

К. т. н. И. А. БОЛЬШАКОВА, к. т. н. Р. Л. ГОЛЯКА

Украина, г. Львов, Гос. ун-т "Львовская Политехника"

Дата поступления в редакцию
17.04 2000 г.

Оппонент к. т. н. Е. Б. ПЛАВИНСКИЙ

ФУНКЦИОНАЛЬНО ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Разработан и исследован специальный функционально интегрированный магнитометрический преобразователь для радиационнотойких измерителей магнитной индукции.

Мониторинг магнитного поля в условиях открытого космоса, в реакторах и ускорителях заряженных частиц предусматривает создание радиационнотойких магнитометрических устройств. В качестве первичных преобразователей таких устройств в основном используют преобразователи Холла (ПХ). С целью обеспечения высокой радиационной стойкости ПХ освоены специальные технологии их изготовления. Оптимизация концентрации и состава легирующих примесей в дискретных микрокристаллических ПХ обеспечивает уменьшение нестабильности холловского напряжения до уровня 0,2...0,5% при облучении высокоэнергетическими нейтронами флюенсом $\Phi=10^{14}$ нейтрон/см² [1, 2]. Однако ограничения на уровне физических механизмов функционирования ПХ, как и других полупроводниковых приборов, препятствуют дальнейшему повышению радиационной стабильности магнитометрических устройств на их основе, а следовательно, точности измерений. В то же время задача дальнейшего *повышения точности измерений* (с погрешностью не более 0,1%) в таких устройствах является актуальной и не решенной.

В ходе комплексного анализа задач создания радиационнотойких магнитометрических устройств нами определена возможность решения проблемы повышения точности таких устройств в условиях дестабилизирующих факторов радиационного излучения на основании функционально интегрированного магнитометрического преобразователя (ФИММП).

Назначение ФИММП

Сочетая два основных элемента преобразования — медный микросоленоид и размещенный в нем полупроводниковый микрокристаллический преобразователь Холла, ФИММП позволяет реализовать значительное количество функций. Среди них:

- прямое измерение индукции сильных магнитных полей с помощью ПХ;
- измерение температуры микросоленоидом в качестве медного терморезистора;
- термостатирование ПХ управляемым разогревом микросоленоида;

- измерение индукции слабых магнитных полей компенсационным методом;
- формирование и измерение дифференциального тестового магнитного поля;
- термостатирование с одновременным формированием и измерением компенсационных и тестовых магнитных полей.

Основным отличием магнитометрических устройств, использующих предложенный ФИММП, является возможность коррекции функции преобразования [3]. Коррекция базируется на формировании вокруг ПХ тестового магнитного поля известной величины. Тестовое магнитное поле формируется миниатюрным соленоидом, в поле которого находится ПХ. Измеряя компоненту холловского напряжения, обусловленную тестовым магнитным полем, находим функцию преобразования измерительной цепи.

Высокая радиационная стабильность таких магнитометрических устройств обуславливается отсутствием влияния радиации на тестовое поле микросолеоида. В процессе эксплуатации в жестких радиационных условиях изменение сопротивления микросолеоида, изготовленного из медной проволоки, является несравненно меньшим по сравнению с дрейфом параметров полупроводникового ПХ. Кроме того, при питании микросолеоида стабилизированным током изменение его сопротивления не приводит к изменению значения тестового поля.

Размещение ПХ в микросолеоиде отвечает критерию максимального поля подмагничивания в плоскости измерения ПХ.

Расчет микросолеоида ФИММП

Оптимизация параметров микросолеоида предусматривает обеспечение максимального значения индукции поля подмагничивания при заданных требованиях к конструкции и габаритам ФИММП. В первом приближении индукция поля в микросолеоиде цилиндрической формы определяется выражением

$$B = \mu \mu_0 I p,$$

где μ , μ_0 — соответственно относительная и абсолютная магнитная проницаемость;

I — рабочий ток;

$p = 1/d$ — количество витков на единицу длины;

d — диаметр провода.

