

**КОМПОЗИЦИОННЫЙ СОСТАВ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ
СЛОЕВ СТРУКТУР Co/Si И Co/(Si+Xe), ПОЛУЧЕННЫХ
ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ ОСАЖДЕНИЕМ В ВАКУУМЕ**

На образцы из кремния наносились покрытия на основе Co методом ионно-ассистируемого осаждения в вакууме. Осаждение покрытия осуществлялось при ускоряющих напряжениях 7 кВ и плотности ионного тока $\sim(4-5)$ мкА/см², время осаждения покрытий составляло 2 и 4 часа, средняя скорость нанесения покрытия находилась в пределах 0,2–0,5 нм/мин. Отношение плотности потока J_i ассистирующих ионов к плотности потока J_a нейтральных атомов составляло $J_i/J_a = 0,1-0,4$, что соответствует условию роста покрытия на подложке. В рабочей камере в процессе осаждения покрытий поддерживался вакуум при давлении $\sim 10^{-2}$ Па. В часть кремниевых образцов до осаждения покрытия был имплантирован ксеноновый маркер для установления границы раздела покрытие/подложка [1]. Энергия ионов Xe⁺ составляла $E = 40$ кэВ, давление в вакуумной камере при имплантации было $4 \cdot 10^{-4}$ Па.

Послойный элементный анализ проводился методом резерфордского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия в сочетании с компьютерным моделированием RUMP. Определения содержания водорода в полученных Me/Si-структурах было проведено с помощью метода ядерных реакций (ЯР). Для этого использовалась резонансная ядерная реакция при взаимодействии ионов азота с водородом ${}^1\text{H}({}^{15}\text{N}, \alpha\gamma){}^{12}\text{C}$. Распределение водорода по глубине было определено при изменении энергией ионов N⁺ в пучке в интервале 6380–7000 МэВ через 10 кэВ в зависимости от толщины анализируемого слоя. Преобразование шкалы энергии N⁺ в шкалу глубины было сделано, используя тормозную способность ионов азота, полученную с помощью программы TRIM на основании состава покрытий, смоделированного по данным РОР.

Анализ спектров РОР показал, что на поверхности кремния формируется покрытие, в состав которого входят помимо атомов осаждаемого металла, атомы технологических примесей углерода и кислорода [2]. Моделирование экспериментальных спектров РОР с применением компьютерной программы RUMP показало наличие в сформированных структурах атомов водорода [3]. Результаты эксперимента с использованием ЯР подтверждают данные моделирования RUMP о наличии водорода в сформированных покрытиях.

Профили распределение атомов водорода по глубине в сформированных покрытиях представлены на рис. 1–2.

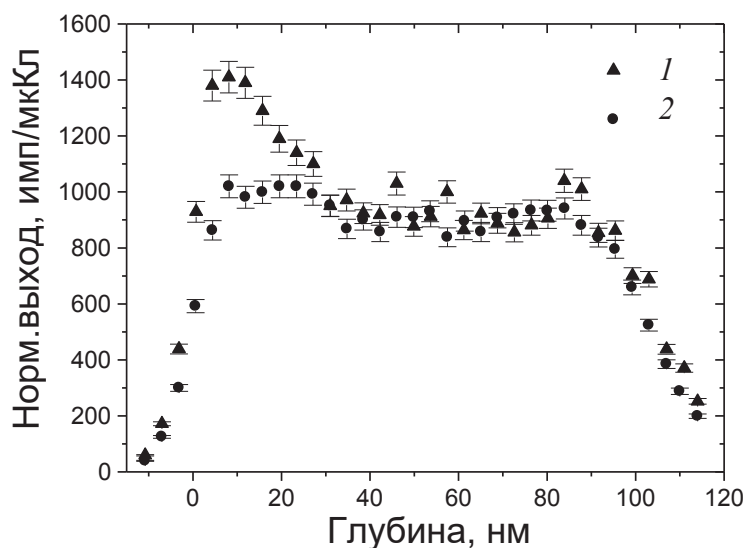


Рисунок 1 – Распределение водорода по глубине в Co/Si-структуре
1 – 1-е сканирование поверхности, 2 – 5-е сканирование поверхности

