

05;06;11;12

Зарядовые свойства слоев оксида алюминия, синтезированных методом молекулярного наслаивания

© С.Г. Сазонов, З.Н. Зулуев, В.Е. Дрозд, И.О. Никифорова

Научно-исследовательский институт физики С.-Петербургского государственного университета

Поступило в Редакцию 21 января 1998 г.

Проведено исследование зарядовых и проводящих свойств слоев диэлектрика, полученного методом молекулярного наслаивания, в структурах Si-Al₂O₃-Al. Не наблюдается захват заряда в диэлектрике при температуре 77 К и прикладывании к структуре обедняющих напряжений.

Расширение круга применяемых в микроэлектронике полупроводников требует получения для них качественных диэлектрических слоев при относительно низких температурах, позволяющих избежать деградации поверхности полупроводника. С этой точки зрения перспективными представляются слои Al₂O₃, синтезированные методом молекулярного наслаивания [1,2].

В работе ставилась задача комплексного изучения методами вольт-фарадных и вольт-амперных характеристик электрофизических свойств структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) с Al₂O₃ в качестве диэлектрика, полученного методом молекулярного наслаивания.

В экспериментах использованы пластины *n*-Si (111) марки КЭФ-5 и *p*-Si(100) марки КДБ-10. Выбор кремния в качестве подложки обусловлен тем, что характеристики границы раздела кремний-диэлектрик слабо зависят от температуры синтеза диэлектрика. Кроме того, для кремния лучше отработана стадия предварительной обработки поверхности подложки. В результате МДП-структура имела достаточно качественную границу раздела (плотность поверхностных состояний $\sim 5 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{eV}^{-1}$), что позволило исследовать электрофизические свойства самого диэлектрика и их зависимость от условий синтеза [3].

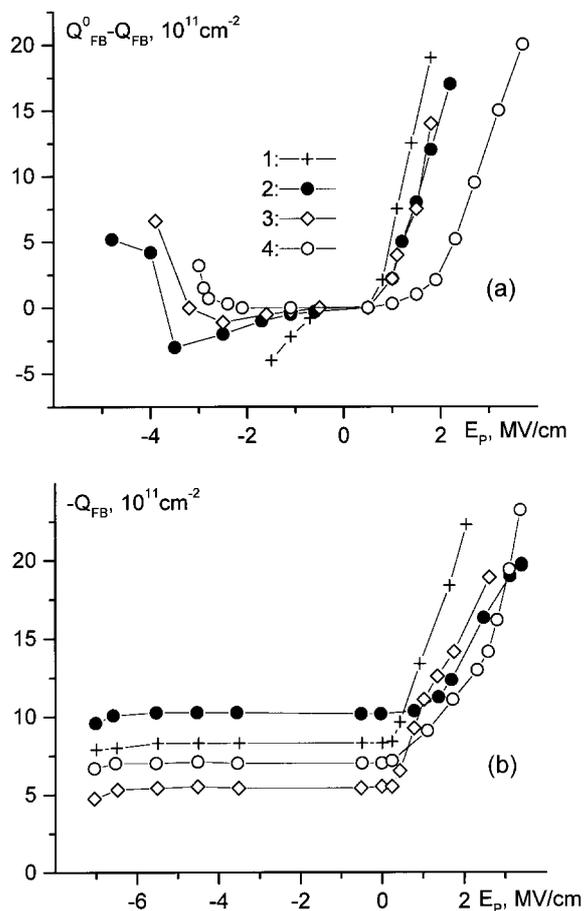


Рис. 1. Зависимость плотности захваченного заряда от напряженности поля в структуре $n\text{-Si-Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$ при $T = 300$ К (а) и 77 К (б). T_c : 1 — 150°С; 2 — 200°С; 3 — 240°С; 4 — 310°С.

Синтез осуществлялся в температурном диапазоне $T_c = 150\text{--}310^\circ\text{C}$ с использованием триметилалюминия и окиси азота (NO_2). Алюминиевые контакты площадью 0.24 mm^2 наносились на диэлектрик термическим напылением в вакууме.