Однако такой анализ не позволяет определить индукцию поля в соленоиде ограниченной длины, не

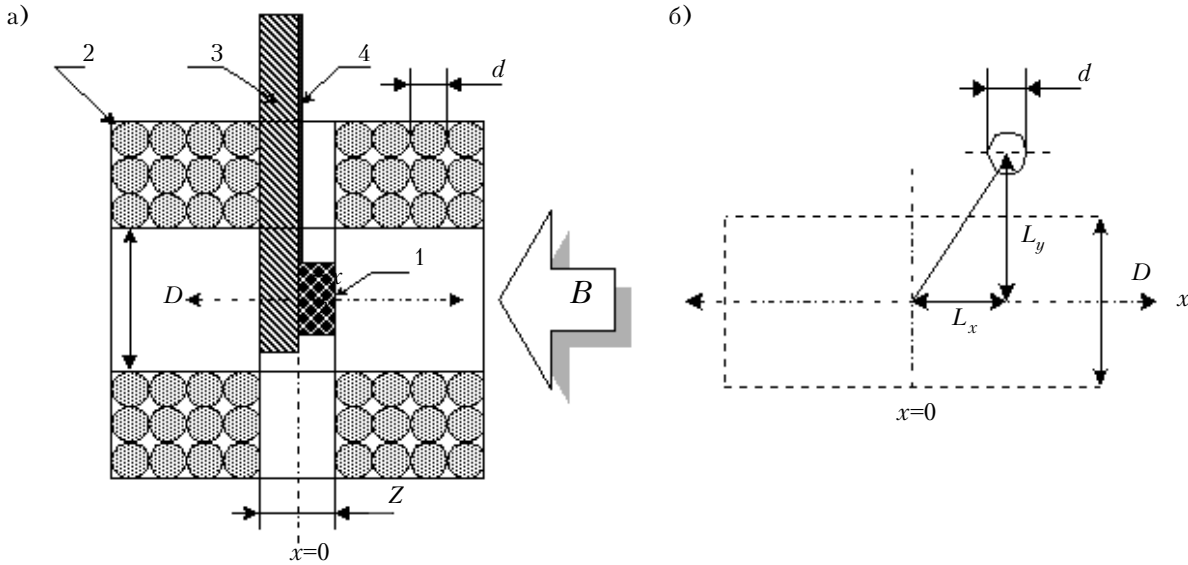


Рис. 1. Конструкция ФИММП

учитывает неравномерность поля, температурные режимы и т. д.

Предлагаемая методика предусматривает определение индукции поля, сформированного каждым отдельным витком, и, на основании принципа суперпозиции полей, расчет суммарной величины поля в произвольной точке пространства. В результате этого становится возможным оптимизировать геометрические размеры и ток микросолоноида.

Рассмотрим конструкцию ФИММП (рис. 1, а). Преобразователь Холла (1) и микросолоноид (2) крепятся на единой подложке (3), на которой сформированы электроды (4). Индукция поля одинарного витка в точке на центральной оси (рис. 1, б) составляет [4, с. 347]

$$B = \mu \mu_0 I L_y^2 / 2L_{xy}^3,$$

где $L_{xy} = \sqrt{L_x^2 + L_y^2}$, L_x, L_y – соответственные расстояния к витку.

Распределение индукции поля рассчитывается как сумма индукции от обеих половин микросолоноида $B(x) = B_1(x) + B_2(x)$. Записав зависимость величин L_x, L_y от номера витка $i = 1, 2, \dots, n$ и номера слоя $j = 1, 2, \dots, m$ –

$$L_{1x} = x + \frac{z}{2} + \frac{kdn}{2} - \frac{d}{2} - kd(i-1);$$

$$L_{2x} = \frac{z}{2} + \frac{d}{2} + kd(i-1) - x;$$

$$L_y = \frac{D}{2} + \frac{d}{2} + kd(j-1),$$

получаем:

$$B_1(x) = \frac{\mu \mu_0 I}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{[0,5n]} \frac{L_y^2}{\left(\sqrt{L_{1x}^2 + L_y^2}\right)^3};$$

$$B_2(x) = \frac{\mu \mu_0 I}{2} \sum_{j=1}^m \sum_{i=[0,5n]+1}^n \frac{L_y^2}{\left(\sqrt{L_{2x}^2 + L_y^2}\right)^3},$$

где x – расстояние от центра микросолоноида до его оси;

D – диаметр намотки;

$k = 1 \dots 1,5$ – коэффициент намотки;

Z – зазор между половинами микросолоноида.

