

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛЕНОК ЦИРКОНАТА-ТИТАНАТА СВИНЦА, СФОРМИРОВАННЫХ НА ОКИСЛЕННЫХ КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ

Коваленко Д.А.¹, Петров В.В.¹

¹ Южный федеральный университет, 347900, Россия, Таганрог, ул. Чехова, 2, zubayraeva@list.ru

В работе исследованы основные электрофизические свойства сегнетоэлектрических пленок цирконата-титаната свинца (ЦТС), сформированных на окисленных кремниевых подложках методом высокочастотного реактивного распыления. Величина поляризации исследуемых образцов пленок ЦТС находится на уровне 0,3–0,5 Кл/м², а наилучшие электрофизические свойства исследуемых образцов проявляются в диапазоне частот $f < 1$ кГц. Значения емкостей лежат в диапазоне от 132 до 1367 пФ и напрямую зависят от технологических параметров, а точка Кюри равна 280°C. Выявлена высокая чувствительность образцов пленок ЦТС к напряженности внешнего электростатического поля и показан характер ее зависимости.

Ключевые слова: сегнетоэлектрические пленки, кремневая подложка, цирконат-титанат свинца, емкость, поляризация, точка Кюри, напряженность электростатического поля

RESEARCH OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF THE FILMS OF LEAD ZIRCONATE TITANATE FORMED ON THE OXIDIZED SILICON SUBSTRATES

Kovalenko D.A.¹, Petrov V.V.¹

¹ South Federal University, Chekhova str., 2, 347900, Taganrog, Russia, zubayraeva@list.ru

In work main electrophysical characteristics of the ferroelectric thin films of zirconate-lead titanate (PZT) formed on the oxidized silicon substrates by method of high-pitched jet dispersion are described. The size of polarization of the studied exemplars of PZT films is in the range 0,3-0,5 C/sq.m, and the best electrophysical properties of these exemplars are exhibited in the range of frequencies $f < 1$ kHz. Researchers showed that values of capacities lie in the range from 132 to 1367 pF and directly depend on technological parameters, and the magnetic transition temperature is equal 280°C. High sensitivity to electrostatic field strength is revealed and its dependence disposition is shown.

Keywords: ferroelectric films, silicon substrate, lead zirconate titanate, capacity, polarization, magnetic transition temperature, field strength

Возможность формирования тонких сегнетоэлектрических пленок на металлических, полупроводниковых и диэлектрических подложках открывает широкие возможности для конструирования приборов функциональной электроники, изготавливаемых по интегральной технологии микроэлектроники [7, 8]. Используя это преимущество, возможно формирование в одном процессе и приборов функциональной электроники на основе сегнетоэлектрических пленок, и устройств обработки сигналов.

К числу наиболее эффективных сегнетоэлектриков относятся пьезокерамические материалы системы цирконата-титаната свинца (ЦТС), представляющие собой твердые растворы цирконата $PbZrO_3$ и титаната свинца $PbTiO_3$ [6], которые могут быть получены не только в виде объемных материалов, но и в виде тонких пленок.

Целью данной работы является исследование основных электрофизических свойств пленок ЦТС, сформированных на окисленных кремниевых подложках методом ВЧ-реактивного распыления. Основными исследуемыми электрофизическими параметрами

сегнетоэлектриков являются: величина встроенного заряда и коэрцитивного поля, угол диэлектрических потерь, емкость исследуемых образцов, точка Кюри пленок ЦТС.

Описание объекта и методов исследования

Образцы сегнетоэлектрических пленок ЦТС состава $Pb(Ti_x, Zr_{1-x})O_3$ [4] были получены методом высокочастотного реактивного распыления на установке «Плазма 80-СЭ».

Исследования, проведенные в работе [1], показали, что наилучшими технологическими режимами процесса напыления пленок являются максимальные значения парциального давления газа в камере и приложенной к электродам мощности. Пленки формировались на кремниевых пластинах марки КЭФ-4,5 кристаллографической ориентации $\langle 111 \rangle$ и толщиной 380 мкм. Поверхность кремниевых подложек была окислена. Толщина SiO_2 составляла 150–200 нм, что обеспечивало минимизацию токов утечки с сегнетоэлектрической пленки на подложку. Методом термического напыления и последующей фотолитографии на поверхности сегнетоэлектрической пленки ЦТС формировалась контактная металлизация V-Cu-Ni [2]. Схема лабораторного образца исследуемой планарной структуры представлена на рисунке 1а.

