



# Beynəlxalq Konfrans "Fizika-2005" International Conference "Fizika-2005" Международная Конференция "Fizika-2005"

7 - 9  
İyun  
June 2005  
Июнь

№228  
səhifə  
page 863-865  
стр.

Bakı, Azərbaycan

Baku, Azerbaijan

Баку, Азербайджан

## ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ И ВЕРХНЕГО ЭЛЕКТРОДА НА ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ СВОЙСТВА М-Д-М СТРУКТУР

АЛЕКПЕРОВА Ш.М., ГАДЖИЕВА Г.С., АХМЕДОВ И.А.

*Институт Физики НАН Азербайджанской Республики*

*Баку, пр. Г. Джавида, 33*

*E-mail: [sh\\_alekperova@physcs.ab.az](mailto:sh_alekperova@physcs.ab.az)*

С целью выяснения природы двойного переключения N- и S- типа на ВАХ структуры Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ag, полярный диэлектрик – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> был заменен неполярным диэлектриком –полистиролом, слоем GeO, а верхний электрод из Ag –металлами с разными работами выхода: Al, Cu, In, Sn. Оказалось, что двойное переключение N- и затем S-типа обусловлено туннельно-тонким слоем Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, полученным экспонированием Al на воздухе. Структуры с верхним электродом из In или Sn имеют ВАХ варисторного типа, а с электродами из Al, Cu –с областью отрицательного сопротивления.

Эффект переключения в многослойных структурах, природа N-, либо S- образного участков на вольтамперных характеристиках (ВАХ) несколько десятилетий являются объектом большого количества исследований. Приборы с ОС являются простейшими функциональными элементами. К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по исследованию отрицательного сопротивления (ОС), переключения и памяти на (ВАХ) объёмных и тонкопленочных структур металл-диэлектрик-металл (М-Д-М) на основе некоторых органических материалов и различных окислов [1-5]. Однако, как экспериментальные результаты, так и их объяснения не привели к единому мнению относительно факторов, обуславливающих своеобразность ВАХ М-Д-М структур. Наличие N-образного участка на ВАХ структуры Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-M (толщина окисла варьировалась от 100 до 500Å) в [4] объясняется захватом электронов на многозарядные центры в окисле. В структуре с серебряным верхним электродом авторы наблюдали ВАХ с двумя максимумами тока, величины которых зависели от давления воздуха. Наличие второго максимума в других работах не обнаружено. По-видимому, из-за слишком большой толщины окисла она неравномерна и с увеличением напряжения сначала подключается участок с более тонким слоем окисла, а с дальнейшим возрастанием напряжения – более толстым. На ВАХ М-Д-М структур имели место также S-образные срывы тока, наличие которых

некоторые авторы приписывали возникновению металлических нитей между верхним и нижним электродами [6]. Однако, наши результаты по исследованию влияния степени разреженности воздуха (760÷10<sup>-5</sup>мм.рт.ст.) на ВАХ тонкопленочной структуры Al-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Ag (толщина Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 50÷60Å) [7,8], а именно, изменение порогового напряжения со степенью разреженности воздуха, наводит на мысль, что в зависимости от давления воздуха изменяется ширина запрещенной зоны окисла: сужается при высоких, расширяется при низких давлениях, что в конечном итоге приводит к изменению глубины залегания уровней. Особенностью данной структуры является то, что не изменяя приложенное напряжение структуру можно вернуть в низкоомное (высокоомное) состояние повышением (понижением) давления окружающей среды. Таким образом, напряжение переключения, спонтанно реагирующее на степень разрежения окружающего воздуха опровергает также модель «проводящих нитей», ответственных, якобы за появление S-образного участка на ВАХ. Несмотря на большое количество работ по исследованию М-Д-М структур в пленочном и массивном исполнении, с прижимными или напыленными электродами однозначно не выяснено: связаны ли N- и S –образные участки ВАХ на М-Д-М структурах с полярными свойствами Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и работой выхода материала верхнего электрода. Поэтому нами было исследовано влияние природы диэлектрического слоя и материала

верхнего электрода на эффект переключения, ОС и памяти в М-Д-М структурах. С этой целью в структуре М-Д-М полярный диэлектрик  $Al_2O_3$  был заменен полистиролом – неполярным диэлектриком. У полярных диэлектриков, с присущими им дипольно-релаксационной поляризацией  $\epsilon \sim 3,5-6,5$ , у полистирола, характеризующегося только электронной поляризацией  $\epsilon \sim 1,9$ . В качестве верхнего электрода на структуре  $Al-Al_2O_3-M$  использованы металлы:  $Ag(4,3эВ)$ ,  $In(3,8эВ)$ ,  $Al(3,74эВ)$ ,  $Cu(4,47эВ)$ ,  $Sn(4,38эВ)$ . В скобках дана работа выхода каждого металла. На ситалл, напылением в вакууме ( $10^{-5}$  мм.рт.ст.) наносился слой алюминия марки АВ000 (примесь  $<0,004$ ), затем экспонированием на воздухе получалось сплошное покрытие из  $Al_2O_3$ , толщиной  $(50 \div 60) \text{ \AA}$ . Далее в вакууме наносился каждый в отдельности металл. На ВАХ структур (рис.1) с верхним электродом из  $Ag(a)$ ,  $Al(б)$ ,  $Cu(г)$  имеет место ОС и переключение с памятью.

