

УДК 678.07:537.226.86

ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ПЬЕЗОКОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

А.И. МАМЕДОВ

*ОКБ "Регистр" с ОП ИФАН Азербайджана
370143, Баку, пр.Г.Джавида 33*

**О.А. РАГИМОВ, М.А. КУРБАНОВ,
М.Г. ШАХТАХТИНСКИЙ, С.Н. МУСАЕВА, Т.Ф. БУНЯТОВА**

*Институт Физики АН Азербайджана,
370143, Баку, пр.Г.Джавида 33
(Поступило 27.06.95)*

Экспериментально установлено, что изменением условий поляризации, конфигурации и геометрических размеров пьезокомпозиционных элементов можно варьировать в широких пределах амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) электроакустических преобразователей, созданных на их основе.

Создание пьезокомпозиционных материалов на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) и пьезокерамики семейства цирконата-титаната-свинца (ЦТС) позволило разработать новые электроакустические преобразователи с улучшенной амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ). Определение применимости пьезокомпозиционного материала в качестве активного элемента преобразователей (приемника и излучателя) является важной задачей для создания новых аппаратов связи, имеющих меньшую потребляемую мощность. Отметим, что в последнее время в аппаратах связи в качестве излучателя используется пьезокерамика. Однако, применение пьезокерамики в качестве приемника и излучателя ограничено, из-за относительно высокой неравномерности амплитудно-частотной характеристики, хрупкости и относительной сложной технологии изготовления тонких пьезоэлементов [1,2]. Неравномерность АЧХ, в основном определяется добротностью пьезокерамик. Придавать пьезокерамике различную конфигурацию с целью расширения частотного диапазона и выравнивания АЧХ очень трудно и неприменимо для серийного изготовления на ее основе преобразователей. Указанные недостатки, как показали наши предварительные исследования, можно устранить, если использовать в качестве активного элемента пьезокомпозиционные материалы. Пьезокомпозиционные материалы, в свою очередь, имеют по сравнению с пьезокерамикой недостатки, связанные с низкой мощ-

ностью излучения и малой емкостью. Поэтому необходимо разработать пьезокомпозиты с мощностью излучения не менее $(0,15 \div 5)$ Па/В. Если в режиме приема акустических волн пьезокомпозиты по сравнению с пьезокерамикой чувствительны, как минимум, на порядок, то в режиме излучения они уступают пьезокерамике. Поэтому следует варьировать физико-механические свойства пьезокомпозитов таким образом, чтобы в режиме излучения их эффективность была бы равна или близка эффективности пьезокерамики. Одним из показателей эффективности пьезоэлектрических материалов является их коэффициент электромеханической связи. Если образец имеет форму пластины, длина и ширина которой превышают толщину, а пьезополяризация и напряженность электрического поля направлены перпендикулярно электродам, то все величины, входящие в уравнение прямого и обратного пьезоэффектов, имеют только одну компоненту, и коэффициент электромеханической связи определяется выражением:

$$\beta^2 = \frac{d^2}{\varepsilon^\sigma S^E} = \frac{h^2 \varepsilon^\delta}{C^D} = \frac{g^2 \varepsilon^\sigma}{S^E} \quad (1)$$

где d - пьезомодуль, ε^δ и ε^σ - диэлектрические проницаемости при $\delta = 0$ и $\sigma = 0$, соответственно, S^E - податливость, h - пьезокоэффициент, g - пьезочувствительность, C^D - коэффициент упругости при $D = 0$.

Квадрат коэффициента электромеханической связи β^2 определяет чувствительность пьезопреобразователя при излучении и приеме звуковых волн. Сопоставим значения параметров пьезокерамики и пьезокомпозита с целью определения возможности применения композитов - полимер-пьезокерамика для создания излучателей. В таблице 1 приведены параметры, входящие в формулу (1) и значения β^2 для различных пьезокерамик и композита ПВДФ+ПКР-3М.

Из таблицы 1 видно, что значения β^2 для высокоэффективной пьезокерамики ЦТС-19, ЦТБС-3 и ЦТСНВ-1 и композита ПВДФ+ПКР-3М мало отличаются. Так, например, отношение значений β^2 для ЦТСНВ и ПВДФ+ПКР-3М равно 1,5. Небольшое увеличение d_{ij} и уменьшение S_{ik} вариацией объемного содержания пьезонаполнителя в композите и улучшением технологических режимов получения композитов, а также повышением напряжения возбуждения, позволит добиться в композитах показателей пьезокерамик в режиме излучения. Простота технологии получения, высокие физико-механические и пьезоэлектрические характеристики, а также возможность получения пьезоэлементов различной конфигурации делают пьезокомпозит эффективным пьезоматериалом для создания электроакустических преобразователей нового поколения, отличающихся высокими эксплу-

Таблица 1.

Основные электрофизические и механические параметры пьезоматериалов.

