

от 600 до 750°C) не оказывал влияния на значение полусной плотности быстрозатвердевших материалов. Во всех трех случаях наблюдается формирование четко выраженной текстуры ( $02\bar{2}5$ ), а для материалов с высоким содержанием сурьмы появляется дополнительная текстура ( $11\bar{2}0$ ).

Для быстрозатвердевших фольг состава  $Bi_2Te_3$  было изучено влияние толщины получаемых материалов на формирование текстуры. Эти данные приведены в табл.4. Согласно приведенным данным, толщина получаемых быстрозатвердевших при температуре 600°C фольг состава  $Bi_2Te_3$  не оказывает влияния на полюсную плотность. Независимо от толщины получаемого материала  $Bi_2Te_3$  наблюдается формирование четко выраженной текстуры ( $02\bar{2}5$ ).

\*\*\*

В результате проведения сверхбыстрой закалки из расплава  $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$  образуются быстрозатвердевшие фольги  $Bi_{2-x}Sb_xTe_3$  с четко выраженной текстурой ( $02\bar{2}5$ ). Для материалов с высоким содержанием сурьмы появляется дополнительная текстура ( $11\bar{2}0$ ). Формирование данных текстур осуществляется благодаря ориентации ковалентных связей.

Такие условия получения быстрозатвердевших фольг, как температура расплава при сверхбыстрой закалке (в интервале от 600 до 750°C) и толщина получаемых фольг (15–50 мкм), не оказывали влияния на формирование указанной текстуры и на значение полусной плотности.

1. Иванова Л.Д., Гранаткина Ю.В., Зуссман Г., Мюллер Э. // Неорг. матер. 1993. Т.29. №8. С. 1093.

2. Гольцман Б.М., Кудинов В.А., Смирнов И.А. Полупроводниковые материалы на основе  $Bi_2Te_3$ . М., 1972.

3. Алексеева Г.Т., Константинов П.П., Кутасов В.А. и др. // ФТТ. 1996. Т.38. №10. С.2998.

4. Глазов В.М., Павлова Л.М., Ятманов Ю.В. // ЖФХ. Т.LVII. №2. 1984. С.292.

5. Глазов В.М., Ятманов Ю.В. // Неорг. матер. Т.26. №11. 1990. С.2291.

6. Мирошниченко И.С. Закалка из жидкого состояния // М., 1982.

7. Вассерман Г., Гревен И. Текстуры металлических материалов. М., 1969.

8. Иванова Л.Д., Гранаткина Ю.В., Поликарпова Н.В., Смирнова Е.И. // Неорг. матер. 1992. Т.28. №4. С. 759.

Поступила в редакцию 16.03.98.

УДК 538.129+621.3.083.8

В.М.АНИЩИК, В.А.ЯРМОЛОВИЧ

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДАТЧИКА, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕГО НА ПЛАНАРНОМ ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА КАК ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКА

The planar Hall-effect based device on iron-nickel films was studied. The possibility of measuring some coefficients (e.g. efficiency factor) of planar Hall devices was shown.

Тонкие пленки ферромагнитных материалов, например, таких как Fe-Ni, используются в качестве магниточувствительных элементов, функционирующих

на планарном эффекте Холла [1,2]. При этом элемент Холла обычно выполняется в форме круга с диаметрально противоположно расположенными парами токовых и холловских электродов. Для получения максимального выходного сигнала вектор индукции внешнего магнитного поля  $B_0$  должен составлять угол в  $45^\circ$  с направлением протекания тока и лежать в плоскости пленки.

Для элемента Холла в виде круга диаметром  $D$  и толщиной  $h$  величина индукции магнитного поля  $B$  внутри пленки является функцией напряженности внешнего магнитного поля  $H_0 = B_0/\mu_0$ , где  $\mu_0$  — абсолютная магнитная проницаемость вакуума, и описывается выражением [2,3]

$$B = B_0 \left[ 1/\mu(H_0) + \frac{h}{h+D} (1 - 1/\mu(H_0)) \right]^{-1}, \quad (1)$$

где  $\mu(H_0)$  — относительная магнитная проницаемость вещества пленки.

