

Зонды «вискер-типа» и магнитно-силовые зонды для СЗМ

Быков В. А., Дрёмов В.В.^{*}, Михайлов Г.М.^{*}, Лосев В.В., Саунин С.А.

Государственный научно-исследовательский институт физических проблем
им. Ф.В. Лукина, компания НТ-МДТ, 103460 Москва-Зеленоград, Гос.НИИФП

(*) - ИПТМ РАН, пос. Черноголовка, Московская обл.

тел.(095) 535-03-05, Факс (095) 535-64-10, e-mail: spm@ntmdt.zgrad.ru,

<http://www.ntmdt.ru>

При исследованиях в СЗМ возникает ограничение, связанное с геометрией иглы и геометрическими особенностями установки кантилеверов. В зависимости от особенностей способа крепления кантилевера в различных приборах угол наклона чипа по отношению к образцу колеблется в пределах $10 - 20^\circ$. При этом могут существовать области, в которых изображение в основном определяется формой иглы и геометрией ее крепления (рис.1).

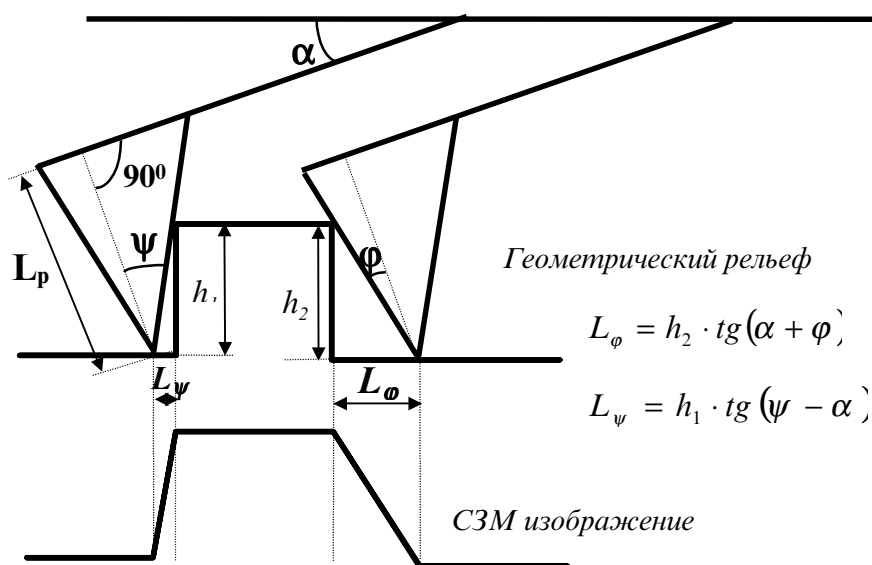


Рис.1. Геометрический рельеф ступеньки и ее СЗМ изображение.

Для конических и пирамидальных кантилеверов [4,5] в приближении нулевого радиуса кривизны игл области недоверности определяются простыми выражениями (рис.1). При $\psi \leq \alpha$, что выполняется для таких кремниевых кантилеверов, для конструкций, у которых угол крепления кантилевера $\alpha \geq 15^\circ$ (в микроскопах фирмы НТ-МДТ $\alpha = 20^\circ$), область недоверности L_ψ для «ступеньки» определяется только радиусом кривизны иглы. Величина области недоверности L_ϕ для конических кантиле-

веров с углом сходимости 22° ($\varphi = 11^\circ$) и $\alpha = 20^\circ$ получается значительной и равна $L_\varphi \approx 0,6 \cdot h_2$. Это обстоятельство ставит под сомнение целесообразность использования СЗМ для решения метрологических задач в субмикронной электронике, где требуется проводить измерения канавок, в том числе качества «дна», с шириной до 0,2 мкм при глубине до микрона.

Решение задачи по уменьшению «мертвой зоны» при измерениях глубоких «колодцев» потребовало разработки специальной технологии производства кантилеверов, включающей возможность строго контролируемого роста «вискеро́в» на кончике иглы кантилевера (от английского слова «Whisker»- заусенец, ус). Возможность электрон - стимулированного роста вискеро́в известна давно.

