

ПРИМЕНЕНИЕ «МАГНИТНОГО МУАРОВОГО» ЭФФЕКТА  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Я. М. ПОГОСЯН, А. А. БАДОЯН

Институт прикладных проблем физики НАН Армении

(Поступила в редакцию 28 июня 1992 г.)

Предлагается метод измерений малых перемещений во времени. Он основан на создании многоканальной регулярной структуры на магнитном носителе с длинами волн, незначительно отличающимися друг от друга. Считывание сигналов при этом осуществляется с помощью магниторезистивных датчиков. Положение датчика на носителе определяется с помощью магнитной линейки. Последняя создается, используя эффект «магнитного муара», формирующегося при наложении считывающих сигналов со всех магниторезистивных датчиков.

За последнее время магнитные явления находят все большее применение в измерительной технике. Это, в основном, обусловлено, с одной стороны, более глубоким исследованием физики магнитных явлений и выявлением принципиально новых возможностей прикладного характера, а с другой стороны—традиционным преимуществом магнитных методов (дешевизна, долговечность, радиационная устойчивость, работоспособность в широком диапазоне температур и т. д.).

Традиционные магнитные измерения перемещения основаны на индукционном методе считывания при прохождении головки считывания относительно неподвижного носителя (или наоборот). Основным недостатком этого метода является нечувствительность к малым скоростям перемещения. С целью увеличения чувствительности измерения применяют индукционную головку считывания с большим числом витков, что, в свою очередь, приводит к уменьшению точности метода.

Увеличения чувствительности в этом случае [1] можно достичь применением носителей с заданной регулярной структурой с длиной волны  $\lambda$ , а в качестве головки считывания использовать пакет пластин с толщиной  $t$  из магнитомягкого материала, разделенных немагнитными пластинами той же толщины.

Регулярность магнитной структуры носителя задается условием  $\lambda = 4t$ . Однако в этом случае устройство дает возможность измерять перемещения, кратные  $\frac{\lambda}{2}$ , что не позволяет создать магнитную линейку.

С появлением магниторезистивного датчика считывания, работающего на принципиально новой основе\*, стало возможным созда-

\* Здесь первичным датчиком является тонкая, толщиной 300—500 Å, однооснованизотропная пермаллоевая пленка. При перемещении первичного датчика вдоль носителя с регулярной структурой, вектор намагниченности ( $J$ ) ферромаг-



ние преобразователя углового перемещения с магнитной линейкой [2], который может быть применен также и для линейных перемещений.

Схематический принцип его работы показан на рис. 1. Пусть имеем носитель, где осуществлена многоканальная запись с регулярной структурой в каждом канале с длиной волны  $\lambda_1$ ;  $\lambda_2$ ;  $\lambda_3 \dots$  (при этом  $\lambda_3 = 2\lambda_1$ ;  $\lambda_4 = 2\lambda_2 = 4\lambda_1$  и т.д.).

При считывании информации с помощью многодорожечной магниторезистивной головки положение головки относительно неподвиж-

