

УДК 621.391 : 681.327.68

К. Ю. Фроленков, С. Г. Ким

(Орел)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ В СТРУКТУРАХ
МЕТАЛЛ—СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК—ПОЛУПРОВОДНИК

Исследованы некоторые информационные параметры структур металл—сегнетоэлектрик—полупроводник на основе тонких пленок цирконата-титаната свинца, осажденных методом ВЧ-распыления на пластины из монокристаллического кремния. Показана принципиальная возможность использования рассмотренных структур в качестве регистрирующих сред для записи информации, обладающих следующими параметрами: поверхностная плотность записи более 10^{12} бит/м², скорость передачи данных при записи информации более 10 Мбит/с, количество циклов перезаписи более 10^6 .

Появление новых методов получения тонких пленок сегнетоэлектриков на полупроводниковых подложках значительно усилило интерес специалистов к созданию на базе этих структур энергонезависимых и экономичных перезаписываемых запоминающих устройств с высокой поверхностной плотностью записи информации [1—11]. Настоящая работа посвящается исследованию эффекта памяти в структурах металл—сегнетоэлектрик—полупроводник (МСП) на основе тонких пленок цирконата-титаната свинца (ЦТС).

Исследовались пленки ЦТС-керамики толщиной порядка 0,5 мкм, осажденные методом ВЧ-распыления в атмосфере кислорода на поверхность стандартных монокристаллических кремниевых пластин марок КЭФ 4,5 (100) и КДБ 12 (110) диаметром 100 мм.

Мишени для катодного распыления изготавливались методом прессования из шихты, в состав которой входили следующие оксиды: BaO, TiO₂, ZrO₂, SrO, PbO. Оптимальные технологические режимы получения тонких сегнетоэлектрических пленок с эффектом памяти выбирались путем варьирования температуры подложки, давления кислорода в камере и расстояния между мишенью и основой.

Рентгеновские исследования тонкопленочных структур показали, что исследуемые пленки имеют ярко выраженную текстуру перовскита. Исследования осуществлялись на дифрактометре ДРОН-2,0 (Cu K α ; Fe K α) при фокусировке по Брэггу — Брентано в режиме 2 θ (θ — угол между лучом и отражающей атомной плоскостью).

Омический контакт к противоположной стороне кремниевых пластин обеспечивался путем вакуумного напыления пленки алюминия. В качестве верхнего электрода использовался вольфрамовый зонд с радиусом закругления 0,5 мкм, изготовленный методом электролитической заточки вольфрамовой проволоки.

Механизм эффекта памяти в изучаемых структурах исследовался по направлению обхода петель гистерезиса вольт-фарадных характеристик, полученных согласно известной методике Сойера — Тауэра [12].

В качестве измерительной схемы была применена модифицированная схема Сойера — Тауэра [13], позволяющая компенсировать любой фазовый сдвиг, обусловленный проводимостью или диэлектрическими потерями в образце.

Для снятия вольт-фарадных характеристик использовалась стандартная методика. После подачи напряжения любой полярности, превышающей порог переключения пленки, напряжение ступенчато снижалось до нуля с одновременной фиксацией частоты. По достижении нуля изменялась полярность напряжения на противоположную и продолжалось измерение с повышением напряжения до значений, превышающих порог переключения пленки и обратно. По результатам измерений построены вольт-фарадные характеристики для ЦТС-пленок, напыленных на кремниевые пластины марок КЭФ 4,5 (рис. 1, б) и КДБ 12 (рис. 1, а).

Из приведенных данных видно, что изменение частоты при подаче напряжений от +80 до -80 В составляет величину порядка 200 кГц, что соответствует изменению емкости в пределах 0,12 пФ.

Отличие вольт-фарадных характеристик исследуемых образцов сегнетоэлектрических пленок, напыленных на кремниевые пластины *p*- и *n*-типа проводимости, заключается только в их зеркальной симметрии относительно оси ординат. Направление обхода петель вольт-фарадного гистерезиса соответствует так называемому гистерезису инжекционного типа [14]. Однако симметрия гистерезиса вольт-фарадных характеристик относительно оси ординат (несмотря на то что процессы инжекции электронов и дырок должны существенно различаться) и ярко выраженная текстура сегнетоэлектрических пленок свидетельствуют о наличии в изучаемых структурах эффектов, связанных с поляризационными процессами в сегнетоэлектрике, что находится в соответствии с данными, приведенными в [15].

Измерения плотности записи информации на образцах МСП-структур осуществлялись на стенде (рис. 2), в качестве измерительной схемы в котором была применена модифицированная схема Сойера — Тауэра.

Закрепленный на измерительном стенде исследуемый образец перемещался с шагом 0,4; 0,6 и 0,8 мкм относительно вольфрамового зонда. Перемещение образца контролировалось с помощью отсчетно-измерительной системы с механотронным преобразователем.

