

06.2

© 1992

ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ПРОВОДИМОСТИ С ПАМЯТЬЮ
В КРЕМНИЕВЫХ МДП-СТРУКТУРАХ С ПЛЕНКОЙ
ФТОРИДА САМАРИЯ

В.А. Р о ж к о в, Н.Н. Р о м а н е н к о

Развитие микроэлектроники и систем обработки информации вызывает необходимость разработки элементов, обладающих качественно новыми возможностями и свойствами для записи, обработки и хранения информации. Явление электрического переключения проводимости с памятью в полупроводниковых структурах представляет особый интерес в связи с перспективностью их использования для создания электрических переключателей, элементов постоянной репрограммируемой памяти, управляющих и других функциональных устройств [1-4]. В настоящей работе описываются основные свойства явления бистабильного переключения проводимости, обнаруженного в МДМ- и кремниевых МДП-структурах с диэлектрической пленкой фторида самария.

МДП-структуры изготавливались из *p*- или *n*-монокристаллического кремния марки КЭФ-5 (111) или КДБ-4.5 (100) соответственно. Пленка фторида самария толщиной $h = 0.1-0.35$ мкм получалась методом термического распыления порошкообразного SrF_2 на полированные пластины кремния толщиной 150-200 мкм из молибденовой лодочки в вакууме 10^{-5} Тор на установке типа ВУП-4. Температура подложки во время распыления фторида самария составляла 300 °С.

Электроды к пленке фторида самария площадью 0.3 мм² изготавливались термическим испарением алюминия через графит. С обратной стороны на шлифованную поверхность кремния напылялся сплошной контакт из алюминия.

Изучение вольтамперных характеристик (ВАХ) проводилось на постоянном токе с использованием электрометрического вольтметра В7-30 или переменном сигнале с помощью характериографа типа ТР-4805. Кинетика переключения проводимости образцов исследовалась на запоминающем осциллографе С8-9А при действии одиночных прямоугольных импульсов напряжения.

Изготовленные МДП-структуры обладали почти симметричными ВАХ с незначительным коэффициентом выпрямления $K = 1.2-2$ и имели высокое сопротивление $R_{bc} = 10^{11}-10^{12}$ Ом. ВАХ, построенные в координатах $\ln J$ от \sqrt{V} , линейны, при этом ток через структуру экспоненциально возрастает с увеличением температуры. Температурные зависимости тока образца в этом случае (рис. 1)

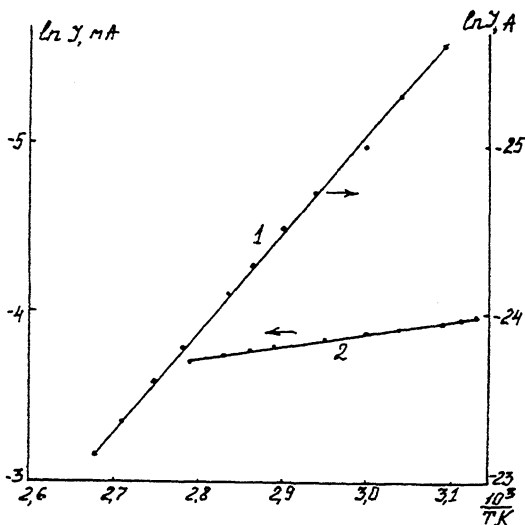


Рис. 1. Температурные зависимости тока МДП-структуры $\text{Al-SmF}_3\text{-nSi}$ в высокоомном (1) и низкоомном (2) состояниях, $h=0,23$ мкм.

для области температур 323–373 К характеризуются энергией активации $\Delta E_{BC} = 0,56$ эВ.

На рис. 2 представлена типичная ВАХ изучаемых МДП-структур, изготовленных на основе p-кремния. Как показали исследования, такие структуры при комнатной температуре могут находиться в двух устойчивых состояниях с существенно различными значениями сопротивления и ВАХ.

Свойства образцов в высокоомном состоянии ($R_{BC} = 10^{11} - 10^{12}$ Ом, ветвь АОВ, рис. 1) совпадают со свойствами исходных структур. Образцы находятся в высокоомном состоянии, пока электрическое напряжение, полярность которого соответствует обеднению поверхности полупроводника основными носителями заряда, не превысит некоторого порогового значения $V_D = 30 - 110$ В. При превышении порогового напряжения происходит резкое (на 5–6 порядков) уменьшение сопротивления образца и переключение его в низкоомное состояние (ветвь СОД, рис. 2).

