

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 538.945 : 534.222.2

© 1993

ВЛИЯНИЕ МИКРОТРЕЩИН НА ЛИНЕЙНЫЕ
И НЕЛИНЕЙНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВТСП КЕРАМИКИ
НА ОСНОВЕ ВИСМУТА

*И. Э. Декало, В. В. Палачев, О. Ю. Сердобольская,
С. П. Токмакова, И. А. Чабан, В. П. Шабатин*

Сверхпроводящие свойства керамики ВТСП, в частности критические токи, во многом определяются ее структурой — пористостью, состоянием межзеренных контактов, трещиноватостью. Структура керамики оказывает также существенное влияние на величину и температурное поведение ее акустических характеристик. Сопоставление данных сверхпроводящих и акустических измерений может способствовать выяснению роли дефектов, трещин и других структурных факторов, а также нахождению оптимального режима технологического процесса изготовления ВТСП для получения максимальных критических токов. В настоящей работе методами линейной и нелинейной акустики исследована керамика ВТСП на основе висмута, изготовленная по криохимической технологии [1]. Акустические измерения проводились в импульсном режиме на частоте 6—12 МГц. В [2] отмечено влияние режимов охлаждения образцов после отжига на их сверхпроводящие и линейные акустические свойства. В настоящей работе были исследованы образцы, изготовленные при различных скоростях охлаждения.

Состав образцов соответствовал формуле $\text{Bi}_{3.5}\text{Pb}_{0.5}\text{Sr}_4\text{Ca}_5\text{Cu}_7\text{O}_x$. Два образца отжигались при температуре 830 °С и отличались режимом охлаждения. Так, образец № 1 охлаждался в течение 15 ч до комнатной температуры, а образец № 2 охлаждался закалкой в жидком азоте. Характеристики их отличались друг от друга. Для образца № 1 плотность критического тока составляла 57 А/см², для образца № 2 — 1 А/см², некоторые отличия наблюдались в резистивных кривых (рис. 1, 2). Так, при комнатной температуре электрическое сопротивление в закаленном образце № 2 было выше, чем в незакаленном образце № 1. Температура, соответствующая нулевому сопротивлению, была ниже у образца № 2 почти на 10° по сравнению с образцом № 1.

Плотность и скорость продольной звуковой волны в обоих образцах оказались одинаковыми с точностью до погрешности измерений: $\rho = 3.44$ г/см³, $v_l = 1.7 \times 10^3$ м/с. Это показывает, что, с одной стороны, режим охлаждения не влияет существенным образом на изменение объема и пористость, а с другой стороны, сильного растрескивания при закалке, по-видимому, тоже не происходит, так как скорость звука практически не изменяется. Следует отметить, что малая

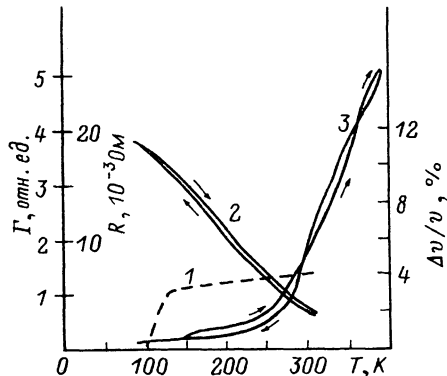


Рис. 1. Температурная зависимость электрического сопротивления R (1), относительного изменения скорости продольной звуковой волны $\Delta v/v$ (2), нелинейного акустического параметра Γ (3) в образце № 1.

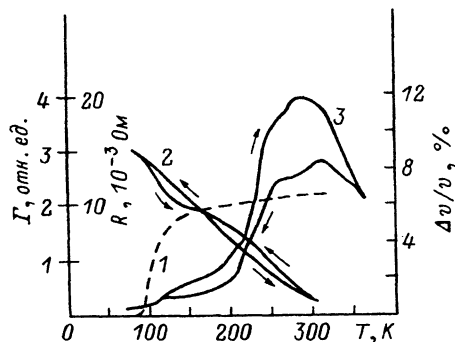


Рис. 2. Температурная зависимость электрического сопротивления R (1), относительного изменения скорости продольной звуковой волны $\Delta v/v$ (2), нелинейного акустического параметра Γ (3) в образце № 2.

величина скорости звука обусловлена большой пористостью образцов порядка 47 %.

Некоторое различие наблюдалось в температурной зависимости акустических характеристик закаленного и незакаленного образцов. Данные по скорости звука представлены на рис. 1 для образца № 1 и на рис. 2 для образца № 2 (кривые 2). Видно, что закалка приводит к возникновению небольшого гистерезиса, обусловленного, по-видимому, образованием при закалке микротрещин на границах кристаллитов и миграцией кислорода из трещин.

