

атомно-силовой и растровой электронной микроскопии, можно видеть, что в обоих случаях они достаточно хорошо коррелируют.

Анализ композиционного состава показал, что в полученных на разных подложках пленках он приблизительно одинаков и составляет: Cd – 50,44 атом.% и Te – 48,75 атом.%. Кроме того, исследуемые пленки содержали 0,82 атом.% алюминия.

Таким образом, анализ изображений АСМ и РЭМ пленок теллурида кадмия, полученных на кремниевых подложках с разной морфологией поверхности, позволяет заключить, что методом напыления в квазизамкнутом объеме на них можно получать пленки теллурида кадмия с разной морфологией поверхности, а именно поликристаллические пленки с размером зерна от 2,5 до 5 мкм и шероховатостью от 34,07 нм до 87,49 нм. Композиционный состав таких пленок включает: Cd – 50,44 атом.%, Te – 48,75 атом.%, и они содержат до 0,82 атом.% алюминия.

Работа выполнена в рамках договора о сотрудничестве между Белорусским государственным и Таджикским национальным университетами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Физика соединений A_2B_6 / Л.А. Бовина [и др.]; под общ. Ред. Л.А. Бовиной. – М.: Наука, 1986. – 319 с.
2. Структура и электрические свойства пленок CdTe / Р.Б. Хамрокулов [и др.] // Вестник таджикского национального университета. – 2011. – Т. 70, №6. – С. 26–31.
3. Исследование структуры пленок CdTe, полученных в квазизамкнутом объеме на различных подложках / Н.С. Султанов [и др.] // Вестник ТНУ. – 2013. – №2. – С. 91–95.

ВЛИЯНИЕ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ КРЕМНИЯ В РАСТВОРЕ $(NH_4)_2S_x$ НА ЗАРЯДОВЫЕ СВОЙСТВА ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ОКСИД ДИСПРОЗИЯ-КРЕМНИЙ

Н. В. Бабушкина¹, С. А. Малышев¹, Д. В. Жигулин², Л. И. Романова¹

¹ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск,
n.babushkina@ifanbel.bas-net.by

²Открытое Акционерное Общество «Интеграл»,
Научно-технический центр «Белмикросистемы», Минск

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных направлений развития современной кремниевой технологии является использование пленок диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью (high-k диэлектрики с $\epsilon > 3,9$) вместо пленок диоксида кремния SiO_2 в качестве затворного диэлектрика [1]. Серьезной проблемой остается образование переходных слоев и более высокая плотность поверхностных состояний на границе high-k диэлектрик–кремний. В связи с этим особое значение имеет химическая обработка поверхности кремния перед нанесением пленок high-k диэлектрика. В работе [2] было показано, что обработка поверхности кремния в водном растворе сульфида аммония $(NH_4)_2S_x$ позволяет существенно снизить плотность поверхностных состояний на поверхности кремния.

В данной работе проведено исследование влияния обработки поверхности кремния в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ перед осаждением пленок оксида диспрозия Dy_xO_y ($\epsilon=12$) на зарядовые свойства МОП-структур $\text{Me-Dy}_x\text{O}_y\text{-nSi}$.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве подложек использовались пластины кремния КЭФ-4,5 и КЭФ-20 (100). После кипячения в смеси $\text{H}_2\text{O}_2:\text{NH}_4\text{OH}:\text{H}_2\text{O} = 3:3:7$ (ПАС) кремниевые пластины проходили различную обработку поверхности (таблица). Затем пластины промывались в деионизованной воде и сушились. Пленки оксида диспрозия получали окислением пленок диспрозия (Dy) в потоке сухого кислорода при $T_{\text{ок}} = 500^\circ\text{C}$ в течение $t_{\text{ок}} = 10$ мин. Зарядовые свойства МОП структур исследовались методами вольт-фарадных (1 МГц) и вольт-амперных характеристик. Площадь индиевых полевых электродов составляла $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ см}^2$.

