

05.11
©1995

СТРУКТУРА И МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАТИНОВЫХ ПЛЕНОК НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ФОРМИРОВАНИЯ

*В.П.Афанасьев, С.В.Богачев, А.З.Казак-Казакевич,
Г.П.Крамар, А.А.Петров, И.П.Пронин*

Платиновые пленки широко используются в качестве нижнего электрода в многослойных структурах с кислородно-октаэдрическими сегнетоэлектриками, формирование которых проводится в кислородосодержащей среде при температурах выше 600°C . Исследование многослойных структур, включающих сегнетоэлектрические пленки титаната цирконата свинца (ЦТС), типа ЦТС—Pt—SiO₂—Si [1] или ЦТС—Pt—Ti—SiO₂—Si [2], а также структур на диэлектрических подложках [3] показало, что в процессе осаждения или последующей термообработки на поверхности платины возникают локальные образования в виде холмиков. Это может приводить к нарушению однофазности и закорачиванию сегнетоэлектрических пленок в конденсаторных структурах. Альтернативой платине могут служить окислы, такие как RuO₂ [4,5], IrO₂ [6], YBa₂Cu₃O_{7- δ} [7,8], проводящие перовскиты (La, Sr)CoO₃ [9], при использовании которых могут возникать те же проблемы. Целью настоящей работы являлось изучение возможности стабилизации морфологии

поверхности платиновых пленок на диэлектрических подложках и тем самым устранение влияния нижнего электрода на свойства многослойных конденсаторных структур при последующей термообработке в окислительной среде.

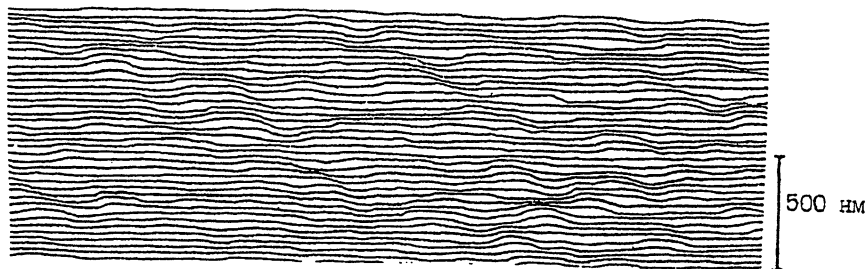
Пленки платины осаждались на ситалловые и поликоробые подложки методом ионно-плазменного распыления на установке трехэлектродного типа при различных технологических режимах. Ранее выполненные исследования [10] позволили выбрать два режима получения платиновых пленок с различной микроструктурой. Режим 1 характеризовался температурой подложки, равной 300°C , и скоростью осаждения пленки 2.8 нм/мин , а режим 2 — 550°C и 1 нм/мин соответственно. Толщины платиновых пленок варьировались от 40 до 200 нм.

Исследования, проведенные электронографическим методом "на отражение" на электронографе ЭРМ-102, показали, что пленки платины, нанесенные на ситалловые или поликоробые подложки при температуре 300°C , характеризуются мелкодисперсной структурой с размером кристаллитов менее 5 нм. Термообработка на воздухе при температуре 700°C в течение часа приводила к увеличению размера кристаллитов, что подтверждалось сужением дифракционных колец на электронограммах. По мере увеличения толщины платиновых пленок до значений, превышающих 100 нм, проявляется преимущественная ориентация кристаллитов в направлении [111], обусловленная особенностями роста платины на неориентируемых подложках [11].

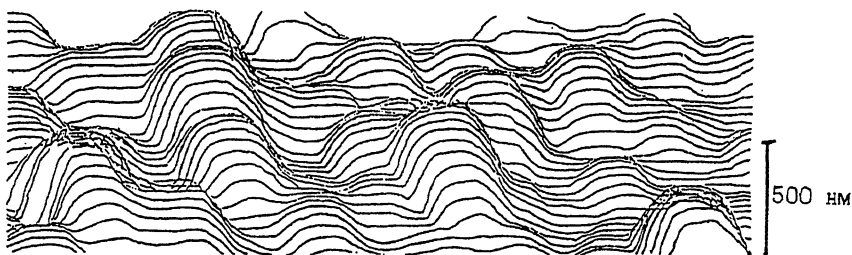
Как было показано в [10], при втором режиме осаждения на поликоробых подложках формируются платиновые слои с преимущественной ориентацией в направлении [111]. На ситалловых подложках преимущественная ориентация выражена значительно слабее и проявляется при толщинах более 90–100 нм. Высокотемпературная термообработка слабо сказывается на структуре пленок платины, полученных во втором режиме.