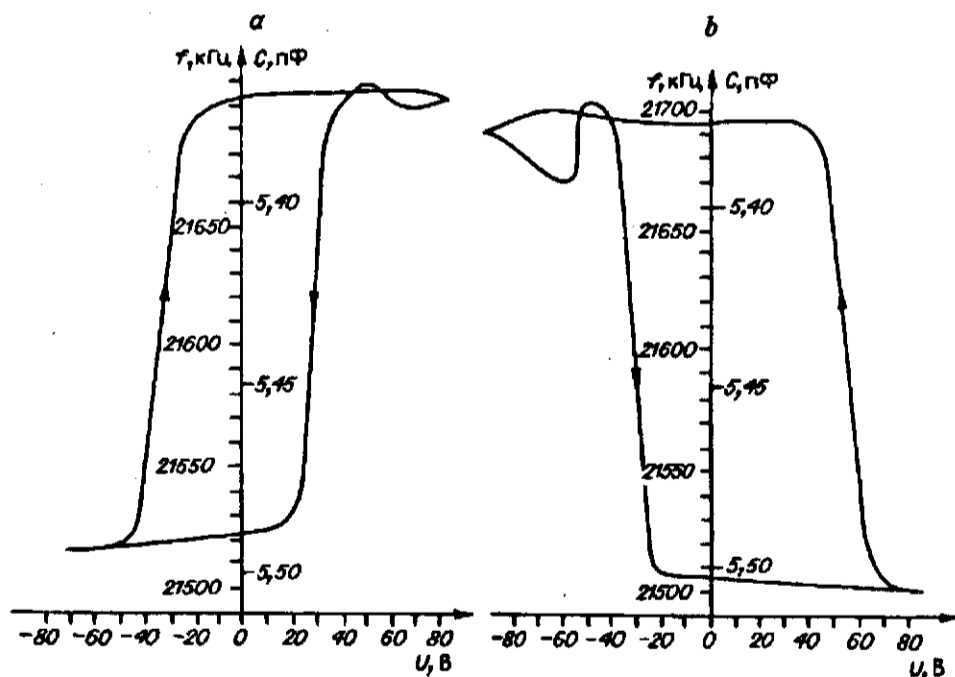


Рис. 1. Вольт-фарадные характеристики исследуемой сегнетоэлектрической пленки, напыленной на кремниевые пластины марки КДБ 12 (а) и КЭФ 4,5 (б)

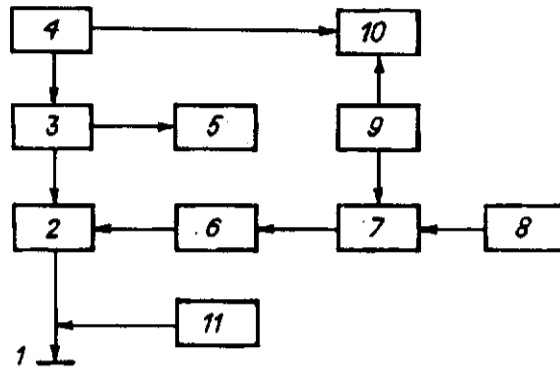


Рис. 2. Структурная схема измерительного стенда:

1 — диск с зондом записи-воспроизведения, 2 — ключ переключения режимов записи-воспроизведения, 3 — генератор воспроизведения ($f = 22 \text{ МГц}$), 4 — источник питания генератора Б5-47 (0–15 В), 5 — частотомер ЧЗ-34А, 6 — ключ изменения полярности импульсов, 7 — импульсный усилитель, 8 — задающий генератор Г5-72, 9 — источник постоянного напряжения Б5-50, 10 — прибор комбинированный цифровой Ц4313, 11 — блок точного позиционирования (шаг 0,1 мкм)

Процесс записи осуществлялся подачей на зонд биполярных импульсов напряжения $U = \pm 75 \text{ В}$.

Наличие записанной информации определялось путем измерения девиации частоты генератора воспроизведения с помощью частотомера ЧЗ-34А при перемещении образца с шагом 0,1 мкм в исходное положение.

По результатам измерений был построен график зависимости девиации частоты генератора воспроизведения от перемещения исследуемого образца относительно вольфрамового зонда (рис. 3).

Как видно из приведенных данных, разрешающая способность исследуемых структур при взаимодействии с вольфрамовым зондом, имеющим радиус закругления 0,5 мкм, составляет по уровню 0,5 — 0,35–0,40 мкм, а по уровню 1,0 — 0,70–0,80 мкм. Полученные результаты свидетельствуют о реальной

возможности достижения в исследуемых структурах плотности записи информации 10^{12} – 10^{13} бит/м².

