

05;06;07;12

Влияние ультрафиолетового облучения на зарядовое состояние ионно-имплантированных структур кремний–диоксид кремния

© А.П. Барабан, Л.В. Малявка

НИИ физики С.-Петербургского государственного университета

Поступило в Редакцию 6 октября 1999 г.

Исследовалось влияние облучения из области ближнего ультрафиолета (БУФ-облучения) на зарядовое состояние структур Si-SiO₂, подверженных имплантации ионами Ag в объем окисного слоя. Использовался метод послойного профилирования, основанный на измерении высокочастотных вольтфарадных характеристик в системе электролит-диэлектрик-полупроводник в сочетании со сравнением диэлектрического слоя. Установлено, что БУФ-облучение привело к перезарядке до отрицательного состояния положительно заряженных амфотерных центров, образованных в окисном слое структур Si-SiO₂ вследствие ионной имплантации.

Эффекты, связанные с радиационным воздействием на структуры Si-SiO₂, изучаются много лет и с различными целями. В частности, ионная имплантация (ИИ) и облучение ультрафиолетовым светом представляют большой интерес как для изучения фундаментальных закономерностей дефектообразования в твердых телах, так и в плане их технологического использования в микроэлектронике.

Целью настоящей работы являлось установление влияния облучения из области ближнего ультрафиолета (БУФ-облучения) на электрически активные центры, возникающие в окисном слое структур Si-SiO₂ в процессе и/или результате ИИ.

В работе исследовались структуры Si-SiO₂, полученные термическим окислением кремния КЭФ-5 (100) и КДБ-10 (100) во влажном кислороде при температуре 950°C. Толщина окисного слоя в первом случае составляла 250 и 90 nm во втором. Имплантировались ионы аргона с дозой 10¹³ см⁻² в SiO₂ (250 nm) и дозами 10¹²–10¹⁴ см⁻² в SiO₂ (90 nm) на установке Eaton Nova 4206 при охлаждении и низкой

плотности пучка во избежание сильного нагрева мишени. Энергия ионов выбиралась таким образом, чтобы обеспечить положение максимума распределения имплантированных ионов посередине окисного слоя и составляла в первом случае 130 и 43 eV во втором. Ионно-имплантированные структуры второго типа подвергались быстрому термическому отжигу при температуре 450°C, который осуществлялся путем засветки галогенной лампой в атмосфере азота в течение 10 s. БУФ-облучение ($h\nu = 4 - 6 \text{ eV}$) осуществлялось засветкой ртутной лампой ДРЛ-250. Для исследования зарядового состояния структур Si-SiO₂ использовался метод послойного профилирования, основанный на измерении высокочастотных вольт-фарадных характеристик (ВФХ) в системе электролит-диэлектрик-полупроводник (ЭДП) в сочетании со стравливанием диэлектрического слоя [1]. Все измерения выполнены при температуре 293 К.

Метод послойного профилирования позволял получать зависимость потенциала плоских зон (V_{fb}) от толщины окисного слоя (рис. 1, 2), которая и являлась основой для получения информации о распределении зарядов в окисном слое. Положения центроидов локализованных в окисном слое зарядов (X) определялись как значения толщин окисного слоя, при которых происходит пересечение интерполированных к нулевой толщине сравниваемых зависимостей $V_{fb}(d_{ox})$, а истинные значения зарядов, образующихся в окисном слое в результате ионной имплантации, — из тангенса угла наклона этих зависимостей [1].

На основании результатов измерений ВФХ при послойном стравливании окисного слоя исходных и ионно-имплантированных структур Si-SiO₂ установлено, что ИИ с $D = 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ приводила к формированию в окисном слое структур Si-SiO₂ (250 nm) вблизи границы с Si положительного заряда (с центроидом $X = (35 \pm 5) \text{ nm}$) [2]. В случае структур Si-SiO₂ (90 nm), начиная с $D = 10^{13} \text{ cm}^{-2}$, ИИ также приводила к образованию вблизи границы с Si положительного заряда (с центроидом $X = (34 \pm 5) \text{ nm}$), величина которого увеличивалась с увеличением дозы имплантации (рис. 2).