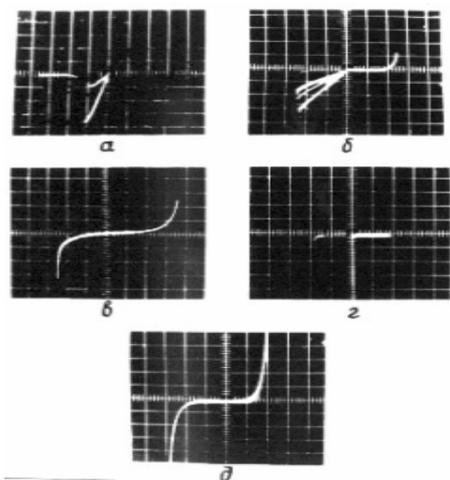


Рис.1. ВАХ структур  $Al-Al_2O_3-M$  с верхним электродом:  $Ag(a)$ ;  $Al(б)$ ;  $In(в)$ ;  $Cu(г)$ ;  $Sn(д)$

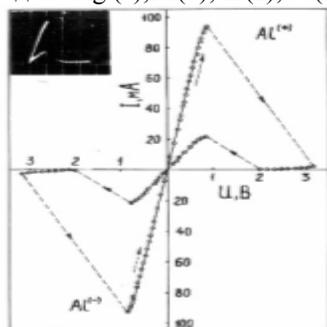


Рис.2 ВАХ и осциллограмма структуры  $Al-Al_2O_3-Ag$  при  $300K$  ( $U=1B/дел.$   $I=20mA/дел.$ )

Структуры с верхним электродом из  $In(в)$  и  $Sn(д)$  – имеют ВАХ варисторного типа. Структура с верхним электродом из  $Ag$  отличается двумя областями ОС на ВАХ. На рис.2 представлены статическая ВАХ и осциллограмма структуры 1(a). Начало измерений соответствует полярности (-) на  $Al$  электроде. Направление измерения отмечено стрелками на ВАХ Структура  $Al-Al_2O_3-Ag$  в области  $0,0 \div 0,4B$  имеет N-образный участок, симметричный

относительно начала координат. Ток в максимуме  $I_m \sim 20mA$  при напряжении  $\sim 0,8B$ . Структура в низкоомном состоянии  $(1 \div 4) \text{ Ом}$  держится до  $0,8B$ . Затем структура переключается в высокоомное ( $10^6 \text{ Ом}$ ) состояние. Двойное переключение N, и следующая за ним S-типа на ВАХ наблюдалось нами только на структуре с верхним электродом из  $Ag$ .

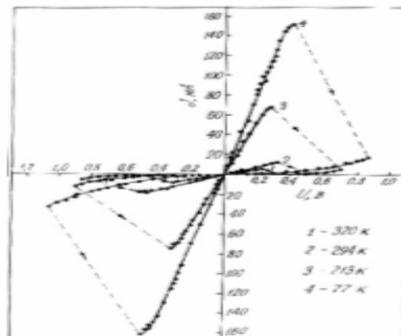


Рис.3 ВАХ тонкопленочной структуры  $Al$ -полистирол- $Ag$

Тонкопленочная структура  $Al$ -полистирол- $Ag$  изготавливалась следующим образом: на очищенную ситалловую пластину в вакууме ( $10^{-5}$  мм.рт.ст.) напылялся слой  $Al$ , толщиной  $\sim 0,7$  мкм, полистирол, сжиженный в растворителе (до нужной консистенции) наносился на металл и сверху прижималась тонкая серебряная фольга. ВАХ структуры в температурном интервале  $77 \div 320K$  представлены на рис.3 Как видно из рисунка, МДМ структура на полистироле также обладает полярно-зависимым эффектом переключения и памяти. В начале при полярности напряжения (-) на  $Al$  электроде структура находится в низкоомном состоянии (рис.3, кр.1.  $I_{max} \sim 4mA$ ). С понижением температуры от  $320$  до  $77K$  сопротивление низкоомного участка уменьшается, ток в максимуме возрастает от 5-ти до  $150mA$  (кр.4, рис.3). Сопротивление низкоомной ветви в направлении  $320 \rightarrow 77K$  снижается от  $40$  до  $2,5$  Ом. После переключения в высокоомное состояние оно сохраняется и при перемене полярности приложенного напряжения на (+) на  $Al$  электроде. Конечное состояние остается в “памяти” элемента сколь угодно долго. При обоих полярностях напряжения имеет место нестабильная область ОС и устойчивая низкоомная область. Кроме того, для выяснения: связано ли наблюдаемое ранее [7] двойное- N- и S типа переключение в тонкопленочной структуре -  $Al-Al_2O_3-Ag$  с тем, что  $Al_2O_3$  является полярным диэлектриком или тем, что окись алюминия, полученная экспонированием на воздухе была туннельно-тонкой, она была заменена  $GeO$ - тоже полярным окислом, но толщиной  $0,3$  мк (более тонкие слои не сплошные).