При заданной магнитной индукции  $B$  внутри пленки потенциалы  $U_1$  и  $U_2$  в магниточувствительном элементе Холла являются линейными функциями токов, так что для четырехполосника (рис.1) справедливы следующие уравнения, записанные с использованием  $Z$ -параметров:

$$\begin{cases} U_1 = Z_{11}J_1 + Z_{12}J_2, \\ U_2 = Z_{21}J_1 + Z_{22}J_2. \end{cases} \quad (2)$$

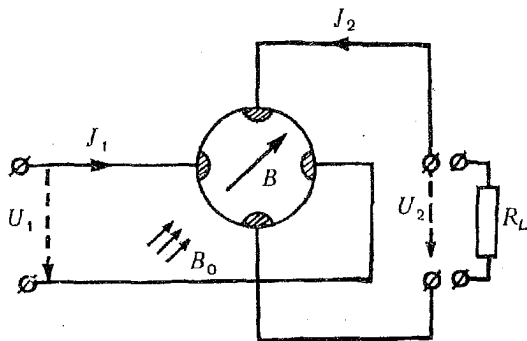


Рис.1. Магниточувствительный датчик в виде четырехполосника с подключенным сопротивлением нагрузки  $R_L$ .

Стрелки на рис.1 указывают положительные направления тока и разности потенциалов. Так как полное сопротивление  $Z$  не содержит реактивной составляющей, то уравнения могут быть записаны с использованием  $R$ . С учетом того, что четырехполосник не обратим, выражения (3) можно записать так же, как и для обыкновенного датчика Холла [4]:

$$\begin{cases} U_1 = R_{11}(B)J_1 - R_{12}(B)J_2, \\ U_2 = R_{21}(B)J_2 + R_{22}(B)J_1, \end{cases} \quad (3)$$

где все коэффициенты  $R_j$  положительны и являются функциями магнитной индукции  $B$ , а следовательно, и функциями  $B_0$ . Эти коэффициенты имеют

одинаковую размерность (Ом) и простой физический смысл:  $R_{11} = \frac{U_1}{J_1} \Big|_{J_2=0}$  — входное сопротивление ненагруженного датчика (четыреполосника),

$R_{22} = \frac{U_2}{J_2} \Big|_{J_1=0}$  — выходное сопротивление при разомкнутом входе,

$R_{21} = \frac{U_2}{J_1} \Big|_{J_2=0}$  — чувствительность датчика к магнитному полю

в режиме холостого хода.

Отличия состоят в том, что для обычного датчика Холла изменение полярности магнитного поля ведет к изменению знаков  $R_{12}$  и  $R_{21}$ , а у преобразователя на планарном эффекте Холла этого не происходит, поскольку выходной сигнал пропорционален квадрату величины магнитной индукции внутри пленки, т.е. выполняются условия

$$\begin{cases} R_{12}(-B) = R_{12}(B), \\ R_{21}(-B) = R_{21}(B). \end{cases} \quad (4)$$

Кроме того, из (1) следует, что  $R_{12}(B)$  и  $R_{21}(B)$  являются неоднозначными функциями  $B_0$  (внешнего магнитного поля). Фактически они зависят от предыстории намагничивания. Вследствие существования магнитного гистерезиса  $B(H_0)$  при перемагничивании ферромагнитных образцов коэффициенты  $R_{12}$ ,  $R_{21}$  тоже обладают гистерезисом. Аналогично предельной петле гистерезиса магнитного материала область изменений  $R_{21}$  и  $R_{12}$  ограничена замкнутой областью в форме “бабочки” (рис.2). Такая форма обусловлена квадратичной зависимостью выходного сигнала в режиме холостого хода от индукции магнитного поля внутри пленки [2,3], а следовательно, и

$R_{21} = \frac{U_2}{J_1} \Big|_{J_2=0} \sim B^2$ , т.е. при возведении в квадрат функции  $B(H_0)$ , описывающей петлю перемагничивания тела [3],

получаются две замкнутые подобласти (см. рис.2). Условия изготовления магнитопленочных датчиков описаны в [5]. Для обычных преобразователей Холла, изготовленных из InSb на полуизолирующем арсениде галлия [6], зависимости  $R_{21}$  и  $R_{12}$  от  $B_0$  являются строго линейными при небольших магнитных полях (рис.2).

