

$H_1$  МРЭ падает: увеличение  $j$  приводит к увеличению локального поля  $H_2$  и его угловой дисперсии, а малое внешнее поле  $H_1$  не может существенно снизить угловую дисперсию намагниченности. Поле  $H_2 \gg H_c(j_2)$ , поэтому дисперсия намагниченности практически отсутствует, что и приводит к независимости МРЭ от тока в этом случае.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Д у р а с о в а Ю.А., Н и к и т и н а Т.Н. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1965. Т. 29. № 4. С. 557-559.
- [2] S e m e n t s o v D.I., S i d o r e n k o v V.V. // Phys. Stat. Sol. 1987. V. 101. N 2. P. 689-696.
- [3] С п и ц ы н В.И., Т р о и ц к и й О.А. Электропластическая деформация металлов. М.: Наука, 1985. 160 с.
- [4] В д о в и н Е.Е., К а с у м о в А.Ю. // ФТТ. 1980. Т. 30. В. 1. С. 311-313.
- [5] С и д о р е н к о в В.В. // ДАН СССР. 1989. Т. 308. № 4. С. 870-873.
- [6] С и д о р е н к о в В.В., С е м е н ц о в Д.И., К о р н е в Ю.В. // ДАН СССР. 1990. Т. 310. № 6. С. 1371-1374.

Поступило в Редакцию  
16 ноября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 4

26 февраля 1991 г.

06.3; 07

© 1991

### ПАССИВНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ ДАТЧИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧАСТОТНЫМ ВЫХОДОМ

А.Н. З а л о г и н, С.М. К о з е л,  
В.Н. Л и с т в и н, А.В. Ч у р е н к о в

В настоящее время активно разрабатываются пассивные волоконно-оптические датчики (ВОД) физических величин, чувствительным элементом которых является микрорезонатор, изготовленный путем анизотропного травления кремния [1]. Частотный выходной сигнал таких датчиков не искажается при изменении уровня оптической мощности, передаваемой по волоконному световоду, а чувствительный элемент может быть вынесен в зону повышенной радиоактивности, взрывоопасности и сильных электромагнитных помех, так как не содержит токовых цепей.

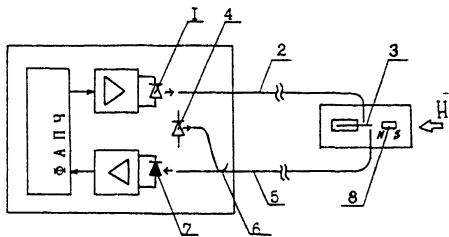


Рис. 1. Схема пассивного волоконно-оптического датчика магнитного поля с частотным выходом.

В настоящей работе сообщается о создании волоконно-оптического датчика магнитного поля с микрорезонатором, представляющим собой закрепленную с одной стороны консоль из магнитомягкого аморфного сплава (ММАС). Модуль упругости ММАС изменяется при наложении магнитного поля, и таким образом, осуществляется непосредственное преобразование измеряемой величины в частоту собственных колебаний микрорезонатора, что открывает новые возможности при конструировании пассивных ВОД физических величин.

Теория  $\Delta E$ -эффекта в ММАС с направлением легкого намагничивания, перпендикулярным главной оси ленты, рассмотрена в работе Ливингстона [2]. В таких образцах преобладающими становятся пластинчатые домены с антипараллельными векторами  $\vec{M}_S$ , а процессы намагничивания практически полностью совершаются путем обратимого вращения доменов. В этом приближении зависимость модуля упругости от напряженности магнитного поля, направленного вдоль главной оси ленты, описывается выражением

$$\frac{1}{E_H} = \frac{1}{E_M} + \frac{g\lambda_S^2 H^2}{M_S H_A^3}, \quad H \leq H_A. \quad (1)$$

Здесь  $H_A$  - поле анизотропии,  $\lambda_S$  - постоянная магнитострикции.

Изменение модуля упругости материала консоли под действием внешнего магнитного поля вызывает изменение резонансной частоты основной моды изгибных колебаний консоли,

$$f = 6.38 \frac{b}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2)$$

где  $l$  - длина консоли,  $b$  - ее толщина,  $\rho$  - плотность материала, а коэффициент преобразования  $S = \frac{df}{dH}$ , как видно из (1) и (2), зависит от величины магнитного поля смещения  $H_0$  и проходит через максимум при  $H < H_A$ .

