

ВОЗБУЖДЕНИЕ ГИПЕРЗВУКОВЫХ ВОЛН МАГНИТОСТАТИЧЕСКИМИ КОЛЕБАНИЯМИ В СТРУКТУРЕ: ПЛЕНКА ЖИГ НА ПОДЛОЖКЕ ГГТ

В.Б. Горский, А.В. Помялов

В работе исследовано возбуждение поперечных упругих волн (УВ) на частотах СВЧ диапазона в структуре пленка железо-иттриевого граната (ЖИГ) – звукопроводящая подложка, помещенной в нормальное к поверхности магнитное поле. УВ возбуждались за счет магнитоупругой связи магнитоэластическими колебаниями (МСК) в пленке ЖИГ и распространялись вглубь подложки из гадолиний-галлиевого граната (ГГТ) в направлении, перпендикулярном к поверхности указанной структуры. Эксперименты проводились при частотах и магнитных полях, соответствующих окрестности точки пересечения дисперсионных кривых УВ и обменных спиновых волн (СВ). Кроме того, рассмотрено возбуждение УВ в условиях, соответствующих резонансному взаимодействию трех типов волн: упругих, обменных и дипольных спиновых.

Ранее в структуре ЖИГ-ГГТ уже исследовалось возбуждение дипольными СВ быстрых УВ, распространяющихся вдоль поверхности пленки [1]. В этих же структурах исследовалось также возбуждение дипольными СВ УВ, распространяющихся углубь подложки [2]. Однако взаимодействие УВ с обменными СВ в пленках ЖИГ ранее не исследовалось. Взаимодействие обменных СВ с гиперзвуком отмечалось ранее при исследовании объемных монокристаллов ЖИГ, где порог параметрического возбуждения СВ резко изменяется при магнитных полях, соответствующих точкам пересечения дисперсионных кривых СВ и УВ [3]. Однако непосредственно возбуждение УВ обменными СВ в монокристаллах ЖИГ не изучалось.

В нашей работе исследования проводились в пленках ЖИГ, где, в отличие от объемного монокристалла, спектр МСК дискретен. Это позволяет исследовать взаимодействие УВ с конкретным МСК, монохроматическими как по длине волны, так и по частоте. Дискретность спектра также позволяет непосредственно регистрировать УВ, возбужденные различными типами МСК, и определять эффективность такого возбуждения.

В экспериментах УВ возбуждались МСК, локализованными методом „магнитной ямы“ [4]. МСК возбуждались полосковыми преобразователями в импульсном и непрерывном режимах на частотах от 2.6 до 7 ГГц. Диаметр „ям“ составлял 800 мкм, толщины исследовавшихся пленок – от 5 до 10 мкм. Для исследований выбирались пленки ЖИГ с закрепленными поверхностными спинами, так что в спектре магнитных резонансов наблюдалось возбуждение обменных и гибридных дипольно-обменных МСК [5].

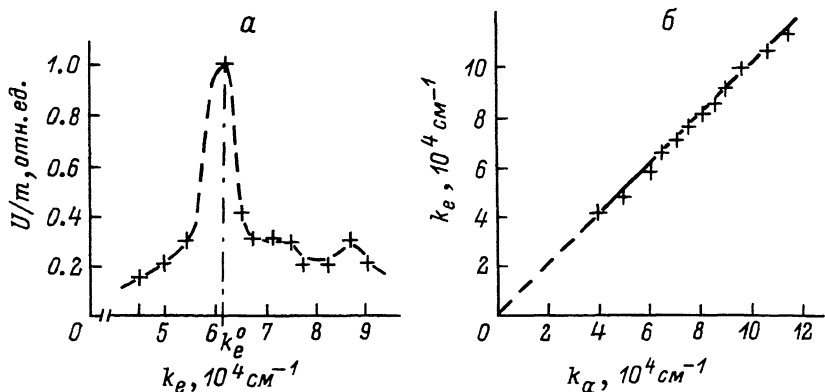
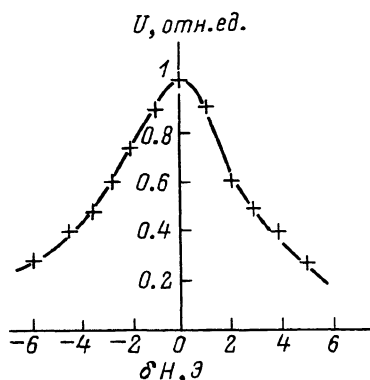


Рис. 1. Возбуждение УВ обменными МСК. а) Зависимость относительной амплитуды УВ от волнового числа k_e , возбуждающего ее МСК. Амплитуда U УВ нормирована на амплитуду m МСК. Частота 3.7 ГГц, волновое число УВ $k_a = 6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$, толщина пленки $d \approx 10 \text{ мкм}$. б) Изменение волнового числа обменного МСК k_e^o , которому соответствует максимум относительной амплитуды возбуждаемой УВ (рис. 1, а), в зависимости от величины k_a . Величина k_a задавалась частотой возбуждения f . f менялась от 2.6 до 7 ГГц, $d \approx 5.8 \text{ мкм}$.

