

ПРЯМОЙ И ИНВЕРТИРОВАННЫЙ МАССИВ МИКРОПИТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЛИНЕЙНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ И АПЕРТУРЫ ЗОНДОВ- НАНОПИПЕТОК В СКАНИРУЮЩЕМ КАПИЛЛЯРНОМ МИКРОСКОПЕ

Банков А.А.^{1,2}, Жуков М.В.²

Научный руководитель – канд. техн. наук, научный сотрудник Жуков М.В.²

¹Университет ИТМО

²ИАП РАН

bankov-04@mail.ru

Введение

Использование специализированных тест-объектов и мерных эталонов в сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) является определяющим фактором для метрологической оценки измерительных каналов, минимизации аппаратных погрешностей и верификации предельной разрешающей способности системы [1]. В области атомно-силовой микроскопии (АСМ) сформирована развитая база коммерчески доступных дифракционных решеток и калибровочных структур, обеспечивающих прослеживаемость измерений геометрических параметров, а также диагностику радиуса кривизны зонда [2].

Тем не менее, для специфических модификаций СЗМ, где детектируемый сигнал обусловлен сложным сочетанием механических, электрохимических и физико-химических взаимодействий в области контакта, разработка образцов оценки профильных тест-образцов остается приоритетной задачей. К таким методам относится сканирующая капиллярная микроскопия (СКМ, scanning ion-conductance microscopy, SICM), где функциональным элементом зонда выступает пипетка с субмикронной или наноапертурой [3].

Использование традиционных кремниевых эталонов в СКМ ограничено высокой хрупкостью нанопипеток. В свою очередь, применение пластичных материалов позволяет минимизировать риск механического повреждения зонда-нанопипетки при сохранении прецизионной точности микрорельефа [4]. Таким образом, целью работы являлась разработка полимерных тест-структур с низким модулем упругости для оценки линейных параметров объектов и оценки разрешающей способности, обусловленной параметрами апертуры нанопипетки, в методе СКМ.

Основная часть

В качестве объектов исследования выступают регулярные микроструктуры, сформированные на поликарбонатной подложке методом термомеханической штамповки с использованием стеклянной мастер-формы (структуры DVD-носителя). Данный набор включает в себя массивы прямого (впадины) и инвертированного (выступы) рельефа, характеризующиеся идентичной геометрией и строго детерминированным периодом.

Верификация полученных образцов проведена референтным методом атомно-силовой микроскопии в прерывисто-контактном режиме (tapping mode). Исследования в режиме СКМ осуществлялись с применением бесконтактного «прыжкового» алгоритма сканирования (hopping mode). Использование структур с эквивалентными геометрическими параметрами обеспечило возможность комплексной калибровки измерительных каналов по осям X, Y и Z.

Путем совмещения и корреляционного анализа профилей, полученных методами АСМ и СКМ, выполнена градуировка пьезокерамического сканера. Исследование влияния диаметра апертуры нанопипетки на эффект уширения границы перепада высоты

(артефакта сканирования позволило количественно оценить предельную разрешающую способность метода, а также проникающую способность зонда в структуры питов.

Выводы

Установлено, что поликарбонатные структуры с детерминированной геометрией (на основе DVD-носителей) являются эффективными тест-объектами для оценки линейных параметров и оценки разрешающей способности СКМ при использовании нанопипеток (НП) различной конфигурации. Сравнительный анализ показал, что для выступов значения аппаратного уширения границ перепада высот в методах АСМ и СКМ демонстрируют высокую степень корреляции. При эксплуатации полимерных тест-объектов необходимо учитывать риски деградации микрорельефа и эффекты электростатического накопления при многократном сканировании.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-00169, <https://rscf.ru/project/24-79-00169/>.

Литература

1. Koops K. R., Korpelainen V., Lassila A. et al. Calibration strategies for scanning probe metrology // *Measurement Science and Technology*. 2007. Vol. 18, no. 2. P. 390–398.
2. Markiewicz P., Goh M. C. Atomic force microscope tip deconvolution using calibration arrays // *Review of Scientific Instruments*. 1995. Vol. 66, no. 5. P. 3186–3190.
3. Hansma P. K., Drake B., Marti O., Gould S. A. C., Prater C. B. The scanning ion-conductance microscope // *Science*. 1989. Vol. 243, no. 4891. P. 641–643.
4. Жуков М. В., Лукашенко С. Ю., Сапожников И. Д., Фельштын М. Л., Горбенко О. М., Пичахчи С. В., Голубок А. О. Многомодовый сканирующий микроскоп ионной проводимости с системой пьезоинерциального перемещения // *Научное приборостроение*. 2022. Т. 32, № 4. С. 68–87.