

СПИНОВЫЙ ЭФФЕКТ МАНДЕЛЬШТАМА – БРИЛЛЮЭНА

В.И.Зубков, Я.А.Мокосов, В.И.Щеглов

В работах [1, 2] предсказано и теоретически рассчитано рассеяние спиновых волн на колебаниях кристаллической решетки – так называемый "спиновый эффект Мандельштама – Бриллюэна". Непосредственное наблюдение этого эффекта известными методами [3] затруднено из-за малой связи между электромагнитными и спиновыми волнами. Эту трудность частично можно обойти, если воспользоваться импульсным методом наблюдения, аналогичным применяемому при исследовании ферритовых линий задержки (ФЛЗ) [4]. В этом методе спиновый эффект Мандельштама – Бриллюэна обнаруживается по задержке исходного радиоимпульса, причем интенсивность эффекта не зависит от распределения внутреннего постоянного поля в образце (в отличие от эффекта преобразования электромагнитных волн в спиновые на неоднородности поля, используемого в ФЛЗ [5]). Настоящая работа имела целью обнаружение спинового эффекта Мандельштама – Бриллюэна указанным методом.

Измерения проводились по методике, аналогичной описанной в [4] в диапазоне СВЧ $\sim 1200 \text{ МГц}$. Образец из железо-иттриевого граната (ЖИГ) с $\Delta H \sim 1 \text{ э}$ был изготовлен в виде прямоугольного параллелепипеда размерами $5,4 \times 2,5 \times 2,5 \text{ мм}^3$. Большой размер образца совпадал с осью кристалла [100]. Упругие колебания частоты $\sim 10 \text{ МГц}$ возбуждались в образце с помощью кварцевой пластины X-среза, приклейной к торцу образца. Электрическая мощность источника возбуждения не превышала 1 – 2 вт. При большей мощности образец заметно разогревался. Распределение магнитного поля в образце изменялось путем приближения к торцам последнего (на расстояние L) поликристаллических стержней из ЖИГ (сосных с образцом), размерами $10,0 \times 2,5 \times 2,5 \text{ мм}^3$, подобно тому, как делалось в работе [6]. В ходе экспериментов впервые наблюдался спиновый эффект Мандельштама – Бриллюэна как первого (однократное преобразование со сдвигом частоты вверх на 10 МГц), так и второго (двух-

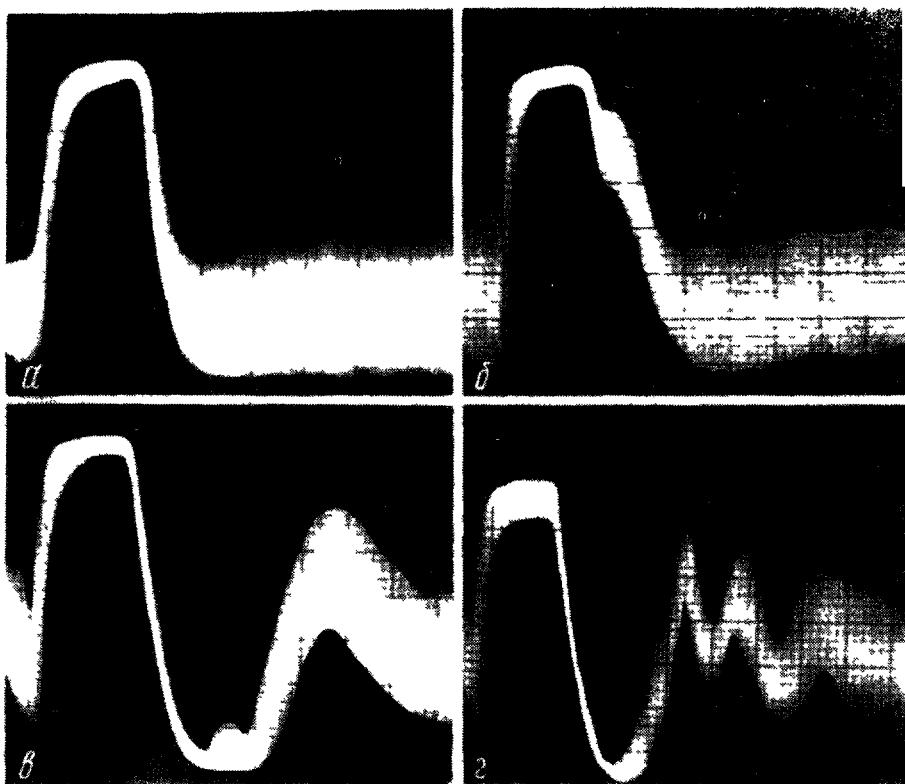


Рис. 1. Осциллограммы спинового эффекта Мандельштама – Бриллюэна (МБ). Одна крупная клетка соответствует 1 мксек. К образцу подводятся упругие колебания с частотой $F = 10 \text{ МГц}$ и радиоимпульс с частотой $f_0 = 1200 \text{ МГц}$: а – импульс на частоте $f = f_0 + F = 1210 \text{ МГц}$ при поле $H_s = 50 \text{ э}$; он наблюдается из-за пространственно-однородной модуляции магнитного поля, задержка отсутствует; б – импульс на частоте $f = f_0 + F = 1210 \text{ МГц}$ при поле $H_s + 2 \text{ э}$; здесь помимо импульса, представленного на а виден дополнительный импульс, задержанный примерно на 1 мксек, из-за пространственно-неоднородной модуляции поля (МБ эффект первого порядка); в – импульсы на частоте $f = 1200 \text{ МГц}$ при поле $H_s + 2 \text{ э}$; слева ослабленный входной импульс, справа импульс задержанный из-за эффекта второго порядка; г – импульсы на частоте $f = 1200 \text{ МГц}$ при поле $H_s - 1 \text{ э}$; в этом поле, помимо МБ эффекта второго порядка (средний раздвоенный импульс) наблюдается эффект преобразования на неоднородности поля (правый крайний импульс). H_s – поле, при котором точка поворота находится на середине образца

