

СКАНИРУЮЩАЯ РЕЗИСТИВНАЯ МИКРОСКОПИЯ МИКРОПРОВОЛОК

П. А. Бородин¹, А. А. Бухараев¹, И.А. Рыжиков², С. А. Маклаков², Л. А. Алексеева²

¹ Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казань,
Сибирский тракт 10/7, Россия

² Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, Москва,
ул. Ижорская 13/19, Россия

В настоящее время сканирующая зондовая микроскопия (СЗМ) широко применяется для изучения различных свойств поверхности. Одним из основных достоинств СЗМ наряду с получением изображений, отображающих с нанометровым разрешением морфологию поверхности, является возможность получать информацию о структуре намагниченности и проводящих свойствах отдельных микро- и наноэлементов, сформированных на поверхности образца. Так, например, в режиме атомно-силовой микроскопии (АСМ) с проводящим зондом можно измерять электросопротивление отдельной микропроволоки, когда она лежит на непроводящей подложке и к одному из ее концов уже подведен макроконтакт. Касаясь такой проволоки кончиком иглы проводящего микрозонда, можно измерять сопротивление как всей проволоки, так и отдельных ее участков.

В данной работе с помощью СЗМ были исследованы проводящие свойства отдельных микропроволок. Проводящая пленка была сформирована методом фотолитографии на поверхности ситалла и представляла собой встречно-штыревую структуру со следующими размерами: длина микропроволок 1 мм, ширина 1.5 мкм, толщина 120 нм. С одного края все микропроволоки соединены и имеют общую площадку размером 200×200 мкм, к которой подводился макроконтакт. Материал образца – пермаллой, легированный молибденом (Fe - 79%, Ni - 18%, Mo - 3%). Измерения проводились с помощью сканирующего зондового микроскопа Solver-P47.

При получении токовых изображений использовался АСМ зонд с проводящим покрытием TiN толщиной 25 нм. Сканирование производилось в контактном режиме с одновременным получением двух изображений: топографического и токового. В обычных условиях, на воздухе, в процессе получения токового изображения образец под иглой покрывается оксидным слоем. Это обусловлено наличием высокого градиента электрического поля между иглой и образцом, присутствием в атмосфере кислорода и паров воды. Из-за окисления электрический контакт проводящий зонд - поверхность металла является крайне нестабильным. Было невозможно длительное время измерять ток в одной точке, дважды получать токовое изображение одного и того же участка поверхности. Кроме того, существенно меняется топография поверхности на участке сканирования за счет нарастания оксида. В частности, при прикладывании напряжения величиной 2 В между зондом и образцом толщина оксидного слоя после однократного сканирования составляла 100-200 нм. Окисленная область отчетливо наблюдалась как в режиме топографии, так и в режиме регистрации тока.

Чтобы избежать образования оксидной пленки измерения проводились в гелиевой атмосфере. Это позволило значительно улучшить качество токовых изображений. Кроме того, наличие гелиевой атмосферы увеличивает добротность кантилевера при использовании режимов работы микроскопа с модуляцией зонда, что может быть использовано, например, для получения магнитных изображений с большей чувствительностью и разрешающей способностью. Перед началом измерений

колпак, которым накрывается сканер микроскопа, продувался газообразным гелием, в дальнейшем, в процессе всего эксперимента в колпаке поддерживалось небольшое избыточное давление гелия для предотвращения попадания воздуха из атмосферы в микроскоп.

В результате был получен ряд токовых изображений исследуемой встречно-штыревой структуры. На рис.1а приведено топографическое изображение участка исследуемого образца. На нем видна полоса в левой части структуры, которая замыкает половину имеющихся штырей с одного края. Остальные встречные штыри замыкаются на аналогичную полосу в правой части. Так как длина штырей-полосок составляет 1мм, правую контактную площадку на приведенном изображении не видно. К обоим контактным площадкам (левой и правой) одновременно крепился макроконттакт. На рис. 1б показано токовое изображение того же участка образца, что и на рис. 1а. Светлые области соответствуют участкам, на которых протекал больший ток через контакт зонд-поверхность. Можно заметить, что штырь, имеющий контакт с правой контактной полосой, имеет более темную окраску. Это обусловлено значительно большим расстоянием до макроконтраста (около 1 мм). Из-за этого ток проходящий через весь штырь длиной 1мм имел величину около 35 нА. У основания штырей величина тока составляла 40 нА. При сравнении топографического и токового изображений одного и того же участка поверхности видно отсутствие токовой картины одного из штырей, что свидетельствует о разрыве данного штыря на каком-либо участке.

Полученные результаты позволили оценить величину протекающего тока через контакт проводящий зонд - поверхность на различных участках пермаллоевой встречно-штыревой структуры, оценить сопротивление отдельных микропроводок, визуализировать места нарушений проводимости в микропроводах.

Таким образом, измерения в атмосфере газообразного гелия позволили получить надежные токовые изображения за счет предотвращения окисления металла под проводящей иглой АСМ. Очевидно, что использование инертной газовой атмосферы дает возможность проводить более корректные количественные измерения в режиме сканирующей резистивной микроскопии.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 02-02-16686), программы CRDF "Фундаментальные исследования и высшее образование" (REC 007) и Минпромнауки Российской Федерации.

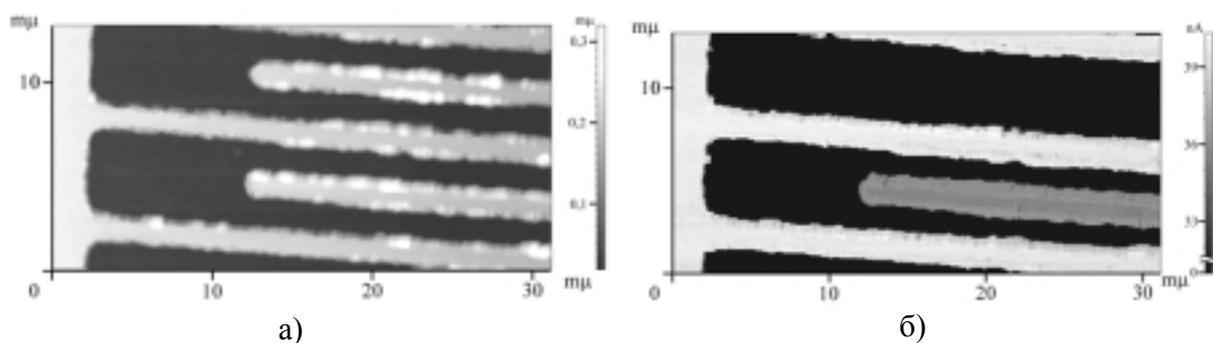


Рис.1. СЗМ изображения встречно-штыревой пермаллоевой (Fe - 79%, Ni - 18%, Mo - 3%) структуры: а) топография, б) токовое изображение этого же участка поверхности.