

УДК 537.226.4

СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК PZT С РАЗЛИЧНЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

Марина Григорьевна Федоренко

*Студент 4 курса,**кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет**Научный руководитель: О.М. Жигалина,**доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Материаловедение»*

Разработка микроэлектронных устройств нового поколения требует создания материалов с особыми физическими свойствами, например, сегнетоэлектрическими, пьезоэлектрическими, пироэлектрическими и оптическими. Как правило, в таких устройствах функциональные материалы применяются в виде тонкопленочных композиций, в которых каждый слой выполняет определенную роль: электрод, функциональный слой, диффузионный барьер и т.д. В частности, при создании сегнетоэлектрических энергонезависимых запоминающих устройств и различных микроэлектромеханических систем широко используются композиции на основе цирконата-титаната свинца (PZT), заключенного между двумя электродами [1].

Известно, что кристаллическая структура пленки PZT в значительной степени определяет уровень электрофизических свойств композиций. При этом структура и свойства самого функционального слоя PZT сильно зависят от строения нижнего электрода [2].

Целью данной работы явился анализ влияния структуры различных электродов (Pt, LNO, Ru, Ni) на структуру сегнетоэлектрического слоя PZT и свойства полученных композиций.

Исследования проводили методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), просвечивающей растровой электронной микроскопии с широкоугловым детектором темного поля (HAADF STEM), электронной дифракции и энергодисперсионного анализа с использованием микроскопа TermoFisher Scientific Tecnaï Osiris (200кВ). Поперечные сечения композиций для исследования в ПЭМ изготавливали методом фокусированных ионных пучков с использованием растрового электронного микроскопа TermoFisher Scientific Scios.

В работе изучены композиции PZT–Pt–TiO₂–SiO₂–Si, PZT–Ru–SiO₂–Si, PZT–LNO–Si, Ni–SiO₂–Si. Методы их получения и режимы термической обработки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Методы получения и режимы термической обработки композиций

Композиция	Метод получения	Толщины слоев	Режимы термической обработки
PZT–Pt–TiO ₂ –SiO ₂ –Si	Химическое осаждение из растворов	PZT~260 нм, Pt~150 нм, TiO ₂ ~10 нм, SiO ₂ ~300 нм, Si~800 мкм	T = 650 °C, 15 мин.
PZT–Pt–TiO ₂ –SiO ₂ –Si		PZT~260 нм, Pt~150 нм, TiO ₂ ~10 нм, SiO ₂ ~300 нм, Si~800 мкм	T = 650 °C, 2 мин, быстрый нагрев

PZT–Ru– SiO ₂ –Si		PZT~260 нм, Ru~80 нм, SiO ₂ ~900 нм, Si~500 мкм	T = 650 °C, 15 мин.
PZT–LaNiO ₃ – Si		PZT~250 нм, LNO~100 нм, Si~500 мкм	LNO: T = 650 °C, 30 мин.; PZT: T = 650 °C, 15 мин.
Ni–SiO ₂ –Si	Атомно- слоевое осаждение	Ni~30 нм, SiO ₂ ~300 нм, Si	-
Ni–SiO ₂ –Si		Ni~30 нм, SiO ₂ ~300 нм, Si	T = 800 °C, воздух, 2 часа
Ni–SiO ₂ –Si		Ni~30 нм, SiO ₂ ~300 нм, Si	T = 850 °C, вакуум

Установлено, что после атомно-слоевого осаждения на поверхности кремниевой подложки обнаружены слои нанокристаллического никеля толщиной от 32 до 62 нм, средний размер нанокристаллов составил 10 нм. Отжиг при T = 800 °C на воздухе приводит к укрупнению кристаллов никеля до 44 нм и увеличению пористости слоя. После отжига при T=850°C в вакууме кристаллы никеля имеют шарообразную форму и нехарактерную гексагональную кристаллическую решетку.

Установлено, что использование рутения в качестве нижнего электрода, в отличие от стандартного платинового, приводит к существенному увеличению размера зерен сегнетоэлектрической пленки PZT и нарушению их столбчатости. Отжиг слоя рутения при T = 650 °C приводит к образованию оксидного слоя Ru-O толщиной 40 нм, расположенного между пленкой PZT и рутениевым электродом.

Показано, что использование LNO в качестве нижнего электрода способствует образованию столбчатых ориентированных зерен слоя PZT. Быстрый нагрев композиций PZT–Pt–TiO₂–SiO₂–Si приводит к появлению диоксида титана по границам зерен платинового электрода вследствие интенсификации диффузионных процессов при повышенных температурах.

Полученные данные о структуре композиций сопоставлены с их электрофизическими характеристиками.

Литература

1. *Izyumskaya N., Alivov Y. I., Cho S. J., Morkoç H., Lee H., Kang Y. S.* Processing, structure, properties, and applications of PZT thin films. // *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.* – 2007, V.32. – №3-4. – PP. 111-202.
2. *Atanova A. V., Zhigalina O. M., Khmelenin D. N., Orlov G. A., Seregin D. S., Sigov A. S., Vorotilov K. A.* Microstructure analysis of porous lead zirconate–titanate films. // *Journal of the American Ceramic Society.* – 2022, V.105. – №1. – PP. 639-652.