

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ

 $Ag-SiO_2Se-Al$

Х.И. Кляус, С.И. Коняев

В работах [1,2] представлены результаты исследования параметров вольтамперных характеристик тонкопленочных переключающих элементов со структурой металл-диэлектрик-металл, в которых диэлектриком служила плёнка дисперсного состава SiO_2Se . В данной работе проведено исследование такой же системы, но в качестве одного из электродов использовался металл с повышенным коэффициентом диффузии в диэлектрик (Ag).

Система $Ag-SiO_2Se-Al$ имеет несимметричную вольтамперную характеристику. "Плюс" на Al соответствует запиорному направлению, а "плюс" на серебряном электроде - пропускному. При включении в пропускном направлении на вольтамперной характеристике наблюдается участок отрицательного сопротивления S-типа (рис.1). В запиорном направлении при напряжениях больших, чем напряжение перехода из состояния с высокой проводимостью в состояние с низкой проводимостью (т.е. после участка отрицательного сопротивления N-типа), ток с напряжением растёт в соответствии с законом Шоттки.



Рис. 1

У части свежизготовленных образцов в выключенном состоянии наблюдалась повышенная омическая проводимость ($1 \cdot 10^{-5}$ - $2 \cdot 10^{-5}$ мо), которая монотонно во времени уменьшалась при приложении к образцу постоянного напряжения 3-10 в обратной полярности в течение нескольких минут до величины порядка 10^{-8} -

10^{-9} мо. Напряжение включения для различных толщин диэлектрика может составлять 1-15 в, предельно допустимый ток включенного элемента при комнатной температуре превышает 10 ма. При дальнейшем увеличении прямого тока до 50-100 ма происходит разрушение металлических электродов. Максимальный обратный ток выключения при комнатной температуре не превышает 1 ма. Время сохранения состояния высокой проводимости при отключенном источнике питания - более 200 часов, в дальнейшем элемент самостоятельно переходит в состояние с низкой проводимостью. Напряжение включения растёт с увеличением толщины и амплитуды предварительно приложенного отрицательного импульса. С

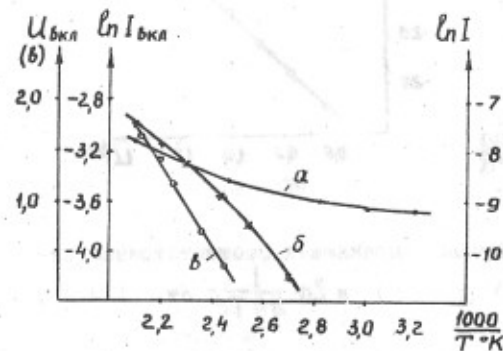


Рис. 2

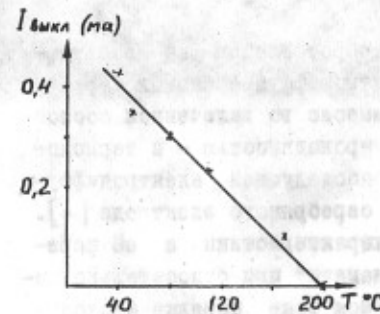


Рис. 3

увеличением температуры растут напряжение включения (рис.2а), ток включения (рис. 2б), ток на участке низкой проводимости (рис. 2в), а ток выключения - уменьшается и при $T = 473$ °К $I_{\text{выкл}} = 0$ независимо от толщины диэлектрика (рис.3), и система работает как элемент "без памяти", в то время как максимально допустимый прямой ток при этой температуре составляет несколько миллиампер. При температурах больших 350°К в пропускном направлении наблюдается линейная зависимость $\ln I$ от $\sqrt{U}$ (рис. 4), ток зависит приблизительно линейно от приложенного напряжения после включения в диапазоне температур 210 - 470°К.

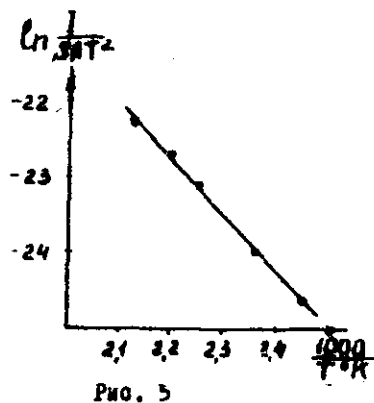


Рис. 5

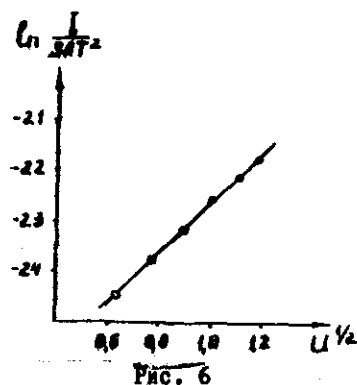


Рис. 6

где Δ и γ — углы наклона прямых, выражающих соответственно зависимости $\ln \frac{I}{SA^2T^2}$ от $(\frac{1}{T})$ (рис. 5) и $\ln \frac{I}{SA^2T^2}$ от $(U^{1/2})$ (рис. 6).

