

ФОРМИРОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ НА КРЕМНИИ ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ НАНЕСЕНИЕМ Zr В УСЛОВИЯХ САМООБЛУЧЕНИЯ

О.Г.Бобрович¹⁾, И.С.Ташлыков²⁾

¹⁾Белорусский государственный технологический университет
220630, Беларусь, г. Минск, ул. Свердлова 13-а,
тел.:(017)227-10-91, факс: (017)227-62-17, 226-10-75

²⁾Белорусский государственный педагогический университет
220050 Беларусь, г. Минск, ул. Советская 18, тел.:(017)226-48-06, факс: (017)226-40-20

В представленной работе мы исследовали состав, распределение элементов в покрытии нанесенном на пластины (100) Si при комнатной температуре, а также дефектообразование в кристаллах кремния при ионно-ассистированном нанесении металлсодержащего (Zr) покрытия в условиях самооблучения. Элементный состав покрытия и распределение элементов по глубине изучали с применением резерфордского обратного рассеяния (ROP) ионов гелия, а повреждение структуры кремния — методом просвечивающей электронной микроскопии и методом ROP в сочетании с каналированием ионов гелия. Установлено, что покрытие однородно по составу по всей толщине. Структура кремния повреждается лишь в начальный момент времени модифицирования образца, когда толщина осаждаемого покрытия меньше пробега ассистирующих ионов в материале покрытия. Уменьшение ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов Zr^+ от 10 кВ до 5 кВ приводит к увеличению толщины покрытия в ~ 1,5 раза при одинаковом времени модифицирования образцов кремния.

Введение

В данной работе для создания покрытий используется процесс ионно-ассистированного нанесения металлсодержащих (Zr) покрытий на поверхность кремния в условиях ассистирования ускоренными ионами Zr^+ при ускоряющем напряжении 5 кВ, 10 кВ и различном времени нанесения (1, 3, 6, 12 часов).

Нанесение металлсодержащих покрытий в условиях ассистирования ионами материала основы покрытия проводили с использованием вакуумного резонансного плазменно-дугового ионного источника. Этот тип ионного источника с электродами, изготовленными из материала наносимого покрытия (цирконий), позволяет одновременно получать регулируемые потоки ионов металла J_i и нейтральных атомов J_n осаждаемого металла. Отношение плотности ионного потока к плотности нейтрального потока J_i/J_n , составляло 0,02, что соответствовало росту покрытия на подложке [1]. Вакуум в процессе осаждения покрытий в рабочей камере составлял ~ 10^{-2} Па.

Для элементного анализа формируемых структур покрытие - подложка, распределения элементов по глубине, а также для изучения повреждения структуры кремния применялись метод резерфордского обратного рассеяния ионов гелия с $E_0=2$ МэВ и геометрией рассеяния $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=12^\circ$, $\theta=168^\circ$ в сочетании с каналированием (ROP/КИ), компьютерное моделирование спектров ROP по программе RUMP [2]. Энергетическое разрешение детектора составляло 25 эВ. Структуру покрытие-подложка, сформированную ионно-ассистированным нанесением покрытий, содержащих металл исследовали с помощью электронного микроскопа JEOL 3010. Изображение получали от поперечного сечения покрытия на кремнии, полученное "hand tools" методом, использующим малоугловую технику расщепления [3].

Основная часть

Экспериментальные спектры ROP ионов гелия от кремниевых образцов, обработанных ионами Zr^+ с одновременным осаждением покрытий Zr, показаны на рис.1. Вертикальными стрелками отмечены номера каналов, которые связаны с энергиями рассеяния ионов гелия на атомах соответствующих элементов, локализованных на поверхности образцов. В числе элементов, находящихся в поверхностном слое исследуемых материалов, на спектрах идентифицируются цирконий, а также C, O, Si. Сдвиг сигнала от кремния в область меньших номеров каналов на спектрах ROP, приведенных на рис.1, свидетельствует о том, что на поверхности кристалла кремния образуется покрытие.

