

ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ НЕЛИНЕЙНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ЗВУКА В ВОЛЬФРАМЕ

А.П.Королюк, В.И.Хижный

Обнаружена нелинейная электромагнитная (ЭМ) генерация второй гармоники продольного звука в условиях аномального скин-эффекта. В нормальном к поверхности образца магнитном поле обнаружено немонокотное "подавление" эффекта нелинейной генерации звука.

Нелинейная ЭМ генерация продольного звука в условиях аномального скин-эффекта в металлах, когда $\delta \ll l$ (δ — глубина скин-слоя, l — длина свободного пробега электронов) впервые рассмотрена в теоретической работе ¹. Нелинейность связана с самовоздействием переменного магнитного поля H в скин-слое на ток, содержится в силе Лоренца и имеет электродинамическую природу. Различают два случая нелинейности, которые с единой точки зрения рассмотрены в теории ². Эффективность нелинейности характеризует параметр b ²:

$$b \sim (H/\delta)^{1/2} l. \quad (1)$$

При слабой нелинейности ($b \ll 1$) амплитуда колебаний решетки удвоенной частоты $U \propto H^2$, $H \ll 0,1 \div 0,5$ Э. В случае сильной нелинейности ($b \gg 1$) — $H \gg 0,1 \div 0,5$ Э, в скин-слое появляется группа захваченных электронов и $U \sim H^{6/5}$ ². Из-за нелокальности режима трансформации ($ql \gg 1$, q — волновой вектор звука) в обоих случаях источником нелинейности является деформационный механизм трансформации ЭМ и акустических волн.

В настоящем сообщении приведены результаты первых экспериментов по наблюдению нелинейной ЭМ генерации второй гармоники звука в вольфраме. Эксперимент выполнен по импульсной методике, в режиме работы "на проход". Низкотемпературное устройство описано нами в ³. Плоскопараллельные пластины вольфрама имели толщину $d = 1,95$ мм, $\rho_{300} / \rho_{4,2} = 4 \cdot 10^4$. Эксперимент проведен при $T = 4,2 \div 1,7$ К в геометрии $q \parallel [001]$. Вектор возбуждающего ЭМ поля $E(0)$ на поверхности образца в одном опыте мог ориентироваться в произвольном направлении интервала $E(0) \parallel [010]$ и $E(0) \parallel [100]$. Передающая система генерировала радиоимпульсы длительностью $\tau = 2 \div 10$ мкс с частотой повторения $\nu \sim 10^2$ Гц с несущей частотой $\omega_1 / 2\pi = 173$ МГц (метод "длинного" импульса, $v = 5,2 \cdot 10^5$ см/с — скорость продольного звука). Приемная система регистрировала импульсы акустических колебаний на несущей частоте $\omega_2 / 2\pi = 346$ МГц, которая соответствовала третьей гармонике продольного пьезопреобразователя. Полоса пропускания передающего тракта составляла $\omega_1 / 2\pi \pm 2$ МГц, что предотвращало паразитное просачивание второй гармоники генератора в приемный тракт. Импульсная ЭМ мощность не превышала $75 \div 100$ Вт/см². Это составляло для величины $H \sim 5 \div 10$ Э. Параллельная поверхности образца компонента магнитного поля Земли экранировалась сверхпроводящим и пермаллоевым экранами. При максимальных уровнях накачки перегрев образца не превышал $0,1 \div 0,2$ К.

Соотношение параметров эксперимента: $l_s \lesssim l$, $ql \gg 1$, $\omega_{1,2} \tau \gtrsim 1$ (l_s — длина затухания звука, τ — время релаксации). Зависимость амплитуды сигнала U от амплитуды накачки A приведена на рис. 1. Кривая 1 соответствует $T = 4,2$ К, кривая 2 — $T = 1,7$ К, $\tau = 5$ мкс, $\nu = 300$ Гц. На каждой кривой имеется два характерных участка с зависимостью U от A близкой к линейной. Мы полагаем, что наблюдается смена режимов нелинейности и переходная область, где параметр нелинейности $b \sim 1$. Согласно рис. 1, уменьшение температуры приводит к тому, что смена режимов нелинейности наступает при меньших уровнях накачки. Этот факт согласуется с (1). Следует отметить, что детальное сравнение экспериментальных кривых рис. 1 с теорией ^{1, 2} не совсем корректно, поскольку в ^{1, 2} предполагалось обратное

соотношение параметров: $l_s > l$, $\omega_{1,2} \tau \ll 1$. Проведено исследование зависимости эффективности нелинейной генерации от внешнего постоянного магнитного поля H_0 , нормального к поверхности образца ($H_0 \sim 0 \div 4$ кЭ). Полевые зависимости для разных уровней накачки приведены на рис. 2. Обнаружено немонотонное "подавление" сигнала полем H_0 . Для максимальных уровней накачки сигнал уменьшался до уровня шумов в полях более 3 кЭ. На полевых зависимостях рис. 2 существуют две особенности типа "ступень". Первая особенность локализована в поле ~ 200 Э, вторая — существует только при больших уровнях накачки

