

## МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОСИНТЕЗИРОВАННЫХ ПЛЁНОК $\text{CuSmS}_2$

Э.Н. ЗАМАНОВА, М.А. ДЖАФАРОВ, С.М. БАГИРОВА,  
И.Т. ПОЛАДОВА, Р.А. ГАСАНОВА

*Институт Физики им. академика Г.М. Абдуллаева*

*НАН Азербайджана,*

*Баку, AZ-1143, пр. Г.Джавида,33*

$\text{Cu}_{2-x}\text{S}$  təbəqələrin elektrosintez yolu ilə alınması və maqnitohəssas komponent (Sm) ilə leqirlənməsi texnologiyası işlənib. Təyin edilib ki, elektrolitik çöküntü və təbəqələr nikel, platin atlıqlar üzərində monoklin sinqoniyaya,  $\text{CuSmS}_2$ -tərkibə, p-tip keçiriciliyə malik olan, maqnitohəssas materialdır və maqnitooptik cihazlarda tətbiq edilə bilər.

Разработана технология электросинтеза и легирования в процессе электросинтеза пленок  $\text{Cu}_{2-x}\text{S}$  магниточувствительной компонентой (Sm). Установлено, что электролитические осадки и пленки, осажденные на никелевые, платиновые пластинки, имеют моноклинную сингонию, соответствуют составу  $\text{CuSmS}_2$ , p-типу проводимости, являются магниточувствительным материалом, могут найти применение в магнитооптических приборах.

Engineering technology electrosynthesis and doping  $\text{Cu}_{2-x}\text{S}$  films with magnetic sensitivity component (Sm) in process electrosynthesis. Study, that power and films on the Ni and Pt substrate was monoclinic system, p-type conductivity, magnetic susceptibility and must use in magneto optic devices.

Магнитодиоды, т.е. полупроводниковые диоды обладающие высокой чувствительностью к магнитному полю, в последние годы приобретают все больший практический интерес в различных областях техники [1,2].

При помещении полупроводника в магнитное поле уменьшается подвижность носителей. По этой причине уменьшается и длина диффузионного смещения. Малое начальное уменьшение длины диффузионного смещения в магнитном поле приводит к очень сильному уменьшению прямого тока диода, вследствие резкого снижения концентрации неравновесных носителей. Это и есть магнитодиодный эффект [1-5].

Действие магнитного поля на проводимость полупроводника и, следовательно, на полупроводниковый диод тем сильнее, чем выше в материале подвижность носителей тока и удельное сопротивление. Поэтому для создания магнитодиодов перспективны высокоомные полупроводники с большой шириной запрещенной зоны и высокой подвижностью носителей тока. Кроме того, в них должна быть обеспечена возможность получения хороших инжектирующих контактов [2,3].

Создание магнитодиодов существенно расширило возможности применения полупроводниковых гальваномагнитных приборов. Величина эффекта в них на один-два порядка выше, чем у лучших датчиков Холла или датчиков магнитосопротивления.

Однако, до сих пор практически нет теории этого прибора. Причиной такого положения является в первую очередь необходимость решения двумерной задачи для нахождения распределения электронно-дырочной плазмы в магнитном поле. Более громоздкие расчеты магнитодиодов [3,4] в одномерном приближении не дают существенного уточнения анализа, основанного просто на учете зависимости параметров вольтамперной характеристики (ВАХ), таких как эффективная длина диффузионного смещения, подвижность, эффективное время жизни и другие. В

зависимости от вида ВАХ изменяются геометрические размеры магнитодиода.

Для характеристики магниточувствительных свойств гальваномагнитных приборов используют [3,4] токовую

магниточувствительность  $\gamma_J = \frac{\Delta J}{\Delta B}$  и вольтовую

магниточувствительность  $\gamma_V = \frac{\Delta V}{\Delta B}$  а также

относительную вольтовую магниточувствительность  $\gamma = 10^3 \frac{\Delta V}{J \Delta B} = 10^3 \frac{\gamma_V}{J}$ .