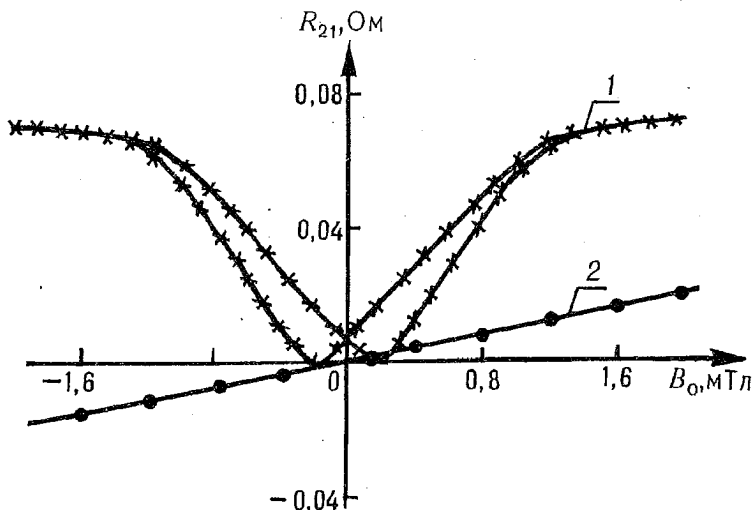


Рис.2. Зависимость коэффициентов четырехполюсника  $R_{12}$ ,  $R_{21}$  от величины индукции внешнего магнитного поля  $B_0$  ( $R_{21} \approx R_{12}$ ) для:

1 — датчика, функционирующего на планарном эффекте Холла ( $h=60$  нм,  $D=5$  мм,  $J_1=100$  мА,  $R_{11} \approx R_{22} = (5,0 \pm 0,1)$  Ом); 2 — обычного датчика Холла из InSb ( $h=7,2$  мкм,  $J_1=50$  мА,  $R_{11} \approx R_{22}=20$  Ом)

Из экспериментов следует, что для ферромагнитных пленок ряда сплавов, например Fe-Ni, Fe-Co, в интервале внешних магнитных полей  $B_0 \leq 3$  мТл (в том случае, когда использование датчиков на планарном эффекте Холла является предпочтительным)  $R_{11}$  и  $R_{22}$  слабо зависят от  $B_0$ . Их относительные изменения не превышают 3%, что совпадает с результатами исследований [7]. Учитывая, что  $R_{12} \approx R_{21} \ll R_{11} \approx R_{22}$ , величины  $R_{11}(B)$  и  $R_{22}(B)$  можно заменить их значениями при  $B_0=0$ , а именно  $R_{11}(0)$  и  $R_{22}(0)$ :

$$\begin{cases} R_{11}(B) = R_{11}(0), \\ R_{22}(B) = R_{22}(0). \end{cases} \quad (5)$$

Таким образом, система (3), дополненная равенствами (1), (4) и (5), описывает параметры магнитопленочного датчика Холла в форме круга как четырехполюсника (при слабых внешних магнитных полях). При  $B_0 \rightarrow \infty$  равенства (5) необходимо исключить из рассмотрения.

Если датчик строго симметричный, то  $R_{11}=R_{22}$  и  $R_{12}(B)=R_{21}(B)$ . В реальном датчике эти условия могут выполняться лишь приближенно.

В четырехполюснике, описываемом уравнениями (3), имеет место взаимное влияние входной и выходной цепей друг на друга. При подключении справа к выходным клеммам нагрузки  $R_L$  зависимость к.п.д.  $\eta$  ( $R_L$ ) определяется так же, как и для обычного датчика Холла

$$\eta(R_L) = \frac{U_2 J_2}{U_1 J_1}. \quad (6)$$

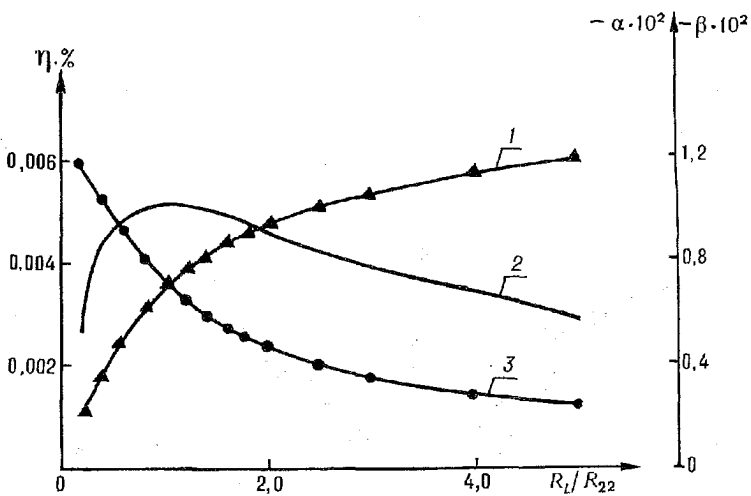


Рис.3. Зависимость параметров четырехполюсника на основе пленки  $Ni_{80}Fe_{20}$  от электросопротивления нагрузки  $R_L$ :

