

# ЭФФЕКТ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ НА ТОНКИХ ПЛЕНКАХ $\text{TlInSe}_2$

Э.М. Годжаев, К.Д. Гюльмамедов, Х.С. Халилова, С.О. Гулиева

Азербайджанский технический университет,  
пр. Г. Джавида, 25, г. Баку, А31000, Республика Азербайджан, [geldar-04@mail.ru](mailto:geldar-04@mail.ru)

Открытие эффекта переключения в халькогенидных полупроводниках [1, 2] и разработка на основе последних быстродействующих приборов [3] послужили толчком к целенаправленному изучению их состава. Полупроводниковые приборы на основе эффекта переключения или приборы с отрицательным сопротивлением (ОС) позволяют значительно упростить схемные решения. Наиболее полно преимущества приборов с ОС проявляются при использовании их в микроэлектронике. В этой связи в последние годы уделяется огромное внимание исследованию ВАХ тройных соединений типа  $A^{\text{III}}B^{\text{III}}C_2^{\text{VI}}$ , где  $A^{\text{III}}$  - Tl,  $B^{\text{III}}$  - In, Ga  $C_2^{\text{VI}}$  - Se, Te, и твердых растворов на их основе. При этом выявлено, что вышеуказанные материалы обладают переключающими свойствами с памятью; исследования в основном на поликристаллах и монокристаллах. Среди соединений типа  $A^{\text{III}}B^{\text{III}}C_2^{\text{VI}}$  наиболее перспективны  $\text{TlInSe}_2$ . Такая фаза обладает высокими коэффициентами фоточувствительности, тензочувствительности и переключающими свойствами с памятью [4–7]. Однако ВАХ тонких пленок  $\text{TlInSe}_2$  практически не исследовались, и целью настоящей работы является восполнение этого пробела.

Тонкие пленки получены путем конденсации из паровой фазы, поскольку этот способ обеспечивает относительно простые условия технологического процесса и достаточно хорошую воспроизводимость физических параметров.

ВАХ тонких пленок  $\text{TlInSe}_2$  снимались на постоянном токе по стандартной методике (рис. 1), где  $E_1$  – источник постоянного тока,  $R_1$  – потенциометр,  $K_1$  – ключ для смены полярности источника постоянного напряжения,  $K_2$  – ключ коммутации переменного и  $K_3$  – постоянного напряжений с диодом Д – для подачи напряжения на схему моста, который обеспечивает режим генератора тока для переключающего элемента. Сопротивление  $R$  калибровано по току и определяет начальный ток включения элемента.

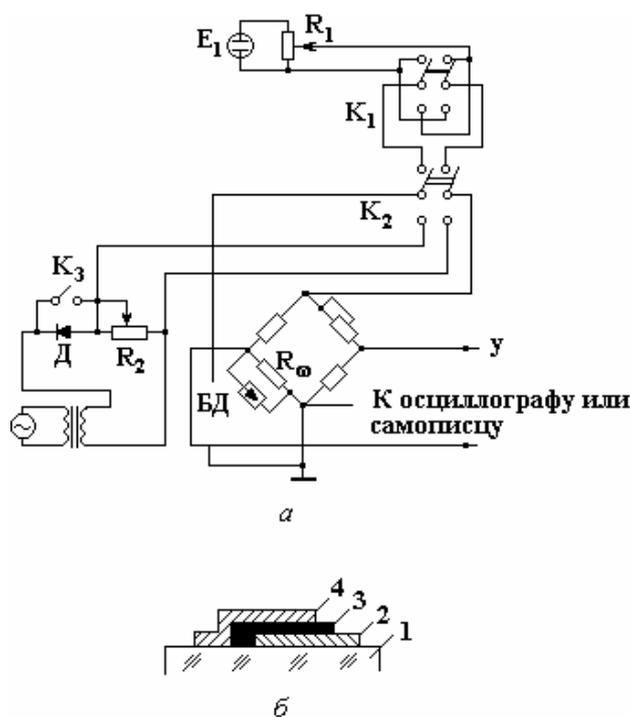


Рис. 1. Принципиальная схема установки для изучения ВАХ в статическом режиме (а), устройства прибора (б)