Для изготовления микрорезонатора использовался сплав  $Fe_{80}B_{14}Si_4C_2$ , отожженный в течение нескольких минут при температуре кристаллизации. При таком режиме отжига из-за сжимаю-

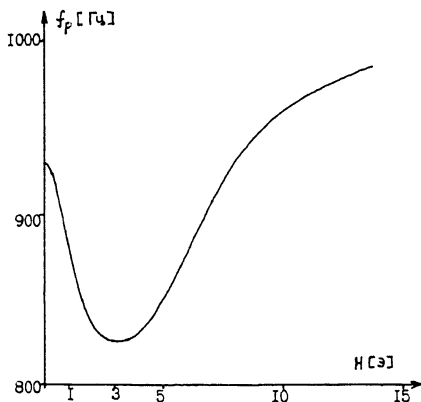


Рис. 2. Зависимость резонансной частоты от напряженности приложенного магнитного поля.

ших механических напряжений, возникающих при частичной кристаллизации материала, индуцируется легкая ось, перпендикулярная главной оси ленты [3]. После отжига петля гистерезиса имела стреловидную форму, а величина поля анизотропии, оцененная из начальной магнитной проницаемости, составила 3 Э.

Изгибные колебания консоли возбуждались за счет фотометрического эффекта промодулированным по амплитуде излучением лазерного диода 1 (см. рис. 1) (ИЛПН-202,  $\lambda = 1.3$  мкм), подводимым с помощью многомодового световода 2 к центральной части консоли (3). При мощности излучения диода 1 мВт и добротности  $Q = 150$  амплитуда колебания консоли длиной  $l = 5$  мм, шириной  $a = 0.2$  мм и толщиной  $b = 40$  мкм составила  $\sim 2$  мкм.

Амплитуда колебаний консоли измерялась бесконтактным способом с помощью интерферометра Фабри-Перо низкого контраста, зеркала в котором образованы торцом одномодового волоконного световода и поверхностью консоли. При колебаниях консоли модулируется оптическая разность хода интерферирующих лучей и, соответственно, модулируется отраженная от интерферометра интенсивность излучения лазерного диода 4 (32 ДЛ-105,  $\lambda = 0.85$  мкм).

Распространяясь обратно по одномодовому световоду 5, часть излучения через ответвитель 6 поступает на фотодиод 7. Каналы возбуждения и считывания были замкнуты через петлю фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), и в датчике, таким образом, возбуждалась генерация на частоте собственных колебаний микрорезонатора.

На рис. 2 приведены результаты экспериментального исследования зависимости резонансной частоты основной моды изгибных колебаний консоли из ММАС от напряженности магнитного поля. Ход экспериментальной кривой согласуется с теоретической зависимостью для модуля упругости (1). На начальном участке при  $H < H_d$

модуль упругости уменьшается и соответственно уменьшается резонансная частота колебаний консоли. При  $H > H_A$  частота увеличивается, так как модуль упругости увеличивается до своего максимального значения  $E_M$ .

Максимальная величина коэффициента преобразования  $S_3 = df/dH = 65$  Гц/Э достигается в поле смещения  $H_0 = 0.6$  Э, создаваемого  $Sm-Co$  магнитом (8, рис. 1) с размерами  $5 \times 5 \times 12$  мм. При этом пороговая чувствительность датчика к магнитному полю в полосе частот  $0.01-10$  Гц составила  $H_{мин} = 60$  нТл. Как показывают оценки, согласно [2], возможно увеличение коэффициента преобразования вплоть до  $S_T = 1500$  Гц/Э, что соответствует при  $\Delta f/f = 10^{-5}$  предельной чувствительности  $H_{мин} \sim 1$  нТл.

В заключение отметим, что предлагаемый пассивный ВОД магнитного поля с частотной формой представления выходного сигнала может быть использован для высокоточных измерений малых перемещений ( $< 0.1$  мкм) и тока.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] V e n k a t e s h S. // J. IERE. 1988. V. 58. P. S79-S84.
- [2] L i v i n g s t o n T.D. // Prys. Stat. Sol. (a). 1982. V. 70. P. 591-596.
- [3] L i v i n g s t o n T.D., M o r r i s W.G. // IEEE Transactions on magnetics. 1981. V. 17. P. 2624-2626.

Московский  
физико-технический институт

Поступило в Редакцию  
25 ноября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 4

26 февраля 1991 г.

07; 12

© 1991

*HeCd* ЛАЗЕР С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 441.6 нм,  
ВОЗБУЖДАЕМЫЙ МИКРОСЕКУНДНЫМ ПУЧКОМ ЭЛЕКТРОНОВ

Д.Л. К у з н е ц о в, Г.А. М е с я ц,  
Ю.Н. Н о в о с е л о в, В.В. О с и п о в,  
В.В. У в а р и н

Генерация на ионах кадмия в *HeCd* смеси высокого давления реализована как при возбуждении продуктами ядерной реакции [1, 2], так и при накачке мощным наносекундным пучком электронов [3-5]. В последнем случае генерация зафиксирована только в пос-