

литературе, при рассматриваемых температурах происходит упорядочение кислорода в решетке (с которым, как известно, и связывается наличие СП), частичный переход его из заряженного в нейтральное состояние и возможны ориентационные повороты соседних кислородных октаэдров [9]. Таким образом, обнаруженные аномалии ТЭ и ЭС при $T \sim 240$ и 150 К, возможно, непосредственно связаны с природой сверхпроводимости ВТСП. Аномалии ТЭ и ЭС могут быть следствием наличия на уровне Ферми ванхововской особенности [6, 10], что приводит для двумерного электронного спектра к увеличению плотности состояний носителей заряда, появлению мягкой фононной моды и неустойчивости решетки типа пайерловской. Это также, согласно [10], должно приводить к высоким T_c и когерентным комбинациям СП, антиферромагнетизма и волны зарядовой (спиновой) плотности. Т. е. в ВТСП может иметь место фазовый переход $2^{1/2}$ рода и образоваться сверхрешетка, предшествующие СП. Для более конкретной и однозначной интерпретации найденных эффектов необходимы дальнейшие исследования.¹

Авторы признательны Л. А. Коток (НПО «Монокристаллреактив», Харьков) за предоставление образцов, И. О. Кулику, А. И. Копелиовичу, М. А. Оболенскому за полезные обсуждения результатов работы.

Л и т е р а т у р а

- [1] Wu M. K., Ashburn I. R., Torug C. I. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. N 9. P. 908—910.
- [2] Gottwick V., Held R., Span G. et al. // Europhysics Lett. 1987. V. 4 (10). P. 1183—1188.
- [3] Исаев А. В., Моргуи В. Н., Чеботаев Н. Н. // Тез. докл. III Всес. совещ. по низкотемпературным теплофизическим измерениям и их метрологическому обеспечению. М., 1982. С. 89—90.
- [4] Горлова И. Т., Зыбцев С. Т., Латышев Ю. И. // Письма в ЖЭТФ. 1988. Т. 47. № 2. С. 100—103.
- [5] Кобелев Л. Я., Нугаева Л. Л. и др. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 4. С. 1229—1230.
- [6] Суслов И. М. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. № 10. С. 402—405.
- [7] Бисаргин О. В., Рудницкий Л. А., Мощалков В. В. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 3. С. 877—879.
- [8] Bhargava R. N., Herko S. P., Osborne W. N. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 59. N 13. P. 1468—1471.
- [9] Козлов А. Н., Максимов Л. А., Пушкарев В. В. // ФТТ. 1988. Т. 30. № 4. С. 1240—1241.
- [10] Дзялошинский И. Е. // ЖЭТФ. 1987. Т. 93. № 4 (10). С. 1487—1498.

Харьковский
государственный университет
им. А. М. Горького
Харьков

Поступило в Редакцию
8 июля 1988 г.
В окончательной редакции
24 октября 1988 г.

УДК 621.319.2

Физика твердого тела, том 31, в. 3, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 3, 1989

РЕЛАКСАЦИЯ ЭЛЕКТРЕТНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРНОГО ВЕЩЕСТВА

С. Н. Федосов

При рассмотрении релаксации электретного состояния на основе феноменологической теории электретов Гросса—Сванна—Губкина [1—4] постулируется, что внутренняя поляризация P (гетерозаряд) экспонен-

¹ В последнее время авторы обнаружили, что изменение концентрации кислорода влияет на наличие аномалии при 240 К (и СП перехода при 90 К).

циально спадает, подчиняясь уравнению Дебая, которое при одном типе релаксаторов имеет вид

$$dP/dt + P/\tau_0 = \epsilon_0 E (\epsilon_c - \epsilon)/\tau_0, \quad (1)$$

где τ_0 — характеристическое время релаксации; ϵ_0 — электрическая постоянная; ϵ_c, ϵ — статическая и высокочастотная диэлектрические проницаемости; E — напряженность поля; t — время.

Из уравнения (1) ясно, что в важном для практики случае разомкнутого полярного электрета допущение об экспоненциальном изменении P несправедливо, так как поле не является стационарным. Поэтому представляется оправданным рассмотреть релаксацию поляризации во взаимосвязи с поверхностным гомозарядом, разность между которыми определяет внутреннее поле и электретный потенциал.

Допустим, что плоскопараллельная пластина толщиной x_0 поляризуется изотермически так, что определяющим является гомозаряд σ , в поле которого формируется внутренняя поляризация P . Это соответствует, например, электретированию полимерных пленок в коронном разряде [5]. После завершения поляризации образец на некоторое время t_0 закорачивают, а затем внешнюю цепь размыкают. В течение всего времени t_0 равенство гомо- и гетерозаряда поддерживается за счет тока во внешней цепи, в то время как гетерозаряд, согласно (1), экспоненциально спадает, так что в момент размыкания

$$P(t_0) = \sigma(t_0) = P_0 \exp(-t_0/\tau_0), \text{ где } P_0 = P(0).$$

Будем считать релаксацию гомозаряда обусловленной проводимостью электрета, что в случае полярных диэлектриков вполне оправдано [1, 2]. Тогда кинетика $\sigma(t)$, $P(t)$ и электретного потенциала $U(t)$ определяется соотношениями

$$d\sigma/dt + (\sigma - P)/\tau_M = 0, \quad \tau_M = \epsilon_0 \epsilon / g, \quad (2)$$

$$dP/dt - \epsilon_c (\sigma - P)/\tau_0 \epsilon + \sigma/\tau_0 = 0, \quad (3)$$

$$U = x_0 E = x_0 (\sigma - P)/\epsilon_0 \epsilon, \quad (4)$$

где τ_M — время максвелловской релаксации, g — проводимость. Из (2) и (3) видно, что взаимосвязь гомо- и гетерозаряда замедляет процессы их релаксации. Для нахождения кинетики электретного потенциала исключим σ и P из (4). Полученное при этом дифференциальное уравнение (с начальными условиями) имеет вид

$$d^2 U/dt^2 + (1/\tau) dU/dt + (1/\tau_0 \tau_M) U = 0, \quad (5)$$

$$U(t_0) = 0, \quad dU(t_0)/dt = (x_0 P_0 / \epsilon_0 \epsilon \tau_0) \exp(-t_0/\tau_0),$$