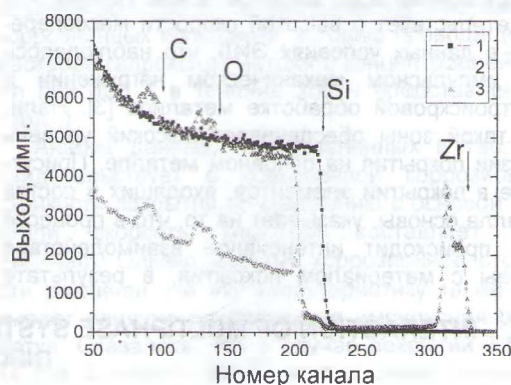


Рис. 1. Спектры ROP/КИ от кристаллов (100) Si, модифицированных ионно-ассистированным нанесением металлсодержащего (Zr) покрытия при ускоряющем напряжении 5 кВ: 2 – спектр в режиме каналирования вдоль направления $\langle 100 \rangle$; 3 – спектр в неориентированном направлении. Спектр 1 – от исходного кристалла кремния в неориентированном направлении.

Концентрационные, глубинные профили элементов в структурах покрытие - Si полученные компьютерным моделированием спектров ROP

ионов гелия представлены на рис. 2. Пунктирной линией выставлена поверхность исходной подложки кристалла кремния, которая является границей между покрытием и подложкой.

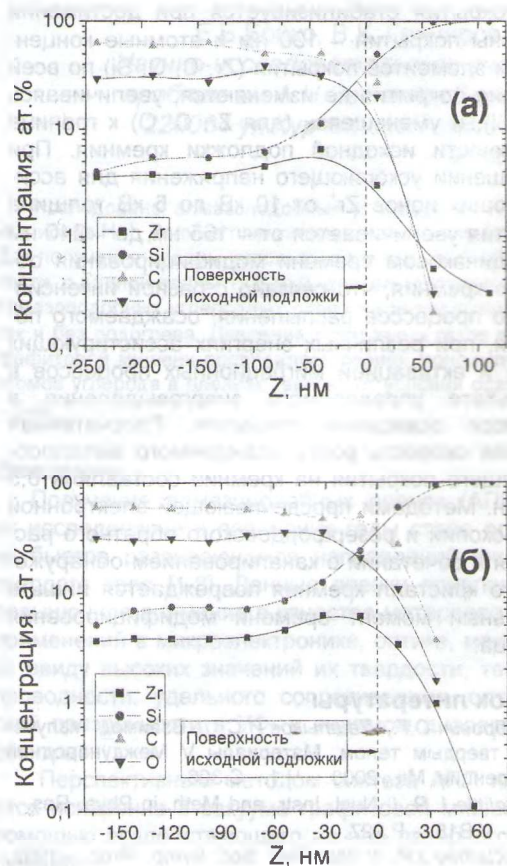


Рис. 2. Распределение элементов в структуре Zr-Si после ионно-ассистированного нанесения Zr на кремний при ускоряющем напряжении: а - 5 кВ; б - 10 кВ. Время модифицирования 6 часов.

На концентрационных профилях, идентифицируемых элементов в структурах покрытие-Si (рис. 2), обнаруживается эффект глубинного проникновения циркония в кремний. Расчет среднего проективного пробега ионов циркония в кремнии R_p с учетом продольного разброса пробегов ΔR_p по программе TRIM [4] дает значения $R_p + \Delta R_p = 12,9 \pm 4,3$ (для $U=5$ кВ) и $R_p + \Delta R_p = 20,0 \pm 6,5$ (для $U=10$ кВ). Глубина проникновения циркония в кремний > 100 нм при ускоряющем напряжении 5 кВ, что в ~ 2 раза больше, чем при ускоряющем напряжении 10 кВ. Это объясняется различием в значениях плотности энергии выделенной (ПЭВ) в каскаде атомных столкновений при нанесении покрытия (табл.), которые также различаются в 2 раза для ускоряющих напряжений 5 и 10 кВ.