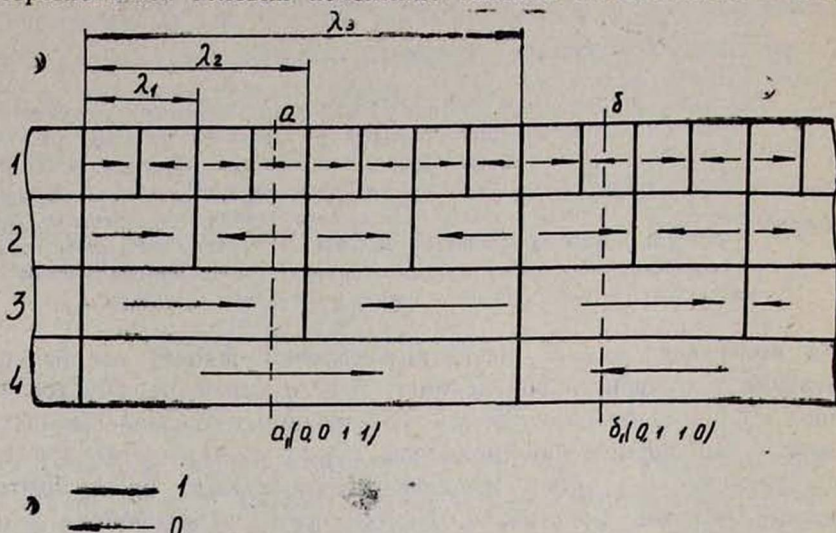


Рис. 1. Применяемая в [1] регулярная магнитная структура носителя для создания магнитной линейки. 1, 2, 3, 4—нумерация каналов;  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3 \dots$ —длины волн записанной информации в соответствующих каналах.

ного носителя будет строго фиксировано в соответствии с закодированной информацией. Так, например, положение а-а<sub>1</sub> (рис. 1) головки определяется кодом 0011, положение б-б<sub>1</sub>—соответственно 0110.

Легко увидеть, что точность метода ограничена минимальным размером записанного бита выбранной системы. Но самое главное, при заданной  $\lambda_{\min}$  в случае использования этого преобразователя для измерения линейного перемещения большой длины возникает необходимость использования большого числа дорожек согласно уравнению

$$L = \frac{\lambda_{\min}}{2} \cdot 2^n, \quad (1)$$

где  $L$ —протяженность линейки;  $n$ —число дорожек.

нитной пленки претерпевает колебания, вызывающие изменение ее удельного электросопротивления:

$$\rho_{\varphi} = \rho_0 \cos^2 \varphi,$$

где  $\varphi$ —угол отклонения вектора намагниченности от оси легкого намагничивания под действием локальных полей ролей рассеяния носителя.

Метод отличается своей безынерционностью, его чувствительность не зависит от скорости перемещения носителя относительно неподвижного резистивного элемента или наоборот.



Из уравнения (1) следует, например, что при  $\lambda_{\min} = 2$  мкм для создания магнитной линейки протяженностью 5м, обеспечивающей точность 1 мкм, необходимо применять 20-и дорожечную магнитную головку.

В настоящей работе предлагается новый высокоточный метод измерения малых перемещений во времени.

