

- [4] Лойцянский Л. Г. *Механика жидкости и газа*. М.: Наука, 1978. 736 с.
- [5] Быховский А. Д., Жиляев Ю. В., Ипатова И. П. и др. Тез. докл. VII конф. по процессам роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок. Новосибирск, 1986, с. 240—241.
- [6] Быховский А. Д., Жиляев Ю. В., Ипатова И. П. и др. Препринт ФТИ № 1102. Л., 1987. 31 с.
- [7] Hirt C. W., Cook J. L. *J. Comput. Phys.*, 1972, v. 10, p. 324—340.
- [8] Жмакин А. И., Макаров Ю. Н. ДАН СССР, 1985, т. 280, № 4, с. 827—830.
- [9] Деорянкин В. Ф., Телегин А. А. В сб.: *Процессы роста и синтеза полупроводниковых кристаллов и пленок*. Новосибирск: Наука, 1975, с. 170—175.
- [10] Hong J. C., Lee H. H. *J. Electrochem. Soc.*, 1985, v. 132, p. 427—432.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
8 мая 1987 г.

Журнал технической физики, т. 58, в. 6, 1988

ДИСПЕРСИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ МАГНИТОСТАТИЧЕСКИХ ВОЛН В ДВУХСЛОЙНОЙ МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЕ

И. Л. Березин, А. В. Вашковский, А. В. Вороненко, Л. А. Красножен, Ю. М. Яковлев

Многослойные структуры из ферромагнитных слоев, разделенных диэлектрическими слоями, исследованы теоретически довольно подробно [1—4]. Многослойные структуры привлекают внимание в связи с большими возможностями по созданию устройств с заданной дисперсионной характеристикой, чем один ферромагнитный слой с металлическим экраном. В многослойной структуре можно управлять дисперсией спиновой волны не только изменением величины зазора между слоями, но и величины разницы намагниченностей насыщения слоев. Несмотря на множество теоретических работ, экспериментальные исследования многослойных структур не проводились из-за трудностей получения их.

Ниже приводятся экспериментальные данные по исследованию дисперсионных характеристик магнитоэлектрических волн (МСВ), распространяющихся в двухслойной структуре, полученной методом жидкофазной эпитаксии. Первый магнитный слой — чистый монокристаллический железоиттриевый гранат (ЖИГ) с намагниченностью насыщения $4\pi M_1 = 17500$ Гс и толщиной 15,7 мкм — был выращен на подложке галлий-гадолинивого граната. Второй монокристаллический слой — легированный ЖИГ с меньшей намагниченностью насыщения и толщиной 7,7 мкм — был выращен на первом. Диаметр структуры 60 мм.

Предполагалось, что второй слой, отличаясь от первого намагниченностью насыщения, будет определять вид дисперсионных кривых. Однако, как показал эксперимент, более существенный вклад в дисперсионные характеристики внесло поле анизотропии.

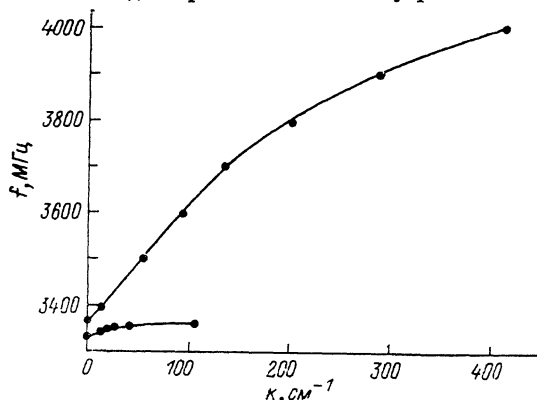
Измерения проводились на панорамном измерителе КСВ и затуханий в диапазоне 2—4 ГГц методом подвижного зонда при поле подмагничивания 600 Э. При использовании этого метода необходимо учитывать, что в двухслойной структуре на фиксированной частоте могут одновременно возбуждаться две волны с различными волновыми числами, распространяющиеся в одну сторону. Поэтому для правильного определения значений волновых чисел следует производить гармонический Фурье-анализ экспериментальных зависимостей (в использованном методе измеряются зависимости амплитуды сигнала на приемной антенне от расстояния между передающей и приемной антеннами). Однако, как было установлено с помощью такого анализа, в исследуемой двухслойной структуре на заданных частотах возбуждалась и принималась только одна волна. По-видимому, это связано с тем, что у второй волны было очень большое волновое число, и она не возбуждалась передающей антенной, ширина которой была 15 мкм, что обеспечивало возбуждение МСВ с максимальными волновыми числами не более 4200 см^{-1} .

