

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЗАРЯДОВОЕ СОСТОЯНИЕ СТРУКТУР «МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК» ПРИ СИЛЬНОПОЛЕВОЙ ИНЖЕКЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ

В.В. Андреев<sup>1</sup>, Г.Г. Бондаренко<sup>2</sup>, А.А. Столяров<sup>1</sup>,  
М.С. Васютин<sup>1</sup>, С.И. Коротков<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> *Московский государственный институт электроники и математики  
E-mail: andreev@bmstu-kaluga.ru*

In this paper was studied the temperature effect on the processes, characterizing the changes of the charge state of MOS structures with thermal silicon dioxide film, with passivated film phospho-silicate glass (PSG) under high-field electron injection. It was found out, that rise temperature during the process of injection updating leads to reduction of density of an accumulated positive charge and reduces intensity of degradation processes in MOS structures Si-SiO<sub>2</sub>-PSG-Al. The magnification of voltage detrusion in the center of band gap at the injection updating spent at raised temperature, is caused by reduction of density of the positive charge accumulated in film SiO<sub>2</sub> of MOS structures. It has been shown, that performance of injection updating of MOS structures Si-SiO<sub>2</sub>-PSG-Al in a mode of maintenance of a constant voltage on gate at the raised temperatures increments not only density of a grasped negative charge, but also its heat-resistant detail.

Модификация интегральных схем и полупроводниковых приборов с МДП-структурой позволяет улучшать или корректировать их характеристики на завершающем этапе технологического цикла изготовления кристаллов или непосредственно на готовых приборах. В данной работе изучено влияние температуры на процессы, характеризующие изменение зарядового состояния МДП-структур с термической пленкой SiO<sub>2</sub>, пассивированной пленкой ФСС при сильнополевой инжекционной модификации.

В качестве экспериментальных образцов использовались тестовые МДП-конденсаторы, изготовленные на пластинах КЭФ-4,5 кристаллографической ориентацией <100>. SiO<sub>2</sub> толщиной 90 нм получали термическим окислением кремния в сухом кислороде при температуре 1000°C с добавлением 3% HCl. Пленку ФСС формировали диффузией фосфора из газовой фазы путем пиролиза смеси POCl<sub>3</sub>-O<sub>2</sub> при температуре 900°C. Затем пластины отжигались в атмосфере азота при температуре 1000°C. Алюминиевую пленку толщиной 1,2 мкм напыляли магнетронным методом, после чего, используя фотолитографию, формировали Al электроды площадью 10<sup>-5</sup> ÷ 10<sup>-2</sup> см<sup>2</sup> и удаляли окисел с обратной стороны пластины. Последующий отжиг проводили при температуре 475°C в среде азота. Исходные образцы имели следующие характеристики: плотность поверхностных состояний в центре запрещенной зоны ~2·10<sup>10</sup> эВ<sup>-1</sup> см<sup>-2</sup>, плотность подвижного заряда в окисле не более 1,6 ·10<sup>9</sup> Кл/см<sup>2</sup>. Модификацию зарядового состояния подзатворного диэлектрика МДП-структур проводили с использованием

сильнополевой туннельной инжекции электронов из кремниевой подложки в диапазоне температур от 20 до 100° С.

В результате проведенных исследований было установлено, что для инжекционной модификации используемых экспериментальных образцов наиболее подходящим является режим инжекции электронов из кремния при положительных напряжениях на затворе от 70 до 75 В (это соответствовало плотностям тока  $10^{-6} \div 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup>). Меньшие напряжения приводили к очень длительным временам обработки, а более высокие напряжения интенсифицировали генерацию положительного заряда и возрастание плотности поверхностных состояний. На рис. 1 представлены временные зависимости изменения напряжения середины зоны ( $\Delta V_{MG}$ ) для МДП-структур Si-SiO<sub>2</sub>-ФСС-Al, полученные при различных температурах в режиме инжекции электронов из кремния при напряжении на затворе 73 В.