Для исследования электрофизических свойств пленок ЦТС был изготовлен лабораторный стенд по схеме Сойэра—Тауэра [3] (рис. 1б), а измерения значений электрофизических параметров производились на измерителе LRC E7-12.

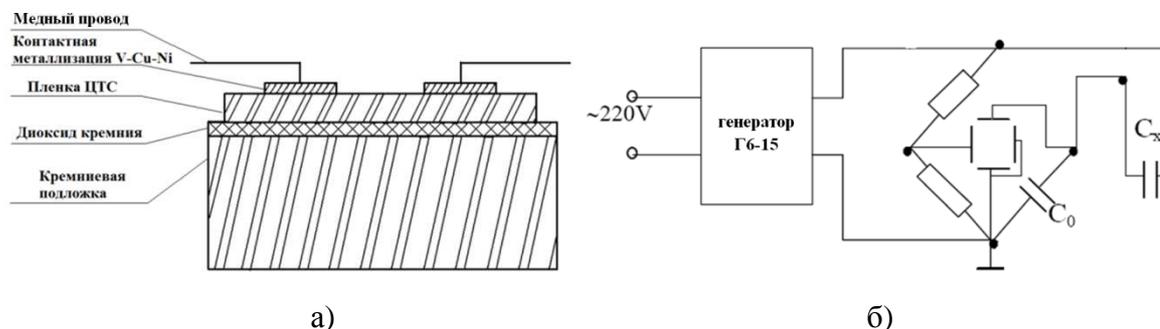


Рис. 1. Схема лабораторного образца (а) и схема лабораторного стенда (б) для исследования петель диэлектрического гистерезиса

Описание и анализ результатов

Петли диэлектрического гистерезиса, измеренные на разных частотах, для образцов пленок ЦТС, сформированных методом ВЧ-реактивного распыления на окисленной кремниевой подложке, приведены на рисунке 2, а на рисунке 3 представлены графики зависимостей максимального значения поляризации и значения угла диэлектрических потерь от частоты электрического поля.

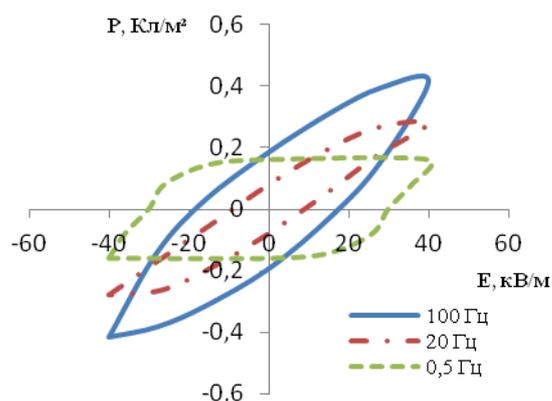


Рис. 2. Петли диэлектрического гистерезиса сегнетоэлектрической пленки ЦТС на различных частотах (на вставке – значения частоты электрического поля)

