

# ИНЖЕКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ СО СТРУКТУРОЙ МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

В.В. Андреев<sup>1</sup>, Г.Г. Бондаренко<sup>2</sup>, М.С. Васютин<sup>1</sup>,  
Д.С. Васютин<sup>1</sup>, А.М. Михальков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана,  
Калужский филиал*

E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru

<sup>2</sup> *Московский государственный институт электроники и математики*

E-mail: niipmt@cea.ru

В настоящее время для выявления потенциально ненадежных интегральных схем и полупроводниковых приборов со структурой металл-диэлектрик-полупроводник как непосредственно на полупроводниковой пластине, так и в корпусах применяются радиационно-термическая обработка (РТО), рентгеновское облучение, облучение ультрафиолетом и т.п. При облучении планарных изделий происходит накопление заряда на дефектах оксидной пленки, что приводит к отказу либо при облучении, либо через некоторое время после облучения [1]. РТО позволяет определить образцы ИМС с аномально низкой радиационной стойкостью и (или) с наличием РЕ, характеризующим аномально низкую надежность [1]. В работах [2, 3] была показана идентичность большинства процессов деградации МДП-структур, протекающих при воздействии ионизирующей радиации и при сильнополевой инжекции электронов в диэлектрик. Замена радиационных обработок сильнополевой инжекцией существенно упрощает процесс испытаний, а также позволяет получить большой объем дополнительной информации за счет контроля изменения зарядового состояния подзатворного диэлектрика в процессе сильнополевого воздействия.

Инжекционная обработка заключается в сильнополевой инжекции в подзатворный диэлектрик заряда электронов заданной плотности. Инжекция заряда в диэлектрик обычно осуществляется в режиме поддержания постоянного тока или напряжения при одновременном контроле изменения зарядового состояния диэлектрической пленки. До настоящего времени инжекция заряда в диэлектрик применялась в основном для контроля качества технологических процессов и оценки влияния на МДП-структуры ионно-плазменных, радиационных и сильнополевых воздействий [1, 3]. Вместе с тем, полученные в [2, 3] результаты указывают на возможность применения сильнополевой туннельной инжекции для выявления потенциально ненадежных МДП-структур, а также, в качестве обработки, для выявления и устранения дефектов зарядовой стабильности окислов и, как следствие, повышения надежных характеристик МДП-структур.

Данная работа посвящена исследованию режимов инжекционно-термической обработки МДП-структур Si-SiO<sub>2</sub>-Al, направленных на модификацию их зарядового состояния и повышение надежности за счет снижения

плотности зарядовых дефектов и повышения величины заряда, инжектированного до пробоя.

В качестве экспериментальных образцов использовались МДП-конденсаторы со структурой Si-SiO<sub>2</sub>-Al, изготовленные промышленным способом на пластинах КЭФ-4,5. Подзатворный диэлектрик толщиной 100 нм получали термическим окислением кремния при температуре 1000 °С с добавлением 3% HCl. Алюминиевые электроды площадью 10<sup>-2</sup> см<sup>2</sup> напыляли магнетронным методом. После формирования алюминиевых электродов проводили отжиг пластин в среде азота при температуре 475 °С. Инжекционная обработка МДП-структур заключается в сильнополевой по Фаулеру-Нордгейму инжекции из кремния в подзатворный диэлектрик МДП-структур заряда электронов 0,5 мКл/см<sup>2</sup> импульсом постоянного тока 10<sup>-4</sup> А/см<sup>2</sup>, при температуре образца от 20 до 100 °С.

Исследуемые МДП-конденсаторы разбивались на две группы. К образцам первой группы прикладывалась токовая нагрузка, и они выдерживались до пробоя образца. Вторая группа образцов сначала проходила инжекционную обработку, заключающуюся в приложении токового воздействия специальной формы, после чего подвергалась инжекционной нагрузке, подобно первой группе. На рисунке 1(а) представлена диаграмма изменения токовой нагрузки во время инжекционной обработки (сплошная линия) и во время инжекционных испытаний (пунктирная линия). На рисунке 1(б) приведена временная зависимость изменения напряжения на МДП-структуре. Участок I на зависимости V<sub>1</sub>(t) соответствует заряду емкости МДП-структуры постоянным током I<sub>1</sub>. На этом участке весь ток, протекающий через диэлектрик, является емкостным. Инжекция заряда в диэлектрик начинается при переходе в высоковольтный диапазон (рисунок 1, участок II). После окончания процесса заряда емкости МДП-структуры (рисунок 1, участок III) весь ток, протекающий через образец, становится инжекционным.

