

Г.Е. АЙВАЗЯН

ПЛАНАРНОЕ ГЕТТЕРИРОВАНИЕ СЛОЕМ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

Продemonстрирована возможность эффективного геттерирования структурных дефектов и быстродиффундирующих примесных атомов слоями пористого кремния при высокотемпературном отжиге.

Ключевые слова: кремний, поры, примеси, дефекты, геттерирование, время жизни.

Проблема создания бездефектной поверхностной зоны полупроводниковых пластин, в которой формируются элементы интегральных схем, в современной микроэлектронной технологии решается путем использования различных методов геттерирования. При этом широкое распространение получили методы, основанные на создании интенсивных геттерных стоков на нерабочей поверхности пластин посредством абразивных и лазерных обработок, осаждения пленок двуокиси кремния или нитрида кремния, имплантации ионов и диффузии примесей, формирования слоя пористого кремния (ПК) и др. [1-4]. В последнем случае считается, что геттерирование быстродиффундирующих примесных атомов, зародышей дефектов и самих дефектов происходит за счет их адсорбции в развитую поверхность ПК [2].

В настоящее время значительное развитие получили методы создания геттера на локальных областях рабочей поверхности полупроводниковых пластин, например, на дорожках скрайбирования или изоляции (планарное геттерирование). В [1,3] продемонстрирована высокая эффективность планарного геттерирования в кремнии ионно-имплантированными слоями при последующем высокотемпературном окислении. Показано, что дальное действие геттерирования локальной бомбардировкой ионами аргона составляет 10-30 мм и обеспечивается повышенной скоростью генерации примесей и точечных дефектов вблизи поверхности, а также передвижением фронта механических напряжений вдоль поверхности от имплантированной области в процессе термообработки.

Цель настоящей работы - изучение возможности планарного геттерирования быстродиффундирующих примесных атомов и структурных дефектов слоем ПК.

Образцы и методы исследования. Исходными образцами служили полированные пластины бездислокационного кремния с удельным сопротивлением 35 Ом.см (легирующая добавка - фосфор). Кремний с кристаллографической ориентацией в плоскости (111) был выращен методом Чохральского. Половина каждой пластины закрывалась химически стойким лаком (ХСЛ), а в незащищенных областях анодной обработкой формировали геттерные слои ПК толщиной 10...15 мкм. Анодирование осуществляли в 48%-ом водном растворе плавиковой кислоты при плотностях анодного тока 10...50 мА/см² в условиях интенсивного освещения источником белого света. После удаления ХСЛ

и последующих химических обработок образцы отжигали в атмосфере очищенного азота при температуре 1100 °С в течение 160 мин.

Объемную плотность ПК находили из гравиметрических данных на основе расчета общего объема пор, пропорционального количеству растворившегося кремния при анодировании. Для выявления структурных дефектов использовали метод селективного травления кремния в травителе Сиртля. Структуру ПК исследовали на поверхности и поперечных сколах пластин с помощью растрового электронного микроскопа.

Для оценки эффективности геттерирования на монокристаллических участках образцов были изготовлены тестовые МОП-конденсаторы. Пленку двуокиси кремния толщиной 0,2 мкм получали термическим окислением в “мягких режимах” в атмосфере сухого кислорода при температуре 1100 °С. Затвор конденсаторов создавали напылением алюминия на пластину с последующей фотолитографией таким образом, что ряды сформированных конденсаторов были параллельны границе между пористым и монокристаллическим участками. Площадь затворов составляла 1 мм², шаг между ними – 0,5 мм. На каждом из сформированных МОП-конденсаторов измерялись величины времени релаксации неравновесной емкости, из которых по методике работы [4] были рассчитаны значения генерационного времени жизни τ , характеризующие эффективность планарного геттерирования на месте расположения МОП-конденсатора.

Результаты исследования. На рисунке приведена зависимость τ (в нормированных единицах) от расстояния до границы с пористым участком d для трех значений объемной плотности ПК ($\rho = 1,18; 1,19$ и $1,21$ г/см³). Видно, что наибольшие величины времени жизни и дальное действие достигаются при $\rho = 1,21$ г/см³. При этом характерно наличие максимума, положение которого при увеличении ρ сдвигается дальше от границы с пористым участком.

Электронно-микроскопический анализ показал, что на поверхности слоя ПК поры имеют нечеткую треугольную форму и выстраиваются в правильный геометрический рисунок. Они расположены преимущественно по кристаллографическим направлениям типа $\langle 110 \rangle$, соответствующим наикратчайшим векторам трансляции в решетке монокристаллического кремния. На сколе по плоскости скольжения {111} каналы пор направлены в глубину пластины под углом к поверхности 70°. Диаметр пор составляет 0,1...0,3 мкм. В результате высокотемпературного отжига происходит фундаментальная перестройка структуры и уменьшение объема слоя ПК. Увеличивается диаметр микропор (до 1,0 мкм) и наблюдается тенденция их изоляции друг от друга и от поверхности. Эти изменения усиливаются с уменьшением ρ слоя ПК и сопровождаются образованием растягивающих механических напряжений в слое ПК [5,6].

