

УДК 533.9.07

ЗАРЯДОВЫЕ СОСТОЯНИЯ МОП-СТРУКТУР

Жаворонок И.А., Тихон О.И.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Мадвейко С.И – канд.техн.наук, доцент, заведующий кафедры ЭТТ

Аннотация. Проведен анализ процессов, происходящих на поверхности МОП-структур во время плазменной обработки, причины возникновения зарядовых состояниях и их влияние на параметры выходного изделия.

Ключевые слова. Зарядовые состояния, МОП-структура, плазменная обработка.

Введение. Важной особенностью полупроводников является сильная зависимость их электрических и оптических свойств от состояния поверхности и способов ее обработки. При любых физико-химических обработках, связанных с получением атомно-чистых поверхностей, полупроводниковые кристаллы-подложки помимо собственных поверхностных состояний, обусловленных прерыванием периодичности потенциала кристаллической решетки, приобретают и другие, несобственные поверхностные состояния, обусловленные возмущением потенциала идеальной атомно-чистой поверхности. Наличие локальных поверхностных уровней энергии приводит к тому, что электроны и дырки могут «прилипнуть» к поверхности, образуя поверхностный электрический заряд. При этом под поверхностью формируется равный по величине и противоположный по знаку пространственный заряд, который приводит к перераспределению подвижных носителей заряда и изменению приповерхностных свойств полупроводников [1].

Практически с момента появления МОП ИС известно, что их надежность и выход годных в значительной степени зависят от вида и величины заряда в подзатворном диэлектрике. До сих пор ведущие полупроводниковые фирмы интенсивно изучают характеристики зарядовых состояний в структуре кремний-термически выращенный оксид кремния. Цель этих исследований – получить предельные значения степени интеграции, быстродействия, потребляемой мощности, надежности и т.п. Особый интерес представляет анализ причин изменения зарядовых состояний полупроводниковых структур после их обработки в плазме СВЧ разряда большого объема.

Основная часть. Электронные приборы, особенно устройства микроэлектроники, весьма чувствительны к состоянию поверхности кристалла. Поверхность кристалла является двумерным дефектом и способна искажать его приповерхностные свойства. Кроме того, взаимодействие поверхности полупроводника с кислородом, парами воды и другими компонентами окружающей среды приводят к образованию оксидов, гидратов, сульфатов и других соединений как в виде отдельных молекул, так и в виде тонких пленок. Такие поверхности содержат рекомбинационные центры, способные оказывать сильное влияние на параметры приборов. Успешная и надежная работа электронных приборов в значительной степени зависит от стабилизации поверхности и качества ее защиты от окружающей среды [2].

Так как в процессе производства при плазмохимической обработке полупроводниковые структуры микросхем могут подвергаться радиационному, термическому и другим видам воздействия. Это может приводить к изменению плотности зарядов, находящихся на границе раздела $Si-SiO_2$. Дело в неравновесных носителях. В момент генерации они, как правило, обладают большей энергией, чем равновесные. Однако в дальнейшем в результате рассеяния на фононах и дефектах кристаллической решетки кинетическая энергия неравновесных носителей быстро уменьшается до нормальных значений. Обычно это время порядка 10^{-10} с.

С уменьшением времени жизни неравновесных носителей обратный ток через р-п-переход часто значительно превосходит величину, определяющуюся физическими

свойствами материала перехода. Называют несколько причин, которые могут спровоцировать это явление [3]:

– На поверхности кристалла может возникнуть поверхностный ток вследствие появления электронной или ионной проводимости по окисной пленке либо по адсорбирующей пленке влаги. Тогда появится ток утечки и обратный ток резко возрастает.

– Как уже отмечалось, высокая концентрация поверхностных состояний вызывает появление поверхностной зоны. В такой зоне возможно протекание дополнительного тока.

– При большей плотности поверхностного заряда возможно образование в ОПЗ инверсного слоя, перпендикулярного металлургической границе *p-n*-перехода. Инверсный слой замыкает *p-n*-переход и образует так называемые каналы проводимости. И в этом случае наблюдается значительное увеличение обратного тока перехода. Необходимо отметить, что увеличение обратного тока через *p-n*-переход изменяет параметры не только диодов, но и других приборов, содержащих *p-n*-переходы: транзисторов, тиристоров и так далее.

