

05.2; 12

© 1990

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ
С МИКРОМЕХАНИЧЕСКИМ ФЕРРОМАГНИТНЫМ РЕЗОНАТОРОМВ.Н. Л и с т в и н, А.Ю. А л е к с а н д р о в,
О.М. К о з е л, А.В. Ч у р е н к о в

В настоящее время интенсивно разрабатываются волоконно-оптические датчики инфранизкочастотного магнитного поля на основе магнитострикционного эффекта в магнитомягких аморфных сплавах (см., например, [1]). В нашей работе исследуется новый тип такого датчика, в котором чувствительный элемент — циклически перемагничиваемая пластинка из магнитомягкого аморфного сплава — совершает поперечные колебания в постоянном магнитном поле.

Блок-схема датчика и схема чувствительного элемента изображены на рис. 1. Ферромагнитная пластинка толщиной $b = 35$ мкм, шириной $a = 2$ мм и длиной $L = 45$ мм закреплена так, что один из ее концов образует консоль длиной $l = 7$ мм — ферромагнитный микрорезонатор. При циклическом перемагничивании пластинки в постоянном магнитном поле H , перпендикулярном плоскости пластинки, на нее будет действовать периодически изменяющийся момент сил

$$M(t) = abH \int_0^l I(x,t) x dx, \quad (1)$$

где $I(x,t)$ — намагниченность в единице объема.

Переменный момент сил вызывает изгибные колебания консоли, амплитуда которых максимальна при совпадении частоты возбужда-

ющей силы с резонансной частотой основной моды $\omega = \frac{b}{l^2} \left(\frac{E}{\rho} \right)^{1/2}$ (E —

модуль Юнга, ρ — плотность аморфного сплава). Свободный конец

консоли будет совершать колебания с амплитудой $\Delta x_\omega = \frac{M_\omega}{l} \frac{Q}{\gamma}$,

где индекс ω означает спектральную компоненту, Q — добротность,

а $\gamma = E^{1/4} \rho^{3/4} a b^3 \omega^{-3/2}$ — коэффициент упругости. Таким образом, внешнее постоянное магнитное поле приводит к возникновению колебаний с амплитудой, пропорциональной произведению индукции насыщения материала на напряженность поля. Амплитуда колебаний считывалась с помощью волоконно-оптического торцевого интерферометра [2].

Коэффициент преобразования чувствительного элемента определяется выражением (2):

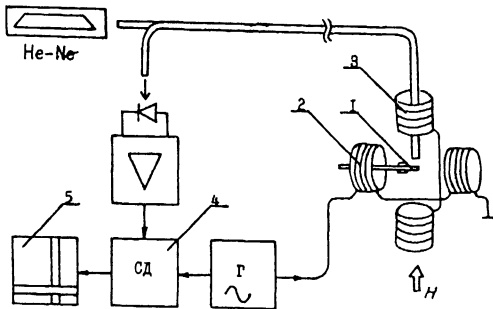


Рис. 1. Блок-схема волоконно-оптического датчика магнитного поля. 1 - ферромагнитная пластинка, 2 - переманчивающие катушки, 3 - компенсационные катушки, 4 - синхродетектор, 5 - самописец.

$$S = \frac{\Delta\varphi\omega}{H} = \frac{4\pi Q}{\lambda} ab I\omega, \quad (2)$$

где $\Delta\varphi\omega = 4\pi \frac{\Delta x\omega}{\lambda}$, λ - длина волны света. Как видно из (2), при $Q = const$ коэффициент преобразования возрастает с уменьшением частоты $S(\omega) \sim \frac{1}{\gamma(\omega)} \sim \omega^{-3/2}$. Добротность микрорезонатора при консольном закреплении ограничивается оттоком энергии других колебаний в основание и может, в частности, быть значительно увеличена в системе камертонного типа [3]. В экспериментальной реализации микрорезонатора с частотой 316 Гц добротность составила величину 120.

Оценка по формуле (2) в предположении $I(x) = I_0 = 1T_A$ и указанных выше параметрах консоли дает $S_T = 10^3$ рад/Гс. Экспериментально на этой частоте было реализовано меньшее значение: $S_3 = 2 \cdot 10^2$ рад/Гс. Это расхождение связано, по-видимому, неоднородным намагничиванием образца.

Фундаментальной причиной, ограничивающей пороговую чувствительность датчиков на основе низкочастотных механических резонаторов, является тепловой шум [4]. В нашем датчике с уменьшением резонансной частоты уменьшается коэффициент упругости консоли и увеличивается амплитуда ее тепловых флуктуаций. Спектр тепловых колебаний консоли сосредоточен вблизи резонансной частоты, поэтому его спектральная плотность зависит от отношения ширины полосы резонатора к ширине полосы, выделяемой синхродетектором. Как следует из ФДТ, дисперсия амплитуды тепловых флуктуаций консоли $\langle \Delta x^2 \rangle^{1/2}$ и дисперсия тепловых флуктуаций фазы интерферометра $\langle \Delta \varphi^2 \rangle^{1/2}$ определяется выражением

