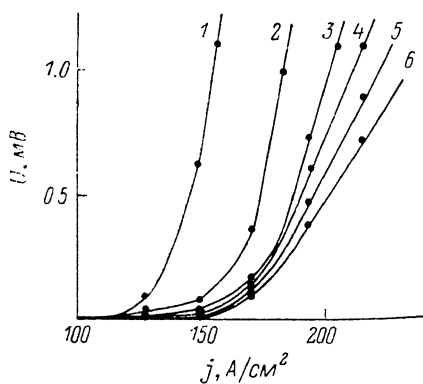


ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ВТСП

Н. Н. Песчанская, Б. И. Смирнов, В. В. Шпейзман

Электромеханическими эффектами принято называть явления, в которых проявляется влияние электрических характеристик (напряженности поля, силы тока и т. д.) на механические свойства (прочность, скорость деформации и др.), а также и обратные явления, когда при механическом воздействии изменяются электрические характеристики. Наглядным примером таких явлений в высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП) могут служить изменение температуры сверхпроводящего перехода $[1-3]$ и величины критического тока $[2]$ или критического магнитного поля $[3]$



при действии всестороннего давления. В $[4]$ было установлено влияние разрушения сверхпроводящего состояния электрическим током на скорость неупругой деформации ВТСП. В настоящей работе обнаружены и описываются еще два эффекта рассматриваемого класса: смещение вольт-амперной характеристики (ВАХ) ВТСП под нагрузкой и ускорение

Рис. 1. ВАХ образца $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при 77 К. Сжимающая нагрузка, МПа: 1 — 0, 2 — 10, 3 — 25, 4 — 40, 5 — 55, 6 — 70.

деформации при периодическом разрушении сверхпроводящего состояния, которое осуществлялось включением на некоторое время тока выше критического.

Опыты проводились на керамике $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ с температурой перехода в сверхпроводящее состояние 90—92 К. Образцы в виде прямоугольных параллелепипедов с размерами от $2 \times 2 \times 4$ до $4 \times 4 \times 8$ мм подвергались одноосному сжатию в направлении наибольшего размера. На торцы образца наносились токовые контакты, а в центральной его части находились контакты для измерения напряжений. Ток задавался стабилизированным источником тока П138, напряжение измерялось микровольтметром В7-21. Величина и скорость деформации определялись с использованием лазерного интерферометра $[5]$.

На рис. 1 показаны разрушение сверхпроводящего состояния образца $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (появление напряжения) и рост его электросопротивления при увеличении проходящего через него тока. Как видно, при приложении сжимающей нагрузки в направлении тока ВАХ смещается вправо, причем тем сильнее, чем больше сжимающая нагрузка. Отметим следующие особенности обнаруженного явления: оно наблюдается для образцов с различной величиной критического тока, с увеличением нагрузки смещение кривой $U(j)$ растет, но вблизи критического тока при больших нагрузках оно изменяется слабо (ср. кривые 5 и 6 на рис. 1). Интересно, что для образцов в нормальном состоянии при аналогичном нагружении изменения сопротивления в пределах точности измерений (ошибка по напряжению ± 1 мкВ) не происходит, это проверялось при комнатной температуре и 95 К. Следовательно, влияние механических напряжений на $U(j)$ сказывается, по-видимому, лишь тогда, когда образец находится вблизи перехода и имеет сопротивление, меньшее, чем в нормальном состоянии. Объяснить наблюдаемое смещение ВАХ под действием нагрузки можно, используя представления, в которых малые критические

токи в ВТСП (по сравнению с классическими сверхпроводниками) связываются с несверхваляющими межзеренными прослойками, т. е. с существованием в керамике внутренних джоулефоновских контактов [6, 7]. Поскольку при сжатии толщина границ, перпендикулярных направлению тока и сжимающей силы, уменьшается и, возможно, изменяется их состояние, это может привести к увеличению критического тока и, следовательно, к смещению ВАХ в сторону больших токов.

Рассмотрим теперь изменение скорости деформирования под нагрузкой при включении и выключении тока выше критического, т. е. влияние сверхпроводящего перехода на процесс деформации. На рис. 2 показано изменение скорости деформации образцов с различными значениями критических токов, находящихся под действием постоянной сжимающей силы, при однократном включении и выключении тока. Каждая точка графика характеризует среднюю скорость деформации на участке, соответствующем изменению длины образца на $\Delta l = 0.15$ мкм. Как и в [4], можно отметить

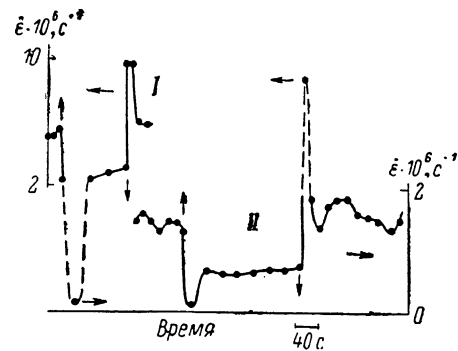


Рис. 2. Изменение скорости ползучести при однократном включении и выключении тока выше критического для двух образцов $YBa_2Cu_3O_{7-x}$.

σ (МПа), j (А/см²): I — 40, 200; II — 12, 25. $T = 77$ К. Вертикальные стрелки — моменты включения (\uparrow) и выключения (\downarrow) тока, горизонтальные — шкалы.

