

ЛАЗЕРНЫЙ ТРЕХКООРДИНАТНЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ИНДЕНТОРОВ НАНОТВЕРДОМЕРОВ

Т. В. Казиева, А. П. Кузнецов, М. В. Понарина

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва

Измерение твердости на нанометровом масштабе линейных размеров чрезвычайно актуально при исследовании тонких пленок и покрытий, а также при изучении свойств отдельных фазовых и структурных составляющих различных сплавов [1]. Величина твердости материала в нано-объеме определяется вдавливанием острого алмазного наконечника с одновременной регистрацией приложенной к индентору нагрузки и перемещения индентора под действием этой нагрузки. При работе всех нанотвердомеров существует проблема точного определения формы индентирующего наконечника. Известно, что при взаимодействии с твердыми поверхностями, геометрия наконечника изменяется (затупление кончика, стачивание ребер и т. п.). Все эти параметры влияют на площадь поверхности наконечника зонда и, как следствие, на определение характеристик материала. Таким образом, для проведения достоверных измерений нанотвердости требуется обеспечение метрологического контроля формы наконечника индентора с субнанометровой точностью.

Оптимальным решением данной проблемы был определен трехкоординатный лазерный интерферометр, оснащенный зондовой системой сканирования. Габариты оптического модуля интерферометра позволяют размещать его непосредственно в нанотвердомере, индентор которого исследуется, и соответственно исключить ошибку, связанную с изменением ориентации наконечника при перестановке.

Оптическая схема интерферометра представлена на рис. 1.

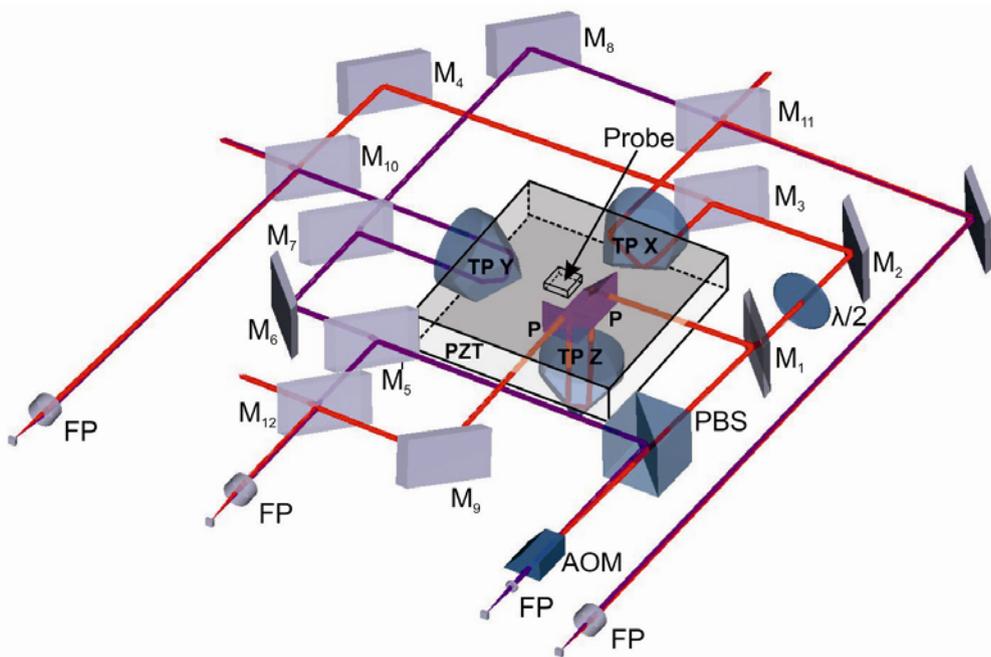


Рис. 1. Оптическая схема трехкоординатного гетеродинного интерферометра: FP – коллиматоры, АОМ – акустооптический модулятор, M_1 – M_{12} – зеркала, TPX, TPY, TPZ – триплекль призмы осей X, Y, Z, P – призма

В качестве источника излучения в интерферометре используется частотно-стабилизированный He-Ne лазер. Для ввода излучения в интерферометр используется осевая коллимирующая система. Особенностью оптической схемы интерферометра является применение акустооптического модулятора (АОМ) на поперечной (сдвиговой) акустической волне. В результате дифракции линейно поляризованного излучения на акустической волне на выходе из АОМ образуется два луча нулевого и первого порядка. Это позволяет для пространственного разделения лучей использовать поляризационную призму (PBS). Для согласования поляризации на пути одного из лучей установлена полуволновая фазовая пластинка $\lambda/2$. В качестве отражателей, смещение которых измеряет интерферометр, служат трипель-призмы (ТР). Они жестко закреплены на пьезоэлектрическом столе в трех взаимно ортогональных плоскостях, что позволяет измерять перемещение пьезостола в трех направлениях. Для ввода излучения в трипель призму вертикальной оси Z используются уголко-вые призмы (Р). После прохождения системы зеркал излучение с помощью коллиматоров (FP) вводится в оптические волокна, по которым поступает в модуль обработки сигналов интерферометра [2]. На пьезостоле размещается пьезокерамический зонд.