Для исследования поведения характерных точек ВАХ образцов с различными геометрическими размерами необходимо было получить образцы, в которых формовка является незначительной либо не происходит вообще, в противном случае смысл геометрических размеров образцов, определенных как площадь сечения и расстояние между контактами, теряется. Эксперименты проводились на неформирующихся образцах. В пленках  $\text{TlInSe}_2$ , когда величина электрического поля становится достаточно высокой, наблюдается экспоненциальный рост тока с напряжением. Первоначальное возрастание тока часто связывают с шоттковской эмиссией из контактов (дающих барьеры с основным веществом), при этом  $I = B \exp(\beta V^{1/2})$ . При более высоких полях неомические эффекты обусловлены объемом и  $I \approx \exp\left(\frac{V}{V_0}\right)$ .

Исследовались зависимости плотности тока от напряжения для пленок  $\text{TlInSe}_2$  одинаковой длины с разной площадью контактов (рис. 2). Область экспоненциального возрастания тока не объясняется существующими механизмами неомических контактов. Появление полевой линейности ВАХ в различных образцах, по-видимому, обусловлено локальным развитием S-отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) и переключения, в результате чего появляется узкий проводящий канал-статический шнур.

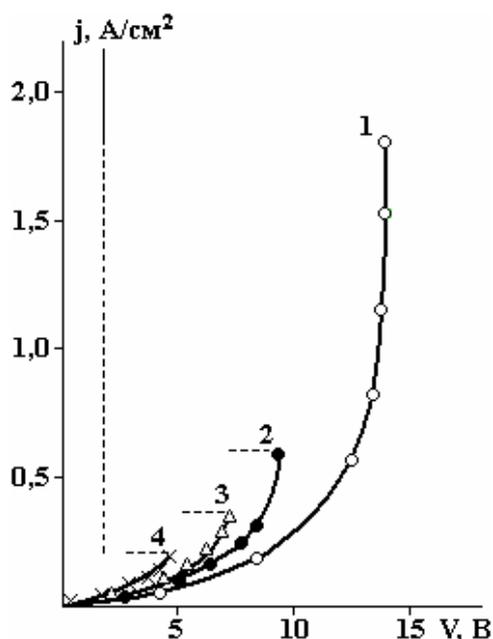


Рис. 2. Зависимость плотности тока от напряжения для образцов  $\text{TlInSe}_2$  длиной 10 мкм и площадью контакта,  $\text{см}^2$ : 1 –  $2 \times 10^{-3}$ ; 2 –  $2 \times 10^{-4}$ ; 3 –  $3 \times 10^{-4}$ ; 4 –  $13 \times 10^{-4}$

Отметим, что объяснение нелинейности ВАХ формированием статического шнура является лишь одним из многих возможных, и для доказательства его существования нужны дополнительные исследования.

Как следует из рис. 2, пороговые плотности и величина порогового падения напряжения на образце заметным образом уменьшаются с ростом площади контакта. Это удовлетворительно согласуется с моделью, так как с уменьшением площади контакта однородность образца возрастает. Двухступенчатое переключение, наблюдаемое при такой площади контакта, типично для пленок  $\text{TlInSe}_2$  и связано с невыполнением в точке порога критерия возникновения шнура.

Таким образом, локальное развитие S-образной характеристики в неоднородности может повышать среднюю проводимость образца, приводить к формированию статических шнуров и уменьшению перепада напряжения при переключении.