Таблица

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

Номер образца	Состав для химической обработки	Время обработки, мин
1	Обработка в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ при $T = 60^\circ\text{C}$	20
2	Отжиг в потоке азота N_2 при $T = 500^\circ\text{C}$	10
3	Выдержка в растворе $\text{HF}:\text{H}_2\text{O} = 1:10$	1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рисунке 1 представлены вольт-фарадные характеристики (ВФХ) МОП-структур $\text{Me-Dy}_x\text{O}_y\text{-nSi}$ с пленками оксида диспрозия осажденными на поверхности кремния после обработки в водном растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ (рис. 1, а), отжига образцов в азоте (рис. 1, б) и выдержки кремния в разбавленной HF (рис. 1, в). Видно, что после обработки поверхности кремния в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ и отжига в азоте максимальная емкость МОП-структур увеличивается до ~ 1000 пФ по сравнению с 500 пФ при выдержке в $\text{HF}:\text{H}_2\text{O} = 1:10$. Эквивалентная толщина пленок, рассчитанная по величине максимальной емкости МОП-структур в режиме аккумуляции в предположении, что диэлектрическая проницаемость пленок Dy_xO_y такая же, как для SiO_2 ($\epsilon = 3,9$), и с учетом квантовых эффектов в пленках составляет $d_1 \sim 3,6$ нм, $d_2 \sim 3,6$ нм и $d_3 \sim 7$ нм, соответственно. В МОП-структурах наблюдается положительный поверхностный заряд (сдвиг ВФХ в сторону отрицательных напряжений), величина которого одинакова при обработке в водном растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ и отжиге поверхности кремния в азоте и меньше, чем при обработке поверхности в плавиковой кислоте.

В МОП-структурах с обработкой поверхности кремния в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ наблюдается гистерезис инжекционного типа $\sim 0,08$ В (обход петли гистерезиса по часовой стрелке), который связан с захватом носителей заряда на границе $\text{Dy}_x\text{O}_y\text{-nSi}$ и свидетельствует о низкой плотности поверхностных состояний на границе раздела оксидной пленки с кремнием (рис. 1, а). В МОП-структурах с отжигом поверхности кремния в азоте (рис. 1, б) и с обработкой в плавиковой кислоте (рис. 1, в) 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 [3]. 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. При напряжении 2 В ток утечки в оксидных пленках составляет: $\sim 1 \cdot 10^{-5}$ А при обработке поверхности кремния в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$, $\sim 1 \cdot 10^{-6}$ А при отжиге поверхности кремния в азоте и $\sim 0,9 \cdot 10^{-5}$ А при обработке поверхности кремния в плавиковой кислоте.

Таким образом, показано, что вольт-фарадные характеристики МОП-структур $\text{Me-Du}_x\text{O}_y\text{-nSi}$ практически не изменяются после обработки поверхности кремния в водном растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ (рис. 1, а) и отжига поверхности кремния в азоте (рис. 1, б) при остальных одинаковых условиях нанесения, что свидетельствует об одинаковых зарядовых свойствах границы раздела $\text{Du}_x\text{O}_y\text{-nSi}$. Использование этих обработок позволяет уменьшить положительный поверхностный заряд и увеличить в ~ 2 раза максимальную емкость МОП-структур с пленками оксида диспрозия в режиме аккумуляции основных носителей заряда по сравнению с обработкой в плавиковой кислоте, которая широко применяется в микроэлектронике для удаления естественного оксида кремния. Величина тока утечки через диэлектрик при обработке в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ составляет $\sim 1 \cdot 10^{-5}$ А при 2 В.

Предложенная методика может быть использована при изготовлении МОП-структур с пленками других диэлектриков с высокой диэлектрической проницаемостью ϵ .

