

СПЕКТР СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ В ТОНКИХ ПЛАСТИНАХ И ПЛЕНКАХ ЖЕЛЕЗО-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА

Клевцов Е.И., Барышевский С.О.

Мелитопольский государственный университет имени А.С. Макаренко

SPECTRUM OF NATURAL FRECUENCIES OF ELASTIC OSCILATIONS IN THIN PLATES AND FILMS OF YTTRIUM IRON GARNET

Klevtsov E.I., Baryshevskiy S.O.

Makarenko Melitopol State University

В настоящее время ведутся исследования во многих перспективных научно-технических направлениях, которые относятся к функциональной микроэлектронике [1-3]. Наиболее известными среди них являются акустоэлектроника, которая использует распространение акустических волн в твердом теле, пьезоэлектрический, магнитострикционный эффекты и акустико-оптические явления. Малая скорость распространения акустических волн и малая длина их волны позволяют реализовать миниатюрные линии задержки, фильтры с заданными свойствами, усилители СВЧ [4-5].

В данной работе мы предлагаем теоретическое исследование спектра собственных частот упругих колебаний в тонких пластинах и пленках железо-иттриевого граната (ЖИГ).

Теоретическое исследование спектра собственных частот упругих колебаний будем выполнять в рамках феноменологического подхода на основе решения линеаризованного уравнения движения вектора упругого смещения при учете граничных условий на поверхностях пластины или пленки ЖИГ.

Рассмотрим тонкую пластину и пленку ЖИГ толщиной S (рис. 1)

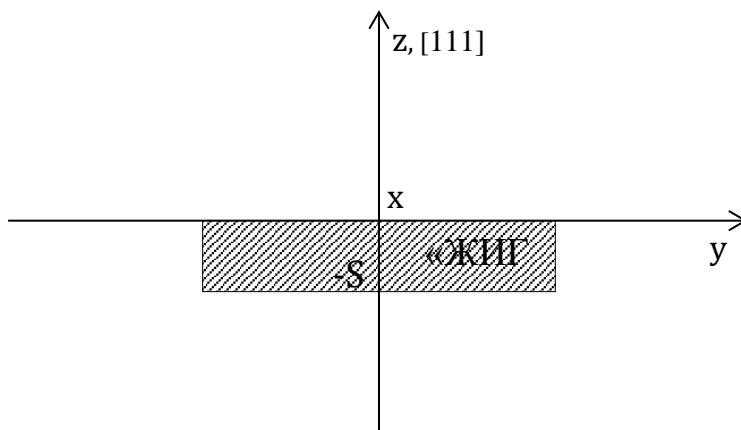


Рисунок 1. Тонкая пластина или пленка ЖИГ

Будем полагать, что ось z направлена перпендикулярно к поверхности пластины или пленки ЖИГ и совпадает с кристаллографической осью кубического кристалла $[111]$, так как упругие свойства ЖИГ считаются анизотропными.

В данном случае задача по определению спектра собственных частот упругих колебаний сводится к следующему уравнению

$$-\rho\omega^2 u = c_{44} \frac{\partial u}{\partial z}, \quad -S < z < 0. \quad (1)$$

Здесь ρ – плотность ЖИГ, ω – угловая частота, u – упругое смещение в ЖИГ, c_{44} – компонента тензора упругости (упругая постоянная ЖИГ).

Введем следующее обозначение:

$$k_e^2 = \frac{\rho\omega^2}{c_{44}}. \quad (2)$$

Теперь уравнение (1) можно записать в виде:

$$\frac{d^2 u}{dz^2} + k_e^2 u = 0. \quad (3)$$

Корни характеристического уравнения дифференциального уравнения (3) можно записать в виде:

$$k_{1,2} = \pm i k_e. \quad (4)$$

Выражение (4) показывает, что в тонкой пластине или пленке ЖИГ могут существовать две моды. Они соответствуют двум поперечным упругим волнам, каждая из которых может распространяться в положительном и отрицательном направлениях оси z .

Учтя выражение (4), решение уравнения (3) теперь можно представить в виде:

$$u = C_1 \cos k_e z + C_2 \sin k_e z. \quad (5)$$

Рассмотрим следующие граничные условия:

$$\left[c_{44} \frac{du}{dz} \right]_{z=-S} = 0, \quad (6)$$

$$\left[c_{44} \frac{du}{dz} \right]_{z=0} = 0. \quad (7)$$

Подставим выражение (5) в граничные условия (6)-(7) получим следующую систему линейных алгебраических уравнений:

$$C_1 \sin k_e S + C_2 \cos k_e S = 0, \quad (8)$$

$$0 + C_2 = 0. \quad (9)$$

Приравняем определитель из выражений при C_i ($i = 1,2$) после ряда преобразований получим уравнение, которое определяет возможные значения волнового вектора k_e :

$$\sin k_e S = 0. \quad (10)$$

Отсюда

$$k_e = \frac{\pi n}{S}, n \in N \quad (11)$$

и спектр собственных частот упругих колебаний в тонких пластинах и пленках ЖИГ:

$$v = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{c_{44}}{\rho} \frac{n}{S}}. \quad (12)$$

Из выражения (12) видно, что собственные частоты упругих колебаний в тонких пластинах и пленках ЖИГ зависят от упругих свойств, плотности и толщины пластины и пленки. Следует отметить, что по формуле (12) можно определить спектр собственных частот упругих колебаний можно определить в тонких упругих пластинах любой толщины и изготовленных из любых материалов.

Список литературы

1. Андреева Е.Б., Барышевский С.О. Спектр магнитоупругих колебаний в касательно намагниченных эпитаксиальных пленках ЖИГ в условиях спин-волнового резонанса // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – №3-3.; URL: <https://eduherald.ru/article/view?id=14989> (дата обращения: 11.02.2023).
2. Сейдаметова З.Р., Барышевский С.О. Спектр магнитоупругих колебаний в перпендикулярно-намагниченных эпитаксиальных пленках ЖИГ с нечётко закреплёнными поверхностными спинами в условиях спин-волнового резонанса // Вестник магистратуры. – 2014. – №12(39), том I. – С. 4-11.
3. Бутко А. Н., Барышевский С. О. Возбуждение гиперзвука перпендикулярно-намагниченными эпитаксиальными пленками железиттриевого граната с нечетко закреплёнными поверхностными спинами пленки // Вестник магистратуры. – 2013. – том IV. – №12 (27). – С. 6-17.
4. Зависляк И.В., Тычинский А.В. Физические основы функциональной микроэлектроники / И. В. Зависляк, А. В. Тычинский. – К.: УМКВО, 1989. – 104 с.
5. Такер Д., Рэмpton В. Гиперзвук в физике твердого тела. – М.: Мир, 1975. – 453 с.