Важной особенностью ВАХ в пленках  $\text{TlInSe}_2$  является то, что шнур, возникающий при переключении, также статический, хотя в отдельных случаях наблюдались нерелаксационные колебания напряжения на образцах в состоянии со шнуром. Такой шнур, по-видимому, аналогичен захваченному на аноде домену сильного электрического поля в диоде Ганна. При достаточно большой неоднородности S-образный участок ВАХ вырождается, то есть статический шнур со своим параметром приближается к стабильному.

При небольших неоднородностях переход от статического шнура к стабильному происходит при флуктуации неустойчивости шнура, определенной током шнура, и если ток нестатического шнура превышает ток поддержания статического шнура. На рис. 3 приведена статическая ВАХ для  $TlInSe_2$ . Отметим следующие основные особенности ВАХ пленок соединения  $TlInSe_2$ :

- они симметричны относительно приложенного напряжения. Наблюдается двухступенчатый характер переключения независимо от того, переходит образец после второго переключения в состояние с памятью или переключение является обратным;
- гистерезис ВАХ после первого переключения весьма мал, и его величина не зависит ни от состава пленок, ни от температуры и величины тока, с которой снимается обратный ход ВАХ;
- переходная область между первым и вторым переключениями стабильна и воспроизводима при многократном снятии ВАХ;
- в диапазоне токов, соответствующих переходной области, имеется участок статической ОДП (отрицательная дифференциальная проводимость), значение которой зависит от состава образца и уменьшается с ростом температуры до появления одноступенчатого переключения.

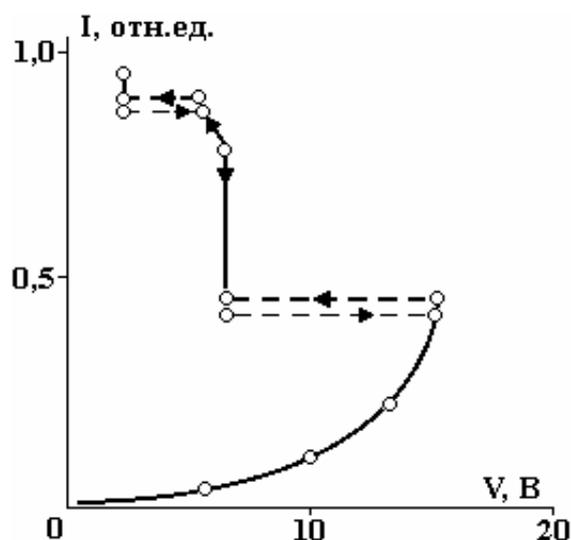


Рис. 3. Статическая ВАХ для  $TlInSe_2$

Для наблюдения двухступенчатого переключения измерительная схема и образец должны удовлетворять следующим требованиям:

- в образце не должна наблюдаться формовка. Проведенные исследования показали, что формовка обусловлена наличием и последующим пробоем барьеров на границах микронеоднородностей;
- важным фактором для получения двухпорогового переключения является площадь контакта, которая в рассматриваемом случае не превосходила  $2 \times 10^{-6} \text{ см}^2$ . Увеличение площади контакта приводило к вырождению двухпорогового переключения;
- при исследовании образцов, удовлетворяющих первым двум условиям, обеспечивался режим генератора тока.

Исследовалась зависимость ток-напряжение при значениях собственной паразитной емкости измерительной схемы 100 пФ, подключаемой параллельно образцу (рис. 4). Полученные результаты имеют следующие особенности:

- емкость влияет на величину порогового тока, и в результате в допороговой области образца возникают осцилляции. Так как в измерительной цепи осцилляции не фиксируются, они являются собственными осцилляциями образца и не имеют релаксационного характера;
- независимо от природы S-ОДС переключения в изученных пленках наступают при достижении определенной величины тока, необходимой для стабилизации неустойчивости, и могут не совпадать с появлением ОДС;
- в образцах с малой площадью контакта в режиме генератора тока либо на импульсах малой длительности получение истинного предпорогового участка зависимости ток-напряжение требует обязательного учета реактивной схемы.

