

параметров межатомного взаимодействия понижает эту частоту, приводя к неустойчивости модельной системы.

В работах [2, 11-13] проведены исследования по изучению сдвига частот КРС при замене в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  изотопа  $^{16}\text{O}$  на  $^{18}\text{O}$ . Результаты работ [11-13] совместно с результатами наших расчетов приведены в таблице. Видно, что как эксперимент, так и расчет дают наибольший изотопический сдвиг для наиболее высоких частот, связанных с колебаниями атомов кислорода. Различия в численных значениях величины изотопического сдвига в [11, 12] могут быть связаны, по нашему мнению, с неполным замещением  $^{16}\text{O}$  на  $^{18}\text{O}$  в экспериментах. Действительно, результаты работы [13], в которой синтез  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  проводился в атмосфере  $^{18}\text{O}$ , практически совпадают с нашими расчетами.

Таким образом, нами разработана простая ионная модель межатомных взаимодействий в кристалле  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , позволяющая описывать динамические свойства этой системы. Дальнейшее развитие модели с учетом металлической и ковалентной связи позволит оценить применимость традиционного механизма сверхпроводимости к ВТСП.

Авторы благодарят Е. Г. Максимова, О. В. Долгова, Ю. А. Успенского, В. В. Пушкарёва, П. П. Парицина за полезные обсуждения работы.

### Список литературы

- [1] Cardona M., Genzel L., Liu R., Wittlin A., Mattausch H., Garcia-Alvarado F., Garcia-Gonzalez E. // Sol. St. Comm. 1987. V. 64. N 5. P. 727—732.
- [2] Баженов А. В., Гаспаров Л. В., Кулаковский В. Д., Мисочко О. В., Осипьян Ю. А., Тимофеев В. Б. // Письма в ЖЭТФ, 1988. Т. 47. № 3. С. 162—165.
- [3] Александров И. В., Быков А. Б., Гончаров А. Ф., Денисов В. Н., Маврин Б. Н., Мельников О. В., Подобедов В. Б. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 4. С. 184—187.
- [4] Мирлин Д. Н., Решина И. И. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 6. С. 315—317.
- [5] Ребане Л. А., Флмберг Т. А., Фефер Е. М., Елумберг Г. Э., Иоон Э. Р. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 7. С. 360—363.
- [6] Кулаковский В. Д., Мисочко О. В., Тимофеев В. Б., Еремец М. И., Ицкевич Е. С., Стружкин В. В. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 10. С. 536—538.
- [7] Bruesch P., Bührer W. Z. // Phys. B — Condens. Matt. 1988. V. 70. N 1. P. 1—7.
- [8] Bates F. E., Eldridge J. E. // Sol. St. Comm. 1987. V. 64. N 12. P. 1435—1439.
- [9] McMullan W. G., Gyugaj S., Irwin J. C. // Sol. St. Comm. 1988. V. 66. N 2. P. 165—169.
- [10] Гинзбург В. Л., Киржниц Д. А. // УФН. 1987. Т. 152. № 4. С. 575—582.
- [11] Batlogg B., Cava R. J., Jayaraman A., van Dover R. B., Kourouklis G. A., Sunshine S., Murphy D. W., Rupp L. W., Chen H. S., White A., Short K. T., Mujsc A. M., Rietman E. A. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. N 22. P. 2333—2336.
- [12] Katayama-Yoshida H., Hirooka T., Mascaranas A. J., Okabe Y., Takahashi T., Sasaki T., Ochiai A., Suzuki T., Pankove J. I., Ciszek T., Deb S. K. // Jap. J. Appl. Phys. 1987. V. 26. N 12. P. L2085—L2086.
- [13] Thomsen C., Mattausch H., Bauer M., Bauhofer W., Liu R., Genzel R., Cardona M. // Sol. St. Comm. 1988. V. 67. N 11. P. 1069—1072.

Институт неорганической химии  
СО АН СССР  
Новосибирск

Поступило в Редакцию  
4 ноября 1988 г.  
В окончательной редакции  
31 января 1989 г.

## ВЯЗКОЕ ТОРМОЖЕНИЕ ДИСЛОКАЦИЙ ДЕФОРМИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ NaCl

А. М. Петченко, В. И. Мозговой, А. Ф. Сиренко

Задача исследования характера зависимости коэффициента торможения дислокаций  $B$  от плотности дислокаций  $\Lambda$  представляется весьма актуальной, поскольку величина  $B$  используется для анализа механизмов, контролирующих вязкое [1], термофлуктуационное [2] движения и т. д.