Пример расчета поля в катушке при $D = 1,2$ мм, $d = 0,05$ мм, $n = 20$, $m = 15$ для $Z = 0,4; 0,6; 0,8$ мм приведен на рис. 2, а. Можно показать, что существует определенное значение зазора Z , при котором градиент поля в зоне размещения ПХ является минимальным. В частности, для указанных данных оптимальным значением зазора является $Z = 0,55$ мм. При этом минимизируется влияние смещения ПХ в микросолоноиде при температурной деформации подложки зонда.

В процессе оптимизации размеров в микросолоноиде важным является обеспечение соответствующего соотношения между диаметром намотки D и зазором Z . На рис. 2, б приведены результаты расчета зависимости индукции поля от зазора Z при $D = 0,5; 1,0; 2,0$ мм. Из проведенного анализа следует, что при $Z \rightarrow 0$ максимальное значение индукции поля имеет место при минимальном диаметре намотки $D = 0,5$ мм. В реальных конструкциях ФИММП с зазором $Z > 0,5$ мм наблюдается противоположная картина – при уменьшении диаметра намотки D индукция поля уменьшается:

$$B(D = 0,5 \text{ мм}) < B(D = 1,0 \text{ мм}) < B(D = 2,0 \text{ мм}).$$

Причиной данного эффекта является более резкое падение поля за границами микросолоноида с уменьшением диаметра его намотки.

Другим результатом оптимизации является определение соотношения между количеством витков в слое n и количеством слоев m , что при заданном суммарном количестве витков $N = nm$ обеспечивает максимальное значение индукции поля. Определение экстремума индукции магнитного поля $\frac{\partial B(n, m)}{\partial m} = 0$ (при $n = N/m$) в аналитической форме является проблематичным.

Анализ функции $B(n, m)$ числовым методом приведен на рис. 2, в. Из результатов анализа следует, что

КОМПОНЕНТЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ

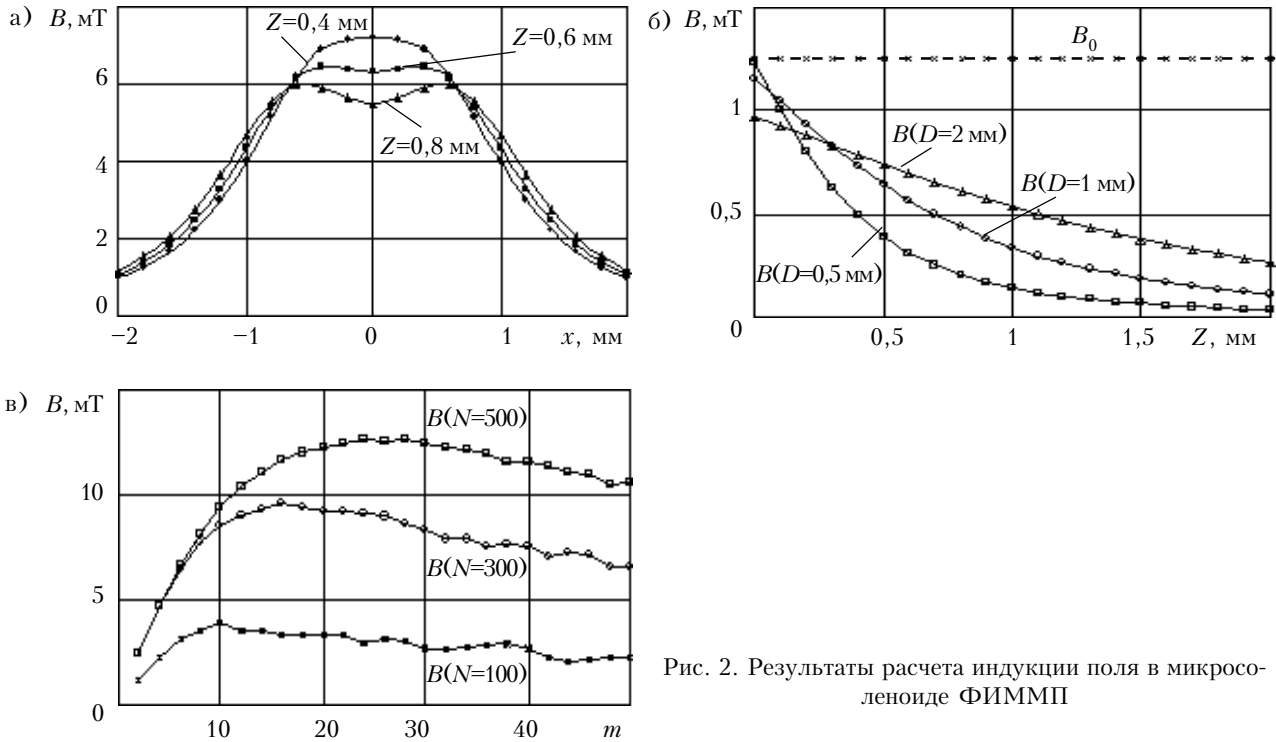


Рис. 2. Результаты расчета индукции поля в микросолоноиде ФИММП

максимум поля для $N=100$ наблюдается при $m=10$, для $N=300$ — при $m=15$, для $N=500$ — при $m=20$ и т. д.

Результаты исследований

С целью экспериментальной проверки результатов расчета были изготовлены микросолоноиды с параметрами $D=1,2$ мм; $d=0,05$ мм, $n=20$, $m=15$, $Z=0,6$ мм. Использовались радиационнстойкие ПХ на основании микрокристаллов InSb [1]. Чувствительность ПХ при $I_n=20$ мА составляла $S=30$ мВ/Т. Микросолоноиды ФИММП запитывались переменным током частотой 500 Гц. Измерение холловского напряжения поля подмагничивания и падения напряжения на сопротивлении микросолоноида проводилось с помощью синхродетектора. Величина падения напряжения на сопротивлении микросолоноида использовалась для термостатирования ФИММП. При температуре термостабилизации 50°C нестабильность температуры ФИММП составляла 0,3°C. При токе в микросолоноиде $I=50$ мА индукция тестового поля подмагничивания составляла $B\approx 6,2$ мТ, что практически совпадает с результатами расчета.

На основании ФИММП созданы измерительные зонды с погрешностью не более 0,05%, которые использованы при создании систем магнитного мониторинга для радиационных условий эксплуатации ускорителей заряженных частиц в рамках проекта № 1438 Научно-технологического центра в Украине.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Bolshakova I., Vaibakov K., Gladilin V. et al. Magnetic microsensor applications in spacecraft // Proceeding of Tenth Conference on Sensors and their Application, Cardiff, Wales, Sept. 1999. — P. 323–327.
2. Bolshakova I. Improvement of radiation resistance of magnetic field microsensors // Sensors & Actuators: A. Physical. — Vol. 76/1–3. — P. 154–157.
3. Bolshakova I., Golyaka R. High-stable instrumentation for high magnetic field measurement under radiation conditions // 16th International Conference on Magnet Technology, Florida, Sept. 1999. — Program. — P. 117.
4. Законы, формулы, задачи физики. Справочник / Гофман Ю. В. — К. : Наук. думка, 1977.

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции

➤ Методика определения параметров структурной и кластерной моделей толстых резистивных пленок. *А. В. Стерхова, П. А. Ушаков, П. Н. Жарков (Россия, г. Ижевск)*

➤ Дegradация радиационно-оптических свойств халькогенидных стеклообразных полупроводников. *Н. М. Вакив (Украина, г. Львов)*

➤ Особенности методики расчета конструкции самонесущих оптических кабелей по растягивающим нагрузкам. *О. В. Бондаренко, Д. В. Иоргачев, Л. Л. Мурадян (Украина, г. Одесса)*

в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции в портфеле редакции