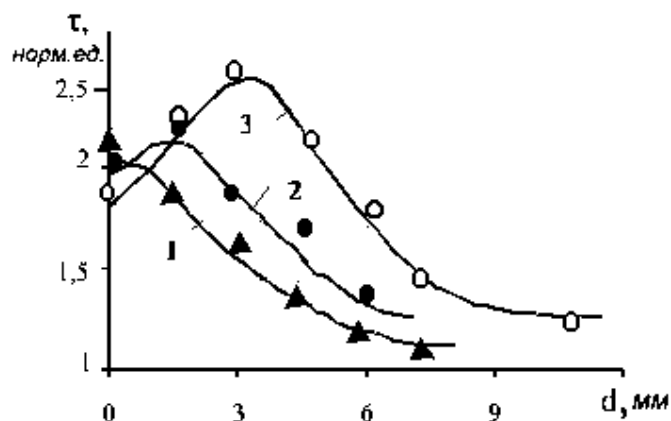


Рис. Зависимость генерационного времени жизни τ от расстояния d до границы с пористым участком для трех значений объемной плотности ПК (1 – 1,18; 2 – 1,19; 3 – 1,21 г/см³)

Представленные данные свидетельствуют о том, что геттерирование слоем ПК, скорее всего, происходит за счет взаимодействия примесных атомов и дефектов с полями упругих напряжений. Наибольший эффект геттерирования и его дальное действие (6...8 мм) достигаются в случае, когда структура ПК претерпевает наибольшие изменения, т.е. при максимальных механических напряжениях в слое ПК. Наблюдаемый в экспериментах факт уменьшения значений τ вблизи границы с пористым участком, приводящий к появлению максимума на полученных зависимостях, обусловлен, по всей видимости, образованием дополнительных структурных дефектов в приграничной с ПК зоне за счет частичной релаксации механических напряжений. Действительно, металлографические исследования показали, что после отжига в кремнии обнаруживаются следы единичных дислокаций, дислокационных петель и дефектов упаковки, концентрация которых изменяется в широком диапазоне (от 10^1 до 10^4 см⁻²) и хорошо коррелирует с величиной механических напряжений в слое ПК. Образующиеся микродефекты приводят к уменьшению значений τ при приближении к пористому участку. Как видно из рисунка, зона, где наблюдается уменьшение τ , составляет менее 3 мм.

Таким образом, при высокотемпературном отжиге возможно эффективное планарное геттерирование локальными слоями ПК на расстоянии до 8 мм. При этом вблизи границы с пористым участком формируется зона шириной до 3 мм, где происходит заметное уменьшение значений τ . Это необходимо учесть при выборе мест и размеров локальных геттерных слоев ПК.

Работа выполнена в рамках проекта МНТЦ А-431.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жолудев Г.Л., Хрипко С.Л. Исследование геттерирования в кремниевых транзисторных структурах // Микроэлектроника.- 1996. - Т. 25, вып.6. - С. 436-441.
2. Tsuo Y.S., Xiao Y. and Moore C.A. Porous Silicon. World Sci. Publ., NY, 1994, 412 p.
3. Литовченко В.Г., Шаповалов В.П. Исследование процессов геттерирования в кремнии // Микроэлектроника.- 1988. - Т.17, вып.4. - С. 305-312.
4. Nassibian A.G., Browne V.A. and Perkins K.D. Generation life-time investigation of ion-damage gettered using MOS structure // J. Appl. Phys.- 1976. - V. 47, N3. - P. 992-997.
5. Айвазян Г.Е., Варданиян А.А., Чомоян А.А., Бахпециян А.Г. Деформация кремниевых пластин с приповерхностным пористым слоем // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 1998.-Т. 51, ¹ 1.- С.29-33.
6. Ayvazyan G.E. Anisotropic Warpage of Wafers with Anodized PS Layers // Phys. Stat. Sol. (a).- 1999.- 175, N2.- R7-R9.

ЗАО “Виасфер Технопарк”. Материал поступил в редакцию 05.06.2001.

Գ. Ե. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

ԾԱԿՈՏԿԵՆ ՄԻԼԻՑԻՈՒՄԻ ՇԵՐՏՈՎ ՊԼԱՆԱՐ ՀԵՏԵՐԱՑՈՒՄ

Ցուցադրված է բարձրջերմաստիճանային թրժման դեպքում ծակոտկեն սիլիցիումի շերտերով արագ դիֆուզվող խառնուրդային ատոմների և կառուցվածքային արատների արդյունավետ հետերացման հնարավորությունը:

G. E. AYVAZIAN

PLANAR GETTERING BY THE POROUS SILICON LAYER

The possibility of efficient gettering of structural defects and rapidly diffusing impurity atoms by layers of porous silicon during high-temperature annealing is demonstrated.