Рост «вискера» (технология НТ-МДТ) инициируется сильно сфокусированным электронным лучом и осуществляется в установке электронно-лучевого экспонирования. Движение луча в процессе роста вискера и доза экспонирования в процессе роста задается программно. По окончании процесса геометрия выращенного вискера контролируется в той же установке с переходом в режим растрового электронного микроскопа (рис.2). В технологии обеспечивается подача и контроль исходного материала для роста вискеро́в. Электронографический анализ показывает, что по своей структуре материал вискера соответствует аморфному углероду.

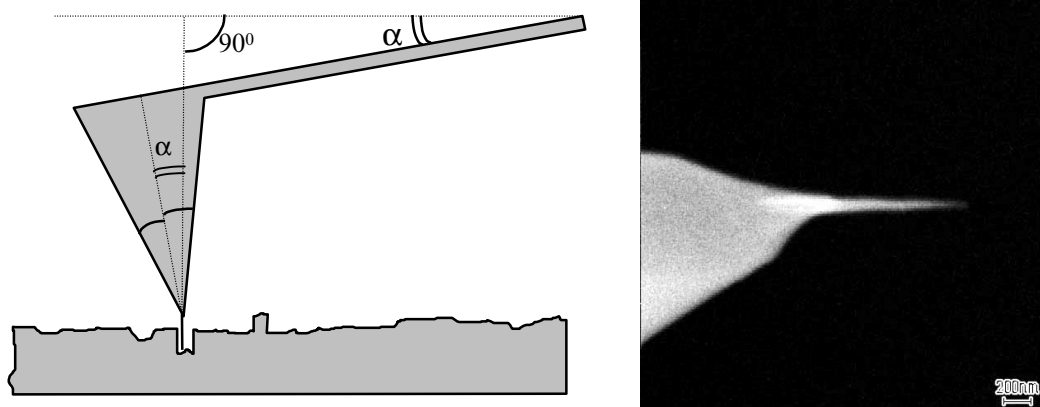


Рис. 2. Кремниевый кантилевер с выращенным на конце вискером для исследований дна субмикронных « колодцев» с отвесными стенками (технология и производство компании НТ-МДТ).

При измерениях зондами с вискерами на концах (рис.2) мертвая зона при исследованиях «канавок» или «ступенек» значительно уменьшается, сокращаясь до нескольких нанометров. В зависимости от режимов получения, вискер может иметь форму конуса, заточенного «карандаша» , многоярусной «башни», но эта форма заранее известна и, по этому, может быть корректно учтена при интерпретации результатов измерений. На ри-

сунке 3 приведены результаты измерений тестового образца субмикронных размеров обычным кремниевым кантилевером и кремниевым кантилевером с вискером на конце.

Из измерений зависимостей силы взаимодействия этих зондов с поверхностью следует, что они гидрофобные и подвижного водного адсорбционного слоя на них не обнаружено (рис.4). Как известно, поверхность высоко ориентированного пиролитического графита на воздухе обладает хорошо выраженными гидрофильными свойствами и относительной жесткостью. Поэтому для достоверности получаемых результатов измерения силовых характеристик проводились на поверхности пиролитического графита при обычных условиях.

Материал вискера аморфен, не имеет плоскостей легкого скола и гидрофобен. Это обстоятельство способствует долговечности таких зондов при использовании их для сканирования поверхностно сложных структур. Также существует возможность очищать такие зонды после неоднократного использования в сканирующем зондовом микроскопе. Твердость вискером была проверена экспериментальным путем в процессе сканирования образцов различной природы. Было обнаружено, что при сильных прижимах кремниевой иглы с вискером на конце к поверхности образца и в процессе наименее щадящих режимов сканирования ей, происходило повреждение зонда, причем при этом скалывался не сам вискер, а кремниевая часть иглы.

