

Член-корреспондент АН СССР Г. Б. АБДУЛЛАЕВ, К. Р. АЛЛАХВЕРДИЕВ,
В. Б. АНТОНОВ, Р. Х. НАНИ, Э. Ю. САЛАЕВ

ЭФФЕКТ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И ПАМЯТИ НА КОНТАКТЕ КРИСТАЛЛА $CdIn_2S_4$ С МЕТАЛЛОМ

При исследовании контактных явлений на монокристаллах полупроводникового соединения $CdIn_2S_4$ (⁶) нами обнаружен эффект переключения и памяти (switching and memory). Соединение $CdIn_2S_4$ относится к классу тройных алмазоподобных полупроводниковых соединений с общей формулой $A^{II}B_2^{III}C_4^{IV}$, кристаллизуется в структуре типа нормальной шпинели, имеет ширину запрещенной зоны, по данным оптических измерений, 2, 3 эв. Так же, как сульфиды и селениды $A^{II}B^{IV}$, сульфиды и селениды $A^{II}B_2^{III}C_4^{IV}$ всегда имеют проводимость *n*-типа.

Монокристаллы $CdIn_2S_4$ выращивались кристаллизацией из расплава, в процессе выращивания осуществлялось легирование теллуром, сурьмой или висмутом для получения низкоомного материала с различным удельным сопротивлением.

С целью изучения свойств системы металл — $CdIn_2S_4$ исследовались вольт-амперные характеристики контакта некоторых металлов с монокристаллическими пластинками $CdIn_2S_4$, обладающими различным удельным сопротивлением. Поскольку контактные свойства зависят от состояния поверхности, то для исследований использовались как поверхности, образованные естественными гранями роста кристалла, так и пластинки, полученные шлифовкой и полировкой без дополнительной обработки и подвергнутые химическому травлению специально подобранными травителями (⁷).

Наиболее ярко свойство переключения и запоминания проявилось на контакте $CdIn_2S_4$ с вольфрамом и алюминием. При этом наблюдались вольт-амперные характеристики двух типов.

1. Вольт-амперная характеристика контакта металл — полупроводник линейна и соответствует высокому контактному сопротивлению (рис. 1а, ветвь *da*). Состояние низкой проводимости всегда является исходным. В этом случае при достижении некоторого напряжения — V_a в прямой ветви и V_d в обратной — система из высокопроводящего состояния *da* переходит скачком в высокопроводящее состояние *bc*. (Прямым здесь и далее принимается направление, при котором отрицательный потенциал приложен к кристаллу.) Динамическая вольт-амперная характеристика в этом случае имеет вид, показанный на рис. 2б. Осциллограмма снята на синусоидальном напряжении с частотой 100 гц. Вид вольт-амперной характеристики приближается к симметричному.

2. Вольт-амперная характеристика контакта обладает заметным выпрямлением (рис. 1б). В этом случае при напряжении V_a в прямом и V_d в обратном направлении происходит мгновенный переход системы на высокопроводящую ветвь *bc*. Однако в отличие от характеристики первого типа, близкой к симметричной, переключение в прямой ветви выражено гораздо слабее и в некоторых случаях, при значительном выпрямлении, ветви *oa* и *ob* вырождаются в петлю гистерезиса. Переключение в обратной ветви выражено достаточно сильно. В зависимости от степени выпрямления на контакте можно получить набор характеристик второго ти-

на, предельным случаем которых при отсутствии выпрямления будет характеристика первого типа.

Поскольку качественно характеристики в контакте CdIn_2S_4 с вольфрамом и алюминием одинаковы и отличаются лишь электрическими параметрами, остановимся несколько подробнее на вольт-амперной характеристике контакта $\text{W} - \text{CdIn}_2\text{S}_4$. Статическая и динамическая вольт-амперные

характеристики такой системы показаны на рис. 2а и б соответственно.