Для увеличения чувствительности магнитодиодов необходимо использовать материал базы с малой концентрацией  $n_n$  и большим изменением длины диффузионного смещения дырок  $\alpha_p$  в магнитном поле.

Первые магнитодиоды были созданы на германии [6], затем на сурьмянистом индии [7]. Однако, ни Ge, ни тем более JnSb не являются оптимальными материалами для создания магнитодиодов широкого применения. Ширина запрещенной зоны у этих полупроводников мала а собственная проводимость высокая. Поэтому, в них трудно обеспечить высокие уровни инжекции при достаточно больших отношениях толщины диода к длине диффузионного смещения и допустимых плотностях тока.

Наиболее перспективными материалами в настоящее время для магнитодиодов являются Si и GaAs с удельным сопротивлением более  $10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  [6 ÷ 10]. Однако, технология изготовления высококачественных монокристаллов высокоомного GaAs и диодов из него довольно сложная.

Промышленность выпускает кремниевые магнитодиоды трех типов: КД301, КД303, КД304 [10], недостатком которых является высокое минимальное рабочее напряжение (4-5 В), ограничивающее применение. Для их изготовления используется Si p-типа

с  $\rho = 2 \times 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Выбор р-типа связан с существенно большей подвижностью электронов, которые являются неосновными носителями.

Цель наших исследований состояла в получении широкозонного магниточувствительного высокоомного материала по простой, управляемой технологии. Наиболее перспективным материалом для магнитодиодов был выбран  $\text{CuSmS}_2$ .

Известно, что почти все халькогениды редкоземельных металлов (РЗМ) являются сильными парамагнетиками [11,12].

Нами осуществлялись измерения магнитной восприимчивости  $\text{CuSmS}_2$  с помощью магнитных весов при температуре  $T=80 \div 300\text{K}$  (рис.1).

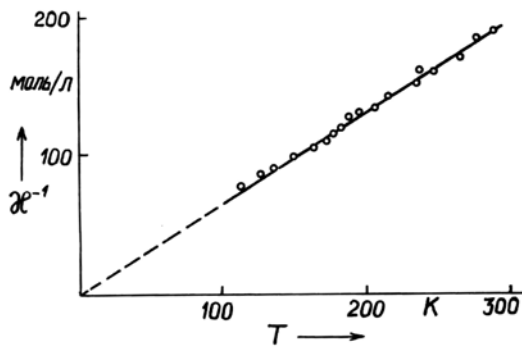


Рис.1. Зависимость магнитной восприимчивости  $\text{CuSmS}_2$  от температуры.

Как видно,  $\text{CuSmS}_2$  является парамагнитным веществом. Магнитная восприимчивость исследованных парамагнитных образцов  $\text{CuSmS}_2$ , в основном, подчиняется закону Кюри-Вейсса. Зависимость  $\chi^{-1}$  от  $T$  почти линейная.

Эффективное значение магнитного момента  $\text{CuSmS}_2$  соответствует  $3,56 \mu_B$ , что обусловлено парамагнетизмом двухвалентной меди и присутствием РЗМ самария.

Значительным парамагнетизмом  $\text{CuSmS}_2$  обязан наличию нескомпенсированных спинов электронов на недостроенной внутренней  $4f$  оболочке Sm.

$\text{CuSmS}_2$  имеет при комнатной температуре удельное сопротивление до  $10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , т.е. почти в  $10^5$  раз больше, чем Ge и  $10^2$  раз больше, чем Si.  $\text{CuSmS}_2$  получен электрохимическим осаждением на подложках из Ag и Ni. Подробности технологии получения изложены в [13,14,15,16].

Оптимальное отношение  $d/L$  для полупроводников с разным удельным сопротивлением может быть оценено из следующего соотношения [2]:

$$\left(\frac{d}{L}\right)_{opt} = 0,5 \ln 10 \rho,$$

где  $\rho$  выражено в  $\text{Ом} \cdot \text{см}$ .

