

06.2;12

©1993

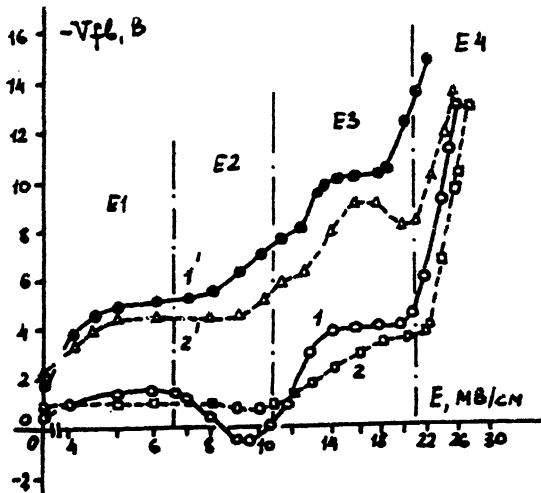
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР Si-SiO₂ МЕТОДОМ ПОЛЕВЫХ ЦИКЛОВ В СИСТЕМЕ С ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ КОНТАКТОМ

А.П.Барабан, В.В.Булавинов, А.Г.Трошин

Одним из методов прогнозирования деградационной стойкости твердотельных приборов и интегральных схем на основе структур Si-SiO₂ является исследование изменений зарядового состояния этих структур в результате полевых и/или радиационных воздействий. Зарядовое состояние структур Si-SiO₂ может изменяться вследствие заполнения биографических электронных и дырочных ловушек, генерации дефектов, выступающих в роли ловушек обоих типов, создания и трансформации так называемых "преддефектов", нейтральных в исходном состоянии и способных превращаться в электрически активные дефекты в результате дополнительных воздействий и т.д. [1].

Стандартная методика определения заряда в SiO₂ по сдвигу потенциала плоских зон V_{fb} вольт-фарадной характеристики структуры Si-SiO₂ [2] дает брутто-оценку и не позволяет определить вклад, зачастую противоположный, каждого из указанных процессов в общее смещение V_{fb} . В настоящей работе рассмотрена методика исследования изменений зарядового состояния структур Si-SiO₂, позволяющая в едином цикле определять концентрацию в диэлектрике электрически активных дефектов различных типов. Метод полевых циклов заключается в измерениях полевых зависимостей потенциала плоских зон $V_{fb}(E, \Delta t)$, проводимых в широком диапазоне полей ($E = 0-30$ МВ/см) в системе Si-SiO₂-электролит. Временные интервалы анодной ("+" на кремнии) поляризации Δt выбирались таким образом, чтобы добиться максимального заполнения ловушек носителями зарядов при данном значении поля.

Исследовались структуры Si-SiO₂, полученные окислением кремния марки КДБ-10 (100) в сухом кислороде ($T = 1000^\circ\text{C}$) и в парах воды ($T = 850^\circ\text{C}$) до толщин диэлектрика $d \approx 45-50$ нм (технологии 1 и 2, соответственно). Измерения проводились на частоте 1 МГц при комнатной температуре, электролитом служил 0.04 н водный раствор сульфата натрия [1]. С целью изучения чувствительности метода по-



Полевые циклы для исходных (1,2) и подвергнутых ВУФ-облучению (1',2') структур Si-SiO₂. 1 — сухое окисление, 2 — окисление в парах воды.

левых циклов к изменению зарядового состояния структур Si-SiO₂ под влиянием внешних воздействий часть измерений проводилась на структурах, подвергнутых предварительному облучению светом из области вакуумного ультрафиолета (ВУФ) с помощью криптоновой лампы типа КРР-2 ($h\nu \approx 10$ эВ); продолжительность облучения составляла 5 минут.

На рисунке представлены зависимости $V_{fb}(E, \Delta t)$ для исходных (1,2) и ВУФ-облученных (1',2') структур Si-SiO₂ (технология 1 и 2, соответственно). На кривых можно выделить четыре участка, соответствующих областям полей, обозначенным как E1–E4. Сопоставление приведенных данных с результатами исследования проводимости системы Si-SiO₂-электролит [1,3] позволяет утверждать следующее.

