

ВУЗОВСКАЯ НАУКА, ПРОМЫШЛЕННОСТЬ,  
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО



# МАТЕРИАЛЫ И СТРУКТУРЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Сборник научных трудов  
V Международной научной конференции

Минск, 10—11 октября 2012 г.

# НАНОТВЕРДОСТЬ ПЛЕНОК И ДИФФУЗИЯ АТОМОВ Ti И Co В КРЕМНИИ, МОДИФИЦИРОВАННОМ ИОННО-АССИСТИРОВАННЫМ ОСАЖДЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ В СОЧЕТАНИИ С ОБЛУЧЕНИЕМ ИОНАМИ Xe

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

*Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,  
Минск, Беларусь. tashk@bspu.unibel.by*

Одним из перспективных методов модифицирования свойств поверхности является осаждение покрытий, ассистированное собственными ионами (ОПАСИ).

Нанесение металлов на кремний методом ОПАСИ дает возможность увеличивать твердость поверхности, изменять ее шероховатость и смачиваемость [1]. Ионная имплантация ксенона в кремний позволяет управлять повреждением его структуры [2]. 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. В настоящей работе обсуждаются результаты изучения композиционного состава, диффузионных процессов в Si при модифицировании осаждением Ti и Co покрытий в условиях ассистирования собственными ионами с энергией 7 кэВ, когда образцы кремния были предварительно облученными ионами ксенона и необлученными, а также изучения нанотвердости полученных структур.

Для осаждения покрытий на пластины (100) кремния использовали резонансный источник вакуумной дуговой плазмы (вакуум  $10^{-2}$  Па) [3]. 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  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $\theta$  - углы влета, вылета и рассеяния соответственно, и компьютерное моделирование экспериментальных спектров POP по программе RUMP [4]. Для построения глубинных профилей компонентов изучаемых конструкций мы используем понятия положения исходной поверхности подложки (ПИПП). Для определения ПИПП в пластины Si вводился ксенон с энергией 10, 20, или 40 кэВ интегральным потоком от  $1 \times 10^{14}$  см<sup>-2</sup> до  $2.7 \times 10^{15}$  см<sup>-2</sup> в качестве маркера [5]. Для изучения локализации атомов покрытия в кремнии применяли каналирование ионов  $He^+$ . Измерение нанотвёрдости и модуля Юнга в нашей работе, проводилось при помощи нанотвердомера «Fisher H100». Толщина осажденных покрытий имеет значение в пределах 180-200 нм.

При проведении исследования 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 металла, 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. В пластине Si с предварительно имплантированными ионами  $Xe^+$  глубина проникновения атомов кобальта увеличивается еще на  $\sim 120$  нм. Такой эффект проникновения можно объяснить ра-

диационно-усиленной диффузией при осаждении покрытий атомов металла в глубь кремния по дефектам, создаваемым ионами ксенона.

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

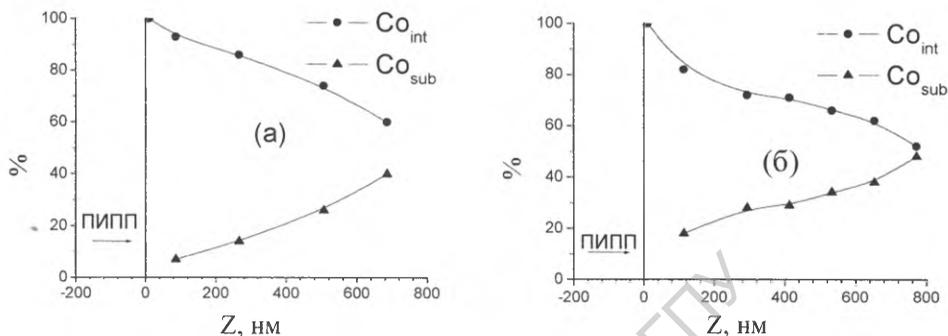


Рис. 1. Распределение атомов междуузельного ( $Co_{int}$ ) и узлового ( $Co_{sub}$ ) кобальта в кремнии, в структурах  $Co$  покрытие/ $Si$ , сформированных: (а) – методом ОПАСИ, б) – методом ОПАСИ на кремнии, предварительно имплантированном  $He^+$  с энергией 10 кэВ и интегральным потоком  $3 \times 10^{14} He/cm^2$

Характер зависимости распределения атомов кобальта в кремнии находящихся в узлах кристаллической решетки, кривая  $Co_{sub}$ , и междуузельных, кривая  $Co_{int}$ , дает возможность предположить вероятный механизм диффузии. В кремнии вблизи ПИПП (~10нм) создается наибольшее повреждение кристаллической решетки ионами металла и наблюдается резкое уменьшение концентрации атомов кобальта. Это объясняется тем, что с увеличением числа междуузельных атомов кремния, уменьшается число возможных путей миграции атомов кобальта по междуузлиям 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  $He^+$  с энергией 10 кэВ и интегральным потоком  $3 \times 10^{14} cm^{-2}$ , рис. 1 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  $He^+$  наблюдается уменьшение доли междуузельных атомов  $Co$  с 86 % до 30 % при увеличении ( $\Phi$ ) от  $1 \times 10^{14} cm^{-2}$  до  $2.7 \times 10^{15} cm^{-2}$  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.

Известно, что водород в таких системах выполняет важную роль, стимулируя формирование алмазоподобных  $sp^3$  – связей [6].

Результаты измерения нанотвердости формируемых структур представлены на рисунке 2.

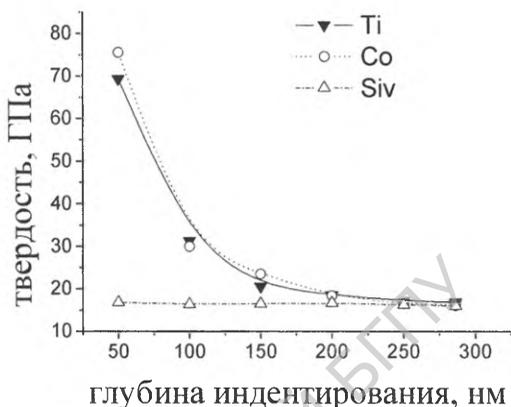


Рис. 2. Зависимость нанотвердости поверхности сформированных структур от глубины индентирования

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 нанотвердость структуры покрытие/подложка определяет нанотвердость кремния.

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. Состав и нанотвердость покрытий на Si полученных методом ионно-ассистированного осаждения. / Барайшук С.М., Гременок В.Ф., Тульнев В.В., Ташлыков И.С. // ФХОМ. 2011. №1. С.66