УДК 538.22

С.І.Ющук, *Г.С.Байцар, Р.І.Байцар, С.С.Варшава

Національний університет "Львівська політехніка",
*Львівський національний університет імені Івана Франка

ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТРУКТУР НАПІВПРОВІДНИК–ФЕРИТ

*© Ющук С.І., *Байцар Г.С., Байцар Р.І., Варшава С.С., 2003*

S.I.Yushchuk, *A.S.Bajtsar, R.I.Baitsar, S.S.Varshava

ELEKTRICAL PROPERTIES OF SEMICONDUCTOR-FERRITE STRUCTURES

*© Yushchuk S.I., *Bajtsar A.S., Baitsar R.I., Varshava S.S., 2003*

Досліджено структури напівпровідник-ферит, сформовані тісним контактом між напівпровідниковим монокристалом InSb (магніторезистор-МР) і феритовою підкладкою. Використовувалися орієнтовані монокристалічні підкладки $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$, $YFeO_3$, Mn-Zn-полікристали і плівки ферогранатів, які були вирощені рідкофазною епітаксією (РФЕ) на підкладках з галій-гадолінієвого гранату (ГГГ). Досліджено вплив феритових підкладок на вольт-амперні характеристики і встановлено, що чутливість МР зростає залежно від магнітного поля для різних значень робочого струму I_0.

Semiconductor - ferrite structures, formed by means of tight contact between InSb monocrystal (magnetoresister –MR) and ferrite substrate have been investigated. The oriented $Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ monocrystal substrates, $YFeO_3$, Mn-Zn policrystal ferrite and YIG films epitaxially grown on GGG surface from liquid-phase (LPE) were used. Substrate influence at the VAC and the voltage gain on magnetoresistor increase depending on the magnetic field (B) for different I_o were investigated.

Вступ. Потреби, які зростають, різних галузей науки і техніки у сенсорах та перетворювачах фізичних величин вимагають застосування нових фізичних принципів і матеріалів, які використовуються для активних елементів. Такими перспективними матеріалами є ферити та епітаксійні плівки феритів-гранатів, які досліджуються з метою використання їх у пристроях обробки і збереження інформації, для керування світловими сигналами, у надвисокочастотних приладах та в сенсорах магнітного поля [1-3].

Метод рідкофазної епітаксії (РФЕ) дозволяє вирощувати високодосконалі плівки ферогранатів на підкладках з галій-гадолінієвого гранату з напрямком намагніченості, близьким до нормалі. Однак для сенсорних застосувань потрібні плівки з іншими властивостями магнітної анізотропії, а саме з напрямком намагніченості, близьким до площини. Створення і застосування таких матеріалів вимагає глибокого дослідження процесів перемагнічування, доменної структури, а також встановлення вимог до магнітних властивостей епітаксійних ферогранатових структур та розробки технології їх виготовлення.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Особливе зацікавлення викликають багатофункціональні сенсори, призначені для одночасного вимірювання кількох фізичних величин. Тут відомі феритові давачі для вимірювання температури і вологості повітря [4]. Гетероструктури, які складаються з напівпровідникової плівки, нанесеної на кристал залізо-ітрієвого гранату, дозволяють створювати новий клас мікроелектронних пристроїв, робота яких базується на взаємодії магнітостатичних хвиль і електронної підсистеми у напівпровіднику [5]. Таким приладом можна керувати прикладанням електричного поля або освітленням поверхні напівпровідника.

Одна з перших робіт у цьому напрямку [6] була присвячена дослідженню фізичних явищ в структурах ферит-напівпровідник і аналізу перспектив використання цих структур у надвисокочастотній мікроелектроніці. Подальші дослідження, проведені у Львівській політехніці, стосуються технології вирощування епітаксійних напівпровідникових плівок на підкладках з залізомістких гранатів та дослідження їх структурних, електричних та гальваномагнітних властивостей [7, 8]. Роботи [9, 10] присвячені застосуванню структур ферит-напівпровідник у сенсорній техніці.

