

УДК 621.317.365

КВАДРАТИЧНИЙ ДЕТЕКТОР СТРУМУ НА ОСНОВІ
МАГНІТОРЕЗИСТИВНОГО ЕЛЕМЕНТУ

Ткачук О.О., Костюк М.П., Вунтесмері Вал.С.

Розглянуто квадратичний детектор струму на основі феромагнітної плівки. Проаналізовано зв'язок між її структурою та фізичними явищами. Виведений закон квадратичної залежності струму, що надає більш точні результати детектування.

Магнітні плівки є об'єктом інтенсивних досліджень, оскільки сприяють рішенню фундаментальних проблем фізики магнітних явищ та розвитку теорії феромагнетизму. Вивчення фізичних властивостей тонких феромагнітних плівок (ФП) актуально і з точки зору їх практичного застосування в мікроелектроніці та обчислювальній техніці.

Розглянемо ФП, по якій протікає струм. Сама по собі вона є квадратичним детектором струму. Спочатку розглянемо ФП з однорідною та анізотропною структурою (рис.1), яка слугує основою для теоретичних досліджень та розуміння наявних явищ. Отже маємо ФП прямокутної форми довжиною l , шириною a та товщиною δ , по якій тече струм I . У випадку плівки з однорідною та анізотропною структурою розподіл густини струму J_1 по товщині плівки δ є величиною сталою (рис.2), оскільки товщина плівки значно менше глибини скін-слою. Струм, що протікає у плівці, створює навколо неї магнітне поле, яке дорівнює нулю в центрі плівки і зростає при наближенні до її поверхні, де набуває максимального значення h_{max} , а надалі спадає обернено пропорційно до відстані від поверхні плівки (рис.3). Постійна складова при цьому дорівнює нулю. Оскільки створити плівку з однорідною структурою неможливо, надалі розглядатимемо ФП з неоднорідною структурою. Відповідно і розподіл густини струму вже не буде сталою величиною (див. рис. 4).

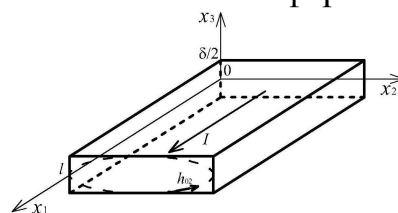


Рис. 1

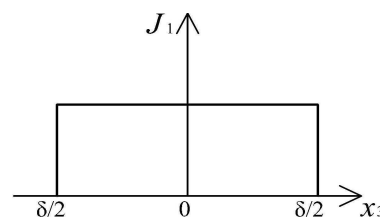


Рис. 2

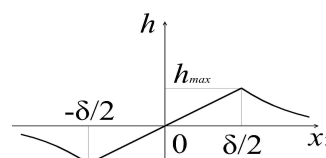


Рис. 3

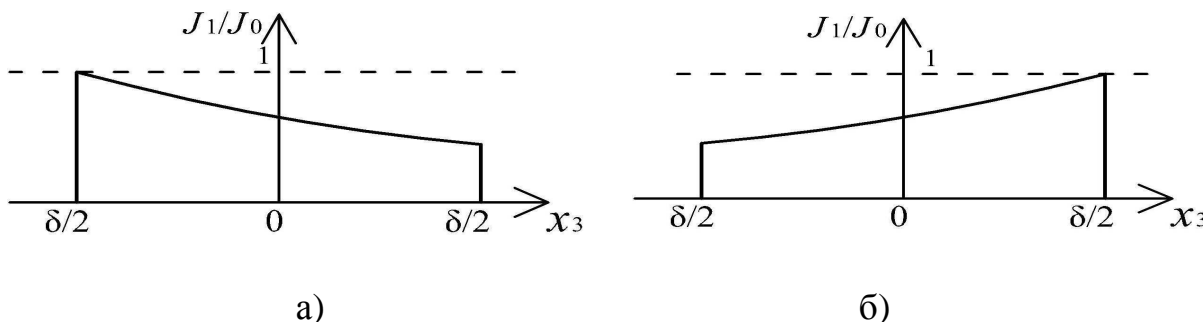


Рис.4

На рис. 4 по осі ординат відкладена нормована величина - відношення дійсної густини струму до густини струму ФП з однорідною структурою. Рис. 4а відповідає випадку, коли значення питомого опору збільшується з наближенням до підкладки, а рис. 4б – навпаки.