На рисунке показаны дисперсионные характеристики исследованной двухслойной структуры. Как видим, удалось уверенно наблюдать две ветви дисперсионной характеристики, соответствующие возбуждению так называемым внешней и внутренней поверхностным МСВ [3, 4].

Внутренняя поверхностная МСВ распространяется по границе между слоями, ее ветвь занимает широкий частотный диапазон от 3400 до 4000 МГц. Внешняя поверхностная МСВ распространяется по границе воздух—пленка с меньшей намагниченностью. Наблюденная картина соответствует сильному расталкиванию ветвей спектра [4].

Внешняя поверхностная МСВ может представлять большой интерес для создания линий задержек благодаря тому, что ее дисперсионная ветвь очень быстро выходит на плоский участок. Это означает, что передача сигнала осуществляется с малой групповой скоростью, т. е. с большим временем задержки. Таким образом, большие задержки можно получать при малых волновых числах, что значительно облегчает возбуждение МСВ.

Дисперсионная ветвь внешней поверхностной МСВ, распространяющейся по границе пленки с большей намагниченностью (она наблюдается при изменении направления распространения), мало отличается от дисперсионной ветви внутренней поверхностной МСВ, рас-



пространяющейся в прямом направлении. Получить дисперсионную ветвь внутренней поверхностной МСВ при изменении направления распространения не удалось: ее ветвь в этом случае должна располагаться в нижней части частотного интервала и быстро загигаться вниз.

По измеренным дисперсионным характеристикам можно рассчитать разность намагниченностей насыщения слоев. Для этого определим точки пересечения дисперсионных ветвей с осью ординат: частоты f_1 и f_2 при $K=0$. Эти частоты, равные $\gamma \sqrt{H(H+4\pi M_{1,2})}$, позволят найти разность M_1 и M_2 . Однако измеренная зависимость $f_1-f_2=f(H)$ показала, что, видимо, имеется сильное влияние поля анизотропии. В слое ЖИГ, выращенным в плоскости (1, 1, 1), поле анизотропии ничтожно мало, а какое оно может быть во втором слое, было неизвестно. Учет в выражениях для $f_{1,2}$ поля анизотропии и анализ измеренной зависимости $f_1-f_2=f(H)$ дали нам возможность определить, что разность $4\pi(M_1-M_2)$ была в исследуемой структуре равна 170 Гс, а поле анизотропии в тонком слое легированного ЖИГ отличалось от поля анизотропии в слое чистого ЖИГ на -50 Э. Так как намагниченность насыщения тонкого слоя была меньше, а поле анизотропии больше, чем толстого (чистого ЖИГ), то их взаимное влияние на частоты $f_{1,2}$ привело к сужению диапазона существования нижних ветвей дисперсионной кривой поверхностной МСВ.

Литература

- [1] Беспятых Ю. И., Зубков В. И. ЖТФ, 1975, т. 45, № 11, с. 2386—2394.
- [2] Вашковский А. В., Стальмазов А. В. РИЭ, 1984, т. 29, № 5, с. 901—907.
- [3] Вашковский А. В., Стальмазов А. В. РИЭ, 1984, т. 29, № 12, с. 2409—2411.
- [4] Зубков В. И., Епанечников В. А. Письма в ЖТФ, 1985, т. 11, № 29, с. 1419—1423.

Институт радиотехники и электроники
АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
15 мая 1987 г.