

06

Вольт-амперные характеристики структур металл–окисел–окисел–металл с несколькими участками отрицательного дифференциального сопротивления

© А.А. Семёнов, Д.А. Усанов

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
E-mail: SemenovAA@info.sgu.ru

В окончательной редакции 5 марта 2008 г.

Представлены результаты исследования вольт-амперных характеристик структур типа металл–окисел–окисел–металл, образованных прижимным контактом электродов из алюминия и цинка с естественными окисными слоями. Показано, что на характеристиках подобных структур могут наблюдаться несколько участков с отрицательным дифференциальным сопротивлением N -типа как в области положительного, так и отрицательного смещения. Обнаруженное явление представляет интерес при конструировании генераторов, усилителей и преобразователей частоты, функционирующих в высокочастотных диапазонах спектра, а также при выборе режимов их работы.

PACS: 07.57.Hm

Интерес к исследованию структур типа металл–окисел–окисел–металл (МООМ) был связан с возможностью их использования в качестве детекторов и смесителей в различных, в том числе крайне высокочастотных, диапазонах спектра [1,2], а также для обнаружения скрытых дефектов в металлических деталях и металлоконструкциях [3]. На вольт-амперных характеристиках (ВАХ) такого рода структур могут наблюдаться участки с отрицательным дифференциальным сопротивлением (ОДС) как N -, так и S -типа. При этом авторы [4] прогнозировали возможность наблюдения на ВАХ подобной структуры нескольких участков ОДС N -типа, экспериментально же ими наблюдался лишь один такой участок и только при одной полярности приложенного к образцу внешнего смещения.

Нами исследовались ВАХ структур типа МООМ, образованных прижимным контактом электродов из алюминия и цинка с естественными окисными слоями. Цинковый электрод был выполнен в виде прямоугольной пластины из листового материала; подвижный прижимной алюминиевый электрод представлял собой Al проволоку диаметром 2.5 mm с S-образным изгибом в месте касания для контакта электродов по радиусу изгиба. Прижимной механизм, включающий в себя держатель Al электрода, цилиндрическую пружину растяжения и механический фиксатор, обеспечивал заданное усилие в месте контакта электродов на протяжении серии измерений. Конструкция механизма обеспечивала также две степени свободы перемещения Al электрода и позволяла выбирать место контакта в произвольных точках плоскости поверхности цинкового электрода с различным прижимным усилием.

Алюминий и цинк являются широко распространенными материалами твердотельной электроники, имеющими на поверхности естественные окисные слои, позволяющие достаточно просто реализовать нелинейную структуру с потенциальными барьерами без применения сложных технологических операций, что изначально и обусловило выбор такой пары для создания на ее основе активного элемента с ВАХ, обладающей по меньшей мере хотя бы одним участком с отрицательным дифференциальным сопротивлением.

Исследование ВАХ-структур проводилось с помощью приставки — характеристики к осциллографу, причем наблюдаемые характеристики фиксировались с помощью видекамеры, имеющей USB-интерфейс связи с компьютером.

В состав приставки входил регулируемый источник питания постоянного тока с низким выходным сопротивлением, обеспечивающий положение рабочей точки на ВАХ исследуемой МООМ-структуры, мощный регулируемый источник переменного тока для формирования сигнала развертки, токоограничивающий реостат, выполняющий функцию плавной регулировки величины переменного тока через исследуемую структуру, низкоомный датчик тока и усилитель токового сигнала. Падение напряжения на МООМ-структуре и усиленный токовый сигнал подавались соответственно на усилители горизонтальной и вертикальной разверток осциллографа типа EO 174В.

Экспериментальные ВАХ исследуемой МООМ-структуры приведены на рис. 1–3. Из общего вида ВАХ (рис. 1) следует, что структура обладала несимметричной нелинейной характеристикой с участками

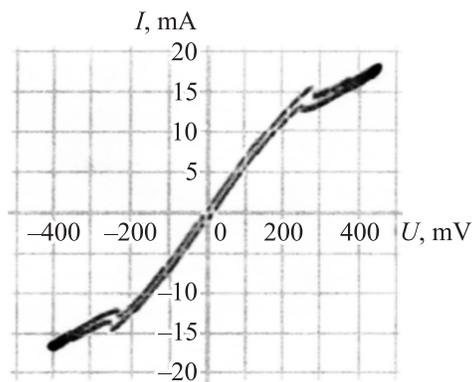


Рис. 1. Экспериментальная ВАХ МООМ-структуры (общий вид).

