

## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ $\text{Xe}^+$ НА ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КРЕМНИИ ПРИ ИОННО-АССИСТИРОВАННОМ ОСАЖДЕНИИ ПОКРЫТИЙ

О. М. Михалкович, И. С. Ташлыков

*Белорусский государственный педагогический университет  
имени Максима Танка, tashl@bspu.unibel.by*

### ВВЕДЕНИЕ

Ионная имплантация ксенона в кремний широко применяется [1], т. к. приводит к значительному повреждению его структуры [2]. Одним из перспективных методов модифицирования свойств поверхности является ионно-ассистированное нанесение покрытий в условиях самооблучения (ИАНПУС). Малоизученным остается факт влияния введения ксенона в кремний на диффузионные процессы при нанесении покрытий. Свойства модифицированной поверхности во многом определяются рядом факторов, среди которых такие как: элементный и фазовый состав покрытий, их структура, адгезия к подложке, топография и др. [3, 4]. Поэтому при проведении исследований по нанесению покрытий необходима диагностика поверхности конструкции покрытие/подложка. В настоящей работе обсуждаются результаты изучения композиционного состава, диффузионных процессов в Si, модифицированным ионно-ассистированным нанесением Ti, Co покрытий в условиях предварительного облучения ионами ксенона и необлученного.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для осаждения титановых и кобальтовых покрытий на кремний в условиях ионно-ассистирования 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  $\text{He}^+$  с  $E_0 = 2,0$  МэВ и компьютерное моделирование экспериментальных спектров РОР по программе RUMP [6]. Для построения глубинных профилей компонентов изучаемых конструкций мы используем понятие положения исходной поверхности подложки (ПИПП), которое определяли в экспериментах по введению ионной имплантацией в Si пластину ионов ксенона с энергией 10, 20, или 40 кэВ интегральным потоком от  $1 \cdot 10^{14}$   $\text{см}^{-2}$  до  $2,7 \cdot 10^{15}$   $\text{см}^{-2}$  в качестве маркера по методу, изложенному в [7]. Величина среднего проективного пробега элементов в матрице были рассчитаны при помощи компьютерной программы TRIM-89 [8].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рисунке 1 показаны профили глубинного распределения компонентов конструкции, получаемой при нанесении титановой пленки на Si, без введенного ксенонового маркера и с ним. Профиль Ti характеризуется концентрацией, снижающейся от 6 ат. % на поверхности, до 1 ат. % в области межфазной границы системы. Атомы Ti идентифицируются в Si на глубине  $\sim 430$  нм с концентрацией  $\sim 0,03$  ат. %, что свидетельствует об их радиационно-стимулированной диффузии вглубь в процессе нарастания покрытия под радиационным воздействием ассистирующих ионов. Водород распределен в покрытии неравномерно, и его концентрация спадает от 49,9 ат. % на

поверхности пленки, до 5 ат. % в области положения исходной поверхности подложки. В кремнии водород не идентифицируется.

Кислород распределен в покрытии неравномерно: его концентрация возрастает с 17 ат. % на поверхности покрытия до 23 ат. % вблизи ПИПП, а в кремнии на глубине < 100 нм его концентрация снижается в несколько раз до значений порядка десятых долей атомного процента. Профиль углерода качественно подобен пространственному распределению кислорода в покрытии, однако его концентрация примерно в 2,5 раза выше. В подложке же количество углерода в 2 раза ниже количества кислорода

