

Рисунок 1 - Иллюстрация к постановке задачи

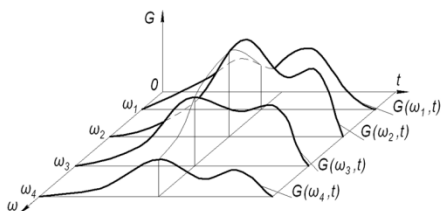


Рисунок 2 – Графическое изображение сигнатуры имитируемого сигнала

Список используемых источников

1. Карасик В.Е., Орлов В.М. Лазерные системы видения. М.: МГТУ. 2001. - 352 с.
2. Перцович А.С., Бутузов В.В., Скворцов Б.В., Носиков В.А., Ершова Т.А. Имитатор тепловых объектов, патент №150881.
3. Перцович А.С., Скворцов Б.В. Имитатор тепловых источников излучения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук", Т.16 № 6, 2014 г., С.76-78.

УДК 53.082.1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ МЕТОДАМИ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Н.А. Ивлиев<sup>1,2</sup>, В.А. Колпаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт систем обработки изображений РАН – филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, г. Самара

<sup>2</sup> Самарский университет, г. Самара

Контроль степени чистоты поверхности твердых тел широко используется в микро-, наноэлектронике, дифракционной оптике и нанофотонике, т.к. адсорбция загрязнений приводит к изменению электрофизических параметров поверхности, снижению адгезии наносимых технологических слоев, увеличению толщины поверхностного оксида при термоокислении и, как следствие, ухудшению рабочих характеристик или выходу из строя производимых элементов [1].

В настоящее время допустимая величина концентрации атомов углерода при производстве полупроводниковых приборов равна  $10^{12}$  ат/см<sup>2</sup> ( $10^{-11}$  г/см<sup>2</sup>) [2]. Современные способы оценки концентрации органических загрязнений, основанные на методах спектрометрии, обладают требуемой чувствительностью. Однако, данные методы дороги, трудоемки и не позволяют определять характеристики распределения молекул по поверхности, такие как средняя площадь и объем пятен загрязнений,

плотность их распределения по поверхности. Указанные параметры чрезвычайно важны в случае островковой или полимолекулярной адсорбции загрязнений.

Существуют методы атомно-силовой микроскопии (АСМ) поверхности, основанные на регистрации латеральных сил (ЛС), действующих на зонд атомно-силового микроскопа. Сканирование зондом по одной траектории в двух направлениях исключает силы, возникающие вследствие шероховатости поверхности. Получаемые при этом карты ЛС являются результатом действия адгезионных связей между зондом и поверхностью, величина энергии которых характеризует химический состав межфазной границы. Однако при отсутствии информации о рельефе поверхности определение объема загрязнений не возможно.

В настоящей работе представлен метод определения концентрации органических загрязнений, позволяющий по картам АСМ получать характеристики распределения молекул по поверхности, такие как средние площадь и объем пятен загрязнений, плотность их распределения.

Разработанный метод представляет собой двухэтапный процесс. Первый этап заключается в построении карт латеральных сил, действующих между зондом сканирующего зондового микроскопа и исследуемой поверхностью, а также регистрации топологии того же участка поверхности.

На втором этапе осуществляется их совместный анализ с целью определения массовой концентрации загрязняющих веществ и параметров их распределения по поверхности.

Карты АСМ регистрировались с помощью сканирующего зондового микроскопа Solver PRO-M компании NT-MDT при контактном сканировании кремниевым зондом CSG12 пластин диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ), качество которых соответствует 14 классу шероховатости ГОСТ 2789-73 (рис. 1а,б).

В качестве загрязняющего вещества использовался дибутилфталат ( $\text{C}_{16}\text{H}_{22}\text{O}_4$ ), являющийся одним из наиболее применяемых в промышленности пластификаторов. Наличие групп  $\text{C}=\text{O}$  и  $-\text{OH}$  в молекулярной структуре дибутилфталата обуславливает его сильную полярность, которая приводит к образованию связи между загрязнением и поверхностью.

Для определения величины концентрации загрязнений по картам АСМ было разработано программное обеспечение, которое позволяет выделить светлые пятна, представленные на изображении рельефа поверхности (рис. 1а), таким образом, чтобы они геометрически соответствовали темным пятнам на карте ЛС (рис. 1б), а затем определить объем выделенных областей. Концентрация загрязнений при этом вычислялась по формуле:

$$C_{\text{мол}} = \frac{\rho V_a}{S}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность адсорбата, которая для дибутилфталата равна 1,05 г/см<sup>3</sup>;  $S$  – площадь измеряемой поверхности;  $V_a$  – объем выделенных областей.

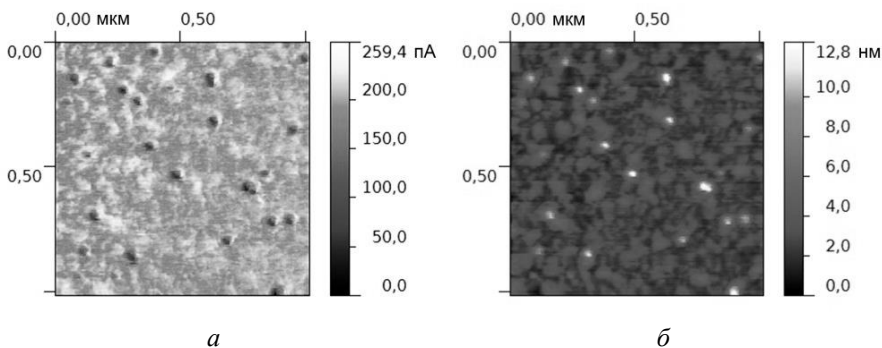


Рисунок 1 - АСМ-изображения поверхности очищенной подложки, полученные при скоростях сканирования 1 мкм/с (а – карта ЛС; б – рельеф поверхности)

В реальных технологических условиях плотность адсорбата ( $\rho$ ) на поверхности будет различаться, т.к. в состав загрязнений, помимо дибутилфталата, входят другие циклические углеводороды, например, диоктилфталат, бутилгидрокситолуол и т.д.. Значения плотностей указанных веществ варьируются относительно среднего значения ( $\rho_{cp}=1,02$  г/см<sup>3</sup>) в пределах  $\pm 5\%$ . Очевидно, что величина  $V_a$ , входящая в выражение (1), не зависит от типа загрязнения, поэтому полученное отклонение является методической погрешностью измерения концентрации органических загрязнений  $C_{mol}$ . При этом предел определения разработанной методики достигает значения 10<sup>-11</sup> г/см<sup>2</sup>, что соответствует уровню разрешения методов спектрометрии.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых - докторов наук (№ МД-5205.2016.9), а также гранта РФФИ (№ 16-07-00494 А).

#### Список используемых источников

1. Ивлиев, На определение концентрации органических загрязнений на поверхности диоксида кремния методами атомно-силовой микроскопии [текст] / Н.А. Ивлиев, В.А. Колпаков, С.В. Кричевский // Компьютерная оптика. – 2016. – т. 40. -№6. – с. 837-843.
2. Guan, j.j. effects of wet chemistry pre-gate clean strategies on the organic contamination of gate oxides for metal-oxide-semiconductor field effect transistor [текст] / j.j. guan, g.w. gale, j. Bennett // japanese journal of applied physics. – 2000. – v.39. – №7а. – р. 3947-3954.