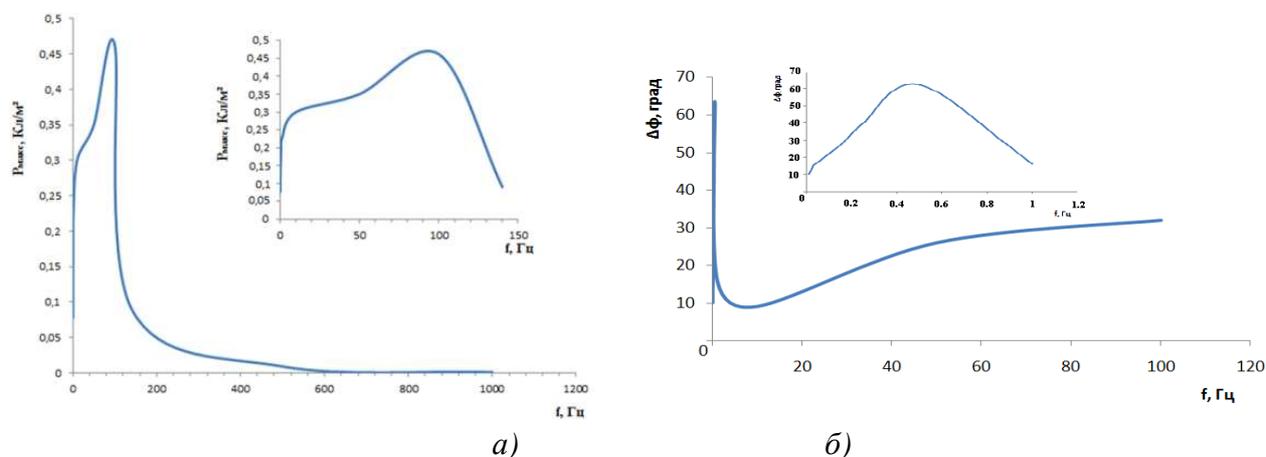


Рис. 3. а — график зависимости максимального значения поляризации от частоты; б — график зависимости значения угла диэлектрических потерь от частоты

Исследования показали, что максимальное значение спонтанной поляризации проявляется при измерении на частоте электрического поля 100 Гц и лежит в диапазоне 0,3–0,5 Кл/м², а максимальные значения коэрцитивного поля и угла диэлектрических потерь проявляются на частоте 0,5 Гц и лежат в диапазонах 25–30 кВ/м и 60–65° соответственно.

Значения емкостей лабораторных образцов лежат в диапазоне от 132 до 1367 пФ и напрямую зависят от технологических режимов напыления и толщины пленки ЦТС (рис. 4а). На рисунке 4б приведены температурные зависимости значений емкости лабораторных образцов.

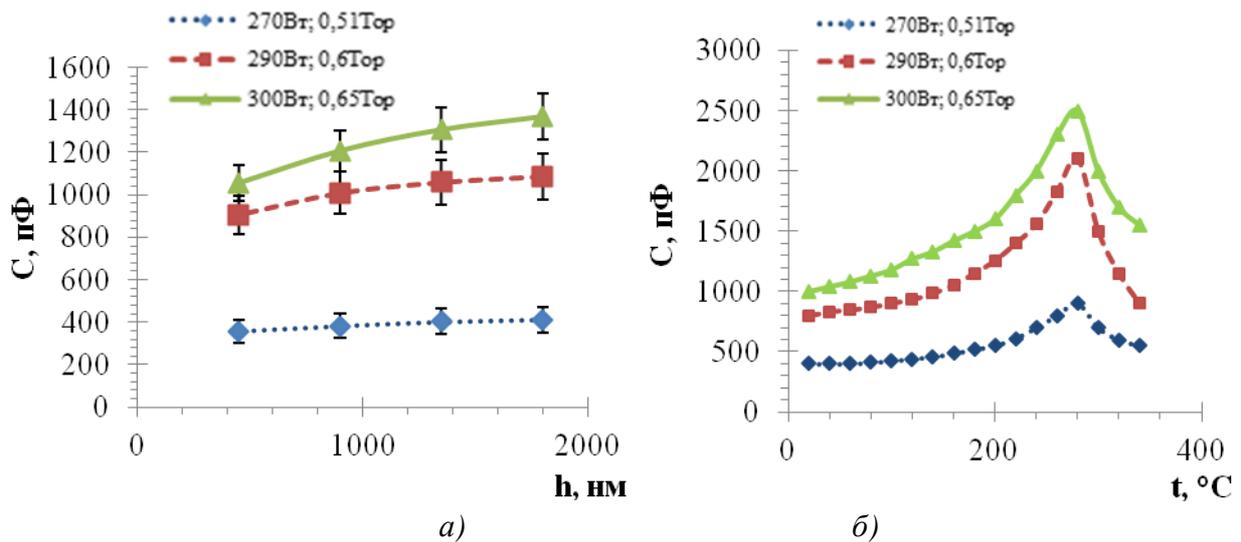
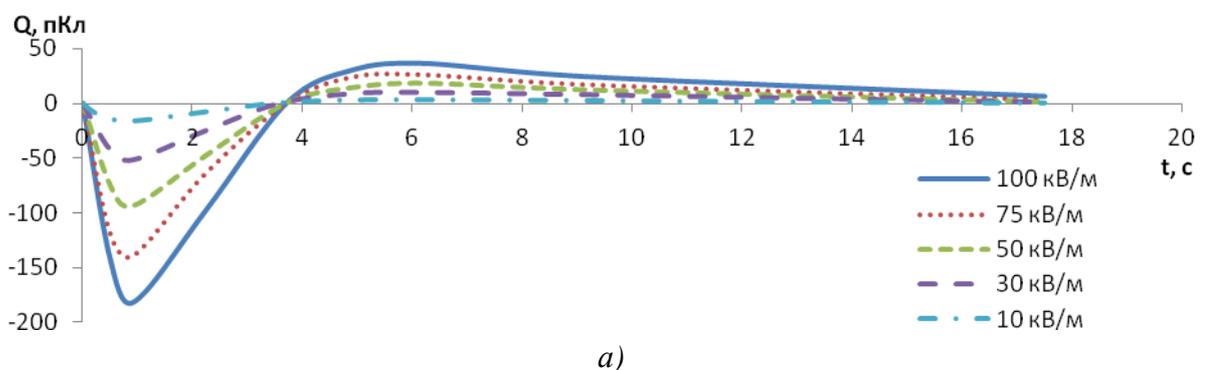
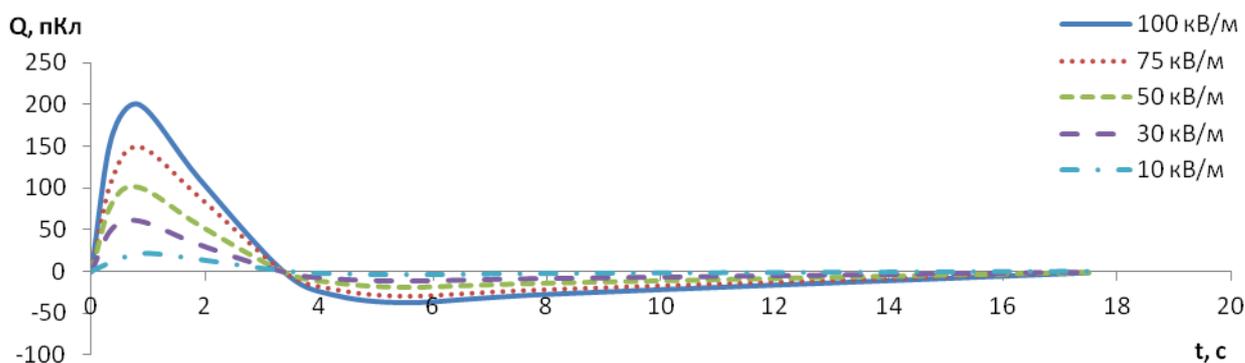