Однак, фізичні процеси, що відбуваються у перехідних (інтерфейсних) шарах між феритом і напівпровідником, на теперішній час вивчені недостатньо. Зокрема, не досліджено вплив магнітних параметрів та структури фериту на електричні та гальваномагнітні властивості напівпровідника. Саме цьому питанню і присвячена ця робота.

Експериментальні результати та їх обговорення. У нашій роботі проведено серію експериментів з метою вивчення впливу феритової підкладки на вольт-амперні та магнітні характеристики структури напівпровідник - ферит. Напівпровідниковими магніторезистивними елементами слугували монокристали InSb з розмірами 2,0·0,5·0,15 мм^3 [11]. Їх електричні параметри при 300К становили: концентрація вільних носіїв ~ $4\cdot10^{15}$ см$^{-3}$, рухливість ~$1.6\cdot10^5$ см^2/В·с, питомий опір ~0,01 Ом·см) [12]. Омічні контакти створювали імпульсним приварюванням золотого мікродроту до країв кристалів. Вирішували конструктивні задачі, тобто варіанти розташування точкових контактів і їх з'єднування, а також питання апроксимації вольт-амперних характеристик та характеристик $\Delta U=f(B)_{I=const}$, де ΔU – приріст напруги на МР за рахунок поля; В – індукція магнітного поля.

У першій серії експериментів створювали "сендвіч"-структури тісним контактом між напівпровідниковим магніторезистором і феритовою підкладкою з монокристалічного Mn-Zn фериту ($Mn_xZn_{1-x}Fe_2O_4$, x ~ 0,5). Відомо, що феритові підкладки служать концентраторами магнітного поля для елементів Холла [13]. У цьому випадку отримано суттєве підвищення чутливості МР до поля (~ у 2 рази) та деякі зміни форми залежностей $\Delta U=f(B)$.

Відзначено значний вплив на цю залежність величини робочого струму I_o. Загалом залежність $\Delta U=f(B)$ складається з двох ділянок: I – нелінійне зростання ΔU (В=0…0,15 Тл) і II – близька до лінійної (В = 0,15…0,5 Тл). Значення коефіцієнтів чутливості до поля, визначених за допомогою підрахунків, наведені у табл. 1 для звичайного МР та для "сендвіч"-структур.

При використанні полікристалічних Mn-Zn феритів отримано максимальне підвищення магнітоопору за рахунок підкладки у полях В = 0.26 Тл.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Таблиця 1

Чутливість МР без підкладки (одноелементний зразок) і з феритовою підкладкою (двоелементний зразок)

Струм живлення МР, mA	$\gamma=\frac{\Delta U\cdot 100}{U_0\Delta B},\%/Tl$		$\gamma'=\frac{\Delta U}{\Delta B},mB/mTl$		
	1-елем.	2-елем.	1-елем.	2-елем.	Примітка
160	89,5 48.0	157 64	0.15 0.08	0.29 0.12	I –ділянка II-ділянка
120	95.0 53.0	184 73	0.125 0.07	0.25 0.10	I- ділянка II-ділянка
80	110.0 57.0	190 82	0.097 0.05	0.175 0.076	I-ділянка II-ділянка