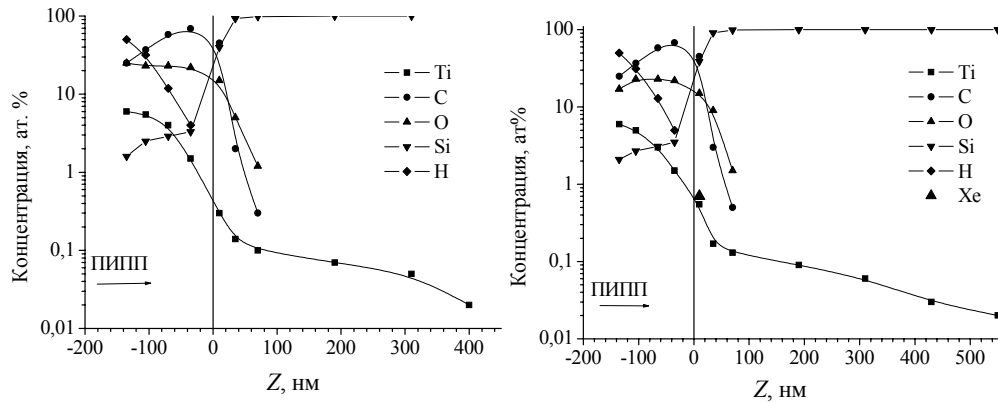


Рис. 1. Распределение элементов по глубине в структурах Ti покрытие/Si, сформированных: а – методом ИАНПУС, б – методом ИАНПУС на кремнии с предварительно имплантированным маркером Хе с энергией 20 кэВ и интегральным потоком  $9 \cdot 10^{14}$  Хе/см<sup>2</sup>

на сопоставимой глубине. Кислород и углерод проникают в подложку на глубину ~70 нм. Появление в изучаемых покрытиях О, С, и Н мы связываем, с осаждением на поверхность покрытия в процессе его роста совместно с атомами Ti, углеводородной фракции и О из остаточного вакуума в мишенной камере, откачиваемой диффузионным паромасляным насосом.

Анализируя полученные результаты, рис. 1а 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 титана 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 Хе<sup>+</sup> глубина проникновения атомов титана увеличивается еще на ~120 нм. При этом концентрация атомов титана 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, создаваемых ионами ксенона. Заметим, что при предварительной имплантации ионов ксенона в качестве маркера в кремний также наблюдается незначительное увеличение концентрации атомов кремния в самом покрытии. Этот факт свидетельствует о важной роли дефектов, генерированных ускоренными ионами Хе<sup>+</sup>, в усилении процессов встречной диффузии.

Диффундируя на большую глубину, атомы Ti способствуют диффузии атомов кислорода и углерода. Это также можно объяснить тем, что при введении ксенонового маркера в кремниевой подложке образуются дефекты, по которым и происходит

усиленное проникновение атомов компонентов покрытия. При этом отметим что, концентрация кислорода и углерода на сопоставимой глубине в кремнии с введенным маркером как и титана выше, чем в образцах только с покрытием, рис. 1а и б.

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

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием метода резерфордского обратного рассеяния и моделирующей программы RUMP установлено, что введение в кремний ионов ксенона ведет к значительному увеличению глубины проникновения атомов наносимого покрытия и концентрации их в кремнии на сопоставимой глубине, в сравнении с нанесением покрытий без предварительного облучения подложки. Полученные результаты позволяют полагать, что облучение кремния ионами  $\text{Xe}^+$  может быть использовано для дефектно-примесной инженерии с целью управления диффузионными процессами примесей в кремнии.

Работа выполнялась при частичном финансировании Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований, грант Ф06-300.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Поклонский, Н. А. Индуктивный импеданс кремниевых диодов, облученных высокоэнергетическими ионами ксенона / Н. А. Поклонский [и др.] // Взаимодействие излучений с твердым телом: материалы 8-й Междун. конф., Минск, 23–25 сент. 2009 г. Минск: Изд. центр БГУ. 2009. с. 364.
2. Михалкович, О. М. Повреждение поверхности кремния при ионно-ассистированном осаждении Ti и Co покрытий / О. М. Михалкович, И. С. Ташлыков // Физика и химия обработки материалов. 2008. № 5. С. 45.
3. Gotoh, Y. Ion beam assisted deposition of tantalum nitride thin films for vacuum microelectronic devices/ Y. Gotoh [et al.] // Surf. Coat. Technol. 2002. V. 158–159. P. 729.
4. Tashlykov, I. S. Elastomer surface modification by means of SIAD of metal-based layers/ I. S. Tashlykov, A. V. Kasperovich, G. Wolf // Surf. Coat. Techn. 2002. V. 158–159. P. 498
5. Ташлыков, И. С. Способ нанесения покрытий / И. С. Ташлыков, 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. Doolittle, L. R. Algorithms for rapid simulation of Rutherford backscattering spectra / L. R. Doolittle // Nucl. Instrum. Methods in Phys. Res. 1985. V. В 9. P. 227.
7. Bögh, E. Defect studies in crystals by means of channeling / E. Bögh // Canad. J. of Phys. 1968. V. 46. P. 653.
8. Ziegler, J. F. The stopping range of ions in solids / J. F. Ziegler, J. P. Biersak, U. Littmark. Pergamon Press, Oxford. 1985. V. 1. 321 p.