В случае исходных структур Si-SiO₂ в области полей E1 ($E \leq 6-7$ МВ/см), где инжекция электронов из электролита в SiO₂ заблокирована вследствие больших значений высоты потенциального барьера (4.2 ± 0.2 эВ [1,3]), зависимость $V_{fb}(E, \Delta t)$ отражает процессы инжекции дырок из кремния и захвата их на ловушки в SiO₂. Это позволяет по сдвигу V_{fb} оценить эффективную (без учета центроида [4]) концентрацию дырочных ловушек. В области полей E2 ($7 \text{ МВ/см} \leq E \leq 10-11$ МВ/см) в зарядопереносе до-

минирует электронная компонента тока [3], по сдвигу V_{fb} в этой области полей можно оценить эффективную концентрацию биографических ловушек, захвативших инжектированные из электролита электроны.

При дальнейшем увеличении поля в SiO_2 все более заметным становится разогрев электронов в зоне проводимости диэлектрика, причем в области полей E_4 ($E \geq 20-22$ МВ/см) энергии электронов оказывается достаточно для межзонной генерации электронно-дырочных пар, образования дефектов путем разрыва регулярных связей Si-O и других процессов, приводящих к накоплению в окисле положительного заряда [1], что проявляется в виде резкого роста $V_{fb}(E, \Delta t)$ в указанной области полей (см. рисунок).

Рост зависимости $V_{fb}(E, \Delta t)$ на кривых 1,2 в области полей E_3 ($11 \leq E \leq 20-22$ МВ/см) в условиях доминирования в зарядопереносе электронной компоненты тока не может быть, по нашему мнению, связан с дополнительным заполнением биографических дырочных ловушек или с полевым выбросом электронов из биографических электронных ловушек. Можно предположить, что зависимость $V_{fb}(E, \Delta t)$ в области полей E_3 отражает процесс трансформации преддефектов в дефекты, часть из которых является дырочными ловушками. В качестве преддефектов могут выступать ослабленные (напряженные) связи Si-O, для разрыва которых достаточно энергии, набираемой электронами в данной области полей.

Как видно из рассмотрения рисунка, форма кривых $V_{fb}(E, \Delta t)$ зависит от технологии создания структур Si-SiO₂. При этом на кривых можно выделить четыре характеризующих их параметра, а именно $V_{fb}(0)$ и максимальные значения $V_{fb}(E_i, i = 1-3)$, которые позволяют оценивать концентрации биографических дырочных и электронных ловушек, а также преддефектов. На основании исследований методом полевых циклов структур Si-SiO₂, изготовленных по различным технологиям, было установлено, что форма зависимостей $V_{fb}(E, \Delta t)$ и набор указанных выше параметров однозначно характеризуют технологию формирования структур (среда и температура окисления, среда, температура и продолжительность отжига и др.).

Зависимости $V_{fb}(E, \Delta t)$, измеренные после ВУФ-облучения структур Si-SiO₂ (кривые 1' и 2'), резко отличались от исходных существенно большими значениями V_{fb} , обусловленными генерацией новых ловушек и преддефектов. Как видно из рисунка, на них также можно выделить участки, соответствующие областям полей E_1-E_4 . При этом вы-

званное облучением изменение $V_{fb}(0)$ характеризует величину заряда, захваченного в диэлектрике непосредственно в процессе воздействия, а последующие смещения V_{fb} до максимальных значений в областях полей $E1$ и $E3$ характеризуют концентрации дырочных ловушек, заполняемых при дополнительном полевом воздействии, и трансформируемых в дефекты в поле $E3$ преддефектов, соответственно. Отметим, что форма зависимостей $V_{fb}(E, \Delta t)$, как и в случае исследования исходных структур, зависит от технологии изготовления структур Si-SiO₂.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что измерение полевых циклов в системе с электrolитическим контактом может быть использовано в качестве экспресс-методики, позволяющей детально исследовать изменения зарядового состояния структур Si-SiO₂ и его зависимость как от технологии формирования структур, так и от влияния внешних воздействий.

Список литературы

- [1] Барабан А.П., Булавинов В.В., Которов П.П. Электроника слоев SiO₂ на кремнии. Л.: ЛГУ. 1988. 304 с.
- [2] Технология СБИС. Кн. 1 / Под ред. Зи С. М.: Мир. 1986. 404 с.
- [3] Барабан А.П., Булавинов В.В., Которов П.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 5. С. 806-809.
- [4] Барабан А.П., Булавинов В.В. // ЖТФ. 1984. Т. 54. В. 12. С. 2371-2373.

С.-Петербургский государственный
университет

Поступило в Редакцию
22 июля 1993 г.