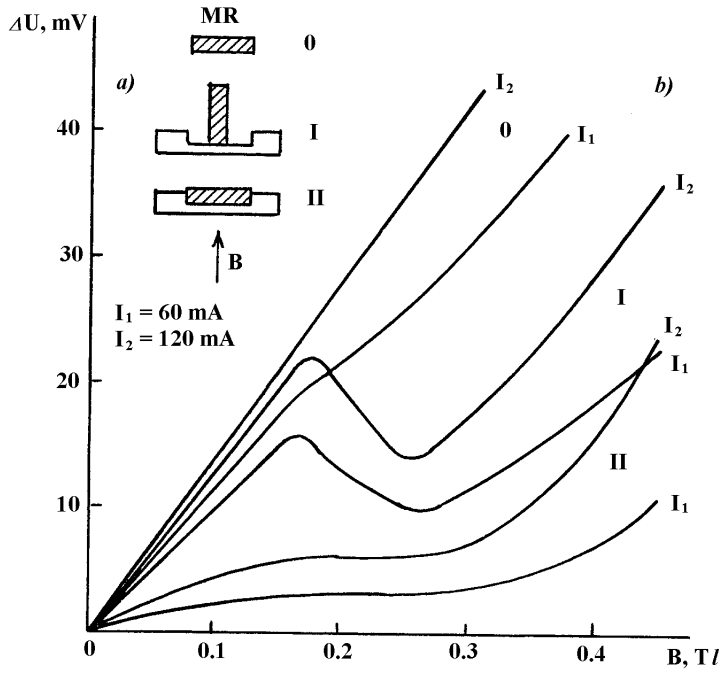
У другій серії експериментів досліджували вплив екранування Mn-Zn феритом зовнішнього магнітного поля на магніторезистивні характеристики. У цьому випадку МР розташовували в пазах монокристалічного фериту в двох положеннях, поперечний переріз яких показано на рисунку а.

На цьому ж рисунку наведені залежності ΔU=f(B) для двох значень струму МР: 60 і 120 mA. Як видно з рисунка, при частковому екрануванні характеристики мають N-подібний характер, а при повнішому – ΔU не залежить від поля у певних межах його зміни. У цьому випадку площина розташування МР на фериті була перпендикулярною до відповідної площини в “сендвіч”-структурі. При дослідженні структур МР – $YFeO_3$ (монокристал), який є антиферомагнетиком із слабким магнітним моментом, отримано слабку залежність ΔU від поля і сильну орієнтаційну залежність; при порівняно малих значеннях струму (I_o =80 mA) приріст ΔU був від’ємним за рахунок підкладки, а при більших (I_o=160 mA) – додатним.

Розглянемо третю серію експериментів, пов’язаних з розташуванням МР на плівках ферогранату $(Y,Sm)_3(Fe.Ga)_5O_{12}$, які були вирощені рідкофазною епітаксією на підкладках галій-гадолінієвого гранату (ГГГ).

Щоб одержати стійкий по відношенню до спонтанної кристалізації розчин-розплав гранатоутворюючих оксидів і флюса $PbO\text{-}B_2O_3$, він гомогенізується протягом кількох годин при температурі, вищій від температури насичення. Потім розплав повільно охолоджується до температури зростання, яка є нижчою від температури насичення, як правило, на кілька десятків градусів. При зануренні в розплав гранатоутворюючих оксидів підкладки з ГГГ, яка аксіально обертається, відбувається епітаксійне нарощування шару ферогранату зі швидкостями від десятих часток до кількох мікрон за хвилину. Після нарощування підкладка виймається з розчину-розплаву і краплі, що залишилися на ній, зтрушуються швидким обертанням. Після вистигання залишки розчину-розплаву усуваються хімічним розчиненням.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua



Залежності приросту напруги від індукції магнітного поля для магніторезистора InSb: а – переріз магніторезистора: МР без підкладки (0) і МР розташований у пазах фериту (I,II); б – польові залежності ΔU =f(B) для випадків 0, I, II

Результати досліджень наведені у табл. 2. У випадку застосування ферогранатових плівок при струмах через МР I_o = 80 mA приріст ΔU за рахунок підкладки був від'ємним і зростав з підсиленням магнітного поля. При струмах 160 mA спостерігалось зростання ΔU з максимумом при B= 0,25…0,27 Тл з подальшим крутим спадом і переходом до від'ємних значень.

Таблиця 2

Зміна ΔU (mB) МР за рахунок ферогранатової плівки товщиною h при певних значеннях індукції магнітного поля.

