

Полученные осциллограммы позволяют представить динамику установления стационарного распределения зарядов при пролете тела следующим образом. Первоначально при взаимодействии тела с набегающим потоком отрицательный заряд на теле начинает возрастать. Часть его может сноситься в вязкую часть следа, поскольку за головной ударной волной при скорости $v \sim 2000$ м/с температура составляет величину $T > 2500$ К и среда частично

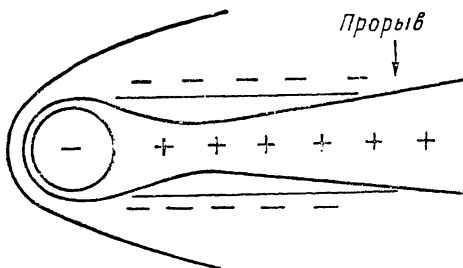


Рис. 7.

ионизована. Таким образом, отрицательный заряд через погранслои попадает в вязкий след и далее сносится. Положительный заряд сосредоточен в вязкой части (рис. 7), движущейся с большой скоростью. На первоначальной фазе процесса суммарный заряд в следе не скомпенсирован вследствие его накопления на модели. Во второй фазе после установления равновесного значения заряда на модели заряд в следе оказывается скомпенсированным, однако он разделен пространственно: положительный заряд находится в вязком следе, отри-

цательный — в невязком. По мере того как заряд на летящем теле принимает равновесное значение, увеличивается утечка отрицательного заряда через невязкую область. При этом положительный сигнал от следа уменьшается, поскольку положительный заряд вязкого следа компенсируется отрицательным зарядом, стекающим с тела в невязкую часть. В точке прорыва вязкого следа в невязкий происходит нейтрализация заряда путем рекомбинации электронов и отрицательных ионов с положительными ионами вязкого следа.

Таким образом, полет сверхзвукового тела в воздухе при скоростях $v \sim 2000$ м/с сопровождается появлением на теле и в следе за ним электрических зарядов. Динамика изменения этих зарядов, их влияние на физические процессы при гиперзвуковом движении, а также механизмы появления зарядов нуждаются в дальнейшем детальном исследовании.

Литература

- [1] Haseborg T. L., Trinks H. // IEEE. 1980. AES-16. P. 227—231.
- [2] Haseborg T. L., Trinks H. // IEEE. 1980. AES-16. P. 750—753.
- [3] Кронберг Е. Р., Мишин Г. И., Серов Ю. Л., Явор И. П. // ЖТФ. 1982. Т. 52. № 5. С. 942—944.
- [4] Heckman P., Cantin A., Emond A., Kirkpatrick F. // AIAA J. 1968. Vol. 6. N 4. P. 750—752.
- [5] Slattery R. E., Clay W. G. // Phys. of Fluids. Vol. 5. P. 849—855.

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

Поступило в Редакцию
4 февраля 1988 г.

О МЕХАНИЗМЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ И ПЬЕЗОАКТИВНОСТИ ФТОРПОЛИМЕРНЫХ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКОВ

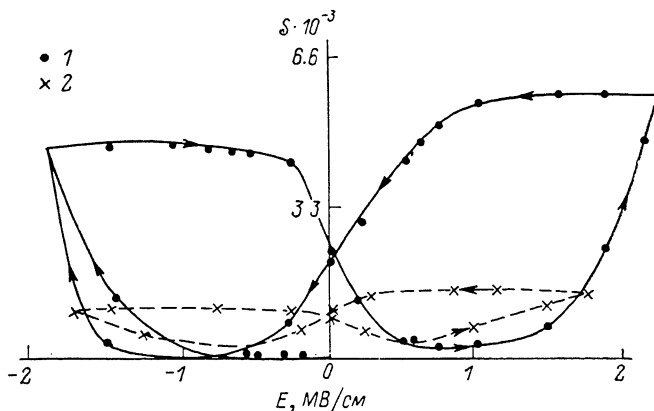
Б. А. Тагнков, Л. Ф. Куренная

Пьезо- и пироактивность элементов на основе ПВДФ находится в прямой зависимости от содержания полярной кристаллической фазы. Наилучшей активностью обладают одноосноориентированные пленочные элементы, содержащие мелкодисперсную β -фазу (45 мол. %), взвешенную в эластичной аморфной фазе. Одним из эффективных методов получения таких элементов является применение пленок сополимеров, в том числе сополимеры ВДФ—ТФЭ (содержание ТФЭ 10—20 мол. %) с коэффициентом вытяжки $K=4-5$, поляризованных в коронном разряде [1, 2]. В пленочных элементах на основе ПВДФ наблюдаются характерные для сегнетоэлектриков петли гистерезиса, в том числе гистерезисная зависимость электри-

