

## ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ НА ЗАРЯДОВЫЕ СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ОКСИД ДИСПРОЗИЯ-КРЕМНИЙ

С. А. Малышев<sup>1</sup>, Н. В. Бабушкина<sup>1</sup>, Д. В. Жигулин<sup>2</sup>, Л. И. Романова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
E-mail n.babushkina@ifanbel.bas-net.by

<sup>2</sup>Открытое Акционерное Общество «Интеграл»,  
Научно-технический центр «Белмикросистемы», Минск

### ВВЕДЕНИЕ

В связи с постоянно уменьшающимися размерами МОП-транзисторов основной тенденцией развития является замена пленок диоксида кремния  $SiO_2$ , как затворного диэлектрика, на пленки диэлектриков с диэлектрической проницаемостью больше, чем у  $SiO_2$  ( $\epsilon > 3.9$ ) [1]. Пленки диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью, которые, будучи физически толще, в то же время по своим электрическим свойствам в МОП-структуре эквивалентны пленкам  $SiO_2$  толщиной  $\leq 5$  нм, выращенным термическим окислением. В системах диэлектрик-кремний пленки диэлектриков с высокой  $\epsilon$  не являются оксидом кремния, выращенным методом термического окисления, а наносятся извне. Это приводит к возрастанию вероятности образования переходных слоев между диэлектрической пленкой и кремниевой подложкой. В этих условиях особое значение приобретает химическая обработка поверхности кремния, оказывающая влияние на состав и толщину переходных слоев на границе полупроводник-кремний.

В работе проведено исследование трех видов обработок поверхности кремния перед осаждением пленок оксида диспрозия  $Dy_xO_y$  ( $\epsilon=12$ ) на зарядовые свойства МОП-структур: предложенный в данной работе отжиг поверхности в азоте и используемые в электронной промышленности обработки в плавиковой и серной кислотах.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе в качестве подложек использовались пластины кремния КЭФ-4.5 и КЭФ-20 (100). После кипячения в смеси  $H_2O_2:NH_4OH:H_2O = 3:3:7$  (ПАС) кремниевые пластины проходили различную обработку поверхности (таблица). Затем пластины промывались в деионизованной воде и сушились.

**Виды химической обработки поверхности кремниевых пластин перед нанесением пленок оксида диспрозия  $Dy_xO_y$**

Номер образца	Состав для химической обработки	Время обработки, мин
1	Отжиг в потоке азота $N_2$	10
2	Выдержка в растворе $HF:H_2O=1:10$	1
3	Выдержка в серной кислоте $H_2SO_4$	10

Пленки оксида диспрозия получали окислением пленок диспрозия ( $Dy$ ) в потоке сухого кислорода при  $T_{ox}=500^\circ C$  в течение  $t_{ox}=10$  мин. Зарядовые свойства МОП-структур исследовались методами вольт-фарадных (1 МГц) и вольт-амперных характеристик. Площадь индиевых полевых электродов составляла  $1.6 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$ .

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

Исследованные МОП-структуры имеют максимальную емкость в режиме аккумуляции  $C_1 = 1000$  пФ (рис.1),  $C_2 = 500$  пФ (рис.2) и  $C_3 = 650$  пФ для поверхности кремния после отжига в азоте, после обработки в плавиковой и серной кислотах. Эквивалентная толщина пленок, рассчитанная по величине максимальной емкости МОП-структур в режиме аккумуляции в предположении, что диэлектрическая проницаемость оксидной пленки такая же, как для  $SiO_2$  ( $\epsilon = 3.9$ ), и с учетом квантовых эффектов в пленках составляет  $d_1 \sim 3.6$  нм,  $d_2 \sim 7$  нм и  $d_3 \sim 5.5$  нм соответственно. Эти величины согласуются с данными ИК- и Оже-спектроскопии по составу оксидных пленок для трех исследованных обработок поверхности кремния. При отжиге поверхности кремния в азоте оксидная пленка состоит из тонкого внешнего слоя, близкого по составу к стехиометрическому оксиду диспрозия  $Dy_2O_3$ , и основной части из пиросиликата диспрозия  $Dy_xSi_yO_z$ . Эквивалентная толщина оксидной пленки ( $\sim 3.6$  нм) меньше физической ( $\sim 5.1$  нм) за счет более высокой  $\epsilon$ , чем у  $SiO_2$ . При обработке поверхности кремния в серной кислоте в составе оксидной пленки преобладает двуокись кремния, поэтому эквивалентная и физическая толщины близки по величине  $\sim 5.5$  нм. Чтобы объяснить величину эквивалентной толщины  $\sim 7$  нм при обработке в плавиковой кислоте (физическая толщина  $\sim 5.3$  нм), необходимо предположить, что к емкости оксидной пленки последовательно подключается емкость переходного слоя на границе с кремнием, которая меньше емкости пленки, что приводит к уменьшению общей емкости МОП-структуры и соответственно к увеличению эквивалентной толщины.

