

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЧ-ВОЗБУЖДЕНИЙ РЕЖИМА ТРАНСФОРМАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В W

Т.М.Ирклиенко, А.П.Королюк, В.И.Хижный

На частотах $400 \div 800$ МГц в области магнитных полей $\omega \sim \Omega$, обнаружен осцилляционный эффект, связанный с интерференцией вкладов волнового и траекторного типа возбуждений в деформационный механизм трансформации волн.

В металлах с большой длиной свободного пробега носителей тока l и на высоких частотах, когда $l \gg \delta$ (δ – глубина аномального скин-слоя) деформационная сила взаимодействия носителей с решеткой имеет нелокальный характер и в малых магнитных полях $qR > 1$ (q – волновой вектор звука, R – радиус ларморовской орбиты) превосходит индукционную силу¹. Деформационная сила формально включает в себя две силы разной физической природы, причем, одна из них связана только с переносом импульса носителями². Нелокальный характер деформационного механизма, при определенных условиях, может приводить к интересным особенностям эффекта трансформации волн. Теория близких по физической природе явлений без магнитного поля рассмотрена в кратком обзоре³, для случая $\omega \ll \Omega$ в работе⁴.

Целью настоящей работы явилось изучение нелокальной трансформации волн в малых магнитных полях, при выполнении неравенств, приведенных выше и $q \sim \delta^{-1}$, $l \sim d$, $L \ll d$, где d – толщина образца, L – длина затухания звука. Эксперименты проводились в гибридной методике работы "на проход"⁵. Пластина вольфрама толщиной $d \sim 1,95 \div 2$ мм вырезалась на электротоксиковом станке из монокристалла с отношением сопротивлений $\rho_{300} / \rho_{4,2} = 4 \cdot 10^4$. Эксперимент проводился в геометрии $q \parallel H \parallel [100]$, на частотах до 800 МГц, в режиме непрерывных колебаний. Магнитное поле составляло величину $0 \div 6$ кЭ. Низкотемпературное устройство описано нами в⁶. Уровень просачивания был ниже порога чувствительности приемного тракта, равного – 140 дБ/Вт. Подводимая к образцу мощность была менее 50 мВт. Эксперименты проведены в интервале температур $4,2 \div 1,5$ К. Для спектральной обработки массив экспериментальных данных входил в память ЭВМ и быстрым преобразованием Фурье на данной частоте определялась спектральная мощность (СМ). Для разделения механизмов трансформации регистрировалась зависимость сигнала $U(H)$, dU/dH , когда $E(0) \parallel e$, где e – вектор поляризации поперечного пьезопреобразователя, $E(0)$ – вектор электрического поля на поверхности. Для $qR > 1$ трансформация этой компоненты обусловлена деформационным механизмом⁵. В условиях одного опыта проводились измерения электромагнитного (э/м) возбуждения звука и акустического детектирования э/м волны. Были получены следующие экспериментальные результаты.

1) Обнаружено, что на плавную зависимость $U(H)$, монотонно падающую с увеличением магнитного поля, наложена ярко выраженная осцилляционная структура. Переменная составляющая структуры показана на рис. 1, a. Монотонная составляющая обнаружена нами ранее в W

см. ⁵ – вставку рис. 3, а также на частоте $10 \div 20$ МГц в Ga, в работе ⁷. Форма линий в поле есть суперпозиция нескольких осциллирующих гармоник. Слабые гармонические составляющие для измерений dU/dH , в режиме синхронного детектирования, наблюдались до полей 4 кЭ для $f = 413$ МГц, где монотонная составляющая уменьшалась до уровня шумов. Амплитуда сигнала увеличивалась при понижении температуры от 4,2 до 1,5 К и регистрировалась на уровне не хуже $-90 \div -100$ дБ/Вт при 1,7 К.

2) Обнаружена существенная зависимость формы осцилляционной структуры от частоты. Интервал изменения частоты $\Delta f_1 \sim 0,7$ МГц приводил к инверсии линий, как показано на рис. 2, интервал $\Delta f_2 \sim 1,48$ МГц восстанавливал форму осцилляций.

3) СМ процесса для $U(H)$ приведена на рис. 1, б. Исследования спектров проводились для разных частот, в том числе для записей dU/dH . Обработка данных на ЭВМ велась с различными взвешивающими окнами. Обнаружено, что положения характерных всплесков СМ (периодов гармоник в магнитном поле) не зависело от частоты. Согласно рис. 1, б характерные спектральные составляющие имеют постоянный период в прямом магнитном поле.

