

метрический фактор, определяющий геометрию конкретного вклада  $\mu$ -й связи в нелинейную восприимчивость;  $\langle \psi_0 | e_{i,j,k} | \psi_a \rangle - i, j, k$ -е составляющие матричных элементов, вычисляемые по методике [11]. Проведенные оценки для тензора электрооптического коэффициента  $r_{33}$  дали значения порядка  $5 \cdot 10^{-15}$  м/В. Соответствующие значения, полученные из эксперимента методом Сенармона  $\lambda = 0.6328$  мкм, оказались равными  $2.1 \cdot 10^{-14}$  м/В, что можно считать неплохим результатом, учитывая простоту предложенного подхода определения нелинейных восприимчивостей.

#### Список литературы

- [1] Krogh—Moe // J. Acta Crystal. 1968. V. B24. N 1. P. 179—181.
- [2] Бурак Я. В., Довгий Я. О., Китык И. В. // ЖПС. 1989. Т. 51. № 4. С. 754—759.
- [3] Chadi D. J., Cohen M. L. // Phys. Rev. 1973. v. B8. N 11. P. 5747—5763.
- [4] Харрисон У. Электронная структура твердых тел. Физика химической связи. Т. 2. М.: Мир, 1983. 460 с.
- [5] Довгий Я. О., Китык И. В. // УФЖ. 1984. Т. 29. № 6. С. 884—888.
- [6] Довгий Я. О., Китык И. В., Рудь Н. А. // Изв. АН СССР, неорг. матер. 1985. Т. 21. № 5. С. 864—869.
- [7] Александров Ю. М., Довгий Я. О., Китык И. В., Колобанов В. Н., Махов В. Н., Михайлин В. В. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 5. С. 1565—1567.
- [8] Довгий Я. О., Заморский М. К., Китык И. В. // Препринт ФМИ АН УССР № 122. Львов, 1986. 40 с.
- [9] Ковалев О. В. Неприводимые и индуцированные представления и копредставления федоровских групп: Справочное пособие. М., 1986. 368 с.
- [10] Levine B. F. // Phys. Rev. Lett. 1969. V. 22. N 15. P. 787—790.
- [11] Moss D. J., Sipe J. E., van Driel H. M. // Phys. Rev. 1987. V. B36. N 18. P. 9708—9721.

Поступило в Редакцию  
29 декабря 1988 г.

В окончательной редакции  
11 апреля 1989 г.

## РОЛЬ МАЛОУГЛОВЫХ ГРАНИЦ В ИЗМЕНЕНИИ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛОВ $Cd_xHg_{1-x}Te$ ПОД ДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

П. И. Баранский, К. А. Мысливец, Я. М. Омих

Кристаллы  $Cd_xHg_{1-x}Te$  из-за низкого порога пластичности, определяемого характером химической связи и особенностями их дефектной структуры (включения второй фазы, дислокации, малоугловые границы (МУГ)), весьма чувствительны к деформациям [1, 2], в том числе и к динамическим воздействиям ультразвука (УЗ) [3]. Отметим, что упомянутые выше дефекты типичны для данных соединений и составляют предмет многочисленных физических исследований [4]. Обнаруженная в [5] связь характерных размеров технологических ячеек кристалла с оптимальной частотой УЗ-генерации сигналов акустической эмиссии качественно согласуется с моделью вынужденных резонансных колебаний границ субблоков структуры во внешнем УЗ-поле [6].

Целью данной работы было исследование корреляции эффективности УЗ-воздействия (в диапазоне 5—17 МГц) на электрофизические параметры  $n-Cd_xHg_{1-x}Te$  состава  $x = 0.221 \div 0.225$  с разной плотностью МУГ.

