ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ
ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
Տեխնիկական գիտություններ, սերիա XXXVI, № 6. 1983 Серия технических наук

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Б. М. МАМИКОНЯН, С. О. ВАРДАНЯН

ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА

Бесконтактное измерение электрического тока широко применяется в линиях электропередач, различных энергосистемах, шинах печатного монтажа, где измерение необходимо осуществлять без обрыва исследуемой цепи, чаще всего — путем измерения напряженности магнитного поля, создаваемого контролируемым током. Использование для этой цели тонких магнитных пленок (ТМП) с одноосной анизотропией позволяет создавать микроминиатюрные преобразователи тока, особенно ценные для контроля цепей печатного монтажа.

Известно [1], что 180-градусная доменная граница, находящаяся в поле с магнитной напряженностью H, параллельной оси легкого намагничивания (ОЛН) доменов, которые расположены по обе стороны от границы, испытывает давление $2\mu_0 M_s H$, где M_s — намагниченность насыщения образца, μ_0 — магнитная проницаемость вакуума. Если H больше коэрцитивной силы H_c образца, то граница начинает перемещаться вдоль оси трудного намагничивания (ОТН) пленки. Величина этого перемещения может служить мерой контролируемого тока.

Наиболее простое устройство, реализующее вышеизложенный принцип, описано в [2]. Магнитная пленка с одноосной анизотропией, нанесенная на диэлектрическую подложку, предварительно, при помощи постоянного магнита, разбивается на две смежные области, намагниченные в противоположных направлениях вдоль ОЛН.

Если вдоль ОТН пленки создать градиент коэрцитивной силы H_c, то можно обеспечить плавную зависимость координаты смещения границы от величины измеряемого тока. В такой пленке при любом ее перемагничивании в направлении ОЛН доменная граница всегда движется в одном и том же направлении вдоль ОТН — в сторону увеличения H_c (направленное движение доменной границы). Устройство, использующее указанный принцип, описано в [3–5].

В настоящей работе изложены результаты исследований по созданию бесконтактного тонкопленочного преобразователя мгновенного значения тока, в котором вместо градиента коэрцитивной силы вдоль ОТН создается градиент подмагничивающего поля с использованием клинообразной шины [6] (рис. 1).

В исходном состоянии намагниченность магнитной пленки имеет одно из двух направлений по ОЛН, например, вдоль оси $+Л$. С включением тока смещения I_0 на пленку действует магнитное поле, направленное против ее намагниченности. Из-за клинообразности подложки шины напряженность $H_0(x)$ этого поля в различных точках пленки вдоль ОТН неодинакова: она максимальна у вершины клина и уменьшается по мере удаления от нее. Вследствии этого, с увеличением тока I_0 у края пленки со стороны вершины клина появляется домен обратной намагниченности, разделенный от остальной части пленки 180-градусной доменной границей. Домен обратной намагниченности появляется тогда, когда в данной точке напряженность $H_0(x)$ становится больше коэрцитивной силы H_c пленки. Поэтому, по мере увеличения тока I_0 доменная граница перемещается в сторону основания клина. Величина тока I_0 выбирается такой, чтобы при отсутствии контролируемого тока доменная граница находилась в координате $x = 0$ у края пленки со стороны основания клина.

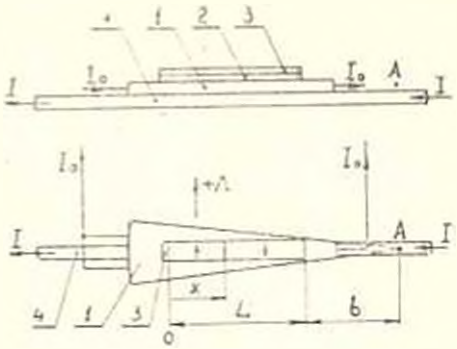

Рис. 1. Принципиальная схема преобразователя — провод с контролируемым током расположен параллельно к ОТН пленки: *1* — токопроводящая клинообразная шина, подключенная в вершине и основании к источнику тока смещения I_0; *2* — изолирующий слой; 3 — пермаллоевая пленка, ОЛН которой перпендикулярна оси симметрии клина; *4* — проводник с контролируемым током *I*.

Контролируемый ток I создает магнитное поле, напряженность $H(x)$ которого на поверхности пленки направлена встречно напряженности $H_0(x)$. Поэтому под действием тока I доменная граница перемещается в пленке в направлении от основания к вершине клина. Величина x этого перемещения пропорциональна величине тока I и служит его мерой.

Уравнение координаты положения доменной границы определяется следующим образом. В вышепринятых обозначениях условие равновесия доменной границы выражается уравнением

$$H(x) + H_c = H_0(x). \tag{1}$$

Напряженности $H_0(x)$ и $H(x)$ определяются с помощью закона полного тока:

$$H_0(x) = \frac{I_0}{2x}. \tag{2}$$

где

$$c = 2(L + b - x)\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}; \tag{3}$$

α — угол при вершине клина;

$$H(x) = \frac{I}{2\pi r}, \qquad (4)$$

r — расстояние от поверхности пленки до оси проводника 4; в данном случае эта напряженность не зависит от координаты x.