Согласно теоретическим представлениям [1, 3], величина  $B$  не должна зависеть от  $\Lambda$  при невысоком уровне плотности дислокаций в кристалле ( $\Delta L^2 \ll 1$ ) и становится зависимой от нее при  $\Delta L^2 \sim 1$ , где  $L$  — средняя длина дислокационного сегмента. Эти предсказания теории подвергались экспериментальной проверке [4–6], однако убедительного согласия между теорией и экспериментом до сих пор не было достигнуто. Анализ экспериментальных данных [4–6] показал, что это могло быть обусловлено допущением некоторых погрешностей при определении  $B$ , связанных с особенностями методического характера.

В недавней работе [7] с помощью совершенных методических разработок и прецизионной экспериментальной техники удалось получить для двух образцов NaCl, отличающихся плотностью дислокаций, абсолютные значения  $B$ , практически совпадающие между собой, что свидетельствует

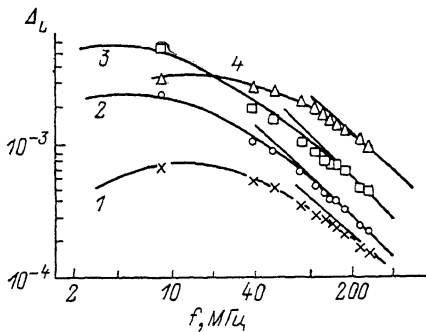


Рис. 1. Зависимость дислокационного декремента от частоты при различных деформациях.

$\epsilon$ , %: 1 — 0.15, 2 — 0.35, 3 — 0.5, 4 — 1.23. Сплошные линии — теоретические кривые [9] и их высокочастотные асимптоты.

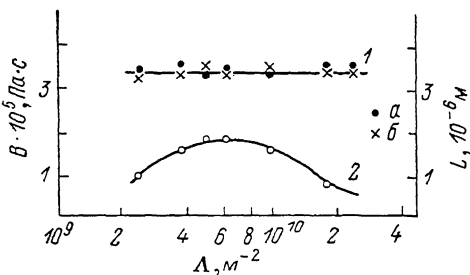


Рис. 2. Зависимости коэффициента вязкости (1), вычисленного по формулам (1) (а) и (2), (3) (б), и средней эффективной длины дислокационного сегмента (2) от плотности дислокаций.

о независимости  $B$  от  $\Lambda$ . Аналогичные результаты для  $B$  были получены на двух кристаллах сурьмы [8], которые, к сожалению, тоже не отличались большим различием в значениях  $\Lambda$ . Конечно, указанные результаты [8, 7] в плане выяснения вида функции  $B(\Lambda)$  недостаточны и носят предварительный характер. Для установления функциональной связи  $B(\Lambda)$  требуется проведение серии опытов на образцах, плотность дислокаций в которых варьировалась бы в широких пределах.

С этой целью в настоящей работе исследовано поведение задемпфированного дислокационного резонанса в кристаллах NaCl с остаточной деформацией 0.15–1.37 % при комнатной температуре в диапазоне частот 7.5–232.5 МГц. Для опытов использовались образцы ориентации  $\langle 100 \rangle$ , размером  $18 \times 18 \times 30$  мм, чистотой  $3 \cdot 10^{-4}$  вес. %, предел текучести которых при 300 К составлял 12–15 г/мм<sup>2</sup>. Сведения, касающиеся технологии приготовления образцов и их отжига, методики измерения, способа обработки полученных результатов и других экспериментальных особенностей, приведены в [7].

На рис. 1 представлены типичные кривые зависимости дислокационного декремента  $\Delta_L$  от частоты. Видно, что с увеличением деформации амплитуда резонансного максимума и его частотное положение существенно меняются. С ростом деформации резонансные кривые, увеличиваясь по амплитуде, смещаются в область низких частот. Однако начиная с деформаций  $\sim 0.9$  % указанный процесс замедляется и в дальнейшем, достигнув предельного значения, протекает в противоположном направлении. Зависимость декремента затухания  $\Delta_\infty$  от частоты для частот  $\omega \gg \omega_m$ , максимальный декремент  $\Delta_m$  и резонансная частота максимума  $\omega_m$  описываются соотношениями [9]

$$\Delta_\infty = 4\Omega G b^2 \Delta / \pi^2 B f, \quad \Delta_m = 2.2\Omega \Delta_0 \Delta L^2, \quad \omega_m = 0.084\pi^2 C / B L^2, \quad (1)-(3)$$

