1 на кремниевой подложке в ближней (а) и средней ИК-области (б)

личины пропускания $T = 5.8\%$ на длине волны $\lambda = 1370$ нм, постепенно уменьшаясь до $T = 2.9\%$ на длине волны $\lambda = 2777$ нм.

На рис. 3 показаны вольт-амперная и вольт-фарадная характеристики пленки ЦТС-19/1 на кремниевой подложке. Полярность напряжения на ВАХ соответствует полярности напряжения, подаваемого на пленку ЦТС-19/1. Зависимость силы тока от приложенного напряжения имеет несимметричный вид, и отношение тока при положительном и отрицательном напряжении -5 В составляет 2.54. Анализ ВАХ показал, что для структуры ЦТС – 19/1/Si характерно несколько механизмов проводимости: токи, ограниченные пространственным зарядом ($I \sim U^2$) при $U > 0$ В и $U > -3$ В и омический ($I \sim U$) $U < -3$ В. ВФХ, измеренная на частоте сигнала 100 кГц, имеет вид, характерный для диодной структуры. Контактная разность потенциала, вычисленная из зависимости $C^{-2}(U)$ составляет -2.25 В [3].

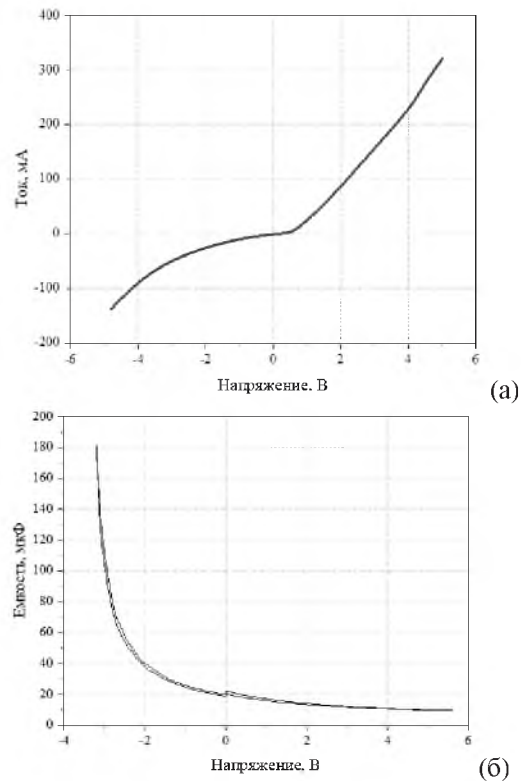


Рис. 3. Вольт-амперная (а) и вольт-фарадная характеристики (б) лазерно-осажденной пьезо-керамической пленки ЦТС-19/1 на кремниевой подложке

Заключение

Методом высокочастотного лазерного распыления в вакууме получены пьезоэлектрические пленки ЦТС-19/1 на кремнии с развитой поверхностью. Структура ЦТС-19/Si обладает пропусканием менее 6 % в ИК –диапазоне на длинах волн более 1100 нм. Основными механизмами проводимости являются токи, ограниченные пространственным зарядом при $U > 0$ В и $U > -3$ В и омический $U < -3$ В.

Библиографические ссылки

1. Petrov V.V., Varzarev Y.N., Kamentsev A.S., Rozhko A.A., Pakhomova O.A. PZT Thin Films on Silicon Substrates: Formation and Research of Properties. *Nano Hybrids and Composites* 2020; 28: 65-70.
2. Чумаков А.Н., Авраменко В.Б., Босак Н.А. Плазмообразование при высокочастотном импульсно-периодическом лазерном воздействии на металлы в воздухе при пониженном и атмосферном давлениях. *Журнал прикладной спектроскопии* 2012; 79(2): 279–287.
3. Певцов Е.Ф., Беспалов А.В., Буш А.А., Голикова О.Л. Электрофизические свойства структур с тонкими пленками сегнетоэлектриков. *Наноиндустрия*. 2018; 9: 471-480.