I_0,mA B,Tl	h = 1,0 μm			h = 5,0 μm		
	0.17	0.26	0.5	0.17	0.26	0.5
80	-0.5	-1.0	-7.7	-2.7	-1.6	-9.7
160	-0.4	+5.2	-10.0	-2.1	+5.6	-12.1

Феритова плівка містить циліндричні магнітні домени (ЦМД), напрям намагніченості яких є протилежним до напряму намагніченості матеріалу плівки. Із зростанням магнітного поля ЦМД колапсують і плівки повністю намагнічуються у напрямку [111], що відповідає максимальному значенню ΔU. При подальшому зменшенні ΔU, очевидно, відіграє роль фактор розмагнічування [14].

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Висновки. При використанні структур напівпровідник–ферит удвічі підвищується чутливість магніторезистивного елемента до магнітного поля і змінюється форма залежностей ΔU=f(B). Установлено вплив на магніторезистивні характеристики екранування зовнішнього магнітного поля Mn-Zn – феритом. При частковому екрануванні МР характеристики ΔU=f(B) мають N- подібний характер, а при повнішому – ΔU не залежить від поля в інтервалі 0,15…0,3 Тл. При розташуванні МР на плівках ферогранату ΔU є від'ємним, але має додатний максимум при B=0,25…0,27 Тл і силі струму 160 mA.

1. Убізський С.Б. Епітаксійні ферогранатові структури для сенсорів магнітного поля // Дис. ... д-ра фіз.-мат. наук: Нац.ун-т "Львівська політехніка" – Львів. – 2001. –364 с.

2. Дубинко С.В // Ученые записки Симферопольского гос. ун-та. – Симферополь, 1997. – №4(43). –С.30-40.

3. Rochfard K.B., Roso A.H., Day C.W.// IEEE Trans.on Magnet. –1996. –v.32, №5, Part 1 – P.4113-4117.

4. Seni Kyoshiro, Shida Jun-Ichi, Maranami Koichi. // IEEE Trans. Instrum. and Meas. – 1988. –v.37,№3. –P.468-470.

5. Kosoboutski P.and Vodolazski P. // Radiation Effects and Defects in Solids. –1995. – v.137. –P.35-38.

6. Беспятых Ю.И., Вашковский А.В., Зубков В.И., Кильдимов В.Н. // Микроэлектроника. – 1978. – т.7, №5. – С.430-443.

7. Водолазький П.В., Кособуцький П.С., Костюк П.С., Мороз Є.Г., Марчук І.В. // Вісник Львів. політехн. ін-ту. –1993. – №272. – С.11-13.

8. Варшава С.С., Ющук С.І.//Матеріали VI Міжнародної конф. з фізики і технології тонких плівок. – Івано-Франківськ. – 1997. – ч.II. – С.7.

9. Варшава С.С., Соловйова О.П., Ющук С.І. // Тези доп. III Міжнар. школи-конф. "Сучасні проблеми фізики напівпровідників". – Дрогобич, 2001. – С.109.

10. Ющук С.І., Юр'єв С.О., Ракобовчук Л.М., Варшава С.С.// Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка" – 2002. – №454. – С.19-24.

11. Викулин И.М., Викулина Л.Ф., Стафеев В.И. Гальваномагнитные приборы. – М.: Радио и связь. –1983. –104 с.

12. Варшава С.С., Дудикевич В.Б., Попов Я.Б.,Бортнік Г.М. //Матер. Междун. Науч.-практ. конф. "Системы и средства передачи и обработки информации". – Одесса, 1997. – С.47.

13. Прокошин В.И., Ярмолович В.А., Васильев И.И., Гусакова С.В. // Тезисы докл. II Межд. конф. "Взаимодействие излучений с твердым телом". – Минск, 1997. – С.226-229.

14. Эшенфельдер А. Физика и техника цилиндрических магнитных доменов. – М.: Мир. – 1983. – 496 с.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua