

УДК 15.2

ЭФФЕКТ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ MnIn_2S_4

О.Б.ТАГИЕВ^{1,2}, Т.Ш.ИБРАГИМОВА¹, Ф.А.КАЗЫМОВА¹, Г.С.ГАДЖИЕВА¹, Е.Г.АСАДОВ^{1,3}

Министерство Науки и Образования, Институт Физики¹

AZ1143, Азербайджан, г.Баку, пр.Г.Джавида, 131

Филиал МГУ им. М.В.Ломоносова в Баку²

AZ1143 Баку, Азербайджан, г.Баку, Бинагадинский р., пос. Ходжасан, ул. Университетская, 1

Национальная авиационная академия³

Баку, Азербайджан Az1045, проспект Мардакяна, 30

kazimova-f@mail.ru

Получена: 21.06.2024

Принята к печати: 02.10.2024

РЕФЕРАТ

Проведены исследования переключающих свойств металл-полупроводник-металл (МПМ) структуры $\text{In-MnIn}_2\text{S}_4\text{-In}$ в области температур $77\div 360\text{K}$. Установлено, что в процессе переключения наряду с электронными механизмами существенную роль играют и тепловые эффекты. Приводятся значения характерных параметров переключения в зависимости от температуры и толщины активной области структуры.

Ключевые слова: переключение, память, отрицательное сопротивление, пороговое напряжение, пороговый ток.

Бурное развитие радиоэлектроники, телемеханики и вычислительной техники непрерывно расширяет круг задач, связанных с поисками материалов, пригодных для создания на их основе принципиально новых приборов самого разнообразного назначения.

На протяжении вот уже нескольких десятилетий все еще продолжает расти интерес исследователей к соединениям типа $\text{A}^{\text{II}}\text{B}_2^{\text{III}}\text{X}_4^{\text{VI}}$ (где А-двухвалентные катионы Mn, Co, Ca; В - трехвалентные катионы Ga, In; X-халькогены S, Se, Te), содержащим элементы с незаполненными f-оболочками. Одним из многочисленных представителей этого класса соединений являются и монокристаллы MnIn_2S_4 . Электрическим, фото-, электролюминесцентным и другим их свойствам посвящен ряд работ [1-8], в которых удалось выявить механизмы наблюдаемых явлений, а также вычислить их интересные характерные параметры. Но несмотря на значительный накопленный материал по изучению свойств этих монокристаллов, в научной литературе нам не удалось найти сведений о возможности создания и исследования на основе MnIn_2S_4 переключающих элементов,

содержащих область с отрицательным сопротивлением (ОС).

Представленная работа посвящена изготовлению МПМ-структуры на основе монокристаллов MnIn_2S_4 и исследованию возникшего в ней явления переключения и памяти.

Монокристаллы MnIn_2S_4 были получены методом химических транспортных реакций. Оптимальным режимом получения монокристаллов из газовой фазы являлась температурная разность $T_1(850^\circ\text{C})\text{-}T_2(750^\circ\text{C})$. При этом количество йода и продолжительность опытов составляли $5\text{mg}/\text{cm}^3$ и 5 суток, соответственно. Рентгенографический анализ показал, что MnIn_2S_4 обладает кубической структурой (пространственная группа $\text{Fd}3\text{m}$), с параметром решетки $a=10,71\text{\AA}$ [9]. МПМ-структура $\text{In-MnIn}_2\text{S}_4\text{-In}$ выполнена в виде сэндвича, в котором индиевые электроды получены сплавлением. Температура контролировалась медь-константановой термопарой. Электрические токи в пределах $10^{-7}\div 10^{-1}\text{A}$ измерялись микровольтамперметром Ф116/1 или микроамперметром М-95 с шунтом.

Исследование эффекта переключения в кристаллах MnIn_2S_4 начато нами после того,

как он случайно был обнаружен при изучении электрофизических свойств этих кристаллов.

