

МАГНИТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДИОДЫ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОСИНТЕЗИРОВАННЫХ ПЛЁНОК 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

Cu_{2-x}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, CuSmS_2 -tərkibə, p-tip keçiriciliyə malik olan, maqnitohəssas materialdır və maqnitooptik cihazlarda tədbiq edilə bilər.

Разработана технология электросинтеза и легирования в процессе электросинтеза пленок Cu_{2-x}S магниточувствительной компонентой (Sm). Установлено, что электролитические осадки и пленки, осажденные на никелевые, платиновые пластинки, имеют моноклинную сингонию, соответствуют составу CuSmS_2 , p-типу проводимости, являются магниточувствительным материалом, могут найти применение в магнитооптических приборах.

Engineering technology electrosynthesis and doping Cu_{2-x}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 гальваномангнитных 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 гальваномангнитных 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 α_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 CuSmS_2 .

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

Нами осуществлялись измерения магнитной восприимчивости CuSmS_2 с помощью магнитных весов при температуре $T=80 \div 300\text{К}$ (рис.1).

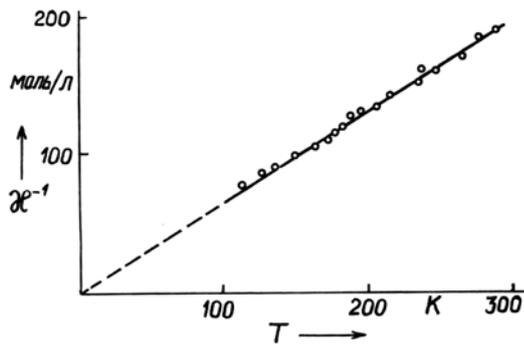


Рис.1. Зависимость магнитной восприимчивости CuSmS_2 от температуры.

Как видно, CuSmS_2 является парамагнитным веществом. Магнитная восприимчивость исследованных парамагнитных образцов CuSmS_2 , в основном, подчиняется закону Кюри-Вейсса. Зависимость χ^{-1} от T почти линейная.

Эффективное значение магнитного момента CuSmS_2 соответствует $3,56 \mu_B$, что обусловлено парамагнетизмом двухвалентной меди и присутствием РЗМ самария.

Значительным парамагнетизмом CuSmS_2 обязан наличию нескомпенсированных спинов электронов на недостроенной внутренней $4f$ оболочке Sm.

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. 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 ρ 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 CuSmS_2 в вакууме $10^{-4} \text{ мм} \cdot \text{рт} \cdot \text{см}$ наносятся контакты из Cu и Ag.

Структуры Ag- 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- 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 CuSmS_2 не зависит от магнитного поля.

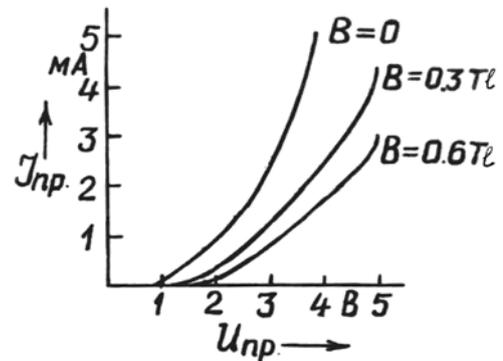


Рис.2. Прямые ветви ВАХ структуры Ag- CuSmS_2 -Cu. Магнитное поле направлено параллельно (||H).

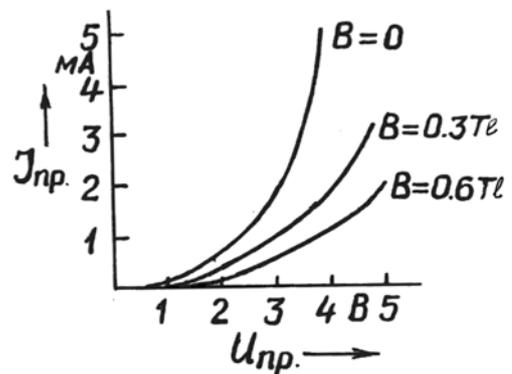


Рис.3. Прямые ветви ВАХ структуры Ag- CuSmS_2 -Cu. Магнитное поле направлено перпендикулярно ($H \perp J$).

Вольтовая магниточувствительность этого магнитодиода (около 16,6 В/Тл) выше, чем у Si-вых. Токковая магниточувствительность у CuSmS_2 магнитодиодов также выше, чем у германиевых [8] и Si-вых.

Относительная вольтовая магниточувствительность CuSmS_2 -магнитодиодов больше, чем у германиевых и Si-магнитодиодов, т.к. для Ge $\gamma = 0,5 \times 10^3 \text{ В/А} \cdot \text{Т}$ [5], для Si-вых $\gamma = 3,3 \times 10^6 \text{ В/А} \cdot \text{Тл}$ [10].

Для использованных образцов CuSmS_2 вычисленные значения основных параметров при $T=300 \text{ К}$ приведены в таблице.

Таблица

Параметры магнитодиодов на основе CuSmS₂ 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 ₂	10 ⁶	1,5	0,19	8	16,6	5,5 · 10 ⁶

Таким образом, получен парамагнитный материал CuSmS₂ 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 CuSmS₂. А.С. №1248326 (СССР), 1986.
- [15]. Э.Н.Заманова, А.А.Мирзоева, С.М.Багирова, Г.Г.Гусейнов, М.Н.Елчиев Легирование пленок Cu_{2-x}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 A²B²C⁶ осаждённых из раствора, IV Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» Санкт-Петербург, 5-7 июля 2004г.