

Воронежский политехнический
институт

Поступило в Редакцию
30 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 10

26 мая 1989 г.

06; 09

НАБЛЮДЕНИЕ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-СПИНОВЫХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-СПИНОВО-УПРУГИХ ВОЛН В ПЛЕНКАХ ЖЕЛЕЗОИТТРИЕВОГО ГРАНАТА (ЖИГ)

П.Е. Зильберман, Б.Т. Семенов,
В.В. Тихонов, А.В. Толкачев

В монокристаллах ЖИГ хорошо распространяются три типа волн: электромагнитные (ЭМВ), спиновые (СВ) и акустические волны (АВ). Все типы волн связаны между собой либо за счет магнитодипольных полей, либо за счет магнитоэластики. Однако в безграничном кристалле эффекты преобразования волн и их гибридизации,¹ как правило, проявляются очень слабо из-за большого различия скоростей. Исключение составляют лишь СВ и АВ, фазовые скорости которых сравниваются при очень малых длинах волн $\lambda \lesssim 1$ мкм. При таких λ в ЖИГ возбуждаются гибридные магнитоупругие волны (МУВ), фазовые скорости которых порядка скорости звука [1]. К сожалению, пока не существует хорошо отработанных методов возбуждения и приема столь коротких СВ, хотя такие методы и развиваются [2, 3]. При переходе от массивных образцов к тонким пластинам и эпитаксиальным пленкам ЖИГ был обнаружен другой тип магнитоупругих волн, фазовые скорости которых на 2-3 порядка превышали скорость звука („быстрые“ МУВ) [4]. Возбуждение быстрых МУВ наблюдалось в узких полосах частот, менее 0.5 МГц, где выполнялось условие синхронизма длинноволновых, с $\lambda \sim 10-1000$ мкм, магнитодипольных типов СВ (в литературе их чаще называют магнитоэластическими волнами (МСВ) с волноводными модами АВ (модами Лэмба). Здесь использовался тот факт, что в упругом слое волноводные моды АВ вблизи частот отсечки имеют фазовые скорости, значительно превышающие скорость звука в свободном пространстве. Быстрые гибридные волны ввиду узкополосности их возбуждения представляют значительный интерес для создания частотно-селективных устройств обработки радиосигналов.

¹ Под гибридизацией волн понимается эффект их длительного взаимодействия, который возникает при синхронном распространении связанных волн (при равенстве фазовых скоростей) и проявляется в сильном влиянии волн друг на друга.

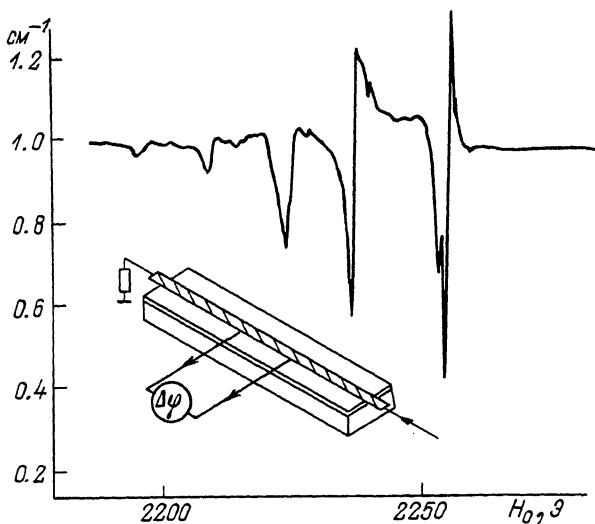


Рис. 1. Зависимость волнового числа q' ЭМВ в МПЛ от величины магнитного поля H_0 при фиксированной частоте входного сигнала $f = 1500$ МГц. Поле H_0 ориентировано по нормали к поверхности пленки. На вставке: конструкция экспериментального макета.

Поэтому для расширения технических возможностей важно находить условия такого рода гибридизации и для других типов волн. В данной работе исследуются ферритовые пленочные волноводы и сообщается о наблюдении гибридизации ЭМВ с волноводными модами МСВ, также сообщается о наблюдении эффектов тройной гибридизации ЭМВ с модами МСВ и с модами Лэмба. Обнаруженные типы гибридных волн имели фазовые скорости порядка скорости света.

Эксперименты проводились со структурой, представленной на вставке к рис. 1. Эпитаксиальная пленка ЖИГ, выращенная на подложке из гадолиний-галиевого граната (ГГГ) с ориентацией (111), имела толщину $d = 10$ мкм, ширину $l = 2$ мм, длину $L = 40$ мм, намагниченность насыщения $4\pi M_0 = 1750$ Гс и ширину линии ферромагнитного резонанса (ФМР) $2\Delta H = 0.5$ Э. Толщина всей структуры ЖИГ-ГГГ составляла $h = (500 \pm 0.2)$ мкм. Полоска ЖИГ изготавливалась методом фотолитографии и приклеивалась к согласованной с СВЧ-трактом микрополосковой линии (МПЛ) передачи электромагнитного сигнала. Ширина МПЛ составляла 0.5 мм, оси симметрии полоски ЖИГ и МПЛ совпадали. Экспериментальный макет помещался в магнитное поле H_0 , на вход МПЛ подавался СВЧ-сигнал. Измерялись зависимости волнового числа q' и декремента q'' ЭМВ от величины поля H_0 и частоты сигнала f . Для этого

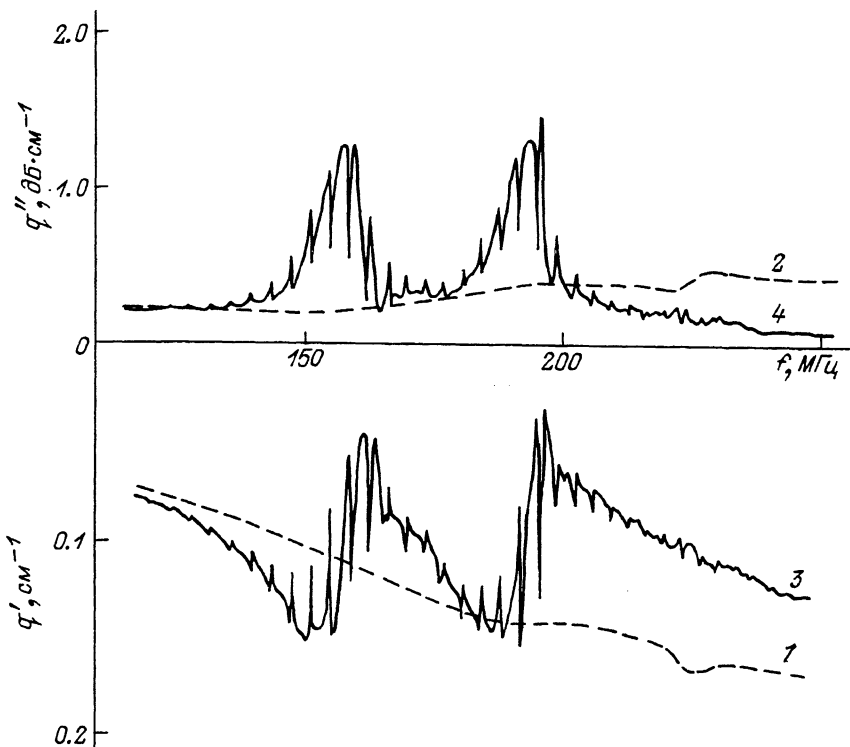


Рис. 2. Дисперсионная зависимость $q'(f)$ и частотная зависимость декремента $q''(f)$ ЭМВ в МПЛ. Поле H_0 ориентировано по нормали к поверхности. Кривые 1, 2 - для $H_0 = 0$, кривые 3, 4 - для $H_0 = 1770$ Э.

использовалась методика, основанная на измерении разности фаз $\Delta\varphi = q' \cdot x$ и отношения амплитуд $\alpha = q'' \cdot x$ в двух точках МПЛ на расстоянии x друг от друга. Отводящие линии были изготовлены строго одинаковыми и имели переходное ослабление 30 дБ. Измерения проводились при нормальной и при касательной (параллельной и перпендикулярной к оси МПЛ) ориентациях магнитного поля. Результаты измерений записывались самописцем.

В экспериментах наблюдались резкие скачки волнового числа и декремента ЭМВ, которые возникали при намагничивании пленки. Так, на рис. 1, где представлена полевая зависимость волнового числа $q'(H_0)$, скачки наблюдались при полях $H_0 = 2194.3$ Э; 2208.5 Э; 2223.6 Э; 2236.8 Э; 2254.7 Э. Дисперсионная зависимость $q'(f)$ и частотная зависимость декремента $q''(f)$, как видно на рис. 2, также имели особенности, которые полностью исчезали при $H_0 = 0$. При этом наблюдались два вида особенностей: широкополосные, с шириной полосы ~ 30 МГц на частотах $f \sim 160$ МГц

и $f \sim 190$ МГц, и узкополосные, с шириной полосы < 0.5 МГц, следующие с равными интервалами $\Delta f = 3.57$ МГц, причем узкополосные особенности наблюдались только внутри широкополосных. Существенно, что на частотах наблюдаемых особенностей практически сохранялся режим бегущих волн, что подтверждалось проверкой линейности зависимостей $\Delta \varphi(x)$ и $\alpha(x)$, которая проводилась путем смещения вдоль МПЛ одной из отводящих линий.