Рис. 4. Зависимости емкостных характеристик пленок ЦТС: а — от толщины пленок и технологических параметров, б — от температуры

В результате исследований емкостных характеристик пленок ЦТС при их нагреве было установлено, что резкое увеличение значения емкости образца происходит в районе температуры 280°C независимо от технологических режимов их формирования. Это означает, что вблизи температуры 280°C у данных образцов сегнетоэлектрических пленок ЦТС находится точка Кюри.

В процессе исследования свойств образцов пленок ЦТС был обнаружен эффект их высокой чувствительности к внешнему статическому электрическому полю. Исследования зависимости индуцируемого заряда от величины напряженности внешнего электростатического поля проводились в диапазоне значений напряженности поля от 0,1 до 1000 кВ/м. На рисунке 5 показаны примеры откликов (временные изменения величины индуцированного заряда) сегнетоэлектрической пленки ЦТС в зависимости от величины напряженности внешнего электростатического поля.





б)

Рис. 5. Отклики сегнетоэлектрической пленки ЦТС на различные величины напряженности электростатического поля: а – на генерирующем электроде «+», б – генерирующем на электроде «-»

Зависимость величины индуцируемого заряда лабораторного образца $Q_{и}$ на основе сегнетоэлектрической пленки ЦТС от величины напряженности электростатического поля E с учетом погрешности измерений, равной 10%, близка к линейной (рис. 6) и может быть описана следующим уравнением:

$$Q_{и} = -\alpha_{ij}E \quad (1)$$

где α_{ij} – коэффициент.