Распределение циркония в покрытии составляет 3-4 ат. % по всей толщине покрытия с увеличением до 5-7 ат.% к границе покрытие - подложка. Толщина покрытия с увеличением времени модифицирования, как и следовало ожидать, растет. При времени облучения 1 ч толщина покрытия составляет ~ 20 нм, 3 ч - ~ 50 нм, 6 ч - ~ 240 нм и 12 ч - ~ 390 нм. Средняя скорость роста

осаждаемого металлсодержащего покрытия на кремнии составляла 0,5 нм/мин. Как следует из сравнения концентрационных профилей (рис. 2), уменьшение ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов Zr^+ от 10 кВ до 5 кВ приводит к увеличению толщины покрытий от ~ 165 нм до ~ 240 нм при одинаковом времени модифицирования образцов кремния. Это связано с различной интенсивностью процессов распыления осаждаемого покрытия при различных энергиях ассистирующих ионов и активацией миграционных процессов в результате управляемого энерговыделения (табл.) в каскаде атомных столкновений при нанесении покрытия в условиях ассистирования ионами Zr^+ .

Таблица
ПЭВ [5] в структурах Zr-кремний

мишень	Ион	U, КВ	ПЭВ, эВ/атом	Коэффициент-трасспечения, атом/ион
Si	Zr	5	0,66	-
Zr	Zr	5	3,73	2,8
Si	Zr	10	0,33	-
Zr	Zr	10	1,87	2,7

Для изучения совершенства структуры кристаллов, дефектообразования в приповерхностных слоях ионно-имплантированных кристаллов кремния анализируются каналированные спектры POP (спектр 2, рис. 1). Увеличение осевого выхода каналированного спектра в области 196-206 каналов, связано с повреждением в кристалле при ионно-ассистированном нанесении металлсодержащих покрытий. Уровень деканалирования за пиком повреждения кристалла (100) Si растет с увеличением времени модификации кремния в результате нарастания более толстого покрытия на подложке.

Характер повреждения на спектрах POP каналированных ионов отражает тот факт, что структура кремния повреждается лишь в начальный момент времени модифицирования образца, когда толщина осаждаемого покрытия меньше пробега ассистирующих ионов в материале покрытия. Слоевое содержание смещенных из узлов атомов в образцах кремния, модифицированных ионно-ассистированным нанесением при различном времени модифицирования кристаллов Si составляет $5 \cdot 10^{16} - 8 \cdot 10^{16}$ атом/см².

На рис. 3 представлена структура металлсодержащего покрытия на основе циркония, осаждаемого на пластины (100) Si при ионном ассистировании в условиях саморадиации. Дефекты, наблюдаемые в кремнии (рис. 3 а) вблизи границы раздела металлсодержащего покрытия на основе Zr и подложкой кремния, являются результатом облучения пластин (100) Si ионами Zr^+ на начальной стадии осаждения покрытия. Покрытие на кремнии однородно по составу по всей толщине. На рис. 3 б приведено распределение концентрации радиационных дефектов в кремнии по глубине $N_d(z)$, рассчитанное на основе спектров POP/КИ от образцов (100) Si, модифицированных ионно-ассистированным нанесением покрытий. Глубина максимальной концентрации

дефектов сравнима с глубиной проникновения ионов Zr^+ с соответствующими энергиями в кремний. Полная глубина дефектного слоя в кремнии составляет ~ 55 нм, что подтверждается прямым наблюдением нарушенного слоя вблизи границы поверхности исходной подложки на рис. 3 а.

