

ВЛИЯНИЕ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ НА ДЕФЕКТНОСТЬ МДП-СТРУКТУР

В.В.Андреев¹⁾, В.Г.Барышев¹⁾, Г.Г.Бондаренко²⁾, А.А.Столяров¹⁾, С.А.Лоскутов¹⁾, И.В.Чухраев¹⁾

¹⁾МГТУ им. Н.Э.Баумана, Калужский филиал 248600 г.Калуга, ул. Баженова 4

²⁾МГИЭМ(ТУ) 109028, г. Москва, Б.Трехсвятительский пер., 3/12,

E-mail: niipmt@cea.ru

Исследовано влияние ионной имплантации бора на дефектность диэлектрических слоев SiO_2 и SiO_2 -ФСС (фосфорно-силикатное стекло) МДП-структур. Показано, что под действием ионной имплантации в пленках двуокиси кремния, пассивированных фосфорно-силикатным стеклом, в отличие от пленок SiO_2 наблюдается увеличение дефектности. Дефектность диэлектрических слоев на рабочих пластинах превышает дефектность на пластинах «спутниках». Обнаруженные дефекты могут быть устранены термическим отжигом.

1. Введение

Комплекс технологических операций связанных с формированием подзатворного диэлектрика является одним из важнейших этапов в производстве МДП (металл-диэлектрик-полупроводник) интегральных схем (ИС). На дефектность термической двуокиси кремния существенное влияние оказывают не только качество поверхности полупроводниковой подложки и режимы окисления, но и проведение технологических операций, выполняемых после получения пленки окисла - стабилизация окисла фосфорно-силикатным стеклом, ионная имплантация, термический отжиг и металлизация. Поэтому вызывают интерес исследования изменения дефектности диэлектрической пленки в процессе формирования подзатворного диэлектрика. Широко исследовались деградация зарядового состояния МДП-структур в условиях сильнополевой инжекции [1], стабилизирующие свойства слоя ФСС на термической двуокиси кремния [2] и процессы зарядовой неустойчивости в пленках двуокиси кремния, в которые ионной имплантацией вводились ионы фосфора или бора [3]. Вместе с тем недостаточно изучено влияние ионной имплантации на дефектность диэлектрической пленки двуокиси кремния, пассивированной фосфорно-силикатным стеклом.

Данная работа посвящена исследованию влияния ионной имплантации бора на дефектность диэлектрических пленок двуокиси кремния - ФСС.

2. Образцы и методика измерений

Были исследованы тестовые МДП-конденсаторы площадью $1,5 \text{ мм}^2$, изготовленные на пластинах КЭФ-4,5 с кристаллографической ориентацией $\langle 100 \rangle$. Двуокись кремния толщиной 100 нм получали термическим окислением кремния в атмосфере кислорода при температуре 1000°C с добавлением 3% HCl . Пленку ФСС формировали диффузией фосфора из газовой фазы путем пиролиза смеси $\text{POCl}_3\text{-O}_2$ при температуре 900°C . Алюминиевую пленку толщиной 1,2 мкм напыляли магнетронным методом, после чего, используя фотолитографию, формировали Al-электроды и удаляли окисел с обратной стороны пластины. Толщина пленки ФСС составляла 10 нм и определялась как разность толщин диэлектрической пленки, измеренных эллипсомет-

рическим методом до и после травления в селективном травителе (азотная кислота - 31 мл, фтористоводородная кислота - 46 мл, вода деионизованная - 923 мл).

Имплантация ионов бора проводилась на установке ионного легирования "Лада-30". Энергия ионов бора составляла 40 кэВ при дозе имплантации $0,05 \text{ мкКл/см}^2$.

Дефектность подзатворного диэлектрика контролировалась методом измерения напряжения микропробоя [4]. Напряжение микропробоя измерялось на линейно изменяющемся напряжении при токе фиксирования 10^{-8} А измерителем напряжения микропробоя ИМП-2М. На каждой исследованной пластине проводилось измерение напряжения микропробоя у 100 МДП-структур. В качестве информативного параметра использовалась высота главного пика гистограмм распределения МДП-структур по напряжению микропробоя N [5]. Плотность подвижного заряда, измеренного по методу термополевой обработки ($T=200^\circ \text{C}$, $V=+20 \text{ В}$), не превышала $2 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/см}^2$ для всех исследуемых образцов.