где  $\Omega$  — ориентационный фактор;  $G$  — модуль сдвига действующей системы скольжения;  $b$  — вектор Бюргера;  $\Lambda$  — плотность дислокаций;  $B$  — константа демпфирования;  $f = \omega/2\pi$ ;  $\Delta_0 = 8Gb^2/\pi^3C$ ;  $L$  — средняя длина дислокационной петли;  $C = 2Gb^2/\pi(1-\nu)$ ;  $\nu$  — коэффициент Пуассона. Используя измеренные величины  $G_{110} = 1.814 \cdot 10^{11}$  дин/см<sup>2</sup>,  $\nu = 0.32$ ,  $\Lambda = (2.4 \div 24.1) \cdot 10^5$  см<sup>-2</sup>, резонансные кривые (рис. 1), а также параметры  $\Omega = 0.5$  и  $b = 3.98 \cdot 10^{-8}$  см [10], по формулам (1) и (3) получили зависимости  $B(\Lambda)$  и  $L(\Lambda)$  (рис. 2). Видно, что абсолютное значение величины  $B$  при изменении плотности дислокаций на один порядок практически не меняется. Заметим, что точность полученных значений  $B$  определяется величиной относительной погрешности  $\Lambda$ , которая составляет 15—20 %. Полученные данные согласуются с представлениями [11] о том, что вязкое торможение обусловлено лишь взаимодействием дислокаций с элементарными возбуждениями кристалла и не зависит от параметров его дислокационной структуры.

Проведено сравнение абсолютных значений  $B$ , вычисленных теоретически и найденных опытным путем. При этом использовалось теоретическое соотношение [1], позволяющее оценить вклад в торможение дислокаций, обусловленный фононным ветром и релаксацией медленных фононов. В результате расчета было получено абсолютное значение  $B = 1.1 \times 10^{-5}$  Па·с, которое вполне удовлетворительно согласуется с экспериментом. Поведение функции  $L(\Lambda)$ , по-видимому, можно объяснить в рамках модели дислокационного взаимодействия [12]. С началом деформации в кристалле происходят раскрепление существующих дислокаций и возникновение новых источников, генерирующих длинные дислокационные петли. Увеличение числа таких дислокаций, вероятно, является главной причиной роста затухания и снижения  $\omega_m$  с деформацией. Однако при деформациях выше ~0.9 % возникают дислокации в других плоскостях скольжения, оказывающие закрепляющее действие на дислокации главной плоскости скольжения. В результате указанного взаимодействия дислокаций величина  $L$  уменьшается, что приводит к росту  $\omega_m$  и уменьшению  $\Delta_m$ .

В заключение выражаем благодарность В. И. Альшицу за проявленный интерес к работе и полезные дискуссии по результатам эксперимента.

#### Список литературы

- [1] Альшиц В. И., Инденбом В. Л. // УФН. 1975. Т. 115. № 1. С. 3—39.
- [2] Нацик В. Д. // ЖЭТФ. 1971. Т. 61. № 6. С. 2540—2553.
- [3] Нацик В. Д., Мищенко Е. В. // ФТТ. 1970. Т. 12. № 7. С. 2099—2104.
- [4] Андронов В. М., Петченко А. М., Старцев В. И. // Акуст. журн. 1975. Т. 21. № 4. С. 502—507.
- [5] Петченко А. М., Сиренко А. Ф. // ФТТ. 1975. Т. 17. № 11. С. 3373—3375.
- [6] Gektina I. V., Lavrentev F. F., Startsev V. I. // Phys. St. Sol. (a). 1976. V. 33. N 1. P. 289—294.
- [7] Петченко А. М., Мозговой В. И., Урусовская А. А. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 10. С. 2992—2995.
- [8] Pal-Val P. P., Platkov V. Ya., Startsev V. I. // Phys. St. Sol. (a). 1976. V. 38. N 1. P. 383—391.
- [9] Гранато А., Люкке К. Физическая акустика. Т. 4. Ч. А / Под ред. У. Мазона. М., 1969. С. 261—321.
- [10] Srivastava K. K., Merchant H. D. // J. Phys. Chem. Sol. 1973. V. 34. N 12. P. 2069—2073.
- [11] Кобелев Н. П., Сойфер Я. М., Альшиц В. И. // ФТТ. 1979. Т. 21. № 4. С. 1172—1179.
- [12] Hicata A., Truell R., Granato A., Chick B., Lücke K. // J. Appl. Phys. 1956. V. 27. N 4. P. 396—404.

Харьковский институт  
инженеров коммунального строительства  
Харьков

Поступило в Редакцию  
24 ноября 1988 г.  
В окончательной редакции  
6 февраля 1989 г.