

06.2

© 1992

ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ПРОВОДИМОСТИ С ПАМЯТЬЮ В СТРУКТУРЕ $Al - DyF_3 - Si$

В.А. Рожков, М.Б. Шалимова

Явления переключения и памяти в полупроводниковых структурах представляют значительный интерес в связи с перспективностью их использования для создания различного рода переключателей, элементов записи и хранения информации, управляющих и логических устройств [1, 2]. Электрическое переключение проводимости с памятью наблюдается в халькогенидных материалах [2, 3] и пленках оксидов металлов [4, 5].

В настоящей работе исследованы закономерности эффекта электрического переключения проводимости и памяти, обнаруженного в МДП-структурах типа $Al - DyF_3 - Si$. В качестве подложек использовались полированные пластины кремния ориентации (100) или (111), *p*- или *n*-типа проводимости с удельным сопротивлением 5–10 Ом·см. Пленка фторида диспрозия толщиной $d=0.1-1$ мкм получалась методом термического распыления порошкообразного DyF_3 из молибденовой лодочки в вакууме 10^{-5} Тор на установке типа ВУП-5. Температура кремниевой подложки во время напыления составляла 300 °С. Electroды к пленке фторида диспрозия диаметром 0,5–0,7 мм изготавливались термическим испарением алюминия через трафарет. С обратной стороны на шлифованную поверхность кремния наносился сплошной контакт из алюминия.

Исследования вольтамперных характеристик (ВАХ) проводилось на постоянном токе с использованием электрометрического вольтметра ВК2-16, или переменном сигнале с помощью характериографа типа ТР-4805. Кинетика переключения проводимости образцов изучалась на запоминающем осциллографе С8-17 при действии одиночных прямоугольных импульсов напряжения.

Изготовленные структуры в исходном состоянии обладали практически симметричными ВАХ и имели высокое сопротивление ($R_{вык} = 10^{10} - 10^{11}$ Ом). Температурные зависимости тока образцов в этом случае характеризуются двумя значениями энергии активации 0,2 эВ и 0,7 эВ для областей температур 313–363 К и 364–423 К соответственно. На рис. 1 представлена типичная ВАХ изучаемых образцов, изготовленных на основе кремния *n*-типа проводимости с $\rho=5$ Ом·см и $d=0.15$ мкм. Как показали исследования, такие структуры при комнатной температуре могут находиться в двух устойчивых состояниях с существенно различными значениями сопротивления и ВАХ. В состоянии с высоким сопротивлением

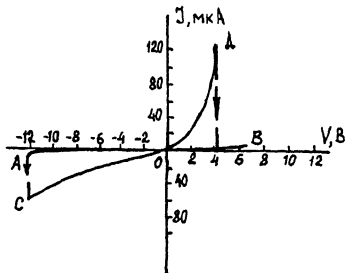


Рис. 1. Вольтамперная характеристика структуры $Al-DyF_3-nSi$. $d = 0.15$ мкм.

($R_{вык} = 10^{10} - 10^{11}$ Ом, ветвь АОВ, рис. 1) ВАХ, построенные в координатах $\ln J$ от \sqrt{V} , линейны, при этом ток через структуру экспоненциально возрастает с ростом температуры.

Образцы находятся в высокоомном состоянии, пока электрическое напряжение, соответствующее обеднению поверхности полупроводника основными носителями заряда, не превысит некоторого порогового значения $V_{п}$. Величины порогового напряжения переключения возрастают по линейному закону с увеличением толщины пленки фторида диспрозия и для исследуемых структур лежат в пределах $V_{п} = 5 - 250$ В, а напряженность электрического поля в диэлектрике при этом практически не изменяется и составляет $\sim 2 \cdot 10^6$ В/см. При превышении порогового напряжения происходит резкое (на 5-6 порядков) уменьшение сопротивления образца и переключение его в низкоомное состояние (ветвь СОД, рис. 1).

Сопротивление структур в проводящем состоянии лежит в пределах $R_{вк} = 10^4 - 10^5$ Ом. В низкоомном состоянии структуры обладают униполярной ВАХ с коэффициентом выпрямления $K = 5 \cdot 10^2 - 10^3$, при этом температурная энергия активации проводимости составляет 0.03-0.07 эВ. Полученное состояние устойчиво и сохраняется во времени при отключении питания.