Исходным для данной системы состоянием во всех случаях являлось состояние низкой проводимости. При увеличении напряжения в прямом направлении по ветви oa до 3,0—3,5 в наблюдается скачкообразное увеличение тока до 30—40 ма, которое сопровождается уменьшением напряжения в системе до 1 в. После скачка система переходит в высокопроводящее состояние — ветвь ob . Отношение величин токов в «открытом» (при напряжении 1 в) и «закрытом» (при напряжении 3 в) состояниях составляет $6 \cdot 10^3$. Система может существовать в двух устойчивых состояниях «открыто» и «закрыто» — сколь угодно долго и без приложенного напряжения. Выдержка в течение 1500 час. не приводит к заметному изменению параметров устойчивых состояний.

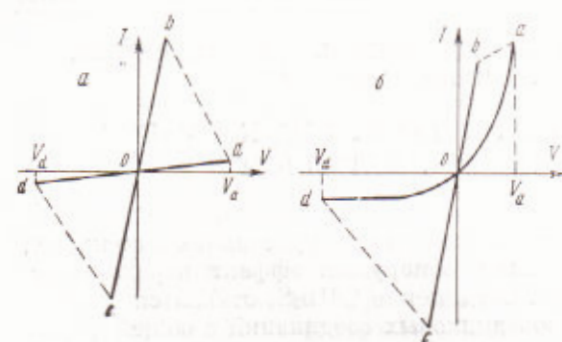


Рис. 1. Переключающие характеристики на контакте металл — полупроводник

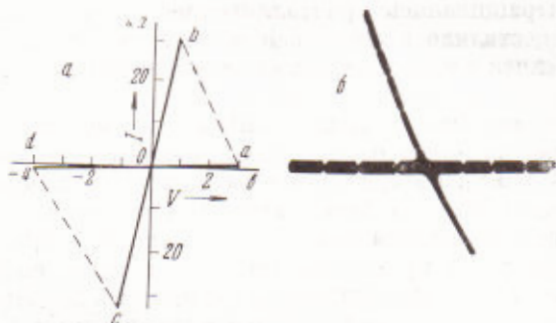


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики контакта $\text{W} - \text{CdIn}_2\text{S}_4$ при синусоидальном напряжении с $f = 100$ гц: а — статическая (удельное сопротивление образцов CdIn_2S_4 равно $2 \cdot 10^{-3}$ ом·см), б — динамическая

Для перевода системы в исходное низкопроводящее состояние необходимо приложить напряжение обратной полярности, равное напряжению переключения в соответствующей ветви, которое для данного случая составляет величину 1 в (ветвь oc).

Исследовались также характеристики переключения при работе на биполярных прямоугольных импульсах. На рис. 3 приведены осциллограммы тока через контакт $\text{W} - \text{CdIn}_2\text{S}_4$ в открытом (а) и закрытом (б) состояниях. Длительность импульсов при этом составляла 10 мсек. с частотой повторения 3,8 кГц. Переключение наблюдалось также и при подаче разовых импульсов соответствующей полярности длительностью менее 1 мсек.

Было установлено, что необходимым условием возникновения переключающей характеристики является первичный формирующий пробой контакта металл — полупроводник. При этом происходит некоторое изменение приконтактной области, иногда напоминающее оплавление. Образование измененной области на поверхности кристалла хорошо видно в микроскоп, а иногда и невооруженным глазом⁽⁶⁾. Возможно, эта прослойка является результатом взаимодействия халькогенида с материалом контакта или

окисления и по своему составу отличается от состава кристалла. Попытки рентгеновских исследований приконтактной прослойки не привели к положительным результатам ввиду методических трудностей.

Исследовалось влияние освещения на контакт, работающий в режиме переключения, для чего использовались светочувствительные образцы $CdIn_2S_4$ (*). Исследования показали, что освещение системы металл — полупроводник, находящейся в состоянии «закрыто», не приводит к заметному изменению низкопроводящей ветви вольт-амперной характеристики и переходу в состояние «открыто» несмотря на то, что сопротивление самого кристалла при этом уменьшается на полтора — два порядка. Следовательно, в состоянии «закрыто» падение напряжения, в основном, происходит на приконтактном слое, по-видимому, не чувствительном к свету. Однако, в состоянии «открыто» освещение оказывает существенное влияние на вид вольт-амперной характеристики.

В интервале температур 100—400° К существенного влияния температуры на вид вольт-амперной характеристики системы металл — $CdIn_2S_4$, работающей в режиме переключения, не обнаружено.

