

УДК 537.226.4

## ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ГИСТЕРЕЗИСА ВОЛЬТ-ФАРАДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУР

$$\text{Al}-(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3-\text{Si}$$

Л. Б. Городник, Н. Л. Левшин, А. Н. Невзоров

(кафедра общей физики для химического факультета)

В последнее время большое внимание уделяется изучению сегнетоэлектрических пленок на полупроводниковых подложках [1]. Высокая диэлектрическая проницаемость этих пленок дает возможность использовать их для создания конденсаторов в интегральных схемах и элементов памяти [2]. В ряде работ исследовались вольт-фарадные характеристики (ВФХ) МДП-структур  $\text{Al}(\text{Pt})-(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3-\text{Si}$  при комнатной температуре и 77 К [3, 4]. Авторы этих работ отмечали наличие ловушечного гистерезиса ВФХ, который наблюдался при различных напряженностях электрического поля. В значительной степени остаются неясными роли сегнетоэлектрического поляризаационного гистерезиса, а также возможной неоднородности фазового состава сегнетоэлектрической пленки.

Вариации фазового состава в твердых растворах  $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$  позволяют в достаточно широких пределах изменять температуру Кюри [5]. Неоднородность фазового состава в такой пленке может оказывать влияние на электрофизические характеристики МДП-структуры вблизи температуры Кюри\*. Нами исследовались высокочастотные ВФХ МДП-структур  $\text{Al}-(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3-\text{Si}$  в интервале температур от 290 до 420 К. Поликристаллическая пленка  $(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3$  толщиной  $\sim 0,8$  мкм осаждалась на поверхность кремниевой подложки высокочастотным реактивным распылением в среде чистого кислорода при давлении  $\sim 40$  Па. Подложка представляла собой пластину низкоомного кремния КЭС-0,01, на которой был выращен эпитаксиальный слой кремния КЭФ-8,0 толщиной 10 мкм. Такая структура подложки позволяла получать хорошие омические контакты при исследовании ВФХ. На сегнетоэлектрическую пленку напылялись алюминиевые контакты диаметром  $\sim 1$  мм. Высокочастотные ВФХ измерялись при напряжениях  $\pm 10$  В. Напряжение на затворе изменялось по линейному закону со скоростью  $\sim 100$  мВ·с<sup>-1</sup>. Частота тестового сигнала 300 кГц. Измерения ВФХ, проведенные на воздухе и в вакууме  $\sim 10^{-4}$  Па, дали идентичные результаты. Термополевая обработка проводилась путем нагревания структуры до температуры 420 К с последующим охлаждением ее с приложением электрического поля напряженностью  $\sim 1,2 \cdot 10^6$  В·см<sup>-1</sup>.

На рис. 1 показаны ВФХ МДП-структуры  $\text{Al}-(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3-\text{Si}$  при различных температурах измерения. Исходная характеристика (рис. 1, штриховая линия) после термополевых обработок трансформировалась в кривую 1, имеющую перегиб при комнатной температуре. Искажение исходной ВФХ при переполаризации сегнетоэлектрической пленки связано, по-видимому, с появлением значительных флуктуаций поверхностного потенциала из-за большой неоднородности поляризаационного заряда. После прогрева в вакууме при 420 К перегиб ВФХ уменьшался или исчезал совсем. Перегиб на ВФХ свидетельствует о неоднородном распределении исходной поляризации по площади МДП-структуры, причем величина неоднородности существенно зависит от условий предварительной термополевой обработки. Уменьшение перегиба ВФХ, возможно, связано также с образованием обедненного кислородом поверхностного слоя, который восстанавливался после пребывания структуры на воздухе.

Плотность поверхностных состояний границы раздела  $\text{Si}-\text{SiO}_2$ ,  $N_{ss}$ , полученная из сравнения исходной высокочастотной ВФХ с теоретической ВФХ, составляла  $N_{ss} \sim 5 \cdot 10^{12}$  см<sup>-2</sup>·эВ<sup>-1</sup>. Величина диэлектрической проницаемости сегнетоэлектрической пленки ( $\sim 100$ ) практически не зависела от температуры в интервале 170–420 К, что говорит о достаточно мелкозернистой поликристаллической структуре пленки [1]. Тангенс угла диэлектрических потерь в структуре составлял  $\sim 0,02$ , что хорошо согласуется с данными работы [3].