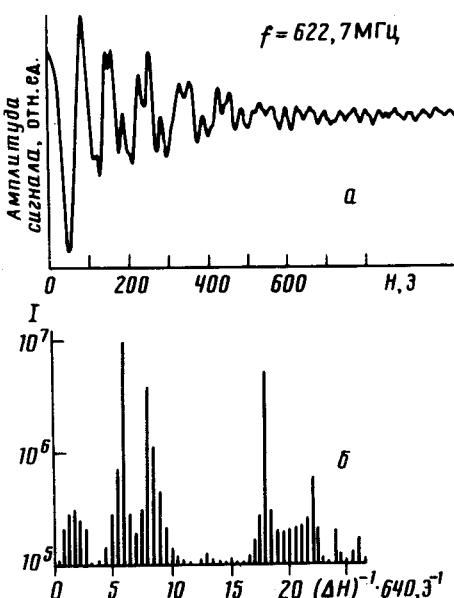


Рис. 1

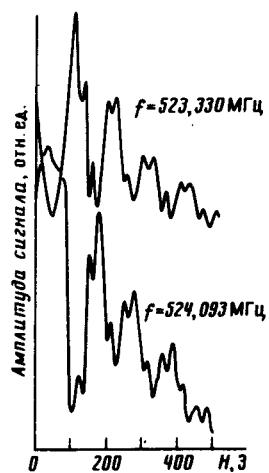


Рис. 2

Рис. 1. а – Переменная составляющая сигнала полевой зависимости эффективности трансформации волн. б – Спектр мощности процесса трансформации для экспериментальной кривой на рис. а

Рис. 2. Частотная инверсия полевых зависимостей эффективности трансформации

Приведенные экспериментальные факты позволяют сделать следующий вывод. Отсутствие опорного сигнала указывает на существование более чем двух гармонических составляющих. Частотная инверсия линий указывает на изменение фазы одной из гармоник – "опорной". Поскольку $\Delta f_2 \sim s/d$, где s – скорость поперечного звука ($s = 2,90 \cdot 10^5$ см/с ⁵), то "опорная" гармоника имеет фазовую скорость близкую к s . Фазовая скорость других гармоник $v_i \gg s$, поскольку фаза их слабо изменяется при изменении частоты $400 \div 800$ МГц и есть линейная функция поля H . Предположение $U_1 > U_i$, т.е. амплитуда "опорной" гармоники превосходит амплитуду быстрых гармоник, объясняет частотную инверсию линий как для волн круговой, так и линейной поляризации. По-видимому, быстрые гармоники с малым периодом 36 Э, 29 Э (рис. 1, б) есть акустический аналог СВЧ волн Гантмахера – Канера ^{8,9}, с волновым вектором $K = (\omega \pm \Omega)/\bar{v}$, где \bar{v} – средняя скорость дрейфа носителей вдоль H , а регистрируемый

сигнал есть интерференция Рэлея акусто-э/м мод с различными фазовыми скоростями. Отметим, однако, что физическая природа мощных осцилляций с периодом 111 Э не ясна. Данный период, соответствует $(1/2\pi)(\delta S/\delta k_H) = 0,52 \text{ \AA}^{-1}$ (где k_H — проекция волнового вектора носителей на направление H , $S(k_H)$ — площадь сечения поверхности Ферми плоскостью нормальной к H), можно отнести к дыркам с экстремальным шагом спиральных траекторий на "октаэдре", локализованным в области сечения A . Однако, падение амплитуды в поле для этой серии не зависит от частоты и происходит гораздо быстрее, чем убывание "фона" эффективности трансформации, и не соответствует зависимости амплитуды от H для данного типа траекторий^{8,9}. Кроме этого, как показал спектральный анализ, каждая быстрая гармоника имеет свой интервал частотной инверсии Δf_i . Измерения показали, что $(s/d - \Delta f_i)/(s/d) = 10^{-3} \div 10^{-4}$. В рамках данной модели, этот факт можно объяснить вкладом в разность фаз быстрых гармоник и "опорного" сигнала времязадержки слагаемого — $\omega d/v_i$. Мы полагаем, что дальнейшие эксперименты по инверсии линий позволят определять циклотронную массу и скорость дрейфа групп носителей с экстремальным $\delta S/\delta k_H$, в условиях одного опыта, без подгоночных параметров. Таким образом, дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования нелокальной трансформации э/м и акустических волн представляют существенный интерес.

Авторы выражают благодарность В.Л.Фалько за полезную дискуссию и С.В.Плющевой за предоставление монокристаллов вольфрама.

Литература

1. Васильев А.Н., Гайдуков Ю.П. УФН, 1983, 141, 431.
2. Фикс В.Б. ЖЭТФ, 1978, 75, 137.
3. Каганов М.И., Фикс В.Б. УФН, 1986, 150, 159.
4. Жеребчевский Д.Э. ФНТ, 1984, 10, 713.
5. Голик А.В., Королюк А.П., Фалько В.Л., Хижный В.И. ЖЭТФ, 1984, 86, 616.
6. Голик А.В., Королюк А.П., Хижный В.И. ПТЭ, 1987, №2, 213.
7. Batra N.K., Thomas R.L., Lee K.C., de Graaf A.M. Phys. Rev. B, 1973, 8, 5473.
8. Phillips T.G., Baraff G.A., Schmidt P.H. Phys. Rev. B, 1972, 5, 1283.
9. Hsu T.M., Dunifer G.L. Phys. Rev. B, 1983, 28, 821.