

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 537.6

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОУПРУГИХ ВОЛН МЕАНДРОВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Алексеев А. Н., Ермолов В. А.

Интерес к поверхностным магнитоупругим волнам (ПМУВ) в значительной степени обусловлен перспективами их применений в акустоэлектронике, связанных в первую очередь с реализацией управляемых акустических компонентов аналоговой обработки сигналов [1]. Главные препятствия на этом пути — проблема эффективного возбуждения и детектирования ПМУВ в магнитоупругом звукопроводе. В работе [2] была экспериментально показана возможность использования для этой цели меандрового преобразователя, теория которого развивалась в работах [3, 4].

Цель настоящей работы заключается в теоретическом и экспериментальном исследовании влияния на эффективность такого преобразователя магнитной накладки, выполненной в виде пластины из магнитного материала, размещенной параллельно поверхности звукопровода в области расположения меандрового электрода.

В общем случае анализ характеристик такой структуры предполагает совместное решение системы связанных уравнений магнито- и эластодинамики при соответствующих граничных условиях, что представляет собой исключительно сложную задачу. Однако ее можно существенно упростить при использовании некоторых допущений, в большинстве случаев оправдывающихся на практике и потому не приводящих к потере общности получаемых результатов [3, 4].

Наряду с традиционными допущениями, используемыми при анализе преобразователей ПАВ, в том числе электромагнитного типа [3], в соответствии с результатами работы [4] было принято допущение о возможности замены поверхностных волн плоскими сдвиговыми объемными волнами, распространяющимися в том же направлении и характеризующимися смещениями, перпендикулярными поверхности звукопровода. Оправданность этого допущения подтверждается хорошим совпадением рассчитанных с его помощью характеристик меандрового преобразователя ПМУВ [4] с соответствующими результатами эксперимента и точной теории [3]. Кроме того, для упрощения выкладок полагалось, что магнитная накладка выполнена из того же материала, что и звукопровод, а материал звукопровода и магнитной накладки характеризуется планарной анизотропией в плоскости, параллельной излучающей поверхности преобразователя.

Используя методику работы [4], можно показать, что сопротивление излучения R_a меандрового преобразователя с магнитной накладкой при работе на частоте акустического синхронизма f_0 определяется соотношением

$$R_a = \frac{4f_0 w L^2 e_{15}^2}{c_{44} s^2} \frac{\mu_{33}/\mu_{22}}{\left[\sqrt{\mu_{22}\mu_{33}} \left(\frac{1+\alpha}{1-\alpha} \right) + 1 \right]^2} \quad (1)$$

Здесь c_{44} и e_{15} — упругий модуль и пьезомагнитная константа материала звукопровода; μ_{ij} — компоненты тензора магнитной проницаемости материала звукопровода; w и l — соответственно апертура и протяженность меандрового преобразователя; b и s — полупериод меандрового электрода и его ширина (при выводе выражения (1) предполагалось, что $b=2s$)

$$\alpha = \frac{1 - \sqrt{\mu_{22}\mu_{33}}}{1 + \sqrt{\mu_{22}\mu_{33}}} \exp(-2k_n d), \quad (2)$$

где d — ширина зазора между поверхностью звукопровода и магнитной накладкой; $k_n = n\pi/b$, $n=1, 3, 5, \dots$

Исходя из того что потери a в электрически согласованном преобразователе ПМУВ можно охарактеризовать выражением [5]

$$a = 0.5(1 + R_s/R_a)^{-1}, \quad (3)$$

где R_s — омическое сопротивление электродов, и учитывая, что для меандрового электрода $R_s/R_a \gg 1$, имеем