ВФХ структуры, снятая при комнатной температуре, характеризуется отсутствием гистерезиса (см. рис. 1, 1). При повышении температуры появляется гистерезис, форма и величина которого непрерывно изменяются вплоть до температуры  $\sim 420$  К (см. рис. 1, 2, 3). Знак гистерезиса (показан стрелками) указывает на поляриза-

\* Проведенный авторами рентгеноструктурный анализ подобных пленок показал неоднородное содержание Ва в образце.

онный его характер. Отсутствие заметного лувущечного гистерезиса (в отличие от данных [3, 4]) связано, видимо, с незначительной концентрацией центров захвата в слое сегнетоэлектрической пленки (на фоне поляризационного гистерезиса вклад лувущечного гистерезиса не был заметен). Наличие максимума в температурной зависимости гистерезиса свидетельствует о том, что гистерезис не связан с подвижными зарядами в сегнетоэлектрической пленке.

Неоднородное распределение поляризационного заряда, с которым мы связываем перегиб ВФХ, вызвано, по-видимому, неоднородностью фазового состава пленки  $(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3$  (различное содержание  $\text{SrTiO}_3$  в поликристаллической пленке). Появление гистерезиса ВФХ при повышении температуры можно объяснить увеличением

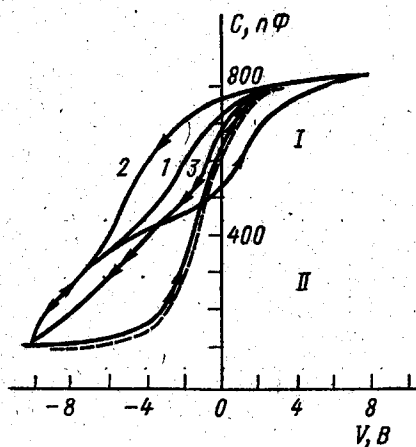


Рис. 1. ВФХ МДП-структур  $\text{Al}-(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3\text{-Si}$  при различных температурах: 290 (I), 330 (2), 390 К (3). Штриховой линией изображена ВФХ до термополевой обработки

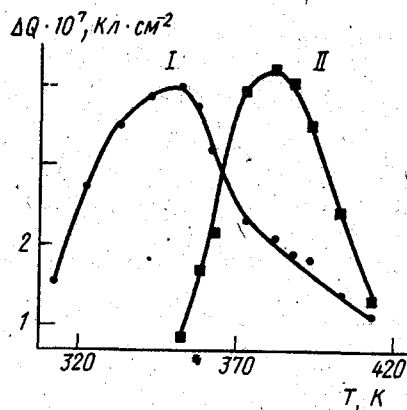


Рис. 2. Зависимость поляризационного гистерезиса МДП-структур  $\text{Al}-(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3\text{-Si}$  от температуры

подвижности сегнетоэлектрических доменов, которая максимальна вблизи фазового перехода [6]. Можно выделить две области нетли гистерезиса, которые обозначены на рис. 1 цифрами I и II. На рис. 2 показаны температурные зависимости поляризационного гистерезиса, соответствующего областям I и II. По-видимому, неоднородность фазового состава сегнетоэлектрической пленки  $(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3$  определяет величину поляризационного гистерезиса структуры в областях I и II. Действительно, максимальное значение гистерезиса в первой области ВФХ (рис. 2, I) соответствует температуре фазового перехода ( $\sim 350$  К) в системе  $(\text{Ba}_{0,9}\text{Sr}_{0,1})\text{TiO}_3$ , а во второй области ВФХ (рис. 2, II) — температуре фазового перехода ( $\sim 380$  К) в системе  $\text{BaTiO}_3$ .

Полученные результаты свидетельствуют о том, что изучение гистерезиса ВФХ при различных температурах может оказаться весьма чувствительным методом для регистрации температуры Кюри. Кроме того, по форме поляризационного гистерезиса ВФХ можно судить об однородности фазового состава сегнетоэлектрической пленки.

В заключение авторы благодарят В. Ф. Киселева и С. Н. Козлова за обсуждение работы и полезные замечания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Томашпольский Ю. Я. Пленочные сегнетоэлектрики. М.: Радио и связь, 1984. [2] Wu S. Y. IEEE Trans. El. Dev., 1974, ED-21, N 8, p. 499. [3] Мухоморов В. М. и др. ЖТФ, 1981, 51, с. 1524. [4] Беляев К. В. и др. ЖТФ, 1984, 54, с. 1782. [5] Вендик О. Г., Иванов И. В., Соколов А. И. В кн.: Сегнетоэлектрики в технике СВЧ. М.: Сов. радио, 1979, с. 29. [6] Якунин С. И. Канд. дис. М. (МГУ), 1972.

Поступила в редакцию  
11.07.85