Подставляя выражения (2)—(4) в уравнение (1), находим x:

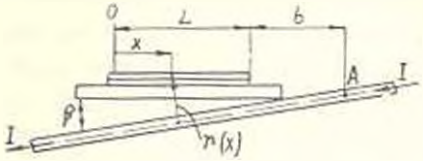

Рис. 2. Взаимное расположение преобразователя и проводника, обеспечивающее линейное преобразование.

$$x = L + b - \frac{\pi r I_0}{2\,(I + 2\pi r H_c)\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2}}.$$

Таким образом, в случае, когда проход с контролируемым током располагается параллельно ОТН пленки, функция $x = f(I)$ оказывается нелинейной.

Исследования показали, что функция преобразования рассматриваемого устройства становится линейной, когда плоскость преобразователя располагается наклонно к токонесущему проводнику, так, как это показано на рис. 2. В этом случае $H(x)$ также становится функцией координаты x доменной границы:

$$H(x) = \frac{I}{2\pi r(x)} = \frac{I}{2\pi (L + b - x)\sin\beta},$$

и из условия (1) получается линейная зависимость $x = f(I)$:

$$x = \frac{\pi\left|4H_c(L + b)\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2} - I_0\right|\sin\beta + 2I\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2}}{4\pi H_c \sin\beta\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2}}. \qquad (5)$$

Величина I_0 определяется из условия $x = 0$ при $I = 0$:

$$I_0 = 4H_c(L + b)\,\mathrm{tg}\,\frac{\alpha}{2},$$

при выполнении которого из (5) следует:

$$x = \frac{I}{2\pi H_c \sin\beta}. \qquad (6)$$

Выбором угла β подбирается необходимая чувствительность преобразователя при заданном диапазоне $0 - I_m$ контролируемого тока: при $I = I_m$ должно быть $x = L$. Тогда из (6):

$$\sin\beta = \frac{I_m}{2\pi H_c L}.$$

При выполнении последнего условия, из (6) следует:

$$x = \frac{L}{I_m} \cdot I.$$

Эксперимент был проведен на магнитооптической установке Керра с использованием пермаллоевых пленок толщиной 2000 Å, коэрцитивной силой $H_c = 144$ *А/м*, нанесенных вакуумным напылением на стеклянные подложки толщиной $a = 0{,}2$ *мм*. Клинообразная медная шина имела толщину $d = 0{,}03$ *мм*, а рабочий диапазон перемещения доменной границы составлял 20 *мм*. Преобразователь испытывался при различных значениях углов α и β, результаты испытаний подтвердили справедливость вышеизложенных теоретических положений: например, при $\alpha = 45°$, $\beta = 15°$ ток смещения оказался равным $I_0 = 6{,}8$ *А*, чувствительность составила 4,0 *мм/А*, что неплохо сходится с теорией.

Следует отметить, что на различных участках пленок форма доменной границы в различной мере отклонялась от прямолинейной из-за наличия дисперсии анизотропии.

Ленинаканский фил. ЕрПИ им. К. Маркса 3.XII.1982

Բ. Մ. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ, Ս. Հ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

ՀՈՍԱՆՔԻ ԲԱՐԱԿԹԱՂԱՆԹԱՅԻՆ ԱՆԿՈՆՏԱԿՏ ՓՈԽԱԿԵՐՊԻՉ

Ամփոփում

Նկարագրված է սեպաձև հոսանքակիր տակդիր օգտագործելու միջոցով դոմենային սահմանի ուղղորդված շարժում իրացնելու էությունը պերմալոյի բարակ թաղանթում։ Շարադրված են այդ երևույթի վրա հիմնված և անկոնտակտ եղանակով էլեկտրական հոսանք չափելու համար նախատեսված փոխակերպիչի կիրառման առանձնահատկությունները։ Ստացված է դոմենային սահմանի դիրքի կոորդինատի հավասարումը՝ կախված չափվող հոսանքի մեծությունից և բերված են փոխակերպիչի փորձարարական հետազոտության արդյունքները։

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кринчик Г. С.* Физика магнитных явлений.— М.: изд-во МГУ, 1976.— 217 с.
2. *Hsieh E. J.* Magnetic thin-film split-domain current sensor-recorder. — Патент США № 4180775, кл. 324 249, 1979.
3. *Cooper R. W.* Magnetooptical arrangement. — Mullard Res. Labor. Rep., 1968, № 2644, p. 15—16.
4. *Sugatani S., Konishi S., Sakurai J.* Control of domain tip motion in a magnetic thin film. — IEEE Trans. on magn., v. Mag-4, 1968, № 3, p. 445—448.
5. *Sakurai J., Matsushita S., Konishi S.* Magnetooptical amperemeter. — Dig. Intermag. Conf., Wachington, 1970, p. 8—10.
6. А. с. 1004889 (СССР). Устройство для бесконтактного измерения тока /Б. М. Мамиконян, С. О. Варданян.— Опубл. в БИ, 1983.