

УДК 539.219.3

ОСОБЕННОСТИ ВОЛЬТ-АМПЕРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
 ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СИСТЕМЫ *Al-Se-Al*

С.И.Кояев, Х.И.Кляус

В работах [1-4] сообщается о наличии участка отрицательного сопротивления на вольт-амперной характеристике тонкопленочных систем  $M - Se - M$ , в частности, в [4] экспериментальные результаты связываются с присутствием ловушек в пленке селена. В данной работе проведено исследование вольт-амперной характеристики системы *Al-Se-Al* при токах, меньших  $10^{-9}$  а.

Образцы получались по описанной в [4] технологии. Измерение токов производилось с помощью электрометрического усилителя УИ-7.

Вольт-амперная характеристика исследуемой системы в статическом режиме для образцов с толщиной пленки селена  $3300 \text{ \AA}$  приведена на рис.1. Вид этой характеристики практически не зависит от полярности приложенного напряжения. До напряженности электрического поля  $\sim 10^5$  в/см ток растет с увеличением напряжения по линейному закону. При дальнейшем увеличении напряжения линейная зависимость нарушается, и происходит резкое увеличение тока. Перед участком возрастания наблюдаются небольшие флуктуации тока. При указанной выше напряженности электрического поля и неизменном приложенном напряжении обнаружена временная релаксация тока, которая в зависимости от условий полу-

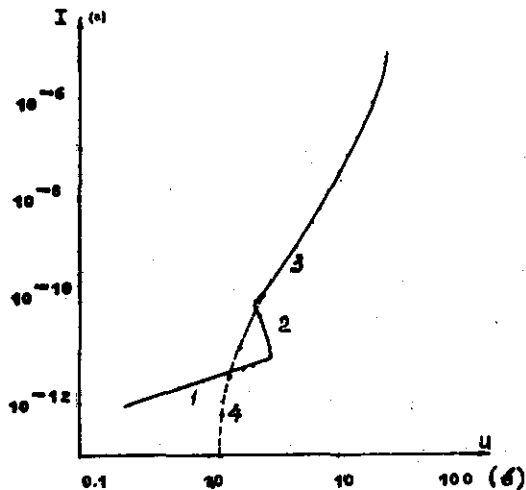


Рис.1

наблюдалась в основном на пленках, изготовленных при вакууме ниже, чем  $10^{-5}$  мм рт.ст.

Когда пленки селена были изготовлены при более высоком вакууме, то на вольт-амперной характеристике наблюдалась релаксация второго вида. При релаксации этого типа ток увеличивался приблизительно на два порядка, и в дальнейшем его значение во времени не изменялось (рис. 2, б).

На участке 3 вольт-амперной характеристики ток с напряжением растет в соответствии с выражением  $J \sim U^n$ , где  $n > 4$ , что согласуется с литературными данными для тока, ограниченного пространственным зарядом, в диэлектрике с ловушками. При уменьшении тока наблюдается гистерезис вольт-амперной характеристики (рис.1, кривая 4).

После отключения источников питания на металлических электродах возникает ЭДС обратного знака, вызывающая во внешней цепи ток, спадающий во времени (рис.2, в). Такого же характера

чения образцов бывает двух видов. В первом случае ток от начального значения  $\sim 3 \cdot 10^{-12}$  а медленно увеличивается приблизительно на порядок, затем спадает до своего первоначального значения (рис.2, а). При токах, больших, чем  $\sim 5 \cdot 10^{-11}$  а, временная релаксация не обнаруживается. Повторное наблюдение релаксационного процесса возможно только по истечении 20 - 30 дней хранения образцов без приложенного напряжения. Релаксация этого типа наб-

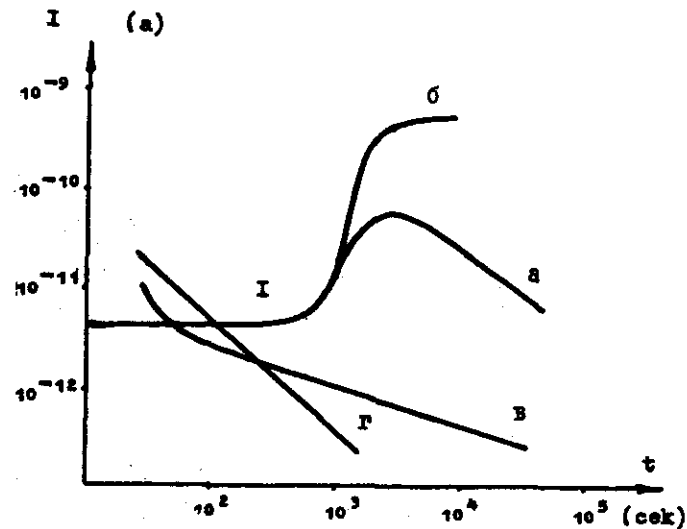


Рис. 2

ток, уменьшающийся во времени, наблюдается, если в образцах с релаксацией первого типа отключить источники питания во время релаксационного процесса или после приложения к исследуемой системе прямоугольных импульсов напряжения амплитудой 10-20 в и длительностью более 1 мсек.

Параметры вольт-амперной характеристики системы существенно меняются при введении в пленку осаждающегося селена в качестве примеси монооксида кремния. Гистерезис тока возрастает, участок резкого увеличения тока выражен значительно слабее или совсем исчезает, максимальный ток через пленку уменьшается на несколько порядков, процесс уменьшения обратного тока после отключения источников питания происходит быстрее (рис. 2, г).

