

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННО- И ИНЖЕКЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИХ ОБРАБОТОК НА МОДИФИКАЦИЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЛЕНОК МДП-СТРУКТУР

В.В. Андреев, Корнев С.А., Власовский А.И.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Калуга, Россия, e-mail: vladimir\_andreev@bmstu.ru

## Аннотация

Модификация структур металл-диэлектрик-полупроводник (МДП), направленная на уменьшение дефектности подзатворного диэлектрика и изменении параметров приборов, является перспективным направлением развития современной микроэлектроники. Для модификации МДП-структур в настоящее время широко используются различного рода обработки: радиационное облучение, плазменные воздействия, сильные поля и т.д. [1-3]. В данной работе проведено исследование влияния радиационно- и инжекционно-термических обработок на модификацию МДП-структур, используемых в современных микросхемах и сенсорах радиационных излучений. В качестве ионизирующего излучения использовались электроны, протоны и гамма-излучение.

## Экспериментальные методы и образцы

Двуокись кремния толщиной 30 ÷ 100 нм получали термическим окислением кремния в атмосфере кислорода при температуре 1000 °С 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 °С. В качестве затвора использовали плёнки поликремния (Si\*) легированные фосфором и пленки алюминия.

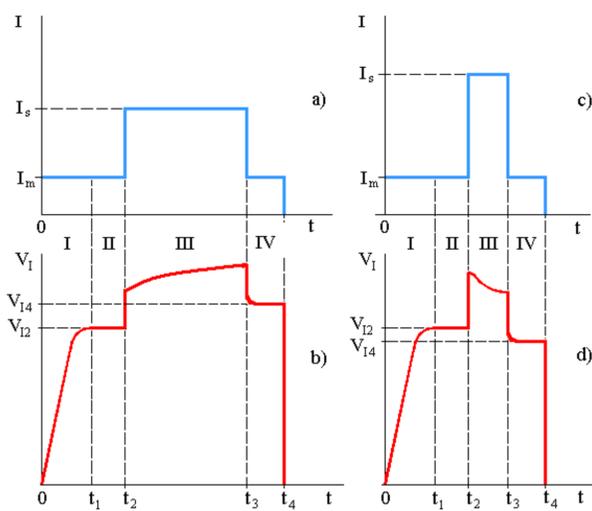


Рис.1. Временные зависимости токовой нагрузки (а,с) и изменения напряжения на МДП-структуре (b,d) при модификации зарядового состояния МДП-структур на основе SiO<sub>2</sub>-ФСС (а,b) и инжекционной обработки структур на основе пленки SiO<sub>2</sub>.

## Выводы

Установлено, что процессы модификации и деградации тонких, наноразмерных диэлектрических пленок МДП-структур и границы раздела с полупроводником, наблюдающиеся при инжекционно-термической обработке (ИТО) [1], во многом аналогичны процессам, протекающим при радиационно-термической обработке (РТО), и, следовательно, РТО, используемая для улучшения качества диэлектрических пленок, может быть заменена на ИТО, как более простой метод, позволяющий контролировать изменение зарядового состояния МДП-структур в процессе обработки. Показано, что величина заряда, инжектированного в диэлектрик, и напряженность электрического поля, при которой проводится инжекция, являются основными параметрами, определяющими эффективность инжекционно-термической обработки.

## Модель инжекционной модификации

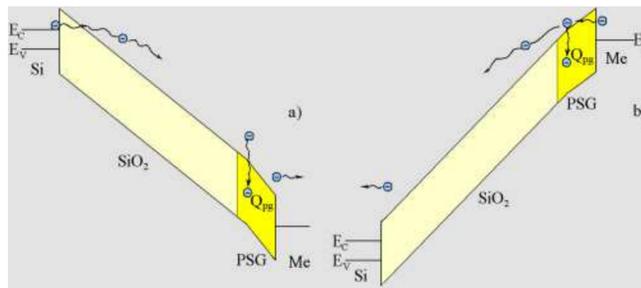


Рис.2. Энергетические зонные диаграммы, характеризующие зарядовую модификацию МДП-структуры с подзатворным диэлектриком SiO<sub>2</sub>-ФСС при инжекции электронов из кремния Si (а) и при инжекции электронов из металлического затвора (б)

$$\Delta V_1(+)=\frac{q}{\epsilon\epsilon_0}\left[n_{pg}(d_{ox}-x_{pg})+n_i(d_{ox}-x_n)-p(d_{ox}-x_p)\right]$$

$$n_{pg}=\sum_{i=1}^3 N_{pgi}\cdot\left[1-\exp\left(-\frac{\sigma_{pgi}\cdot Q_{inj}}{q}\right)\right]$$

$$n_i=N_i\cdot\left[1-\exp\left(-\frac{\sigma_i\cdot Q_{inj}}{q}\right)\right]$$

$$q\frac{dp}{dt}=J_n\cdot[(m-1)+g]\cdot\sigma_p\cdot(N_p-p)-J_n\cdot\sigma_n\cdot p$$