3. Экспериментальные результаты и обсуждение

С целью исключения влияния на получаемые результаты изменений дефектности подзатворного диэлектрика по площади пластины и в партии пластин исследовались изолирующие свойства диэлектрических слоев МДП-структур на пластинах, изготовленных в разных партиях и расположенных в центре и по краям пластин.

Исследования изменения дефектности термической двуокиси кремния в различных партиях пластин показали, что от партии к партии наблюдается существенное изменение изолирующих свойств диэлектрика. В частности, высоты главных пиков гистограмм распределений МДП-структур, изготовленных в различных партиях, по напряжению микропробоя лежали в пределах от 0,17 до $0,34 \text{ В}^{-1}$. Тогда как в одной партии высоты главных пиков гистограмм распределения структур по напряжению микропробоя на отдельных пластинах были близки между собой, $\Delta N=0,02 \pm 0,03 \text{ В}^{-1}$. Следовательно, дефектность подзатворного диэлектрика может изменяться в широких пределах от партии к партии пластин, оставаясь близкой для пластин, изготовленных в одной партии.

Определение равномерности распределения дефектности тонкопленочного диэлектрика по площади пластины проводилось путем измерения напряжения микропробоя структур, расположенных в центре пластины и на краях. Установлено, что двуокись кремния имеет одинаковую степень дефектности в пределах одной пластины. Об этом свидетельствуют малые значения разброса высот главных пиков гистограмм в центре и по краям пластин $\Delta N = 0,006 \pm 0,032 \text{ В}^{-1}$.

Поскольку дефектность подзатворного диэлектрика в различных партиях изменяется, то исследование влияния ионной имплантации на дефектность диэлектрических слоев МДП-структур проводилось на пластинах, прошедших операцию окисления в одной партии. При этом оценка дефектности осуществлялась как на пластинах "спутниках", содержащих МДП-структуры площадью $1,5 \text{ мм}^2$, так и на рабочих пластинах, подзатворный диэлектрик которых формировался в окнах, вскрытых в толстом окисле. Для контактирования на рабочих пластинах применялся ртутный зонд площадью 1 мм^2 .

Установлено, что операция стабилизации слоем ФСС заметно улучшает качество диэлектрика МДП-структур - уменьшается количество дефектов. Это следует из анализа гистограмм пластин, прошедших операции окисления и металлизации с гистограммами пластин после операций окисления, стабилизации ФСС и металлизации. Высоты главных пиков для пластин после стабилизации ФСС почти в полтора раза больше по сравнению с пластинами, не прошедшими операцию стабилизации ФСС. Полученные результаты совпадают с данными работы [6], где также отмечалось снижение дефектности диэлектрической пленки после стабилизации ее ФСС.

Уменьшение дефектности после проведения стабилизации ФСС может быть связано с ускоренным ростом пленки ФСС в областях дефектов, а также с экранированием локальных неоднородностей диэлектрика и границы раздела полупроводник-диэлектрик отрицательным зарядом электронов, захваченных в слое ФСС дефектных областей, при измерении напряжения микропробоя.

Ионная имплантация бора с точки зрения дефектности не оказывает заметного влияния на изолирующие свойства двуокиси кремния. К такому заключению приводит сравнение гистограмм распределения МДП-структур по напряжению микропробоя пластин, прошедших технологические операции окисления и металлизации и пластин после операций окисления, ионной имплантации и металлизации. Высоты главных пиков гистограмм близки между собой $\Delta N = 0 \pm 0,01 \text{ В}^{-1}$, что свидетельствует об близком уровне дефектности тонкопленочного диэлектрика.