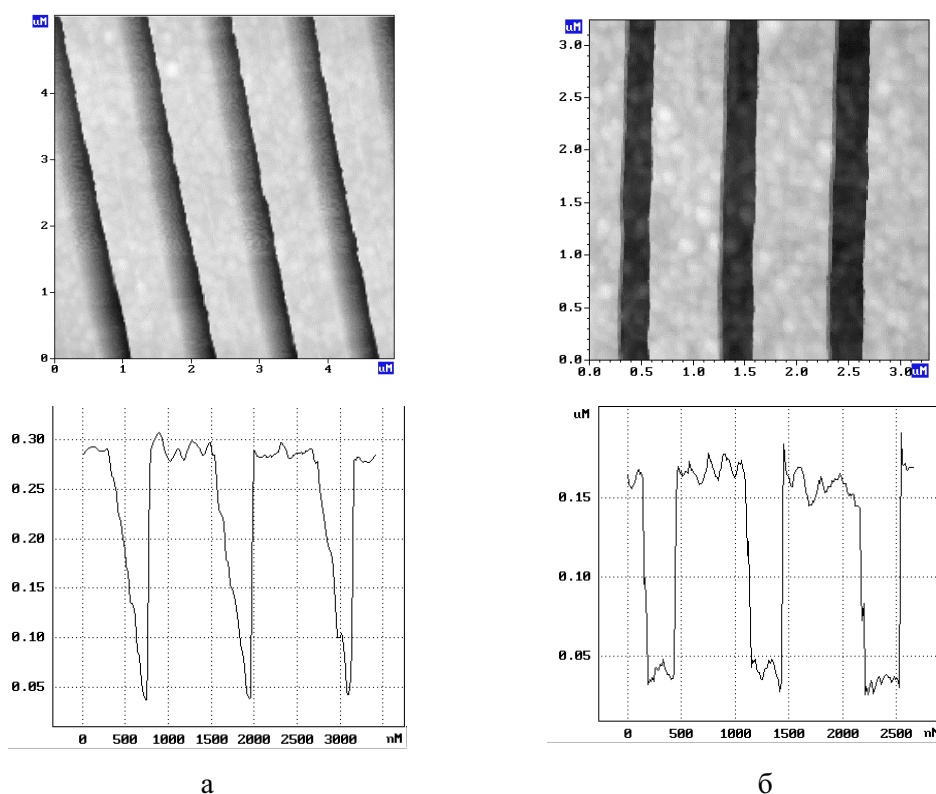


Рис.3. СЗМ изображения и соответствующие поперечные сечения субмикронных структур полученные (а) - стандартным кремниевым кантилевером и (б) кантиле-

вером с вискером на конце иглы (рис.2).

Созданная технология позволяет выращивать объемные структуры сложной и заданной формы (рис.5). Толщина вискером может составлять 50 - 100 нм, радиус кривизны до 2 - 3 нм, длина до 3 мкм и может быть наперед заданной с точностью до 20 - 30 нм, что делает иглы такого типа чрезвычайно перспективными для применений как в аналитической атомно-силовой микроскопии, так и в нанотехнологии. Комбинация групповых методов микромеханики и методов электрон - стимулированного направленного роста структур открывает возможность создание сложных инструментальных устройств.

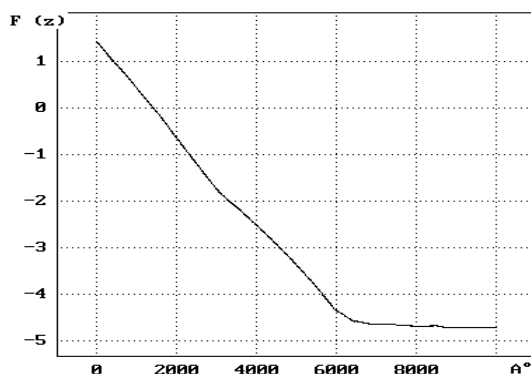


Рис. 4. Зависимость $F(z)$ для кантилевера с углеродным вискером с поверхностью высоко ориентированного пиролитического графита на воздухе.

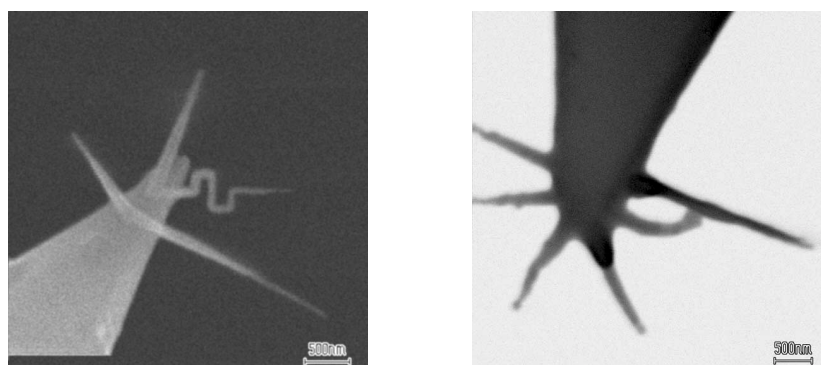


Рис.5. Вискер - структуры на кончиках игл кремниевых кантилеверов (НТ-МДТ и лаборатория Г.М. Михайлова ИПТМ РАН).

