

КОМПОЗИЦИОННЫЙ СОСТАВ и СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ СИСТЕМ Me/Si, ПОЛУЧАЕМЫХ ОСАЖДЕНИЕМ ТОНКИХ ПЛЕНОК Ti и Co при АССИСТИРОВАНИИ СОБСТВЕННЫМИ ИОНАМИ

О.М. Михалкович, С.М. Барайшук, И.С. Ташлыков

Белорусский государственный педагогический университет, ул. Советская 18, 220030
Минск, Беларусь, tashl@bspu.unibel.by

В настоящей работе обсуждаются результаты изучения композиционного состава, повреждения структуры поверхности (100) Si, диффузионных процессов на межфазной границе в системах Me/Si при модифицировании кремния методом осаждения покрытий Ti и Co (Me) при ассистировании собственными ионами (ОПАСИ), топографии поверхности полученных структур, ее смачиваемости дистиллированной водой, а также нанотвердости.

ВВЕДЕНИЕ

Осаждение тонких металлических плёнок на кремниевые пластины представляет как научный, так и практический интерес. Оно позволяет формировать изолирующие или проводящие слои, лиофильные или лиофобные в разных средах поверхности изделий [1,2]. Ионная имплантация ксенона в кремний широко применяется, т.к. позволяет управлять повреждением его структуры [3,4]. Малоизученным остается процесс массопереноса в кремнии атомов покрытия, нанесенного методом ОПАСИ, и влияние предварительной имплантации ксенона в кремний на диффузионные процессы в нем при последующем нанесении покрытий. Для управления свойствами покрытий при их осаждении на подложку необходима диагностика поверхности конструкции покрытие/подложка. В настоящей работе обсуждаются результаты изучения композиционного состава, диффузионных процессов на межфазной границе в системах Me/Si при модифицировании кремния методом осаждения покрытий Ti и Co, в условиях ассистирования собственными ионами, топографии поверхности полученных структур, смачиваемости ее дистиллированной водой, а также нанотвердости.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для осаждения покрытий на кремний использовали резонансный источник вакуумной дуговой плазмы (вакуум 10^{-2} Па) [5]. Элементный послойный анализ конструкций пленка/кремний выполняли, используя резерфордское обратное рассеяние (РОР) ионов гелия He^+ с $E_0 = 2.0$ МэВ и геометрией рассеяния $\theta_1=0^\circ$, $\theta_2=12^\circ$, $\theta=168^\circ$, где θ_1 , θ_2 и θ - углы влета, вылета и рассеяния соответственно, и компьютерное моделирование экспериментальных спектров РОР по программе RUMP [6]. Энергетическое разрешение анализирующей системы составляло 25 кэВ. Для построения глубинных профилей компонентов изучаемых конструкций мы используем понятие положения исходной поверхности подложки (ПИПП), которое определяли в экспериментах по введению маркера (атомов ксенона) в Si пластину. Энергия ионов Xe^+ при этом была 10, 20 или 40 кэВ, интегральные потоки от 1×10^{14} см^{-2} до 2.7×10^{15} см^{-2} . Величина среднего проективного пробега элементов в матрице были рассчитаны при помощи компьютерной программы TRIM-89 [7]. Изучение топографии поверхности образцов и определение ее шероховатости было выполнено с

применением сканирующей зондовой микроскопии на AFM NT-206. Измерение нанотвёрдости и модуля Юнга в нашей работе, проводилось при помощи нанотвердомера «Fisher H100». В процессе измерений снимается кривая нагружение-разгрузка, которая в дальнейшем обрабатывается по методу Оливера-Фара [8]. Толщина осажденных покрытий имеет значение в пределах 180-200 нм. Смачиваемость поверхности покрытий определяли по величине краевого угла смачивания (КУС), который измеряли методом сидячей капли. Объем капли составлял 9,3 мкл.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис.1 показаны профили глубинного распределения компонентов конструкции, получаемой при нанесении кобальтовой пленки на Si, без введенного ксенонового маркера (а) и с ним (б).