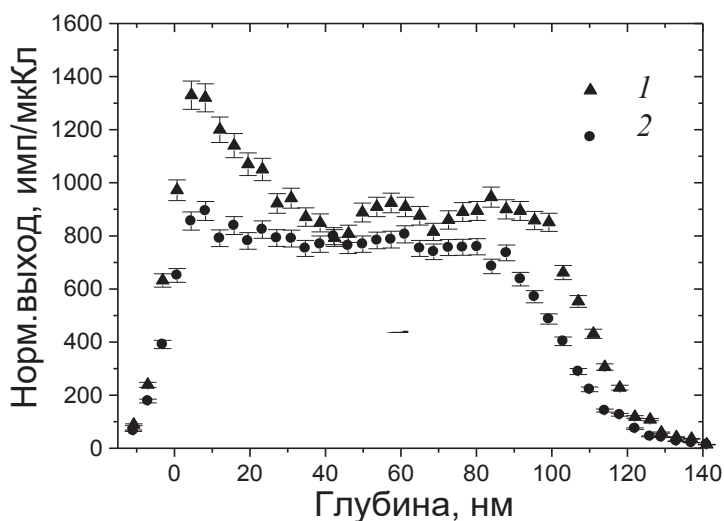


Рисунок 2 – Распределение водорода по глубине в Co/(Si+Xe)-структуре
1 – 1-е сканирование поверхности, 2 – 5-е сканирование поверхности

В исходных образцах кремния атомы водорода не были обнаружены. Это указывает на тот факт, что атомы водорода появляются в покрытии в процессе его осаждения. Источником водорода в покрытиях, как кислорода и углерода, также, на наш взгляд, является летучая фракция углеводородов вакуумного масла диффузионного паромасляного насоса.

Таблица – Содержание водорода в сформированных структурах при различном времени осаждения покрытия t

Структура	t , ч	Номер сканирования	Глубина слоя, нм	n , ат/см ³	(Nt) , см ⁻²	C, ат. %
Co/Si	2	1	125,7	$1,41 \cdot 10^{22}$	$1,77 \cdot 10^{17}$	20,11
		5		$1,24 \cdot 10^{22}$	$1,56 \cdot 10^{17}$	17,73
Co/(Si+Xe)	2	1	152,7	$1,14 \cdot 10^{22}$	$1,75 \cdot 10^{17}$	16,38
		5		$0,81 \cdot 10^{22}$	$1,23 \cdot 10^{17}$	11,51
Co/(Si+Xe)	4	1	179,6	$1,41 \cdot 10^{22}$	$2,90 \cdot 10^{17}$	20,18
		5		$0,73 \cdot 10^{22}$	$1,50 \cdot 10^{17}$	10,44

При последующих воздействиях на поверхность образцов анализирующим пучком ионов N^+ слоевая концентрация (Nt) атомов водорода уменьшается, а после 4 или 5-го сканирования практически не изменяется и становится равной согласно данным эксперимента $\sim 1,56 \cdot 10^{17}$ ат/см² для Co/Si-структуры и $\sim (1,23-1,5) \cdot 10^{17}$ ат/см² для Co/(Si+Xe)-структур (табл.). Уменьшение концентрации водорода в приповерхностных слоях структур под воздействием анализирующего пучка можно объяснить дегазацией атомов водорода, которые оказались химически слабо связаны с другими атомами покрытия. Следует отметить, что дегазация атомов водорода более интенсивно происходит в структурах Co/(Si+Xe), где концентрация водорода уменьшается в 1.5-2 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изучение ядерно-физическими методами металлосодержащих (Ti, Co)-покрытий, осажденных методом ионного ассистирования на кремний / О. Г Бобрович [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2006, № 1. – С. 54–58.
2. Тульев В. В. Влияние ионно-ассистируемого осаждения металлосодержащих покрытий на содержание водорода в Cr/Si-, Ti/Si- и Zr/Si-структурах // Труды БГТУ. – 2020, № 2 (236): Физ.-мат. науки и информатика. – С. 85–88.
3. Тульев В. В., Ташлыков И. С. Изучение композиционного состава покрытий на основе Cr, Ti и Zr, сформированных на алюминии и кремнии методом ионно-ассистированного нанесения в условиях саморадиации // Труды IV Междунар. науч. конф. «Радиационно-термические эффекты и процессы в неорганических материалах». – Томск, 2004. – С. 92–95.