Исследованы два образца, вырезанные из разных мест одной и той же пластины с различной плотностью МУГ ( $N_{МУГ1} = 14 \div 18$  и  $N_{МУГ2} \sim \sim 87$  см<sup>-1</sup>). Измерение температурных зависимостей подвижности  $\mu_n$  и концентрации электронов  $n_0$  в интервале 4.2—100 К при значениях  $\dot{B} =$

$\approx 0.08$  Тл проводилось общепринятым трехзондовым методом эффекта Холла. УЗ-обработка осуществлялась на продольных волнах при комнатной температуре в два этапа — на частоте 5 и 17 МГц соответственно. Причем интенсивность УЗ, вводимого в исследуемые кристаллы в течение 30 мин на обеих частотах, задавали приблизительно одинаковой и равной  $(2 \div 5) \cdot 10^3$  Вт/м<sup>2</sup>. Частоты обработки  $f_1 = 5$  и  $f_2 = 17$  МГц соответствовали

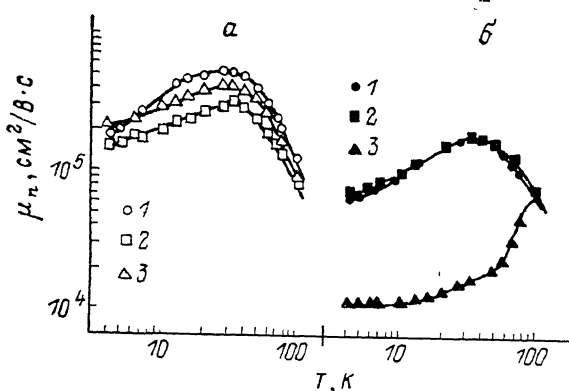


Рис. 1. Температурные зависимости подвижности электронов до (1) и после первой (2) и второй (3) УЗ-обработки образцов № 1 (а) и № 2 (б).  $f_1 = 5$  (2) и 17 МГц (3).

частотам, определяемым размерами субблочной структуры [6], т. е. резонансным частотам субблоков каждого образца  $f_6^1 = v/2 \cdot L_1 \sim 3$  и  $f_6^2 = v/2 \cdot L_2 \sim 15$  МГц, где  $v = 3.4 \cdot 10^5$  см/с — скорость звука;  $L_1 = 1/N_{\text{МУГ1}} \sim 0.06$ ,  $L_2 = 1/N_{\text{МУГ2}} \sim 0.011$  см — средние размеры субблоков исследованных образцов. Для минимизации влияния наведенной УЗ поверхностной проводимости [7] после каждого этапа УЗ-обработки (УЗО) методом химического травления удалялся поверхностный слой толщиной 20—50 мкм.

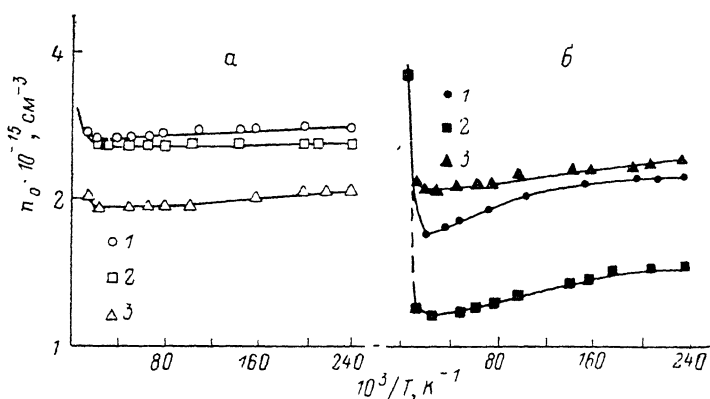


Рис. 2. Температурные зависимости концентрации электронов до и после УЗ-обработки образцов № 1 (а) и № 2 (б).

Обозначения те же, что и на рис. 1.