Пьезоэлектрические материалы	Пьезомодуль, $d_{ij} \cdot 10^{12}$ Кл/Н	Упругая податливость $S_{ik} \cdot 10^{12}$ м ² /Н	Относительная диэлектрическая проницаемость, ϵ_{33}	Пьезочувствительность, g_{ij} , Вм/Н	β^2
1	2	3	4	5	6
ЦТС-19	250	14,9±10,4	1725±326	0,13	2,6
ЦТСНВ-1	400	16,8±14,7	2250±560	0,2	3,6
ЦТБС-3	300	12,2±10,7	2350±500	0,16	3,0
Пьезокомпозит ПВДФ+ПКР-3М	200	160	100±10	0,25	2,5

атационными характеристиками. Отметим, что исследование по созданию аппаратов связи, в частности телефонных преобразователей на основе пьезокомпозитов в настоящее время находится в начальной стадии. Необходимо разработать физические основы создания композитного материала для излучателей и приемников, рассчитать оптимальные конструкции отдельных преобразователей, определить конфигурацию и геометрические размеры пьезокомпозитного элемента, а также оптимальные режимы поляризации. Необходимо особо подчеркнуть, что АЧХ и мощность излучения пьезокомпозитных преобразователей существенно зависят от конфигурации пьезокомпозитного элемента (таблица 2). Результаты получены при приложении к пьезоэлементу напряжения 10 В. Возможность широкой вариации конфигурации, чего нельзя достигнуть в случае пьезокерамики, обеспечивает и широкое регулирование модуля упругости, емкости пьезомодуля d_{ij} и, следовательно, g_{ij} . Все это вселяет надежду в возможность создания высокоэффективных пьезокомпозитных преобразователей.

На рис. 1 (а, б) показана зависимость чувствительности микрофона на низких частотах (100 Гц) и на частоте 1 кГц от напряжения поляризации и от температуры поляризации композитного пьезоэлемента. Видно, что с увеличением U_n , чувствительность растет с тенденцией к насыщению при $U_n \geq 6$ кВ. В зависимости от температуры чувствительность микрофона растет, достигая максимального значения при $T_n \approx 393$ К, и далее уменьшается. По этим зависимостям можно определить оптимальные условия поляризации композитных пьезоэлементов. Эксперименты показывают, что максимальную чувствительность имеют преобразователи при толщине пьезоэлемента ≈ 200 мкм. Следует отметить, что при изменении толщины пьезоэлемента, резонансные

Таблица 2.

Зависимость мощности излучения от частоты для преобразователей различной конфигурации.

f , Гц	P , Па, плоский элемент	P , Па, куполообразный элемент $r_{кр} = 1$ мм
200	2	4,7
400	3	5,5
500	3,8	5,6
600	5,0	6,0
700	10,5	6,25
800	10,0	7,0
900	5,25	8,2
1000	26,0	9,0
1200	6,25	16,0
1300	4,0	24,5
1400	3,0	45
1500	2,82	68
1800	4,0	11,0
2000	1,8	7,5
2500	1,9	2,25
3000	0,1	2,25
4000	0,17	2,4

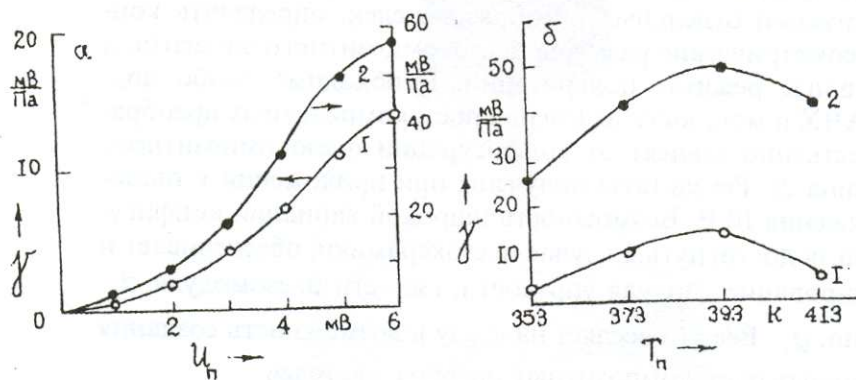


Рис. 1. Зависимости чувствительности γ пьезокompозитного преобразователя от напряжения U_n поляризации (а) и от температуры T_n поляризации (б) пьезоэлемента, 1 - при 100 Гц; 2 - при 1 кГц. Композит ПВДФ+ПКР-3М; $\Phi = 50$ % объемное.

частоты преобразователя смещаются, при прочих равных условиях. Отметим, что амплитудно-частотная характеристика пьезокompозитных преобразователей имеет несколько максимумов, причем, приме-

няя демпфирующий элемент, можно выровнять АЧХ и несколько расширить частотный диапазон (рис. 2).

