

- [3] Tabares-Munoz C., Rivera J.-P., Bezines A., Monnier A., Schmid H. // Jap. J. Appl. Phys. 1985. V. 24. Suppl. 24—2. P. 1051—1053.
- [4] Раков Д. Н., Мурашов В. А., Буш А. А., Веневцев Ю. Н. // Кристаллография. 1988. Т. 33. № 2. С. 445—449.
- [5] Мурашов В. А., Раков Д. Н., Титов Ю. В. // Тез. докл. VII Всес. конф. по росту кристаллов. М., 1988. Т. 2. С. 232—233.
- [6] Мурашов В. А., Раков Д. Н., Буш А. А., Ионов В. М. и др. // Тез. докл. IV Всес. конф. по физике и химии редкоземельных полупроводников. Новосибирск, 1987. С. 134.

Институт информатики МИРЭА
Москва

Поступило в Редакцию
31 июля 1989 г.
В окончательной редакции
28 декабря 1989 г.

© Физика твердого тела, том 32, № 7, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 7, 1990

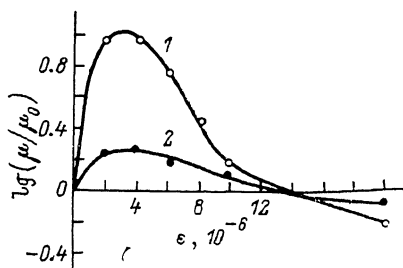
МЕХАНИЗМ ИЗМЕНЕНИЯ ПОДВИЖНОСТИ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ

П. И. Баранский, А. Е. Беляев, С. М. Комиренко, Н. В. Шевченко

В [1, 2] было показано, что ультразвуковая обработка (УЗО) твердых растворов $Hg_{1-x}Cd_xTe$ (КРТ) позволяет проводить модификацию их дефектной структуры. Об этом (хотя и косвенно) свидетельствуют изменения подвижности носителей заряда, измеренной при температуре, когда основными источниками рассеяния являются ионизированные примеси и собственные дефекты. Эти изменения, как видно из рисунка, сводятся к следующему.

При малых амплитудах деформации (когда не происходит генерации новых точечных дефектов, о чем свидетельствует неизменность коэффициента Холла R_x) подвижность после УЗО возрастает, при больших (когда возможны и генерация новых точечных дефектов, что также подтверждается холловскими измерениями, и размножение дислокаций) — падает. Снижение температуры, при которой проводится обработка, существенно уменьшает эффект.

Одной из причин, вызывающих увеличение подвижности, могут быть стимулированные ультразвуком диффузионные процессы, приводящие к рассасыванию кластеров дефектов и пространственному перемещению точечных дефектов к стокам (в частности, к дислокациям, малоугловым границам, свободной поверхности) и их аннигиляции. Влияние ультразвука в этом случае сводится к уменьшению энергии активации диффузии Q_A за счет передачи энергии упругих волн, запасаемой фононами, термостату [3]. Однако если учесть частоты, на которых проводилась УЗО в нашем случае (0.1—1.0 МГц), и время, в течение которого образец подвергался воздействию ультразвука (≈ 30 мин), то, как показывают оценки, уменьшение Q_A оказывается столь незначительным, что посредством его нельзя объяснить наблюдаемые изменения подвижности.



Зависимость подвижности (при $T=4.2$ К) от амплитуды деформации при УЗО, проводимой при 300 (1) и 77 К (2).

В то же время существует принципиальная возможность трансформации энергии упругих колебаний среды в высокочастотные моды собственных колебаний неоднородности в длинноволновом приближении $\lambda \gg \gg L$ [4] (λ — длина волны ультразвуковых колебаний, L — линейный размер неоднородности). В этом случае накачка энергии в неоднородность может привести к ее разрушению при некотором значении амплитуды ультразвука [5]. Однако, как видно из экспериментальных данных, изменения подвижности наблюдаются с самых малых амплитуд. т. е. не проявляют порогового характера.

Можно предположить, что наблюдаемые изменения подвижности происходят вследствие надбарьерного движения дефекта в поле упругих напряжений. Для того чтобы оценить вероятность такого процесса в нашем случае, необходимо сравнить энергию взаимодействия упругой волны с возбуждаемым ею центром дилатации (для определенности будем рассматривать междоузельный атом) $E = \epsilon K \Omega$ (ϵ — локальная деформация в окрестности дефекта, вызываемая высокочастотной модой; K — модуль упругости; Ω — объем, занимаемый центром дилатации) и силу, действующую на центр $F = -\nabla E$ соответственно с энергией миграции E_m и силой, необходимой для надбарьерного движения дефекта F_m . В случае КРТ при деформации $\epsilon \approx 10^{-5} \div 10^{-6}$ (в окрестности дефекта локальная деформация может быть значительно больше [6]), $K = 4.6 \cdot 10^{10}$ Н/м² [7] и $\Omega = (1-2)\Omega_{ат}$ ($\Omega_{ат}$ — атомный объем) E и F на два-три порядка меньше E_m и F_m ($E_m = 0.2$ эВ для междоузельного атома ртути, $E_m = 0.8$ эВ для вакансии ртути [8]). Следует, однако, иметь в виду, что если $\tau \sim \nu^{-1} \approx t_\phi$ (ν — частота высокочастотной моды, t_ϕ — время свободного пробега фононов), то процесс взаимодействия упругой волны с некоторой выделенной совокупностью дефектов (в виде кластера, состоящего из N точечных дефектов) может стать коллективным [9]. При этом активационный объем такого «составного» дефекта приблизительно равен сумме активационных объемов отдельных точечных дефектов и, следовательно, для него $E \approx \epsilon K N \Omega$. Поэтому для кластера, состоящего из 10^2 — 10^4 центров, деформации $\epsilon \approx \approx 10^{-6}$ вполне достаточно для отрыва междоузельного атома от рассматриваемого «составного» дефекта.