Разброс толщины диэлектрика, измеренной с помощью эллипсометра ЛЭФ-3, по подложке диаметром 60 mm меньше 2%. Из результатов исследования спектров пропускания пленок следует, что ширина запрещенной зоны не превышает 6 eV. Состав синтезированных пленок по данным электронной спектроскопии для химического анализа (ЭСХА) соответствует стехиометрии Al_2O_3 (атомное соотношение элементов $\text{Al}/\text{O} = 0.7$). Электронно-графические исследования показали аморфность пленок. Электрическая прочность слоя толщиной $d = 100 \text{ nm}$ составила 7.5 MV/cm.

Вольт-амперные характеристики исследованных структур спрямляются в координатах $\lg J - E^{1/2}$. Глубина пул-френкелевского центра составляет 0.4 eV, но говорить определенно о механизме проводимости не корректно из-за малого диапазона измеряемого тока (три-четыре порядка). Слои Al_2O_3 с $T_c = 150^\circ\text{C}$ обладают максимальным удельным сопротивлением и напряженностью поля пробоя. Низкочастотная диэлектрическая проницаемость слоев Al_2O_3 уменьшается с ростом T_c от 7.0 до 5.0.

Исходный фиксированный заряд Q_{FB}^0 в диэлектрике для всех образцов — отрицателен, при увеличении температуры синтеза величина его уменьшается. Вольт-фарадные характеристики имеют гистерезис инжекционного типа.

Полученные экспериментальные зависимости захваченного в процессе полевого воздействия заряда Q_{FB} , интегральной плотности поверхностных состояний, гистерезиса ВФХ от величины поляризующего поля $E_p = V_p/d$ (V_p — напряжение, прикладываемое к металлическому электроду в течение 1 min) для структур Si– Al_2O_3 –Al при вариации различных параметров имеют сложный характер.

При положительном напряжении на затворе отрицательный заряд в диэлектрике структур на основе n -Si увеличивается с ростом V_p (рис. 1, а), что связано с захватом электронов, инжектированных из полупроводника в диэлектрик.

Поскольку при изменении T_c возможно формирование структурно разных веществ, наблюдаемую зависимость Q_{FB} от T_c при $V_p > 0$ можно объяснить увеличением барьера для электронов на контакте полупроводник–диэлектрик с ростом T_c .

Поведение $Q_{FB}(E_p)$ при $E_p < 0$ имеет качественно другой вид (меняется знак захваченного заряда при увеличении напряженности