Микротрещины и выход кислорода из них могут существенным образом уменьшить число сверхпроводящих контактов и эффективную проводимость, что подтверждается вышеприведенными данными по сверхпроводящим свойствам исследуемых образцов.

По нелинейным акустическим измерениям данные для образцов № 1 и 2 отличаются более сильно. Нами измерялось отношение амплитуды первого импульса второй гармоники на частоте 12 МГц акустической волны к квадрату амплитуды первого импульса основной частоты 6 МГц. Измерение производилось одновременно по двум каналам. Это отношение при условии малого затухания звука на длине образца ($al \ll 1$) позволяет получить относительное изменение с температурой нелинейного акустического параметра Γ — эффективной упругой нелинейности материала. Как видно из приведенных кривых, для закаленного образца наблюдается значительный гистерезис нелинейной упругости, хотя небольшой гистерезис наблюдается и для образца № 1. Существенно различное поведение имеет место при высоких температурах: в образце № 1 для температуры выше комнатной нелинейность при нагревании увеличивалась, для образца № 2 — уменьшалась. Сильное уменьшение акустической нелинейности при низких температурах соответствует неоднократно наблюдавшемуся уменьшению поглощения звука.

Приведенные результаты показывают, что акустическая нелинейность чувствительна к изменению структуры ВТСП керамики. Методы нелинейной акустики могут быть использованы для изучения других керамических материалов, тем более что в настоящее время достигнуты определенные успехи в нелинейной теории упругости неоднородных твердых сред.

- [1] Шабатин В. П., Третьяков Ю. Д. Химия низких температур и криохимическая технология. М.: МГУ, 1990. С. 106—115.
 [2] Fanggao C., Cankurtaran M., Sauders G. A., Almond D. P., Ford P. I., Kheffaji A. Al. // Supercond. Sci. Technol. 1990. V. 3. N 11. P. 546—555.

Московский государственный университет
им. М. В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
3 марта 1992 г.

УДК 621.315.592

© Физика твердого тела, том 35, № 2, 1993
Solid state Physics, vol. 35, N 2, 1993

САМОИНДУЦИРОВАННАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ В ПРОВОДНИКАХ С НЕАДДИТИВНЫМ ЗАКОНОМ ДИСПЕРСИИ

Г. М. Шмелев, Э. М. Эпштейн

Самоиндуцированная прозрачность (СИП) — один из характерных нелинейных эффектов, возникающих в проводниках с непараболическим законом дисперсии носителей в сильных ВЧ полях. В условиях СИП из-за фазового перемешивания движений электронов ВЧ ток исчезает и проводник ведет себя как линейный диэлектрик [1]. В работе [2] данный эффект был предсказан для одномерной полупроводниковой сверхрешетки (СР), помещенной в монохроматическое электрическое поле $F(t) = F_0 \cos \omega t$, параллельное оси СР ($\omega \tau \gg 1$, τ — время свободного пробега электрона). Формальной причиной СИП в этих материалах является обращение в нуль плотности ВЧ тока в нулях функции Бесселя $J_0(F)$

$$j_x = j_0 J_0(F) \sin(F \sin \omega t). \quad (1)$$

Здесь $j_0 = \text{const}$; $F = F_0/F_c$; F_c — характерное поле, при котором ток в СР становится существенно нелинейным; OX — ось СР.

Как и в большинстве работ по кинетике одномерных СР, энергетический спектр электронов в [2] предполагался аддитивным

$$\varepsilon(p) = \varepsilon_1(p_x) + \varepsilon_2(p_y) + \varepsilon_3(p_z).$$

Между тем неаддитивность $\varepsilon(p)$ может привести либо к модификации известных [3], либо к появлению новых эффектов [4]. Здесь мы покажем, что в материалах с неаддитивным непараболическим законом дисперсии явление СИП приобретает особенности, отсутствующие в рассмотренном в [2] случае. Для определенности возьмем закон дисперсии электронов применительно к ОЦК решетке в приближении сильной связи [5]

$$\varepsilon(p) = \varepsilon_0 - \frac{\Delta}{2} \cos \frac{ap_x}{2} \cos \frac{ap_y}{2} \cos \frac{ap_z}{2}. \quad (2)$$

Здесь Δ — ширина зоны проводимости, a — постоянная решетки, p — квазиимпульс электрона, $\hbar = 1$; оси координат совпадают с главными осями кристаллической решетки. Считаем далее, что вектор F_0 лежит в одной из координатных плоскостей (XOY). Соответственно сформулированной постановке задачи излагаемые ниже результаты относятся в том числе к трехмерным СР (примером могут служить