Из этих рассуждений следует, что оптимальное значение отношения  $d/L$  должно возрастать при увеличении удельного сопротивления исходного

полупроводника. При удельном сопротивлении  $10^6 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  оно примерно равно 8,0.

На поверхность пленок  $\text{CuSmS}_2$  в вакууме  $10^{-4} \text{ мм} \cdot \text{рт} \cdot \text{см}$  наносятся контакты из Cu и Ag.

Структуры Ag- $\text{CuSmS}_2$ -Cu сразу после напыления Cu не дают выпрямления, после выдержки на воздухе в течении 15-16 час на ВАХ наблюдается выпрямление (при смещении  $U=3 \div 4\text{В}$  коэффициент выпрямления  $K=4 \times 10^4$ ).

На рис.2,3 приведены прямые ветви вольтамперных характеристик магнитодиодов Ag- $\text{CuSmS}_2$ -Cu, находящихся в различных магнитных полях. При напряжении 4В прямой ток этого магнитодиода уменьшался в магнитном поле 0,3Тл на 10-20%; а при 0,6Тл на 30-40% (рис.2-магнитное поле направлено параллельно; рис.3-магнитное поле направлено перпендикулярно). Обратный ток диодов  $\text{CuSmS}_2$  не зависит от магнитного поля.

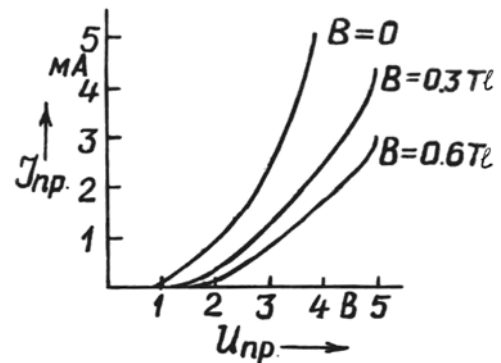


Рис.2. Прямые ветви ВАХ структуры Ag- $\text{CuSmS}_2$ -Cu. Магнитное поле направлено параллельно (||H).

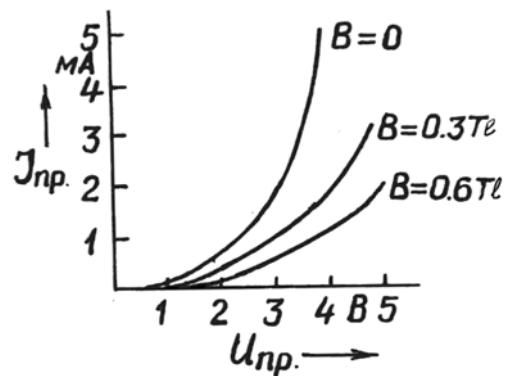


Рис.3. Прямые ветви ВАХ структуры Ag- $\text{CuSmS}_2$ -Cu. Магнитное поле направлено перпендикулярно ( $H \perp J$ ).

Вольтовая магниточувствительность этого магнитодиода (около 16,6 В/Тл) выше, чем у Si-вых. Токовая магниточувствительность у  $\text{CuSmS}_2$  магнитодиодов также выше, чем у германиевых [8] и Si-вых.

Относительная вольтовая магниточувствительность  $\text{CuSmS}_2$ -магнитодиодов больше, чем у германиевых и Si-магнитодиодов, т.к. для Ge  $\gamma = 0,5 \times 10^3 \text{ В/А} \cdot \text{T}$  [5], для Si-вых  $\gamma = 3,3 \times 10^6 \text{ В/А} \cdot \text{Tl}$  [10].

Для использованных образцов  $\text{CuSmS}_2$  вычисленные значения основных параметров при  $T=300 \text{ K}$  приведены в таблице.

