

11;12

Микроканалы проводимости в диэлектрической пленке оксида иттербия

© В.Б. Байбурин, Ю.П. Волков, В.А. Рожков

Саратовский государственный технический университет

Поступило в Редакцию 5 декабря 1997 г.

Экспериментально исследован эффект переключения проводимости в диэлектрической пленке оксида иттербия на кремнии методами сканирующей зондовой микроскопии. С помощью комбинированного микроскопа атомных сил/измерителя проводимости создан и визуализирован одиночный микроканал проводимости в диэлектрической пленке. Положение канала сопоставляется с одновременно полученным изображением топографии поверхности диэлектрика.

Явление электрического переключения проводимости с памятью в диэлектрических пленках представляет значительный интерес в связи с перспективностью его использования для создания различного рода переключателей и репрограммируемых элементов памяти [1]. Переключение проводимости с памятью наблюдается в халькогенидных материалах [1,2] и пленках фторидов и оксидов редкоземельных элементов [3,4]. Явление переключения в металл–диэлектрик–полупроводник (МДП) структурах состоит в изменении сопротивления диэлектрической пленки при приложении напряжения выше порогового. Знак переключающего напряжения определяется типом проводимости полупроводника и соответствует обеднению его основными носителями. Структура переключается в исходное (высокоомное) состояние при подаче напряжения противоположной полярности, когда ток через образец достигает значения $100\text{--}300\ \mu\text{A}$ [3]. Структуры воспроизводимо и многократно переключаются из одного состояния в другое, оба состояния устойчивы и сохраняются длительное время при отключении питания. Имеется несколько гипотез, объясняющих механизм данного явления, наиболее удовлетворительной из которых считается фазовый переход в материале диэлектрика под действием протекающего тока, приводящий к возникновению металлического микроканала проводимости [3]. Обычно исследования эффекта переключения выполнялись интегрально под напыленными или прижимными электродами значительной

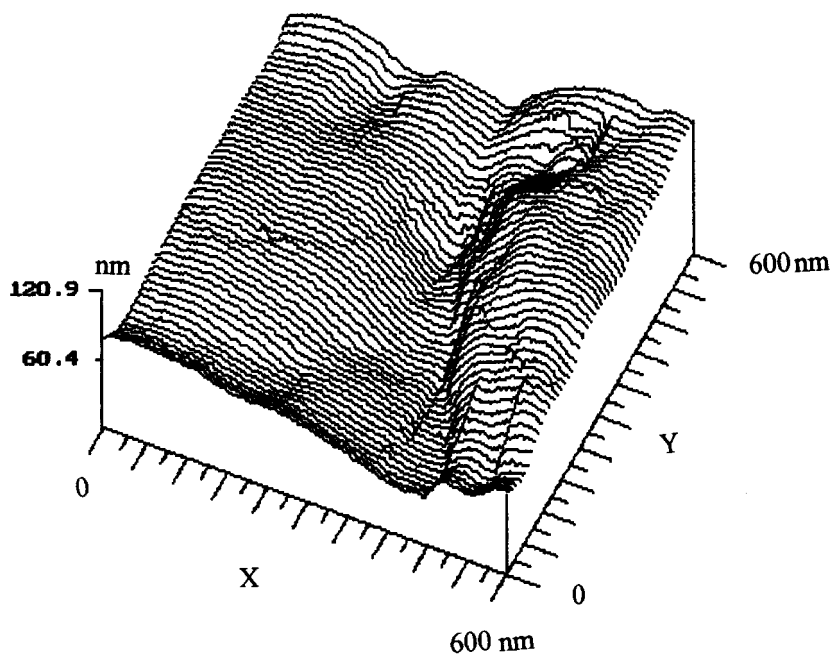


Рис. 1. Изображение топографии участка поверхности 600×600 nm пленки Yb_2O_3 , полученное с помощью микроскопа атомных сил в режиме постоянной силы (10^{-6} N).

площади. Прямых наблюдений возникновения отдельного проводящего микроканала по данным авторов не проводилось.

В настоящей работе приведены результаты наблюдения методами сканирующей зондовой микроскопии одиночного канала проводимости образованного в диэлектрической пленке оксида иттербия. Диэлектрическая пленка создавалась методами термического окисления (при температуре $\sim 600^\circ\text{C}$) слоя металлического иттербия толщиной $0.2\text{--}0.5\ \mu\text{m}$, напыленного на полированную пластину монокристаллического кремния КЭФ-20. С обратной стороны на шлифованную поверхность кремния напылялся сплошной контакт из алюминия. Электродом, прижатым к диэлектрической пленке, служит проводящее острие сканирующего зондового микроскопа (СЗМ). В качестве СЗМ используется разработанный и изготовленный авторами комбиниро-