### Эффект «магнитного муара» для измерений магнитных перемещений

Пусть мы имеем носитель, где осуществлена цифровая запись

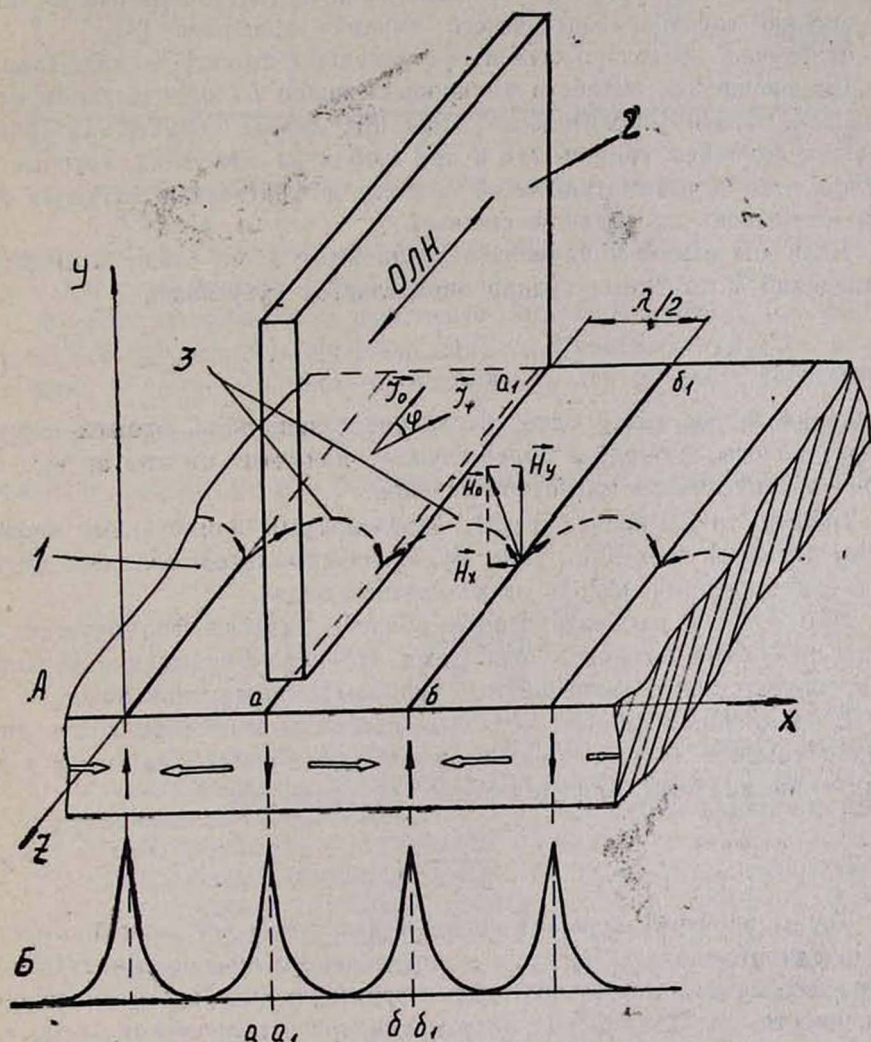


Рис. 2. а) Взаимодействие полей рассеяния (3) регулярной магнитной структуры носителя (1) с магниторезистивным элементом (2).  $aa_1, bb_1, \dots$  — переходные области — доменные границы регулярной магнитной структуры с длиной волны  $\lambda$ ; ОЛН — ось легкого намагничивания магниторезистивного элемента;  $J_0$  — состояние вектора намагниченности резистивного элемента в отсутствие компоненты  $H_y$  полей рассеяния доменных границ;  $J_\varphi$  — под действием компоненты полей  $H_y$ .

б) Изменение электропроводности резистивного элемента при его перемещении в направлении  $X$ , что одно и то же, что и форма считывающего сигнала, снимаемого с помощью резистивного элемента.



многодорожечной головкой, при этом в каждом канале носителя (1) (рис. 2) запись осуществляется при определенной частоте, незначительно отличающейся от соседней. Если считывание будет осуществляться магниторезистивными датчиками (2), которые чувствительны к вертикальной компоненте поля ( $H_y$ ) рассеяния записанных битов информации  $H_0$  (3), то положение максимумов считывающих сигналов (рис 2б) будет соответствовать расположению переходной области записанных битов—доменных границ ( $a-a_1$ ,  $b-b_1$  и т. д.). В силу четности эффекта знак угла  $\varphi$  не имеет значения.

При одновременном считывании и наложении информации со всех дорожек возникает «муаровый» эффект [3], аналогичный формированию электроннооптического «муара» смещения [4].

В случае многодорожечной регулярной структуры длины волн сформировавшихся семейств «муаровых» полос  $L$  определяются наименьшим общим множителем  $\lambda_i$  как при любых количествах совпадающих доменных границ, так и при любом их сочетании, которые не повторяются в рассматриваемой области и фактически являются кодом—линейкой для данной системы.

Если мы имеем  $n$  каналов с различными  $\lambda$ , то число возможных совпадений  $k$  доменных границ определяется из условия

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \cdot V \quad (2)$$

При  $k=n$  будем иметь одно совпадение границ всех дорожек—«муаровой» полосы, которое и будет служить началом отсчета, а его период—протяженность магнитной линейки.

Период таких полос ( $k=n$ ), определяемый наименьшим множителем размеров всех длин волн, будет максимальным в данной системе и задается нами, исходя из конкретных задач.