– Величина скорости поверхностной рекомбинации оказывает существенное негативное влияние на коэффициент усиления α коэффициент передачи по току β биполярного транзистора. Рост скорости поверхностной рекомбинации s приводит к уменьшению времен жизни носителей τ базовой области транзистора.

– Величина обратного пробивного напряжения также зависит от состояния поверхности кристалла. Если при зарядении поверхностей кристалла, перпендикулярных металлургической границе, возникает обогащение ОПЗ, площадь *p-n*-перехода уменьшается. Если приложить к такому переходу разность потенциалов, напряженность электрического поля в суженной области перехода окажется выше, чем в объеме кристалла, и возникает вероятность поверхностного пробоя перехода. Переход носителей из объема на поверхностные состояния является одной из причин шумов полупроводниковых приборов на низких частотах.

Как было отмечено, поверхностные дефекты влияют на электрофизические свойства полупроводников. В действительности (в силу различных причин) на поверхности кристалла возникают так называемые поверхностные энергетические состояния, которые изменяют энергетический спектр носителей заряда на поверхности и под ней [2].

Эти причины можно разделить на три группы. Нарушения периодичности потенциала решетки вследствие обрыва её у поверхности приводят к появлению так называемых уровней Тамма. Наличие некомпенсированных валентных связей у поверхности атомов вызывает появление уровней Шокли. Две первые группы поверхностных уровней существуют на идеальной, атомарно чистой поверхности. Третью группу поверхностных уровней представляют уровни, образованные в результате наличия адсорбированных атомов и прочих поверхностных дефектов кристалла [2].

Поверхностные уровни Тамма обусловлены тем, что потенциальный барьер поверхностного атома отличается от потенциального барьера глубинного атома. Решение уравнения Шредингера для поверхностных сильно- и слабосвязанных электронов приводит к выводу о существовании помимо обычных энергетических зон поверхностных энергетических состояний электронов. Концентрация таких уровней пропорциональна поверхностной концентрации атомов и может достигать $10^{19}(\text{м}^{-3})$. При такой высокой концентрации уровней Тамма возможно их расщепление в энергетическую зону. Важным является то, что поверхностная зона в полупроводниках находится в запрещенной зоне и может принимать носители из ближайшей объемной зоны. В обычных условиях, когда поверхность покрыта слоем тонкой оксидной или иной пленки, уровни Тамма исчезают, поскольку восстанавливается периодичность потенциала. В этом случае возникают новые поверхностные уровни уже на поверхности пленки [2].

Поверхностные уровни Шокли образуются в результате обрыва части химических связей поверхностных атомов. Некомпенсированные валентные связи способны принимать и фиксировать носители заряда. Анализ модели Шокли применительно к одномерной цепочке атомов показал, что в запрещенной зоне образуется два энергетических уровня, один из

которых отличается от валентной зоны, другой – от зоны проводимости. Уровни Шокли, как и таммовские уровни, могут существовать только на идеальной поверхности [2].

Энергетические уровни третьей группы формируются на реальной, то есть загрязненной или дефектной поверхности, причем адсорбированный атом или ион создаст свое поверхностное энергетическое состояние, которое исчезает с удалением адсорбата. Причина формирования этих уровней аналогична уже рассмотренной для уровней Тамма. Это искажение крайней потенциальной ямы [2].

Заключение. Таким образом, состояние поверхности полупроводника обычно оказывает существенное влияние на работу полупроводниковых приборов. Возникновение поверхностных состояний и поверхностного заряда зачастую негативно влияет на параметры последних. В связи с этим необходимы очень тщательная очистка и обработка поверхности полупроводниковых кристаллов в рамках технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов.

Список литературы

1. Влияние плазмохимической модификации поверхности на электронный транспорт и работу выхода в кремниевых кристаллах: статья / Яфаров Р. К.: СФ ИРЭ РАН, Саратов, 2018. – 18-26 с.
2. Физические основы микроэлектроники: учебное пособие – изд. 2-е, исправленное / В. Н. Изумнов. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. – 272 с.
3. Физические основы микроэлектроники: учебное пособие / В. Н. Изумнов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2014. – 358 с.

UDC 533.9.07

CHARGE STATES OF MOS STRUCTURES

Zhavaranak I.A., Tsikhan O.I.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – PhD, associate professor, head of the department of ETT

Annotation. The analysis of the processes occurring on the surface of MOS structures during plasma processing, the causes of the occurrence of charge states and their influence on the parameters of the output product is carried out.

Keywords. Charge states, MOS structure, plasma processing.