Результаты измерений приведены на рис. 1, 2. Значительные отличия исходных зависимостей  $\mu_n(T)$  и  $n_0(T)$  (с учетом того, что образцы вырезаны из одного слитка) определяются, естественно, в первую очередь различием их дефектно-дислокационной структуры. Увеличение  $N_{\text{МУГ}}$  приводит к уменьшению  $\mu_n$ , хотя детали механизма этого эффекта нуждаются в дополнительном изучении. Весьма характерным для образцов с различной концентрацией МУГ является то, что для них эффективность УЗ-воздействия при выбранных режимах УЗО существенно различна. Действительно, из рис. 1, 2 видно, что в результате УЗО в первом режиме более значительные изменения (уменьшение)  $\mu_n$  произошли в образце № 1,

для которого данная частота УЗО является близкой к резонансной ( $f_1^1$ ). С другой стороны, повторная УЗО (т. е. УЗО на частоте  $f_2=17$  МГц, которая близка к  $f_2^2$ ) обусловила весьма сильное уменьшение подвижности в образце № 2, в то время как в образце № 1 изменение величины  $\mu_n$  оказалось невелико и даже другого знака (кривая 3 на рис. 1, а располагается выше кривой 2).

Данные результаты позволяют заключить, что эффективность УЗО определяется не только величиной вводимой УЗ-энергии, но и особенностями УЗ-взаимодействия с дефектной структурой исследованных кристаллов. В зависимости от удельной величины поглощаемой УЗ-энергии реализуются различные механизмы такого взаимодействия: при низких интенсивностях — это релаксация внутренних напряжений в объеме матрицы и, возможно, частичный «распад» (уменьшение размеров) включений, а также геттерирование дефектов на стоки [8]. В случае «нерезонансного» УЗ-воздействия для обоих образцов (кривые 3 на рис. 1, а и 2, а; кривые 2 на рис. 1, б и 2, б) уменьшение  $n_0=N_d-N_a$  и увеличение  $\mu_n$  можно связать с геттерированием донорных примесных атомов на дислокации и границы субблоков с последующей их деионизацией, обеспечивающей уменьшение числа рассеивающих центров. При этом в образце № 2 (с большей плотностью МУГ) уменьшение электронной концентрации более значительно, чем в образце № 1, что может быть связано не только с различной эффективностью УЗО, но и с отличием их исходных концентраций  $n_0$ . При некоторых сверхпороговых интенсивностях поглощаемого звука возможен процесс активной генерации дефектов [9], в том числе и дислокаций, что должно с неизбежностью приводить к понижению подвижности [4]. В зависимости от типа вводимых дефектов этот процесс будет сопровождаться возрастанием или уменьшением концентрации свободных носителей заряда. В случае «резонансных» УЗ-воздействий (кривые 2 на рис. 1, а и 2, а; кривые 3 на рис. 1, б и 2, б), когда амплитуда колебаний МУГ значительна, а значит, велики акустические потери, улучшаются условия теплообмена между МУГ и объемом субблоков, что ведет к увеличению скорости диффузионных процессов в этих областях кристалла. Из эксперимента видно, что в этом случае преобладает процесс генерации электрически активных дефектов, причем различного типа для образцов № 1 и 2. Однако подвижность электронов как в образце № 1, так и в образце № 2 ведет себя одинаково — падает из-за роста числа рассеивающих центров. Таким образом, эффекты изменения электрофизических параметров в результате «резонансного» УЗ-воздействия значительнее в образце с большей плотностью МУГ, поскольку удельный объем кристалла, подверженный УЗ-активации, также значительно больше. Безусловно, более определенное понимание механизма УЗ-воздействия на дефектную структуру кристаллов  $Cd_xHg_{1-x}Te$  потребует дальнейших исследований.

Авторы выражают искреннюю благодарность Г. А. Шепельскому за полезное обсуждение работы.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Баранский П. И., Гаврилюк Ю. Н., Елизаров А. И., Кулик В. А. // ФТП. 1977. Т. 11. № 8. С. 1560—1564.
- [2] Гасан-заде С. Г., Зяиченко Э. А., Сальков Е. А., Шепельский Г. А. // Материалы Всес. семинара по проблеме «Физика и химия полупроводников. Примеси и дефекты в узкозонных полупроводниках». Павлодар, 1987. С. 179—182.
- [3] Любченко А. В., Олих Я. М. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 8. С. 2505—2507.
- [4] Dornhaus B. R., Nimitz G. // The properties and applications of the  $Hg_{1-x}Cd_xTe$  alloy system. Narrow-Gap. Sem. Berlin, 1985. P. 199—231.
- [5] Калитенко В. А., Олих Я. М., Перга В. М. // УФЖ. 1988. Т. 33. № 5. С. 788—790.
- [6] Олих Я. М., Сальков Е. А., Курбанов К. Р. // ФТП. 1985. Т. 19. № 4. С. 762—765.
- [7] Баранский П. И., Городничий О. П., Олих Я. М. и др. // ФТП. 1986. Т. 20. № 6. С. 1104—1106.

