

Размерные эффекты поляризации в тонких пленках легированного оксида гафнияА.Г.Итальянцев¹, В.С. Константинов^{1,2}¹НИИ молекулярной электроники,²Московский физико-технический институт (государственный университет)

В стандартной технологии сегнетоэлектрической памяти (FeRAM) активные слои ячеек формируются на базе материалов структуры перовскита. Эти соединения, например, цирконат-титанат свинца (например, PbTiO_3 – ЦТС) характеризуются, с одной стороны, оптимальной комбинацией остаточной поляризации и коэрцитивного поля и, с другой стороны, обладает высокой химической активностью к Si и SiO_2 . Несмотря на это, в настоящее время ЦТС – основной материал FeRAM при серийном изготовлении микросхем памяти. Однако плёнки ЦТС с уменьшением толщины теряют сегнетоэлектрические свойства в силу фундаментального ограничения размера доменов, что делает их непригодными для дальнейшей минитюаризации [1]. Открытие сегнетоэлектрических свойств тонких плёнок легированного оксида гафния и его последующие исследования дали новые возможности решения материаловедческих и приборных задач FeRAM. В отличие от ЦТС тонкие слои HfO_2 химически пассивны и отлично масштабируются до уровня единиц-десятков нанометров и сохраняют соизмеримую с ЦТС поляризацию $P=15$ мкКл/см² коэрцитивное поля $E_c=1$ МВ/см [2-3]. Особенности структур на основе легированного оксида гафния – обратный размерный эффект поляризации, то есть увеличение остаточной поляризации и её зависимость от температурных условий, что ухудшают воспроизводимость итоговых характеристик.

В связи с этим работа посвящена актуальному вопросу физико-технологических причин наблюдаемого обратного эффекта остаточной поляризации

Проведен анализ особенностей фазового состава пленок оксида гафния и его эволюции в процессе изготовления структур. Выяснено, что осажденные методами АСО пленки HfO до отжига находятся преимущественно в несегнетоэлектрической моноклинной фазе (m-фазе) [2].

После напыления верхнего электрода и последующего отжига активный слой превращается в твёрдый раствор несегнетоэлектрических начальной m-фазы и тетрагональной t-фазы и орторомбической o-фазы. Доля o-фазы определяет сегнетоэлектрические свойства конечной структуры. В работе также рассмотрено влияние наличия верхнего электрода в процессе отжига [3], температурного режима осаждения и отжига на конечную остаточную поляризацию [4].

По результатам обзора установлено, что более толстые плёнки обладают более низкой температурой кристаллизации в силу меньшего соотношения «площадь-объем». По этой причине при фиксированной температуре осаждения верхнего электрода TiN 450 °С пленки больших толщин кристаллизуются уже до отжига, что снижает долю орторомбической фазы и, как следствие, величину остаточной поляризации.

Выдвинута гипотеза, что в процессе отжига верхний электрод обеспечивает по всей толщине тонких плёнок тангенциальные напряжения выше порогового, необходимого для формирования орторомбической фазы. В более толстых плёнках пороговое механическое напряжения формируется не по всей толщине пленки, что приводит ухудшению или отсутствию сегнетоэлектрического эффекта.

Литература

1. Красников Г. Я., Орлов О. М. Отличительные особенности и проблемы КМОП-технологии при уменьшении проектной нормы до уровня 0.18 мкм и меньше //Российские нанотехнологии. – 2008. – Т. 3. – С. 124-128.
2. Börscke T. S. et al. Phase transitions in ferroelectric silicon doped hafnium oxide //Applied Physics Letters. – 2011. – Т. 99. – №. 11. – С. 112904.
3. Park M. H. et al. Evolution of phases and ferroelectric properties of thin $\text{Hf}_{0.5}\text{Zr}_{0.5}\text{O}_2$ films according to the thickness and annealing temperature //Applied Physics Letters. – 2013. – Т. 102. – №. 24. – С. 242905.
4. Yurchuk E. et al. Impact of layer thickness on the ferroelectric behaviour of silicon doped hafnium oxide thin films //Thin Solid Films. – 2013. – Т. 533. – С. 88-92.
5. Lowther J. E. et al. Relative stability of ZrO_2 and HfO_2 structural phases //Physical Review B. – 1999. – Т. 60. – №. 21. – С. 14485.