

ВЛИЯНИЕ ИОННО-АССИСТИРУЕМОГО ОСАЖДЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ ВОДОРОДА В СТРУКТУРАХ ME/SI

В работе обсуждаются экспериментальные результаты по изучению приповерхностных слоев структур Me/Si, сформированных методом ионно-ассистируемого осаждения в вакууме. В качестве подложки использовался образцы из кремния, на которые наносились металлсодержащие покрытие на основе Cr, Ti, Zr. Осаждение покрытий осуществлялось при ускоряющих напряжениях $U = (5-10)$ кВ, плотности ионного тока $\sim(6-20)$ мкА/см², время осаждения покрытий составляло 1–12 часов, что соответствовало интегральным потокам ассистирующих ионов $\sim(1-12) \cdot 10^{17}$ ион/см². В рабочей камере в процессе осаждения покрытий поддерживался вакуум при давлении $\sim 10^{-2}$ Па. Послойный элементный анализ проводился методом резерфордовского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия в сочетании с компьютерным моделированием RUMP. Моделирование показало, что в состав полученных структур должно входить $\sim 20-30$ ат.% водорода (рисунок 1).

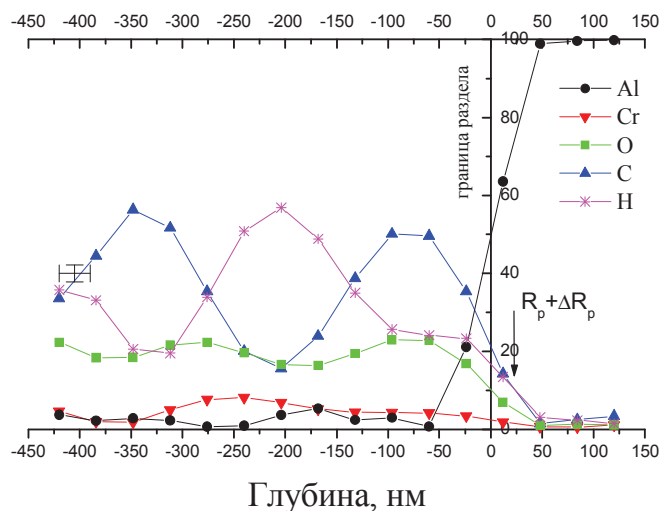


Рисунок 1 - Профили распределения компонентов по глубине, полученные моделированием на основе данных исследования методом РОР структуры Cr/Si

Метод РОР не позволяет напрямую установить наличие водорода в приповерхностных слоях структур. Для установления водорода в сформированных Me/Si структурах, были проведены

эксперименты с применением метода ядерных реакций (ЯР). Для этого использовалась резонансная ядерная реакция ${}^1\text{H}({}^{15}\text{N}, \alpha\gamma){}^{12}\text{C}$. Распределение водорода в покрытиях по глубине было определено при проведении прямых экспериментов с использованием резонансной ($\Gamma = 1,86$ кэВ) ядерной реакции при взаимодействии ионов азота с водородом. Для этого применялось сканирование энергии ионов N^+ в интервале значений от 6380 МэВ до 6830 МэВ и 7000 МэВ через 10 кэВ в зависимости от толщины покрытий. Экспериментальные результаты представлены на рисунке 2. Они подтверждают данные моделирования RUMP о наличии водорода в сформированных структурах.

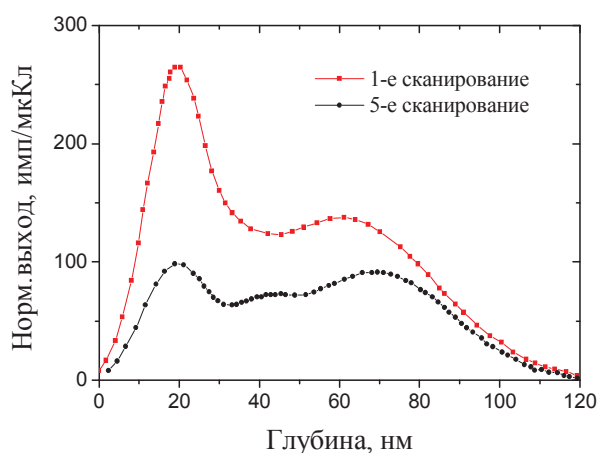


Рисунок 2 - Распределение водорода по глубине в Zr/Si-структуре, полученной при времени осаждения $t = 3$ часа