Типичные ВАХ структур $\text{In-MnIn}_2\text{S}_4\text{-In}$ при различных температурах (240÷360К) представлены на Рис.1. На ВАХ выделяются следующие участки: линейный, квадратичный, область резкого роста тока, область отрицательного дифференциального сопротивления (ОДС) S-типа. При малых напряжениях ток через образец подчиняется закону Ома. С дальнейшим увеличением напряжения начинает нарушаться закон Ома: ток растет по степенному закону $J \sim U^n$, затем образец при определенном пороговом напряжении ($U_{\text{пор}}$) и токе ($J_{\text{пор}}$) переходит из высокоомного состояния в низкоомное, в котором он может находиться длительное время. Перевод образца в исходное высокоомное состояние осуществлялся прикладыванием к образцу кратковременного электрического импульса любой полярности или тепловым воздействием на него. Наблюдаемое явление имело место и при использовании в качестве электродов других материалов (Ag, Al, Sn и др.). Как видно из Рис.1, с уменьшением температуры пороговое напряжение увеличивается, а пороговый ток уменьшается.

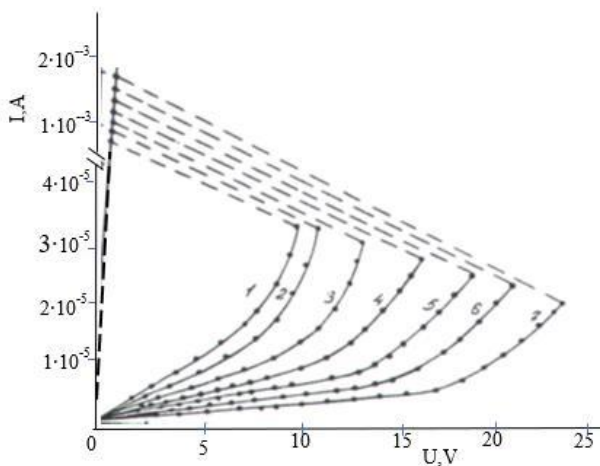


Рис.1

ВАХ структуры $\text{In-MnIn}_2\text{S}_4\text{-In}$ при различных температурах (К): 1-360; 2-346; 3-320; 4-287; 5-239

Из изображенной на Рис.2 зависимости $\lg U_{\text{пор}}$ от $10^3/T$ видно, что в области 77÷200К пороговое напряжение почти не зависит от температуры (участок 1), тогда как в интервале

200÷360К эта зависимость сильная (участки 2,3), что говорит, соответственно, об электронном и тепловом механизмах переключения [10,11]. Определены энергии активации ловушек, ответственных за переключение, которые составляют 0,11eV и 0,063eV, что хорошо согласуется со значениями энергии активации, найденными из термостимулированной поляризации [1-4].

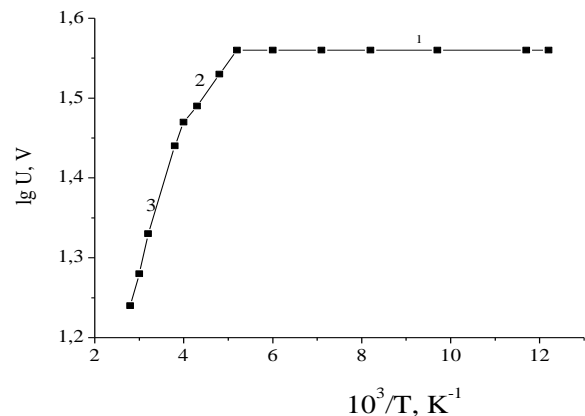


Рис.2

Зависимость $\lg U_{\text{пор}}$ от $10^3/T$.

Совместная роль электрического поля и температуры в процессе переключения также подтверждается зависимостью порогового напряжения от толщины (d) активной области (полупроводника). Из этой зависимости, снятой при температурах 77К и 300К, и представленной на Рис.3, видно, что при 77К $U_{\text{пор}}$ почти не зависит от d (прямая 1), а при 300К имеет место закономерность $U_{\text{пор}} \sim d^{-1/2}$ (прямая 2), что соответствует случаю, когда тепло равномерно распределено по объему материала.

Экспериментальные результаты показали, что в зависимости от температуры характерные параметры переключения изменялись следующим образом:

а) в высокоомном состоянии пороговое напряжение в интервале 10÷40В; пороговый ток - $2,5 \cdot 10^{-5} \div 3,5 \cdot 10^{-5}$ А.

б) в низкоомном состоянии остаточное напряжение в области 1,0÷1,5В; остаточный ток - $1 \cdot 10^{-3} \div 2 \cdot 10^{-3}$ А.

Исследование температурной зависимости сопротивления низкоомного состояния показало, что эта зависимость носит металлический характер, связанный с возникновением между электродами проводящего канала, образованного либо за счет выделения металлической компоненты из материала активной области, либо вследствие диффузии материала металлического электрода в полупроводник [12], чем и обеспечивается сохранение памяти.

