

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТОИМПЕДАНСА АМОРФНОГО МИКРОПРОВОДА

*Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академическая, 5, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова*

1. Открытие явления гигантского магнитоимпеданса (ГМИ) в аморфных металлах [1] вызвало интерес теоретиков, экспериментаторов и разработчиков магнитных сенсоров. Исследования, выполненные с использованием проводов, которые были сделаны по технологии фирмы “Unitika LTD”, позволили судить о перспективности создания датчиков магнитного поля на их основе [2]. Проведенные нами исследования явления ГМИ в литом аморфном микропроводе позволили открыть тензо-ГМИ эффект [3]. В [4] предложена теория ферромагнитного резонанса в поперечной магнитной структуре с замыкающими магнитными доменами на поверхности металлической жилы. В данной работе исследована зависимость частоты ГМИ резонанса от подмагничивающего провод постоянного магнитного поля (методика исследования приведена в работах [1, 2]). Полученные результаты будем интерпретировать в рамках модели работы [4]. ГМИ резонанс позволяет проводить измерения в процессе литья микропровода.

2. Приведем полученные нами экспериментальные результаты. Установлено, что явление ГМИ наблюдается в аморфном литом микропроводе с отрицательной магнитоотрицательностью. Кривая гистерезиса характеризуется полем H_k , [4–6], при котором основные поперечные к оси провода домены развернутся вдоль поля H . Поле H_i , при котором имеет место максимум импеданса, близко к H_k , но всегда меньше H_k . Отношение H_i/H_k зависит от частоты переменного поля, и данная зависимость – линейная. При нагревании микропровода до температуры 200 °С ГМИ резонанс сильно уширялся в отличие от ФМР резонансов, которые уширяются только при температурах, близких к температурам Кюри (для наших образцов около 400 °С). Если провести термообработку (15 мин при 200 °С), то после охлаждения их резонансная кривая не была существенно уширена. Изменялся только наклон линейной функции H_i/H_k от частоты.

3. Экспериментальные результаты можно объяснить следующим образом. Используем для резонансной частоты $\dot{\omega}$ замыкающего домена формулу из [5]:

$$\dot{\omega} = \gamma (H_i + \Delta NM), \quad (1)$$

где $\gamma = 2\pi \cdot 2,8$ МГц/Э, $\Delta N = (N_{\perp} - N_{\parallel}) + K/M^2$, $N_{\perp} - N_{\parallel}$ – разность поперечного и продольного размагничивающих факторов замыкающего домена; K – энергия анизотропии; M – максимальная намагниченность.

Рассмотрим случай, когда энергия анизотропии больше энергии разности размагничивающих факторов. Для практического применения микропровода важной характеристикой является продольная магнитная проницаемость – μ , которая в нашем случае определяется

$$\mu = 4\pi M / H_k. \quad (2)$$

С другой стороны из [6]

$$\mu = M^2 / \lambda \sigma, \quad (3)$$

где λ – магнитоотрицательность, σ – внутренние напряжения в жиле.

Считая, что энергия анизотропии должна быть пропорциональна $\lambda \sigma$, получим

$$\mu \approx M / (\dot{\omega} / \gamma - H_i). \quad (4)$$

Приведенная формула позволяет оценить дисперсию продольной магнитной проницаемости из величин, измеряемых в ГМИ резонансе.

Основным результатом работы является полученная зависимость частоты резонанса ГМИ эффекта от величины постоянного магнитного поля и оценка продольной магнитной проницаемости. Таким образом, предлагается простой метод измерения высокочастотной проницаемости путем нахождения частоты ГМИ резонанса и напряженности постоянного магнитного поля H_0 , измерения которых можно проводить в процессе литья микропровода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Makhotkin V.E., Shurukhin B.P., Lopatin V.A., Marchukov P.Yu., Levin Yu.K.* Magnetic field sensors based on amorphous ribbons // *Sensors & Actuators*. 1991. 25–27. P. 759–762.
2. *Антонов А.С., Гадецкий С.Н., Грановский А.Б. и др.* Гигантский магнитоимпеданс в аморфных и нанокристаллических мультислоях // *ФММ*. 1997. Т. 83 (6). С. 60–71.
3. *Antonenko A.N., Baranov S.A., Larin V.S., Torcunov A.V.* Giant magneto and piezo impedance in cast amorphous microwires covered by glass insulation // *Digests of INTERMAG – 96*, (Seattle), April 9–12, 1996. P. FR11.
4. *Baranov S.A.* Giant magneto-impedance effect in cast CoMnBSi amorphous microwire covered by glass insulation // *Proceeding Moscow Internal Symposium on Magnetism*. 1999. (MISM 99). P. 264–266.
5. *Ферромагнитный резонанс / Под ред. С.В. Вонсовского*. М., 1961.
6. *Torcunov A.V., Baranov S.A., Larin V.S.* The internal stresses dependence of the magnetic properties of cast amorphous microwires covered with glass insulation // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials (JMMM)*. 1999. V. 196–197. P. 835–836.

Поступила 09.10.2001

Summary

The magneto permeability cast amorphous microwires is studied by the magneto impedance measurement method.
