

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 378.14

№ 20042280

Инв. №



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

С.М.Литовский

26 декабря 2005г

О Т Ч Е Т

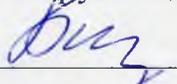
о научно-исследовательской работе

**«ИССЛЕДОВАТЬ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ  
МНОГОСЛОЙНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПЛАНАРНЫХ  
КОНДЕНСАТОРОВ ДЛЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ  
СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ И  
РАЗРАБОТАТЬ НАУЧНЫЕ ПРИНЦИПЫ  
ТЕХНОЛОГИИ ИХ ПРОИЗВОДСТВА»**

(заключительный)

2004 - Г/5 - 328

Научный руководитель темы

 Ю.И.Бохан

26 декабря 2005г

Начальник ИИС

 С.А.Беликов  
26.12.05

ВИТЕБСК - 2005

Библиотека ВГТУ



## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,  
вед. научный сотрудник,  
к.ф-м..н.



Ю.И.Бохан

Введение,  
Раздел 4

Вед. научный  
сотрудник,  
д.ф-м.н.



Н.К.Толочко

Раздел 3,  
заключение

Старший научный  
сотрудник, к.т.н.



М.Н.Сарасеко

Разделы 2

Младший научный  
сотрудник



Ю.А.Шиенок

Раздел 1

Нормоконтроль



Ю.А.Шиенок

## РЕФЕРАТ

Отчет: 33 стр, 14 рис. , 22 источника.

ПЛЕНКА, СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК, ТВЕРДЫЙ РАСТВОР,  
КОНДЕНСАТОР, ПЛАНАРНЫЙ МОНТАЖ.

Объектом исследования являются планарные керамические конденсаторы для поверхностного монтажа на платы электронных приборов.

Цель работы — разработка составов и методики изготовления многослойных планарных конденсаторов.

В процессе работы проводились теоретические расчеты параметров многослойных планарных конденсаторов и экспериментальные исследования влияния составов материалов на электрофизические параметры конденсаторов

В результате исследования были рассчитаны и созданы планарные керамические конденсаторы для поверхностного монтажа на платы электронных приборов.

Основные конструктивные и технико-эксплуатационные показатели: При использовании в качестве материала диэлектрика твердых растворов типа  $(\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3$ , которые имеют диэлектрическую проницаемость порядка 20000 и, при толщине слоя диэлектрика в 70-100nm обеспечена удельная емкость  $\sim 100 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$ , при сохранении остальных параметров в требуемом диапазоне значений.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.	5
1 Получение тонких сегнетоэлектрических пленок.	7
1.1 Синтез пленок на подложках из монокристаллического кремния.	9
1.2 Синтез пленок на подложках из титана.	11
1.3 Синтез пленок на подложках поликора.	12
2. Диэлектрические свойства тонких сегнетоэлектрических пленок.	14
3 Планарные конденсаторы и фильтры.	19
4 Метод расчета планарных конденсаторов.	23
Заключение.	30
Список использованных источников	31

## ВВЕДЕНИЕ

Развитие вычислительной техники в последние десятилетия определялось ростом информационной емкости интегральных схем динамической памяти оперативных запоминающих устройств. Повышение информационной емкости связано с многократным увеличением количества конденсаторов памяти в интегральной схеме, что достигается уменьшением площади конденсаторов до величин менее  $1 \mu\text{m}^2$ , увеличением площади интегральной схемы и уменьшением зазоров между конденсаторами. Поскольку емкость конденсаторов при этом не должна существенно уменьшаться, то возникает необходимость резкого повышения их удельной емкости  $C_s$ . Так, согласно оценкам [1], для поколений интегральных схем с информационной емкостью 64, 256 Mbit и 1 Gbit значения  $C_s$  должны составлять 23, 35 и  $100 \text{ fF}/\mu\text{m}^2$  соответственно (при наиболее простой и дешевой планарной конструкции конденсаторов) При этом смена поколений интегральных схем динамической памяти сопровождается уменьшением рабочего напряжения  $U$  в результате совершенствования технологии изготовления транзисторов ячеек памяти: 64 Mbit — 3.3V, 256 Mbit — 2.5V, 1 Gbit — 1.6V Плотность тока утечки конденсаторов  $j$  во всех случаях не должна превышать  $10^{-7} \text{ A}/\text{cm}^2$ . Для повышения удельной емкости конденсаторов памяти перспективно использование тонких пленок сегнетоэлектриков, для которых значения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  могут достигать нескольких тысяч. При этом для получения требуемых значений удельной емкости необходимо использование сегнетоэлектрических пленок с толщиной  $d$ , не превышающей 100-200 нм. С целью повышения стабильности конденсаторов и устранения усталости сегнетоэлектрика при многократном переключении поляризации, связанном с движением доменных стенок, предпочтительны материалы, находящиеся при рабочей температуре в парафазе или в сегнетофазе с узкой петлей гистерезиса. К

