

Иван Михайлович Щигрев

Датчик магнитного поля на основе сэндвич-структуры

Работа отмечена Дипломом на Форуме молодых исследователей МГУ им. М. В. Ломоносова; Дипломом победителя Всероссийской конференции-конкурса "ЮНИОР" и Малой золотой медалью на Международном смотре научного и инженерного творчества школьников (май, 2007 год, г. Альбукерке, США)

Введение

Во многих отраслях науки и техники возникает потребность в измерении магнитных полей. Для этой цели применяются различные датчики: индукционные датчики (на основе эффекта электромагнитной индукции Фарадея); датчики Холла; появившиеся в 90-х годах двадцатого века считывающие головки жестких дисков на гигантском магнитосопротивлении (GMR) и др. В самое последнее время резко возрос интерес к магнитоэлектрическим материалам, в которых под действием магнитного поля возникает электрическая поляризация и наоборот [1]. Но в большинстве из них сильные эффекты возникают при низких температурах, и сами материалы довольно дороги.

С другой стороны, в настоящее время большое распространение получили композитные материалы (состоящие из нескольких компонентов), в частности, сэндвич-структуры (многослойные композиты), которые обладают лучшими по сравнению с однородными материалами свойствами [2].

Целью работы является создание датчика на основе сэндвич-структуры (магнит/пьезоэлектрик/магнит), измеряющего постоянное магнитное поле.

Конструкция датчика и методика измерений

Как уже было сказано, датчик построен по принципу сэндвича - пьезодатчик ЗП-1 0504 зажат между двумя магнитами (NdFeB). Общий размер датчика $2 \times 2 \times 1 \text{ см}^3$. Один из магнитов, неподвижный, закреплен на подложке, второй, подвижный, может незначительно смещаться под действием внешнего поля. Выводы пьезодатчика

подключены к измерительной схеме с повторителем на основе операционного усилителя для обеспечения высокого входного сопротивления измерительной схемы. Высокое входное сопротивление схемы является принципиальным моментом, т.к. при непосредственных измерениях любым другим прибором мы столкнулись с проблемой быстрого (<0.01 секунды) разряда пьезодатчика через измерительный прибор, что делало невозможным измерение постоянного магнитного поля. Так как изучаемые поля довольно сильные, конструкция помещена в защитный корпус и все составляющие датчика крепко соединены между собой.

При внесении датчика в поле, один из магнитов (подвижный) незначительно смещался, в результате чего изначальное сжатие пьезоэлектрика увеличивалось или уменьшалось в зависимости от полярности магнита, создающего внешнее поле, что, в свою очередь, приводило к изменению выходного напряжения.

Датчик калибровался с помощью постоянного магнита, расстояние до которого менялось с шагом 1 мм. Зависимость магнитной индукции от расстояния была предварительно измерена с помощью стандартного датчика Холла ДХК-0.5А.

Результаты

На графике представлены зависимость выходного сигнала датчика и магнитной индукции от расстояния между датчиком и магнитом. Соотношение масштабов зависимостей дают калибровочный коэффициент датчика $K=80\text{В/Тесла}$. Видно, что обе зависимости демонстрируют подобие в диапазоне до 10В, а при дальнейшем сближении датчика и магнита величина сигнала выходит в насыщение, что связано с нелинейными ограничениями измерительной схемы. В дальнейшем планируется расширить диапазон измерительной схемы, решить задачу миниатюризации датчика, усовершенствовать процедуру калибровки с использованием электромагнита.

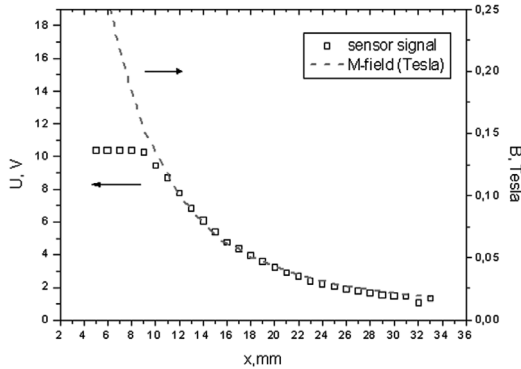


Рис. 1. Зависимости сигнала на датчике (точки) и магнитного поля (штриховая линия) от расстояния между датчиком и постоянным магнитом - источником поля

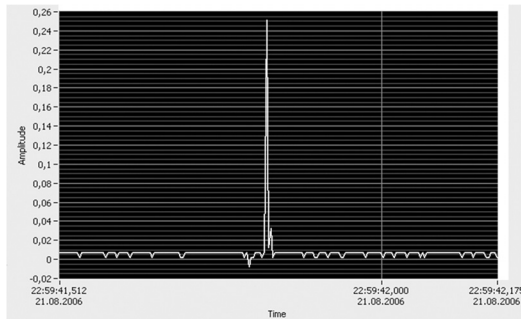


Рис.2. Графики выходного напряжения

Физические принципы измерения магнитного поля

1. Электромагнитная индукция
М. Фарадей 1840
 $E = -\Delta\Phi/\Delta t$
2. Эффект Холла
Э. Холл 1879
 $U = k^*BI$
3. Эффект ГМС
А. Ферт и др. 1988
 $GMR = \frac{R_{on} - R_{off}}{R_{on}}$
4. Мемисторный эффект
Д.Н. Астров 1960
 $R = \alpha H, M = \alpha E$

Магнитоэлектрический датчик

Принцип работы датчика

Магнит 3 (подвижный)

Магнит 2 (подвижный)

Магнит 1 (неподвижный)

Пьезоэлектрик

В отсутствие поля:
Пьезоэлектрик сжат между магнитами 1 и 2.

В присутствии поля:
Магнит 3 притягивает подвижный магнит 2, сила давления на пьезоэлектрик уменьшается, возникает напряжение

Методика проведения эксперимента

Магнит

корпус

Буферная схема

Заключение

Предложена конструкция датчика на основе сэндвич-структуры: магнит/пьезоэлектрик/магнит, достоинствами которой являются: низкое потребление мощности (меньше 1нВт - мощность, потребляемая измерительной схемой), большой выходной сигнал (коэффициент чувствительности датчика $K=80\text{В/Тесла}$, что в 300 раз превосходит чувствительность стандартного датчика Холла), возможность измерения статических полей. К достоинствам также можно отнести простоту конструкции и доступность ее компонентов.

Литература

1. А.К. Звездин, А.П. Пятаков, Фазовые переходы и гигантский магнитоэлектрический эффект в мультиферроиках, Успехи Физических наук, т. 174, п.4, с. 465-470 (2004)
2. А. Пятаков, Магнитоэлектрические материалы и их практическое применение, Бюллетень Магнитного Общества, т.5, п.2 (2004)
3. A.S. Logginov, A.P. Pyatakov, A.K. Zvezdin, Magnetolectrics: new type of tunable materials for microwave technique and spintronics, Proceedings of SPIE, v. 5955, p.56-65 (2005)
4. А.Ю. Остащенко, К.Е. Каменцев, Ю.К. Фетисов, Г. Сринивасан, Магнитоэлектрический отклик многослойной структуры феррит пьезоэлектрик на импульс магнитного поля, Письма в Журнал Технической Физики, 2004, том 30, с. 36

Печатается по материалам сборника материалов
Всероссийского конкурса "Юниор" Intel ISEF,
г. Москва, февраль 2007 г.