

06.2

©1993

ЭФФЕКТ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПРОВОДИМОСТИ С ПАМЯТЬЮ В МДП СТРУКТУРАХ С ФТОРИДОМ ЛАНТАНА

В.А.Рожков, Н.Н.Романенко

Явление электрического переключения проводимости в полупроводниковых структурах представляет значительный интерес в связи с перспективностью его использования для создания различного рода переключателей и энерго-независимых электрических элементов памяти программируемых постоянных запоминающих устройств [1-3]. Переключения проводимости с памятью наблюдается в халькогенидных материалах [1,2], оксидных пленках металла [3], легированных ферромагнетиках [4], в пленочных структурах с фторидом диспрозия [5].

В настоящей работе исследованы закономерности эффекта переключения проводимости и памяти, обнаруженного в кремниевых МДП структурах с пленкой фторида лантана в качестве диэлектрика.

В качестве подложек использовались полированные пластины кремния марки КЭФ-5 (111) или КДБ-4.5 (100). Пленка фторида лантана толщиной $d = 0.1 - 0.4$ мкм получалась методом термического распыления порошкообразного LaF_3 из молибденовой лодочки в вакууме 10^{-5} Тор на установке типа ВУП-4. Температура подложки во время напыления составляла 573 К. Электроды к пленке фторида лантана диаметром 0.7 мм изготавливались термическим распылением алюминия через трафарет. С обратной стороны на шлифованную поверхность кремния наносился сплошной контакт из алюминия. Таким образом изготавливались структуры типа Al-LaF₃-Si.

Исследования вольт-амперных характеристик (ВАХ) проводились на постоянном токе с использованием электрометрического вольтметра В7-30, или переменном сигнале с помощью характериографа типа TR-4805. Кинетика переключения образцов изучалась на запоминающем осциллографе типа С8-9А при действии одиночных прямоугольных импульсов напряжения.

Изготовленные структуры в исходном состоянии обладали практически симметричными ВАХ и имели высокое сопротивление ($R_{\text{вс}} = 10^{10} - 10^{12}$ Ом) с незначительным коэффициентом выпрямления (1.2-1.5). На рис. 1 представле-

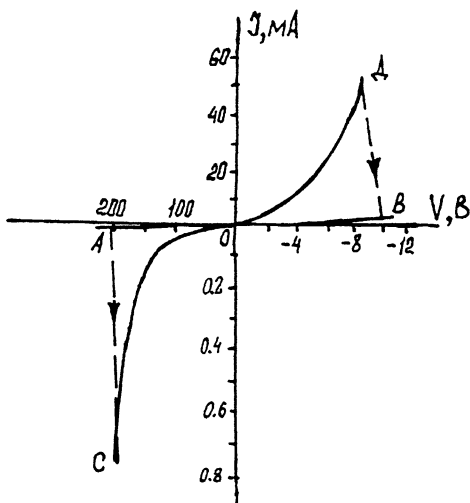


Рис. 1. ВАХ структуры Al-LaF₃-pSi. $d = 0.3$ мкм.

на типичная ВАХ изучаемых образцов, изготовленных на основе кремния p -типа проводимости. Как показали исследования, такие структуры при комнатной температуре имеют два устойчивых состояния с существенно различными значениями сопротивления. В состоянии с высоким сопротивлением (ветвь AOB , рис. 1) ВАХ, построенные в координатах $\ln J$ от \sqrt{V} , линейны, при этом ток через структуру экспоненциально возрастает с ростом температуры с характерной энергией активации, равной 0.2 эВ (рис. 2).

Образцы на основе кремния p -типа проводимости находятся в высокоомном состоянии, пока положительное напряжение (плюс на электроде диэлектрика) не превысит некоторого порогового значения. Величина порогового напряжения переключения возрастает с увеличением толщины пленки фторида лантана и для исследуемых структур лежит в пределах $V_p = 80 - 200$ В. При превышении порогового напряжения происходит сильное (на 5-7 порядков) уменьшение сопротивления образца и переключение их в низкоомное состояние (ветвь COA , рис. 1).