На рис.1 приведены гистограммы распределения МДП-структур по напряжению микропробоя на пластинах "спутниках", прошедших операции окисления, стабилизации ФСС и ионной имплантации бора. Ионная имплантация, проведенная после стабилизации двуокиси кремния ФСС, увеличивает дефектность диэлектрической пленки.

Это выражается в уменьшении высот главных пиков гистограмм пластин, прошедших окисление, стабилизацию, ионную имплантацию и металлизацию (рис. 1). Высота главного пика гистограммы распределения структур по напряжению

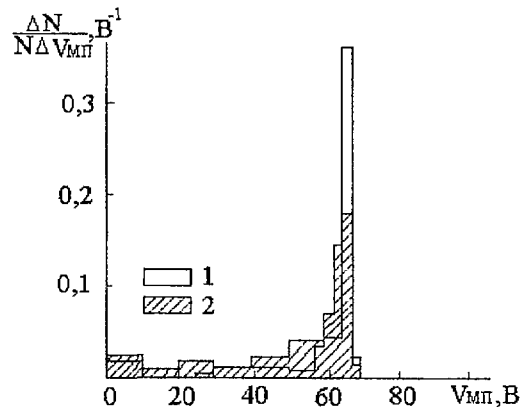


Рис. 1. Гистограммы распределения МДП-структур по напряжению микропробоя на пластинах, прошедших: 1- окисление, стабилизацию ФСС, металлизацию; 2- окисление, стабилизацию ФСС, ионную имплантацию бора, металлизацию.

микропробоя после проведения ионной имплантации снижается с $0,37$ до $0,18 \text{ В}^{-1}$. Это указывает на то, что наличие пленки ФСС толщиной 10 нм на поверхности двуокиси кремния оказывает существенное влияние на взаимодействие ионов бора с диэлектриком. Выяснение природы данного эффекта требует проведения дополнительных исследований. Под действием ионной имплантации не только увеличивается плотность дефектов изоляции, но и появляются дефекты зарядовой стабильности [7]. В частности в МДП-структурах с диэлектрической пленкой SiO_2 -ФСС, подвергнутой ионной имплантации, наблюдался повышенный рост отрицательного заряда в диэлектрике, сопровождающийся снижением заряда, инжектированного в диэлектрик до пробоя, в условиях высокополевой туннельной инжекции с 10^2 до $5 \cdot 10^4 \text{ Кл/см}^2$. Обнаруженные дефекты пленки SiO_2 -ФСС, создаваемые ионной имплантацией бора, отжигаются в результате проведения термического отжига в среде азота при температуре 1000°C . В [6] было показано, что оптимизация режимов термического отжига (расхода газа и времени выгрузки из печи) позволяет снизить дефектность подзатворного диэлектрика до уровня близкого к дефектности термической двуокиси кремния после окисления.

Результаты исследований дефектности диэлектрических слоев после проведения окисления, стабилизации ФСС и ионной имплантации бора для пластин "спутников" и рабочих пластин приведены в таблице 1. Изменение дефектности пленки диэлектрика на рабочих пластинах имеет такой же характер, как и на пластинах "спутниках". Ионная имплантация, проводимая после стабилизации двуокиси кремния ФСС, увеличивает дефектность диэлектрической пленки.

Некоторое повышение общего уровня дефектности, выражающееся в меньших значениях

высот главных пиков гистограмм распределения структур по напряжению микропробоя, может быть связано с влиянием участков диэлектрической пленки, расположенных по периметру областей подзатворного диэлектрика МДП-транзисторов на границе тонкого и толстого окислов. Сравнение экспериментальных данных,

Таблица 1

	Технологические операции	H, В ⁻¹	
		Пластины "спутники"	Рабочие пластины
1	Окисление	0,26	0,22
2	Окисление, стабилизация ФСС.	0,36	0,28
3	Окисление, ионная имплантация.	0,25	0,21
4	Окисление, стабилизация ФСС, ионная имплантация.	0,18	0,11

приведенных в таблице 1, для пластин "спутников" и рабочих пластин показывает, что от 15 до 30 процентов дефектов диэлектрической пленки на рабочих пластинах может быть связано с краевыми участками, расположенными по периметру подзатворных областей. Причем на рабочих пластинах под действием ионной имплантации происходит большее увеличение дефектности по сравнению с пластинами "спутниками" (см. таблицу 1). Снижение высоты главного пика

на пластинах "спутниках" составило 0,07 В⁻¹, а на рабочих пластинах 0,1 В⁻¹. Это может указывать на повышенную чувствительность к дефектообразованию в условиях ионной имплантации краевых участков подзатворных областей, расположенный у границы толстый окисел- подзатворный диэлектрик.