При  $k < n$  в рассматриваемой области линейки формируется  $N$  полос со своими кодами и периодами. По мере уменьшения  $k$  растет  $N$  и соответственно уменьшаются периоды совпадающих полос.

В простейшем случае, если мы рассматриваем совпадение двух границ доменов ( $k=2$ ), то их количество будет максимальным, а период—минимальным, определяемым из уравнения

$$L = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (3)$$

Таким образом, если мы имеем  $n$  каналов с регулярной структурой с длинами волн  $\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3 \dots$ , незначительно отличающимися друг от друга, то заранее можно построить магнитную линейку заданной протяженности, задаваемой как числом каналов и величинами  $\lambda_1; \lambda_2; \lambda_3$ , так и закодированными «муаровыми» полосами. На рис. 3 изображено схематическое пояснение «магнитного муарового» эффекта и построение магнитной линейки в случае трехдорожечной среды носителя.

Абсцисса  $X_1$  определяется наложением границ доменов в каналах 1 и 2; абсцисса  $X_2$ —наложением границ доменов в каналах 1 и 3;



абсцисса  $X_3$ —наложением границ доменов в каналах 2 и 3; абсцисса  $X_4$ —совпадением границ доменов всех каналов и т. д.;  $\lambda_1$ ;  $\lambda_2$ ;  $\lambda_3$ —длины волн записанных битов на 3-х дорожках, позволяющие форми-

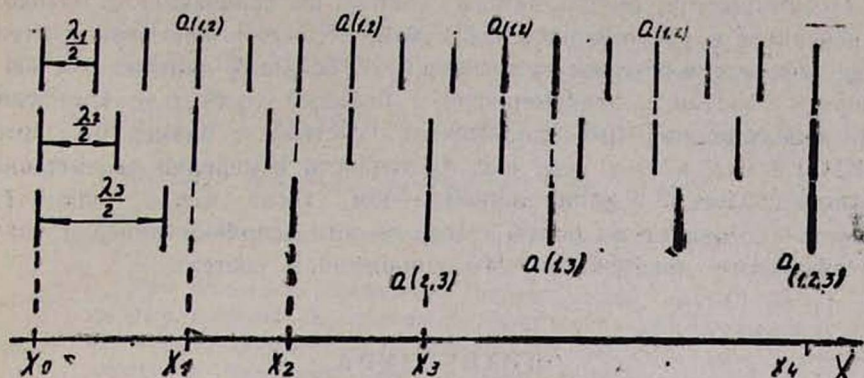


Рис. 3. Схематическое пояснение формирования «магнитного муара» смещения.

рование четырех семейств «магнитных муаров»,  $a(1,3)$ ;  $a(2,3)$ ;  $a(1,2)$  и  $a(1,2,3)$  с различными периодами.

В качестве примера на фрагменте магнитной линейки (см. рис. 4) по вертикали расположено число каналов с соответствующими длинами волн, а по горизонтали—протяженность ленты. Здесь рассмотрена система, состоящая из 10 дорожек с  $\frac{\lambda}{2}$  от 1 до 1,9 мкм. Приведенный фрагмент соответствует участку линейки протяженностью 5 мкм.