Сопротивление структур в низкоомном состоянии лежит в пределах $R_{нс} = 10^4 - 10^6$ Ом. В низкоомном состоянии структуры обладают униполярной ВАХ со значительным коэффициентом выпрямления $K = 10^2 - 10^3$ и характеризуются слабой зависимостью тока от температуры с энергией активации около 0.023 эВ. Структура воспроизводимо и многократно (более 10^2 раз) переключается из одного состояния в другое и обратно, при этом оба состояния устойчивы

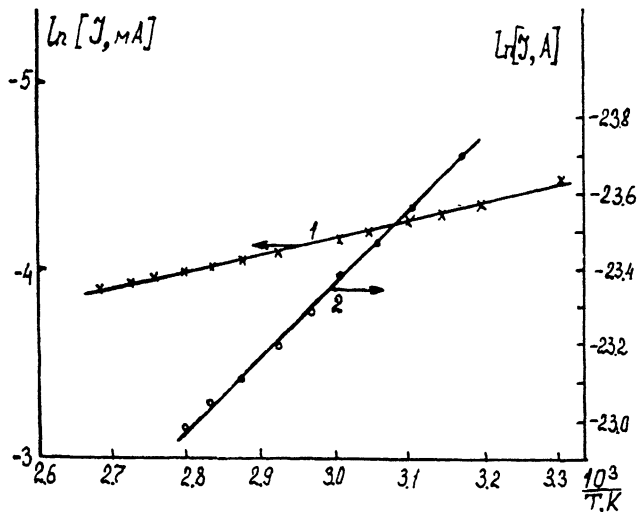


Рис. 2. Температурная зависимость тока структуры Al-LaF₃-Si в низкоомном (1) и высокоомном (2) состояниях.

и сохраняются при отключении питания. Время переключения проводимости из одного состояния в другое и обратно составляет 0.4–1.0 мкс. Переключение структур в исходное высокоомное состояние осуществляется при отрицательном потенциале на электроде к фториду лантана, когда величина тока через образец достигает значения 2–50 мА. Приложение отрицательного относительно электрода диэлектрика напряжения для образцов на основе *p*-кремния не вызывало обратимого переключения структур из высокоомного в низкоомное состояние, а приводило к необратимому пробое диэлектрической пленки.

Переключение структуры из состояния с низкой проводимостью в высокоомное состояние может быть осуществлено также термическим способом при значительно меньших значениях электрического напряжения 1.0 В. Для этого достаточно нагреть структуру до температуры 368–373 К. Термическое переключение образца происходит при прямой или обратной полярности питающего напряжения, а также при прогреве образцов без питающего напряжения.

Величина порогового напряжения переключения МДП структур из высокоомного в низкоомное состояние возрастает в 3 раза при уменьшении температуры от 393 до 291 К. В МДП структурах на основе кремния *n*-типа проводимости также наблюдаются подобные эффекты переключения и памяти, однако в отличие от структур на основе кремния *p*-типа описанные явления происходят при противоположных по знаку полярностях питающего напряжения.

Анализ приведенных данных позволяет высказать предположение о том, что механизм переключения проводимости с памятью обусловлен фазовым переходом в пленке фторида лантана. При этом переключение проводимости и образование памяти в исследуемых структурах происходит в перегретой ветви шнура тока и связано, по-видимому, с фазовым переходом 1 рода, происходящим в узком проводящем канале слоя фторида редкоземельного элемента. В низкоомном состоянии при обогащающих напряжениях сопротивление структуры определяется сопротивлением растекания R_s кремниевой подложки, из которого можно определить диаметр проводящего канала d_k , образующегося в диэлектрической пленке, по следующей формуле:

$$d_k = \frac{\rho}{2R_s},$$

где ρ — удельное сопротивление кремния. Проведенные исследования показывают, что диаметр проводящего канала в пленке фторида лантана, возрастает от 1.4 до 9 мкм при уменьшении величины нагрузочного сопротивления от 85 до 250 Ом, включаемого последовательно с образцом при переключении в низкоомное состояние обогащающим напряжением и ограничивающего величину протекающего через образец тока.

Таким образом, проведенные исследования показывают перспективность использования изученных структур в качестве элементов постоянной репрограммируемой памяти, а также электрических и тепловых переключателей.

Список литературы

- [1] Старос Ф.Г., Крайзмер Л.П. Полупроводниковые интегральные запоминающие устройства. Л.: Энергия, 1972. 112 с.
- [2] Лямичев И.Я., Литвак И.И., Ощепков А.А. Приборы на аморфных полупроводниках и их применение. М.: Сов. радио, 1976. 128 с.
- [3] Рожков В.А., Петров А.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 1. С. 49–52.
- [4] Bullock D.C., Epstein D.J. // Appl. Phys. Lett. 1970. V. 17. N 5. P. 199–201.
- [5] Рожков В.А., Шалимова М.Б. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 5. С. 74–77.

Самарский государственный
университет

Поступило в Редакцию
22 августа 1993 г.