Так как вероятность рассеяния пропорциональна квадрату заряда рассеивающего центра $(Ne)^2$ (под рассеивающим центром следует понимать скопление N центров в объеме порядка R_s^3 , где R_s — радиус экранирования), ясно, что на таком центре она будет значительно выше, чем на единичном центре. Поэтому распад кластера должен приводить к повышению подвижности.

Если ввести коэффициент миграции, стимулированной ультразвуком, по аналогии с [10] $D_{yа} = (4\pi/3)R^3\nu_0 l^2$, где R — расстояние, на котором междоузельный атом «чувствует» упругую волну (порядка нескольких постоянных решетки); ν_0 — частота отрыва для единичного объема; l — длина пробега междоузельного атома ($\approx R$), и сравнить его с коэффициентом для тепловой миграции $D = a^2 \nu_n \exp(-E_m/kT)$ (ν_n — частота порядка дебаевской), то можно получить значение эффективной температуры, соответствующей стимулированной ультразвуком миграции

$$T_{эфф} = E_m \left[k \ln \left(\frac{3\nu_D a^2}{4\pi\nu_n R^3 l^2} \right) \right]^{-1}.$$

Оценка по порядку величины в предположении $a \approx l \approx R$, $\nu_0 \approx \approx 10^{16}$ см⁻³·с⁻¹ дает $T_{эфф} \approx 10^2$ К, т. е. УЗО, проводимая при $T > T_{эфф}$, приводит к заметным изменениям подвижности, в то время как при $T < < T_{эфф}$ эти изменения не должны проявляться, что находится в качественном согласии с экспериментальными данными.

Авторы благодарны А. Д. Беляеву за полезное обсуждение данной работы.

- [1] Баранский П. И., Беляев А. Е., Городничий О. П. // Материалы VII Всес. симп. «Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы». Львов, 1986. С. 183.
 [2] Аннаниязов А. Н., Беляев А. Е., Гарягдыев Г., Здебский А. П., Сальков Е. А. // Укр. физ. журн. 1988. Т. 33. № 11. С. 1694—1696.
 [3] Krevchik V. D., Muminov R. A., Yafasov A. Ya. // Phys. St. Sol. (a). 1981. V. 63. N 1 P. K159—K162.
 [4] Кусов А. А. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 5. С. 1574—1575.
 [5] Кусов А. А., Кондырев А. М., Чмель А. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 5. С. 1364—1369.
 [6] Окулич В. И. // Автореф. канд. дис. Горький, 1976.
 [7] Dornhaus R., Nimitz G. Narrow Gap Semicond. Berlin, 1985. P. 119—281.
 [8] Горшков А. В., Зайтов Ф. А., Исаев Ф. К., Шаляпина Г. М. // Изв. АН АзССР, физ., техн., матем. 1982. № 5. С. 91—93.
 [9] Скупов В. Д., Тетельбаум Д. И. // ФТП. 1987. Т. 21. № 8. С. 1495—1497.
 [10] Инденбом В. Л. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. № 8. С. 489—492.

Институт полупроводников АН СССР
Киев

Поступило в Редакцию
3 января 1990 г.

© Физика твердого тела, том 32, № 7, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 7, 1990

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ АНОМАЛИИ В $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$: ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ИЛИ ДЕФЕКТЫ?

В. В. Леманов, А. Б. Шерман, Г. О. Андрианов, И. Эргашев

Вопрос о возможном влиянии на сверхпроводимость структурного фазового перехода, предшествующего сверхпроводящему переходу, обсуждается уже давно, в частности, в связи с соединениями типа А-15 (см., например, [1]). Вскоре после открытия высокотемпературных сверхпроводников со структурой типа перовскита возник вопрос о возможности в них сегнетоэлектрического фазового перехода как «предвестника-инициатора» сверхпроводящего фазового перехода. Связано ли такое инициирование с мягкими модами или с сегнетоэлектрической доменной структурой, или с какими-то еще неизвестными механизмами, пока не ясно, но очевидно, что основной задачей здесь является прежде всего экспериментальное подтверждение (или опровержение) существования сегнетоэлектрического фазового перехода. Перечислим основные имеющиеся в литературе экспериментальные данные по этому вопросу для керамики $\text{R}(\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_x)$, на основании которых авторы делают выводы о возможности сегнетоэлектрического фазового перехода.

На частотах около 1 ГГц при комнатной температуре наблюдается резонансное поглощение СВЧ мощности [2]. В спектрах комбинационного рассеяния света [3] ниже определенной температуры возникает линия 644 см^{-1} , запрещенная симметрией D_{2h} , на основании чего делается вывод о фазовом переходе $D_{2h} \rightarrow C_{2v}$. В работе [4] линия 643 см^{-1} возникала при температурах ниже 200°C . При этих же температурах наблюдались аномалии коэффициентов теплового расширения. Авторы [4] делают вывод о размытом сегнетоэлектрическом фазовом переходе в интервале температур от 100 до 200°C . Используя температурные зависимости постоянных решетки, авторы [4] построили температурную зависимость спонтанной поляризации, которая возникает при температуре около 160°C , а при комнатной температуре достигает величины 10 мкКл/см^2 (для размытого фазового перехода можно говорить лишь о среднеквадратичной поляризации). Все перечисленные данные нельзя, однако, рассматривать как окончательное доказательство наличия сегнетоэлектрического фазового перехода. Прямым доказательством могли бы быть диэлектрические аномалии. Низкочастотные измерения диэлектрической проницаемости [4–6] показали,