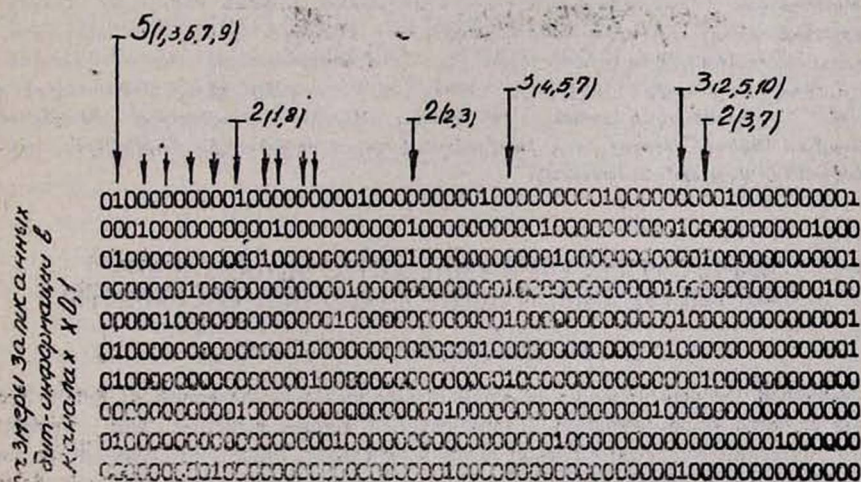


Рис. 4. Фрагмент магнитной линейки, создаваемой с помощью 10-тидорожечной регулярной структуры.

Стрелками показано, что на этом участке сформирована одна «муаровая» полоса с совпадением 5 доменных границ с индексами (1,3,6,7,9), 2 «муаровые» полосы с 3-мя совпадениями и 10 полос с



2-мя совпадениями. Наряду с этим на этом же участке имеется 28 значений абсцисс, фиксированных единичными знаками от всех дорожек.

Преимущества предлагаемого метода по сравнению с методом, приведенным в [2], заключается в том, что здесь при ограниченном числе дорожек можно создать линейку с большой протяженностью и измерять линейные перемещения с большой точностью. Например, при использовании 10-ти дорожечной системы с размерами битов 1; 1,1; 1,2 мкм и т. д. (см. рис. 4) точность измерения перемещения составляет 0,2 мкм, а длина линейки—45 м, тогда как в работе [2] точность составляет не более 1 мкм, а для создания линейки такой протяженности понадобится 24-х дорожечная система.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент 4672317 США.
2. Патент 2016144 А Великобритания.
3. Я. М. Погосян, А. К. Овсепян, А. Р. Арутюнян. Изв. АН Арм.ССР, Физика, 19, 323 (1984).
4. P. B. Hersch et al. Electron Microscopy of Thin Crystals. London, 1965.

«ՄԱԳՆԵՏԻՍԱԿԱՆ ՄՈՒԱՐԱՑԻՆ» ԷՖԵԿՏԻ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅՈՒՆԸ  
ՓՈՔՐ ՏԵՂԱՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՉԱՓՄԱՆ ՀԱՄԱՐ

Յ. Մ. ՊՈԴՈՍՅԱՆ, Ա. Ա. ԲԱԴՈՅԱՆ

Առաջարկված է ըստ ժամանակի փոքր տեղաշարժերի չափման մեթոդ: Այն հիմնված է մագնիսակիրների վրա իրարից աննշան տարբերվող ալիքների երկարություն ունեցող բազմականալ կառուցվածքի ստեղծման վրա, ընդ որում ազդանշանների հաշվումը իրականացվում է մագնիսադիմագիր հաշվիչների օգնությամբ: Հաշվիչի դիրքը մագնիսակիրի վրա որոշվում է մագնիսական քանոնի օգնությամբ: Վերջինս ստեղծվում է «մագնիսական մուրալին» էֆեկտի միջոցով, որը ձևավորվում է բոլոր մագնիսադիր հաշվիչներից հաշվվող ազդանշանների վերադրման ժամանակ:

## APPLICATION OF A «MAGNETIC MOIRE» EFFECT FOR MEASUREMENTS OF SMALL DISPLACEMENTS

YA. M. POGHOSIAN, A. A. BADOIAN

A method for measurements of small displacements in the course of time is proposed. It is based on a formation of multichannel regular structure with wavelength slightly differing from each other on a magnetic carrier. Signals are read-out by means of magnetoresistive sensors. Position of the sensor on the magnetic carrier is determined by a magnetic ruler. The latter is developing using a «magnetic moire» effect forming by imposing read-out signals from all the magnetoresistive sensors on each other.