

Л и т е р а т у р а

- [1] Моисеев С.С., Сагдеев Р.З. // ДАН СССР. 1962. Т. 142. № 2. С. 329-332.
- [2] Михайловский А.Б., Кудашев В.Р., Сурамлишвили Г.И. // ЖЭТФ. 1983. Т. 84. В. 5. С. 1712-1724.
- [3] Алиев Ю.М., Быченко В.Ю. // ЖЭТФ. 1979. Т. 76. В. 5. С. 1586-1592.
- [4] Бельков С.А., Цытович В.Н. // ЖЭТФ. 1979. Т. 76. В. 4. С. 1293-1302.
- [5] Kato K.J. // Phys. Soc. Japan, 1982. V. 51, N 6. P. 1965-1968.
- [6] Каменец Ф.Ф., Кудашев В.Р., Сурамлишвили Г.И. // Письма в ЖТФ. 1987. Т. 13. В. 19. С. 1190-1193.

Институт физики
АН Грузинской ССР,
Тбилиси

Поступило в Редакцию
5 ноября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 1
05.4; 08

12 января 1989 г.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПАВ В СЛОИСТОЙ СТРУКТУРЕ. СВЕРХПРОВОДЯЩАЯ ПЛЕНКА $YBaCuO-LiNbO_3$

Е.В. Балашова, В.В. Леманов,
Ф.А. Чудновский, Э.М. Шер,
А.Б. Шерман, Л.М. Эмирян, А.Н. Януга

Поверхностные акустические волны (ПАВ) являются удобным инструментом для исследования акустических, структурных и электрических параметров твердого слоя на твердотельной подложке. Мы использовали ПАВ для изучения акустических свойств высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) пленок $YBaCuO$. Полученные данные позволили сопоставить акустические свойства ВТСП пленок и керамики и получить информацию о наиболее характерных особенностях этих свойств.

Пленки были получены методом лазерного напыления с последующим отжигом в атмосфере кислорода. Средняя толщина пленок составляла 7 мкм. В соответствии с результатами рентгеноструктурного и электронномикроскопического анализов пленки имели поликристаллическую структуру со средним размером зерна 3 мкм. В качестве подложек использовались пластины ниобата лития YZ -среза. Затухание ПАВ в исследуемой структуре $YBaCuO-LiNbO_3$ измерялось методом сравнения амплитуд сигналов ПАВ на двух выходных встречно-штыревых преобразователях, расположенных до и после пленки.

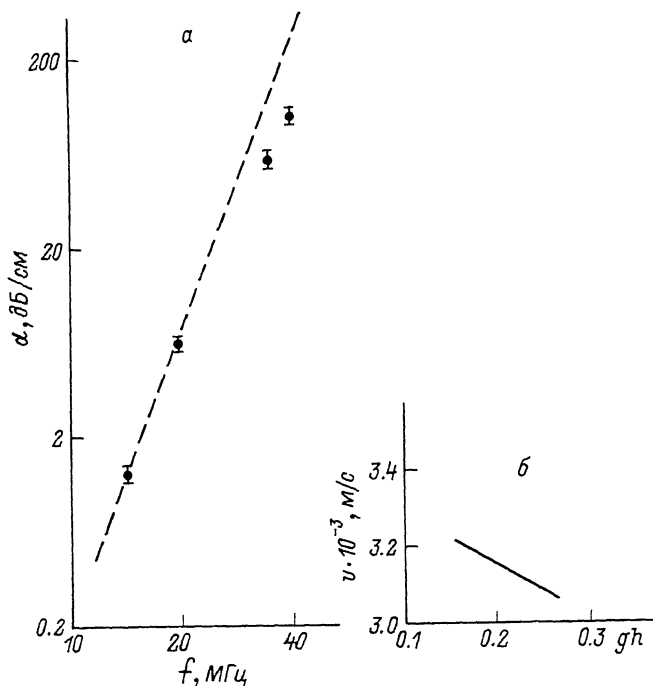


Рис. 1. Частотная зависимость затухания (а) и скорости (б) ПАВ при комнатной температуре. Пунктирная кривая проведена в предположении частотной зависимости затухания вида $\alpha \sim f^5$.

Измерялись температурные и частотные зависимости затухания и фазовой скорости ПАВ. Скорость ПАВ измерялась методом нулевых биений сигнала с выходного преобразователя и опорного электромагнитного сигнала по методике, описанной в [1]. Скорость изменения температуры при измерении температурных зависимостей не превышала 1 К/мин.