ческого смещения D от напряженности электрического поля E . Температура Кюри t_k пленочных элементов на основе чистого ПВДФ лежит несколько выше температуры плавления β -фазы. Сополимеризация ВДФ с T_p ФЭ и ТФЭ приводит к снижению температуры плавления t_n . Сообщается, что в сополимерах $t_k < t_n$, при этом деградация гистерезиса в области $t > t_k$ коррелирует с резким увеличением проводимости [3].

В данной работе исследованы промышленные пленки ВДФ—ТФЭ толщиной 18 мкм ($K=4$). Исследования выполнены на двух группах образцов: 1) исходная пленка; 2) пленка, предварительно отожженная при $+120^\circ\text{C}$ в течение 30 мин. Поляризация пленок осуществлялась в коронном разряде с применением метода управляемой зарядки до заданной величины потенциала [4]. Особенностью коронирующего электрода является то, что он образует с диэлектриком эффективный запирающий контакт [5]. Вторым электродом была напыленная пленка Al или дюралюминиевая подложка. Измерения ИК спектров пропускания T ($200-4000\text{ см}^{-1}$) проводились в поляризованном свете на промышленных спектрофотометрах.

На пленках 1 и 2 получены замкнутые петли гистерезиса $D-E$ и $S-E$, где $S = \Delta l/l$ — относительное удлинение по осям X (направление вытяжки) и Y , в интервале температур $20-80^\circ\text{C}$, в пределах $\pm 1.9\text{ МВ/см}$ и времени цикла около 2 ч. Петли $D-E$ имеют обычный вид [1]. Петли $S-E$ получены впервые (см. рисунок). При высоких температурах ($t > 80^\circ\text{C}$,



Зависимость $S-E$ пленки 1 (20°C , натяжение постоянное).

1 — вдоль X , 2 — вдоль Y .

группа 1; $t > 110^\circ\text{C}$, группа 2) поляризация возможна только в отрицательной короне, тогда как в положительной короне зарядить пленку не удастся из-за инжекции электронов из электрода. Пьезомодуль d_{31} , измеренный после поляризации, составляет около 20 пФл/Н , однако у образцов 1 он падает в несколько раз в течение двух лет. Обсуждаемый в [1-3] оптический гистерезис $T-E$, связанный с поворотом полярных групп, мы наблюдали только на образцах 1 (поляризация увеличивает T при $\nu=505\text{ см}^{-1}$ и уменьшает T при $\nu=440\text{ см}^{-1}$). Однако на образцах 2 упомянутый гистерезис не наблюдается, несмотря на достаточную точность измерений. Вместо этого наблюдалось циклическое изменение T всех полос поглощения, связанное с гистерезисом $S-E$, при этом поляризация уменьшает толщину пленки.

Полученные данные позволяют внести следующие уточнения в механизм пьезоэффекта пленок на основе ПВДФ. Поляризация β -фазы не связана с поворотом полярных групп. Такие повороты имеют место только в аморфной фазе пленки 1 (гистерезис наблюдается независимо от ориентации вектора δ световой волны относительно оси X). Несмотря на то, что у образцов 2 повороты полярных групп не наблюдаются, их пьезоэлектрические параметры превосходят параметры образцов 1. Этот результат можно объяснить, если предположить, что вместо поворота имеет место синхронный обмен пар ионов типа $2\text{H}^+ + 2\text{F}^- \rightleftharpoons 2\text{F}^- + 2\text{H}^+$ вдоль полярной оси β -фазы по туннельному механизму. Такая модель поляризации согласуется с эффективной длиной диполя $l=2b$ в элементарном акте переворота (b — постоянная решетки), найденной из экспериментальных данных по релаксации потенциала короноэлектретов на основе этих пленок [6]. Вопреки распространенному мнению о том, что в ВДФ— T_p ФЭ и ВДФ—ТФЭ $t_k < t_n$, из полученных результатов по зависимостям $D-E$, $S-E$ и $T-E$ при $t > 80^\circ\text{C}$ следует, что в этих сополимерах, как и в случае ПВДФ, $t_k \geq t_n$.