Так как при работе в режиме генератора тока изменение тока через образец всегда сопровождается изменением напряжения на нем, разделить влияние этих двух параметров смещения

трудно. Поэтому проведен эксперимент, в котором изменился лишь ток через образец. С этой целью параллельно образцу подключалось переменное сопротивление достаточно большой величины, чтобы образец не шунтировалось полностью. Эта цепочка включалась в цепь ГТ (генератора тока); напряжение на ней всегда оставалось постоянным. В результате ток через образец можно было менять, изменяя величину переменного сопротивления. Увеличение сопротивления приводило к росту тока через образец, что в свою очередь вызывало линейный рост частоты осцилляции первого типа. Так как при этом  $RC$  схемы даже несколько возрастала, то можно считать, что поведение образца в режиме неустойчивости определяется величиной тока.

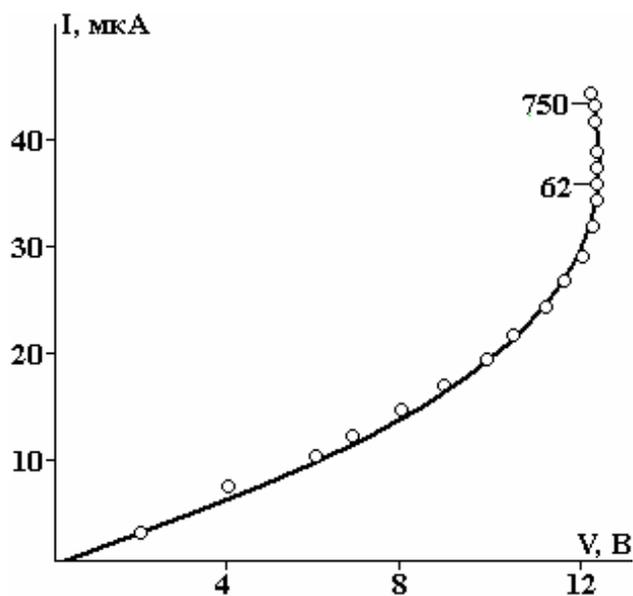


Рис. 4. Измерение допорогового участка ВАХ для образцов  $TlInSe_2$

Таким образом, для получения стабильного переключения необходимо, чтобы пороговый ток превышал ток стабилизации состояния с неоднородным распределением тока по сечению.

Выше изучено влияние геометрических размеров образцов на их свойства в целом. Покажем теперь, как изменяются параметры отдельных участков ВАХ. Рассмотрим предпороговую область ВАХ, где реализуются эффекты сильного электрического поля. На рис. 5 приведена ВАХ для образцов с различными длинами и площадями контакта.

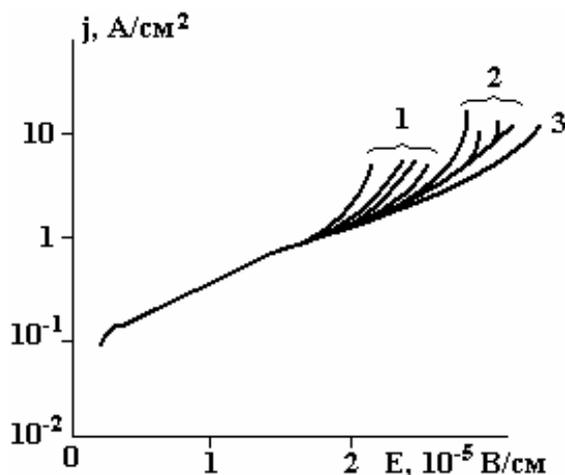


Рис. 5. Допороговые участки ВАХ для образцов "с памятью" состава  $TlGaTe_2$  длиной 0,5(1), 1,4(2) и 2,6 мкм (3); диаметр контакта изменялся в диапазоне 5–40 мкм

В образцах малого сечения уменьшение длины приводит к уменьшению порогового поля. В образцах большой длины уменьшаются как пороговое поле, так и пороговая плотность тока. В образцах малой длины изменение сечения в пределах 5–40 мкм не вызывало изменения допорогового участка ВАХ. Приведенные данные свидетельствуют, что в предпороговой области возможно расслоение электрического поля в образце.