Скорость переполяризации исследуемых МСП-структур определялась согласно методике, предложенной В. Ю. Мерцем [16], заключающейся в следующем: на исследуемые образцы подавались прямоугольные импульсы напряжения чередующейся полярности и измерялись импульсы тока, возникающие при изменении направления поляризации. Длительность импульсов тока характеризует время переключения доменов — τ_p .

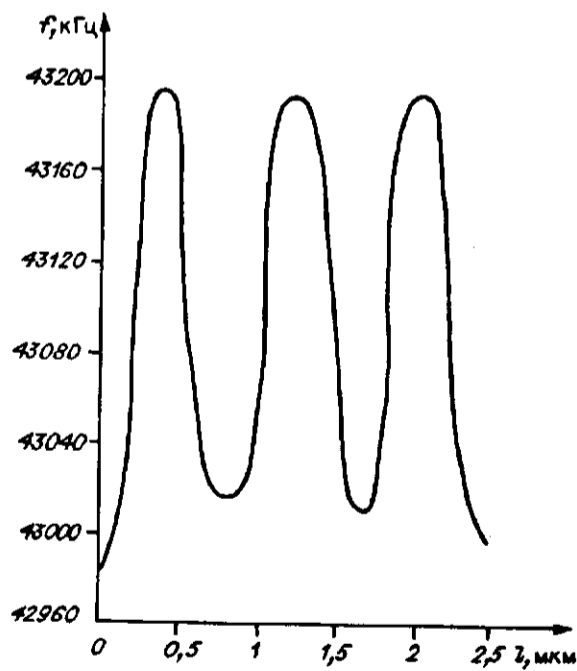


Рис. 3. Результаты измерения разрешающей способности системы

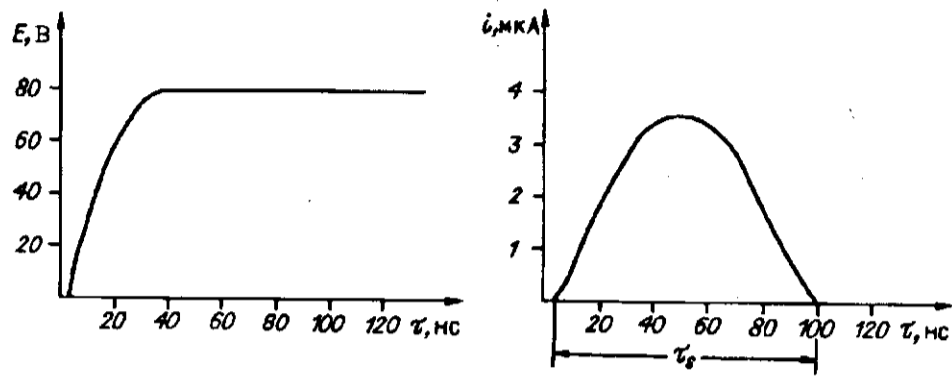


Рис. 4. Временная зависимость приложенного электрического поля (E) и тока переключения (i) в исследуемой структуре

Результаты определения τ , даны на рис. 4. Из приведенных данных видно, что время переключения доменов в исследуемых структурах составляет около 100 нс. Это должно обеспечивать скорость передачи данных φ при записи информации, рассчитываемую по формуле $\varphi = 1/\tau$, [10, 11], около 10 Мбит/с.

Контроль количества циклов перезаписи информации в исследуемых структурах осуществляется на измерительном стенде (см. рис. 2). На экспериментальные образцы воздействовали импульсами напряжения чередующейся полярности с одинаковой амплитудой (до 75 В) и длительностью (50 мкс). После 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 и 10^6 циклов осуществлялось построение вольт-фарадных характеристик (рис. 5).