Переключение структуры в исходное (высокоомное состояние) осуществляется при противоположной полярности прикладываемого напряжения, когда величина тока через образец достигает значения 100-250 мкА. При этом напряжение обратного переключения не зависит от толщины слоя фторида диспрозия и для различных образцов лежит в пределах $V_{вык} = 5 - 20$ В. Структуры воспроизводимо и многократно переключаются из одного состояния в другое и обратно как на постоянном, так и импульсном напряжении, причем оба состояния сохраняются длительное время (более 10 суток) при комнатной температуре и выключенном напряжении. Верхний предел числа циклов переключения в исследуемых образцах пока не установлен, однако количество переключений в проводящее состояние и обратно превышает 10^4 .

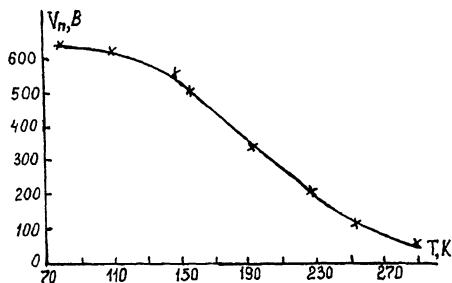


Рис. 2. Зависимость температуры переключения из низкоомного в высокоомное состояние от приложенного напряжения структуры $Al - DyFe - Si$.

Время переключения проводимости структур составляет 0.3 – 0.4 мкс.

Переключение структуры из низкоомного в высокоомное состояние может быть осуществлено также термическим способом при приложении напряжения, так и при обычном прогреве образца без питающего напряжения при температуре $\sim 400-430$ К. При этом термическое переключение проводимости происходит при значительно меньших значениях электрического напряжения по сравнению с электрическим переключением и наблюдается при обеих полярностях питающего напряжения. На рис. 2 представлена зависимость температуры переключения структуры из низкоомного в высокоомное состояние от приложенного напряжения при полярности, соответствующей обогащению поверхности полупроводника основными носителями заряда. Характерно уменьшение температуры переключения при увеличении электрического напряжения.

Для выяснения механизма переключения исследовались МДМ-структуры типа $Al - DyF_3 - Al$, которые также обладали свойством электрического переключения проводимости с памятью под действием постоянного или импульсного напряжения. При этом для ограничения энергии, вводимой в образец при переключении в низкоомное состояние от источника питания, последовательно со структурой включалось нагрузочное сопротивление R_H величины от 1 КОм до 50 МОм. В процессе переключения сопротивление МДМ-структуры также изменялось на 5–6 порядков, причем величина сопротивления образца в низкоомном состоянии R_{BK} зависит от значения нагрузочного сопротивления (рис. 2) и изменяется от 1 Ом до 10^8 Ом, следуя зависимости:

$$R_{BK} = R_0 + AR_H^\alpha,$$

где $\alpha = 0.7-1$. Данный результат связан с изменением площади сечения проводящего канала, которая уменьшается с увеличением

нагрузочного сопротивления. Величина порогового напряжения переключения МДМ и МДП-структур из высокоомного в низкоомное состояние возрастает в 10-13 раз при уменьшении температуры от 300 К до 77 К.

Анализ полученных данных показывает, что наблюдаемые в исследованных структурах эффекты обнаруживают качественную корреляцию с результатами по переключению с памятью в халькогенидных материалах [2]. Наиболее вероятным механизмом переключения проводимости и памяти являются электронно-термические процессы, происходящие в локальных участках пленки фторида диспрозия вследствие неравномерного распределения тока, которые приводят к фазовому переходу в материале диэлектрика и формированию проводящего канала.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] С т а р о с Ф.Г., К р а й з м е р Л.П. Полупроводниковые интегральные запоминающие устройства. Л.: Энергия, 1973. 112 с.
- [2] Л я м и ч е в И.Я., Л и т в а к И.И., О щ е п к о в Н.А. Приборы на аморфных полупроводниках и их применение. М.: Сов. радио, 1976. 128 с.
- [3] H e n i s h H.K. // Thin Solid Films. 1981. V. 93. N 2. P. 217-222.
- [4] Р о ж к о в В.А., П е т р о в А.И. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 1. С. 49-52.
- [5] A r g a l l F. // Sol. State Electr. 1968. V. 11. N 5. P. 535-541.

Поступило в Редакцию
6 февраля 1992 г.