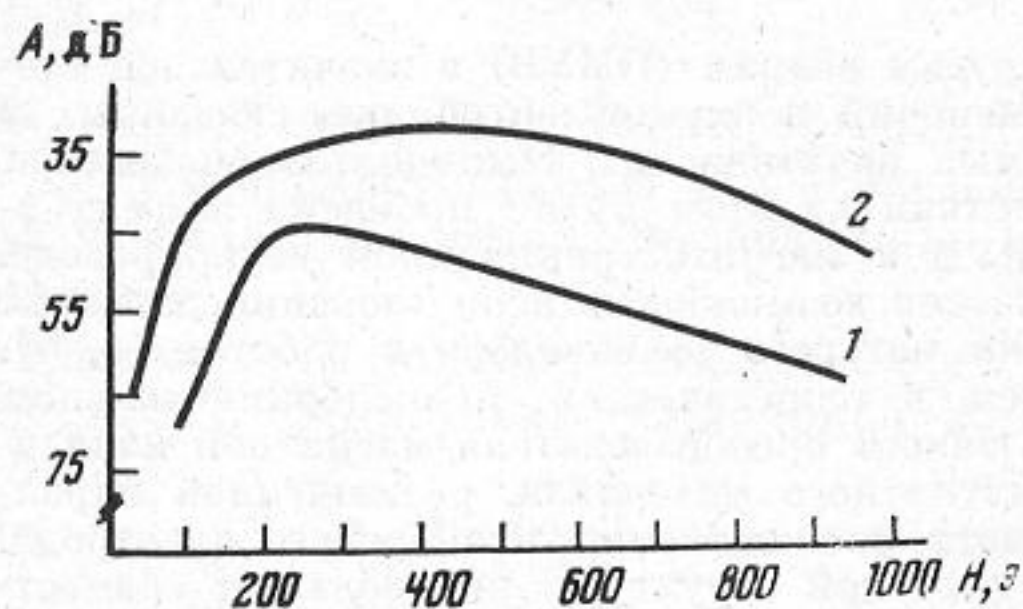
$$a \approx (1/2) R_a/R_s. \quad (4)$$

Анализ формулы (4) с учетом (1) и (2) показывает, что эффективность рассматриваемой конфигурации меандрового преобразователя существенно зависит от величины d/λ относительного зазора между поверхностью звукопровода и магнитной накладкой, наличие последней в наибольшей степени сказывается при $d/\lambda \rightarrow 0$

т. е. при малых зазорах. В этом случае увеличение эффективности преобразователя за счет использования магнитной накладки оказывается весьма существенным и может достигать $\approx 6,5$ дБ (при оценке использовались параметры феррита $\mu_{33}=1$, $\mu_{22}=10$ [6]).

Экспериментальное исследование влияния магнитной накладки на эффективность меандрового преобразователя ПМУВ проводилось на основе исследования ультразвуковой линии задержки (УЛЗ) с преобразователями рассматриваемого типа. Звукпровод УЛЗ был выполнен из магнитоупругого поликристаллического феррита (МПФ) состава $\text{NiO}-\text{CoO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$ (50 мол. % Fe_2O_3 ; 1,2 мол. % CoO), изготовленного методом горячего прессования.

Для возбуждения и детектирования ПМУВ на полированной поверхности звукпровода УЛЗ на расстоянии 15 мм друг от друга размещались меандровые электроды, выполненные из меди фотолитографическим способом. Меандровые электроды



Измеренная зависимость вносимых потерь в УЛЗ (с электрическим согласованием) от напряженности внешнего магнитного поля без магнитных накладок (1) и с магнитными накладками (2) для минимальной величины зазора $d \approx 3$ мкм, реализуемой при расположении накладок непосредственно на меандровых электродах

содержали четыре периода и имели толщину 3 мкм, аперттуру $w=4$ мм, а период $\lambda=200$ мкм, что отвечало частоте акустического синхронизма меандровых преобразователей ПМУВ $f_0 \approx 16,7$ МГц. Магнитные наклейки, выполненные из того же МПФ, что и звукпровод, имели размеры $4 \times 5 \times 1,5$ мм и размещались над меандровыми электродами с возможностью изменения величины расстояния до поверхности звукпровода. Обращенная к звукпроводу грань магнитной накладки была отполирована. Электрическое согласование меандровых преобразователей осуществлялось параллельным подключением конденсаторов емкостью ≈ 300 пФ.

Результаты эксперимента в виде зависимостей вносимого затухания A исследуемой УЛЗ на частоте акустического синхронизма от величины H внешнего магнитного поля иллюстрирует фигура, откуда следует, что при оптимальной величине поля подмагничивания $H=300$ Э уменьшение вносимых потерь A УЛЗ за счет использования магнитной накладки составляет ≈ 12 дБ и отвечает выигрышу в эффективности каждого преобразователя ≈ 6 дБ. Соответствующая теоретическая оценка выигрыша в эффективности исследуемого меандрового преобразователя при наличии магнитной накладки дает величину $\approx 5,6$ дБ (при расчете принималось $\mu_{33}=1$, $\mu_{22}=10$, $d=3$ мкм), что находится в хорошем согласии с экспериментом.

Как показал эксперимент, при использовании магнитной накладки не наблюдалось изменение относительной полосы пропускания преобразователя. Однако при этом имело место уменьшение его центральной частоты на 2,5%. Последнее, по-видимому, обусловлено уменьшением скорости ПМУВ в звукпроводе за счет специфических магнитных граничных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А. Н., Злоказов М. В. Управляемые устройства обработки сигналов на ПАВ.— Зарубеж. электрон. техника, 1980, № 10 (230), с. 3–64.
2. Voltmer F. W., White R. M., Turner C. W. Magnetostrictive generation of surface elastic waves.— Appl. Phys. Lett., 1969, v. 15, № 5, p. 153–154.
3. Tsai Tung-lin, Wu S. D. et al. Excitation of magnetoacoustic surface waves by meander lines.— J. Appl. Phys., 1977, v. 48, № 11, p. 4687–4693.
4. Robbins W. P. Approximate theory of magnetoelastic surface wave transducers on YIG — IEEE Trans. Sonics Ultrasonics, 1979, v. SU-26, № 3, p. 230–234.
5. Robbins W. P. Comparison of the grating and meander line transducer for magnetoelastic surface wave excitation. In: Ultrasonics Symp. Proc., 1977, p. 693–695.
6. Ильин И. В., Харитонов А. В. Об анизотропии магнитных свойств ферритов, намагниченных постоянным магнитным полем.— Изв. ЛЭТИ, 1978, № 228, с. 170–173.

Московский инженерно-физический институт

Поступило в редакцию
27.VI.1985