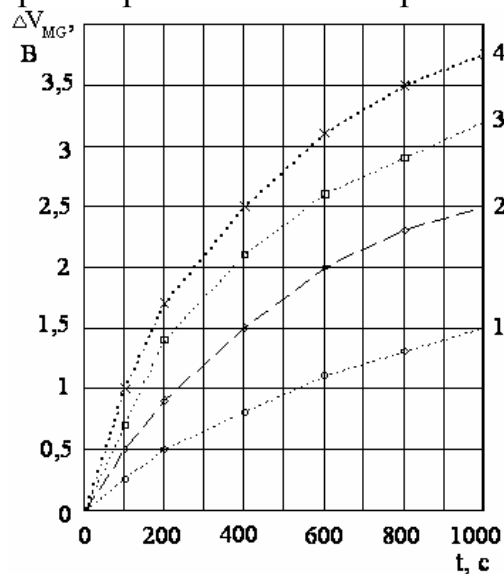


Рис. 1

На рис.1 приняты следующие обозначения для характеристик: 1 – зависимость, полученная при температуре 20 °С; 2 – 50 °С; 3 – 75°С; 4 – 100°С. Как видно из рис.1, с ростом температуры происходит интенсивное увеличение  $\Delta V_{MG}$ .

На рис. 2 представлены зависимости изменения напряжения на МДП-структурах Si-SiO<sub>2</sub>-ФСС-Al (кривые 1,2,3) и Si-SiO<sub>2</sub>-Al (кривые 4,5,6), изготовленных в одном технологическом процессе, от величины инжектированного заряда при различных амплитудах туннельного тока. На рис. 2 приняты следующие обозначения для кривых: 1,4 – для амплитуды плотности туннельного тока  $10^{-7}$  А/см<sup>2</sup>; 2,5 –  $10^{-6}$  А/см<sup>2</sup>; 3,6 –  $10^{-5}$  А/см<sup>2</sup>. На графиках 1,2,3 показана зависимость изменения напряжения от величины инжектированного заряда на МДП-структурах Si-SiO<sub>2</sub>-ФСС-Al, на графиках 4,5,6 – на МДП-структурах Si-SiO<sub>2</sub>-Al.

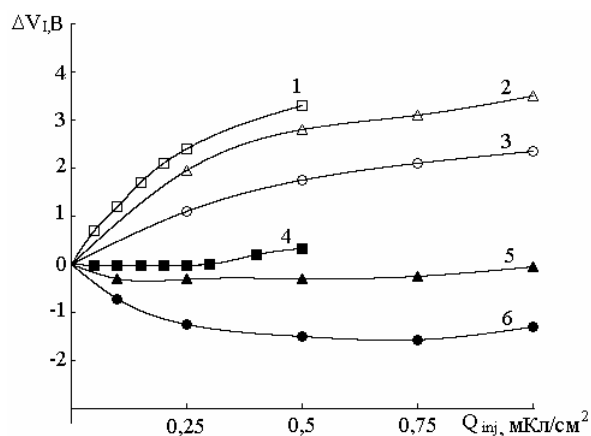


Рис.2

Как видно из рис. 2, изменение зарядового состояния структур Si-SiO<sub>2</sub>-ФСС-Al зависит от взаимодействия электрических полей, создаваемых данными зарядами.

Для исследования процесса генерации положительного заряда в МДП-структурах с SiO<sub>2</sub> проводилась сильнополевая туннельная инжекция электронов из кремниевого электрода. На рис. 3 показаны изменения напряжения на МДП-структуре Si-SiO<sub>2</sub>-Al в режиме протекания постоянного инжекционного тока плотностью 1 мА/см<sup>2</sup>, полученные при различных температурах образцов. Данные изменения напряжения пропорциональны плотности положительного заряда, накапливающегося в диэлектрической пленке МДП-структуры в процессе туннельной инжекции электронов.

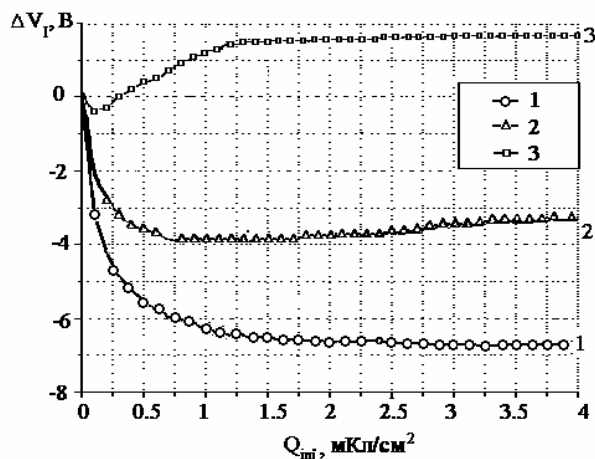


Рис. 3

На рис. 3. приняты обозначения: 1 – характеристика для температуры образца 20 °С; 2 – 50 °С; 3 – 100 °С.