[8] Здебский А. П., Остапенко С. С., Савчук А. У., Шейнкман М. К. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. № 20. С. 1243—1247.

[9] Островский П. В. // Письма в ЖЭТФ. 1981. Т. 34. № 8. С. 467—471.

Институт полупроводников АН УССР  
Киев

Поступило в Редакцию  
9 января 1989 г.  
В окончательной редакции  
1 апреля 1989 г.

УДК 537.312.62

Физика твердого тела, том 31, в. 9, 1989  
Solid State Physics, vol. 31, N 9, 1989

## ПРОНИКНОВЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СВЕРХПРОВОДНИК $YBa_2Cu_3O_{7+\delta}$

И. М. Шушлебин, В. Е. Милошенко, М. Н. Золотухин

Известно, что в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП), находящихся во внешнем магнитном поле  $B_e > B_{k1}$ , магнитный поток существует в виде вихрей [1, 2]. Однако процесс проникновения вихрей пока не ясен.

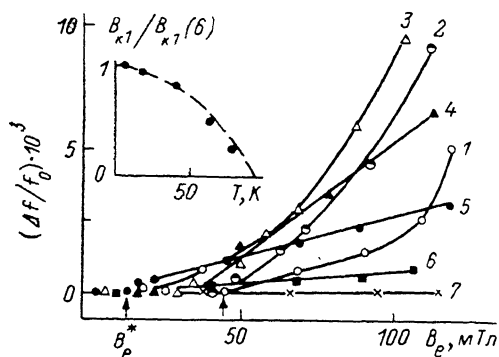


Рис. 1. Влияние температуры на изменение частоты колебаний пластин  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$  в магнитном поле.

$T, K$ : 6 (1), 20 (2), 40 (3), 60 (4), 80 (5), 83 (6), 110 (7).  
 $f_0 = 200$  Гц. На вставке — зависимость  $B_{k1}(T)/B_{k1}$  (6). Штриховая линия — функция  $1 - (T/T_k)^2$ , где  $T_k = 90$  К.

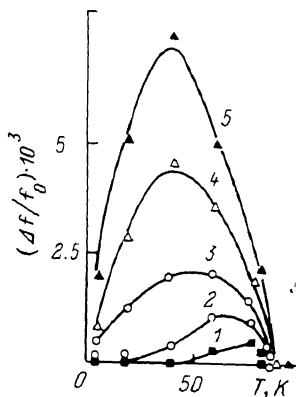


Рис. 2. Влияние магнитного поля на изменение частоты колебаний пластин  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$  с температурой.

$B_e, мТл$ : 20 (1), 40 (2), 60 (3), 80 (4), 100 (5).

В металлических же сверхпроводниках (СП) проникновение вихрей в их объем приводит к росту собственной частоты  $f$  колебаний СП и избыточной диссипации энергии этих колебаний  $Q^{-1}$  [3, 4], что позволило использовать механический метод для исследования проникновения поля в СП [5]. Особенности в изменении  $f$  и  $Q^{-1}$  отмечались и в ВТСП на основе лантана [6] и иттрия [7].

В данной работе представлены результаты изучения проникновения поля в  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7+\delta}$  механическим методом в звуковом диапазоне частот [8]. Образцы в виде пластинок с характерными размерами  $3 \times 1 \times 0.3$  мм крепились на свободном конце несущей консоли из бронзы или инбия, совершающей изгибные колебания. Внешнее магнитное поле  $B_e$ , созданное магнитом типа ФЛ-1, направлялось по нормали к большей