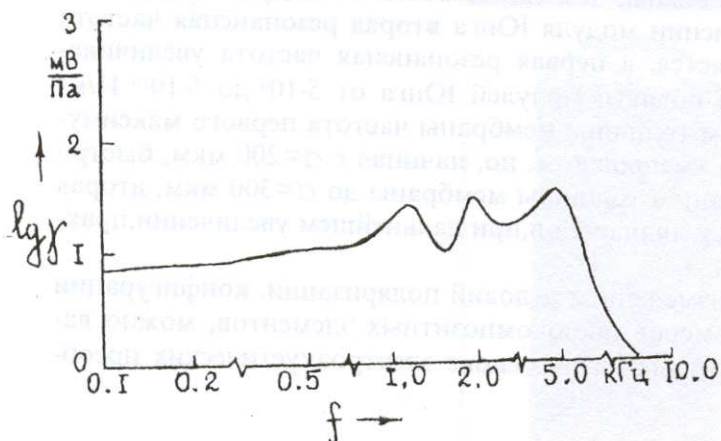


Рис. 2. АЧХ пьезокомпозитного преобразователя (приемника). Композит ПВДФ+ПКР-3М.

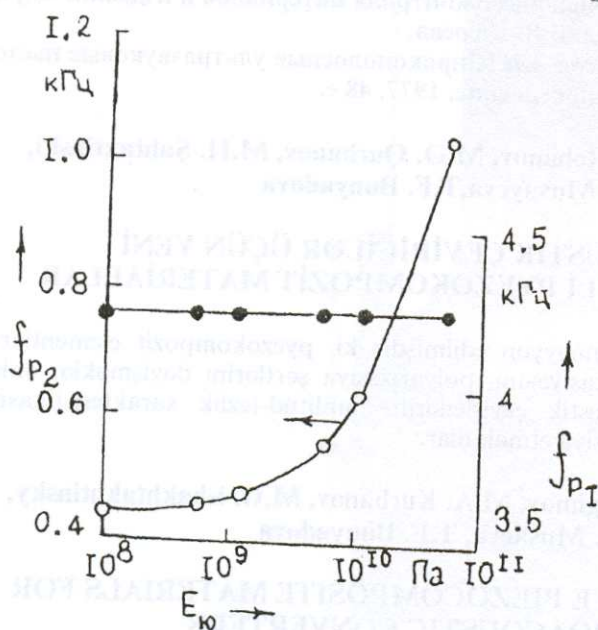


Рис. 3. Зависимость резонансных частот преобразователя-приемника от модуля Юнга мембраны. Композит - ПВДФ+ПКР-3М; $\Phi=50\%$ объемное.

Резонансные частоты во многом определяются толщиной и модулем Юнга мембранного элемента. При изменении модуля Юнга мем-

браны изменяется только ее эквивалентная гибкость, а при изменении толщины изменяются и эквивалентная гибкость, и эквивалентная масса. В соответствии с этим, зависимости резонансных частот от толщины мембраны более сложны, чем зависимости от модуля Юнга. Так, например, при увеличении модуля Юнга вторая резонансная частота микрофона не изменяется, а первая резонансная частота увеличивается, причем резко, в области модулей Юнга от $5 \cdot 10^9$ до $5 \cdot 10^{10}$ Н/м² (рис. 3). С увеличением толщины мембраны частота первого максимума сначала несколько уменьшается, но, начиная с $d=200$ мкм, быстро возрастает. С увеличением толщины мембраны до $d=300$ мкм, вторая резонансная частота уменьшается и, при дальнейшем увеличении, практически не изменяется.

Таким образом, изменением условий поляризации, конфигурации и геометрических размеров пьезокомпозитных элементов, можно варьировать АЧХ созданных на их основе электроакустических преобразователей.

Литература

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник, II том, 1986, под ред. В.В. Клюева.
2. Королев М.В., Канпельсон А.Е. Широкополосные ультразвуковые пьезообразователи. М. Машиностроение, 1977, 48 с.

Ə.İ. Məmmədov, O.A. Rəhimov, M.Ə. Qurbanov, M.H. Şahtaxtinski,
S.N. Musayeva, T.F. Bunyadova

ELEKTROAKUSTİK ÇEVİRİCİLƏR ÜÇÜN YENİ YÜKSƏKEFFEKTİVLİ PYZOKOMPOZİT MATERİALLAR

Eksperimental olaraq müəyyən edilmişdir ki, pyezokompozit elementlərin həndəsi ölçüləri və konfigurasiyasını, polarizasiya şərtlərini dəyişməklə, onlar əsasında alınmış elektroakustik çeviricilərin amplitud-tezlik xarakteristikasını (ATX) geniş intervalda variyasiya etmək olar.

A.I. Mamedov, O.A. Ragimov, M.A. Kurbanov, M.G. Shakhtakhtinsky,
S.N. Musaeva, T.F. Bunyadova

HIGH-EFFECTIVE PIEZOCOMPOSITE MATERIALS FOR ELECTROACOUSTIC CONVERTERS

It is established experimentally, that gain-frequency characteristics of electroacoustic converters created on the basis of piezocomposite elements is varied by changing of polarization conditions, configuration and geometrical dimensions of ones.