Воздействие на неимплантированные структуры Si-SiO₂ ближним ультрафиолетом не приводило к заметному изменению зарядового состояния окисла. БУФ-облучение ионно-имплантированных структур Si-SiO₂ без приложенного электрического поля приводило к формированию в SiO₂ вблизи границы с Si значительного отрицательного заряда. Величина этого заряда превышала величину положительного

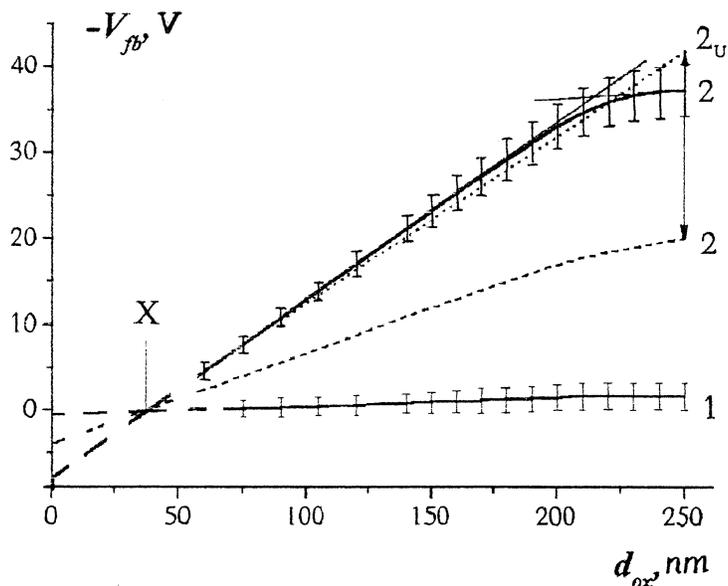


Рис. 1. Зависимости потенциала плоских зон от толщины окисного слоя исходных (1) и имплантированных ионами Ar (2) структур Si-SiO₂ (250 nm). 2 — после БУФ-облучения в течение 10 s, 2_U — после БУФ-облучения с приложенным электрическим полем (отрицательное смещение на полевом электроде).

заряда, образованного при ИИ, и не изменялась через полгода после прекращения БУФ-облучения при комнатной температуре. В случае структур Si-SiO₂ (250 nm) полная величина образующегося отрицательного заряда была достаточно велика и не была определена из-за невозможности проведения измерений в ЭДП- системе при положительном смещении на полевом электроде. Центроид отрицательного заряда, образующегося в окисле таких структур при БУФ-облучении в течение 10 s совпадал с центроидом положительного заряда, образованного вследствие ИИ (рис. 1). В случае структур Si-SiO₂ (90 nm) при БУФ-облучении в SiO₂ структур, подвергнутых ИИ с последующим БТО при 450°C, образовывался отрицательный заряд с центроидом,