1 — коэффициент передачи по напряжению  $\beta$ ; 2 — к.п.д. четырехполюсника  $\eta$ ; 3 — коэффициент передачи по току  $\alpha$

Отличительной особенностью является неоднозначная зависимость  $\eta$  при различных  $B_0$ , что следует из неоднозначности коэффициентов  $R_{21}(B)$  и  $R_{12}(B)$ . При  $|B_0| \geq 1,2$  мТл восходящая и нисходящая ветви на рис.2 практически сливаются, что дает возможность проследить за однозначными

в этой области параметрами датчика как четырехполосника. На рис.3 представлены экспериментальные значения  $\eta$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  в зависимости от нагрузки  $R_L$  при  $B_0=2$  мТл, где  $\alpha = J_2/J_1$  — коэффициент передачи по току,  $\beta = U_2/U_1$  — коэффициент передачи по напряжению. По абсолютной величине коэффициент  $\beta$  увеличивается с ростом электросопротивления нагрузки  $R_L$ , а коэффициент  $\alpha$  уменьшается. Так как  $\eta = \alpha\beta$ , то кривая  $\eta(R_L)$  характеризуется максимумом. Причем максимальное значение к.п.д. датчика достигается при нагрузке  $R_L \approx R_{22}$ , что, вообще говоря, является следствием условий  $R_{11} \approx R_{22} \gg R_{12} \approx R_{21}$  при  $B_0=2$  мТл. Известно, что для обычного датчика Холла оптимальное сопротивление нагрузки, при котором достигается максимальное значение к.п.д., лежит в интервале от  $R_{22}$  до  $\sqrt{2} R_{22}$  [4]. Максимальное значение к.п.д. для датчика, функционирующего на планарном эффекте Холла, превышает эту же величину при  $B_0=2$  мТл для датчика из InSb более чем в 50 раз. Известно, что  $\eta$  зависит от величины внешнего магнитного поля и самый высокий к.п.д. при  $B_0 \rightarrow \infty$  равен 17,2% [4] для обычного датчика Холла. Если для полупроводникового преобразователя Холла к.п.д. при малых полях ( $B_0 \rightarrow 0$ ) пропорционален  $B_0^2$  [4], то в магнитошпленочном датчике, функционирующем на планарном эффекте Холла,  $\eta$  является неоднозначной функцией  $B_0$  и зависит от предыстории намагничивания.

1. Болдашев А.М., Лисовский Ф.В., Роев В.К. и др. Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах: Справ., М., 1987.

2. Васильев И.И., Прокошин В.И., Ярмолович В.А. Измерительная техника. 1992. Вып.3. С.43.

3. Анищик В.М., Прокошин В.И., Ярмолович В.А. и др. // Вестн. Белорус. ун-та. Сер.1. 1994. №1. С.27.

4. Вайсс Г. Физика гальваномагнитных полупроводниковых приборов. М., 1974.

5. Прокошин В.И., Ярмолович В.А., Васильев И.И. и др. Деп. в ВИНТИ 16.09.91. №3700-В91. С.13

6. Прокошин В.И., Шепелевич В.Г., Ярмолович В.А. Устройства автоматики и робототехники на эффекте Холла. Мн., 1991.

7. Яковлев Н.И. Бесконтактные электроизмерительные приборы для диагностики электронной аппаратуры. Л., 1990.

Поступила в редакцию 16.04.98.

УДК 621.382

*В.Б.ОДЖАЕВ, Е.И.КОЗЛОВА, О.Н.ЯНКОВСКИЙ, И.П.КОЗЛОВ, И.А.КАРПОВИЧ*

## ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИЭТИЛЕНА ИМПЛАНТАЦИЕЙ И ДИФФУЗИЕЙ

The sheet resistivity of polyethylene implanted with  $F^+$ ,  $As^+$ ,  $Sb^+$  ions to different doses and then exposed to iodine vapours was studied. The iodine doping leads to an immediate decrease of the sheet resistivity of the radiation damaged polyethylene by about three orders of magnitude. A spontaneous increase of the sheet resistivity as a function of time elapsed from the diffusion was observed along with iodine inward migration. The data obtained seem to support a concept of enhanced mobility of iodine atoms in the radiation damaged surface layer and their trapping on the defects produced by the implanted ions impact.