Морфология поверхности пленок платины изучалась по микрофотографическим изображениям поверхности, полученным на растровом туннельном профилометре РТП-1 с разрешением по нормали к поверхности не менее 5 нм.

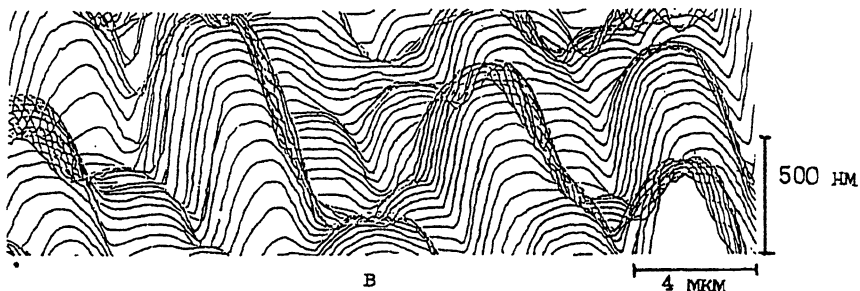
Платиновые пленки, нанесенные на ситалловые подложки при температуре 300°C , имели гладкую поверхность со средним размером шероховатости (Δr) 15–30 нм, который практически не зависел от толщины (рис. 1,а). Начиная с 500°C , увеличение температуры термообработки T_{tr} на воздухе приводило к возрастанию микрорельефа поверхности пленок Pt толщиной 160 нм, причем Δr увеличивался от 160 нм при T_{tr} , равной 600°C , до 300 нм при 700°C (рис. 1,б и в). Размер шероховатости монотонно убывал также с



а



б



в

Рис. 1. Микротопографические изображения поверхности платиновых пленок толщиной 160 нм, осажденных на ситалловую подложку при температуре 300°С, непосредственно после нанесения (а) и после термообработки при температурах 600°С (б) и 700°С (в) на воздухе в течение одного часа.

уменьшением толщины осажденной платины, но при толщинах 60 нм оставался не менее толщины пленки. Аналогично выглядела поверхность платины, полученная при тех же условиях формирования, на поликоровой подложке.

Особенностью столь интенсивного процесса рекристаллизации платины является влияние окружающей среды. Так, отжиг в вакууме при давлении 5×10^{-3} Па и температуре 700°С практически не влиял на исходную морфоло-

гию поверхности пленки (рис. 1,а). Вместе с тем эта операция не оказывала стабилизирующего влияния на платиновый слой, так как после термообработки на воздухе наблюдалось формирование развитого микрорельефа со средним размером шероховатости 200–300 нм для пленок толщиной 160 нм. Природа наблюдавшейся рекристаллизации, при которой шероховатость поверхности может существенно превышать толщину пленки, пока не получила объяснения.

Использование платиновых пленок, осажденных при температуре 300°C, в качестве нижнего электрода осложняется их интенсивной рекристаллизацией в процессе формирования перовскитовой фазы в пленках ПТС, что может приводить к появлению дополнительных механических напряжений на границе Pt–ПТС, а также к закорачиванию нижнего и верхнего электродов по дефектам конденсаторных структур с сегнетоэлектрическими пленками толщиной меньше высоты микрорельефа платины или соизмеримой с ней.

Понижение влияния последующих термообработок на структуру и морфологию поверхности платиновых пленок может быть достигнуто за счет повышения температуры подложки в процессе их нанесения [12]. Действительно, для пленок платины, осажденных при температуре 550°C, влияние отжига проявлялось сравнительно слабо и выражалось в большем структурном упорядочении с небольшим разрастанием кристаллитов. Однако сразу после осаждения пленки толщиной 100 нм морфология поверхности характеризовалась средним размером шероховатости 120–150 нм (рис. 2,а), величина которой после термообработки изменялась незначительно (рис. 2,б). Понятно, что развитый микрорельеф поверхности платинового подслоя не желателен, так как это накладывает ограничения на минимальную толщину пленок ПТС, а также приводит к проблеме получения однородной перовскитовой фазы по всей толщине пленки ПТС и минимизации переходного слоя на границе раздела Pt–ПТС.