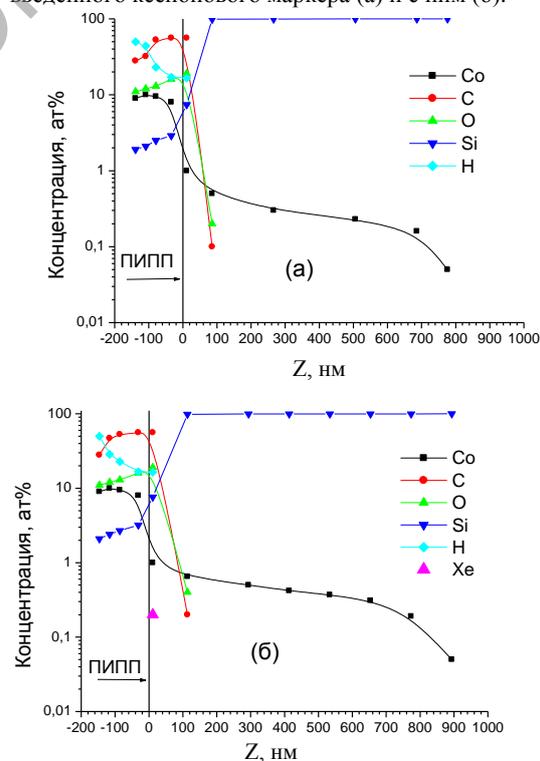


Рис. 1. Распределение элементов по глубине в структурах Co покрытие/Si, сформированных: (а) – методом ОПАСИ, б) – методом ИАНПУС на кремнии, предварительно облученном ионами Xe^+ с энергией 10 кэВ и интегральным потоком 3×10^{14} $\text{Xe}/\text{см}^2$.

Установлено, что в состав покрытий входят кроме атомов металла атомы водорода, углерода, кислорода и кремния. Появление в изучаемых покрытиях O, C, и H мы связываем, с осаждением на поверхность покрытия в процессе его роста совместно с атомами Co, углеводородной фракции и O из остаточного вакуума в мишенной камере, откачиваемой диффузионным паромасляным насосом.

Анализируя полученные результаты, рис. 1 а и б, отметим, что атомы углерода и кислорода проникают в кремниевую подложку на ~30 нм глубже, если в систему покрытие/подложка предварительно вводился маркер ксенона. Атомы же кобальта проникают в кремний на глубины во много раз большие проективного пробега рассчитанного по программе TRIM, и в разы превышающие проникновение атомов кислорода и углерода в кремний. В пластине Si с предварительно имплантированными ионами Xe⁺ глубина проникновения атомов кобальта увеличивается еще на ~ 120 нм. При этом концентрация атомов кобальта на сопоставимой глубине возрастает примерно в 1.5 раза. Такой эффект проникновения можно объяснить радиационно-усиленной диффузией при осаждении покрытий атомов металла в глубь кремния по дефектам, созданных ионами ксенона.

Сравнение осевых и случайных спектров от исходного (100) кремния и кремния с нанесенным покрытием позволяет определить положения атомов металла в кристаллической решетке кремния на различной глубине [9].

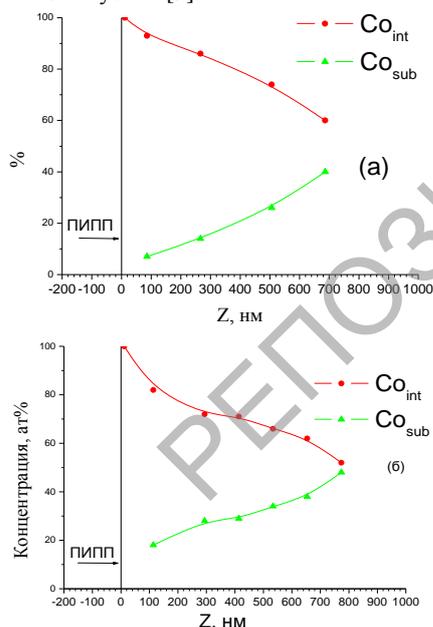


Рис. 2. Распределение атомов кобальта в кремнии, находящихся в междоузлиях, относительно атомов кобальта, находящихся в узлах кристаллической решетки кремния, в структурах Co покрытие/Si, сформированных: (а) – методом ОПАСИ, б) – методом ОПАСИ на кремнии предварительно имплантированном ионами Xe⁺ с энергией 10 кэВ и интегральным потоком 3×10^{14} Xe/cm².