Сопротивление структур в низкоомном состоянии лежит в пределах $R_{HC} = 10^5 - 10^6$ Ом, а структуры обладают униполярной ВАХ с коэффициентом выпрямления, лежащим в пределах $K = 10 - 100$. Прямая ветвь ВАХ прямолинейна в двойном логарифмическом масштабе и описывается соотношением: $J = AV^\alpha$, где A и $\alpha = 2$ – постоянные. При этом температурная энергия активации проводимости (рис. 1) составляет 0,03–0,035 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

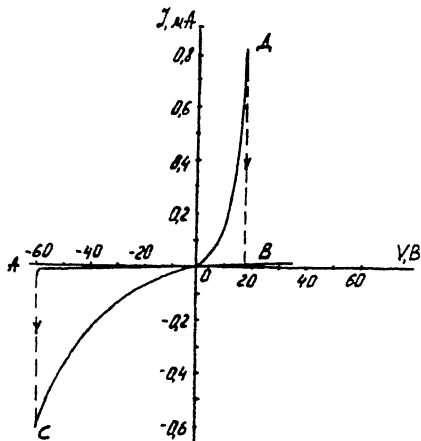


Рис. 2. Вольтамперная характеристика структуры $Al - SmF_3 - nSi$, $h = 0,23$ мкм.

0,8–1 мА. При этом напряжение обратного переключения для различных образцов лежит в пределах $V_{\text{вык}} = 4-16$ В. Структура воспроизводимо и многократно переключается из одного состояния в другое и обратно как на постоянном, так и импульсном напряжении, причем оба состояния сохраняются длительное время (более 15 суток) при комнатной температуре и выключенном напряжении. Верхний предел числа циклов переключения пока не установлен, однако это количество превышает 10^3 . Время переключения проводимости при действии одиночного импульса напряжения для различных образцов составляет 0,4–1,0 мкс.

Величины порогового напряжения переключения из высокоомного в низкоомное состояние возрастают по линейному закону с увеличением толщины пленки фторида самария, а обратное переключение из низкоомного в высокоомное состояние характеризуется отсутствием зависимости напряжения переключения от толщины слоя диэлектрика.

Переключение структуры из низкоомного в высокоомное состояние может быть осуществлено также термическим способом при приложении напряжения, так и при прогреве образцов без питающего напряжения при температуре 360–380 К. Причем термическое переключение проводимости происходит при значительно меньших значениях электрического напряжения по сравнению с электрическим переключением и наблюдается при обоих полярностях питающего напряжения. Характерно уменьшение температуры переключения при возрастании напряжения питания в случае прямых напряжений и ее увеличение с ростом величины запирающего электрического смещения.

Как показали исследования, при включенном последовательно с образцом сопротивлении нагрузки $R_H = 0.25-85$ кОм МДП-структуры переключаются из высокоомного в низкоомное состояние при обогащающих поверхность полупроводника поляризациях напряжения. При этом нагрузочное сопротивление используется для ограничения энергии, вводимой в образец при переключении от источника питания, и предотвращения необратимого электрического пробоя диэлектрической пленки фторида самария. В процессе переключения сопротивление МДП-структуры изменялось на 6-8 порядков, причем величина сопротивления образца в низкоомном состоянии $R_{НС}$ зависит от значения нагрузочного сопротивления и изменяется от $1.8 \cdot 10^5$ до $2.3 \cdot 10^3$ Ом при уменьшении величины нагрузочного сопротивления от 85 кОм до 250 Ом. Анализ показывает, что данный результат связан с изменением площади сечения проводящего канала, которая уменьшается с увеличением нагрузочного сопротивления. Расчет диаметра проводящего канала в пленке фторида самария из величины сопротивления растекания структуры в низкоомном состоянии показывает, что диаметр уменьшается по линейному закону от 9.7 до 0.12 мкм при возрастании сопротивления нагрузки от 250 до 85 кОм.

Анализ полученных данных показывает, что наблюдаемые в исследуемых структурах эффекты обнаруживают качественную корреляцию с результатами по переключению с памятью в халькогенидных материалах [1] и в оксидах редкоземельных элементов [3]. Наиболее вероятным механизмом переключения проводимости и памяти являются электронно-термические процессы, происходящие в локальных участках пленки фторида самария 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] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Н e n i s h Н.К. // Thin Solid Films. 1981. V. 93. N 2. P. 217-222.

Самарский государственный
университет

Поступило в Редакцию
17 июля 1992 г.