Таблица

Параметры магнитодиодов на основе CuSmS<sub>2</sub> при T=300 К

Материал магнитодиода	$\rho, \text{Ом} \cdot \text{см}$	$d, \text{мм}$	$L, \text{мм}$	$d/L$	$\gamma_V, \text{В/Т}$	$\gamma, \text{В/А} \cdot \text{Т}$
CuSmS <sub>2</sub>	10 <sup>6</sup>	1,5	0,19	8	16,6	5,5 · 10 <sup>6</sup>

Таким образом, получен парамагнитный материал CuSmS<sub>2</sub> с высоким удельным сопротивлением, разработана технология изготовления

магнитодиодных структур с токовой, вольтовой, относительной вольтовой магниточувствительностью выше, чем у Ge и Si-вых магнитодиодов.

- 
- [1]. Г.Б.Абдуллаев, З.А.Искендерзаде Некоторые вопросы физики электронно-дырочных переходов. Баку, Издательство “Элм”, 1971, с.185.
- [2]. В.И.Стафеев, и др. Магнитодиоды, ФТТ, 1961, т.3; вып.3, с. 677-687.
- [3]. Т. Ямада Тр.межд.конф.по физике полупроводников. М.;1969. 2. С.711.
- [4]. Z.S Gribnikov., G.J. Lomova and V.A.Romanov Injection of Current Carriers in Anisotropic semiconductor Plates and the Magnetodiode Effect.-Phys. Stat. Sol., 1968, 28, p. 815.
- [5]. В.И.Стафеев Модуляции длины диффузионного смещения как новый принцип действия полупроводниковых приборов.-ФТТ. 1959, т. 3, с.841.
- [6]. J.Melngailiso, R.Redikes Negative Resistance InSb Diodes With Large Magnetic Field Effects.- J.Appl. Phys., 1962, 33, p.1892.
- [7]. В.И.Стафеев Магнитодиоды (полупроводниковые приборы с высокой магниточувствительностью), Л.: Знание, 1964.
- [8]. В.И. Стафеев и др. К теории магнитодиодов.- ФТП, 1975, том 2, с 1441.
- [9]. В.И. Стафеев и др. Магнитодиоды. М.: Издательство «Наука», 1975, с. 68.
- [10]. И.М.Викулин, В.И.Стафеев Полупроводниковые датчики. М.: «Советское радио», 1975.
- [11]. Халькогениды. Свойства, методы получения и применения. Отв. ред. чл.-корр.АН УССР. Самсонов Г.В.-Киев.: Наукова Думка, 1967, с. 167.
- [12]. Физика и химия редкоземельных элементов. Справочник. Под ред. Гшнайнера К.И. и Айринта Л. пер.с англ.-М.:Металлургия. 1982, с.233.
- [13]. Э.Н.Заманова, А.А.Мирзоева, З.А. Алиярова Технология изготовления полупроводниковых преобразователей методом электросинтеза. Тезисы XII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии. г. Баку, 1981, т.3., стр.300.
- [14]. Э.Н.Заманова, А.А.Мирзоева, Г.Г.Гусейнов, С.М.Багирова, Ф.Г.Алиев Электролит для нанесения высокоомных покрытий CuSmS<sub>2</sub>. А.С. №1248326 (СССР), 1986.
- [15]. Э.Н.Заманова, А.А.Мирзоева, С.М.Багирова, Г.Г.Гусейнов, М.Н.Елчиев Легирование пленок Cu<sub>2-x</sub>S магниточувствительной компонентой (Sm) в процессе электросинтеза. «Физика», №3, т.11., стр.59-61. Баку 2005.
- [16]. А.Ш.Абдинов, Э.Н.Заманова, М.А.Джафаров, Э.Ф.Насиров Гетеропереходы на основе плёнок A<sup>2</sup>B<sup>2</sup>C<sup>6</sup> осаждённых из раствора, IV Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» Санкт-Петербург, 5-7 июля 2004г.