таким материалам, интенсивно исследуемым в последнее время для использования в конденсаторах памяти, относятся параэлектрики  $\text{SrTiO}_3$  (STO) и  $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$  (BST) при  $x < 0,7$  и  $T > 0$ , а также сегнетоэлектрики с узкой петлей гистерезиса  $(\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3$  (PLZT) при  $x = 0,09$ ,  $y = 0,35$  и  $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$  (PZT) при  $x > 0,5$  и толщине пленок менее 100nm (сужение петли гистерезиса в столь тонких пленках вызвано влиянием на их диэлектрические свойства размерных эффектов, связанных с мелкозернистой структурой пленок, промежуточных слоев на границах раздела пленка-электрод, механических напряжений и др.) Перспективными представляются соединения и их твердые растворы из обширного семейства сегнетоэлектриков со структурой перовскита с размытым фазовым переходом (так называемых сегнетоэлектриков релаксорного типа). Эти материалы были открыты и детально исследованы в работах Г.А. Смоленского с сотрудниками. Отличительными особенностями указанных материалов являются высокие значения  $\epsilon$  и узкая петля диэлектрического гистерезиса. Имеющиеся в литературе немногочисленные сведения о свойствах тонких пленок из указанных материалов относятся к сравнительно толстым пленкам ( $d > 250$  nm), поэтому, несмотря на достаточно высокие значения  $\epsilon$  в этих пленках, величины  $C_s$  конденсаторов на их основе существенно ниже, чем для конденсаторов на основе BST, PZT и PLZT. Так, для конденсаторов на основе  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$  (PMN)  $C_s = 67\text{fF}/\mu\text{m}^2$  при  $d = 500$  nm и  $\epsilon = 3800$ , для твердого раствора 0.9PMN-0.1  $\text{PbTiO}_3$  (PT)  $C_s = 70\text{fF}/\mu\text{m}^2$  при  $d = 250$  nm и  $\epsilon = 2000$ , для  $\text{Pb}(\text{Sc}_{1/2}\text{Ta}_{1/2})\text{O}_3$  (PST)  $C_s = 15\text{fF}/\mu\text{m}^2$  при  $d = 2700$  nm и  $\epsilon = 4500$ . Эти величины говорят о значительном снижении  $\epsilon$  данных материалов при переходе от объемных образцов к тонким пленкам (например, в объемных образцах твердого раствора 0.9PMN-0.1PT  $\epsilon = 30000$ ), что указывает на наличие больших резервов для повышения  $C_s$

конденсаторов за счет увеличения  $\epsilon$  пленок при совершенствовании технологии их получения. Возможно повышение  $C_s$  и за счет снижения  $d$ .

## 1 Получение тонких сегнетоэлектрических пленок.

Среди различных вариантов приготовления сегнетоэлектрических материалов в настоящее время безусловное первенство имеют технологии получения сегнетоэлектриков в тонкопленочном исполнении. Это связано как с принципами практического использования свойств сегнетоэлектриков, например, в микроэлектронике, так и с интересом к фундаментальным вопросам поведения вещества в двумерных или квазидвумерных структурах (в нашем случае к так называемому двумерному сегнетоэлектричеству). По химическому составу наиболее популярными сегнетоэлектрическими пленками сегодня по-прежнему являются пленки с элементарной ячейкой структуры перовскита, среди которых значительный интерес вызывают пленки титаната свинца и стронция на различных подложках и твердые растворы на их основе  $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3, (\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x)(\text{Zr}_{1-y}\text{Ti}_y)\text{O}_3, (\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ . Получение новых материалов по тонкопленочным технологиям имеет и свои достоинства, и свои недостатки [2]. Теоретически тонкопленочные способы имеют то принципиальное преимущество, что они позволяют повысить реакционную способность взаимодействующих компонентов за счет избыточной поверхностной энергии системы, снизить температуру взаимодействия, его время. В тонкопленочных системах менее жесткими являются ограничения, которые накладываются на состав и структуру продуктов синтеза условиями фазового равновесия, которые фиксируются на фазовых диаграммах соответствующих систем. Это, с одной стороны, существенно расширяет экспериментальные возможности для синтеза, с другой — позволяет глубже понять природу (механизм и кинетику