Особенную роль для исследования поверхностей магнитных структур играют свойства и геометрия зонда СЗМ. В основе физического принципа зондирования локальных магнитных полей лежит дипольное магнитное взаимодействие. Под действием локального магнитного поля образца происходит намагничивание ферромагнитной пленки иглы кантилевера. Возникающее в результате этого взаимодействие влечет соответствующее изменение фазы колебаний кантилевера, пропорциональное силе магнитного взаимодействия [1]. Характер изменения фазы во многом зависит от магнитной чувствительности зонда. Магнитная чувствительность иглы обеспечивалась нанесением слоя Co , Fe или других магнетиков на поверхность кантилевера со стороны иглы. В большинстве

своем такие кантилеверы при использовании требовали предварительного подмагничивания перед применением. НТ-МДТ применило новую технологию, состоящую в том, что магнитный слой Co толщиной 50 нм оказывается нанесенным только на кончик иглы кантилевера вискер - типа (рис.6). Оказалось, что такие кантилеверы обладают более высокой чувствительностью и большей стабильностью во времени.

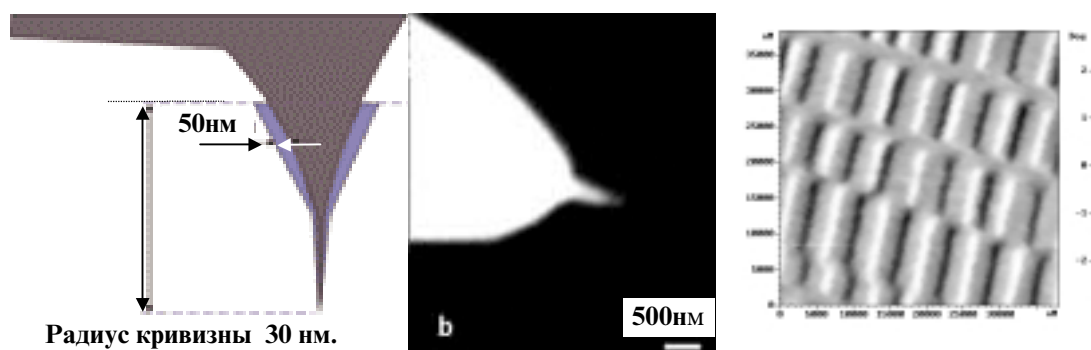


Рис.6. Схема, PFM изображение кончика иглы с магниточувствительным покрытием из Co и магнитно-силовое СЗМ изображения жесткого диска винчестера. Двухпроходная методика $\Delta Z=10$ нм, размер скана 35×35 мкм². Прибор компании НТ-МДТ SOLVER-P47-SPM.

Для интерпретации результатов магнитно-силовых рельефов и количественной оценки взаимодействия требуется разработка специальных калибровочных образцов.

Литература.

1. Быков В.А., Лосев В.В., Саунин С.А.. Применение атомно-силового микроскопа для исследования поверхностей магнитных материалов//Труды пятой всероссийской научно-технической конференции "Актуальные проблемы твердотельной электроники и микроэлектроники. 1998. Т.1. Стр. 102-104.
2. S.N. Magonov, M.-H. Whangbo. Surface Analysis with STM and AFM// VCH, Weinheim - New York - Basel - Cambridge - Tokyo, 1996, p.p. 35 - 37.
3. Быков В.А., Лазарев М.И., Саунин С.А.. Зондовая микроскопия для биологии и медицины// Сенсорные системы. 1998. Т.12. №1. Стр.101 - 124.
4. Быков В.А., Лазарев М.И., Саунин С.А.. Сканирующая зондовая микроскопия для науки и промышленности // Электроника: наука, технология, бизнес. 1997. №5. Стр. 7 - 14.
5. Быков В.А., Гологанов А.Н., Салахов Н.З., Шабратов Д.В.. Способ формирования кантилевера сканирующего зондового микроскопа// Патент на изобретение №2121657, приоритет от 08.05.97.