На рис. 1 представлена частотная зависимость затухания ПАВ при комнатной температуре. На начальном участке эта зависимость близка к виду $\alpha \sim f^5$. С ростом частоты f показатель степени уменьшается. На частотах выше 40 МГц измерения затруднены в связи с очень сильным затуханием ПАВ.

Как известно, частотная зависимость затухания ПАВ вида $\alpha \sim f^5$ может быть обусловлена процессом релеевского рассеяния ПАВ на пространственных неоднородностях, соответствующих изменению модуля упругости, или на шероховатостях поверхности пленки [2, 3]. В случае пространственной неоднородности упругих свойств в пленке величина рассеяния ПАВ в релеевском пределе ($q\alpha \ll 1$, q - волновой вектор ПАВ, α - характерный период неоднородности) может быть грубо оценена на основе выражения, полученного

для поликристаллических материалов с кубической симметрией кристаллитов [4, 5]:

$$\alpha \approx 1/250 (\Delta c/c)^2 (qd/\sqrt{2})^4 [(v_s/v_l)^5 + 3] qh/d, \quad (1)$$

где $\Delta c/c$ - отношение среднеквадратичного отклонения модуля упругости к его среднему значению, h - толщина пленки, а v_s/v_l - отношение скоростей сдвиговой и продольной объемных акустических волн в материале пленки (по литературным данным [6] для керамики γBaCuO $v_s/v_l \approx 0.6$).

Оценку величины d можно получить, воспользовавшись тем фактом, что в области частот, соответствующей переходу от релеевского ($\alpha \sim f^5$) к стохастическому ($\alpha \sim f^2$) режиму рассеяния $qd \approx 1$. Полученные нами данные (рис. 1, а) указывают на то, что в нашем случае переходная область охватывает диапазон частот вблизи 40 МГц. Отсюда получаем характерный период неоднородности $d \approx 20$ мкм. Тогда из выражения (1) можно получить величину затухания, совпадающую с экспериментом, если положить $\Delta c/c \approx 1$. Столь сильное изменение модуля упругости, обусловленное неоднородностями пленки, может быть связано только с существованием в ней пор. Рассеяние ПАВ на шероховатостях поверхности пленки, как показывают оценки [3], пренебрежимо мало. Таким образом, затухание ПАВ обусловлено рассеянием на скоплениях зерен, образующих неоднородности с размерами $d \approx 20$ мкм, которые разделены между собой порами. Качественно такой вывод подтверждают и прямые наблюдения микроструктуры пленки.

Используя полученные экспериментальные результаты, можно оценить затухание объемной сдвиговой волны $\alpha_v (\alpha_v \approx \alpha/qh)$. Так, на частоте 15 МГц затухание сдвиговой волны $\alpha_v = 6$ дБ/см. Результаты большинства акустических экспериментальных работ указывают на существенно большие значения затухания сдвиговой волны в керамике. Однако при сравнении наших данных с результатами затухания акустических волн, полученными для достаточно плотной керамики [6], наблюдается хорошее согласие.

Мы исследовали также дисперсию фазовой скорости ПАВ (рис. 1, б). Эта дисперсия рассчитывалась из экспериментальной зависимости частоты нулевых биений [1]. Как видно из рисунка, пленка γBaCuO замедляет поверхностную волну. Полученные данные позволили в соответствии с [7] рассчитать значения скоростей сдвиговой и продольной акустических волн в материале пленки. Используя значения плотности пленки 6.1 г/см^3 (95% от рентгеновской плотности) и значение $v_s/v_l = 0.6$, получаем $v_s \approx 2.8 \cdot 10^3$, $v_l \approx 4.8 \cdot 10^3$ м/с. Такие значения скоростей хорошо согласуются с данными, полученными для плотной керамики [6].

Были получены температурные зависимости скорости и затухания ПАВ на частоте 30 МГц (рис. 2). Поскольку скорость ПАВ для используемого среза ниобата лития обладает „самостоятельной“ температурной зависимостью, вклад пленки в температурную зависимость скорости ПАВ в структуре можно представить в виде разности

