

06.1;06.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАРЯДА ДИЭЛЕКТРИКА И ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА КРЕМНИЙ — СВИНЦОВОСИЛИКАТНОЕ СТЕКЛО

© П.Б.Парчинский, С.И.Власов, А.А.Насиров, Т.П.Адиллов

Многокомпонентные свинцовосодержащие стекла используются в микроэлектронике в качестве изолирующих и пассивирующих покрытий полупроводниковых приборов. Однако заряд, образующийся на границе раздела полупроводник-стекло в процессе формирования диэлектрических покрытий, оказывает влияние на характеристики пассивируемых приборов. Структурные и электрофизические свойства используемых покрытий зависят от состава стекол и режима их термической обработки [1].

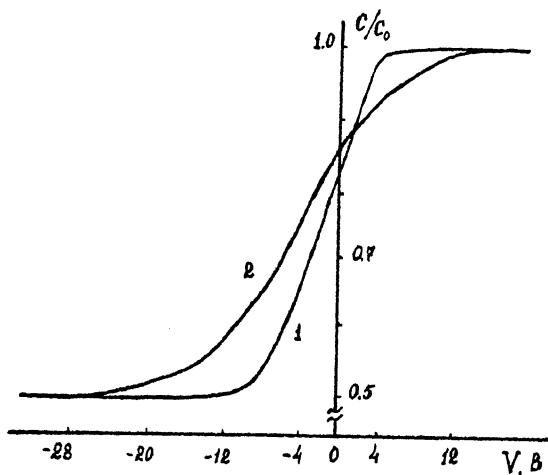
В настоящей работе приведены результаты исследования зарядов, локализованных вблизи скрытой границы раздела кремний-многокомпонентное стекло типа $PbO-SiO_2-B_2O_3-Al_2O_3-Ta_2O_5$.

Исследуемые стекла наносились на подложку Si *n*-типа проводимости с кристаллографической ориентацией $\langle 111 \rangle$ при помощи электрофореза ($I = 10^{-4}$ А) с последующим оплавлением ($T = 680^\circ C$) и отжигом при $T = 470^\circ C$. Концентрация мелкой примеси в полупроводниковой подложке составила $9 \times 10^{13} \text{ см}^{-3}$. Однородность и дисперсность состава контролировались при помощи электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа [2]. При помощи вакуумного распыления Al наносились управляющий (на стекло) и омический (на противоположную сторону кремниевой подложки) электроды, т. е. изготавливались структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МПД).

В качестве основного метода исследования полученных структур использовался метод высокочастотных вольт-фарадных характеристик [3] и его модификации [4].

На рисунке приведены типичные экспериментальная (кривая 1) и расчетная (кривая 2) $C-V$ характеристики, нормированные к величине емкости диэлектрика, для одной из исследуемых МПД структур. Экспериментальная $C-V$ зависимость была получена при помощи мостового компенсационного метода в темноте ($f = 1.5 \cdot 10^5$ Гц, $T = 20^\circ C$ с временной выдержкой в каждой точке).

На приведенных зависимостях хорошо выделяются два участка, соответствующие: $V > 2$ В где экспериментальная $C-V$ характеристика лежит правее теоретической, и



Типичные $C-V$ зависимости МДП структур с диэлектриком на основе свинцовоборосиликатных стекол: 1 — теоретическая, 2 — экспериментальная.

$V < 2$ В, где эта характеристика проходит левее. Согласно общепринятой теории емкостного метода [3-5], на участке $V > 2$ В суммарный заряд (заряд, локализованный в диэлектрике Q_0 , и заряд поверхностных состояний границы раздела полупроводник-диэлектрик Q_{ss}) является отрицательным, т. е.

$$Q_0 + Q_{ss} = Q^- \quad (1)$$

На участке при $V < 2$ В суммарный заряд становится положительным, т. е.