4. Выводы

Установлено, что под действием ионной имплантации бора в пленках SiO₂-ФСС в отличие от пленок двуокиси кремния наблюдается повышение дефектности. Дефектность диэлектрических слоев на рабочих пластинах превышает дефектность подзатворного окисла. От 15 до 30 % дефектов может быть связано с краевыми участками подзатворного диэлектрика.

Список литературы

1. Андреев В.В., Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Шахнов В.А. // Микроэлектроника.- 1997.- № 6.- С.640-646.
2. Валиев К.А., Дягилев В.Н., Лебедев В.И., Лубашевский А.В. Микроомощные интегральные схемы.- М.: Сов. Радио, 1975.- 256 с.
3. Offenberг M, Meger R, Balk P. // J.Vacuum Sci and Technol. -1986.- Vol.4. -№3.- P. 1009-1012.
4. Барышев В.Г., Столяров А.А. // Электронная техника.- Сер.6.- Материалы.-1983.- Вып.9.- С. 72-74.
5. Барышев В.Г., Парфенов О.Д., Сидоров Ю.А., Столяров А.А. // Технология и конструирование в электронной аппаратуре.- 1992.- Вып. 2.- С. 57-58.
6. Андреев В.В., Барышев В.Г., Парфенов О.Д., Сидоров Ю.А., Столяров А.А. // Электронная техника. Сер.6, Материалы.-1992.- Вып.2.- С.66-68.
7. Масловский В.М., Личманов Ю.О., Семанович Е.В. // Письма в ЖТФ.-1993.-Т. 19.- Вып. 24.- С. 11-16.

THE ION IMPLANTATION EFFECT ON MIS-STRUCTURE DEFECTS

V.V.Andreev¹, V.G.Baryshev¹, G.G.Bondarenko², A.A.Stolyarov¹, S.A.Loskutov², I.V.Chukhraev¹

¹Bauman Moscow State Technical University, Kaluga Branch, Bazhenov St. 4, Kaluga, 248600, Russia

²Moscow Institute of Electronics and Mathematics, B. Trekhsvyatitsky St. 3/12, Moscow, 109028, Russia, E-mail:niipmt@cea.ru

The boron ion implantation effect on MIS-structure SiO₂ and SiO₂-PSG (phosphosilicate glass) layer defects has been investigated. The test MIS capacitors of 1,5 mm² area fabricated on phosphorus-doped (resistivity 4.5 Ω·cm) Si <100> wafers were studied. Silicon dioxide of thickness 100 nm was thermally grown in O₂ at 1000°C with an addition of 3% HCl. The PSG films were 10 nm thick. In order to eliminate the gate insulator defect wafer area- and batch- variation effect on the obtained experimental results the insulating properties of MIS-structure insulator layers on the wafers that were fabricated in different batches and placed in the centre and periphery of the wafers were investigated. It was found that the gate insulator defects can widely vary from one wafer batch to another being similar for the wafers fabricated within one batch. The silicon dioxide defect value was determined to be of the same order within a wafer. Since the gate insulator defects value differs from batch to batch, the studies of the ion-implantation effect on the MIS-structure insulator layer defects were performed using the wafers oxidized within one batch. It was shown that the defects increase at silicon dioxide passivated by phosphosilicate glass under ion implantation unlike the SiO₂ films. Insulator layer defects on the operational wafers exceed the defects on the auxiliary wafers. These defects can be annihilated by thermal anneal.