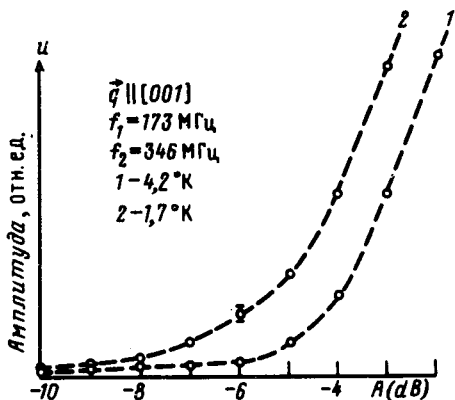


Рис. 1. Зависимость амплитуды сигнала эффективности нелинейного ЭМ возбуждения звука от амплитуды накачки

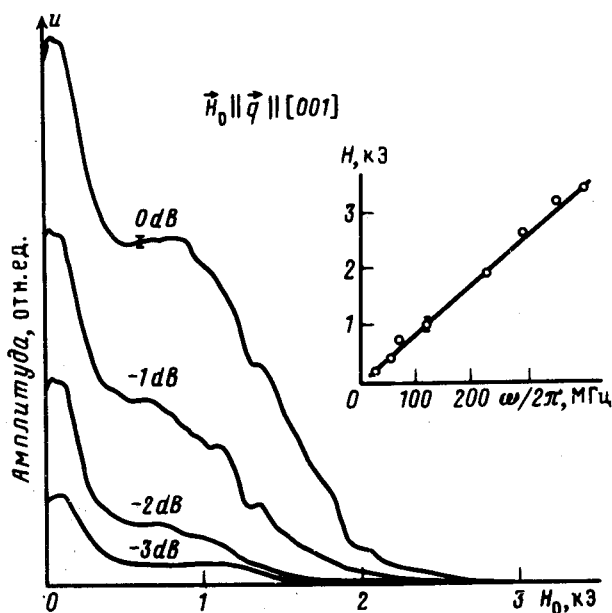


Рис. 2. Полевая зависимость эффективности нелинейного ЭМ возбуждения звука для разных уровней накачки.

Вставка к рис. 2. Частотная зависимость поля "подавления" эффекта линейной трансформации ЭМ волн в поперечный звук

и локализована в интервале полей $\sim 1 \div 2$ кЭ. Ранее нами была обнаружена линейная ЭМ генерация продольного звука в W при накачке поперечной ЭМ волной ⁴. Она связана с наличием анизотропии поверхности Ферми и отсутствует в изотропной модели. Обнаруженные в ⁴ особенности в полевой зависимости эффекта подробно будут обсуждаться в отдельной публикации. Заметим, однако, что сравнение полевых зависимостей $U(H_0)$ линейной и нелинейной трансформации указывают на существенно различное поведение сигнала в магнитном поле. С другой стороны, монотонное падение эффективности нелинейной генерации в поле H_0 до уровня шумов и ее минимум в полях, когда для всех групп носителей заряда

$R < l \sim d$ (R – радиус ларморовской орбиты электрона в поле H_0), аналогично полевой зависимости для линейной генерации поперечного звука в W , в данной геометрии эксперимента и частоте ω_2 . На вставке к рис. 2 приведена частотная зависимость поля "подавления" эффективности трансформации линейного поперечного звука, из которой следует, что поле H_0 , соответствующее минимуму сигнала имеет тот же порядок величины, что и в нелинейном случае. Поэтому, можно предположить, что механизм, приводящий к подавлению нелинейности связан с возникновением вторичной линейной силы Лоренца в поле H_0 и ее конкуренцией с нелинейной в поле скин-волны H . Таким образом, существенный интерес представляют дальнейшие исследования частотных зависимостей нелинейной генерации звука, а также выяснение физической природы наблюдаемых особенностей полевой зависимости рис. 2.

Авторы выражают благодарность Макарову Н.М. и Ямпольскому В.А. за обсуждение результатов работы и полезную дискуссию.

Литература

1. Васильев А.Н., Гулянский М.А., Каганов М.И. ЖЭТФ, 1986, 91, 202.
2. Макаров Н.М., Родригес Ф.П., Ямпольский В.А. ЖЭТФ, 1988, 95, 205.
3. Голик А.В., Королюк А.П., Хижный В.И. ПТЭ, 1987, № 2, 213.
4. Golik A.V., Korolyuk A.P., Khizhnyi V.I. Sol. St. Comm., 1982, 44, 173.

Институт радиофизики и электроники
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
11 августа 1988 г.