## Приборы с инжекционной модификацией

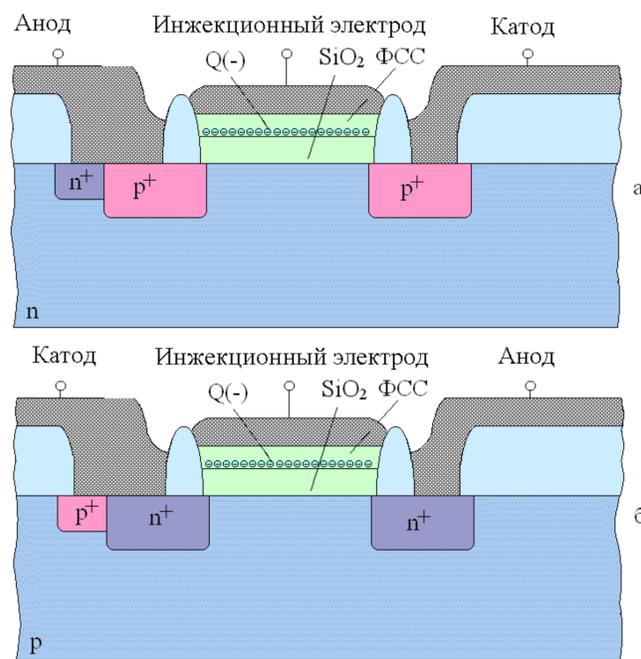


Рис. 3. Конструкция МДП-транзисторов или RADFET сенсоров с возможностью инжекционной и радиационной модификацией подзатворного диэлектрика (б)

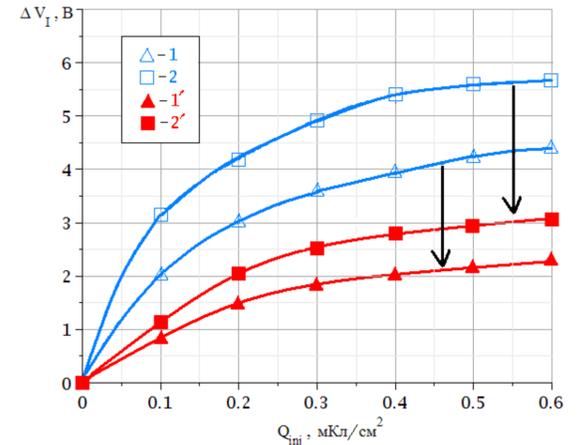


Рис. 4. Приращение напряжения на МДП-структуре при модификации (1,2) и после отжига при 200 °С (1',2') от плотности инжектированного заряда для образцов с различной концентрацией фосфора в пленке ФСС: (1, 1') - 0,7%; (2, 2') - 1%

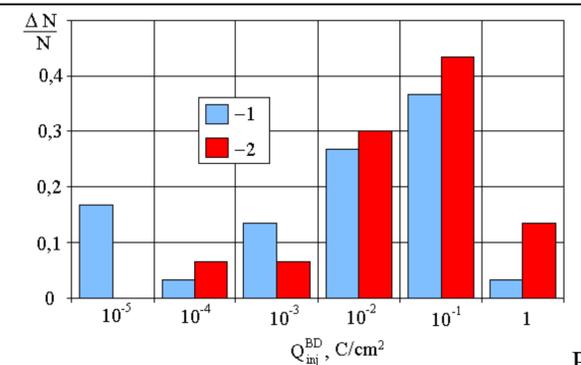


Рис. 5. Относительные гистограммы распределения МДП-структур по заряду, инжектированному до пробоя для образцов без обработки (1) и после инжекционно-термической обработки (2).

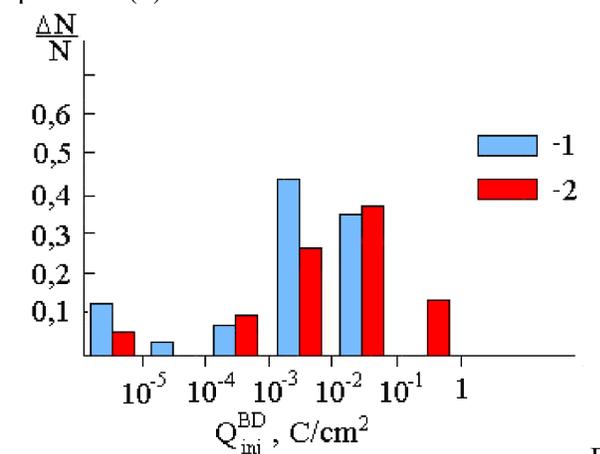


Рис. 6: Относительные гистограммы распределения МДП-структур по заряду, инжектированному до пробоя для образцов без радиационно-термической обработки (1) и после такой обработки (2).

## Список литературы

- [1] Andreev D.V., Bondarenko G.G., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Use of High-Field Electron Injection into Dielectrics to Enhance Functional Capabilities of Radiation MOS Sensors // Sensors. 2020. V.20. Is.8. P.2382(1-11).
- [2] Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Андреев В.В. Изменение зарядового состояния МОП-структур с радиационно-индуцированным зарядом при сильнополевой инжекции электронов // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2023. №1. С. 55-60.
- [3] Andreev D.V., Maslovsky V.M., Andreev V.V., Stolyarov A.A. Modified Ramped Current Stress Technique for Monitoring Thin Dielectrics Reliability and Charge Degradation // Phys. Status Solidi A. 2022. Vol. 219. Is. 9. P. 2100400(1-5).