

**Отзыв на автореферат диссертации АНДРЕЕВА Дмитрия Владимировича
«Зарядовые явления в диэлектрических пленках МДП-структур и элементов
энергонезависимой памяти при сильнополевой инжекции электронов»,
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 01.04.07 - Физика конденсированного состояния**

Работа посвящена исследованию эффектов, сопровождающих процесс инжекции электронов через диэлектрические слои по механизму Фаулера-Нордгейма (т.е. с переносом по зоне проводимости). Наряду со слоями SiO₂ изучен ряд практически важных high-*k* материалов и многослойных диэлектриков (dielectric stack), таких как SiO₂/HfO₂, Hf_{0.8}Al_{0.2}O_x/Al₂O₃, SiO₂/ФСС (фосфоро-силикатное стекло). Важность темы бесспорна: рассматриваемые материалы находят применение в элементах флэш-памяти и, частично, в полевых транзисторах. Особое внимание автор уделил анализу накопления электронов в пленке изолятора, приводящего к искажению зонной диаграммы всей МДП-структуры, изменению условий токопротекания и некоторым особенностям пробоя.

Реферат производит очень хорошее впечатление. Судя по изложенному, автор выполнил большой объем работы – в основном, экспериментальной. Заслуживает внимания предложенный и введенный в практику метод стрессовых и измерительных уровней тока, который основан на процедуре приложения к структуре напряжения по специальной нетривиальной программе. Метод реально применяется на производстве. Разработана также модель, описывающая изменение зарядового состояния МДП-структуры в режиме заряда емкости и режиме инжекции.

Серьезных недостатков при чтении обнаружено не было. Есть три небольших замечания, к которым, вероятно, диссертант сможет дать комментарий непосредственно при защите:

1. В автореферате, стр. 15, вообще нет цитирования литературы. Наверно, правильнее было бы дать ссылки на 2-3-4 работы – хотя бы для того, чтобы иметь возможность акцентировать прогресс, достигнутый в диссертации;
2. Величины заряда (charge-to-breakdown) на рис. 3 на стр. 11 примерно на два-три порядка ниже, чем интуитивно ожидается для SiO₂ в режиме Фаулера-Нордгейма при напряжениях немного выше выхода из режима прямого туннелирования. Скорее всего, автор изучал ситуацию гораздо более сильного поля. Этот момент следует прокомментировать;
3. На стр. 7 вверху следовало бы привести принятые автором значения эффективных масс m^* для изучаемых материалов. Это почти не заняло бы места – а важность параметра такова, что точные величины оказались бы исключительно полезными даже в формате автореферата.

Есть несколько мелких опечаток, например: «низкоэнергетическом электронами» (стр. 10, с 9 св.), «слой диоксид кремния» (стр. 9, с 18 сн.).

Однако, вне всякого сомнения, сделанные замечания не умаляют ценности выполненной работы и не снижают общего положительного мнения о ней. Считаю, что исследование проведено на высоком профессиональном уровне, дает заметный вклад в соответствующую сферу (физику и технику МДП-структур с одно- и много- слойными диэлектрическими слоями). Диссертация соответствует всем требованиям ВАК, а ее автор Д.В. Андреев заслуживает присуждения ему степени к.т.н. по специальности 01.04.07.

17.05.2016

Векслер Михаил Исаакович
в.н.с., д.ф.-м.н. (01.04.10), профессор РАН
Физико-технический институт (ФТИ) им. А.Ф. Иоффе РАН
Политехническая ул. 26, 194021 Санкт-Петербург
тел. (812)2927321, E-mail: shulekin@mail.ioffe.ru, mikvex@yandex.ru

ученый секретарь ФТИ РАН

проф. А.П. Шергин