В первом эксперименте измерялась эффективность возбуждения УВ обменными МСК в зависимости от волнового числа МСК k_e . Величина k_e принимала дискретные значения, определяемые толщиной пленки. Волновое число возбуждаемой УВ k_a задавалось частотой СВЧ поля, возбуждающего МСК. Измерения проводились в импульсном режиме. Импульс УВ, возбудившись в пленке ЖИГ, проходил подложку „туда и обратно“, повторно возбуждая МСК в пленке ЖИГ при возвращении на исходную поверхность [2]. Ширина линии частотного спектра СВЧ сигнала, обусловленная импульсным режимом возбуждения, была много меньше частотного интервала между соседними обменными МСК. На рис. 1, а изображена зависимость отношения амплитуды U импульса УВ к амплитуде прецессии k_e возбудившего ее МСК от k_e^o . Видно, что эффективность преобразования имеет максимум для определенного обменного МСК с оптимальным волновым числом k_e^o . Можно предположить, что максимум достигается при совпадении длин УВ и обменного МСК, т.е. когда $k_e^o = k_a$. Действительно, на рис. 1, б показано, что k_e^o , соответствующее максимуму зависимости $U/m(k_e)$, меняется синхронно с k_a . Более того, расчетные значения k_a , задаваемые рабочей частотой, совпадали с экспериментально полученными значениями k_e^o .

Во втором эксперименте исследовалось возбуждение УВ гибридными дипольно-обменными МСК. Как известно, гибридное МСК является суммой двух компонент - обменной, быстроосциллирующей

Рис. 2. Возбуждение УВ гибридным МСК. Зависимость амплитуды УВ U от разности резонансных магнитных полей обменного и дипольного МСК δH . УВ возбуждается обменным δH МСК, которому соответствует максимум на рис. 1, а, т.е. $k_e = k_a$. Резонансное магнитное поле обменного МСК фиксировано. Частота 3.7 ГГц, $d \approx 10$ мкм.



по толщине пленки и квазиоднородной дипольной. Соотношение компонент в гибридном МСК может быть различным и зависит, в частности, от положения МСК в спектре магнитных резонансов. На рис. 2 показана зависимость амплитуды УВ, возбуждаемой обменным МСК, от разности резонансных магнитных полей этого обменного и ближайшего к нему дипольного МСК δH . Обменное МСК соответствует синхронизму $k_e = k_a$, т.е. максимуму возбуждения на рис. 1, а. Величина δH изменялась при изменении диаметра „магнитной ямы“. Из рис. 2 видно, что в данном случае амплитуда возбуждаемой УВ максимальна при совпадении резонансного поля дипольного колебания с обменным. Мы считаем, что это связано с улучшением трансформации энергии СВЧ магнитного поля в колебания магнитного момента при гибридизации МСК. При уменьшении δH обменное МСК становится гибридным, причем относительный вклад дипольной компоненты растет. Так как дипольная компонента взаимодействует с СВЧ магнитным полем гораздо лучше обменной, то при уменьшении δH увеличивается интенсивность МСК, а вместе с тем растет и амплитуда УВ. То есть увеличение вклада дипольной компоненты приводит к улучшению преобразования энергии СВЧ магнитного поля в магнитные колебания, а наличие обменной компоненты обеспечивает эффективное преобразование колебаний магнитного момента в УВ. В силу указанных причин амплитуда УВ, возбуждаемой в условиях тройного взаимодействия упругих, обменных и дипольных спиновых волн, значительно превосходит амплитуду УВ, возбуждаемой как чисто обменным МСК, так и чисто дипольным МСК. В максимуме в УВ преобразовывалось 25 % мощности СВЧ сигнала, расходуемой на возбуждение магнитоупругих колебаний в пленке ЖИГ.

Итак, в работе изучено возбуждение УВ в пленках ЖИГ обменными МСК и гибридными дипольно-обменными МСК. Показано, что: 1) при взаимодействии с обменными МСК эффективность возбуждения УВ в толстых пленках ЖИГ имеет резкий максимум при совпадении волновых чисел УВ и обменного МСК; 2) в области тройного дипольно-акустического взаимодействия гибридизация обменного МСК с дипольным приводит к увеличению амплитуды УВ, возбуждаемой обменным МСК.

Таким образом, использование толстых пленок ЖИГ в условиях тройного дипольно-обменно-акустического взаимодействия позволяет возбуждать гиперзвуковые колебания с высокой эффективностью.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Казаков Г.Т., Тихонов В.В., Зильберман П.Е. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 8. С. 2307-2312.
- [2] Андреев А.С., Гуляев Ю.В., Зильберман П.Е., Кравченко В.В., Огрин Ю.Ф., Темиряев А.Г., Филимонова Л.М. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 2. С. 90-94.
- [3] Olson F. // Journ. Appl. Phys. 1963. V. 34. N 4. P. 1281-1283.
- [4] Калинин Б.А., Ковшиков Н.Г., Надеев М.М. Всес. конф. по физике магн. явлений. Тезисы докладов, Тула, 1983, с. 206.
- [5] Зильберман П.Е., Козлов В.И., Помялов А.В. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 2. С. 352-357.

Институт радиотехники
и электроники АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
24 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7
02; 07

12 апреля 1989 г.

ИОНИЗАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ В ГАЗАХ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 266.1 НМ

Ю.В. А н и щ е н к о

С появлением мощных источников УФ излучения диапазона $\sim 200-400$ нм таких, например, как эксимерные лазеры, возникает естественный вопрос: каково нелинейное ослабление при распространении такого излучения в атмосфере и газах?

В работе [1] исследовалась ионизация газов лазерным излучением с длиной волны 266.1 нм, $\hbar\omega = 4.66$ эВ. Было обнаружено, что при давлении порядка атмосферного выход свободных электронов пропорционален плотности мощности J в степени k по крайней мере в диапазоне 10^4-10^7 Вт/см², причем k с высокой точностью равно отношению потенциала ионизации к энергии кванта,

$k = \frac{I}{\hbar\omega}$. Дальнейшие исследования показали, что в многокомпонентных газах, таких как воздух, k равно частному от деления I на $\hbar\omega$ той макроскопической составляющей, для которой I наименьшее.