

ные возрастанием энергии нормальных возбуждений при движении вихрей [9]. Это дает возможность использовать квазилинейный подход. Рассматриваемый эффект может в принципе быть использован для создания устройств обработки информации на МСВ: конвольверов, датчиков и др.

Авторы благодарят П.Е. Зильбермана за полезное участие в обсуждении работы.

### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Попков А.Ф. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 14. С. 9-14.
- [2] Попков А.Ф. // ЖТФ. 1989. Т. 59. В. 9. С. 112-117.
- [3] Анфиногенов В.Б. и др. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 14. С. 24-28.
- [4] Анфиногенов В.Б. и др. // Сверхпроводимость: физика, химия, техника. 1989. Т. 2. В. 12. С. 5-14.
- [5] Лебедь Б.М., Яковлев С.В. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. В. 19. С. 27-29.
- [6] Вашковский А.В. и др. // ФТТ. 1975. Т. 17. В. 11. С. 3395-3398.
- [7] Медников А.М. и др. // ФТТ. 1981. Т. 23. В. 7. С. 2116-2120.
- [8] Weinreich G. // Phys. Rev. 1957. V. 107. N 1. P. 317-318.
- [9] Larkin A.I., Ovchinnikov // Nonequilibrium Superconductivity, ed. by D.N. Langenberg and A.I. Larkin, North-Holland, Amsterdam, 1986. P. 493-542.

Поступило в Редакцию  
28 февраля 1990 г.  
В окончательной редакции  
23 мая 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17                      12 сентября 1990 г.

08

© 1990

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПАВ СТОУНЛИ НА ГРАНИЦЕ ТВЕРДОЕ ТЕЛО-ЖИДКОСТЬ

С.Н. Гужев, Р.Г. Маев

В работе [1] для генерации и приема поверхностных акустических волн (ПАВ) Стоунли (или Шолте) на границе твердого тела и жидкости было предложено использовать встречно-штыревые

преобразователи (ВШП). Там же, а также в [2], было установлено, что при возбуждении этих волн существенное значение имеет соотношение скоростей звука в граничных средах. Было показано, что для эффективной генерации волн Стоунли необходимо, чтобы скорость звука в жидкости  $U_{ж}$  была близка или больше скорости рэлеевских волн на свободной поверхности твердой среды. Генерация волн Стоунли посредством ВШП была экспериментально реализована в системе германат висмута-вода [1]. В этой системе скорость рэлеевских волн в пьезокристалле германат висмута  $Bi_{12}GeO_{20}$  ( $BGO$ ) вдоль направления  $(001) [110]$   $U_R = 1680$  м/с достаточно близка к скорости продольного звука в воде  $U_{ж} = 1484$  м/с. Предложенный метод возбуждения дает возможность исследовать зависимость характеристик волн Стоунли, в частности скорости распространения, от скорости звука в жидкости в широком диапазоне значений, когда  $U_{ж}$  приближается к  $U_R$  и даже превосходит ее. В нижеследующем эксперименте в качестве жидких сред с различными величинами скорости звука были использованы водные растворы глицерина, которые представляют интерес именно в системе с германатом висмута, поскольку при изменении содержания глицерина от 0 до 100% скорость продольных волн в растворе последовательно увеличивается от 1484 м/с до 1913 м/с и становится больше скорости рэлеевских волн в  $BGO$  начиная с концентрации  $\sim 40\%$ .

Известно, что скорость ПАВ на границе изотропное твердое тело-жидкость определяется решением характеристического уравнения вида [3]:

$$4\left(1 - \frac{v^2}{v_l^2}\right)^{1/2} \left(1 - \frac{v^2}{v_t^2}\right)^{1/2} - \left(2 - \frac{v^2}{v_t^2}\right)^2 = \frac{\rho_{ж}}{\rho} \frac{v^4}{v_t^4} \left(1 - \frac{v^2}{v_l^2}\right)^{1/2} \left(1 - \frac{v^2}{v_{ж}^2}\right)^{-1/2}, \quad (1)$$

