

УДК 531.768

## Безпровідний датчик магнітного поля на ПАХ

*Гайдамака В.В., к.т.н., с.н.с. Жовнір М.Ф.*

Елементи і пристрої на поверхневих акустичних хвилях (ПАХ) мають значну перевагу над їх аналогами завдяки не тільки високим електричним параметрам, малими габаритами, надійністю, але і можливістю їх масового виготовлення на основі мікроелектронної технології [1].

За допомогою інтелектуальних систем з вбудованими датчиками на ПАХ можна проводити моніторинг і вимірювання температури, тиску, концентрації газів, параметрів електричних чи магнітних полів навіть в екстремальних умовах, наприклад, в умовах підвищеної радіації або в агресивних середовищах.

У роботі описано конструкцію та принцип функціонування безпровідного датчика магнітного поля на ПАХ. Такі пристрої можуть застосовуватись у різних областях, зокрема у біомедицині, побутовій електроніці, системах безпеки, працювати в умовах, при яких неможлива заміна джерела живлення, оскільки вони є пасивними пристроями і не потребують додаткового живлення.

Пасивний датчик магнітного поля на основі ПАХ може бути реалізований шляхом нанесення додаткового шару матеріалу, чутливого до впливу магнітних полів на поверхню підкладки, або

шляхом навантаження вихідного зустрічно-штирового перетворювача (ЗШП) магнітним датчиком. У першому випадку нанесений шар змінює параметри лінії затримки або резонансну частоту пристрою на ПАХ. У другому випадку датчик змінює характеристики відбитого від вихідного ЗШП сигналу [2,3].

Оскільки пристрої на поверхневих акустичних хвилях працюють за рахунок енергії радіохвиль, то відповідно і чутливий елемент повинен працювати на частоті роботи пристрою на ПАХ. Серед доступних магнітних датчиків, датчики ГМІ (на основі гігантського магнітного імпедансу – GiantMagnetoimpedance) найбільш задовольняють вимогам, оскільки вони мають високу магнітну чутливість, а також високу робочу частоту.

Ефект «гігантського магнітного імпедансу» є різновидом магнітного імпедансу (зміна комплексного опору феромагнітного провідника під дією зовнішнього магнітного поля), при якому відносна зміна імпедансу перевищує 100% у порівняно малих магнітних полях (1-10 Ерстед) при зміні взаємного напрямку намагніченості сусідніх магнітних шарів. В основі даного явища лежить зміна магнітної проникності феромагнетика  $\mu$  у

магнітному полі, що призводить до зміни глибини скін-шару:

$$\delta = (2 / \mu \mu_0 \sigma \omega)^{1/2}, \quad (1)$$

де  $\mu_0$  - магнітна стала,

$\sigma$  - електропровідність ферромагнетика,

$\omega$  - частота змінного струму, що протікає по провіднику.

Зміна глибини скін-шару, в свою чергу, призводить до зміни дійсної і уявної складової імпедансу [4].

У металах електронні хвилі поширюються вільно, зазнаючи зіткнень лише одна з одною, в результаті яких виникає невеликий за величиною опір за рахунок розсіювання при електрон-електронних зіткненнях  $\rho_e$ . Теплові коливання атомів, що утворюють кристалічну решітку, призводять до порушення періодичного розташування цих атомів, внаслідок чого відбувається розсіювання електронів провідності на фононах - теплових коливаннях атомів і виникає фононний внесок в електричний опір  $\rho_\phi(T)$ , який зростає з температурою. Крім того існує залишковий опір  $\rho_0$ , який зазвичай не залежить від температури і є наслідком розсіювання на дефектах кристалічної решітки, а також на атомах домішок.

У магнітовпорядкованих матеріалах (ферромагнетиках, ферромагнетиках і антиферромагнетиках) існує також значний за величиною магнітний внесок в електричний опір,

обумовлений розсіюванням електронів провідності на магнітній структурі, утвореної магнітними моментами атомів. У багатьох металевих магнетиках ці вклади адитивно додаються:

$$\rho(T) = \rho_e + \rho_0 + \rho_\phi(T) + \rho_m(T) \quad (2)$$

Магнітний внесок  $\rho_m$  в деяких матеріалах дуже великий і навіть перевищує інші складові. Розсіювання електронів провідності на магнітній неупорядкованості пропорційне середньому значенню квадрату спіна магнітного атома, що розсіює електрони провідності.

Розсіювання залежить від орієнтації спіну електрона по відношенню до магнітних моментів атомів. Для визначеності часто приймають, що електрони провідності мінімально взаємодіють з атомами, магнітний момент яких має паралельний їхньому спіну напрямку, і максимально - у випадку антипаралельних напрямків. Взаємодія також буде сильною у парамагнітному стані, коли всі магнітні моменти атомів напрямлені хаотично, без виокремленого напрямку намагніченості [5].