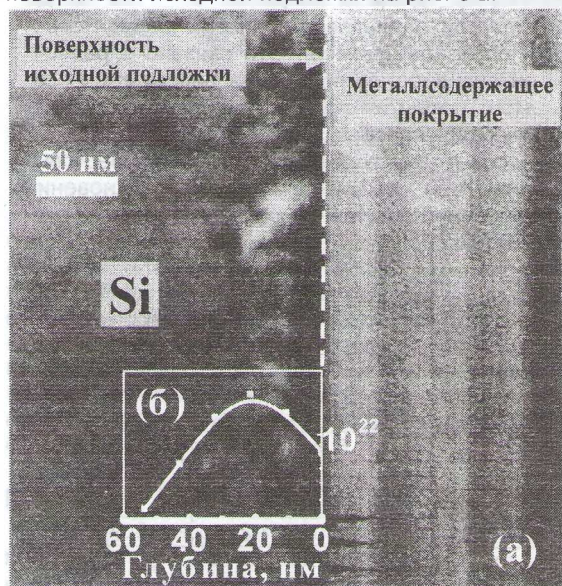


Рис.3. а – ПЭМ изображение поперечного сечения покрытия осажденного на (100) Si в условиях ассистирования ионами Zr^+ при ускоряющем напряжении 10 кВ. б – профиль распределения концентрации дефектов по глубине в кремнии.

Данные метода РОР/КИ о характере радиационного воздействия при ионно-ассистированном нанесении металлосодержащего покрытия на основе циркония на кремний находятся в удовлетворительном согласии с результатами прямого наблюдения структуры металл-Si, представленными на рис.3 б.

Заключение

В результате выполненной работы с применением метода резерфордовского обратного рассеяния установлено, что в состав получаемых

металлосодержащих покрытий на кремнии входят атомы наносимого металла Zr, технологических примесей углерода и кислорода из вакуумной камеры, а также Si в результате встречной диффузии из подложки в покрытие. Процесс осаждения покрытия стабилизируется при достижении толщины покрытия ~ 100 нм и атомные концентрации элементов покрытия (Zr, C, O, Si) по всей толщине покрытия не изменяются, увеличиваясь (для Si), и уменьшаясь (для Zr, C, O) к границе поверхности исходной подложки кремния. При уменьшении ускоряющего напряжения для ассистирующих ионов Zr^+ от 10 кВ до 5 кВ толщина покрытия увеличивается от ~ 165 нм до ~ 240 нм при одинаковом времени модифицирования образцов кремния, что связано с разной интенсивностью процессов распыления, осаждаемого покрытия, при различных энергиях ассистирующих ионов и активацией миграционных процессов в результате управляемого энерговыделения в процессе осаждения покрытия. Рассчитанная средняя скорость роста осаждаемого металлосодержащего покрытия на кремнии составляла 0,5 нм/мин. Методами просвечивающей электронной микроскопии и резерфордовского обратного рассеяния в сочетании с каналированием обнаружено, что кристалл кремния повреждается лишь в начальный момент времени модифицирования образца.

Список литературы

1. Бобрович О.Г., Ташлык И.С. // Взаимод. излучений с твердым телом: Материалы V Международной конференции, Мн., 2003. – Ч.1. – С.326.
2. Doolittle L.R. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. – 1986. – V.В15. – P.227.
3. McCaffrey J.P. // Mat Res Soc Symp. Proc. –1992, V.254. – P.109.
4. Ziegler J.F., Biersack J.P., Littmark U. The stopping and range of solids. – New York: Pergamon Press, 1985. – 321 p.
5. Sigmund P. // Appl. Phys. Lett. - 1974. - V. 25. - № 3. - P.169.

FORMATION OF COAT ON SILICON BY SELF ION ASSISTED DEPOSITION OF Zr

O.G.Bobrovich¹⁾, I.S.Tashlykov²⁾,

¹⁾Belorussian State Technological University, 13-a Sverdlova str.,220630 Minsk, Belarus, tel.: (+375-17) 227-10-91, fax: (+375-17) 227-62-17, 226-10-75

²⁾Belorussian State Pedagogical University, 18 Sovetskaya str.,220050 Minsk, Belarus, tel.: (+375-17)226-48-06, fax (017)226-40-20

Structure and composition of Zr-based thin film produced by self ion assisted deposition of zirconium on Si wafers at accelerating voltage 5 and 10 kV have been investigated. The analysis was carried out using the RBS/channeling and TEM methods. The film is found to have uniform thickness. The structure of silicon is damaged only in an initial instant of modifying of a sample, when the thickness thin film is less than range of assisting ions in a coating material. It is estimated that thickness of film increases ~ 1,5 times when a accelerating voltage for assisting ions Zr^+ decreases from 10 kV up to 5 kV at identical time of a deposition of a thin film.