После 5-го сканирования поверхности образца пучком анализирующих ионов (рисунок 2) слоевая концентрация водорода в анализирующем слое практически не изменяется и становится равной согласно данным эксперимента $\sim 1,1 \cdot 10^{16}$ ат/см². Однако при первом сканировании (рисунок 2) измеряемая слоевая концентрация водорода в покрытии в $\sim 1,8$ раза больше, чем измеряемая при последующих сканированиях. Уменьшение количества водорода в покрытии под воздействием анализирующего луча, мы интерпретируем как дегазацию атомов водорода, которые оказались химически слабо связаны с другими атомами покрытия.

На рисунке 3 (кривая 2) с расшифровкой представлены данные анализа состава элементов, выделяющихся из сформированных покрытий под воздействием пучка анализирующих ионов N^+ . В качестве сравнения на рисунке 3 (кривая 1) приведены данные анализа состава элементов, выделяющихся из чистого кремния под воздействием пучка ионов N^+ . Анализ показал, что под воздействием анализирующего пучка ионов азота из покрытий выделяются H , H_2 , C , CH_2 , CH_4 , H_2O , O , O_2 , CO , CO_2 . Полученные результаты

подтверждают вывод о том, что под воздействием пучка ионов азота из покрытия выделяется атомарный и молекулярный водород, а также соединения водорода.

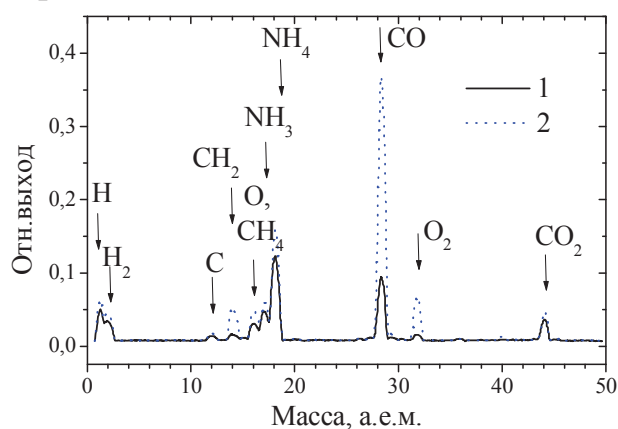


Рисунок 3 - Данные масс-спектрального анализа состава элементов, выделяющихся из образцов при проведении эксперимента методом ЯР

Аналогичные результаты получены при исследовании покрытий на основе Cr, Ti. В таблице представлены данные содержания водорода в исследуемых структурах.

Таблица - Концентрации водорода в структурах Me/Si

| Структура | Время осаждения, ч | U, кВ | Глубина слоя, нм | Относительная концентрация, ат. % |
|-----------|--------------------|-------|------------------|-----------------------------------|
| Cr/Si | 6 | 5 | 174 | 9,8 |
| | 12 | 5 | 220 | 13,7 |
| Ti/Si | 2 | 7 | 126 | 16,7 |
| | 4 | 7 | 153 | 18,9 |
| Zr/Si | 1 | 10 | 83 | 3,0 |
| | 3 | 10 | 144 | 1,0 |

Наибольшее количество водорода было обнаружено в структуре Ti/Si. Это эффект можно связать с высокой адсорбционной способностью титана и его соединений. Также следует отметить, что содержание водорода увеличивается с увеличением времени осаждения покрытия. Исследование структур Me/Si, полученных ионно-ассистированным осаждением металлосодержащих покрытий, проведенное с применением метода резонансной ядерной реакции показало, что сформированные покрытия содержат от 1 до 20 ат.% водорода. Источником водорода в покрытиях является летучая фракция углеводорода вакуумного масла диффузионного паромасляного насоса. Концентрация водорода уменьшается в ~1,5–2,0 раза при повторных сканированиях образцов пучком анализирующих ионов, что связано с дегазацией атомов H, которые не связаны с атомами покрытия.