## Список использованных источников

- 1 Гольцман Б.М., Ярмаркин В. К. Сегнетоэлектрические материалы для интегральных схем динамической памяти. ЖТФ, 1999, том 69, вып. 5, с.89-92.
- 2 Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники. В 3-х т Том 2./Под ред. академика А.П. Достанко –Мн. ФУАинформ, 2001 - 244с.
- 3 Сидоркин А.С., Сигов А. С., Ховив А.М., Яценко С.О., Яценко О. Б. Получение и свойства тонких сегнетоэлектрических пленок титаната свинца. ФТТ, 2000, том 42, вып. 4 с.727-732.
- 4 Сидоркин А.С., Солодуха А.М., Нестеренко Л.П., Рябцев С.В., Бочарова И.А., Смирнов ГЛ. Диэлектрические свойства тонких пленок  $PbTiO_3$  ФТТ, 2004, том 46, вып. 10, с.1841-1844
- 5 Ярмаркин В.К., Тесленко С.П. Диэлектрическая релаксация в тонкопленочных структурах металл-сегнетоэлектрик PZT-металл. ФТТ 1998, том 40, №10, с.1915-1918.
- 6 Давитадзе С.Т., Кравчун С.Н. и др. Исследование тепловых свойств тонких пленок  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  мктодом зондового периодического нагрева. ФТТ.2000 том42,вып.10 с. 1831-1841
- 7 Бойков Ю.А., Клаесон Т. Динамика диэлектрической проницаемости эпитаксиальных пленок  $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$  ( $x=0,75$ ): микроструктура, деполяризационные эффекты. ФТТ.2001 том 43, вып.12. с.2170-2178.
8. Бойков Ю.А., Эртс Д., Клаесон Т., Бойков А.Ю Диэлектрический отклик эпитаксиальных пленок  $Ba_{0.75}Sr_{0.25}TiO_3$  на электрическое поле и температуру ФТТ.2002.том 44, вып.11 с.2061-2068.
- 9 Мясников Э.Н., Толстоусов С.В., Фроленков К.Ю Эффект памяти в сегнетоэлектрических пленках  $Ba_{0.85}Sr_{0.15}TiO_3$  на кремниевой основе, ФТТ 2004, том 46, вып. 12. с.2193-2199

- 10 Перцев Н.А., Зембельготов А.Г., Вазер Р. Эффективные диэлектрические и пьезоэлектрические константы поликристаллических сегнетоэлектрических тонких пленок. ФТТ 1998. том 40, вып. 12.с. 2206-2212.
- 11 Пронин И.П., Каптелов Е.Ю., Тараканов Е.А., Афанасьев В.П. Влияние отжига на самополяризованное состояние в тонких сегнетоэлектрических пленках. ФТТ.2002. том 44, вып.9, с. 1659-1664.
- 12 Ктиторов С.А., Погорелова О.С., Чарная Е.В. Неоднородные состояния тонкопленочного несоразмерного сегнетоэлектрика. ФТТ, 2003, том 45, вып. 11, с.2062-2066
- 13 Глинчук М.Д., Елисеев Е.А., Стефанович В.А. Динамическая диэлектрическая восприимчивость сегнетоэлектрических тонких пленок и их многослойных структур. ФТТ, 2002, том 44, вып. 5 с.912-922.
- 14 De Flavius F., Alexopoulos N.G., Stafsudd O.M. Planar microwave integrated phase-shifter design with high purity ferroelectric material. IEEE transactions on microwave theory and techniques. Vol. 45 No.6 p.963-969
- 15 Лаврик В.И., Фильчакова В.П., Яшин А.А.Конформные отображения физико-топологических моделей. Киев. Наукова думка. 1990 375с.
- 16 Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М. Гл. ред. физ-мат лит 1992. 662с
- 17 Г.А.Гринберг Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений. М. Из-во АН ССР 1948 730с.
18. Вендик О.Г., Зубко С.П., Никольский М.А.Моделирование и расчет емкости планарного конденсатора, содержащего тонкий слой сегнетоэлектрика. ЖТФ 1999 том 69.вып.4.с.1-7
- 19 Вендик О.Г. Никольский М.А.Моделирование характеристик многослойного планарного конденсатора ЖТФ.2001 том.71.вып.1 с.117-121

- 20 Вендик О.Г Тер-мартirosян Л.Т Электрострикционный механизм СВЧ потерь в планарном конденсаторе на основе пленки титаната стронция. ЖТФ 1999 т.69.вып.8.с.93-99
- 21 Плескачев В.В., Вендик И.Б. Оценка качества перестраиваемых СВЧ фильтров на сегнетоэлектрических конденсаторах. ЖТФ 2003 том 73, вып.12, с.66-70
- 22 Самойлова Т.Б., Астафьев К.Ф Влияние тепловых эффектов на нелинейность планарных конденсаторов на основе пленок титаната стронция на сапфире. ЖТФ 2000 том 70, вып.6, с. 90-97
- 23 Yu.I. Bokhan, Laletin V.M. Reshetin V.P Saraseko M.N. Visotsky V S. Ceramic materials fabricated by microwave synthesis and sintering. 3rd ISTC Korea Workshop on Material Science (June 27- July 2, 2004, Chang-Won, Korea). Reports, p.83-94
- 24 Бохан Ю.И., Сарасеко М.Н. Лалетин В.М., Гарло А.В. Интенсификация процесса синтеза слоистых сегнетоэлектриков добавками молибдена «Актуальные проблемы физики твердого тела. ФТТ-2005». Сб. докл. межд. научн. конф. Минск. 26-28.10.2005 с.282-284
- 25 Yu.I. Bokhan, Laletin V.M., Saraseko M.N., Tolochko N K. Stabilization of ceramic materials at microwave synthesis and sintering. Proc. Inter Confer "New ceramic and composite materials - technologies, testing methods and applications" Ceramics. Polish ceramic bulletin.2005 vol. 89 p.51-57

