

ПРОЦЕССЫ МАССОПЕРЕНОСА В КРЕМНИИ, МОДИФИЦИРОВАННОМ ОСАЖДЕНИЕМ СО ПОКРЫТИЙ В СОЧЕТАНИИ С ОБЛУЧЕНИЕМ ИОНАМИ Xe^+

О. М. Михалкович, И. С. Ташлыков

В настоящей работе обсуждаются результаты изучения композиционного состава, диффузионных процессов в Si, модифицированном осаждением Со покрытий в условиях ассистирования собственными ионами, когда образцы кремния предварительно облучались ионами ксенона.

Одним из перспективных методов модифицирования свойств поверхности является осаждение покрытий, при ассистировании собственными ионами (ОПАСИ). Нанесение металлов на кремний методом ОПАСИ дает возможность увеличивать твердость поверхности, изменять ее шероховатость и смачиваемость [1; 2]. Ионная имплантация ксенона в кремний широко применяется, так как позволяет управлять повреждением его структуры с целью создания полупроводниковых элементов с требуемыми характеристиками [3; 4]. Малоизученными остаются процессы массопереноса в области межфазной границы структуры покрытие/кремний, формируемой методом ОПАСИ, и влияние на них предварительной имплантации ионов ксенона. θ

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 (POP) 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 POP по программе RUMP [6]. Пластины Si облучались ионами ксенона с энергией 10, 20 или 40 кэВ интегральным потоком от 1×10^{14} см² до $2,7 \times 10^{15}$ см², которые использовались также в качестве маркера для установления положе-

ния исходной поверхности подложки (ПИПП) [7]. Для изучения локализации атомов покрытия в (100)-кремнии применяли каналирование ионов He^+ . Величина среднего проективного пробега ассистирующих ионов кобальта и ионов ксенона в кремнии рассчитывалась с применением компьютерной программы TRIM-89 [8].

Результаты и их обсуждение

Установлено, что в состав покрытий, осажденных на кремний, 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 металла, компонентов углеводородной фракции и O из остаточного вакуума в мишенной камере, откачиваемой диффузионным паромасляным насосом. Атомы металла 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 [2]. В Si, предварительно имплантированном ионами He^+ , глубина проникновения атомов кобальта увеличивается еще на ~ 120 нм. Такой эффект проникновения можно объяснить радиационно-усиленной диффузией при осаждении покрытий атомов металла в глубь кремния по дефектам, создаваемыми ионами ксенона.

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

Характер зависимости распределения атомов кобальта, находящихся в узлах кристаллической решетки кремния, кривая Co_{sub} , и междуузлиях, кривая Co_{int} , позволяет предположить вероятный механизм диффузии атомов Co в глубь кремния. В кремнии, вблизи ПИПП (~ 10 нм), наблюдается максимальная концентрация радиационных дефектов и наименьшая концентрация атомов кобальта в узлах решетки, рис 1 а и б. С увеличением глубины проникновения кобальта в кремний доля атомов Co в узлах решетки растёт. Это объясняется тем, что при высокой концентрации дефектов (междуузельных атомов кремния)

уменьшается вероятность миграции атомов кобальта вглубь по междоузлиям, а растет – по узлам кристаллической решетки. На большей глубине доля атомов кобальта, находящихся в узлах кристаллической решетки, растет, достигая значения 40 % на глубине более 700 нм.

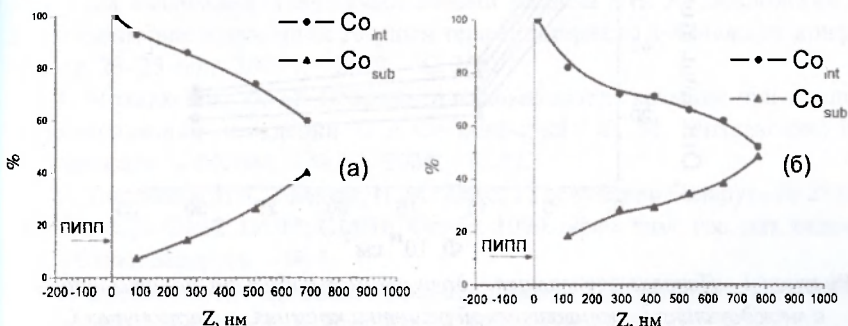


Рисунок 1 – Распределение по глубине атомов кобальта в кремнии, находящихся в междоузлиях (Co_{int}) и узлах (Co_{sub}), относительно полной концентрации атомов кобальта, находящихся на соответствующей глубине в кремнии. а – в структурах Co покрытие/Si, сформированных методом ОПАСИ, б – методом ОПАСИ на кремнии, предварительно имплантированном ионами Хе с энергией 10 кэВ и интегральным потоком 3×10^{14} Хе/см²

Анализ распределения атомов кобальта в кремнии, предварительно облученном ионами Хе⁺ с энергией 10 кэВ и интегральным потоком 3×10^{14} см⁻², рис. 1 б, подтверждает предположение о том, что механизм диффузии атомов Со 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.

