

Винахід відноситься до галузі електротехніки, електроніки, напівпровідникової техніки, зокрема до резисторів, які керуються магнітним полем. В більшості випадків магніторезистивний ефект базується на збільшенні електроопору в магнітному полі. Такий принцип було покладено в основу існуючих магніторезисторів. В останній час знайдено рідкоземельні манганіти, в яких спостерігається зменшення опору в магнітному полі, тобто негативний магніторезистивний ефект.

У теперішній час найбільшу величину магніторезистивного ефекту ( $MPE$ )  $\Delta R/R_0 = (R_0 - R_H)/R_0$  (де  $R_0$  - електроопір без магнітного поля,  $R_H$  - у магнітному полі) мають манганіт-лантанові перовскіти  $La_{0,67}Me_{0,33} < Ca, Sr, Pb, Ba > MnO_3$ , причому з негативним магніторезистивним ефектом, тобто електроопір зменшується в магнітному полі. Наприклад, в плівк  $La_{0,67}Ca_{0,33}MnO_3$  при  $20^\circ C$  в магнітному полі  $477,6 \cdot 10^3 A/m$   $\Delta R/R_0 = 93\%$  [1] з величиною магніторезистивної чутливості (МРЧ)  $1,9 \cdot 10^{-5} \% / A/m$ . МРЕ спостерігається також в марганець-цинкових феритах [2, 3]. Так, в полікристалічному керамічному зразку  $Mn_{0,9}Zn_{0,1}Fe_2O_4$  при  $20^\circ C$  в постійному магнітному полі  $79,6 \cdot 10^3 A/m$   $\Delta R/R_0 = 0,43\%$  [3], якій відповідає величина МРЧ  $0,54 \cdot 10^{-5}$ . В цих випадках електричний опір магніторезисторів (МР) зменшується при збільшенні напруженості магнітного поля. Найбільш близьким до винаходу являється магніторезистор, виготовлений із пліткових манганіт-лантанових перовскітів [1].

Недоліком [1] та [2, 3] МР є недостатньо висока магніточутливість, що не дозволяє використовувати їх в слабких магнітних полях порядку кількох  $A/m$ .

В основу винаходу поставлено завдання підвищення магніторезистивної чутливості (МРЧ) завдяки виготовленню його у вигляді феритового кільця. Поставлене завдання досягається тим, що МР виготовляють з високопроникливих марганець-цинкових феритів, наприклад, таких марок як 1000НМ, 1500НМ, 2000НМ, 2500НМ, 4000НМ, 6000НМ, 10000НМ з контактами, нанесеними на діаметрально протилежні боки кільця одним з перелічених методів: нанесення пасти з вмістом срібла; напилення срібних контактів; втирання індію.

Магніторезистивна чутливість до слабких полів підвищується за рахунок використання магнітної індукції, яка виникає у кільцевих зразках марганець-цинкових феритів. Магнітна індукція магнетиків в слабких магнітних полях визначається по формулі

$$B = \mu_a H,$$

де  $B$  - магнітна індукція (Тл),  $\mu_a = \mu_0 \mu$  - магнітна проникність речовини (Гн/м),  $\mu_0$  - магнітна постійна вакуума ( $4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м),  $\mu$  - початкова магнітна проникність фериту,  $H$  - напруженість магнітного поля (А/м). При використанні марганець-цинкових феритів з магнітною проникністю, більшою за 1000, індукція у кільцевих феритових осердях у слабких полях досягає десятків часток Тесла.

Були досліджені зразки кільцевої форми з марганець-цинкових феритів з різними значеннями магнітної проникності і геометричними розмірами. Основні параметри деяких з них, в тому числі МРЧ в порівнянні з прототипом [1], наведено у таблиці. Наприклад, для нашого зразка №2 МРЧ більше в 400 разів від МРЧ аналога [1]. Для інших запропонованих нами зразків співвідношення МРЧ має такий же порядок, тобто в сотні разів більше ніж в аналогах. Зразок №3, має досить високу МРЧ при підвищеній його термічній стабільності, причому в широкому інтервалі температур (від  $-60^\circ C$  до  $+60^\circ C$ ).

Таблиця

№	$R_0(20^\circ C)$ , Ом	Початкова проникність $\mu_n$	Геометричні розміри кільця, мм	Робочий діапазон магнітного поля, А/м	Магніторезистивна чутливість $d(R_0 - R_H)/dH$ , % мА	Відношення МРЧ до МРЧ аналога [1]
1	1275	1000	10×6×5	50-280	$2,3 \cdot 10^{-3}$	120
2	1310	1600	16×10×5	31-120	$7,7 \cdot 10^{-3}$	400
3	97	6700	10×6×5	5-35	$4,0 \cdot 10^{-3}$	210

Робочий частотний діапазон запропонованих магніторезисторів досить широкий від 0 до десятків кГц. Температурний коефіцієнт (ТК) МРЧ змінюється незначно, тобто магніторезистори досить термостабільні. Наприклад, для зразка №2 в діапазоні температур  $-60^\circ C$  -  $+20^\circ C$  ТК МРЧ складає  $0,83\%/^\circ C$ , а при температурах  $+20^\circ C$  -  $+60^\circ C$  ТК МРЧ ще менше  $0,60\%/^\circ C$ . Для зразка №3 ТК МРЧ дорівнює  $0,35$  та  $0,2\%/^\circ C$  відповідно наведених діапазонів температур.

Робочий струм в запропонованих магніторезисторах 20-100 мА, припустима розсіювана потужність - 0,25Вт.

Використовуючи додаткове підмагнічування змінним магнітним полем напруженістю 8-80 А/м в залежності від марки фериту, можна зміщувати лінійну ділянку в бік більш низьких полів. Тому лінійна частина характеристики  $\Delta R/R_0 = f(H)$  може починатися з майже нульового значення магнітного поля.

Запропоновані високочутливі магніторезистори можуть знайти застосування в безконтактних електричних апаратах змінного і постійного струму, в різноманітних перетворювачах, системах релейного захисту, різноманітних пристроях захисного відключення побутової напруги для захисту людей від ураження електричним струмом, холодильників, пральних машин тощо, підземних електричних пристроях, захисту у вибухонебезпечних умовах шахт, хімічних виробництв, бензоколонок, безколекторних електричних машинах, мережах високої напруги, тощо.

Висока магніторезистивна чутливість, відсутність рухомих електричних контактів забезпечують широке коло застосування МР, і практично необмежений строк служби таких пристроїв та їх високу надійність.

Джерела інформації

1. S.Jin, T.H.Tiefel, McCormack, R.A.Fastnacht, R.Ramesh, L.H.Chen. Thousandfold change in resistivity in magnetoresistance La-Ca-Mn-O films// Science. 1994.V.264. №5157. P.413-415. (Прототип)

2. К.П.Белов, А.Н.Горяга, В.Н.Пронин, Л.А.Скипетрова. О природе аномального отрицательного магнитосоротивления и парапроцесса в магнетите и марганцевом феррите при низких температурах // Письма ЖЭТФ. 1983. Т.37. в.8 ст.392-395

3. E. Rezlescu, N. Rezlescu. Magnetoresistance effect in the  $\text{Mn}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$  ceramics // JMMM. 1999. V.193. P.501-503.