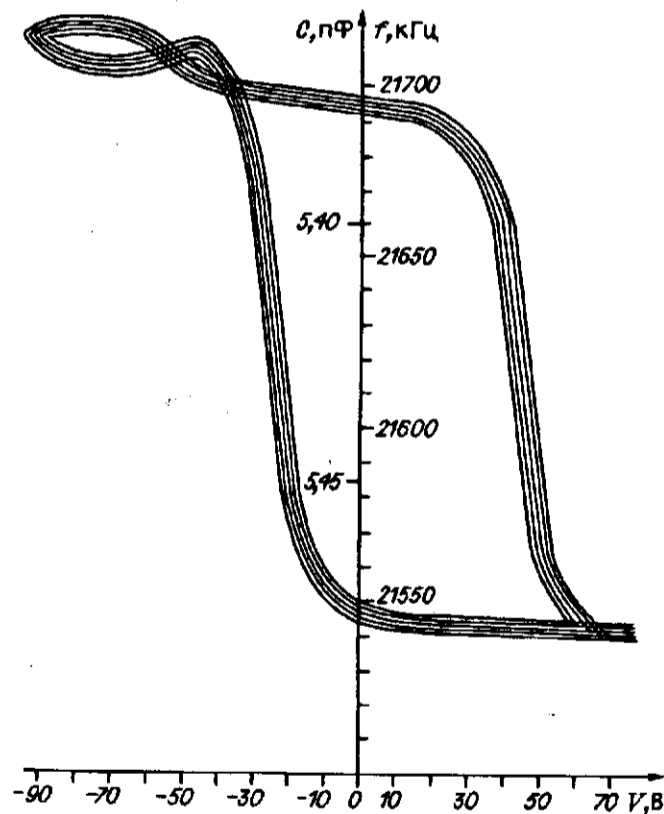


Рис. 5. Воспроизводимость вольт-фарадных характеристик пленок после 10^2 , 10^3 , 10^4 , 10^5 и 10^6 циклов переключений

Как видно из приведенных данных, исследуемые МСП-структуры характеризуются высокой степенью воспроизводимости вольт-фарадных характеристик от цикла к циклу, даже после проведения 10^6 циклов перезаписи информации.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности использования исследованных МСП-структур в качестве регистрирующей среды для записи информации, обладающих следующими параметрами: поверхностная плотность записи более 10^{12} бит/м²; скорость передачи данных более 10 Мбит/с; количество циклов перезаписи более 10^6 .

Механизм записи и хранения информации в МСП-структурах обусловлен, по нашему мнению, инжекцией носителей заряда из полупроводника и захватом их на ловушки в сегнетоэлектрическом или переходном слое. Симметрия петель гистерезиса вольт-фарадных характеристик относительно оси ординат свидетельствует о том, что механизм процессов накопления и сохранения носителей заряда в слое сегнетоэлектрика или переходном слое должен быть связан с поляризационными процессами в сегнетоэлектрике.

Воспроизведение знака остаточной поляризации после снятия напряжения связано с так называемым эффектом сегнетоэлектрического поля в структуре сегнетоэлектрик—полупроводник.

Разработанный технологический процесс получения МСП-структур для регистрирующих сред совместим с технологией изготовления стандартных логических КМОП-интегральных схем. Однако это не исключает возможности изготовления сегнетоэлектрических ЗУ с использованием хорошо отработанной кинематической схемы винчестерских накопителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alexander M. FRAM chips enter the memory menagerie // Computer World.—1991.—N 6—7.—P. 15.
2. Айверсен У. Р. Сегнетоэлектрическое ЗУПВ — серьезный конкурент традиционных приборов памяти // Электроника.—1988.—№ 3.
3. Гош Дж. Мнение фирмы Intelmetall: будущее — за сегнетоэлектрическими ЗУПВ // Электроника.—1988.—№ 17—18.
4. Расширение НИОКР в области сегнетоэлектриков // Экспресс-информация по зарубежной технике.—1991.—Вып. 146—148 (5308-5310).
5. Коул В. К. Прогноз на середину 1990-х годов: сближение структур рынков полупроводниковых ЗУ и логических ИС // Электроника.—1988.—№ 16.
6. Сегнетоэлектрические ЗУ // Бюл. иностран. науч.-техн. информации ТАСС.—1990.—N 6.
7. Запоминающие устройства // Там же.—№ 20.
8. Энергонезависимые ЗУ // Там же.—№ 24.
9. Коул В. К. Новое семейство энергонезависимых логических ИС и ЗУ на базе сегнетоэлектрических материалов // Электроника.—1989.—№ 15.
10. Исследование перспективных информационных сред на основе нетрадиционных используемых материалов с целью улучшения основных параметров дисковых накопителей: (Отчет о НИР) /ОФ ИПИ АН СССР.—№ ГР. 01.9.00.052839.—Орел, 1990.—169 с.
11. Разработка и исследование принципов организации внешних запоминающих устройств на сегнетоэлектрических материалах: (Отчет о НИР) /ОФ ИПИ РАН.—№ ГР 01.9.20.010979.—Орел, 1992.—110 с.
12. Sawyer C. B., Tower C. H. Rochelle salt as a dielectric // Phys. Rev.—1930.—35, N 1.—P. 269
13. Лайнс М., Гласс А. Сегнетоэлектрики и родственные им материалы.—М.: Мир, 1981.
14. Свойства структур металл—диэлектрик—полупроводник /Под ред. А. В. Ржанова.—М: Наука, 1976.
15. Вагинский И. Л., Косцов Э. Г. Эффект памяти в тонкопленочной структуре металл- $Ba_{0.5}Sr_{0.5}Nb_2O_6-SiO_2-Si$ // Автометрия.—1988.—№ 4.
16. Merz W. J. Domain formation and domain wall motions in ferroelectric $BaTiO_3$ single crystals // Phys. Rev.—1954.—95, N 3.—P. 690.

Поступила в редакцию 11 апреля 1994 г.