

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЬЕЗОМОДУЛЯ ПОЛИМЕРОВ

Х. Б. ПАЧАДЖЯН, А. К. ЯГУБЯН, А. П. КОДЖАБАШЯН

В работе исследованы факторы, которые влияют на точность измерения пьезомодулей полимеров. Описаны три способа определения пьезомодуля d_{31} , выбор которых связан с условиями измерений. Приведены результаты измерений для образцов поливинилхлорида и обсуждены преимущества разных способов.

Измерение пьезоэлектрических модулей пьезополимеров имеет некоторую специфику и поэтому требует разработки соответствующих методов. Например, измерение пьезомодуля d_{33} полимерных пленок связано с большими погрешностями, обусловленными следующими причинами. При сжатии пьезопленки вдоль оси поляризации (перпендикулярно к плоскости пленки) деформация вдоль пленки сильно затрудняется из-за трения поверхности электрода (или сжимающего устройства) с поверхностью пленки. Обычно у этих пленок отношение $\frac{h}{B} \ll 1$ (h и B — соответственно толщина и диаметр образца), что приводит к меньшей деформации при данном усилии, т. е. не выполняется закон Гука: $\frac{P}{M} = \frac{\Delta l}{l}$, где l — длина образца, Δl — абсолютное укорочение, P — механическое напряжение, M — модуль упругости. Поэтому измерение d_{33} можно осуществлять для толстых образцов [1] и обычно не применяется для тонких пленочных пьезополимерных образцов.

Пьезосвойства полимеров характеризуются также пьезомодулем d_{31} [1—3], методика измерения которого дает возможность избежать вышеуказанных трудностей. При измерении d_{31} образец прямоугольной формы вытягивается перпендикулярно оси поляризации и, следовательно, поверхность пленки свободно деформируется. Надо указать, что при измерении пьезомодулей применяется уравнение прямого пьезоэффекта

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} + d \vec{T}. \quad (1)$$

Здесь $\vec{D}$ — вектор электрической индукции, ϵ — диэлектрическая проницаемость (в общем случае является тензором второго ранга), $\vec{E}$ — вектор напряженности электрического поля, d — пьезоэлектрический модуль (в общем случае является тензором третьего ранга), $\vec{T}$ — механическое напряжение (в общем случае является тензором второго ранга).

В наших измерениях входное сопротивление $R \gg 10^6$ ом, а величина RC (C — общая емкость системы) больше 2 сек, так что при возникновении пьезополяризации, индуцированной на электродах, заряд практически не может стекать за время изменения нагрузки и поэтому $\vec{D} = 0$. Учитывая

это, а также опуская знак «минус» (он указывает лишь знак пьезозаряда), для любой компоненты $\vec{E}$ из (1) можно написать

$$\epsilon E_i = d_{ij} T_j. \quad (2)$$

Настоящая работа посвящена измерению d_{31} пьезополимерных образцов, которые готовились по методике, описанной нами ранее [4]. Они имели длину $2 \div 6$ см, ширину $0,9 \div 1,6$ см и толщину $0,2 \div 0,4$ мм в зависимости от условий измерений. С двух сторон образцы были покрыты токопроводящими слоями для снятия полезного сигнала.

Измерения d_{31} проводились тремя способами.

1. Образец прихватывается двумя концами специальными держателями и подвешивается вертикально. На нижний держатель подвешивается определенный груз. При разгрузке вытянутый образец сжимается, и появившийся пьезозаряд заряжает параллельно включенный к образцу эталонный конденсатор до определенного потенциала V , измеряемого электрометром типа ЭД-05 М. Формула для расчета пьезомодуля d_{31} получается из (2) с

учетом того, что $E_3 = \frac{\sigma}{\epsilon}$ (σ — плотность пьезозаряда)

$$d_{31} = \frac{\sigma}{T_1} = \frac{CV/S}{F/S_1} = \frac{CVS_1}{FS} = \frac{CVbh}{FbL} = \frac{CVh}{FL}, \quad (3)$$

где F — вес груза (сила, приложенная перпендикулярно к оси поляризации), S — площадь электродов испытуемой части образца, L — длина испытуемой части образца, b — ширина образца, а $C = C_{\text{обр.}} + C_{\text{эт.}} + C_{\text{мон}}$ ($C_{\text{обр.}}$ — емкость образца, $C_{\text{эт.}}$ — емкость эталонного конденсатора, $C_{\text{мон.}}$ — емкость монтажа). Пьезозаряд можно измерять также чувствительным запоминающим осциллографом с большим входным сопротивлением.

