Ультратонкие скрытые стеки оксидов гафния и алюминия в полевых структурах кремний-на-изоляторе

Попов В.П.¹, Антонов В.А.¹, Ильницкий М.А.¹, Мяконьких А.В.², Руденко К.В.²

¹ ИФП СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

² ФТИАН им. К.А. Валиева РАН, 117218, Москва, Нахимовский пр-т, 36 корп.1

DOI 10.34077/Semicond2019-174

Ультратонкие слои кремния и скрытого окисла (Ultra Thin Body and Buried oxide - UTBB) в структурах кремний-на-изоляторе (КНИ) с эквивалентной толщиной встроенного оксида (Equivalent Oxide Thickness - EOT) менее 10 нм являются перспективными для энергоэффективных высокопроизводительных микросхем на основе полностью обедняемых двухзатворных КНИ полевых транзисторов (two gate fully depleted silicon-on-insulator field effect transistors - 2G FD SOI FETs), работающих в симметричном или асимметричном режиме и для снижения напряжения питания встроенной энергонезависимой памяти (embedded non-volatile memory - e-NVM). Однако снижение толщины диоксида кремния до $EOT < 10$ нм приводит к появлению разнообразных дефектов в КНИ слое после высокотемпературной обработки за счет перенасыщения оксида атомами водорода и их накопления в газовых блистерах на гетерограницах Si/SiO₂, а также растворения сверхтонкого диоксида кремния при высокотемпературном отжиге [1].

Чтобы избежать подобных дефектов в структурах типа UTBB SOI было предложено использовать вместо диоксида кремния более толстый диэлектрик с высокими теплопроводностью и диэлектрической постоянной (high-k) [2]. Минимальное значение $EOT = 7.9$ нм было получено для стека с аморфным Al₂O₃ из-за относительно толстых слоев SiO₂, нанесенных для достижения низкой плотности состояний (interface states – IFS) на гетерогранице Si/SiO₂ $\sim 5 \times 10^{11} \text{eV}^{-1} \text{cm}^{-2}$. Кроме того, высокая эффективная плотность отрицательного заряда $3 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ сохранялась даже после отжига при 1200°C.

Ранее был предложен подход к уменьшению собственного заряда в high-k стеке с помощью диполей на гетерогранице между разнородными диэлектриками [3]. Нам не удалось обнаружить публикаций о поведении стеков из high-k диэлектриков в случае использования их в качестве встроенного окисла в КНИ структурах при высокотемпературных термообработках. Такие КНИ структуры с $EOT < 5$ нм впервые сформированы нами водородным переносом слоя кремния на пластины кремния со стеками HfO₂/Al₂O₃. Быстрыми термообработками (БТО) при $T > 900^\circ\text{C}$ встроенный заряд снижен до $< 10^{12} \text{cm}^{-2}$, а подвижность увеличена до $100 \text{cm}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$. Утечки в подложку наблюдаются при полях $> 10^6 \text{В/см}$ (Рис.1). Заметный гистерезис сток-затворных характеристик может быть связан с перезарядкой IFS или диполей на границах раздела и формированием сегнетоэлектрической фазы оксида гафния.

С целью разделения этих эффектов проведены эксперименты с различными толщинами и порядком high-k слоев в диэлектрических стеках КНИ структур. Подтверждено присутствие электрических диполей на гетерограницах оксидов металла и кремния, центров захвата и переноса носителей заряда, а также присутствие сегнетоэлектрической фазы в изолирующих слоях [4].

Рис.1. — Сток-затворные кривые КНИ псевдо-МОП транзистора с 20 нм слоем Al:HfO₂ (БТО 950°C).

[1] Vincent, et al. *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 101914 (2009).

[2] Landru, et al. *ECS Journ. Solid State Scie. and Technol.*, **2** Q83 (2013).

[3] Shimura, et al. *Jpn. J. Appl. Phys.*, **55**, 04EB03 (2016).

[4] V.P. Popov et al. *In Proc. of Intern. Conf. EUROSIO-ULIS 201, Grenoble, 1-3 April 2019.*