

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИЛАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ В ГИБРИДНОМ РЕЖИМЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ (АСМ)**

**Вашенко С.Ю., Сатина М.М.<sup>1</sup>**

**Научный руководитель – PhD, профессор Смирнов Е.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Университет ИТМО  
lessandrino@gmail.com

### **Введение**

Силаны являются важным классом соединений для модификации кремниевых поверхностей, применяемых в микроэлектронике, сенсорике и биомедицине. Ключевой научной проблемой остаётся разработка методик, позволяющих идентифицировать химически модифицированные поверхности [1].

Целью данной работы являлась апробация комплексной методики физико-химического анализа силановых покрытий на кремниевых подложках с использованием гибридного режима атомно-силовой микроскопии (АСМ) в сочетании с ИК-спектроскопией и расчётом поверхностной энергии.

### **Основная часть**

В ходе эксперимента кремниевые подложки (размер 1×1 см) модифицировались следующими силанами: 3-аминопропилтриэтоксисилан (APTES), дихлорметилвинилсилан, 3-меркаптопропилтриметоксисилан (SH), 3-метилхлорсилан, а также смесью дихлорметилвинилсилана и 3-метилхлорсилана. Выбор данных соединений обеспечивает репрезентативность эксперимента, поскольку они относятся к одному классу веществ, но различаются функциональными группами.

После модификации каждый образец был проанализирован методом ИК-спектроскопии (ФСМ 2201) для подтверждения наличия соответствующих функциональных групп. Следующим этапом стал расчёт поверхностной энергии модифицированных поверхностей методом ОВРК (Оунса–Вендта–Рабеля–Кьельбле) [2]. Далее образцы сканировались на АСМ (NT-MDT NTEGRA) в контактном режиме. Для регистрации кривых подвода использовался внешний осциллограф (KEYSIGHT 1052A), что позволило получать данные высокого разрешения, поскольку встроенный осциллограф микроскопа сглаживает сигнал.

Анализ силовых кривых показал существенные различия в откликах для образцов с разными функциональными группами. Расчёт поверхностной энергии также подтвердил изменение гидрофильности поверхностей в зависимости от типа модификации.

### **Выводы**

Предварительно подтвердив химическую модификацию исследуемых образцов методами ИК-спектроскопии и расчетным методом ОВРК, мы апробировали аналитическую методику на основе гибридного режима АСМ, что позволило нам подтвердить различия в силовых откликах для различных по химической природе образцов.

### **Литература**

1. Acres R. G., Ellis A. V., Alvino J. [и др.] Molecular Structure of 3-Aminopropyltriethoxysilane Layers Formed on Silanol-Terminated Silicon Surfaces // *Journal of Physical Chemistry C*. 2012. Vol. 116, no. 10. P. 6289–6297.
2. Owens D. K., Wendt R. C. Estimation of the surface free energy of polymers // *Journal of Applied Polymer Science*. 1969. Vol. 13, no. 8. P. 1741–1747.