

- [7] Hillebrands B., Baumgar S., Mock R., Guntherodt G. // J. Appl. Phys. 1985. V. 58. N 8. P. 3166—3169.
- [8] Викторов И. А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981. 287 с.
- [9] Slobodnik A. J., Jr., Conway E. D., Delmonico R. T. Microwave Acoustic Handbook, 1973. V. 1A. 728 p.
- [10] Банди Б. Д. Методы оптимизации. Вводный курс. М.: Радио и связь, 1988. 128 с.
- [11] Hickernell F. S. // Proc. Intern. Symp. «Surface Waves in Solids and Layered Structures». Novosibirsk, 1986. V. 3. P. 126—140.
- [12] Qian E., Zhang X., Zhao M., Wu X., Lin Y. // IEEE Trans. 1985. V. SU-32. N 5. P. 630—633.
- [13] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория упругости. М.: Наука, 1965. 204 с.
- [14] Анисимкин В. И. // Акуст. журн. 1981. Т. 27. № 6. С. 817—820.
- [15] Анисимкин В. И., Котелянский И. М. // ЖТФ. 1985. Т. 55. № 12. С. 2420—2421.

Институт радиотехники и электроники
АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
9 июня 1988 г.

УДК 537.312.62

Физика твердого тела, том 31, в. 4, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 4, 1989

НЕЛИНЕЙНЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ КЕРАМИК $Y-Ba-Cu-O$ В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ СОСТОЯНИИ НА НИЗКИХ ЧАСТОТАХ

А. И. Головашкин, Н. Д. Кузьмичев, И. С. Левченко,
Г. П. Мотулевич, В. В. Славкин

В настоящей работе исследована нелинейность магнитной восприимчивости керамик $Y-Ba-Cu-O$ в сверхпроводящем состоянии на частотах ≤ 100 кГц.

Образцы в виде таблеток $\varnothing 20$ мм и толщиной 2—4 мм изготавливались по технологии [1]. Температура сверхпроводящего перехода, измеренная по середине скачка, $T_c = 94$ К. Измерения магнитной восприимчивости проводились компенсационным методом [2]. Амплитуда переменного

Рис. 1. Зависимость $H \sim(t)$.

H_{\sim} — переменное магнитное поле, t — время. Амплитуда модуляции $H = 12$ Э, частота 1 кГц. Отношение амплитуд гармоник $A_1 : A_3 : A_5 : A_7 : A_9 : A_{11} = 1 : 0.45 : 0.17 : 0.11 : 0.08 : 0.02$. Здесь за A_1 взята амплитуда кривой 1.



поля H менялась от 0.6 до 15 Э. Измерения проводились при температуре жидкого азота.

На рис. 1 приведены модулирующий сигнал H_{\sim} , имеющий форму синусоиды (1), и сигнал, полученный с измерительной катушки, в которую вставлен сверхпроводящий образец керамики (2). Ниже этот сигнал будем называть выходным сигналом. Большая разница в форме обоих сигналов указывает на сильную нелинейность магнитной восприимчивости образца. При уменьшении H_{\sim} нелинейность уменьшалась, и при $H_{\sim} = 0.6$ Э она практически исчезала. Нелинейность уменьшалась также и при увеличении частоты H_{\sim} и при частотах 70—100 кГц практически исчезала. Спектральный анализ выходного сигнала показал, что для большинства образцов спектр содержит в основном нечетные гармоники 1, 3, 5, 7, 9. Амплитуды более высоких гармоник резко спадают.

Исследовалась зависимость амплитуд гармоник выходного сигнала от величины внешнего постоянного магнитного поля H . Последнее создавалось специальным соленоидом. Магнитное поле уменьшает амплитуды гармоник, а, кроме того, для гармоник с номером больше 1 приводит к появлению осцилляций. Влияние H зависит от предыстории образца.

Для примера на рис. 2 показано влияние постоянного магнитного поля H на пятую гармонику выходного сигнала; $\nu_5 = 2700$ Гц, $H_{\sim} = 15$ Э. Наличие разных зависимостей 1, 2 связано с предысторией образца. Кривая 1 относится к случаю, когда H медленно возрастало от 0 до 50 Э в «положительном» направлении. Затем поле H резко уменьшалось до нуля, после чего медленно увеличивалось до 50 Э в противоположном направлении. Этот процесс описывается кривой 2.

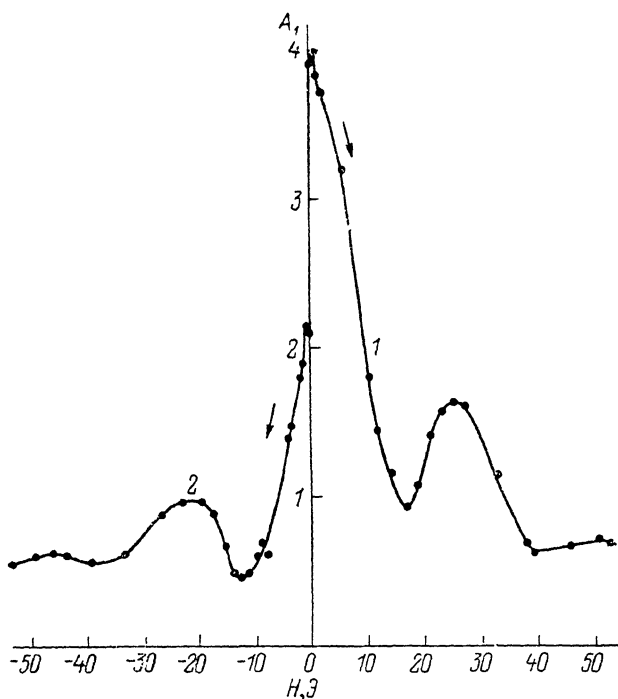


Рис. 2.