Как отмечалось, пьезоактивность фторполимеров связана с наличием двух фаз, при этом пьезо- и пироответы принято связывать с изменением объема полимера при неизменном интегральном дипольном моменте. Наши результаты, относящиеся к зависимостям $S-E$ и $T-E$, позволяют последнее допущение подвергнуть сомнению. Скорее активность пленки связана не с изменением объема, а с изменением формы пьезоэлемента. В этом случае возникновение пьезоответа на деформацию возможно только при наличии сильного внутреннего электрического поля в аморфных прослойках. Высокие электретенные свойства рассматриваемых материалов общезвестны и экспериментально подтверждены в [6]. Более того, установлено, что низкая стабильность пьезомодуля пленок 1 обусловлена низкими электретенными свойствами аморфных прослоек. Таким образом, можно предположить, что принцип действия пленочных пьезоэлементов такой же, как и принцип действия электретенного микрофона, при этом заряженной электретенной пленке (с постоянным D) соответствует интегральный дипольный момент β -фазы, а воздушному зазору — аморфные прослойки. Предложенная модель позволила дать как качественное (знаки коэффициентов), так и количественное описание пьезо- и пироактивности фторполимерных сегнетоэлектриков.

Литература

- [1] Lovinder A. J. // Jap. J. Appl. Phys. 1985. Vol. 24. Suppl. 24-2. P. 18—21.
- [2] Kazuhiko Y., Kazumi N., Takeshi Y. et al. Piezoelectric polimeric material. Pat N 4560737 USA, С 081 27/10.
- [3] Davis G. T., Broadhurst M. G., Lovinger A. J. et al. Ferroelectrics, 1984. Vol. 57. P. 73—84.
- [4] Бойцов В. Г., Тазенков Б. А., Скугарев А. С. и др. Способ и устройство для изготовления электретов. Пат. ДЕ 3333925 А1 ФРГ, G 7/02.
- [5] Роуз А. Зрение человека и электронное зрение / Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 159 с.
- [6] Куренная Л. Ф., Тазенков Б. А. // Всесоюз. конф. «Достижения и пути развития электретографической техники». М., 1986. С. 113—116.

Ленинградский государственный педагогический институт им. А. И. Герцена

Поступило в Редакцию 9 февраля 1988 г.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА $n-p$ -CdSiAs₂

Ю. В. Рудь, М. А. Таиров

Энергетический барьер на монокристаллах тройного соединения CdSiAs₂, ближайшего аналога GaAs, представляет интерес для создания фотопреобразователей линейно поляризованного излучения [1]. Настоящая работа является продолжением [2-4] и посвящена изучению электрических и фотоэлектрических явлений в структурах с энергетическим барьером в ориентированных кристаллах p -CdSiAs₂.

Диоды создавались диффузионным методом естественного или примесного легирования [2]. Для диффузии использовались ориентированные в плоскости (100) монокристаллические пластины специально не легированных кристаллов CdSiAs₂ дырочного типа проводимости ($p \approx 1 \div 3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $U_p \approx 200-400 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ при 300 К). В результате диффузионного отжига в приповерхностном слое толщиной 50—100 мкм обеспечивалась конверсия $p \rightarrow n$. Концентрация электронов в слое $n \approx 10^{17}-10^{18} \text{ см}^{-3}$ и от температуры в области 77—400 К практически не зависела. После сошлифовки n -слоя со всех сторон пластины, за исключением одной (100), и последующего полирующего травления $n-p$ структуры имели средние размеры $2 \times 4 \times 0.5 \text{ мм}$, причем толщина n -области была существенно меньше толщины p -области ($d_n \ll d_p$). Комплексные исследования фотоэлектрических процессов в связи с технологическими параметрами создания слоев n -типа позволили существенно улучшить по сравнению