

06

## **Диагностика окисного слоя структур Si–SiO<sub>2</sub> с использованием света из области ближнего ультрафиолета**

© А.Ю. Аскинази, А.П. Барабан, Л.В. Милоглядова

С.-Петербургский государственный университет, НИИ физики

Поступило в Редакцию 17 марта 2003 г.

Рассмотрен метод экспресс-диагностики структур Si–SiO<sub>2</sub>, основанный на измерении высокочастотных вольт-фарадных характеристик в системе электролит–диэлектрик–полупроводник после предварительного облучения структур светом из области ближнего ультрафиолета.

В настоящее время структуры Si–SiO<sub>2</sub> являются основой широкого класса полупроводниковых приборов, в которых окисный слой играет активную роль. Вместе с тем существует ряд внешних воздействий (ионная имплантация (ИИ), полевое воздействие и др.), приводящих к изменению зарядового состояния окисного слоя таких структур как при создании приборов на их основе, так и в процессе их последующей эксплуатации. Одна из основных проблем в этой связи заключается в изучении свойств и природы электрически активных центров (ЭАЦ), образующихся в процессе внешних воздействий. В этом случае разработка оперативных и неразрушающих методов диагностики структур Si–SiO<sub>2</sub> является важной научной и практической задачей. В этом плане несомненный интерес представляет метод, основанный на измерении высокочастотных вольт-фарадных характеристик (ВЧ ВФХ) в системе электролит–диэлектрик–полупроводник (ЭДП) [1] в сочетании с облучением структур светом из области ближнего ультрафиолета (БУФ-облучение). Этот метод, с одной стороны, позволяет получать дополнительную информацию о наличии, свойствах и природе электрически активных центров в SiO<sub>2</sub>, с другой стороны, выявить условия, при которых структура Si–SiO<sub>2</sub> является наиболее чувствительной к БУФ-облучению, что представляет несомненный интерес для разработки датчиков БУФ-излучения.

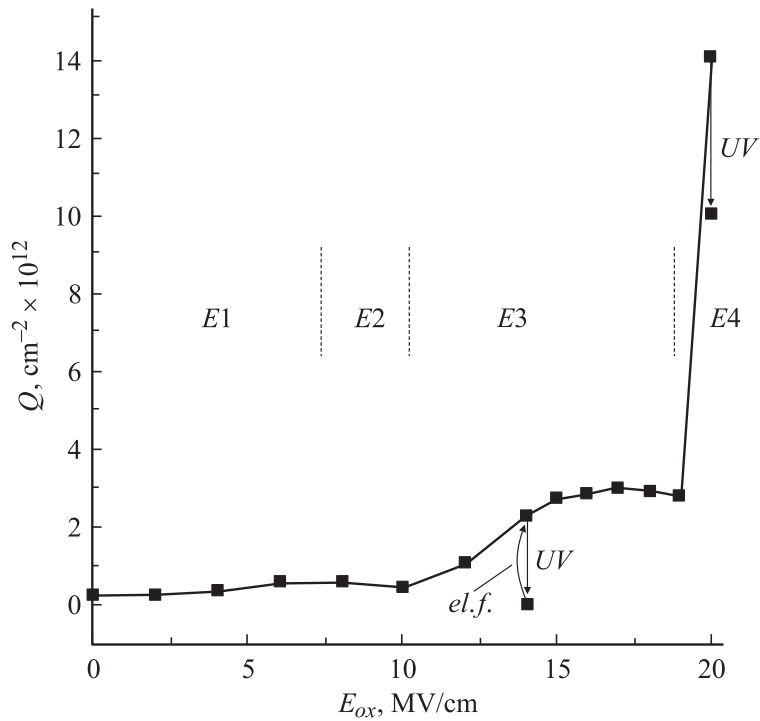
Цель данной работы заключалась в демонстрации возможности экспресс-изучения свойств ЭАЦ в окисном слое структур Si–SiO<sub>2</sub> при их дополнительном БУФ-облучении.