где

$$1/\tau = 1/\tau_M + \epsilon_c/\tau_0 \epsilon.$$

Решая уравнение (5), находим

$$U(t) = x_0 P_0 [(1/\tau_1 - 1/\tau_2) \epsilon_0 \epsilon \tau_0]^{-1} \{ \exp[(t_0 - t)/\tau_2 - t_0/\tau_0] - \exp[(t_0 - t)/\tau_1 - t_0/\tau_0] \}, \quad (6)$$

где

$$1/\tau_{1,2} = 1/2\tau \pm (1/4\tau^2 - 1/\tau_0 \tau_M)^{1/2}.$$

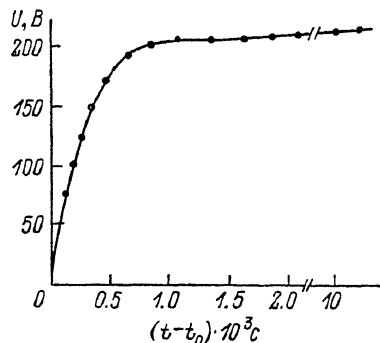
Из формулы (6) видно, что электретный потенциал после размыкания частично восстанавливается, достигая максимума при условии

$$t' = t_0 + [\tau_1 \tau_2 / (\tau_2 - \tau_1)] \ln(\tau_2 / \tau_1).$$

Восстановление потенциала наблюдалось нами в электризованных пленках поливинилиденфторида (ПВДФ). Вначале на одну сторону ориентированных пленок ПВДФ толщиной 25 мкм наносили испарением в вакууме алюминиевый электрод толщиной 0.1 мкм, который затем заземляли. Свободную поверхность пленок подвергали действию отрицательного ко-

ровного разряда, возбуждаемого заостренным вольфрамовым электродом. Между коронирующим электродом и поверхностью пленки находилась управляющая сетка, на которую подавали постоянное отрицательное напряжение 3 кВ. Электретный потенциал непрерывно измеряли методом Кельвина и регистрировали самопишущим потенциометром. При достижении равенства электретного потенциала и напряжения на сетке полярность коронного разряда изменяли на противоположную, а сетку заземляли. В результате бомбардировки поверхности пленки положительными ионами и нейтрализации избыточного отрицательного гомозаряда обеспечивался короткозамкнутый режим, т. е. равенство нулю электретного потенциала. Через 15 мин коронный разряд выключали, при этом за счет прекращения тока в цепи происходило ее размыкание и наблюдалось частичное восстановление отрицательного электретного потенциала.

Как видно из рисунка, на кривой $U(t)$ нет ярко выраженного максимума,



Кинетика электретного потенциала пленок поливинилденфторида после размыкания цепи.

что объясняется, вероятно, обычной для электретов более высокой стабильностью гомозаряда по сравнению с гетерозарядом. Легко показать, что в рамках рассматриваемой модели неравенство $\tau_M \gg \tau_0$ приводит к приближенным соотношениям $\tau_1 = \epsilon \tau_0 / \epsilon_c$ и $\tau_2 = \epsilon_c \tau_M / \epsilon$. Поскольку $\epsilon_c / \epsilon > 1$, то из (6) следует, что рост потенциала в начальной стадии его восстановления связан с τ_1 , причем $\tau_1 < \tau_0$, а его относительная стабильность при дальнейшей выдержке — с τ_2 , которое больше τ_M . Из сравнения экспериментальных и расчетных данных найдено $\tau_1 = 280$ с, $\tau_2 > 3000$ с.

Из полученных результатов вытекают два важных вывода, относящихся как к пленкам ПВДФ, так и вообще к полярным электретам.

1. Как следует из (3) и (6), возможна стабилизация гетерозаряда на уровне, близком к соотношению $P = \epsilon \sigma / \epsilon_c$. Это позволяет объяснить наличие сильной поляризации в пленках ПВДФ, не делая допущений о сегнетоэлектрической природе этого полимера.

2. Возможно создание стабильных гомоэлектретов из полярных диэлектриков, в которых постоянство электретного потенциала поддерживается за счет медленной самосогласованной релаксации гомо- и гетерозаряда.

Л и т е р а т у р а

- [1] Губкин А. Н. Электреты. М., 1978. 192 с.
- [2] Электреты / Под ред. Г. Сесслера. М., 1984. 486 с.
- [3] Луцейкин Г. А. Полимерные электреты. М., 1984. 184 с.
- [4] Архипов В. И., Руденко А. И., Храменков Д. В. // ФТП. 1987. Т. 21. № 12. С. 2121—2124.
- [5] Федосов С. Н., Сергеева А. Е. // Электреты и их применение. Тез. докл. М., 1988. С. 4—5.

Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова
Одесса

Поступило в Редакцию
1 августа 1988 г.
В окончательной редакции
24 октября 1988 г.