Методика расчета площади поверхности наконечника зонда реализована в рамках программного обеспечения интерферометра. Для сканирования исследуемый наконечник подводится системой позиционирования нанотвердомера к сканирующему пьезозонду, на котором закреплена тестовая структура, например TGZ, TGT, представляющая собой периодические структуры известной геометрии (рис. 2).

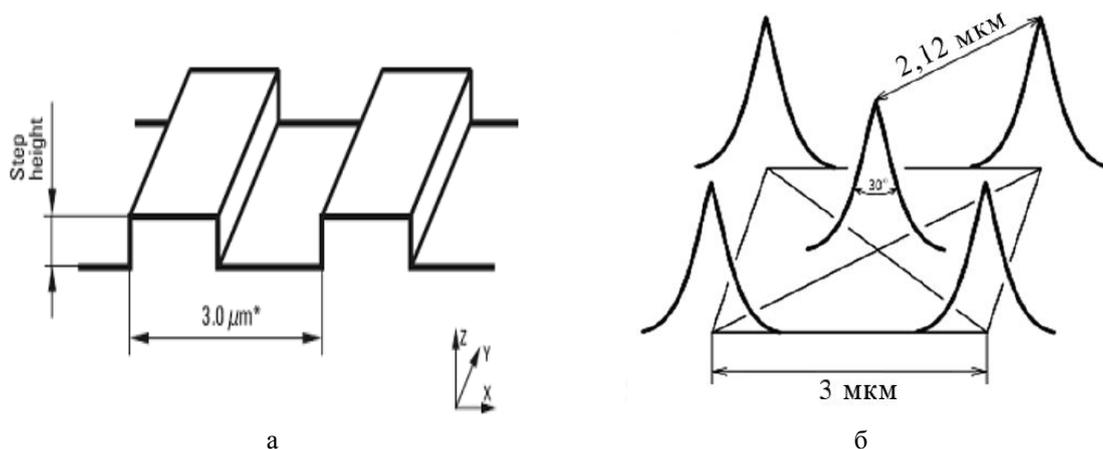


Рис. 2. Тестовые структуры: а – TGZ, б – TGT

С помощью описанной измерительной системы были определены функции площади трех инденторов нанотвердомеров. При этом наконечник № 1 использовался длительное время, наконечники № 2 и № 3 не были в эксплуатации. Полученные функции формы поверхностей инденторов представлены на рис. 3. Кроме экспериментальных кривых, на графиках изображена теоретическая зависимость площади поверхности наконечника в виде пирамиды Берковича от высоты.

Определение функции площади поверхности индентора нанотвердомера с помощью трехкоординатного интерферометра, оснащенного зондовой системой сканирования, позволяет осуществлять контроль формы острия наконечника, также обеспечивает прослеживаемость результатов измерения твердости к единицам длины и силы.

Данная работа выполнена при поддержке программы УМНИК-2016.

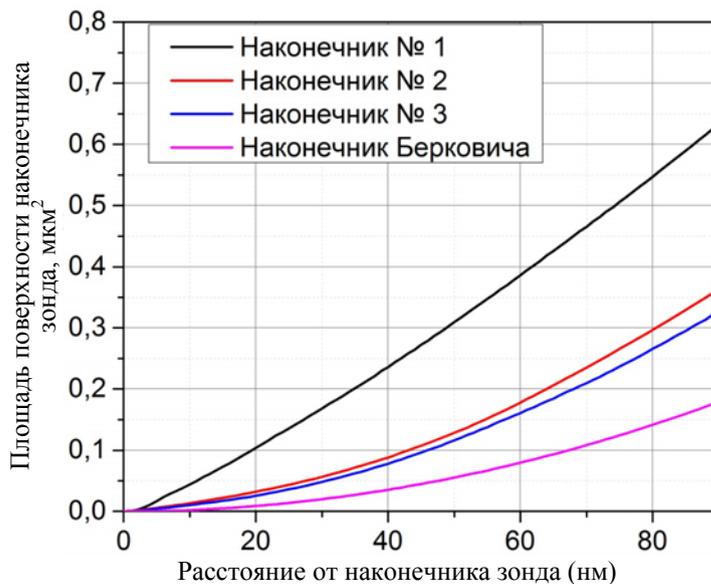


Рис. 3. Графики зависимости площади поверхности инденторов

Список литературы

1. Усеинов С. С. Измерение твердости конструкционных материалов методами индентирования и склерометрии на субмикронном и нанометровом масштабах // Автореферат дисс. к. т. н. М., 2010.
2. Kuznetsov A. P.; Gubskiy K. L.; Reshetov V. N.; Ponarina M. V.; Antonov A. S.; Useinov A. S. SPM metrological assurance using a heterodyne interferometer Proc. SPIE 9636, Scanning Microscopies 2015, 96360R.