Для достижения поставленной цели в работе использовались структуры Si–SiO<sub>2</sub>, существенно отличающиеся по своим электрофизическим свойствам и полученные: 1 — путем термического окисления кремния КДБ-10 (100) в парах воды при температуре 950°C, толщина окисного слоя составляла 60 nm; 2 — путем имплантации ионов кислорода с энергией 190 keV (доза имплантации  $1.8 \cdot 10^{18} \text{ cm}^{-2}$ ) в объем кремния при температуре 650°C, последующего отжига при  $T = 1320^\circ\text{C}$  в течение 6 h и травливания внешнего слоя кремния, что приводило к формированию слоя двуокси кремния толщиной примерно 450 nm (SIMOX-технология); 3 — термическим окислением кремния КДБ-10 (100) во влажном кислороде при температуре 950°C (толщина окисного слоя составляла 90 nm), последующей ИИ в объеме SiO<sub>2</sub> ионов аргона с дозами  $10^{12} - 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ , энергией 43 keV и подвергнутые быстрому термическому отжигу (БТО) при температуре 450°C.

БУФ-облучение ( $h\nu = 4 - 6 \text{ eV}$ ) осуществлялось засветкой ртутной лампой ДРЛ-250. Воздействие электрическим полем („+“ на Si) осуществлялось в системе ЭДП [1] при напряжениях, не вызывающих деструктирующего пробоя окисного слоя исследуемых структур. Все измерения выполнены при температуре 293 K.

Структуры первого типа характеризовались незначительным исходным эффективным положительным зарядом ( $\sim 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ ), величина которого могла быть изменена путем полевого воздействия в ЭДП-системе [1,2]. Как было показано ранее, зарядовое состояние окисного слоя после полевого воздействия определялось как величиной напряженности электрического поля в окисном слое, так и временем полевого воздействия [1–2]. При этом весь диапазон электрических полей был условно разделен на 4 области (обозначенные в [2] как  $E1 < E2 < E3 < E4$ ) (рис. 1). В рамках настоящей работы особое внимание было уделено воздействию в области полей  $E3$  (приводящему к образованию в области межфазовой границы Si–SiO<sub>2</sub> положительно заряженных ЭАЦ [2]) и в области полей  $E4$  (приводящему к развитию процесса ударной ионизации (УИ) в объеме окисного слоя и формированию в нем сложного распределения заряженных ЭАЦ [2] (рис. 1).

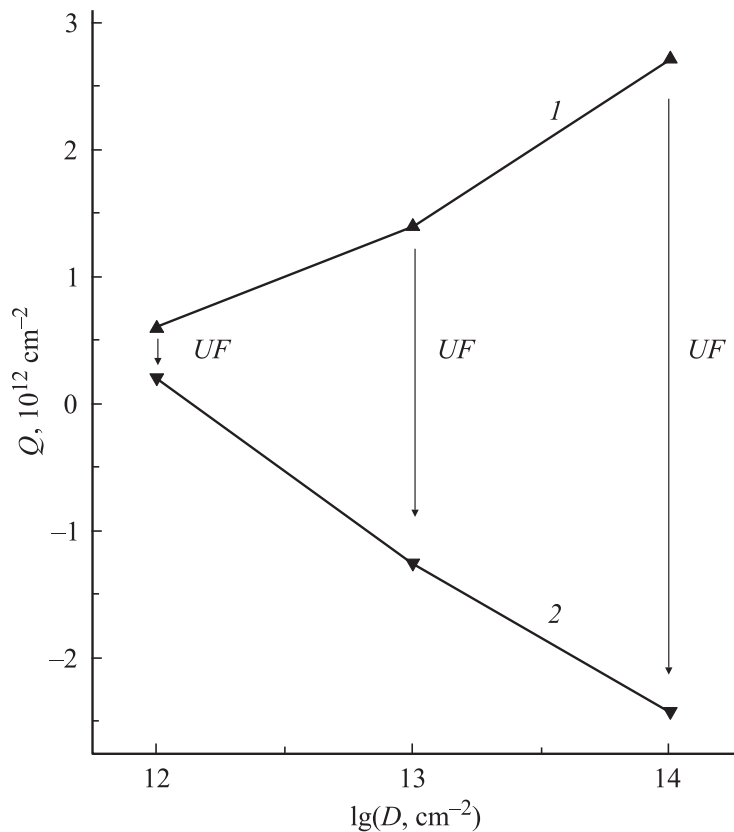
Как уже отмечалось, полевое воздействие из области полей  $E3$  приводило к существенному увеличению эффективного положительного



**Рис. 1.** Зависимость плотности суммарного эффективного заряда в структурах Si-SiO<sub>2</sub> (60 nm) от напряженности электрического поля в окисном слое. UV — влияние БУФ-облучения, el.f. — влияние полевого воздействия.