Экспериментальные кривые рис. 2, в, г аппроксимируются выражением вида

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{(1 + \alpha t)^\beta},$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - константы, зависящие от температуры. Значение показателя степени " $\beta$ " для пленок селена при комнатной температуре составляет 0,4 - 0,6 и  $\alpha \approx 0,02$ , а для селена с примесями монооксида кремния  $\beta \approx 1$ .

Полученные экспериментальные данные можно объяснить наличием в пленке селена ловушек. При некотором напряжении происходит заполнение мелких донорных ловушек и ограничение тока пространственным зарядом, сосредоточенным на этих ловушках. По-видимому, из-за конечности времени заполнения ловушек на динамической вольт-амперной характеристике наблюдается участок отрицательного сопротивления  $S$  - типа [4]. Исходя из предположения о существовании в исследуемых структурах тока, ограниченного пространственным зарядом, были определены концентрация ловушек и произведение подвижности носителей заряда на степень заполнения ловушек. Эти значения соответственно равны  $\sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и  $\sim 4 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{в.сек}$ . Глубина залегания уровня ловушек, определенная по температурной зависимости тока на участке 3 вольт-амперной характеристики, составляет  $\sim 0,27$  эв, что удовлетворительно совпадает с литературными данными для глубины залегания донорных уровней в пленках аморфного селена [5]. При вычислении принималось, что в запрещенной зоне пленки селена имеются акцепторные и донорные уровни, а концентрация электронов в зоне проводимости значительно меньше концентрации акцепторов.

Релаксационный процесс, связанный с увеличением тока во времени, может быть вызван захватом носителей на ловушки. При большой концентрации пустых ловушек почти каждый электрон, инжектированный в пленку, будет захвачен, и поэтому может пройти значительный промежуток времени прежде, чем в зоне проводимости будет обеспечена заметная концентрация свободных носителей.

В аморфных пленках селена имеются донорные и акцепторные уровни. Пусть первые из них характеризуются скоростью возбуждения  $F$  и вероятностью захвата электрона  $R_p$ ; вероятность захвата электрона на центры другого типа равна  $R_t$ , а вероятность теплового возбуждения захваченного электрона -  $P$ . Если  $P$  и  $R_p$

достаточно малы, то может быть достигнуто стационарное состояние, которому соответствует плато I на кривой нарастания рис. 2 а, б. Плато начинается при  $t_1 = 1/R_t N_t [6]$  и оканчивается при  $t_2 = N_t / F - P/FR_t$ .

Уменьшение обратного тока в исследуемых структурах при отключенных источниках питания связано с опустошением ловушек и в рамках рассматриваемой модели может быть описано выражением [6]:

$$\Delta n = \frac{N_t \tau p}{(1 + p t)^2},$$

где  $\tau$  - время жизни,  $\Delta n$  - концентрация свободных носителей в процессе опустошения ловушек.

Это выражение качественно согласуется с экспериментальными данными.

Величина концентрации ловушек, определенная из экспериментальной кривой по времени рассасывания заряда (рис. 2, в), по порядку величины совпадает со значением, определенным по напряжению заполнения ловушек.

#### Выводы

1. При токах, больших  $10^{-10}$  а, вольт-амперная характеристика исследованной системы может быть описана теорией тока, ограниченного пространственным зарядом.
2. Экспериментально обнаруженная релаксация тока на вольт-амперной характеристике тонкопленочной системы  $Al-Se-Al$  при напряженности электрического поля  $\sim 10^5$  в/см, по-видимому, связана с процессом захвата ловушками носителей заряда, инжектированных в пленку селена.
3. После предварительного приложения напряжения на исследуемой структуре обнаружена ЭДС обратного знака, уменьшающаяся во времени. Это явление, по-видимому, связано с пространственным зарядом, образовавшимся в результате заполнения ловушек носителями заряда, инжектированными в пленку селена.

## Л и т е р а т у р а

1. КИОНЯЕВ С.И., МИШИН А.И. Тонкопленочный переключающий диод с  $S$  - образной вольт-амперной характеристикой. - "Вычислительные системы", Новосибирск, "Наука" Сиб.отд., 1967, вып.26, стр. 131.

2. КОРСУНСКИЙ М.И., ТРОФИМОВ О.А. О переключающих элементах на основе аморфного селена. У Всесоюзный симпозиум по стеклообразным халькогенидным полупроводникам. (Тезисы). Изд.4, "Наука", Л., 1970, стр. 34.

3. АНДРЕЕВ А.А., АЛЕКСЕЕВ В.А., ЛЕБЕДЕВ Э.А., МАМАДАЛИЕВ М. МЕЛЕХ Б.Т., РЕГЕЛЬ А.Р., РЫЖКОВ Ю.Ф. Эффект переключения жидких полупроводников. - ФТП, Т.6, № 4, стр. 661.

4. КИОНЯЕВ С.И., КЛЯУС Х.И., ШАПОЧАНСКАЯ Э.В. Отрицательное сопротивление в тонкопленочной системе  $Al-Se-As$ . - ФТП, 1968, Т. 2, №11, стр. 1678.

5. HARTKE J.L. Drift Mobilitis of Electrons and Holes and Space-Charge-Limited Currents in Smorphous Selenim Films. - Physical Revier, 1962, vol. 125, N4, p.1177-1192.

6. БЬЮБ Р. Фотопроводимость твердых тел. М., Изд-во "ИЛ" 1962, стр. 343.

Поступила в ред.-изд.отд.  
15 августа 1972 г.