$$Q_0 + Q_{ss} = Q^+ \quad (2)$$

Предположим, что поверхностные состояния представляют собой оборванные (ненасыщенные) валентные связи Si, которые приобретают положительный заряд при потере электрона, т. е. являются состояниями донорного типа [5,6]. Примем, как в случае границы раздела Si-SiO₂, что величина заряда поверхностных состояний зависит от изгиба энергетических зон (т. е. от величины приложенного напряжения). С увеличением обедняющего напряжения, приложенного к МДП структуре, увеличивается число ионизированных поверхностных состояний, т. е. увеличивается положительный заряд границы раздела. Отрицательный заряд, наблюдаемый на экспериментальной зависимости, — это фиксированный, не зависящий от приложенного напряжения заряд, встроенный в структуру используемого стекла.

При напряжении $V \sim 2$ В теоретические и экспериментальные зависимости совпадают. При этом напряжении заряд в диэлектрике и заряд, локализованный на поверхностных состояниях, совпадают по величине, но противоположны по знаку:

$$Q_0 + Q_{ss} = 0. \quad (3)$$

При больших обогащающих напряжениях ($V > +16$ В) поверхностные состояния заполнены электронами практически по всей ширине запрещенной зоны кремния (за исключением узкого интервала энергий от E_c до $E_c - 0.11$ эВ, где E_c — энергия дна зоны проводимости) и не создают значительного положительного заряда. В этом случае экспериментально определяемый по сдвигу $C-V$ характеристик заряд обусловлен в основном отрицательным зарядом диэлектрика:

$$Q = C_0 \cdot \Delta V, \quad (4)$$

где C_0 — экспериментально определяемая емкость диэлектрика, ΔV — разность между экспериментальной и теоретической $C-V$ зависимостями.

При больших напряжениях, соответствующих сильной инверсии поверхностной проводимости ($V > -12$ В), практически все поверхностные состояния в интервале энергий от $E_V + 0.17$ эВ до E_c (где E_V — энергия потолка валентной зоны в Si) ионизованы и создают положительный заряд. В этом случае результирующий заряд, определенный из $C-V$ зависимости, в соответствии с (2) положителен и равен $6 \cdot 10^{-10}$ Кл. При помощи выражений (1) и (4) в области сильного обогащения можно найти результирующий отрицательный заряд диэлектрика, равный $3 \cdot 10^{-10}$ Кл. Предполагая, что заряд диэлектрика распределен по объему стекла равномерно, и используя (1) и (2), находим величину заряда поверхностных состояний $Q_{ss} = 9.3 \cdot 10^{-10}$ Кл, что соответствует плотности поверхностных состояний $N_{ss} = 6 \cdot 10^{11}$ см $^{-2}$. Найденная величина N_{ss} сравнима с таковой для границы раздела Si-SiO $_2$, полученной термическим окислением [7].

Отсюда следует, что основная причина, оказывающая влияние на изменение параметров пассивируемых свинцово-боросиликатным стеклом приборов, это не заряд, локализованный на поверхностных состояниях, а заряд, встроенный в структуру диэлектрика.

Список литературы

- [1] *Коньков В.М., Румак Н.В., Томченко А.А., Хатько В.В.* // Тез. докл. III Всес. конф. "Физика окисных пленок". Петрозаводск, 1991. Ч. 2. С. 14.
- [2] *Насиров А.А., Парчинский П.Б., Адилов Т.П.* // Тез. докл. конф. молодых физиков и математиков "Ташкентскому государственному университету — 75 лет". Ташкент, 1995. С. 14.
- [3] *Terman L.M.* // *Solid. St. Electron.* 1962. V. 5. P. 285–299.
- [4] *Lindner R.* // *Bell. Syst. Tech. J.* 1962. V. 41. P. 803–831.
- [5] *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. М.: Энергия, 1984. Т. 1. 456 с.
- [6] *Shulz M.* // *Surf. Sci.* 1983. V. 132. P. 422–455.
- [7] *Барабан А.П., Булавииков А.П., Коноров П.П.* Электроника слоев SiO_2 на кремнии. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1988, 303 с.

Поступило в Редакцию
29 сентября 1995 г.