Известно [13], что введение примесей в металлические пленки приводит к уменьшению размеров кристаллитов, а при термообработке примеси могут выполнять роль стопоров процесса рекристаллизации и тем самым приводить к стабилизации структуры пленок, а следовательно, и к стабилизации морфологии их поверхности. В качестве такой примеси нами был выбран углерод, легирование которым осуществлялось в процессе нанесения платины за счет введения метана в состав газовой смеси. Степень размытия дифракционных колец на электронограммах говорит о мелкодисперсности структуры с размерами кристаллитов не более 1.5 нм. В зависимости от парциального давления метана

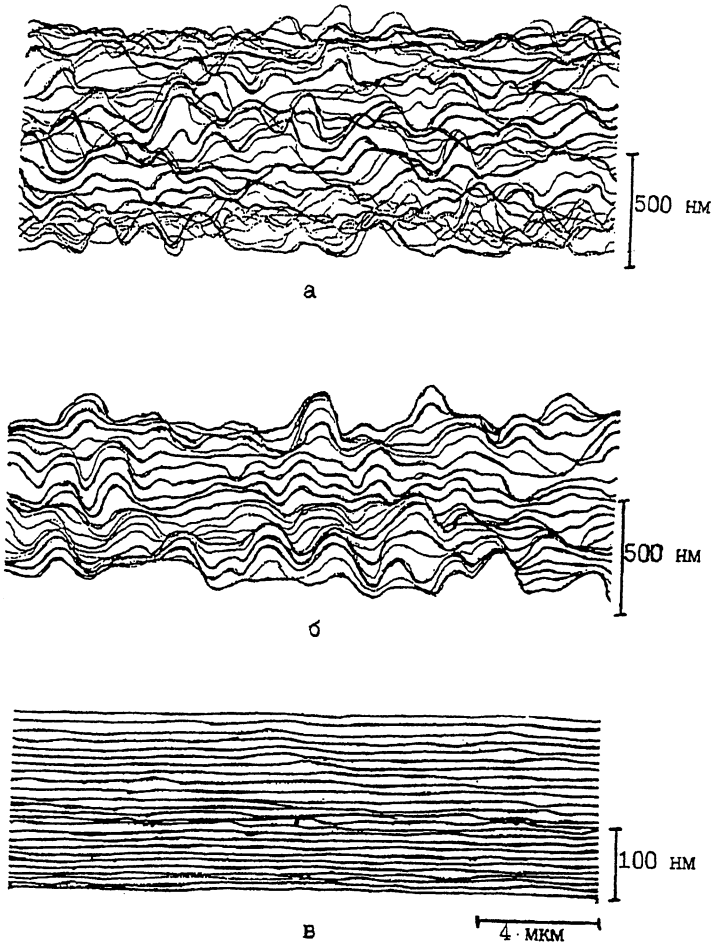


Рис. 2. Микротопографические изображения поверхности платиновых пленок толщиной 100 нм осажденных на ситалловые подложки при температуре 550°С, непосредственно после нанесения чистой платины (а) и легированной углеродом (б), а также после термообработки на воздухе при 700°С в течение часа чистой платиновой пленки (в).

концентрация углерода в пленке изменялась от 0 до 50%, что приводило к существенному изменению величины удельного сопротивления слоя. Для пленок толщиной 100 нм была установлена связь между величиной удельного сопротивления пленок ρ_v и средним размером шероховатости их поверхности Δr , приведенная на рис. 3. Видно, что чем чище Pt пленка, тем меньше ее сопротивление, тем лучше условия