Следует отметить, что при прочих равных условиях вид и параметры переключающей вольт-амперной характеристики слабо зависят от того, является ли материал базы монокристаллическим или поликристаллическим.

Вопрос о механизме возникновения переключающей характеристики на контакте металл — $CdIn_2S_4$ остается открытым, и, по-видимому, этот механизм отличен от механизма переключения в стеклообразных полупроводниках.

В последнее время явление переключения и памяти наблюдалось на гетеропереходах $ZnSe-Ge$, $ZnSe-GaAs$, $GaP-Ge$, $GaP-Si$ и $CdS-Ge$ (⁴, ⁵). Следует отметить, что вольт-амперные характеристики этих гетеросистем качественно аналогичны описанным для системы металл — $CdIn_2S_4$. В частности, в зависимости от степени выпрямления на гетеропереходе также наблюдается два типа переключающихся характеристик. Это явное сходство вольт-амперных характеристик с переключением и памятью, а также изложенные соображения об определяющей роли измененного приконтактного слоя в системе металл — $CdIn_2S_4$ позволяют предположить, что при формовке контакта в приконтактной области $CdIn_2S_4$ образуется некоторая гетероструктура, ответственная за возникновение явления переключения и памяти. Обращает на себя внимание также, что неизменно компонентами упомянутых гетеропереходов, на которых наблюдаются характеристики с переключением и памятью, являются широкозонные полупроводники $ZnSe$, CdS , GaP со значениями запрещенной зоны, весьма близкими к величине запрещенной зоны $CdIn_2S_4$.

В работе (⁴) высказываются общие предположения о том, что возникновение высокопроводящего состояния в гетероструктурах обусловлено полевой ионизацией глубоких примесных уровней, а возврат в исходное низкопроводящее состояние — их заполнением при определенных условиях и перемене полярности. Однако детали механизма во многом остаются неизвестными.

Таким образом, нами обнаружен эффект переключения и памяти на контакте некоторых металлов с кристаллом $CdIn_2S_4$;

установлено, что необходимым условием возникновения эффекта переключения и памяти является формовка контакта, приводящая к образованию измененного приконтактного слоя;

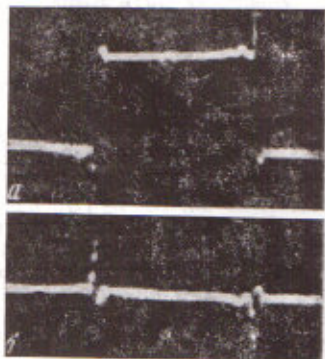


Рис. 3. Осциллограммы тока при работе на прямоугольных импульсах. а — «открыто», б — «закрыто»

малые времена переключения, слабая зависимость от температуры и чувствительность к полярности приложенного напряжения позволяют предположить, что эффект не связан с явлением теплового пробоя, а, по-видимому, обусловлен электронными процессами;

сходство эффектов переключения и памяти в системе металл — CdIn_2S_4 с подобными эффектами на гетеропереходах, одним из компонентов которых является широкозонный полупроводник, позволяет сделать предположение об общности механизма явления.

Институт физики
Академии наук АзербССР
Баку

Поступило
11 V 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ S. R. Ovshinsky, Phys. Rev. Lett., 21, № 20, 1450 (1968). ² A. D. Pearson, IBM J. Res. Develop., 13, № 5, 510 (1969). ³ Г. Б. Абдуллаев, З. А. Алирова и др., УФН, 99, в. 3 (1969). ⁴ H. J. Novel, Appl. Phys. Letters, 17, № 4, 141 (1970). ⁵ М. Е. Чугунова, М. И. Елисов, А. Г. Ждан, ФТТ, 11, в. 4, 1072 (1969). ⁶ К. Р. Аллахвердиев, Л. Н. Алиева, Изв. АН АзербССР, сер. физ.-технич. и матем. наук, № 3, 115 (1970). ⁷ К. Р. Аллахвердиев, Л. Н. Алиева и др., Неорганические материалы, 7, № 1, 169 (1971). ⁸ Г. Б. Абдуллаев, В. Б. Антонов и др., Физ. и техн. полупроводников, 2, в. 7, 1048 (1968).