На участке IV (рисунок 1) при амплитуде токового воздействия I<sub>2</sub> осуществляется основная инжекция заряда в диэлектрик, продолжающаяся до его пробоя, для оценки процессов зарядовой деградации МДП-структур в сильных электрических полях.

При проведении измерений плотности тока инжекции на участках III и IV (рисунок 1, б) составляли j<sub>1</sub>=1·10<sup>-7</sup> А/см<sup>2</sup> и j<sub>2</sub>=1·10<sup>-4</sup> А/см<sup>2</sup> соответственно, а поляриность токовой нагрузки обеспечивала сильнополевую туннельную по Фаулеру-Нордгейму инжекцию электронов из кремниевой подложки.

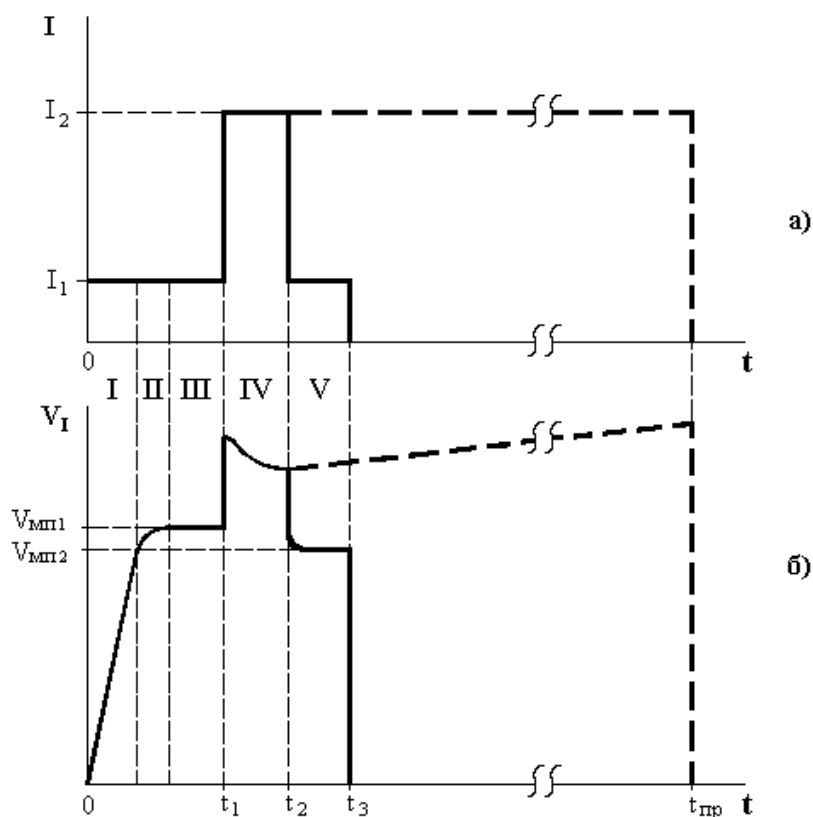


Рис.1. Диаграмма токовой нагрузки (а) и временная зависимость изменения напряжения на МДП-структуре (сплошная линия – инжекционная обработка; пунктирная линия – инжекционные испытания).

На рисунке 2 приведены совмещенные гистограммы распределения МДП-структур по напряжению микропробоя и заряду, инжектированному до пробоя. Гистограммы распределения МДП-структур по заряду, инжектированному до пробоя, характеризуют зарядовую дефектность в условиях инъекции носителей, т.е. инжекционную стойкость образцов – способность выдерживать инъекцию носителей в сильных электрических полях.

В данном эксперименте более 90% структур попадают в главный пик гистограммы распределения МДП-структур по напряжению микропробоя. Разброс значений напряжения микропробоя в главном пике гистограмм распределения МДП-структур по напряжению микропробоя составил от 0,8 до 1,5 В.

Сравнение гистограмм распределения структур по заряду, инжектированному до пробоя, показывает (рисунок 2), что в результате инжекционной обработки инжекционная стойкость МДП-структур возросла по сравнению с исходными образцами.