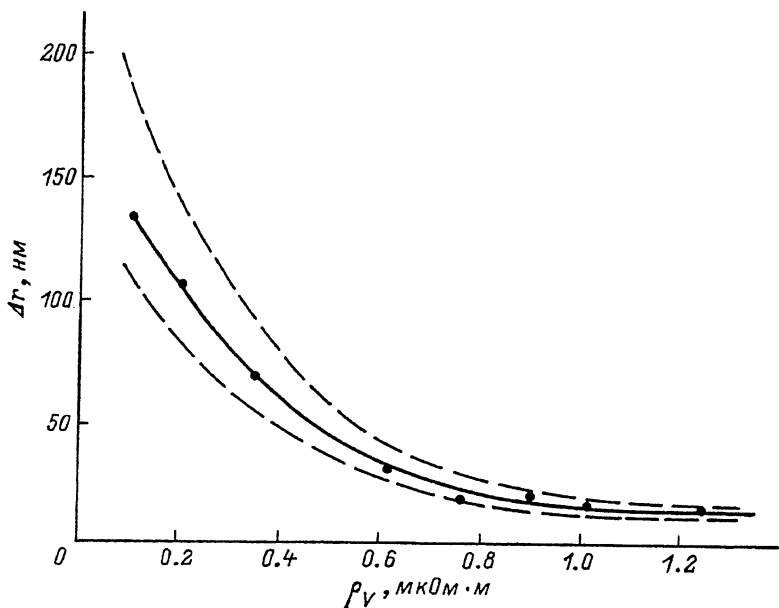


Рис. 3. Зависимость среднего размера шероховатости поверхности Δr платиновых пленок толщиной 100 нм, легированных углеродом, от их удельного сопротивления. Пленки осаждались на ситалловые подложки при температуре 550°С и различном парциальном давлении метана в газовой смеси.

для кристаллизации и тем больше шероховатость поверхности. Пленки платины, осажденные при температуре 550°С, с $\rho_V > 0.7$ мкОм·м имели средний размер шероховатости поверхности около 15–20 нм (рис. 2, в), причем морфология поверхности оставалась стабильной и после термообработки при температуре 700°С в течение трех часов на воздухе.

Изучение кристаллизации пленок ЦТС толщиной от 80 до 160 нм на ситалловых подложках показало, что использование стабилизированных платиновых пленок с низкой шероховатостью позволяет (в отличие от платиновых пленок с выраженным микрорельефом [3]) получать однофазные ЦТС пленки со структурой перовскита при температурах 600°С. При этом температура кристаллизации перовскитовой фазы практически не зависела от толщины сегнетоэлектрических пленок.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Осажденные методом ионно-плазменного распыления платиновые пленки в результате кристаллизации или рекристаллизации после термообработки при температурах выше 500°C обладают развитым поверхностным микрорельефом с размером шероховатости, пропорциональным толщине платины.

2. Введение углерода обеспечивает получение "гладких" платиновых пленок на диэлектрических подложках и возможность формирования на них однофазных субмикронных пленок ПТС.

Список литературы

- [1] *Hren P.D., Rou S.H., Al-Shareef H.N. et al.* // Integrated ferroelectrics. 1992. V. 2. P. 311-325.
- [2] *Spierings G.A.C., Van Zon J.B.A., Larsen P.K.* // Integrated Ferroelectrics. 1993. V. 3. P. 283-292.
- [3] *Афанасьев В.П., Богачев С.В., Зайцева Н.В. и др.* // ЖТФ (в печати).
- [4] *Tiwari P., Wu X.D., Foltyn S.R., Lee M.Q. et al.* // Philosophical Magazine B. 1994. V. 69. N 6. P. 1101-1110.
- [5] *Maiwa H., Ishinose N., Okazaki K.* // Jap. J. Appl. Phys. 1994. V. 33. N 9B. P. 5223-5226.
- [6] *Nakamura T., Nakao Y., Kamisawa A. et al.* // Jap. J. Appl. Phys. 1994. V. 33. N 9B. P. 5207-5210.
- [7] *Есаян С.Х., Пронин И.П., Варданян Г.П. и др.* // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. Вып. 21. С. 7-13.
- [8] *Tiwari P., Zheleva T., Narayan J.* // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 63. N 1. P. 30-32.
- [9] *Lee J., Ramesh R., Dutta B. et al.* // Integrated Ferroelectrics. 1994. V. 5. P. 145-154.
- [10] *Афанасьев В.П., Каптелов Е.Ю., Крамар Г.П. и др.* // ФТТ. 1994. Т. 36. В. 6. С. 1657-1665.
- [11] *Jijima K., Ueda I., Kugimiya K.* // Jap. J. Appl. Phys. 1991. V. 30. P. 2149-2154.
- [12] *Гурский Л.И., Зеленин В.А., Жебин А.П. и др.* Структура, топология и свойства пленочных резисторов. Минск: Наука и техника, 1987. 264 с.
- [13] *Комник Ю.Ф.* Физика металлических пленок (размерные и структурные эффекты). М.: Атомиздат, 1979. 263 с.

Физико-технический
институт им.А.Ф.Иоффе РАН
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
22 мая 1995 г.