

05;11;12

## ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ В ТИТАНЕ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ И ОСАЖДЕНИИ ИОНОВ Cu

© В.И.Лаврентьев, А.Д.Погребняк, О.М.Ивасишин,  
А.Д.Михалев, Ю.Ф.Иванов, В.В.Стайко

В статье представлены результаты исследований элементного и структурно-фазового анализа образцов Ti после смешанного воздействия ионов Cu. Обнаружено, что на поверхности при имплантации и осаждении ионов Cu формируется тонкая пленка углерода, затем следует подслой из  $Cu_3Ti$ , ниже которого находится аморфизированный подслой из TiC и  $Cu_3Ti$ , за которым следует подслой, состоящий из  $Cu_3Ti$  и  $Cu_2Ti$ , и только затем следует поликристаллический Ti.

Одним из перспективных методов повышения эксплуатационных характеристик материалов является высокодозная ионная имплантация (ВИИ) и ионно-ассистируемое осаждение покрытий (ИАОП) [1,2]. Под высокодозной и интенсивной имплантацией понимается такая имплантация, при которой плотность ионного тока на мишени составляет величину от нескольких единиц до десятков миллиампер [1,2], а внедренная примесь составляет концентрацию от нескольких десятков до ста атомных процентов [1,3-5]. Ионно-ассистируемое осаждение покрытий — это устоявшийся термин, использование которого относится к работам десятилетней давности [3].

Исследованию процессов, происходящих в приповерхностных слоях при одновременном осаждении и высокодозной имплантации, посвящено ограниченное число работ, хотя данный процесс имеет большие перспективы. Такая ситуация, во-первых сложилась из-за недостаточного количества ионных источников, позволяющих реализовывать указанные режимы, во-вторых, из-за малоизученной физики сопутствующих явлений.

В связи с вышеперечисленными проблемами целью настоящей работы было исследование структурно-фазового и элементного анализа приповерхностного слоя Ti после совместного воздействия ВИИ и ИАОП ионов меди.

Исследовались плоские образцы Ti (99.98) размером  $16 \times 10$  мм и толщиной около 200 мкм. Обработка поверхности Ti проводилась на ускорителе "Импульс-4" с параметрами ионной имплантации: ускоряющее напряжение —

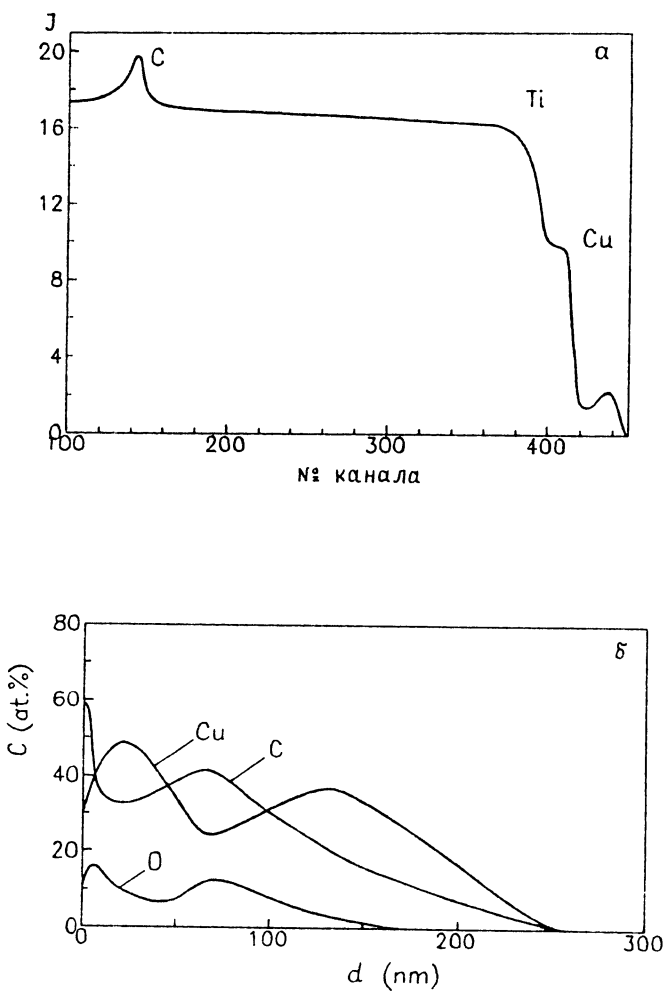
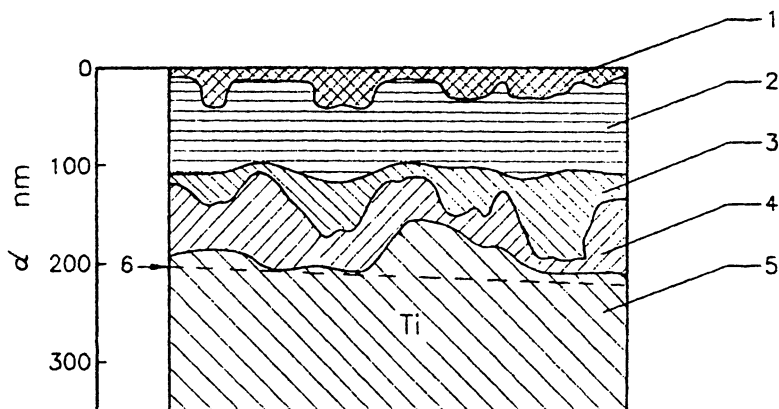


Рис. 1. *a* — энергетический спектр обратнорассеянных ионов с начальной энергией 2 МэВ, измеренный для образца Ti, подвергнутого одновременному осаждению и имплантации ионов Cu; *б* — концентрационные глубинные профили ионов Cu, O, C, полученные методом Оже-электронной спектроскопии в образцах Ti при совместном осаждении и имплантации ионов.