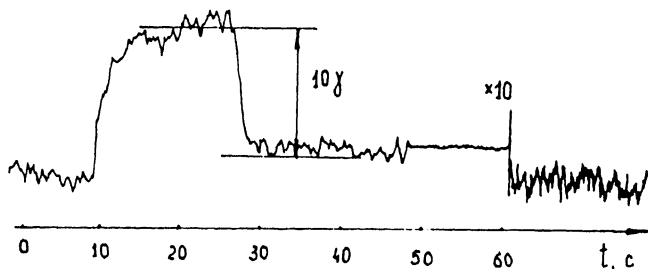


Рис. 2. Отклик датчика на магнитное поле напряженностью 10^{-4} Гс.

$$\langle \Delta\varphi^2 \rangle^{1/2} = \begin{cases} \frac{8\pi}{\lambda} \left(\frac{kT}{\gamma} \right)^{1/2} & ; 2\pi\Delta f > \frac{\omega}{Q}, \\ \frac{16\pi}{\lambda} \left(\frac{kT}{\gamma} \right)^{1/2} \left(\frac{\Delta f}{\omega/Q} \right)^{1/2} & ; 2\pi\Delta f < \frac{\omega}{Q}. \end{cases} \quad (3)$$

На частоте $f=316$ Гц при $Q=120$ и $\Delta f=1$ Гц получаем $\langle \Delta\varphi^2 \rangle^{1/2} = 3 \cdot 10^{-4}$ рад, что превышает значение минимально обнаружимой разности фаз, достижимой в волоконно-оптических интерферометрах [5].

Запишем с помощью (2) и (3) в явном виде выражения для пороговой чувствительности датчика, ограниченного тепловыми флуктуациями микрорезонатора при $\Delta f < \omega/Q$:

$$\frac{H_{\min}}{(\Delta f)^{1/2}} = \frac{\langle \Delta\varphi^2 \rangle^{1/2}}{S_T} = \frac{1}{abI\omega} \left(\frac{kT\gamma}{Q\omega} \right)^{1/2}. \quad (4)$$

При $S_T=10^3$ рад/Гс получаем $H_{\min}=3 \cdot 10^{-7}$ Гс/Гц $^{1/2}$

Возможности прямого измерения предельной чувствительности датчика ограничиваются флуктуациями магнитного поля лаборатории. Частичное экранирование магнитного поля лаборатории осуществлялось с помощью однослойного экрана из μ -металла со степенью экранирования ~ 15 . При этом величина постоянной составляющей магнитного поля лаборатории в экране составила $\sim 3 \cdot 10^{-2}$ Гс, а его вариации были на уровне 0,3%. На рис. 2 приведена одна из реализаций отклика датчика на магнитное поле напряженностью 10γ ($\gamma=10^{-5}$ Гс). Видны относительно медленные вариации сигнала, вызванные флуктуациями магнитного поля, шумы датчика при этом существенно меньше. На рисунке приведена отдельно запись шумов, полученная при увеличении коэффициента усиления в 10 раз в отсутствие тока циклического перемагничивания. Предельная чувствительность, оцененная по дисперсии шумовой дорожки, составила 10^{-6} Гс/Гц $^{1/2}$.

В заключение отметим, что разработанный нами волоконно-оптический датчик по пороговой чувствительности к постоянному магнитному полю сравним с чувствительностью, достигнутой в последних разработках волоконно-оптических датчиков на магнитострикционном эффекте в магнитомягких аморфных сплавах [1]. В то же время он выгодно отличается простотой конструкции чувствительного элемента и снижением требований к шумам интерферометра.

Авторы благодарят Н.Н. Колачевского и В.Т. Потапова за обсуждение работы и А.Н. Залогина за помощь в эксперименте.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] D a g e n a i s D.M., B u c h o l t z F., K o o K.P., D a n d r i d g e A. // J. Light-wave Technol. 1989. V. 7. N 6. P. 881-885.
- [2] A n d r e s M.V., T u d o r M.J., F o u l d s K.W.H. // Electr. Lett. 1987. V. 23, N 15. P. 774-775.
- [3] М а л о в В.В. Пьезорезонансные датчики, М.: Энергоатомиздат, 1989. 33 с.
- [4] Б р а г и н с к и й В.Б., М а н у к и н А.Б. Измерение малых сил в физических экспериментах. М.: Наука, 1974.
- [5] J a c k s o n D.A. // J. Phys. E.: Sci. Instrum. 1985. V. 18. P. 981-1001.

Поступило в Редакцию
23 апреля 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 15

12 августа 1990 г.

04; 09

© 1990

ДИНАМИКА И СТРУКТУРА СВЧ-РАЗРЯДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

В.В. Б а р а н о в, В.Г. Б р о в к и н

Последнее десятилетие СВЧ-разряд активно изучается в экспериментальных и теоретических работах [1-2]. Авторы отмечают скачкообразный характер движения фронта ионизации, неоднородность его структуры и указывают на важную роль ионизационно-перегревной неустойчивости и быстрого нагрева газа в распространении разряда.

Однако сравнительно недавно появились работы [3-4], в которых рассмотрена стримерная модель разряда, где высказано предположение о пространственно-непрерывном характере его движения. Модель дает скорости разряда, близкие к экспериментальным значе-