

53-я Международная Тулиновская конференция по Физике Взаимодействия Заряженных Частиц с Кристаллами, 2024 год

Удаление метильных групп с поверхности low-k диэлектриков плазмой различного состава

А.А. Соловух^{1,2}, А.А. Сычева², Е.Н. Воронина^{1,2}

1-Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, 119991 Москва, Россия

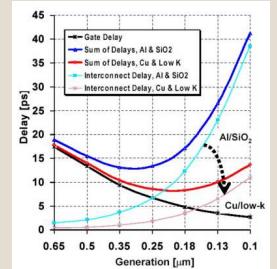
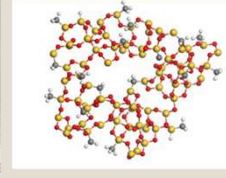
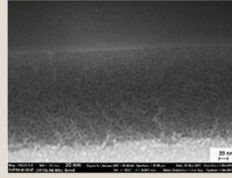
2-НИИЯФ им. Д. В. Скобельцына, МГУ имени М.В. Ломоносова, 119234 Москва, Россия

E-mail: solovykh.aa19@physics.msu.ru

Актуальность и проблемы:

1. Повышение быстродействия СБИС
2. Проблемы использования low-k диэлектриков:
 - деградация при плазменной обработке;
 - диффузия атомов меди вглубь диэлектрика.
3. Проблема увеличения времени задержки управляющих сигналов (RC-задержки)

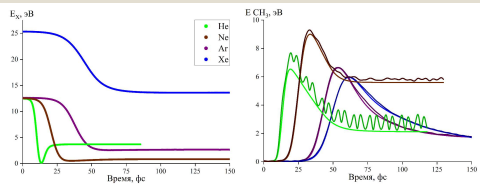
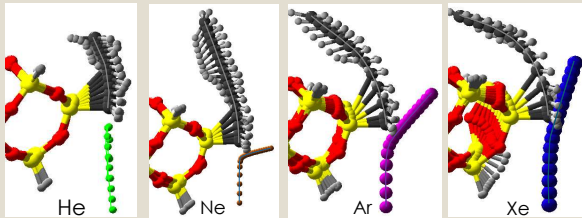
Цель: С помощью моделирования методом DFT изучить механизмы удаления метильных групп с поверхности low-k диэлектрика ионами низкой энергии (5–30 эВ), в качестве которых выбраны ионы инертных газов (He, Ne, Ar, Xe) и молекулярные ионы O_2^+ , N_2^+ .



Воздействие атомов He, Ne, Ar и Xe.

Влияние массы и зарядового числа атома на:

- а) изменение угла налетающей частицы, б) угол вылета CH_3 -радикала,
- с) деформации, возникающие в модели



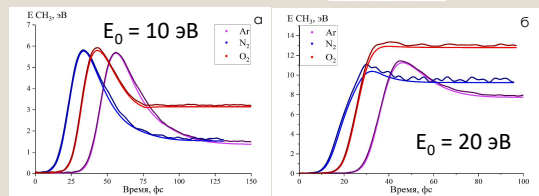
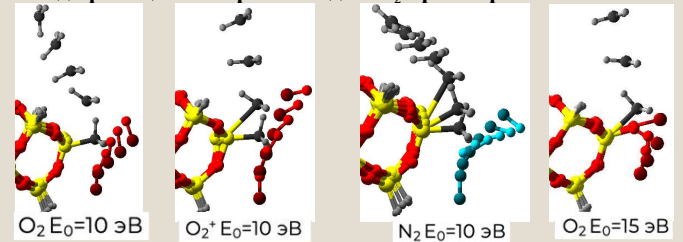
Найденные величины пороговой энергии: He – 12.5 эВ, Ne – 7.5 эВ, Ar – ~ 11 эВ, Xe – более 25 эВ.

Для Ne, Ar и Xe преимущественно столкновительный характер взаимодействия с метильной группой, для He – возможность возмущения электронной плотности вблизи группы, что приводит к интенсивным колебаниям C-H связей в ней и увеличивает вероятность её отрыва.

Воздействие молекулярных ионов O_2^+ и N_2^+

1) Особенности воздействия молекул:

- более высокая пороговая энергия (9 – 10 эВ);
- возможность электронно-колебательно-вращательных возбуждений молекул в результате удара;
- модификация поверхности для O_2 при энергии > 15 эВ

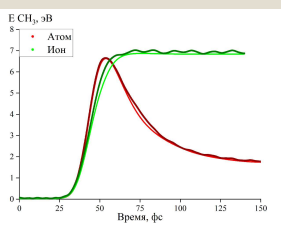


2) Механизмы воздействия ионов близки (понижение пороговой энергии и образование зарядового дефекта)

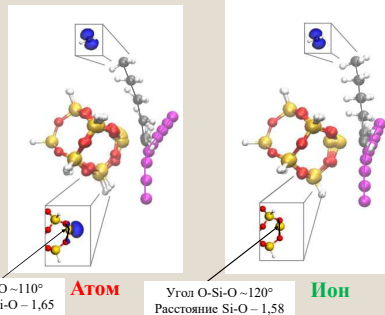
Влияние зарядов частиц

Особенности удаления метильной группы положительно заряженным ионом:

- а) его нейтрализация, б) образование зарядового дефекта с) отсутствие притяжения CH_3 -радикала к поверхности



Сравнение E_{CH_3} при воздействии атома и иона с $E_0 = 12.5$ эВ



Угол O-Si-O ~110°
Расстояние Si-O – 1,65

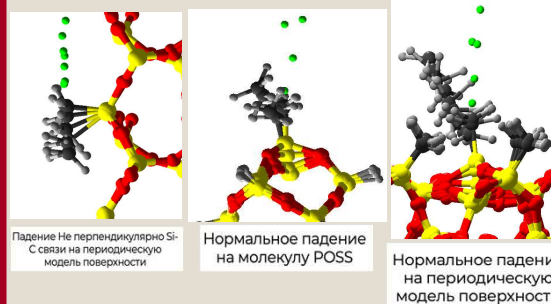
Атом

Угол O-Si-O ~120°
Расстояние Si-O – 1,58

Ион

Воздействие на периодическую модель α -кварца (011)

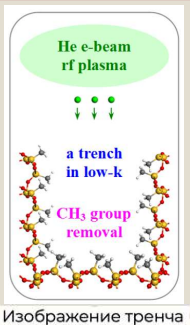
- а) Подтверждение корректности использования упрощенной модели для случая движения вдоль поверхности
- б) Учет релаксации модели при воздействии на дно тренча



Падение He перпендикулярно Si-S связи на периодическую модель поверхности

Нормальное падение на молекулу POSS

Нормальное падение на периодическую модель поверхности



Изображение тренча

Выводы:

1. Подтверждена возможность удаления метильных групп ионами инертных газов низкой энергии (до 30 эВ).
2. Механизм взаимодействия Ne, Ar и Xe с метильной группой преимущественно столкновительный, в то время как He вызывает возмущение электронной плотности вблизи группы.
3. Обнаружена возможность образования зарядовых дефектов.
4. Полученные результаты моделирования могут быть использованы для разработки новой и оптимизации существующей технологии изготовления СБИС.