Планарная тонкопленочная структура  $Al-GeO-Ag$  получена вакуумным напылением каждого слоя. Толщины  $Al$  и  $Ag \sim 0,35$  мкм На рис.4 представлены осциллограмма и статическая ВАХ тонкопленочной структуры  $Al-GeO-Ag$ . Первый квадрант снят при (-) на  $Al$  электроде ВАХ этой структуры обладает

полярно-зависимым эффектом переключения и памяти. Структура запоминает свое конечное состояние сколь угодно долго. При полярности (-) на Al электроде новый образец находится в низкоомном состоянии ( $\sim 10$  Ом;  $I_m \sim 9$  мА;  $U_m \sim 0,1$  В). При увеличении напряжения  $U_m > 0,1$  В образец скачком переходит в высокоомное ( $10^4$  Ом) состояние и сохраняет его при перемене полярности напряжения

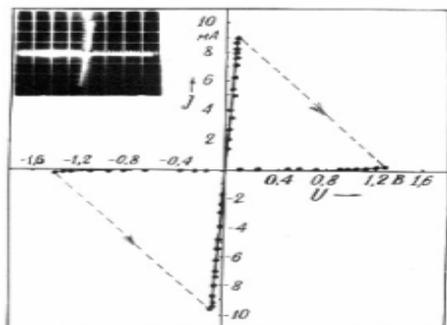


Рис.4 Осциллограмма и ВАХ структуры Al-GeO-Ag при T=300K

Следовательно, при перемене полярности приложенного напряжения реактивность индуктивного характера изменяется на емкостной и наоборот. В отличие от МДМ структур на  $Al_2O_3$  двойное переключение сначала N, затем S-типа на ВАХ данной структуры отсутствует. Следовательно, только в структуре Al- $Al_2O_3$ -Ag с туннельно-тонким слоем окиси алюминия, полученного экспонированием алюминия на воздухе имеет место симметричный при обеих полярностях N-образный участок на ВАХ при 300K, который обусловлен на наш взгляд, туннельным переходом носителей заряда

через туннельно-тонкие контакты Al- $Al_2O_3$  и  $Al_2O_3$  – Ag.

Таким образом, однозначно можно утверждать, что особенности ВАХ структур М Д М определяются материалом верхнего электрода, не зависят от природы диэлектрического слоя. Решающую роль в появлении на ВАХ симметричного двойного N- и S-образного участков играет туннельно -тонкий слой  $Al_2O_3$ , которую можно получить исключительно, экспонированием напыленного в вакууме слоя алюминия в воздухе. Только с туннельно-тонким слоем окисла в МДМ структуре реактивность емкостного характера ( N - участок на ВАХ) образуется вследствие наличия в ней внутренней отрицательной обратной связи, которая при достижении порога переключения из-за возникшей внутренней положительной обратной связи переходит в реактивность индуктивного характера (S-участок).

[1]. T.W.Hicmott J.Appl.Phys.33,9,2669,(1962); 35,7,2118 (1964 ); 36,6,1885 (1965)  
 [2]. I.Emmer Phys..Status Sol.a,3,3, 191(1970); 4,2, K135 (1971).  
 [3]. A.Roy Bardhan, .C.Srivastava,D.L Bhattacharyya Thin Solid Films,24, 2, S41 (1974)  
 [4]. ГА.Филаретов, .И.Стафеев,Ю.З.Бубнов.ФТП,т.1, в.9 (1967)  
 [5]. А.С.Бабаев,В.В.Кузнецова,В.И.Стафеев.ФТП,7, 5, 1012 (1973)

[6]. G.Dearnaley, D.V.Morgan, A.M.Stonehman. J.Non- Cryst.Solids, 4, 593 ,(1970)  
 [7]. Ш.М.Алекперова, В.А.Ветхов, Г.С.Гаджиева . Ф.ДКасимов. Радиотехника,в.2, 13,(1986)  
 [8]. Ш.М.Алекперова, Г.С.Гаджиева, И.А.Ахмедов. Известия НАН Азербайджана,серия физ.техн. и мат.наук,т.XIX, №6, 162,(2000)