где  $v_l$  и  $v_t$  - скорости продольных и поперечных волн в твердом теле,  $\rho$  - его плотность,  $\rho_{ж}$  и  $v_{ж}$  - плотность и скорость звука в жидкости,  $v$  - искомая скорость ПАВ. Это уравнение имеет две ветви физически значимых решений. Одна ветвь - чисто действительная, определяет скорость волн Стоунли, существующих при любых соотношениях параметров смежных сред. Вторая - комплексная, описывает распространение вытекающей рэлеевской волны на границе раздела [4]. Воспользуемся (1) для расчета зависимости скорости волн Стоунли от скорости звука в жидкости при фиксированных параметрах твердой среды. Приняв в качестве последних параметры  $BGO$  ( $\rho = 9.3$  г/см<sup>3</sup>,  $v_t = 1820$  м/с,  $v_l = 3370$  м/с) и варьируя  $v_{ж}$  в качестве переменной, получим зависимости  $v_{St}(v_{ж})$ , показанные ниже на рис. 2. График 1 рассчитан при  $\rho_{ж} = 1$  г/см<sup>3</sup> (плотность воды), а график 2 - с учетом изменения плотности раствора при увеличении содержания глицерина, имеющего плотность 1.26 г/см<sup>3</sup>. При данной поправке график 2 достаточно точно моделирует реальную зависимость скорости волн Стоунли на границе  $BGO$ -водный раствор глицерина и может быть использован для сравнения с экспериментальными результатами.

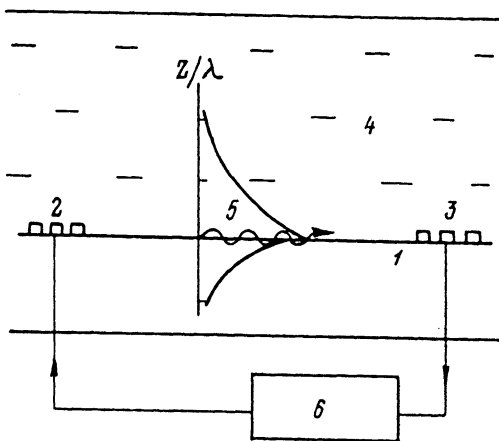


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 - пьезокристалл  $Bi_{12}GeO_{20}$ ; 2, 3 - входной и выходной ВШП; 4 - жидкость; 5 - примерная структура ПАВ Стоунли; 6 - прибор для наблюдения АЧХ.

В эксперименте использовались пластины германата висмута, на каждой из которых были сформированы группы одинаковых ВШП, образующих акустический канал. Все ВШП состояли из 30 пар электродов и имели апертуру 4 мм. Периоды решеток ВШП соответствовали длинам волн 80, 64, 60, 56, 48, 44, 36, 32 мкм. Если на поверхность пластины поместить каплю жидкости толщиной 1.5–2 мм, закрывающую входной и выходной ВШП и пространство между ними, то на границе сред появятся условия для распространения волн Стоунли (рис. 1). При подключении к источнику переменного напряжения, ВШП, находящийся в контакте с жидкостью, генерирует на частоте  $f_{st} = v_{st}/2l$  ( $l$  - период электродов в преобразователе) волну, которая детектируется выходным ВШП. В результате на АЧХ такой системы появляется пик прохождения сигнала, центральная частота которого, при известном периоде электродов в ВШП, определяет скорость распространения волны Стоунли. Таким образом, по частотам прохождения сигнала для различных растворов с заданными концентрациями глицерина (и соответственно известными  $v_{ж}$ ) можно определить динамику скорости волн Стоунли в зависимости от скорости звука в жидкой среде.

Измерения выполнялись с растворами 10-ти концентраций от 0 до 90% с интервалом 10%, скорость звука в которых была предварительно измерена при помощи интерферометра переменной длины [5], обеспечивающего точность  $\pm 2$  м/с. Для наблюдения АЧХ использовался анализатор спектра СК4-59, центральная частота пика определялась по уровню -10 дБ от максимума. Поскольку для всех структур результаты измерений скорости волн Стоунли анало-

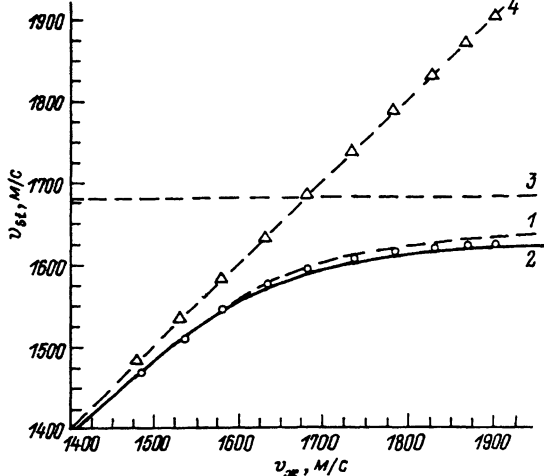


Рис. 2. Зависимость скорости ПАВ Стоунли  $U_{St}$  от скорости звука в жидкости  $U_{ж}$ : 1, 2 — теоретические зависимости  $U_{St}(U_{ж})$ , рассчитанные по уравнению (1); 3 — скорость рэлеевских волн  $U_R = 1680$  м/с; 4 — линия  $U = U_{ж}$