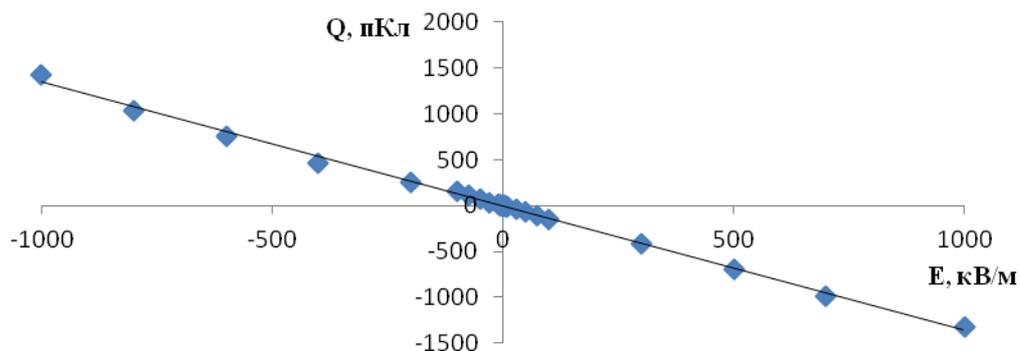


Рис. 6. Графики зависимости индуцируемого заряда в сегнетоэлектрической пленке ЦТС от напряженности электростатического поля

Примечательным является и то, что направления поляризации сегнетоэлектрической пленки ЦТС под действием электростатического поля вследствие существования доменной структуры сегнетоэлектрика зависят от направления самого поля. На основе данных исследований был разработан сенсор статического электричества [5].

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что исследуемые образцы пленок ЦТС можно применять в низкочастотном диапазоне $f < 1$ кГц, в котором наблюдаются наилучшие значения их электрофизических свойств.

Выявлено, что точка Кюри сформированных образцов пленок ЦТС методом ВЧ-реактивного распыления на окисленном кремнии лежит в районе температуры 280°C.

Обнаружена высокая чувствительность образцов сегнетоэлектрических пленок ЦТС к напряженности внешнего электростатического поля, зависимость которой близка к линейной. Благодаря тому, что направление поляризации сегнетоэлектрической пленки ЦТС под действием электростатического поля зависит от направления самого поля, на основе данных пленок можно создавать датчики напряженности электростатического поля, которые будут способны определять не только количественную составляющую напряженности поля, но и векторную.

Список литературы

1. Коваленко Д.А., Петров В.В., Клиндухов В.Г. Исследование влияния технологических параметров формирования тонких пленок цирконата-титаната свинца на их структурные и электрофизические свойства // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. — № 9 (158). — С. 124–132.
2. Коваленко Д.А., Петров В.В., Клиндухов В.Г. Разработка датчика динамических деформаций на основе сегнетоэлектрических пленок цирконата-титаната свинца // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 4 (153). – С. 184–190.
3. Медведев С.П., Печерская Р.М., Абрамов В.Б., Перескоков А.Н., Певцов Е.Ф., Сигов А.С. Исследование свойств сегнетоэлектриков: Методические рекомендации. М.: МГИРЭИ, 2003. — 33 с.
4. Мухортов В.М., Юзюк Ю.И. Гетероструктуры на основе наноразмерных сегнетоэлектрических пленок: получение, свойства и применение. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2008. — 224 с.
5. Патент РФ № 14760. Датчик статического электричества / Коваленко Д.А., Петров В.В., Клиндухов В.Г.; Заявл. 21.02.2014 г. Оpubл. 10.11.2014. Бюл. № 31.
6. Третьяков Ю.Д., Лепис Х. Химия и технология твердофазных материалов. М.: Изд-во МГУ, 1985. — 256 с.
7. Ling-Sheng Jang and Kuo-Ching Kuo. Fabrication and Characterization of PZT Thick Films for Sensing and Actuation // Sensors. – 2007. – № 7.
8. Shi Yan, Jinzhi Fu, Wei Sun, Baohui Qi, Fuxue Liu. PZT-Based Detection of Compactness of Concrete in Concrete Filled Steel Tube Using Time Reversal Method // Mathematical Problems in Engineering. – 2014.

Рецензенты:

Ромм Я.Е., д.т.н., профессор, РИНХ, филиал, г. Таганрог;

Малюков С.П., д.т.н., профессор, Институт нанотехнологий электроники и приборостроения
ЮФУ, г. Таганрог.