На рис. 4 показаны зависимости изменения напряжения ΔVMG на МДП-структурах Si-SiO<sub>2</sub>-Al и Si-SiO<sub>2</sub>-ФСС-Al под действием сильнополевой туннельной инжекции электронов из кремния в зависимости от инжектированного заряда для различных температур. На рис. 4 приняты обозначения для характеристик: 1, 5, 1' – получены при температуре инжекции 20 °С; 2, 6, 2' – 50 °С; 3, 3' – 75 °С; 4, 7, 4' – 100 °С; 1-4, 1'-4' – для плотности тока инжекции 10<sup>-6</sup> А/см<sup>2</sup>; 5, 6, 7 – для плотности тока инжекции 10<sup>-3</sup> А/см<sup>2</sup>.

Кривые 1 – 7 соответствуют МДП-структурам Si-SiO<sub>2</sub>-Al, кривые 1' - 4' – для МДП-структур Si-SiO<sub>2</sub>-ФСС-Al.

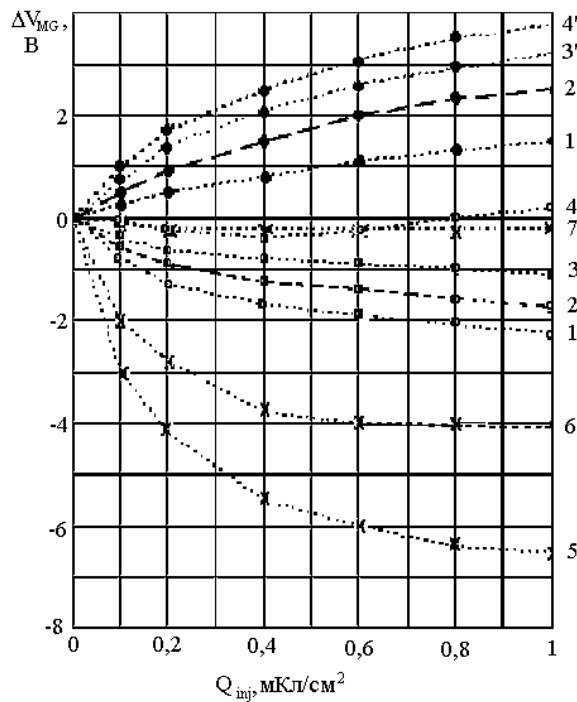


Рис. 4

Из графиков видно, что основной вклад в увеличение напряжения на МДП-структурах с многослойным диэлектриком SiO<sub>2</sub>-ФСС при сильнополевой туннельной инжекции электронов из кремния с ростом температуры оказывает уменьшение накопления положительного заряда дырок, захватываемых на ловушки в двуокиси кремния.

В результате проведенных исследований установлено, что выполнение сильнополевой инжекционной модификации МДП-структур в режиме поддержания постоянного напряжения на затворе при повышенных температурах увеличивает не только плотность захватываемого отрицательного заряда, но и его термостабильную компоненту. После отжига инжекционно модифицированных МДП-структур Si-SiO<sub>2</sub>-ФСС-Al в течение часа при 200°С характер кривых, приведенных на рис. 1, сохранялся, однако абсолютные значения  $\Delta V_{MG}$  уменьшались примерно на 40%. Проведение инжекционной модификации при повышенной температуре, таким образом, существенно снижает плотность накапливаемого положительного заряда.

1. В.С.Солдатов, Н.В.Соболев, И.Б.Варлашов и др. Электронный захват в МДП-структурах с термическим оксидом кремния при туннельной инжекции. Изв. вузов. Физика. № 12, с. 82-84, 1989.
2. В.В.Андреев, В.Г.Барышев, Г.Г.Бондаренко, А.А.Столяров, В.А.Шахнов. Зарядовая деградация МДП-систем с термическим оксидом кремния, пассивированным фосфорно-силикатным стеклом, при высокополевой туннельной инжекции// Микроэлектроника. № 6, с.640-646, 1997.
3. В.В.Андреев, Бондаренко Г.Г., Драч В.Е., Лоскутов С.А., Столяров М.А., Чухраев И.В. Влияние температуры на накопление положительного заряда в МДП-структурах в условиях сильнополевой инжекции. Перспективные материалы. № 4. с. 32-37, 2006.