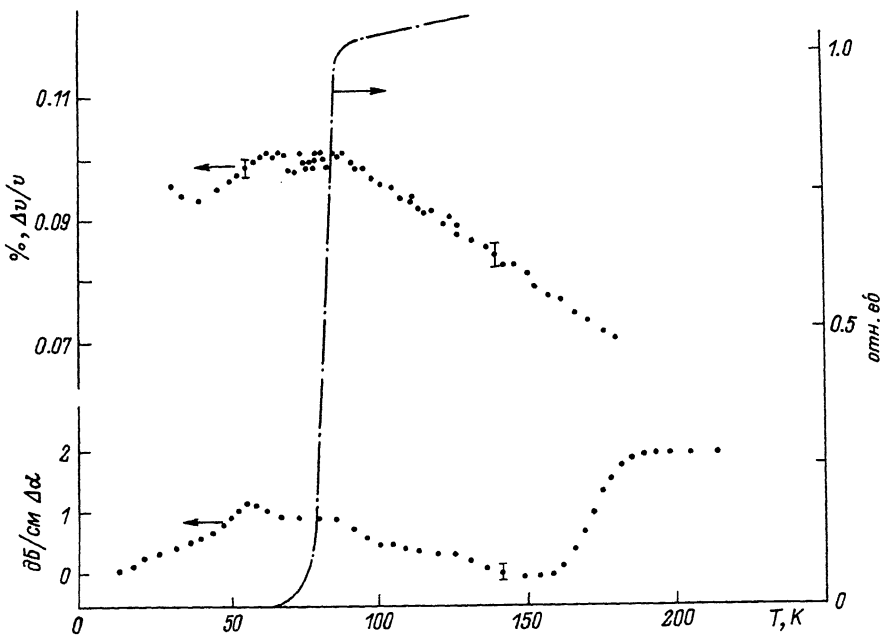


Рис. 2. Температурные зависимости относительной скорости и затухания ПАВ в исследуемой структуре, обусловленные вкладом пленки. $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta V}{V}$ структуры - $\frac{\Delta V}{V_{LiNbO_3}}$. Штрих-пунктирной кривой показана температурная зависимость сопротивления пленки.

между экспериментальными значениями скорости, полученными для подложки ниобата лития с пленкой и для той же подложки без пленки. На этом же рисунке показана температурная зависимость затухания волны в исследуемой структуре. Поскольку затухание ПАВ в ниобате лития на указанной выше частоте пренебрежимо мало, представленная температурная зависимость также отражает вклад пленки. Видно, что скорость звука нарастает с понижением температуры до ~ 80 К, после чего выходит практически на плато и затем падает. Температурно независимый участок совпадает с областью перехода пленки в сверхпроводящее состояние. На температурной зависимости затухания имеется размытый максимум со средней температурой ~ 75 К. Следует отметить, что общий характер изменения скорости находится в согласии с результатами ряда работ по сверхпроводящей керамике [6, 8, 9]. Объяснение такого характера температурных зависимостей скорости и затухания требуют проведения дальнейших исследований.

Авторы благодарны В.Н. Андрееву и С.Л. Шохору за измерения электрических параметров пленок, а также И.Л. Шульпиной за проведение рентгеноструктурных исследований.

Л и т е р а т у р а

- [1] S m i t h W.R., R e e d e r T.M., C o l l i n s et al. // IEEE Trans.MTT.1969.V.17.N 11.P.1043-1044.
- [2] N a r i t a M., S a k u m a T., N a k a g a m a T. // J. Appl. Phys. 1987. V. 49. N 11. P.5507-5516.
- [3] E q u i l u s A.G., M a r a d u d i n A.A. // Phys. Rev. B. 1983. V. 28. N 2. P. 728-747.
- [4] S t a n k e F.E., K i n o G.S. // J. Acoust. Soc. Am. 1987. V. 75. N 3. P. 665-681.
- [5] Б а л а ш о в а Е.В., Л е м а н о в В.В., Ш е р м а н А.Б., Т и х о д е е в Ю.С. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 6. С. 321-325.
- [6] E w e r t S., G u o S., L e m m e u s P. et al. // Sol. St. Comm. 1987. V. 64. N 8. P. 1153-1156.
- [7] Поверхностные акустические волны / Под ред. А. Олинера, 1981, М.: Мир, с. 390.
- [8] H o r i e Y., F u k a m i T., M o s e S. et al. Sol. St. Comm. 1987. V. 64. N 4. P. 501-504.
- [9] Г о л о в а ш к и н А.И., Д а н и л о в В.А., И в а н е н к о О.М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. В. 7. С. 273-275.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию
17 ноября 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 1
05.1; 05.2; 06.2; 11

12 января 1989 г.

ТЕНЗОЭЛЕКТРОЭМИССИОННЫЙ ЭФФЕКТ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ

В.Т. С о т н и к о в, В.А. Г р и ц а н,
А.А. Н е ч е п о р е н к о

В основе известного тензоэлектрического эффекта в полупроводниках лежит взаимодействие между внутренними упругими напряжениями (ВУН) и электрическим сопротивлением, однако об изменении при этом эмиссионных свойств ранее не сообщалось. В данной работе