Значения ϵ , вычисленные по формулам (2), (3), $\lg \Delta$ из рис. 5 и $\lg \gamma$ из рис. 6 при $\psi = 1,13$ эв, $S = 500 \text{ нм}^2$, $S = 1 \text{ мм}^2$, $U = 1$ в, и $T = 473^\circ \text{К}$ приблизительно равны между собой и составляют $\sim 5,35$.

Наличие участка отрицательного сопротивления на вольтамперной характеристике связано с электромиграцией ионов серебра в диэлектрике и проводимостью по примеси во впадинном состоянии, а переход в состояние с низкой «проводимостью» — с термодинамической примесью атомов серебра с последующей электромиграцией образующихся ионов в область серебряного электрода [4].

Несимметричность вольтамперной характеристики и её переход из типа «с памятью» в тип «без памяти» при относительно невысокой температуре и допустимом прямом токе порядка нескольких миллиампер не согласуются с распространенным мнением об образовании эффекта «памяти» в тонкопленочной системе металл-диэлектрик-металл мостиками из материала электродов, разрушаемыми путем плавления при переключении элемента импульсами тока соответствующей амплитуды (температура плавления алюминия и серебра значительно превышает 153 и 473°К).

Линейная зависимость $\ln I$ от $\sqrt{U}$ и сильная зависимость I от T может указывать на Шоттковский (надбарьерный) механизм проводимости. Используя это обстоятельство, можно из зависимости тока от напряжения и температурной зависимости тока определить эффективную высоту потенциального барьера. Для модели Шоттки выражение для эмиссионного тока дается формулой [3]

$$I = SAT^2 \exp\left(-\frac{\psi}{kT}\right) \exp\left(\frac{e^3 U}{\epsilon d}\right)^{1/2} \quad (1)$$

где d — толщина диэлектрической пленки, S — площадь электродов, A — постоянная Ричардсона, остальные обозначения — общепринятые.

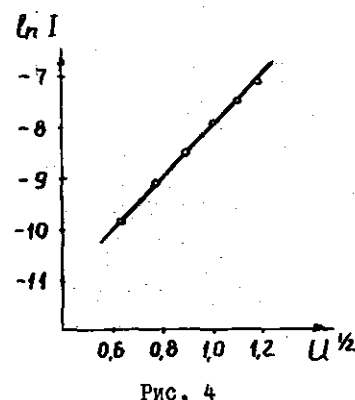


Рис. 4

Вычисленная по результатам экстраполяции прямой $\ln I = f(U^{1/2})$ (рис. 4) до пересечения с осью токов ($U = 0$) и значениям $S = 1 \text{ мм}^2$ и $A = 120 \text{ а·см}^{-2} \text{град}^{-2}$ эффективная высота потенциального барьера составляет 1,13 эв.

В реальном элементе вследствие диффузии серебра в объем диэлектрической пленки истинное значение её толщины между электродами не соответствует толщине края, которую измеряют с помощью интерферометра МИИ-4. Поэтому, прологарифмировав (1) и взяв от полученного выражения производные по $(\frac{1}{T})$ и по $(U^{1/2})$, исключаем толщину и окончательно получаем для значения диэлектрической постоянной для выражения

$$\epsilon = \frac{(e^3 U C)^{1/2}}{(\psi + k \lg \Delta) S^{1/2}} \quad (2)$$

и

$$\epsilon = \frac{1}{kT \lg \gamma} \left(\frac{e^3 C}{S} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Л и т е р а т у р а

1. КОНЯЕВ С.И., КЛЯУС Х.И. Тонкоплёночный коммутационный элемент. - "Радиотехника и электроника", 1970, т.15, № 5, стр. III2.
2. КЛЯУС Х.И., КОНЯЕВ С.И. Температурные зависимости параметров вольт-амперной характеристики тонкоплёночных переключающих элементов. - Материалы научно-технической конференции, посвященной 75-летию со дня изобретения радио. Секция "Вычислительная техника". Новосибирск, Изд-во "Наука", 1970.
3. МУСАБЕКОВ Т.Ю., САНДОМИРСКИЙ В.Б. Токи в диэлектриках, ограниченные пространственным зарядом. - В сб.: "Вопросы плёночной электроники, М., Изд-во "Сов.радио", 1966.
4. КОНЯЕВ С.И., КЛЯУС Х.И., МИШИН А.И. Тонкоплёночный коммутационный элемент со структурой металл-диэлектрик-металл. - В сб.: Вычислительные системы. Материалы ко II Всесоюзной конференции, секция IV. Новосибирск, Изд-во "Наука" СО, 1969.