Гистерезис тока в полевых структурах кремний-на-сапфире с тонкими межслойными оксидами гафния и кремния

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

¹ ИФП им. А.В. Ржевнова СО РАН, 630090, Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, 13

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

DOI 10.34077/Semicond2019-173

Проводимости слоёв кремния-на-сапфире (КНС) с встроенными на гетерогранице тонкими слоями диоксидами кремния и гафния исследованы методом псевдо-МОП транзистора (Рис.1). Кристаллический диоксид гафния с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k) и теплопроводностью является перспективным межслойным диэлектриком, обеспечивающим низкое тепловое сопротивление и операции записи и хранения информации благодаря сегнетоэлектрическим свойствам ALD HfO_2 с особыми условиями роста. Присутствие в high-k оксидах вакансий кислорода и протонов, являющихся центрами захвата зарядов из кремния и транспорта в скрытом оксиде, ведет к появлению гистерезиса в P - E зависимостях, аналогичных сегнетоэлектрическому переключению, но связанному или с перезарядкой центров, или с переполяризацией диполей на гетерограницах, или с генерацией двойного электрического слоя (ДЭС) [1,2]. В МДП структурах слои high-k диэлектриков часто демонстрируют гистерезис в зависимости поляризации от поля, подобный сегнетоэлектрикам.

Различить сегнетоэлектричество и поляризацию P из-за области пространственного заряда (ОПЗ) только по измерению заряда Q в сравнении с приложенным полем E практически невозможно. Дополнительные данные должны быть получены, чтобы подтвердить, что наблюдаемый материал является сегнетоэлектрическим. Дискриминация может быть осуществлена электрическими методами путем измерения диэлектрической проницаемости ϵ . В случае сегнетоэлектрика, температурная зависимость ϵ должна следовать известному закону Кюри-Вейса. Также должна отсутствовать выраженная зависимость ϵ от толщины сегнетоэлектриков в низкочастотном диапазоне, которая наблюдается для ДЭС у ионных проводников. Более того, поляризация ОПЗ имеет толщинно-зависимую величину насыщения P , тогда как сегнетоэлектрическая поляризация не зависит от толщины при отсутствии неактивного слоя вблизи электрода [3]. Проведены эксперименты с различными толщинами скрытых high-k оксидов в КНС структурах при различных температурах. Подтверждено присутствие электрических диполей на гетерограницах оксидов гафния и кремния, а также присутствие сегнетоэлектрической фазы $\text{Pca}_{21}\text{HfO}_2$, обеспечивающей переключения проводимости в полях $\sim 10^3$ В/см. Эффекты переключения в КНС псевдо-МОП транзисторах с межслойным SiO_2 требуют больших на 2 порядка полей и связаны в основном с переполяризацией диполей на гетерогранице $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (Рис.1).

Рис.1. – Сток-затворные кривые КНС псевдо-МОП транзистора с SiO_2 слоем.

[1] N. Miyata et al. *Appl. Phys. Lett.* **113**, 251601 (2018).

[2] Y. He et al. *IEEE EDL*, **40**, 139 (2019).

[3] H.Cliem and B.Martin. *J. Phys.: Condens. Matter* **20**, 321001(2008).