Скачки q' на рис. 1 и широкополосные особенности на рис. 2 можно объяснить гибридизацией ЭМВ с волноводными модами МСВ, возбуждаемыми в пленке ЖИГ СВЧ-магнитными полями МПЛ. Для обоснования этого проводились оценки частот и полей, при которых в рассматриваемой структуре возможно возбуждение мод МСВ. При этом учитывалось, что поперечные составляющие мод МСВ $q'_\perp = m\pi/l > 15 \text{ см}^{-1}$ ($m = 1, 2, \dots$ - номер моды) были много больше продольных составляющих q' , согласно измерениям $q' \lesssim 1 \text{ см}^{-1}$, и что при подстановке значений волновых чисел в дисперсионное уравнение МСВ величиной q' можно было пренебречь. Это давало простое уравнение для определения f и H_0 , которое в случае нормального намагничивания пленки имело вид:

$$\operatorname{tg}\left(m \frac{\pi d}{l} \xi\right) = \frac{2\xi}{\xi^2 - 1}, \quad (1)$$

где $\xi^2 = 1 + \omega_H \omega_M / (\omega_H^2 - \omega^2)$, $\omega = 2\pi f$, $\omega_H = \gamma H_0 - \omega_M$, $\omega_M = \gamma^2 4\pi M_0$, γ - гиромагнитное отношение. Сопоставление экспериментальных на рис. 1, 2 и рассчитанных при тех же условиях из (1) значений f и H_0 давало совпадение результатов с точностью в пределах 10%. Узкополосные особенности на рис. 2 объяснялись дополнительной гибридизацией ЭМВ с модами Лэмба, которая осуществлялась посредством гибридизованных мод МСВ. Это подтверждалось совпадением величин интервалов частот между соседними особенностями с величиной частотной раздвижки между соседними модами Лэмба, которая вблизи частот отсечки (при $q' \rightarrow 0$) определяется по формуле $\Delta f = v_s / 2h = 3.57$ МГц, где $v_s = 3.57 \cdot 10^5$ см/с - скорость поперечного звука в ГГ. Интересно отметить, что в наших экспериментах прямая гибридизация ЭМВ и мод Лэмба не наблюдалась. По измеренным значениям волновых чисел гибридных волн нетрудно убедиться, что их фазовые скорости $v_p = \omega/q' \sim 10^{10}$ см/с порядка скорости ЭМВ. Это означает, что в наших экспериментах наблюдалось возбуждение именно быстрых гибридных волн.

В заключении отметим, что обнаруженный эффект гибридизации отличается от эффекта возбуждения ФМР с помощью тока в МПЛ тем, что, во-первых, в наших экспериментах был реализован режим бегущих (или почти бегущих) волн, во-вторых, длина взаимодействия была сравнима с длиной волны в МПЛ. Величины скачков волновых чисел $\Delta q'$ относительно их среднего значения получались довольно большими, а именно $\Delta q' \lesssim q'$ (напомним, что в случае быстрых МУВ [4] было $\Delta q' \ll q'$). Это естественно, поскольку

в данном случае речь идет об очень быстрых волнах, для которых $q' \sim 1$. При этом неопределенность величины скачка $sq' \sim L^{-1}$, вызванная допустимым рассинхронизмом волн на длине L , не превышала его значения, $sq' \leq \Delta q'$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] А х и е з е р А.И., Б а р ь я х т а р В.Г., П е л е т м и н с к и й С.В. // ЖЭТФ. 1958. Т. 35. № 1. С. 228-236.
- [2] З и л ь б е р м а н П.Е., Г о л у б е в Н.С., Т е м и р я з е в А.Г., Д я т л о в В.М. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 7. С. 585-589.
- [3] Г у л я е в Ю.В., З и л ь б е р м а н П.Е., С а н н и к о в Е.С., Т и х о н о в В.В., Т о л к а ч е в А.В. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 10. С. 884-888.
- [4] Г у л я е в Ю.В., З и л ь б е р м а н П.Е., К а з а к о в Г.Т., С ы с о е в В.Г., Т и х о н о в В.В., Ф и л и м о н о в Ю.А., Н а м Б.П., Х е А.С. // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 34. № 9. С. 500-504.

Поступило в Редакцию
7 марта 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 10

26 мая 1989 г.

02; 07

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ Z -СЕЛЕКТИВНАЯ ФОТОИОНИЗАЦИЯ АТОМОВ В ГОРЯЧЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОЛОСТИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ УДЕРЖАНИЕМ ИОНОВ

Г.Д. А л х а з о в, В.С. Л е т о х о в,
В.И. М и ш и н, В.Н. П а н т е л е е в,
В.И. Р о м а н о в, С.К. С е к а ц к и й,
В.Н. Ф е д о с е е в

Для ряда физических исследований требуется получение однозарядных ионов определенных элементов. Однако развитые в настоящее время способы ионизации атомов (электронным ударом, поверхностная ионизация) как правило не селективны или слабо селективны по величине заряда ядра Z . В настоящей работе исследуется способ получения ионов, основанный на лазерной резонансной фотоионизации атомов в горячей металлической полости.

Эксперименты по исследованию лазерной селективной фотоионизации атомов в полости с диэлектрическими стенками проведены в