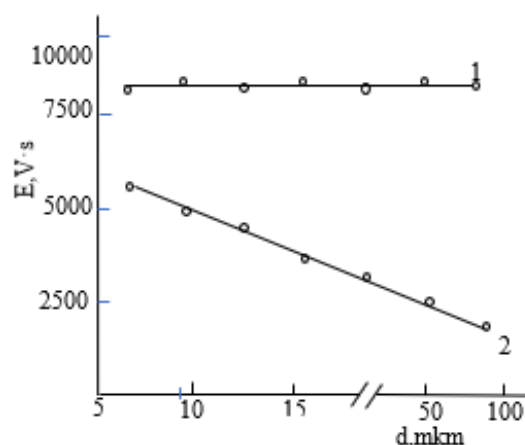


Рис.3

Зависимость порогового напряжения от толщины активной области образца при 77К (1) и 300К (2) для структуры In-MnIn₂S₄-In.

1. Н.Н.Нифтиев. Термостимулированные токи в монокристаллах, *MnIn₂S₄*, *ФТП*, **36** (2002) 836.
2. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев. Вольтамперные характеристики монокристаллов *MnIn₂S₄* и *MnGa₂S₄*, *ФТП*, **38** (2004) 164.
3. Н.Н.Нифтиев. Электрические свойства монокристаллов *MnIn₂S₄*, *ФТП*, **38** (2004) 166.
4. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев. Токи термостимулированной деполяризации в монокристаллах *MnIn₂S₄* и *MnGaInS₄*, *Физика, НАНА*, **XI** № 3 (2005) 10.
5. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев. Влияние освещения на вольтамперные характеристики и электропроводность монокристаллов *MnIn₂S₄*, *Письма в ЖТФ*, **31** (2005) 72.
6. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев. Энергетические уровни в монокристаллах *MnGa₂S₄*, *MnIn₂S₄* и *MnGaInS₄*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXVII** № 2 (2007) 123.
7. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев, М.Б.Мурадов, Ф.М.Мамедов, Т.Ш.Гашимова. Диэлектрические свойства кристалла *FeGa₂S₄*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy* № 5 (2007) 84.
8. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев. Влияние сильного электрического поля на электропроводность монокристаллов *MnGa₂S₄*, *MnIn₂S₄* и *MnGaInS₄*, *ФТП*, **43** (2009) 1172.
9. I.V.Bodnar. Growth and properties of *MnIn₂S₄* single crystals, *Journal of Inorganic Chemistry*, **55** №6 (2010) 835.
10. И.Н.Бурнейка, А.А.Чеснок. Эффект Яна-Теллера в тетракластерах переходных металлов, *Литовский физич. Сборник*, **15** №6 (1975) 935.
11. Э.Г.Косцов. О механизме переключения в тонкопленочной системе МДМ, *Изв. высш. учебных заведений, Физика*, **63** №4 (1971) 105.
12. J.M.Marshall, A.E.Owen. Drift mobility studies vitrous arsenic triselenide, *Phil. Mag.*, **24** N24 (1971) 1281.

MnIn₂S₄ MONOKRİSTALLARINDA AŞIRMA EFFEKTİ

O.B.TAĞIYEV, T.Ş.İBRAHİMOVA, F.A. KAZİMOVA, G.S.HACIYEV, E.Q.ƏSƏDOV

77÷ 360K temperatur intervalında In-MnIn₂S₄-In metal-yarımqeçirici-metal strukturunun aşırıcı xassələri tədqiq olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, aşırma prosesində elektron mexanizmlərlə yanaşı, istilik effektləri də mühüm rol oynayır, temperaturun və strukturun aktiv oblastının(MnIn₂S₄) qalınlığından asılı olaraq aşırmanın xarakterik parametrlərinin qiymətləri verilmişdir.

SWITCHING EFFECT IN MnIn_2S_4 MONOCRYSTALS

O.B.TAGIYEV, T.Sh.IBRAHIMOVA, F.A.KAZIMOVA, G.S.HAJIYEVA, E.G.ASADOV

The transition properties of In- MnIn_2S_4 -In metal-semiconductor-metal structure were studied in the temperature range of $77\div 360\text{K}$. It was determined that in addition to electronic mechanisms, thermal effects also play an important role in the etching process, the values of the characteristic parameters of etching depending on the temperature and the thickness of the active region of the structure (MnIn_2S_4) are given.