

06;12

Зарядовое состояние окисного слоя SIMOX-структур

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

С.-Петербургский государственный университет, НИИ физики

Поступило в Редакцию 17 января 2001 г.

С помощью метода послойного профилирования, основанного на измерении высокочастотных вольт-фарадных характеристик в системе электролит-диэлектрик-полупроводник в сочетании со травлением диэлектрического слоя, установлено, что при формировании SIMOX-структур в окисном слое вблизи с границей с Si образуются дефекты, ответственные за положительный заряд. Исследовано изменение зарядового состояния данных структур под действием электрического поля, излучения из области ближнего ультрафиолета и низкотемпературного отжига.

Структуры Si-SiO₂ и создаваемые на их основе структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП) являются основой элементной базы современной микро- и твердотельной электроники. В связи с этим изучение свойств данных структур представляет большой научный и практический интерес. Один из способов создания структур Si-SiO₂ — формирование замурованных окисных слоев в объеме кремния путем имплантации в Si ионов кислорода (SIMOX-технология). Несмотря на многочисленные исследования данных структур, остаются нерешенными вопросы о точном месте локализации, свойствах и природе образующихся в оксиде электрически активных центров.

Целью настоящей работы является установление распределения и величин зарядов в окисном слое SIMOX-структур, образующихся в результате формирования замурованного SiO₂, и исследование свойств дефектов, ответственных за данные заряды, в частности выявление влияния на них полевого воздействия, излучения из области ближнего ультрафиолета (БУФ) и низкотемпературного отжига.

В работе исследовались структуры Si-SiO₂, полученные 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 травли внешнего слоя кремния, что приводило к формированию слоя двуоксида кремния толщиной примерно 450 nm. Последующее воздействие электрическим полем осуществлялось при напряжениях, не вызывающих деструктурирующего пробоя окисного слоя исследуемых структур ($E_{ox} = 1-5 \text{ MV/cm}$). Облучение из области БУФ ($h\nu = 4-6 \text{ eV}$) осуществлялось засветкой ртутной лампой ДРЛ-250. Низкотемпературный отжиг осуществлялся в комнатной атмосфере при $T = 200-300^\circ\text{C}$.

Для исследования зарядового состояния данных структур Si-SiO₂ использовали метод, основанный на измерении высокочастотных вольт-фарадных характеристик (ВЧ ВФХ), — метод послойного профилирования, который позволял получать зависимость потенциала плоских зон (V_{fb}) от толщины окисного слоя (рис. 1, 2). Положения центров-

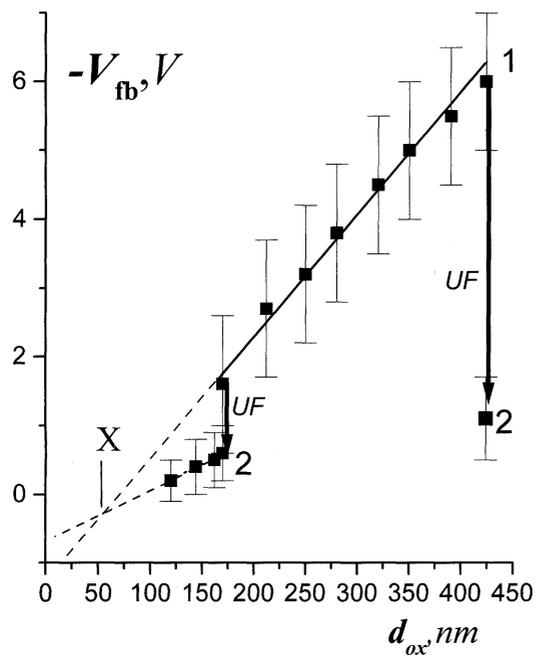


Рис. 1. Зависимости потенциала плоских зон от толщины окисного слоя SIMOX-структур: 1 — исходные структуры, 2 — после БУФ-облучения.

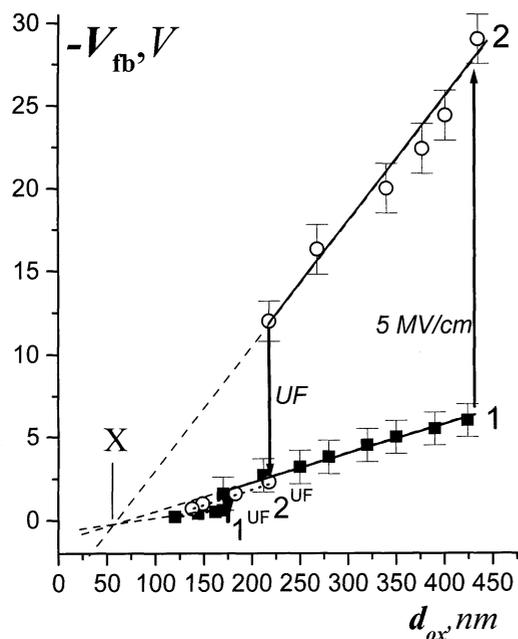


Рис. 2. Зависимости потенциала плоских зон от толщины окисного слоя SIMOX-структур: 1 — исходные структуры, 2 — после полевого воздействия, 1^{UF} , 2^{UF} — после БУФ-облучения.