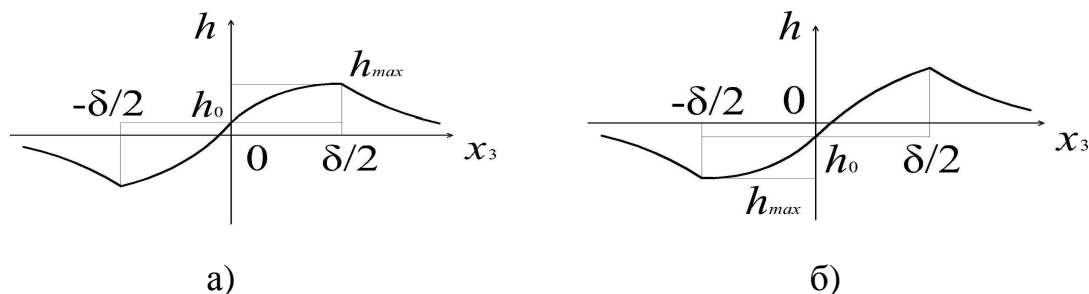


Рис. 5

Розподіл магнітного поля в середині ФП в такому випадку буде також залежати від питомого опору - див. рис.5, де значення постійної складової магнітного поля h_0 вже не дорівнює нулю, так на рисунку 5а воно додатне, а на 5б – від’ємне. Для врахування цього паразитного ефекту вводиться коефіцієнт асиметрії: $K_{AC} = \frac{h_0}{|h_{max}|}$. Цей коефіцієнт враховує несиметричність плівки по товщині. Зазвичай його значення в межах $0,2 \div 0,3$. Струм можна виразити через магнітне поле та периметр ФП:

$$I = h_{max} (2a + 2\delta) \quad (1)$$

Виразимо з формули (1) максимальне значення магнітного поля h_{max} , зважаючи на те що плівки можна розглядати як об’єкти з двомірною геометрією ($\delta \ll a$): $h_{max} = \frac{I}{2a}$. Зважаючи, що $\frac{I}{a} = I_s$ - поверхневий струм,

отримаємо густину струму: $J_1 = \frac{I}{a \cdot \delta} = \frac{I_s}{\delta}$. Зробивши необхідні перетворення визначаємо максимальне магнітне поле: $h_{max} = \frac{I_s}{2}$. Далі виразимо постійну складову магнітного поля через коефіцієнт асиметрії та поверхневий струм: $h_0 = K_{AC} \frac{I_s}{2}$. Помножимо чисельник та знаменник на значення δ при цьому в наведеному вище виразі з’являється усереднене по товщині значення густини струму:

$$h_0 = K_{AC} \frac{\delta \cdot J_1}{2} \quad (2)$$

Далі, припустимо, що по ФП тече змінний струм, питомий опір плівки змінюється в залежності від руху вектора намагніченості – магніторезистивний ефект, внаслідок детектування на кінцях плівки з’явиться напруга:

$U = -\int_0^l \vec{E}_{01} d\vec{l}$, де \vec{E}_{01} - напруженість продетектованого поля, яке в свою

чергу виражається через постійну складову магнітного поля h_0 :

$\vec{E}_{01} = \frac{1}{2} \text{Re}(\delta e_{121} h_{02} J_1^*)$, де δe_{121} - тензор магніторезистивної сприйнятливості

ФП. Враховуючи (2), отримуємо кінцеву формулу, яка пов'язує напруженість магнітного поля з густиною струму квадратичною залежністю:

$$\vec{E}_{01} = \frac{1}{2} \text{Re}(\delta e_{121} \cdot K_{AC} \frac{\delta}{2} \cdot |J_1|^2)$$

Квадратична залежність між напруженістю магнітного поля та густиною струму позбавляє явищ змішування гармонік або вторинного спектру, що притаманне детекторам струму на діодах.

Література

1. Суху Р. Магнитные тонкие пленки: Пер. с англ. М.: Мир, 1967. 422 с.
2. Праттон М. Тонкие магнитные пленки / Л.: Судостроение, 1967
3. Кукуев В.И., Миттова И.Я., Домашевская Э.П. Физические методы исследования тонких пленок и поверхностных слоев. Изд. Воронежского ун-та, 2001. 143с.
4. Тикадзуми С. Физика ферромагнетизма / М.: Мир, 1987.

Ключові слова: магніторезистивний елемент, феромагнетик, детектор струму	
Ткачук А.О., Костюк М.П., Вунтесмери Вал.С.	Tkachuk O.O, Kostyuk M.P., Vountesmeri Val.S.
Квадратичный детектор тока на основе магниторезистивный элемент	Quadratic detector of current based on magnetoresistive element
Рассмотрен квадратичный детектор тока, в основе которого лежит ферромагнитная пленка. Проанализирована связь между структурой пленки и физическими явлениями в ней. Выведен закон квадратичной зависимости тока, что позволяет добиться более точных результатов детектирования.	The quadratic detector of current has been considered. The ferromagnetic tape is the base of quadratic detector. Relations between structure and physical effects in tape have been analyzed. The law of quadratic dependence has been deduced. This law allows us to get more accurate results of detection.