Большая часть структур имеет  $Q_{inj}^{BD}$  в диапазоне от 0,01 до 0,10 Кл/см<sup>2</sup>. Максимальная величина  $Q_{inj}^{BD}$ , измеренная на структурах без инжекционной обработки, составила 19 мКл/см<sup>2</sup>, в то время как максимальная величина  $Q_{inj}^{BD}$ , измеренная после инжекционной обработки, составила 30 мКл/см<sup>2</sup>. Максимальная величина  $Q_{inj}^{BD}$  характеризует предельные возможности технологии с точки зрения инжекционной стойкости.

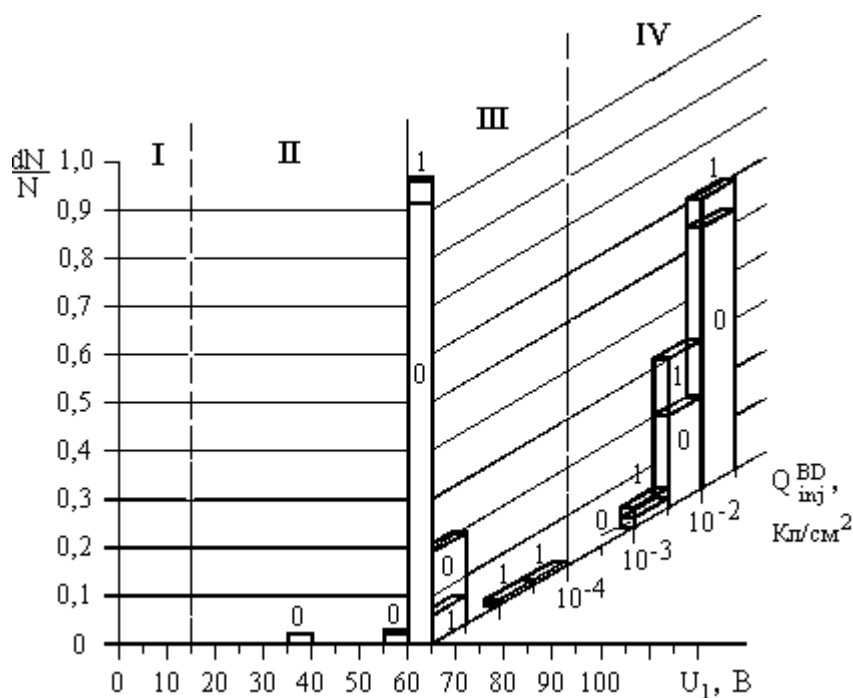


Рис. 2. Совмещенные гистограммы распределения МДП-структур по напряжению микропробоя и заряду, инжестированному до пробоя (0 – без обработки; 1 – после инъекционно термической обработки при 20 °С).

Сравнение гистограмм распределения структур по заряду, инжестированному до пробоя, показывает, что в результате инъекционной обработки, выполненной при температуре 20 °С, инъекционная стойкость МДП-структур возрастает по сравнению с исходными образцами. Средняя величина  $Q_{inj}^{BD}$ , измеренная на структурах без инъекционной обработки, составила 10 мКл/см<sup>2</sup>, в то время как средняя величина  $Q_{inj}^{BD}$ , измеренная после инъекционной обработки, составила около 20 мКл/см<sup>2</sup>. С повышением температуры, при которой проводится инъекционно термическая обработка, данный эффект уменьшается и при 100 °С наблюдается обратный эффект, приводящий к уменьшению средней величины  $Q_{inj}^{BD}$ . Данное явление, по-видимому, связано с затруднением активации электронных и дырочных ловушек при повышенных температурах. Следовательно, для повышения эффективности инъекционно термической обработки ее необходимо проводить при пониженных температурах.

#### Список литературы

1. Катеринич И.И., Курин Ф.М., Попов В.Д. Метод радиационно-термической обработки и повышения надёжности МОП интегральных схем // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру. 1996. Вып.3-4. С.127-132.
2. Knoll M., Brauning D., Fahrner W.R. Comparative studies of tunnel injection and irradiation on metal oxide semiconductor structures // J. Appl. Phys. 1982. Vol.53. No.10. P.6946-6952.
3. Bondarenko G.G., Andreev V.V., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A., Drach V.E. Plasma and injection modification of gate dielectric in MOS structures// Thin solid films. 2003. V.427. P.377-380.