54-я Международная Тулиновская конференция по Физике Взаимодействия Заряженных Частиц с Кристаллами

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ СТРУКТУР МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК-ПОЛУПРОВОДНИК

Д.В. Андреев[1], В.В. Кузнецов[1], Г.К. Гришин[1], В.В. Андреев[1]

[1] *МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Калуга, Россия, dmitrii_andreev@bmstu.ru*

Аннотация

В данной работе представлены результаты исследования физических процессов в МДП-структурах, вызванных облучением протонами с различными энергиями и флюенсами. Исследована возможность наводораживания пленки двуокиси кремния протонным облучением и влияние этого процесса на изменение электрофизических характеристик МДП-структур. Показано, что протонное облучение полупроводниковых приборов и интегральных микросхем позволяет не только оценить их радиационную стойкость [1], но и проводить модификацию характеристик приборов [2-3].

Экспериментальные образцы

Исследуемые МДП-конденсаторы формировались на пластинах КЭФ-4,5 кристаллографической ориентацией <100>. Диоксид кремния толщиной 80÷100 нм получали термическим окислением кремния в атмосфере кислорода при температуре 1000 °С с добавлением 3% HCl. Верхние электроды формировались с использованием фотолитографии по напыленной алюминиевой пленке [1].

Облучение протонами проводили на ускорителе. Различные области поверхности полупроводниковой пластины, содержащей сформированные МДП-структуры, облучались протонами с энергией от 100 до 500 кэВ и флюенсами в диапазоне от 6,7 ·10^{11} см$^{-2}$ до 5,7· 10^{13} см$^{-2}$. Плотность потока протонов составляла 1,1÷2,29·10^{-8} А/см^2, что исключало возможность разогрева исследованных образцов

Сильнополевая туннельная инжекция электронов проводилась при положительной полярности алюминиевого электрода на экспериментальной установке, основанной на прецизионном генератора/измерителе тока/напряжения PXIe-4135, который является модулем серии PXI от компании National Instruments.

Распределение пробегов протонов

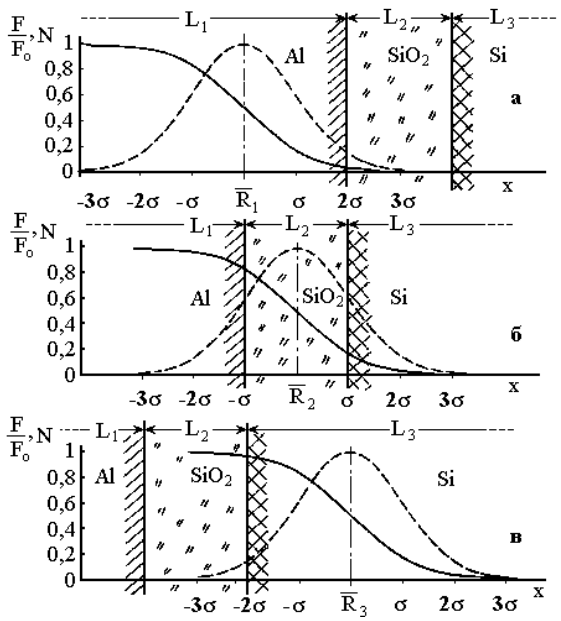

Рис. 4. Распределение пробегов протонов в МДП-структуре при начальных энергиях E_{01} = 123,4 кэВ (а), E_{02} = 141,6 кэВ (б), E_{03} = 157,8 кэВ (в). Сплошные линии - относительные изменения величины потока с глубиной, пунктир - распределение пробегов R относительно среднего значения $\bar{R}$ (нормированные к 1 при R= $\bar{R}$). L_1, L_2, и L_3 - толщины слоев Al, SiO_2, Si соответственно; σ - стандартное отклонение в распределениях пробегов.

.

С целью определения возможности использования протонного пучка для наводораживания отдельных слоев МДП-структуры был проведен расчет распределения потоков протонов от расстояния в МДП-структуре в зависимости от энергии приведенный на рис. 1. Расчеты, выполненные для интересующего нас диапазона энергий E_0 = 120-160 кэВ, показали, что распределения величин пробегов протонов составляющие примерно половину толщины слоя SiO_2. Это не даёт возможности обеспечить полное поглощение потока протонов в пределах слоя двуокиси кремния.

Результаты

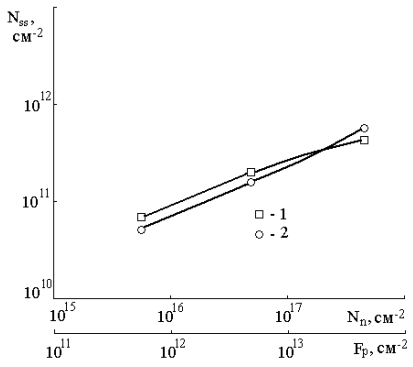

Рис. 2. Зависимость интегральной плотности поверхностных состояний от плотности инжектированных электронов (N_n) - кривая 1 и флюенса протонов (F_p) - кривая 2.

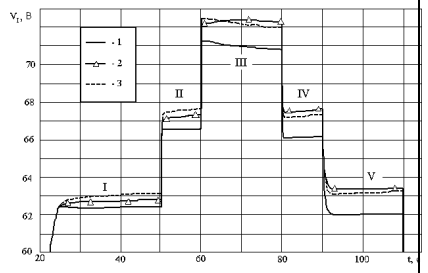

Рис. 3. Временные зависимости напряжения на МДП-структуре для различных энергиях протонного облучения при флюенсе 5,7□10^{12} см$^{-2}$: 1 - не облученный образец и 130 кэВ; 2 - 150 кэВ; 3 - 170 кэВ. Плотность инжекционного тока для различных участков: I, V - 6·10^{-8} А/см^2; II, IV - 6·10^{-7} А/см^2; III - 6·10^{-6} А/см^2.

Полученные экспериментальные данные могут быть описаны на основе модели, учитывающей движение водорода [4].

Выводы

Установлено, что при протонном облучении МДП-структур Si-SiO_2-Al с энергией от 150 до 500 кэВ изменение их зарядового состояния характеризуется ростом плотности поверхностных состояний. Величина интегральной плотности поверхностных состояний пропорционально увеличивается с возрастанием флюенса протонов и слабо зависит от энергии частиц, если ее значения обеспечивают преимущественное прохождение потока протонов через пленку алюминия. Найдено, что протонное облучение приводит к модификации характеристик объема пленки SiO_2, проявляющейся в генерации в сильных электрических полях в облученных структурах электронных ловушек с сечениями захвата 10^{-16} ÷10^{-18} см^2, по-видимому, имеющих водородную природу. Плотность электронных ловушек возрастает, если энергия заряженных частиц обеспечивает преимущественное поглощение потока протонов в объеме пленки SiO_2. При возрастании флюенса протонного облучения также наблюдается увеличение плотности электронных ловушек.

Литература

[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] Pejović M.M. Application of p-channel power VDMOSFET as a high radiation dose sensor// IEEE Trans. Nucl. Sci. Vol. 62 (2015) P.1905-1910.

[3] Andreev V.V., Maslovsky V.M., Andreev D.V., Stolyarov A.A. Charge effects in dielectric films of MIS structures being under high-field injection of electrons at ionizing radiation// Proc. SPIE. International Conference on Micro- and Nano-Electronics 2018, 11022 (2019) 1102207(1-7).

[4] Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Андреев В.В., Масловский В.М., Столяров А.А. Зарядовые явления в диэлектрических пленках МДП-структур при одновременном воздействии радиационных излучений и сильнополевой инжекции электронов// Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2020. №3. С. 53-57.