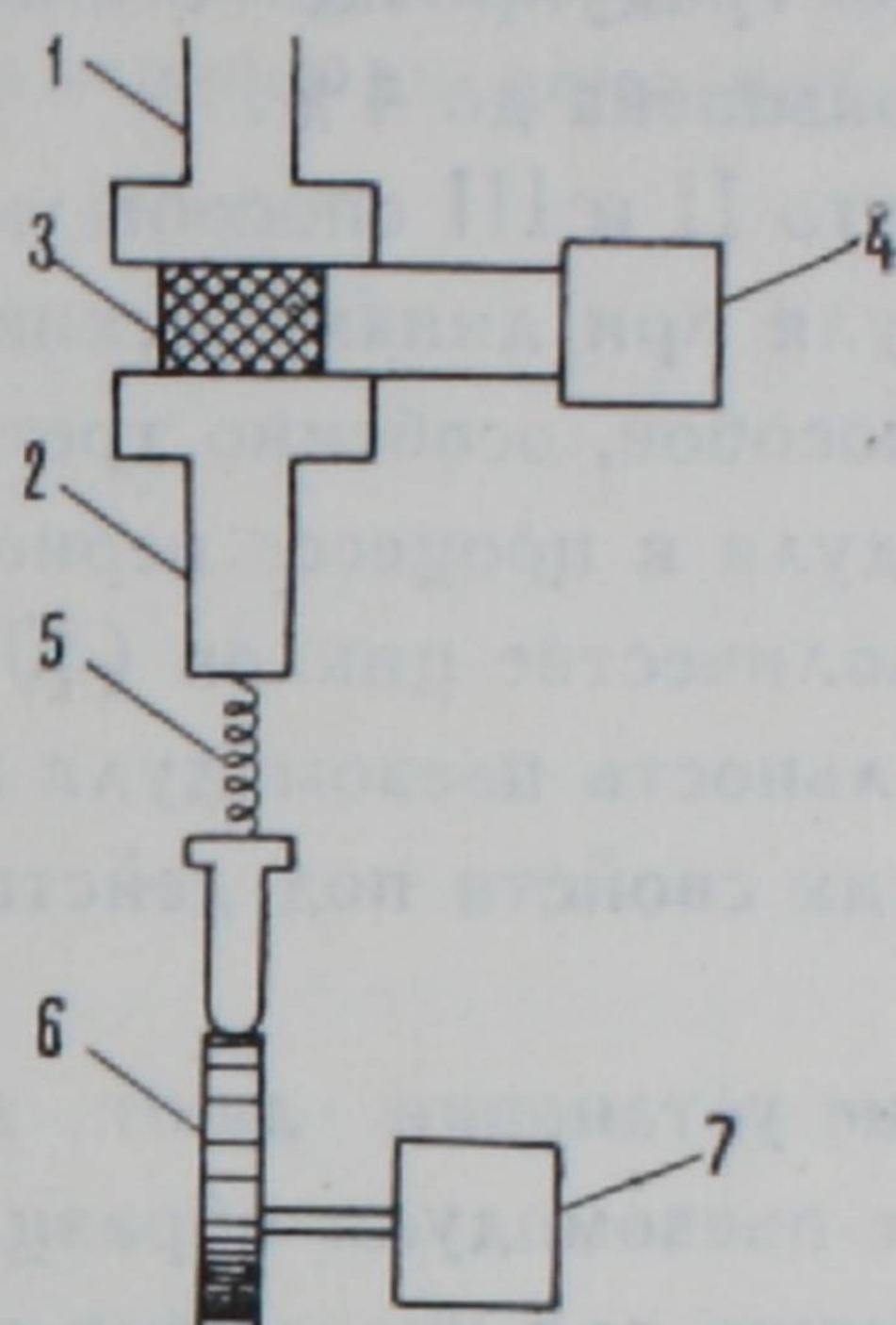
II. В этом способе образец также прихватывается держателями с двух концов. Периодическое вытягивание образца производится посредством эксцентрического устройства, работающего с частотой $\sim 0,1$ гц (см. рисунок). Это устройство дает возможность плавно изменять амплитуду колебаний от 0 до 5 см в зависимости от условий эксперимента. Соединенный последовательно с образцом пружинный динамометр измеряет механическое напряжение на образце. Параллельно с образцом включается эталонный конденсатор емкостью от 5000—30000 пф (в зависимости от входного сопротивления измерительного прибора и величины пьезозаряда). Пьезонапряжение измеряется электрометрическим усилителем.

III. Этот способ аналогичен второму и отличается от него лишь тем, что частота приложения силы ~ 5 гц.

В отличие от [2, 3], где методика измерения силы сложная и может привести к некоторым ошибкам, в нашей методике оно осуществляется просто и сравнительно точно.