гичны (при максимальном различии в величинах  $U_{St}$  не более 8 м/с), приведем результаты, полученные на структуре с  $\lambda = 64$  мкм. Здесь при увеличении концентрации раствора пик прохождения волн Стоунли на АЧХ последовательно смещался от частоты 22,92 МГц до 25,34 МГц. Соответствующие величины скорости распространения волн Стоунли представлены на рис. 2 кружком. На рис. 2 показаны также скорости продольных волн в растворах (треугольники) и теоретические зависимости  $U_{St}(U_{ж})$ , рассчитанные на основе уравнения (1), (кривые 1 и 2); горизонтальной штриховой линией отмечена скорость рэлеевской волны на свободной поверхности  $BGD$ . Экспериментальные результаты хорошо соответствуют теоретической зависимости 2 и показывают, что скорости объемных волн в жидкости и волн Стоунли действительно расходятся с ростом  $U_{ж}$  таким образом, что  $U_{St}$  переходит от величин, близких к  $U_{ж}$  при  $U_{ж} < U_R$ , к величинам, близким к  $U_R$  при  $U_{ж} > U_R$ , оставаясь меньше обеих скоростей. Переход происходит вблизи  $U_{ж} \approx U_R$  в узкой области значений  $U_{ж}$ , обусловленной большим различием плотностей  $BGD$  и жидкости. В области  $U_{ж} > U_R$  реализуется новый режим распространения волн Стоунли, проявляющийся в том, что зависимость  $U_{St}$  от  $U_{ж}$  уменьшается и  $U_{St}$  практически выходит на горизонталь, то есть скорость волны Стоунли перестает зависеть от  $U_{ж}$  и определяется только отношением плотностей и упругими характеристиками твердой среды. Вместе с тем  $U_{St}$  нигде не достигает  $U_R$  и имеет в пределе  $U_{ж} \rightarrow \infty$  значение  $U_{St} = 0,98 U_R$ . Отметим также, что когда скорость в жидкой среде превосходит  $U_R$ , генерация волн Стоунли происходит весьма эффективно, так что потери на одно преобразование всего на 3–4 дБ выше аналогичной величины для рэлеевских волн на свободной поверхности  $BGD$ .

- [1] Гужев С.Н., Левин В.М., Маев Р.Г., Котелянский И.М. - ЖТФ, 1984, Т. 54. В. 7. С. 1402-1404.
- [2] Гужев С.Н., Левин В.М. - Акуст. журн., 1987, Т. 33. №4. С. 606-617.
- [3] Strick E., Ginzburg A.S. - Bull. Seism. Soc. Amer., 1956. V. 46. P. 60-67.
- [4] Ansell J.H. - Pure and Appl. Geophys., 1972. V. 94. N 2. P. 172-188.
- [5] Мэзон У. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке. М.: ИЛ, 1952.

Институт химической физики  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
22 мая 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 17

12 сентября 1990 г.

О5.1

© 1990

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ АДсорбционных СПОСОБНОСТЕЙ СТРУКТУРНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ КРИСТАЛЛОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ТОЧЕЧНЫМ ДЕФЕКТАМ

Ю.В. Трушин, А.Л. Суворов,  
Д.Е. Долин, Ю.Н. Елдышев

Эксплуатационные свойства и параметры материалов, работающих в условиях интенсивного облучения, определяются взаимодействием точечных радиационных дефектов как со структурными несовершенствами этих материалов, так и с формирующейся под облучением специфической дефектной структурой. Основными характеристиками этих взаимодействий являются адсорбционные способности структурных несовершенств. Их определение представляет собой довольно сложную проблему, которую до недавнего времени решали путем косвенной обработки экспериментальных данных по радиационному набуханию конструкционных материалов. Однако такой метод получения физических данных о поглощении точечных дефектов стоками (дислокациями, порами, преципитатами и т.д.) оказывается некорректным, поскольку он основан на модельных представлениях о физической природе изменений рассматриваемых макроскопических свойств.

В настоящей статье сообщается о предложенном авторами прямом способе определения скоростей и эффективностей поглощения точечных радиационных дефектов различными структурными стоками.