В облученном ионами ксенона с $E = 10$ кэВ кремнии наблюдается уменьшение доли междоузельных атомов кобальта с 86 % до 30 % при увеличении дозы 1×10^{14} см⁻² до 2.7×10^{15} см⁻² на глубине проникновения ~ 90 нм. На глубине ~ 780 нм с 60 % до 16 % соответственно.

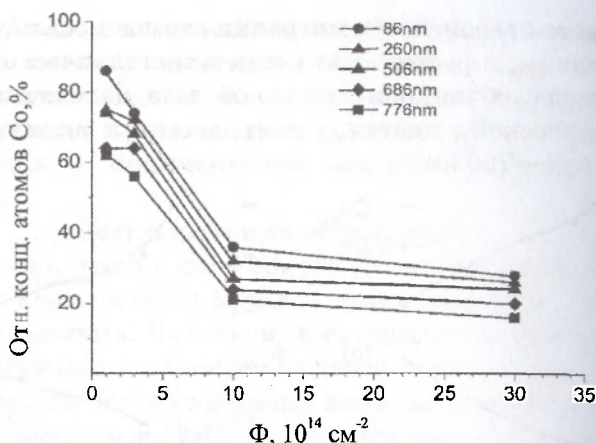


Рисунок 2 – Дозовая зависимость доли атомов кобальта, локализованных в междуузлиях кристаллической решетки кремния, в структурах Co покрытие/Si, сформированных методом ОПАСИ на кремнии, предварительно облученном ионами Xe с энергией 10 кэВ

Заключение

С использованием метода резерфордского обратного рассеяния в сочетании с каналированием ионов гелия и моделирующей программы RUMP установлено, что предварительное облучение кремния ионами ксенона способствует значительному увеличению глубины проникновения атомов наносимого покрытия в кремний и их концентрации на сопоставимой глубине, в сравнении с нанесением покрытий на необлученную подложку.

Полученные экспериментальные результаты подтверждают возможность управления процессами массопереноса в Si введением в его структуру радиационных дефектов. Работа выполнялась при частичном финансировании Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, грант Ф110Б-028.

Литература

1. Барайшук, С. М. Изучение поверхности структур металл/кремний, приготовленных ионно-ассистированным нанесением покрытий / С. М. Барайшук, В. Ф. Гременок, В. В. Тульев, И. С. Ташлыков. – ФХОМ. – № 1. – 2011. – С. 66.

2. Ташлыков, И. С. Структура и повреждение кремния, модифицированного ионно-ассистированным нанесением тонких пленок / И. С. Ташлыков, С. М. Барайшук, О. М. Михалкович, И. П. Антонович. – *Przeglad Elektrotechniczny*. – № 3. – 2008. – P. 111–113.

3. Поклонский, Н. А. Индуктивный импеданс кремниевых диодов, облученных высокоэнергетическими ионами ксенона / Н. А. Поклонский // *Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 8-й Междун. конф.*, Минск, 23–25 сент. 2009 г. – 2009. – С. 264.

4. Михалкович, О. М. Повреждение поверхности кремния при ионно-ассистированном осаждении Ti и Co покрытий / О. М. Михалкович, И. С. Ташлыков. – *ФХОМ*. – № 5. – 2008. – С. 49.

5. Ташлыков, И. С., Белый, И. М. Патент Республики Беларусь № 2324. IC1 ВУ, C23 C4/12, C4/18, C14/16. Оpubл. 1999. офиц. бюл. гос. пат. ведом. Республики Беларусь. – № 1.

6. Doolittle, L. R. Algorithms for rapid simulation of Rutherford backscattering spectra. *Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. V. B 9*. – 1985. – P. 231.

7. Bogh, E. Defect studies in crystals by means of channeling. *Canad. J. of Phys.* – V. 46. – 1968. – P. 653

8. J. F. Ziegler, J. P. Biersak, U. Littmark. The stopping range of ions in solids. Pergamon Press, Oxford. – V. 1. – 1985. – P. 321.