кратное преобразование на исходную частоту) порядков [2]. Осциллограммы задержанных импульсов показаны на рис. 1. Эффект первого порядка дает время задержки несколько меньшее (на 1 – 2 мксек), а амплитуду несколько большую (на $\sim 5 \text{ дБ}$), чем эффект второго порядка. Интенсивность эффектов первого и второго порядков практически линейно зависит от интенсивности упругих колебаний в образце (в указанном ди-

апазоне мощностей). Минимальные вносимые потери для эффектов первого порядка составляли 35 дБ, второго порядка 40 дБ. Вносимые потери для преобразования в неоднородном поле (при тех же условиях) были 20 дБ. Эффект первого порядка наблюдался в области подмагничивающих полей от $H_s - 20$ э до $H_s + 3$ э, где H_s — поле, при котором точка поворота находится на середине образца. Эффект второго порядка наблюдался в полях от $H_s - 1$ э до $H_s + 2$ э (в несколько меньших полях наблюдению мешало преобразование на неоднородности поля).

Время задержки слабо зависело от величины подмагничивающего поля и от частоты упругих колебаний. При значительном изменении этих

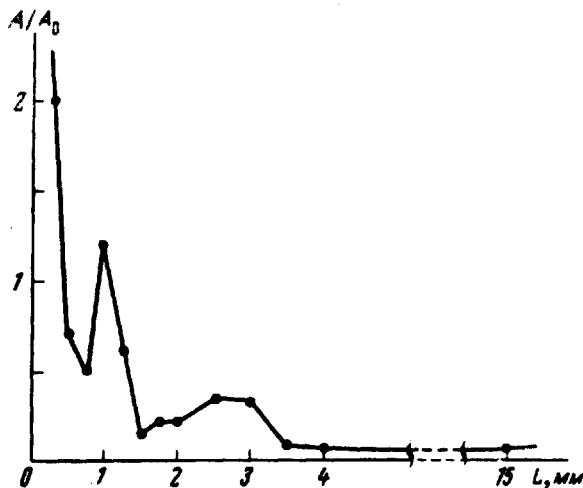


Рис. 2. Отношение интенсивностей спинового эффекта Мандельштама — Бриллюэна первого порядка A и эффекта преобразования на неоднородности поля A_0 при изменении симметрии внутреннего поля в образце. L — расстояние между ближайшими торцами исследуемого образца и поликристаллического стержня

параметров время задержки изменялось на 1 — 2 мксек. На рис. 2 показана кривая отношения интенсивностей спинового эффекта Мандельштама — Бриллюэна первого порядка и эффекта преобразования на неоднородности поля при изменении симметрии распределения внутреннего магнитного поля в образце (для этого поликристаллический стержень приближался к одному из торцов образца). При $L \rightarrow \infty$ поле симметрично (распределено по параболе с вершиной в центре образца). При $L \rightarrow 0$ поле асимметрично (вершина параболы — вне образца). В последнем случае интенсивность импульса, задержанного за счет преобразования на неоднородности поля падает на 50 — 70 дБ, тогда как интенсивность импульса, задержанного за счет спинового эффекта Мандельштама — Бриллюэна первого порядка практически не изменяется. Сказанное отражается резким подъемом кривой (рис. 2) при $L \rightarrow 0$. Аналогичный результат получается при изменении однородности поля с сохранением симметрии (для этого поликристаллические стержни приближались к обоим торцам

образца). Интенсивность эффекта преобразования на неоднородности поля падает в этом случае на ~ 20 дБ от своего первоначального значения, а интенсивность спинового эффекта Мандельштама – Бриллюэна не изменяется, что подтверждает природу последнего.

Авторы призывают В.В.Чеманову с сотрудниками за консультацию по возбуждению упругих колебаний, а также В.Б.Кравченко и И.Г.Аваевой за предоставление образцов железо-иттриевого граната.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
20 января 1971 г.

Литература

- [1] Я.А.Моносов. Авторское свидетельство, 1968, кл. 21 а⁴, гр. 73, №219642.
 - [2] Н.Н.Кирюхин, Ф.В.Лисовский. ФТТ, 10, 3, 709, 1968.
 - [3] Н.Бломберген. Нелинейная оптика. М., Изд. Мир, 1964.
 - [4] Шлеман, Джозеф, Кохейн. ТИИЭР, 53, 10, 1685, 1965.
 - [5] E.Schlömann. J. Appl. Phys. 35, 1, 159, 1964.
 - [6] А.Г.Гуревич, Б.М.Лебедь, С.А.Миронов, С.С.Старобинец, К.В.Шевлягин. ФТТ, 8, 10, 2958, 1966.
-