

## Сверхтонкие (3.7 нм) слои окисла кремния с низкой концентрацией оборванных связей на контакте с полупроводником

Д.А. Белорусов, Е.И. Гольдман, Г.В. Чучева

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
г. Фрязино, Россия  
e-mail: gvc@ms.ire.rssi.ru

Уже несколько десятилетий идут исследования различных диэлектрических материалов, разрабатываемых в качестве альтернативы SiO<sub>2</sub>. В подавляющем большинстве случаев подложками для таких изоляторов служат пластины кремния. Из-за существенного несовпадения кристаллических решеток при нанесении сегнетоэлектрика на полупроводник образуется так называемый буферный слой, состоящий в основном из окислов контактирующих материалов. Поверхность подложек Si всегда покрыта окислом. На границе раздела (ГР) кремний – окисел всегда образуются играющие роль электронных ловушек (ЭЛ) оборванные связи Si. Ранее на базе структур с сегнетоэлектриком Ba<sub>0.8</sub>Sr<sub>0.2</sub>TiO<sub>3</sub>, осажденном на кремний, было экспериментально показано [1], что перезарядка ЭЛ в буферном слое препятствует развитию эффекта поля – его проникновению в полупроводник – тем самым не позволяя реализовывать ячейки энергонезависимой памяти FeRAM. Поэтому нужны экспериментальные исследования, из которых станет ясно, какие свойства буферных слоев на контакте сегнетоэлектрик-кремний максимально достижимы в свете проявления ГР Si-SiO<sub>2</sub>. Данные опыты следует проводить на максимально качественных структурах со сверхтонким SiO<sub>2</sub> (толщина до 5 нм), выращенном при высокотемпературном окислении. Данная работа посвящена именно этим целям.

В качестве образцов использовались Si-MOП структуры с полевым электродом Al-n<sup>+</sup>-Si:P (концентрация доноров в поликремнии  $N_d^+ \sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$ , площадь полевого электрода  $S=1.6 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$ ), изолированным от (100) n-Si подложки слоем, полученного при высокотемпературном окислении SiO<sub>2</sub> с оптической толщиной  $h=3.7$  нм. При комнатной температуре в нестационарном специальном режиме, когда значения емкостей и тока при их фиксации отвечают практически одному и тому же состоянию образца измерялись вольтамперные и высокочастотные вольтфарадные характеристики (ВФХ) объектов на частотах 1(С<sub>1</sub>) и 0.5 (С<sub>2</sub>) МГц. Данные ВФХ дают возможность построить зависимости от полевого напряжения изгиба зон в полупроводнике и падения внешнего напряжения на изолирующем слое. Для определения концентрации ЭЛ нужно использовать релаксационные опыты, когда изменения измеряемых величин обусловлены только перезарядкой оборванных связей. Достигнутые в не стационарных условиях рекордные значения поля в изолирующем слое  $6 \cdot 10^7$  В/см свидетельствуют о высоком качестве окисла кремния в данных образцах. За время переходного процесса 15 с перезаряжаются оборванные связи с концентрацией  $6.6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ . Эта величина как минимум на 2 порядка меньше, чем значения плотности ЭЛ, обнаруженных в буферном слое на контакте Ba<sub>0.8</sub>Sr<sub>0.2</sub>TiO<sub>3</sub>-Si [1].

Таким образом, для структур металл-сегнетоэлектрик-полупроводник использование кремния, покрытого качественным окислом, способно заметно улучшить характеристики буферных слоев и снять ограничения по открытию канала неосновных носителей заряда, необходимого для разработки различных устройств, в частности, для реализации ячеек энергонезависимой памяти FeRAM. Применение в качестве подложек Si, покрытого полученным при высокотемпературном окислении SiO<sub>2</sub>, заведомо снизит токи утечки и стабилизирует свойства объектов с сегнетоэлектрическими изолирующими слоями.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда проект № 22-19-00493.

1. Belorусov D.A., Goldman E.I., Chucheva G.V. On the form of high-frequency voltage-capacitance characteristics of metal-insulator-semiconductor structures with a ferroelectric insulating layer Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>TiO<sub>3</sub>. *Ceramics International*. 2021. Vol 47, No 15. P. 21248-21252.