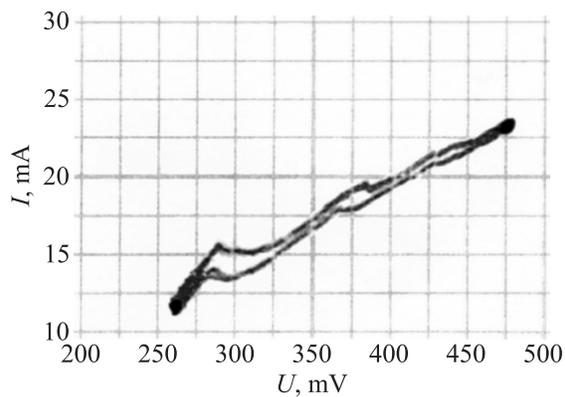


Рис. 2. Положительная ветвь ВАХ МООМ-структуры с участками ОДС.

ОДС N -типа как на положительной, так и на отрицательной ветви. При соответствующем выборе прижимного усилия, а также места контакта с поверхностью цинкового электрода, на ВАХ исследуемой структуры были зафиксированы несколько участков ОДС N -типа. На рис. 2 приведена осциллограмма положительной ветви ВАХ МООМ-структуры.

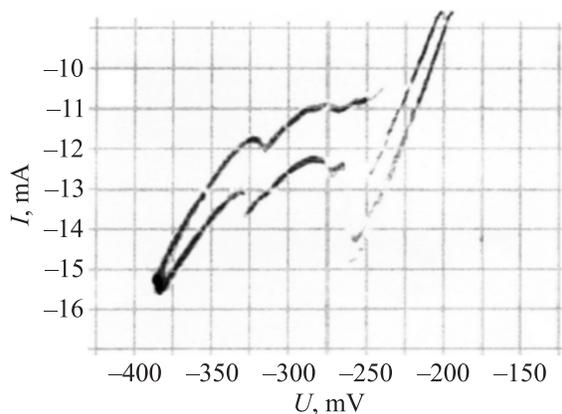


Рис. 3. Отрицательная ветвь ВАХ МООМ-структуры с участками ОДС.

При сдвиге рабочей точки в область отрицательных значений на ВАХ исследуемой структуры наблюдалось три участка ОДС *N*-типа (рис. 3).

Качественно наблюдаемый эффект был хорошо воспроизводим, а выбор места контакта и прижимного усилия в большей мере обуславливали количественные характеристики ВАХ. В эксперименте место контакта и усилие прижима выбирались до наиболее яркого проявления эффекта.

Разработанная на основе такой структуры генераторная схема демонстрировала устойчивые колебательные режимы при сдвиге рабочей точки на нескольких участках ВАХ, что и обусловило необходимость проведения исследования ее характера. Полученные результаты отчасти качественно соответствовали теоретическим выкладкам, приведенным в работе [4], что позволило предположить в качестве механизма появления нескольких участков ОДС на ВАХ исследуемой структуры осцилляционную зависимость коэффициента прозрачности от энергии при надбарьерном отражении электронов от скачков потенциала при туннелировании сквозь энергетический барьер. Нами исследовалась также возможность использования пары Al–Cu, но для такой структуры описанный выше эффект не наблюдался.

Таким образом, полученные экспериментальные результаты свидетельствуют о наличии у исследуемых МООМ-структур образованных

прижимным контактом электродов из алюминия и цинка с естественными окисными слоями, участков ВАХ с ОДС в области как положительного, так и отрицательного смещения, а также подтверждают возможность наблюдения на ВАХ подобных структур более двух участков ОДС *N*-типа. Характерные значения толщин окисла на поверхностях выбранных металлов имеют по разным источникам величину порядка 5–100 Å, что позволяет охарактеризовать их как сравнимые с длиной волны де Бройля и предположить возможность наблюдения в таких структурах явления резонансного туннелирования. В связи с этим модель, использованная авторами работы [4], представляется нам вполне применимой для рассмотренного случая.

Обнаруженное явление представляет интерес при конструировании генераторов, усилителей и преобразователей частоты, функционирующих в высокочастотных диапазонах спектра, а также при выборе режимов их работы. Теоретическое объяснение полученных результатов может быть предметом отдельного рассмотрения.

Список литературы

- [1] *Денисов В.С., Захарьяш В.Ф., Клементев В.М., Чепуров С.В.* // ПТЭ. 2007. № 4. С. 96–102.
- [2] *Ватова Л.Б., Кобзев В.В., Ривлин А.А., Соловьев В.С.* // Радиотехника и электроника. 1975. Т. XX. № 10. С. 2204–2208.
- [3] *Штейншлейгер В.Б.* // УФН. 1984. Т. 142. В. 1. С. 131–145.
- [4] *Алексаия А.Г., Беленов Э.М., Компанец И.Н.* и др. // Письма в ЖТФ. 1980. Т. 6. В. 18. С. 1096–1098.