Характер зависимости распределения атомов кобальта в кремнии, находящихся в узлах кристаллической решетки, кривая Co_{sub}, и междоузельных, кривая Co_{int}, дает возможность предположить вероятный механизм диффузии. В кремнии вблизи ПИПП (~10нм) создается наибольшее

повреждение кристаллической решетки и наблюдается резкое уменьшение концентрации атомов кобальта. Это объясняется тем, что с увеличением числа междоузельных атомов кремния, уменьшается число возможных путей миграции атомов кобальта по междоузлиям в решетке кремния. На большей глубине доля атомов кобальта, находящихся в узлах кристаллической решетки, увеличивается, достигая значения 40% на глубине около 780 нм.

Анализ распределения атомов кобальта в кремнии, предварительно облученном ионами Xe⁺ с энергией 10 кэВ и интегральным потоком 3×10^{14} см⁻², рис. 2 б, позволяет сделать предположение о том, что механизм диффузии по узлам кристаллической решетки является основным. Предварительное облучение кремния ионами ксенона ведет к большому повреждению структуры кремния и к увеличению доли атомов кобальта находящихся в замещающих положениях - усилению вклада механизма диффузии по узлам кристаллической решетки. Этот эффект имеет выраженную дозовую зависимость. При облучении кремния ионами Xe⁺ наблюдается уменьшение доли междоузельных атомов Co с 86 % до 30 % при увеличении (Φ) от 1×10^{14} см⁻² до 2.7×10^{15} см⁻² на глубине проникновения ~ 90 нм, а на глубине ~ 780 нм - с 60 % до 16 % соответственно.

Отметим, что физические процессы формирования структур Ti покрытие/подложка качественно сопоставимы с процессами, протекающими при нанесении на кремний кобальтовых покрытий.

При изучении топографии систем покрытие/подложка и чистого кремния и определении ее параметров были выбраны площадки размером 5x5 мкм².

По 3D - изображению топографии поверхности титанового покрытия на рис. 3 следует, что на кремнии формируется поверхность высокого качества.

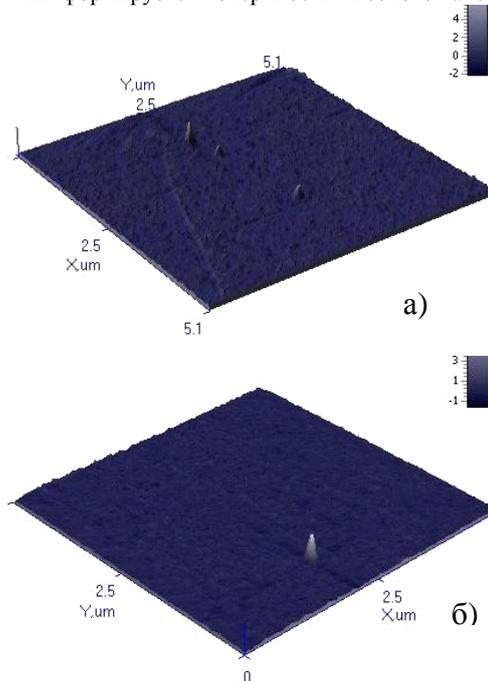


Рис. 3. 3D - изображения топографии поверхности Ti покрытия, нанесенного на кремний методом ОПАСИ без облучения (а) и с предварительным облучением ионами ксенона с E = 40 кэВ и дозой $3 \cdot 10^{14}$ Xe/cm² (б)

На рис. 4 представлены фотографии капель воды на поверхности Ti покрытия.

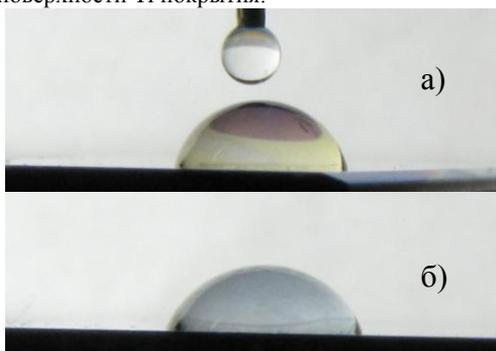


Рис. 4. Фотографии капель воды на поверхности Ti покрытия, нанесенного на кремний методом ОПАСИ без облучения (а) и с предварительным облучением ионами ксенона с $E = 10$ кэВ и дозой $3 \cdot 10^{15}$ Хе/см² (б)

Параметры поверхности осажденных покрытий представлены в таблице.