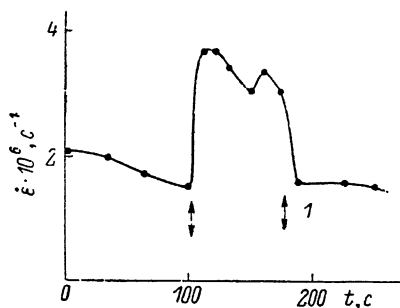


Рис. 3. Увеличение скорости ползучести керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при многократном включении и выключении тока $j = 175$ А/см².

1 — начало и конец действия тока. $\sigma = 40$ МПа, 77 К.

резкое замедление деформации в момент включения тока (остановку деформации); затем деформация идет с меньшей скоростью, чем была до включения тока. Длительность остановки и величина изменения скорости деформации тем больше, чем больше величина тока (диапазон изменения тока соответствовал той области, в которой была снята ВАХ, описанная выше). При выключении тока наблюдался обратный эффект: резкое ускорение («скачок») деформации в момент выключения тока и дальнейшее деформирование примерно с той же скоростью, что была до включения тока.

Прямые исследования процесса деформации ВТСП на микроуровне в настоящее время отсутствуют. В [4] мы предположили, что деформация ВТСП связана с движением дислокаций или двойниковых границ, поскольку деформационное поведение ВТСП при сверхпроводящем переходе похоже на поведение металлических сверхпроводников, для которых дислокационная природа деформации сомнений не вызывает. Еще одним косвенным подтверждением возможности дислокационной деформации являются результаты проведенных нами опытов по деформации керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при многократных чередующихся включениях и выключениях тока. Опыты проводились по методике, описанной выше. Единственным отличием было то, что ток включался и выключался с частотой ~ 1 Гц. Результаты опытов приведены на рис. 3. Отчетливо видно ускорение деформации во время циклирования током, которое уменьшается, но все же сохраняется даже в течение некоторого времени после прекращения манипуляций с током. Так же как и в предыдущей серии опытов, ускорение

тем больше, чем больше величина тока, и наблюдается для токов, разрушающих сверхпроводящее состояние.

Нетрудно объяснить наблюдаемое явление, если предположить, что деформация осуществляется движением дислокаций. Тогда колебательный характер ее движения должен вызывать более быстрое размножение дислокаций и, следовательно, ускорение деформации. Это широко известно для циклического действия нагрузки [8], температуры [9] и обсуждается в литературе под названием механической и термической усталости. По аналогии с этими явлениями ускоренную деформацию ВТСП при циклическом действии тока можно назвать «токовой усталостью».

Заметим, что движение двойниковых границ в ВТСП как результат действия нагрузки наблюдали в [10].

Список литературы

- [1] Griessen R. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 10. P. 5284—5290.
- [2] Ревенко Ю. Ф. // Тез. докл. I Всес. совещ. по высокотемпературной сверхпроводимости. Харьков, 1988. Т. 2. С. 136.
- [3] Будько С. Л., Гапотченко А. Г., Ицкевич Е. С. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 11. С. 3505—3507.
- [4] Песчанская Н. Н., Смирнов Б. И., Шпейзман В. В., Якушев П. Н. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 11. С. 3503—3505.
- [5] Песчанская Н. Н., Пугачев Г. С., Якушев П. Н. // Механика полимеров. 1977. № 2. С. 357—358.
- [6] Yamashita T., Kawakami A., Noge S., Yu W., Takada M., Komatsu T., Matsumita K. // Jap. J. Appl. Phys. 1988. V. 27. N 6. P. L1107—L1109.
- [7] Stucki F., Brüesch P., Baumann Th. // Physica C. 1988. V. 156. N 3. P. 461—466.
- [8] Орлова Т. С., Смирнов Б. И., Степанов В. А., Шпейзман В. В. // ФТТ. 1982. Т. 24. № 4. С. 1102—1109.
- [9] Баладин Ю. Ф. Термическая усталость в судовом машиностроении. Л.: Судостроение, 1967. 272 с.
- [10] Бобров В. С., Власко-Власов В. К., Емельченко Г. А., Инденбом М. В., Лебедев М. А., Осипьян Ю. А., Татарченко В. А., Фарбер Б. Я. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 6.

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

Поступило в Редакцию
14 марта 1989 г.

УДК 01.04.07

Физика твердого тела, том 31, в. 8, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 8, 1989

МАНДЕЛЬШТАМ-БРИЛЛЮЭНОВСКОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ

В. М. Маевский, А. Б. Ройцин

Мандельштам-бриллюэновское рассеяние света (МБР) лежит в основе одного из удобных и точных методов исследования упругих и упруго-оптических свойств вещества [1-3]. Трудности измерения МБР, связанные с малостью коэффициентов рассеяния и непрозрачностью образцов, преодолеваются с помощью современных методов регистрации малых световых потоков и благодаря применению высококонтрастных спектральных приборов [4, 5]. Существуют работы, посвященные изучению упругих C_{ij} и упругооптических P_{ij} констант с помощью МБР и в ЩГК [3, 6-8], но их число и количество исследованных кристаллов невелико. В отличие от других методов (например, поляризационно-оптических или ультразвуковых) здесь «используются» колебания решетки. Это дает возможность без применения сложной гиперзвуковой техники изучить упругие и упругооптические свойства в области гиперзвуковых частот ν . В [7]