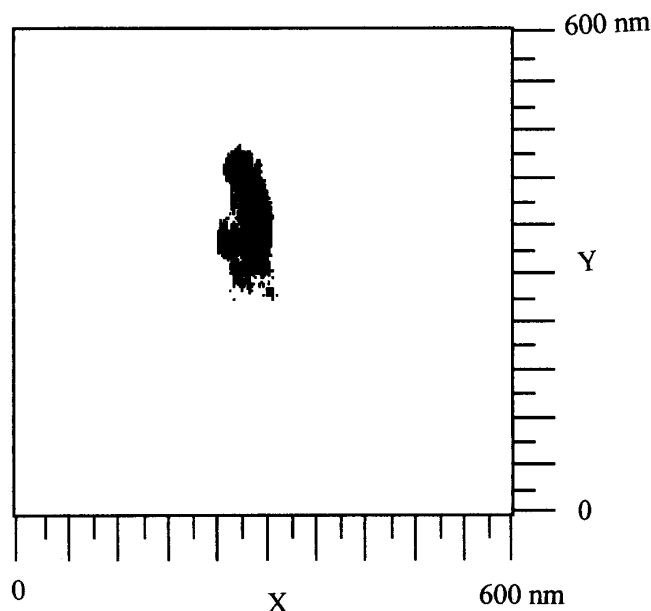


Рис. 2. Картина распределения проводимости участка поверхности, показанного на рис. 1. Белый цвет соответствует току менее 10 пА, черный — более 10 пА (канал проводимости).

ванный микроскоп атомных сил/сканирующий туннельный микроскоп, позволяющий одновременно с регистрацией топографии поверхности проводить измерение проводимости (минимально регистрируемый ток 10 пА) [5]. В качестве проводящей консоли применена W проволока $\text{Ø}30 \mu\text{m}$ и длиной 0.7 mm, последние 0.2 mm которой отогнуты под углом 90° . Острие получено методом электрохимического травления постоянным током в 10%-м растворе NaOH. Консоль имеет достаточно большую жесткость ($\sim 100 \text{ N/m}$) и создает при работе микроскопа усилие на поверхность порядка 10^{-6} N . Однако поверхность диэлектрика Yb_2O_3 обладает достаточно высокой твердостью и не повреждается острием, прижатым с таким усилием, о чем свидетельствует повторяемость изображения поверхности при ее многократном сканировании. Изготовленные структуры имели в исходном состоянии высокое сопротивление (порядка $10^{10} - 10^{14} \Omega$). После переключения в проводящее

состояние сопротивление снижалось до 10^4 – $10^6 \Omega$. Для отделения явления переключения от пробоя диэлектрической пленки применялась следующая процедура. Проводилось пробное сканирование участка поверхности ($600 \times 600 \text{ nm}$) для получения информации о ее топографии и проводимости. При отсутствии проводящих участков острие микроскопа выставлялось в точку с координатами $300 \times 300 \text{ nm}$ и прижималось к поверхности с силой $\sim 10^{-6} \text{ N}$. К острию прикладывалось напряжение минус 130 – 150 V через балластное сопротивление $22 \text{ M}\Omega$ в течение 0.5 s . После этого измерялось сопротивление диэлектрика, и если оно снижалось до нескольких десятков $\text{k}\Omega$, на острие подавалось напряжение плюс 15 V при токе 1 mA . Если после этого диэлектрик возвращался в первоначальное (высокоомное) состояние, это свидетельствовало о переключении и на острие вновь подавали напряжение минус 130 V . После двух-трех циклов переключения острие отделялось от поверхности, возвращалось в начальную точку и проводилось сканирование участка поверхности $600 \times 600 \text{ nm}$. На рис. 1 представлено изображение участка поверхности Yb_2O_3 в центре которого был сформирован канал проводимости. Углубление, расположенное примерно в центре изображения, возникло после переключения и связано по-видимому с процессами, происходящими при формировании канала. На рис. 2 показано распределение проводимости поверхности (канал проводимости), снятое одновременно с изображением поверхности. Канал проводимости имеет размеры, несколько большие по сравнению с углублением. Канал исчезает полностью за время порядка 2 – 5 min , что вызвано, по-видимому, процессами окисления материала канала.

Настоящая работа была частично поддержана грантом ГКРФ ВО по программе фундаментальных исследований в приборостроении.

Список литературы

- [1] Лямичев И.Я., Литвак И.И., Ощепков Н.А. Приборы на аморфных полупроводниках и их применение. М.: Сов. радио, 1976. 128 с.
- [2] Henish H.K. // Thin Solid Films. 1981. V. 93. N 2. P. 217–222.
- [3] Рожков В.А., Шалимова М.Б. // ФТП. 1993. Т. 27. В. 3. С. 438–445.
- [4] Рожков В.А., Петров А.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 1. С. 49–52.
- [5] Baiburin V.B., Volkov Yu.P., Konnov N.P. // Instrum. and Experim. Techniq. 1997. V. 40. N 5. P. 242–247.