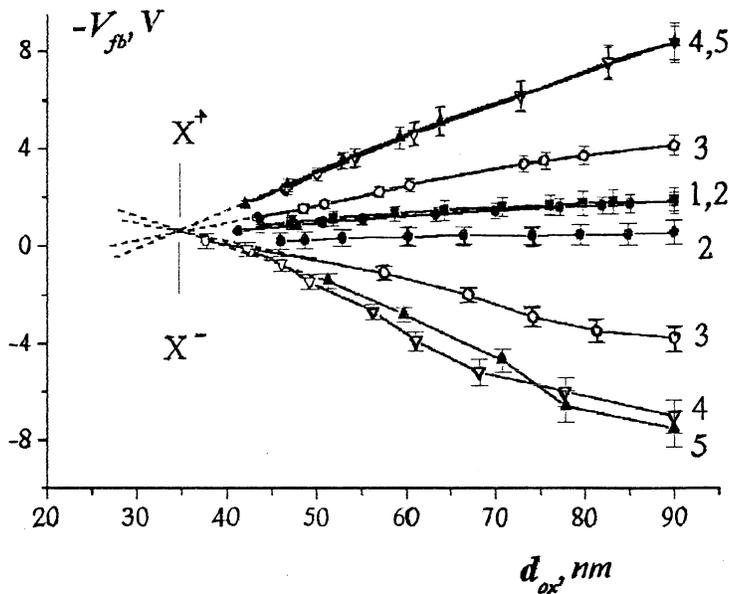


Рис. 2. Зависимости потенциала плоских зон от толщины окисного слоя исходных (1) и подвергнутых имплантации ионами Ag и последующим БТО (2–5) структур Si-SiO₂ (90 nm): 2 — $D = 10^{12}$ cm⁻², 3 — $D = 10^{13}$ cm⁻², 4 — $D = 10^{14}$ cm⁻², 5 — $D = 10^{14}$ cm⁻² с низким током ионов, 2'–5' — после БУФ-облучения.

равным центроиду положительного заряда и по величине примерно в два раза превышающим положительный заряд (рис. 2). БУФ-облучение при отрицательном смещении на полевом электроде, препятствующем инжекции электронов из Si в SiO₂, не приводило к изменению зарядового состояния имплантированных структур.

Совпадение центроида положительного заряда в SiO₂, образованного вследствие ИИ, с центроидом отрицательного заряда, образующегося при БУФ-облучении, и тот факт, что величина такого отрицательного заряда примерно вдвое превышала величину положительного заряда, свидетельствуют о том, что за оба эти заряда ответственны одни и те же амфотерные центры. В результате ИИ, за счет взаимодействия

ионов Ag с атомной подсистемой матрицы SiO₂, в объеме окисного слоя происходит формирование двух нестехиометрических областей SiO_x с $x > 2$ и $x < 2$ [2]. При этом область, обогащенная кислородом ($x > 2$), расположена ближе к поверхности кремния вследствие больших смещений атомов кислорода по сравнению с атомами кремния при взаимодействии с аргоном. Именно с образованием этих областей и соответствующих им дефектов связано появление электрически активных центров в процессе имплантации ионов аргона. Для области, обедненной кислородом, в которой расположен центроид положительного заряда, образованного вследствие ИИ [2], наиболее вероятно образование дефектов типа трехкоординированного по кислороду атома кремния и/или типа кислородной вакансии. Оба эти дефекта являются амфотерными центрами и могут быть образованы в результате ИИ как сразу в положительно заряженном состоянии, так и в нейтральном с последующим захватом на них дырок, генерируемых в результате взаимодействия ионов Ag с электронной подсистемой матрицы SiO₂. Отсутствие изменения зарядового состояния ионно-имплантированных структур при БУФ-облучении с приложенным электрическим полем (отрицательное смещение на полевом электроде) указывало на то, что перезаряджение амфотерных центров при БУФ-облучении до отрицательного состояния происходило за счет захвата на них оптически возбужденных из Si в зону проводимости SiO₂ электронов.

Таким образом, БУФ-облучение приводит к перезаряджению до отрицательного состояния положительно заряженных амфотерных центров, созданных в процессе и/или результате ИИ. Данный эффект может быть использован при разработке датчиков для регистрации БУФ-облучения на основе ионно-имплантированных структур Si-SiO₂, а также для выделения областей SiO₂, подвергнутых ИИ.

Список литературы

- [1] Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. Электроника слоев SiO₂ на кремнии. Л.: изд. ЛГУ, 1988. 304 с.
- [2] Барабан А.П., Кузнецова А.А., Малявка Л.В., Шишлова А.В. // Изв. вузов. Электроника. 1998. № 4. С. 17–20.