Кривые 1, 2 несимметричны, что связано с «захватом» магнитного потока образцом. При выключении внешнего поля до $H=0$ в образце осталось магнитное поле $H' = 17$ Э и связанный с ним магнитный поток, что привело к смещению кривой 2 на величину захваченного поля вправо. Мы наблюдаем часть кривой 2, относящуюся к значению поля $H=0$. Если образец отогреть до нормального состояния и начать цикл в обратном направлении, то кривая 1 смещается влево на величину захваченного поля и наблюдается только часть кривой 1, относящаяся к значению поля $H > 0$. При этом кривая 2 наблюдается полностью. Обе картины являются зеркальным отображением одна другой.

Таким образом, наблюдаемая на эксперименте сильная нелинейность на низких частотах керамик $Y-Ba-Cu-O$ в сверхпроводящем состоянии указывает на значительную роль низкочастотных процессов с частотой $\nu \leq 100$ кГц. Процессы такой низкой частоты могут быть связаны с изменением доменной структуры или изменением джозефсоновского поведения образцов. Показано также, что захваченный магнитный поток, зависящий от предыстории образца, существенно влияет на характеристики сигнала при низких частотах.

- [1] Головашкин А. И., Иваненко О. М., Мпцен К. В., Хроменко Н. Е. // Препринт ФИАН, № 298. М., 1987.
 [2] Пал Л., Тарноца Т. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1957. Т. 21. № 8. С. 1055—1063.

Физический институт
 им. П. Н. Лебедева АН СССР
 Москва

Поступило в Редакцию
 3 августа 1988 г.

УДК 534.143 : 548.732

Физика твердого тела, том 31, в. 4, 1989

Solid State Physics, vol. 31, № 4, 1989

МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИЕ РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В РАССЕЯНИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

В. В. Квардаков, В. А. Соменков

Известно, что при взаимодействии излучения с совершенными кристаллами, в которых возбуждаются упругие колебания, могут возникать нетривиальные резонансные явления, такие как рентгеноакустический резонанс [1], когда длина звуковой волны совпадает с длиной экстинкции, или резонансные эффекты, связанные с возбуждением собственных колебаний кристалла и обусловленные локальным нарушением совершенства [2].

Известно, что тонкие кристаллы слабого ферромагнетика FeVO_3 могут быть достаточно совершенными для наблюдения свойственных совершенным кристаллам динамических эффектов в рассеянии рентгеновских лучей [3] и нейтронов [4]. Такие кристаллы способны перемагничиваться с частотами до 1 ГГц в магнитных полях порядка нескольких А/см [5]. При этом в них возникают связанные магнитоупругие колебания [6], которые могут быть нелинейными, так как нелинейность, вносимая магнитной подсистемой в упругую, в этих кристаллах очень велика [7]. В связи с этим цель данной работы заключалась в том, чтобы выяснить, какое влияние оказывает высокочастотное перемагничивание на рассеяние рентгеновских лучей совершенным кристаллом FeVO_3 .

Эксперименты проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН с использованием CuK_α излучения. Исследуемый кристалл FeVO_3 имел высокую степень совершенства (ранее в нем наблюдались динамические эффекты в ядерном и магнитном рассеянии нейтронов [4]) и представлял собою пластинку неправильной формы с поперечными размерами $\sim 4 \times 7$ мм и толщиной ~ 70 мкм. Плоскость пластинки совпадала с плоскостью легкого намагничивания (111). 180° -перемагничивание осуществляли в диапазоне частот 0.1—1 МГц с помощью гармонически меняющегося магнитного поля, создаваемого в медной катушке, в которую помещали образец. Напряженность магнитного поля регулировалась путем изменения силы тока, протекающего через катушку, и могла достигать 50 А/см.

В результате экспериментов установлено, что на зависимости интенсивности рассеяния рентгеновских лучей от частоты перемагничивания существуют резонансные пики специфической формы — скачкообразное уменьшение интенсивности при превышении частоты некоторого порогового значения (рис. 1). Одна из групп пиков расположена в районе частоты $f_0 \sim 680$ кГц, а другие — в районе частот, меньших ее в целое число N раз. Величины наблюдаемых пиков различаются для разных рефлексов: для лауэвских отражений (200), (110) они составляют $\sim 15\%$, а для брэгговского (222) — 1.5% .

Была осуществлена амплитудная модуляция высокочастотного напряжения, питающего катушку, прямоугольными импульсами (рис. 2) и