заряда в структурах Si-SiO<sub>2</sub> (рис. 1) [2]. Последующее БУФ-облучение структур Si-SiO<sub>2</sub> приводило практически к полной нейтрализации этого заряда, причем новое полевое воздействие из области полей E3 вновь увеличивало заряд до значений, приблизительно соответствующих первоначальному полевому воздействию (рис. 1).

Полевое воздействие на структуры первого типа из области полей E4 приводило к более значительному увеличению эффективного положительного заряда в объеме окисного слоя (рис. 1) [2]. Однако в этом случае последующее БУФ-облучение структур Si-SiO<sub>2</sub> приводило к уменьшению заряда только на величину, соизмеримую с величиной



**Рис. 2.** Величина эффективного заряда в структурах третьего типа после имплантации (1) и последующего БУФ-облучения (2).

положительного заряда, образующегося при воздействии полем  $E3$  (рис. 1).

Структуры Si-SiO<sub>2</sub> второго типа изначально имели значительный эффективный положительный заряд [3,4]. Полевое воздействие приводило к его еще большему увеличению. БУФ-облучение приводило к практически полной нейтрализации этого заряда как до, так и после полевого воздействия [3].

В случае структур Si–SiO<sub>2</sub> третьего типа ИИ приводила к образованию эффективного положительного заряда, величина которого возрастала с увеличением дозы имплантации [5]. Воздействие БУФ-излучением на ионно-имплантированные структуры приводило к образованию в SiO<sub>2</sub> значительного эффективного отрицательного заряда, величина которого была соизмерима с величиной положительного заряда, образующегося при ИИ (рис. 2) [5].

Во всех выше перечисленных случаях перезарядка под воздействием БУФ-облучения происходит за счет фотоинжекции электронов из кремниевой подложки в объем SiO<sub>2</sub> и их последующего транспорта в кулоновском поле положительно заряженных ЭАЦ. В пользу этого свидетельствуют величина спектрального порога БУФ-перезарядки ЭАЦ, которая составила примерно 4.3 eV, что соответствует величине потенциального барьера для электронов на границе Si–SiO<sub>2</sub>, и отсутствие эффекта БУФ-перезарядки при приложении к структуре Si–SiO<sub>2</sub> запирающего фототок электрического поля.

Вместе с тем реакция структур Si–SiO<sub>2</sub> на БУФ-облучение оказывается различной. В случае структур первого типа можно сделать вывод, что полевое воздействие в области полей  $E_4$  приводит к формированию в объеме окисного слоя ЭАЦ другого типа (помимо положительно заряженных ЭАЦ, образующихся в полях  $E_3$ ), не перезаряжающихся под действием БУФ-облучения. Для структур второго типа можно заключить, что ЭАЦ, ответственные за положительный заряд, образующийся в окисном слое при формировании SIMOX-структур, и ЭАЦ, ответственные за заряд, образующийся при последующем полевом воздействии, имеют схожую природу и два состояния — положительно заряженное и нейтральное. В случае структур третьего типа показано, что в SiO<sub>2</sub> в результате ИИ образуются амфотерные центры (заряженные положительно), которые при воздействии БУФ-облучения перезаряжаются до отрицательного состояния.

Таким образом, БУФ-облучение структур Si–SiO<sub>2</sub> приводит к различным результатам в зависимости от характера предварительных воздействий и позволяет высказать ряд соображений о свойствах ЭАЦ в объеме окисного слоя. При этом наиболее чувствительными к воздействию БУФ-облучения оказались структуры третьего типа.

Работа поддержана КЦФЕ МО РФ. Грант PD02–1.2–356.

## Список литературы

- [1] *Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П.* Электроника слоев SiO<sub>2</sub> на кремнии. Л.: Изд. ЛГУ, 1988. 304 с.
- [2] *Барабан А.П., Булавинов В.В., Трошихин А.Г.* // Письма в ЖТФ. 1993. Т. 19. В. 18. С. 27–30.
- [3] *Аскинази А.Ю., Барабан А.П., Дмитриев В.А.* и др. // Письма в ЖТФ. 2001. Т. 27. В. 10. С. 57–61.
- [4] *Аскинази А.Ю., Барабан А.П., Милоглядова Л.В.* // ЖТФ. 2002. В. 5. С. 61.
- [5] *Барабан А.П., Малявка Л.В.* // Письма в ЖТФ. 2000. Т. 26. В. 4. С. 53–57.