С ростом диаметра контакта или сечения в образцах малой длины наблюдается лишь уменьшение порогового поля. В образцах большой длины пороговая плотность тока сильно уменьшается. В широком диапазоне длин образца (0,5–3 мкм) пороговая плотность не зависит от площади контакта.

Для пороговых переключателей при любой длине образца пороговое поле не зависит от площади контакта. Таким образом, наиболее универсальное явление в изученных образцах из различных материалов – это отсутствие радиальных неоднородностей плотности тока в довольно широком интервале длин (0,5–3 мкм). В более длинных образцах, изготовленных из материалов "с памятью", появляется радиальная неоднородность тока в допороговой области. В однородных материалах неоднородности в допороговой области возникают лишь в непосредственной близости к точке срыва.

Перечислим основные особенности влияния поперечных и продольных размеров на вид ВАХ.

1. Уменьшение поперечных размеров образца изменяет как допороговую, так и послепороговую части ВАХ.

2. При увеличении продольных размеров образцов размерные эффекты в допороговой части ВАХ сохраняются, а в послепороговой исчезают.

3. Размерные эффекты не могут быть обусловлены реактивностью образца, так как и уменьшение площади контакта, и увеличение продольных размеров уменьшают собственную емкость образца, но в соответствии с предыдущим пунктом имеют противоположные влияния на виды ВАХ в свойствах образца.

4. Пролетные эффекты играют существенную роль в формировании шнуров только в том случае, когда увеличение длины образца влечет за собой увеличение пролетного времени носителей или снижает величину тока получения стабильного шнура.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маилов А.А. Переключающие приборы на основе аморфных полупроводниковых материалов. *Электронная техника, серия VI, «Микроэлектроника»*, 1971, (3), 3–13.
2. Усов Н.Н., Гредасов А.Ф., Ефимова Т.А. Переключатели из стеклообразных полупроводников. *Электронная техника, серия 2, «Полупроводниковые приборы»*, 1973, (4), 81–86.
3. А.С. 607502(СССР). *Полупроводниковый переключатель* (Абдуллаев Г.Б., Абдуллаев А.Г., Гусейнов Г.Д., Азимов З.А. и Карнаухов А.М.). 1978.
4. Годжаев Э.М., Абдуллаев З.М., Гусейнова Ш.М. *О переключающих свойствах тройных и четвертных халькогенидов типа TlSe*. М.: ЦНИИ „Электроника”, 1976, депонирован, № 3975/76.
5. Годжаев Э.М., Зарбалиев М.М. Эффект переключения в сплавах системы  $TlInTe_2 - TlLnTe_2$ . *Изв. АН СССР. Неорганические материалы*. 1979, **15**(9), 1558–1560.
6. Годжаев Э.М., Садыгова Х.О. Вольт-амперные характеристики систем  $TlInTe_2 - InGaTe_2$ . *Изв. РАН. Неорганические материалы*. 1993, **29**(3), 337.
7. Haniyas M., Anagnostopoulos A.N. Negative –differential –resistance effects in the  $TlGaTe_2$  ternary semiconductor. *Phys.Rev. B*. 1993, **160**(8), 4261–4266.

Поступила 14.02.11

#### Summary

The article deals with the results of research of current-voltage characteristic of  $TlInSe_2$  thin films in a static mode depending on the length and the area of the contact. It has been found out that the effect of switching with memory is observed on  $TlInSe_2$  thin films and that in order to get a stable switching it is necessary for the threshold current not to exceed the current of stabilization of a state with non-uniform current distribution over the cross-section.