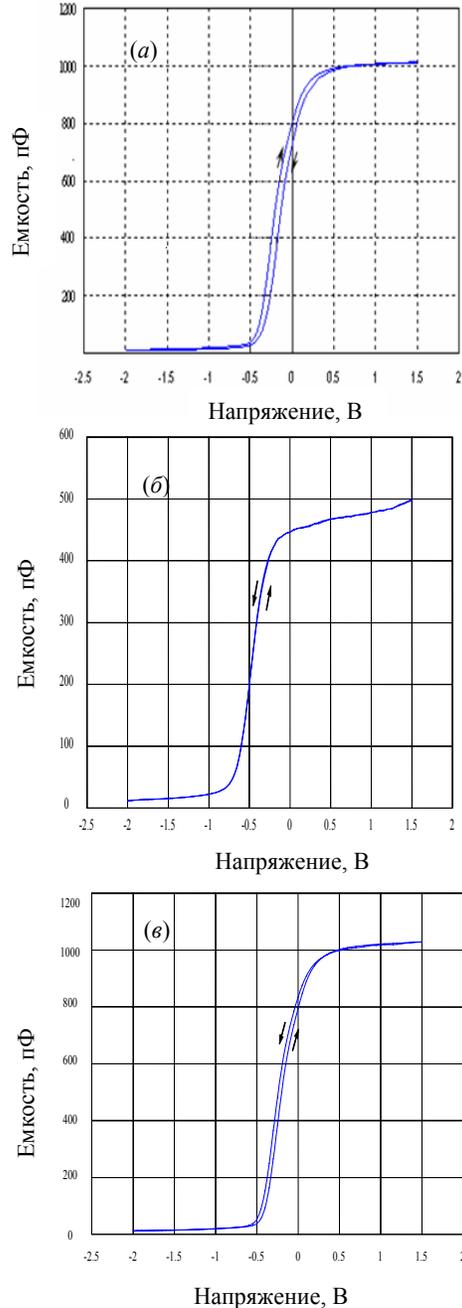


Рисунок – Вольт-фарадные характеристики МОП-структур $\text{Me-Du}_x\text{O}_y\text{-Si}$ с обработкой поверхности кремния: а – обработка в растворе $(\text{NH}_4)_2\text{S}_x$ (20 мин); б – отжиг поверхности кремния в азоте при 500 °С (10 мин) [3]; в – выдержка в растворе $\text{HF:H}_2\text{O} = 1:10$ (1 мин) [3]

ЛИТЕРАТУРА

1. International Technology Roadmap for Semiconductors Semicond. Ind. Assoc., San Jose, CA, 2003, 2006 upday
2. Robertson, J. Nature of the Si and N dangling bonds in silicon nitride / J. Robertson, W.L. Warren, J. Kanicki // Journal of Non-Crystalline Solids. 1995. V. 187. P. 297.
3. Ali, M.Y. Effect of sulfur passivation of silicon (100) on Schottky barrier height: Surface states versus surface dipole / M.Y. Ali, M.Tao // Journal of Applied Physics. – 2007. – Vol. 101. . – P. 103708.
4. Малышев, С.А. Влияние химической обработки поверхности кремния на зарядовые свойства границы раздела оксид диспрозия-кремний / С.А. Малышев, Н.В. Бабушкина, Д.В. Жигулин, Л.И. Романова // V Международная научная конференция «Материалы и структуры современной электроники». – Сборник докладов. – 10–11 октября 2012 г. – БГУ, Минск. - С.51–53.

О ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДОВ ИНДЕНТИРОВАНИЯ И СКЛЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК НА КРЕМНИИ

Д. И. Бринкевич¹, В. С. Просолович¹, Ю. Н. Янковский¹,
С. А. Вабищевич², Н. В. Вабищевич²

¹Белорусский государственный университет, prosolovich@bsu.by

²Полоцкий государственный университет, vabser@tut.by

В современной электронике полимерные пленки широко используются в качестве резистов в процессах нано- и субмикронной литографии [1]. Для измерения прочностных характеристик тонких металлических и наноструктурных пленок широко используются методы индентирования и склерометрии, однако возможность их применения для пленок полимеров до настоящего времени не исследовалась. Целью настоящей работы являлось изучение возможности применения указанных методов для исследования пленок диазохинон-новолачного резиста и сополимеров на основе метилметакрилата, нанесенных на пластины монокристаллического Si.

Полимерные пленки наносилась на поверхность пластин (диаметр 100 мм) кремния. Для пленок позитивного фоторезиста ФП9120 использовался метод центрифугирования. Толщина h пленки фоторезиста определялась скоростью вращения и составляла: 1,0 мкм при скорости вращения $\nu = 8300$ об/мин; $\sim 1,8$ мкм – при $\nu = 2900$ об/мин; $\sim 2,5$ мкм – при $\nu = 1200$ об/мин. Пленки толщиной $h = 5,0$ мкм формировались в две стадии с $\nu = 1800$ об/мин на обеих стадиях. Статистические сополимеры метакриламид/метилметакрилат синтезировались методом радикальной полимеризации из соответствующих мономеров. Пленки (толщиной 15–80 мкм) наносились на пластины кремния в виде концентрированного раствора, после чего проводилось удаление растворителя в изотермических условиях (при 25°C).

Исследование прочностных свойств структур полимер-Si проводилось при комнатной температуре на приборе ПМТ-3. При склерометрии использовалось царапание ребром четырехгранной алмазной пирамиды с квадратным основанием и углом при вершине $\alpha = 136^\circ$. Нагрузка (P) на индентор варьировалась в пределах 1–20 г. Скорость движения индентора варьировалась в диапазоне 40–120 мкм/с. Наносилось не менее 7 канавок при каждой нагрузке, а затем измерялась их ширина. Значения склерометрической микротвердости $H_{\square}^{\text{скл}}$ вычислялись в соответствии с ГОСТ 21318-75