**Рис. 2.** Структура поверхностного и приповерхностного слоя образцов Ti после совместного осаждения и имплантации ионов Cu. Режимы осаждения и имплантации одинаковы для всех рисунков.

от 35 до 80 кВ, ионный ток — 100–500 мА, длительность импульса — около 250 мкс. ИАОП проводилось в импульсном режиме с энергией ионов от 50 до 100 эВ при частоте следования импульсов  $(1-5) \cdot 10^2$  в минуту. Контролировались температура мишени, скорость осаждения, доза внедрения, частоты следования импульсов и напряжение. Анализировался зарядовый состав в процессе осаждения и имплантации, который был близок по составу к работе [4]:  $\text{Cu}^{+3} \approx 30\%$ ;  $\text{Cu}^{+2} \approx 54\%$ ;  $\text{Cu}^{+1} \approx 15\%$ ;  $\text{Cu}^{+4} \approx 0.4\%$ . Элементный анализ был проведен с помощью метода резерфордовского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия  $^4\text{He}^+$  с энергией 1.78 МэВ и метода Оже-электронной спектроскопии (ОЭС). Поверхность образцов анализировалась с помощью растрового электронного микроскопа РЭМ-102Э, структурно-фазовый анализ проводили на просвечивающем электронном микроскопе ПЭМ-100 К.

На рис. 1, а приведен энергетический спектр РОР, измеренный для режима совместного осаждения и ВИИ меди. На спектре имеется характерная ступенька и “выедание”, соответствующие внедрению ионов Cu в поверхностный слой Ti. Если предположить, что на отрезке профиля толщиной около 60 нм имеется участок с примерно равной концентрацией, то усредненная по этому слою стехиометрия полученного соединения будет составлять  $\text{Cu}_{66}\text{Ti}_{34}$  ( $\text{Cu}_2\text{Ti}$ ). На энергетическом спектре хорошо виден пик в районе 140 канала, который свидетельствует о высокой концентрации углерода на поверхности и в приповерхностном

слое. Кроме того, с правой стороны спектра имеется пик, свидетельствующий об образовании слоя, состоящего из  $\text{Cu}_3\text{Ti}$ . Дополнительный анализ этого образца с помощью ОЭС показывает то, что в приповерхностном слое имеется до 40 ат. % углерода (рис. 1, б). Форма Оже пика с  $E = 272$  эВ свидетельствует о том, что углерод на поверхности находится в свободном состоянии, а в глубине слоя — в карбидном состоянии. Форма Оже пика для Ti и его положение на энергетической шкале также свидетельствует о том, что титан может находиться в трех различных состояниях.

Анализ микроструктуры поверхности с помощью РЭМ указывает на развитую шероховатость поверхности в пределах сохранившихся границ зерен Ti. Исследования микроструктуры приповерхностного слоя показали его сложное строение. На рис. 2 показана схема поперечного строения этого слоя.

Наружный слой (1) представляет собой тонкую углеродную пленку. Затем следует неоднородный по толщине подслой из  $\text{Cu}_3\text{Ti}$  (2). Подслой (3) на предлагаемой схеме относится к наиболее разупорядоченному (аморфному) подслою из  $\text{TiC} + \text{Cu}_3\text{Ti}$ . А область (4) является переходной от наиболее разупорядоченной фазы к чистому поликристаллическому Ti (она состоит из  $\text{Cu}_3\text{Ti}$  и  $\text{Cu}_2\text{Ti}$ ). Линией 5 обозначены границы предполагаемого утонченного слоя.

Таким образом, ионно-ассистированное осаждение покрытия из ионов Cu и одновременная имплантация в образцы Ti в присутствии остаточных газов в вакуумной камере приводит к образованию сложной структуры поверхностного слоя.

Работа частично финансировалась ГКНТ Украины, проект 7.5.4./73-93 "Радуга", и Государственным инновационным фондом при кабинете министров Украины. Авторы признательны В.А. Перекрестову за помощь в проведении измерения на РЭМ и ПЭМ.

## Список литературы

- [1] *Розубниак А.Д., Толора А.М.* // Nucl. Instrum. and Meth. 1990. В 50. Р. 25-43.
- [2] *Аксенов А.М., Панковец Н.Г., Погребняк А.Д., Толора А.М.* // ФХОМ 1989. № 4. С. 9-13.
- [3] *Arcian D., Szekely J.* // Mater. Res. Soc. Symp. Proc. (MRS, Pittsburg 1987). V. 98.
- [4] *Врошт I., Godechot X., Yu K.M.* // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 58(13). P. 1392-1394.
- [5] *Дуванов С.М., Погребняк А.Д., Лаврентьев В.М., Стайко В.В., Ротштейн В.П.* // Письма в ЖТФ. 1996. В. 2. С. 75-80.

Сумский институт  
модификации поверхности  
Украина

Поступило в Редакцию  
25 апреля 1996 г.

Инженерно-строительная академия  
634050 Томск, Россия

Институт металлофизики НАН Украины  
Киев, Украина