Таблица

	Ti покрытие		Co покрытие	
	без облучения	с облучением	без облучения	с облучением
КУС, град.	77,8	78,4	60,5	59,3
Ra, нм	0,123	0,158	0,114	0,113

Как следует из представленной таблицы облучение кремния ионами ксенона не вызывает заметного увеличения шероховатости Me покрытий нанесенных на кремний и значимого изменения смачиваемости их дистиллированной водой.

Результаты измерения нанотвердости формируемых структур представлены на рисунке 5.

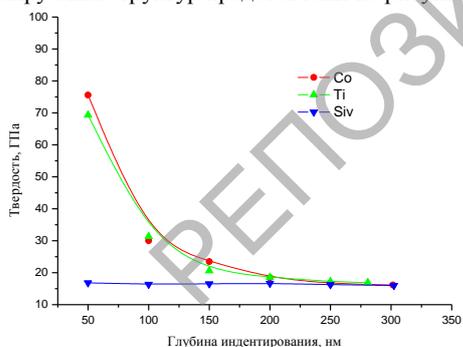


Рис. 5. Зависимость нанотвердости поверхности сформированных структур от глубины индентирования.

Твердость поверхностного слоя покрытий толщиной 50 нм возрастает при нанесении титана в 4 раза и в 4,5 раза при нанесении кобальта. При увеличении глубины индентирования интегральная нанотвердость структуры покрытия/подложка приближается к нанотвердости исходного кремния.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные экспериментальные результаты подтверждают возможность управления процессами массопереноса в Si введением в его структуру радиационных дефектов.

С применением сканирующей зондовой микроскопии установлены высокое качество и низкая шероховатость поверхности полученных структур Ti/Si и Co/Si, что свидетельствует о возможности управления шероховатостью поверхности систем Me/Si, применяемых для разных функциональных элементов.

Установлено что предварительное облучения кремния ионами ксенона не ведет к значимому изменению смачиваемости поверхности полученных структур.

Изучение нанотвердости поверхности полученных покрытий показало, что методом ОПАСИ создаются покрытия, твердость которых сравнима с твердостью алмазоподобных пленок.

Работа выполнялась при частичном финансировании Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, грант Ф1ЮБ-028.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.М. Барайшук, В.Ф. Гременок, В.В. Тульев, И.С. Ташлыкков. // ФХОМ. – 2011. – 1. – С. 66.
2. И.С. Ташлыкков, С.М. Барайшук, О.М. Михалкович, И.П. Антонович. // Przegląd Elektrotechniczny. – 2008. – 3. – Р. 111.
3. Н.А. Поклонский. // Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 8-й Междунар. конф., Минск, 23-25 сент. 2009г. – 2009. – С. 264.
4. О.М. Михалкович, И.С. Ташлыкков. // ФХОМ. – 2008. – 5. – С. 49.
5. И.С. Ташлыкков, И.М. Белый. Патент РБ №2324. 1С1 ВУ, С23 С4/12. С4/18, С14/16. Оpubл. 1999. офиц. бюл. гос. пат. ведом. РБ №1.
6. L.R. Doolittle. // Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. – 1985. – В 9. – Р. 231.
7. J.F. Ziegler, J.P. Biersak, U. Littmark. // Pergamon Press, Oxford. – 1985. – 1. – Р. 321.
8. W.C. Oliver, G.M. Pharr. // J. Mater. Res. – 1992. – 7. – 6. – Р. 1564.
9. E. Bögh. // Canad. J. of Phys. – 1968. – 6. – Р. 653.

COMPOSITION and PROPERTIES of SURFACE of Me/Si SYSTEMS, PREPARED by DEPOSITION of Ti AND Co THIN FILMS ASSISTED by SELF-ION

O.M. Mikhalkovich, S.M. Baraishuk, I.S. Tashlykov

Belarusian State Pedagogical University, Minsk, Belarus tashl@bspu.unibel.by

In this paper a composite structure, topography, wettability and nanohardness of a surface (100) Si modified by means of ion-assisted deposition of coatings in conditions of a self-irradiation are discussed. Rutherford backscattering of He⁺ ions and computer program RUMP were applied to investigate a composition of surface. It is established, that coatings include atoms of metal, hydrogen, carbon, oxygen, silicon. The nanoindentation data from coated systems were used for calculation of the hardness and elastic modulus using load and displacement sensing indentation experiments. Atomic Force Microscopy surface observations were used to investigate the topography of modified surfaces. Hydrophilicity was measured by means of the contact angle measurement technique.