Для кількісної характеристики магнітного імпедансу використовують залежність модуля повного опору або відносної величини  $\Delta Z / Z$  від напруженості зовнішнього магнітного поля:

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{Z(H) - Z(H_{\max})}{Z(H_{\max})} \cdot 100\% \quad (3)$$

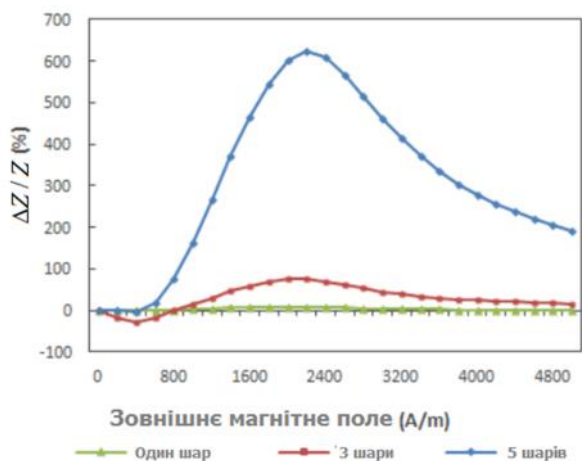


Рис.1. Залежність величини  $\Delta Z/Z$  від зовнішнього магнітного поля

Зазвичай датчик ГМІ являє собою трьохшарову структуру (ферромагнетик–метал–ферромагнетик), але для отримання кращої чутливості застосовують і більшу кількість із використанням проміжних ізолюючих шарів. На рис. 1 представлено залежність відносної зміни комплексного опору від прикладеного магнітного поля для 3 різних структур: 1 – один шар із ферромагнітного матеріалу; 2 – трьохшарова структура ферромагнетик – метал – ферромагнетик); 3- п'ятишарова структура із проміжними ізолюючими шарами між металом і ферромагнетиком [6].

Основні переваги використання ПАХ-транспондера разом із датчиком на основі гігантського магнітного імпедансу:

- ГМІ-датчик можливо виготовити на тій самій підкладці, що і ПАХ-транспондер, що зменшить габарити та вартість пристрою;

- тонкі плівки ГМІ-датчика можна виготовити тими самими процесами металізації, що і електроди ЗШП;
- методи фотолітографії дають можливість забезпечити точне позиціонування елементів ПАХ-транспондера і самого датчика;
- тонкоплівкові ГМІ-датчики можуть працювати у широкому діапазоні частот, аж до 2 ГГц, що відповідає вимогам пристроїв на ПАХ;
- тонкі плівки таких датчиків мають невеликі габарити і забезпечують високу чутливість магнітного поля.

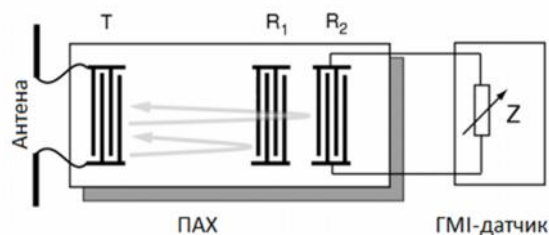


Рис.2. Функціональна схема ПАХ-транспондера

Система зв'язку включає ПАХ-транспондер разом з датчиком і пристрій опитування та оброблення інформації (ПООІ), взаємодія відбувається по радіоканалу. Сигнал радіозапиту приймається антеною пристрою на ПАХ і подається на зустрічно-штировий перетворювач (ЗШП). У вхідному ЗШП генерується поверхнева акустична хвиля, яка поширюється вздовж підкладки і відбивається від кожного відбивача. Відбиті хвилі приймаються вхідним ЗШП у різні

проміжки часу, і, відповідно, перетворюються у радіосигнал і передаються на ПООІ. При прикладенні магнітного поля імпеданс датчика змінюється, що викликає, відповідно, зміну амплітуди відбитого сигналу від другого вихідного ЗШП.

Оскільки п'єзоелектричний матеріал, з якого виготовлена підкладка, чутливий до навколишнього середовища, наприклад, температури, то перший відбивний ЗШП є опорним, і використовується для формування сигналу, що дозволить скоригувати отримані результати за допомогою ПООІ.

Також ззовні вхідного та вихідного зустрічно-штирових перетворювачів розміщені механічні поглиначі, щоб подавити подальші небажані відбиття ПАХ.

Результати дослідження показують, що використання ГМІ-сенсорів та ПАХ-транспондера дозволяє створити безпровідні високочутливі датчики, які можуть знайти широке застосування для контролю параметрів магнітного поля.

### Література

1. Жовнір М.Ф., Черняк М.Г., Черненко Д.В., Шеремет Л.М. Вимірювальні перетворювачі

фізичних величин на поверхневих акустичних хвилях / *Електроника и связь: Научно-технический журнал.* – 2011. – 1(60). – с.153-157.

2. Bill Drafts, "Acoustic Wave Technology Sensors", *IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques*, vol. 49, no. 4, pp. 795-802, April 2001
3. TUMANSKI S.: *Thin Film Magnetoresistive Sensors.* Institute of Physics, Bristol, 2001.
4. Морозов А.И. *Магнитоэлектроника / Уч. пособие / Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики.* – М., 2011. - 61 с
5. Никитин С. А. Гигантское магнитосопротивление // *Соросовский обзорный журнал*, 8 (2004) (2) С. 92—98.
6. Dong C, Chen S, Hsu T Y (Xu Zuyao) (2003) *A modified model of GMI effect in amorphous films with transverse magnetic anisotropy.* *J. Magn. Mater.* 263: 78-82