В МОП-структурах наблюдается положительный поверхностный заряд, величина которого (сдвиг ВФХ в сторону отрицательных напряжений) при отжиге поверхности кремния в азоте (рис.1) меньше, чем при обработке поверхности в плавиковой кислоте (рис.2), но больше, чем при обработке поверхности в серной кислоте.

В МОП-структурах с отжигом поверхности кремния в азоте (рис.1) и с обработкой в плавиковой кислоте (рис.2) наблюдается гистерезис вольт-фарадных характеристик ионного типа (обход петли гистерезиса против часовой стрелки), который типичен для двухслойных диэлектрических пленок и определяется разностью проводимости диэлектрических пленок на границе раздела. Величина гистерезиса равна 0.03 В и  $< 0.01$  В для МОП-структур с отжигом поверхности кремния в азоте и с обработкой поверхности в плавиковой кислоте соответственно. В МОП-структуре с обработкой

поверхности кремния в серной кислоте наблюдается большой гистерезис инжекционного типа 0.25 В (обход петли гистерезиса по часовой стрелке), который связан с захватом носителей заряда на границе с кремнием и свидетельствует о высокой плотности поверхностных состояний на границе раздела оксидной пленки с кремнием.

При напряжении 1В ток утечки в оксидных пленках составляет:  $\sim 3 \cdot 10^{-8}$  А при отжиге поверхности кремния в азоте,  $\sim 6 \cdot 10^{-7}$  А при обработке поверхности в плавиковой кислоте и  $\sim 2 \cdot 10^{-6}$  А при обработке поверхности в серной кислоте.

Таким образом, отжиг поверхности кремния в азоте приводит к увеличению в режиме аккумуляции максимальной емкости МОП-структур с пленками оксида диспрозия  $Du_xO_y$  в  $\sim 2$  раза по сравнению с обработкой кремния в плавиковой кислоте и в  $\sim 1.5$  раза по сравнению с обработкой кремния в серной кислоте при прочих равных условиях изготовления. Отжиг поверхности кремния в азоте приводит к уменьшению почти на порядок токов утечки в пленках оксида диспрозия. Предложенная методика отжига поверхности кремния в азоте может быть использована при изготовлении МОП-структур с пленками других диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ .

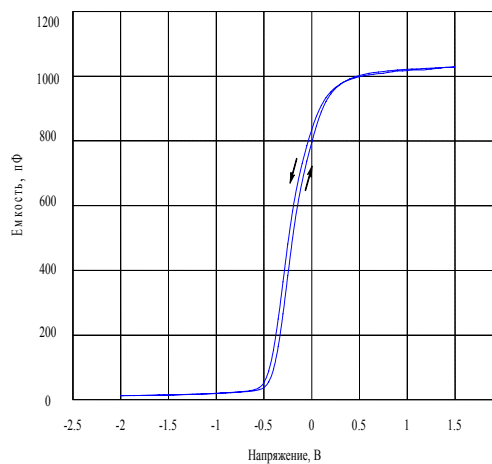


Рис.1. Вольт-фарадная характеристика МОП-структуры  $Me-Du_xO_y-Si$  с отжигом поверхности кремния в азоте

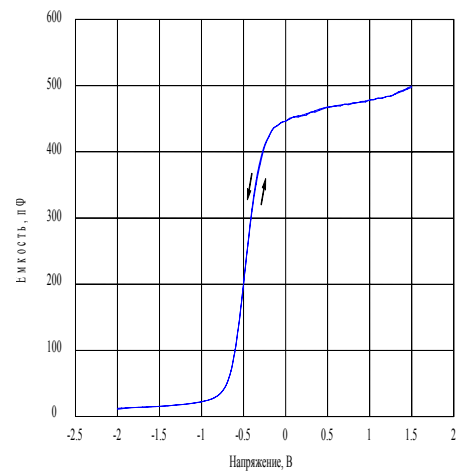


Рис.2. Вольт-фарадная характеристика МОП-структуры  $Me-Du_xO_y-Si$  с обработкой поверхности кремния в плавиковой кислоте

#### ЛИТЕРАТУРА

1. International Technology Roadmap for Semiconductors Semicond. Ind. Assoc., San Jose, CA, 2003, 2006 upday