идов, 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 — из тангенса угла наклона этих зависимостей [1]. Все измерения выполнялись при температуре 293 К в системе электролит–диэлектрик–полупроводник.

Установлено, что в процессе формирования SIMOX-структур в окисном слое вблизи межфазовой границы (МФГ) с Si образуется положительный заряд $Q = (0.4 \pm 0.1) \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ с центроидом $X = (65 \pm 10) \text{ nm}$ (рис. 1). БУФ-облучение структур без приложенного электрического поля приводило к практически полной нейтрализации данного заряда (рис. 1). Полевое воздействие на SIMOX-структуры,

не подвергнутые БУФ-облучению электрическим полем с напряженностью $E_{ox} = 1 \text{ MV/cm}$ не влияло на зарядовое состояние структур. Такое полевое воздействие ($E_{ox} = 1 \text{ MV/cm}$) после БУФ-облучения SIMOX-структур сопровождалось образованием незначительного положительного заряда. Одновременное воздействие БУФ-облучением и электрическим полем ($E_{ox} = 1 \text{ MV/cm}$) приводило к образованию значительного положительного заряда. Полевое воздействие на SIMOX-структуры, как подвергнутые, так и не подвергнутые БУФ-облучению электрическим полем с напряженностью $E_{ox} = 5 \text{ MV/cm}$, приводило к образованию в SiO_2 значительного положительного заряда с центроидом $X = (65 \pm 10) \text{ nm}$ (рис. 2). При этом процесс образования этого заряда не являлся завершенным во времени и при увеличении напряженности электрического поля. БУФ-облучение структур, подверженных такому полемому воздействию, приводило к образованию отрицательного заряда, центроид и величина которого практически полностью совпадали с центроидом и величиной положительного заряда в окисле (рис. 2). Низкотемпературный отжиг не приводил к изменению зарядового состояния окисного слоя исследуемых структур как до, так и после полевого воздействия и БУФ-облучения.

Полагаем, что образование при полевым воздействием положительного заряда в окисном слое SIMOX-структур связано с трансформацией электрически неактивных центров, образующихся при формировании замурованного SiO_2 , в электрически активные, положительно заряженные.

Образование положительного заряда в SiO_2 при воздействии БУФ-облучением совместно со слабополевым воздействием (1 MV/cm), по-видимому, также связано с трансформацией электрически неактивных центров, образованных при формировании замурованного SiO_2 , в электрически активные, положительно заряженные, за счет комбинированного действия двух воздействий. Изучение этого процесса является предметом дальнейших наших исследований.

На основании того, что значение центроида положительного заряда, образованного при полевым воздействием, совпадало со значением центроида положительного заряда, образованного при формировании SIMOX-структур, а также влияние БУФ-облучения и низкотемпературного отжига на оба эти заряда было идентичным, можно предположить, что за данные заряды ответственны дефекты одной природы. На данном этапе исследований не представляется возможным объяснить природу положительно заряженных центров в SiO_2 , образуемых в процессе фор-

мирования SIMOX-структур и центров, трансформируемых при полевом воздействии из электрически неактивных в электрически активные. Вероятно, ими являются дефекты типа трехкоординированного атома кремния, модифицированные примесными атомами. БУФ-облучение переводило их из положительно заряженного состояния в нейтральное за счет захвата на них оптически возбужденных из Si в зону проводимости SiO₂ электронов (о чем свидетельствовало наличие такого перезаряжения только в отсутствие приложенного электрического поля, препятствующего инъекции электронов из Si в SiO₂). При формировании SIMOX-структур такие дефекты образуются, по-видимому, на границах микрокристаллических вкраплений кремния (созданных в замураванном окисном слое у МФГ с Si), наличие которых установлено рядом экспериментаторов [2–4].

Список литературы

- [1] Барабан А.П., Булавинов В.В., Коноров П.П. Электроника слоев SiO₂ на кремнии. Л.: изд. ЛГУ, 1988. 304 с.
- [2] Afanas'ev V.V., Stesmans A., Revesz A.G. // J. Appl. Phys. 1997. V. 82. N 5. P. 2184–2199.
- [3] Stahlbush R.E., Campisi G.J. et al. // IEEE Trans. Nucl. Sci. 1992. NS-39. P. 2086–2097.
- [4] Stoemenos J., Garcia A. et al. // J. Electrochem. Soc. 1995. V. 142. N 4. P. 1248–1260.