Механическое напряжение в нашем способе определяется четырьмя тензодатчиками, приклеенными к стальной пластинке и измеряющими ее

деформацию. Тензодатчики включены в мостовую схему и питаются от стабильного источника напряжения. Предварительно деформация пластинки градуируется. Пьезонапряжение измеряется осциллографом типа С1-19Б, зашунтированным эталонной емкостью 2—3 мкф. Для большей компактности и тензо- и пьезо-напряжения можно измерять одновременно на двухлучевом осциллографе.



1 — верхний держатель, 2 — нижний держатель, 3 — исследуемый образец, 4 — вольтметр, 5 — пружинный динамометр, 6 — эксцентрик, 7 — электромотор.

Во всех трех описанных способах для точного измерения заряда большое значение имеет отношение $\frac{\tau}{RC}$, где τ — время изменения механического напряжения. В наших измерениях это отношение составляло величину порядка $10^{-1} — 10^{-2}$, что, как показали опыты, было достаточно для довольно точного измерения пьезозаряда.

Для наглядного сравнения этих способов приведем результаты измерений пьезомодуля d_{31} для четырех образцов поливинилхлорида (см. табл.).

Таблица

Способ	№ образцов			
	1	2	3	4
	$d_{31} (10^{-8} CGSE)$	$d_{31} (10^{-8} CGSE)$	$d_{31} (10^{-8} CGSE)$	$d_{31} (10^{-8} CGSE)$
I	$2,76 \pm 0,13$	$4,12 \pm 0,21$	$2,01 \pm 0,10$	$3,68 \pm 0,18$
II	$2,72 \pm 0,18$	$4,28 \pm 0,28$	$2,10 \pm 0,12$	$3,82 \pm 0,22$
III	$2,77 \pm 0,13$	$4,25 \pm 0,22$	$2,00 \pm 0,08$	$3,62 \pm 0,20$

Анализируя преимущества и недостатки описанных способов, надо отметить следующее:

I способ имеет сравнительно малую погрешность (5%), осуществляется просто и процесс измерения не является трудоемким;

II способ имеет меньшую точность (7%), но менее трудоемок (по сравнению с III способом) как в смысле создания установки, так и в отношении процесса измерения;

III способ имеет такую же точность, что и первый, но намного более трудоемкий; при тщательной градуировке стальной пластинки точность этого метода может быть повышена до 4%.

Надо отметить также, что II и III способы дают возможность исследовать зависимость пьезомодуля при динамических напряжениях разных величин. При помощи этих способов, особенно третьего, можно вести непрерывные измерения пьезомодуля в процессе периодического механического воздействия при большом количестве циклов (10^4 и выше). Это дает возможность определить стабильность пьезомодуля к подобным воздействиям (старение пьезоэлектрических свойств под действием механических усилий разных величин и частот).

Все три описанные выше установки дают возможность снять также температурные зависимости пьезомодуля образца.

Надо отметить одну общую для указанных способов особенность при измерении d_{31} : отношение $\frac{l}{b}$ для образцов должно быть ≥ 2 . Только при этом сохраняется условие одностороннего сжатия образца и измеряется истинное значение пьезомодуля.

Горисские лаборатории Вычислительного центра
АН АрмССР

Поступила 6.VIII 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. Х. Б. Пачаджян. Автореферат канд. диссертации, ЕГУ, 1967.
2. J. Cohen, S. Edelman. J. Appl. Phys., 42, 3072 (1971).
3. J. Cohen, S. Edelman. J. Appl. Phys., 42, 893 (1971).
4. Х. Б. Пачаджян. Электричество, 10, 73 (1967).

ՊՈԼԻՄԵՐՆԵՐԻ ՊՅԵԶՈՄՈԴՈՒԼԻ ԶԱՓՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԸ

Խ. Բ. ՓԱԶԱՋՅԱՆ, Հ. Կ. ՅԱՂՈՒԲՅԱՆ, Հ. Պ. ՂՈԶԱԲԱՇՅԱՆ

Աշխատանքում հետազոտված են պոլիմերների պլեզոմոդուլի չափման ճշտության վրա ազդող գործոնները: Նկարագրված են d_{31} պլեզոմոդուլի չափման երեք եղանակներ: Նրանց բնութագրությունը կատարված է չափման պայմանների հետ: Բերված են պոլիվինիլբրոմիդի նմուշների այդ եղանակներով կատարված չափման արդյունքները և քննարկված են տարբեր եղանակների առավելությունները:

METHODS OF THE MEASUREMENT OF POLYMERS
PIEZOMODULE

Kh. B. PACHADZHYAN, A. K. YAGUBYAN, A. P. KHODZHABASCHYAN

The factors that influence the measurement accuracy of polymers piezomodules are investigated. Three methods for the determination of piezomodule d^{31} are described, the choice of each method being connected with conditions of measurement. The data for polyvinylchloride samples are given and the advantages of different methods are discussed.