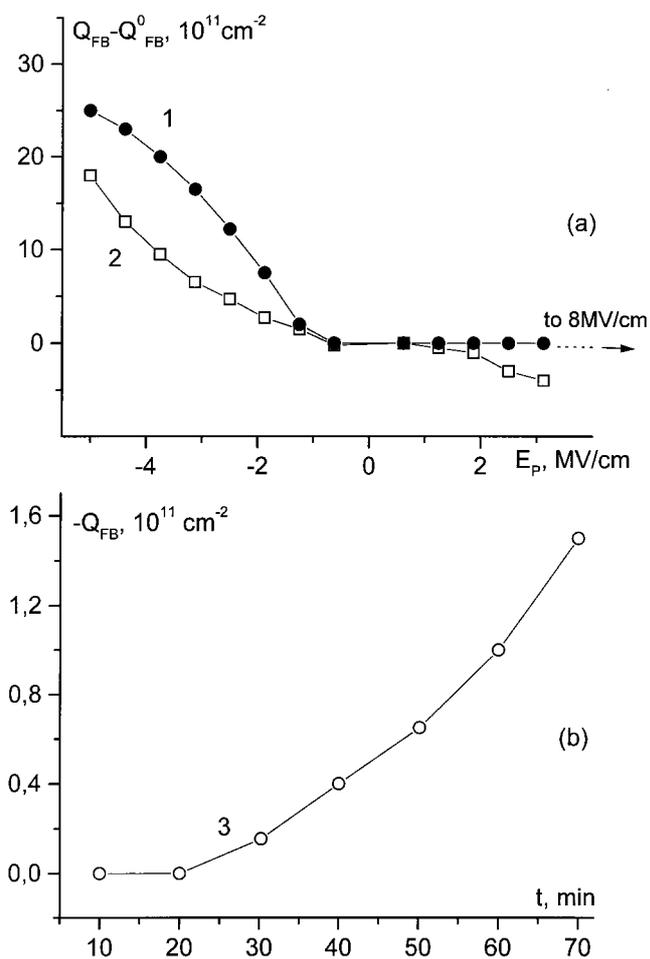


Рис. 2. Зависимость плотности захваченного заряда от напряженности поля (а) и от времени поляризации (б) в структуре $p\text{-Si-Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$: 1 — $T = 77 \text{ K}$, $Q_{FB}^0 = -1 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$; 2 — $T = 300 \text{ K}$, $Q_{FB}^0 = -6 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$; 3 — $T = 77 \text{ K}$, $V_p = 30 \text{ V}$.

поля) и существенно зависит от T_c . Немонотонный характер изменения $Q_{FB}(E_p)$ можно связать с биполярной инжекцией носителей в Al_2O_3 .

Отжиг образцов сразу после нанесения диэлектрика приводил к уменьшению величины захваченного заряда.

Качественное различие зависимости Q_{FB} от напряженности поляризации E_p при 300 и 77 К заключается в том, что при $E_p < 0$ и $T = 77$ К величина Q_{FB} практически не меняется до $E_p \sim -7$ MV/cm, после чего становится заметно незначительное уменьшение величины исходного отрицательного заряда (рис. 1, *b*). То, что в структуре с Si *n*-типа не происходит накопления отрицательного заряда (как при $T = 300$ К при больших полях $E_p < 0$), можно объяснить зависимостью уровня инжекции электронов из металлического электрода в диэлектрик от температуры, в результате чего при 77 К ток инжекции настолько мал, что за время поляризации захваченные на ловушки электроны не успевают создать заметного заряда. С другой стороны, низкая концентрация дырок — неосновных носителей, и большие времена образования инверсионного слоя в *n*-Si при данной температуре приводят к тому, что положительный заряд тоже не накапливается при $V_p < 0$. Этой же причиной объясняется отсутствие захвата электронов и в структуре на основе *p*-Si при положительных значениях напряжения (рис. 2, *a*). Увеличение времени поляризации приводит к накоплению заряда в диэлектрике (рис. 2, *b*). При отрицательных напряжениях на затворе в данной структуре накапливается положительный заряд, связанный с захватом инжектированных из полупроводника в диэлектрик дырок, а при $V_p > 0$ и $T = 300$ К происходит рост величины отрицательного заряда, вызванный инжекцией электронов из металла.

Таким образом, несмотря на наличие в объеме диэлектрика ловушек, при достаточно низких температурах в течение долгого времени (десятки минут) при обедняющих значениях напряжения поляризации (вплоть до пробивных) в диэлектрике не наблюдается захват заряда из-за низкого уровня инжекции носителей в диэлектрик. Это открывает дополнительные возможности исследования получаемых методом молекулярного наплаивания диэлектрических гетероструктур — диэлектрических слоев, встроенных в объем Al_2O_3 , так как зарядовые свойства таких структур будут определяться только характеристиками встроенных слоев и их границ раздела.

Список литературы

- [1] *Aleskovski V.B., Drozd V.E.* // Acta Polytech. Scand. 1990. V. 195. P. 155.
- [2] *Drozd V.E., Baraban A.P., Nikiforova I.O.* // Appl. Surf. Sci. 1994. V. 83. P. 583.
- [3] *Сазонов С.Г., Дрозд В.Е., Зулупев З.Н., Никифорова О.Е.* // Материалы международной науч.-техн. конференции "Диэлектрики-97". С.-Петербург, 1997. С. 66–68.