

Акустические волны в сегнетокерамике с электроиндуцированной анизотропией

С. Д. БАРСУКОВ, С. А. ХАХОМОВ, И. В. СЕМЧЕНКО

Эффекты, связанные с формированием индуцированной анизотропии в естественно-изотропных веществах, изучаются уже давно. Эти явления интересны для ученых в первую очередь вследствие редкой возможности управления искусственной анизотропией среды, а также благодаря возможности передачи энергии распространяющейся акустической или электромагнитной волне. Идея нелинейного взаимодействия акустического и вращающегося электрического поля для наблюдения параметрических электроакустических эффектов в кристаллах принадлежит В.Н. Белому и Б.Б. Севруку и была высказана более 20 лет назад [1-2]. В дальнейшем эта идея развивалась физиками Гомельского государственного университета, где Ф.И. Федоровым, Б.В. Бокутем, А.Н. Сердюковым была создана научная школа в области оптики и акустики гиротропных сред [3-11]. К настоящему времени была предсказана возможность подавления поглощения ультразвука вращающимся электрическим полем и усиления ультразвуковых волн в кристалле в условиях резонансного взаимодействия электрического поля и ультразвука [7]. В данном случае среды с индуцированной вращающейся пространственно однородной акустической анизотропией представляют собой акустический аналог пространственно-периодических сред, и в них проявляются эффекты, характерные для последних.

С целью подтверждения теоретически предсказанных эффектов нами проводятся экспериментальные исследования в данной области. Для исследования объемных акустических волн в твердых телах разработан экспериментальный комплекс. Структурная схема комплекса показана на рисунке 1.

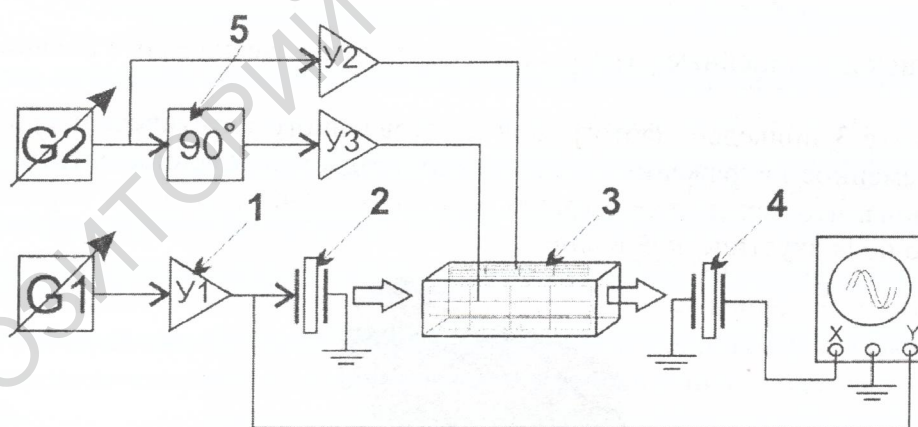


Рисунок 1 – Структурная схема экспериментального комплекса

Экспериментальный комплекс состоит из двух управляемых генераторов ($G1$, $G2$), фазовращателя (5) с углом поворота фазы на 90 градусов, двух усилителей высокого напряжения ($U2$, $U3$), усилителя для управления пьезокерамикой ($U1$), излучателя ультразвука (2), акустического волновода (3), приемника ультразвука (4) и устройства индикации (УИ), в качестве которого применен двухканальный осциллограф или аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

В основе работы лабораторного комплекса лежит излучение и регистрация акустических волн с помощью пьезоэлектрических элементов, связанных с измерительными прибо-

рами по предложенной структурной схеме. С выхода генератора (G1) гармонический сигнал поступает на усилитель для управления пьезокерамикой (У1), которым обеспечивается необходимый для нормальной работы уровень сигнала на обкладках пьезоизлучателя. Генератор (G1) задает частоту акустической волны, распространяющейся в волноводе. Излучатель совершает объемные сдвиговые колебания и, тем самым, создаёт в акустическом волноводе поперечные колебания. На выходе волновода упругие колебания среды регистрируются с помощью приемника (4) и, усиленные электронной частью измерительного устройства, принимают численный вид. Генератор (G2) задает частоту вращающегося электрического поля. Его выход подключен к электронному фазовращателю (5) и далее к высоковольтному усилителю (У3), а также напрямую к высоковольтному усилителю (У2). Таким образом на выходе высоковольтных усилителей (У2) и (У3) формируется синусоидальный сигнал с большой амплитудой и смещенный по фазе между каналами усилителей на угол 90 градусов. Подавая полученные электрические сигналы на обкладки акустического волновода, расположенные во взаимно-ортогональных плоскостях, мы тем самым формируем вращающееся электрическое поле, где вектор напряженности поля описывает круговую траекторию с началом на оси симметрии волновода и направленной вдоль распространяющейся акустической волны. Варьируя частоты генераторов и коэффициенты усиления усилителей экспериментального комплекса в описанной структурной схеме, можно задавать различные параметры исследований с различными частотами и уровнями электрических сигналов управления.

В наших исследованиях мы используем волновод, который имеет прямоугольную форму и выполнен из centrosимметричной сегнетокерамики на основе соединения титаната-бария BaTiO_3 . Общий вид акустического волновода с нанесенными на его грани обкладками приведен на рисунке 2.

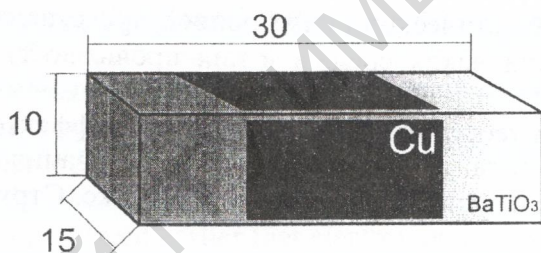


Рисунок 2 – Линейные размеры изготовленного акустического волновода

На рисунке 3 приведена фотография изготовленного акустического волновода с обкладками. Переменное напряжение на электродах создает переменное электрическое поле в объеме волновода, что вследствие эффекта электрострикции позволяет передавать энергию электрического поля акустической волне.

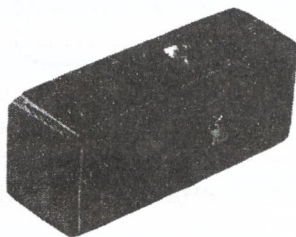


Рисунок 3 – Фото акустического волновода с нанесенными проводящими обкладками

Излучатели и приемники акустических волн приведены на рисунке 4. Образцы излучателей поперечных акустических волн выполнены на основе срезов YZ пластинки кварца. Управление излучателями производится переменным электрическим полем путём подведения на обкладки излучателей переменного напряжения с блока усилителей. Резонансная частота применяемых излучателей лежит в области 28 МГц, при этом измерения проводятся на

частотах на порядок ниже, что позволяет исключить собственные резонансы излучающих и регистрирующих элементов.

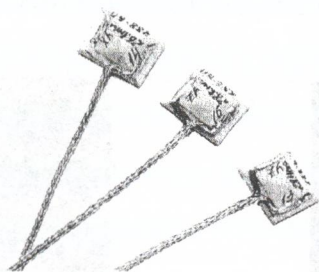


Рисунок 4 – Акустические излучатели ультразвука на основе срезов кварца

Активная часть экспериментального комплекса представлена на рисунке 5. Акустический волновод закреплен в специальных рамках, которые обеспечивают электрическую и акустическую изоляцию. Излучатель и приемник акустических колебаний расположены на торцах волновода и имеют непосредственный контакт с ним.

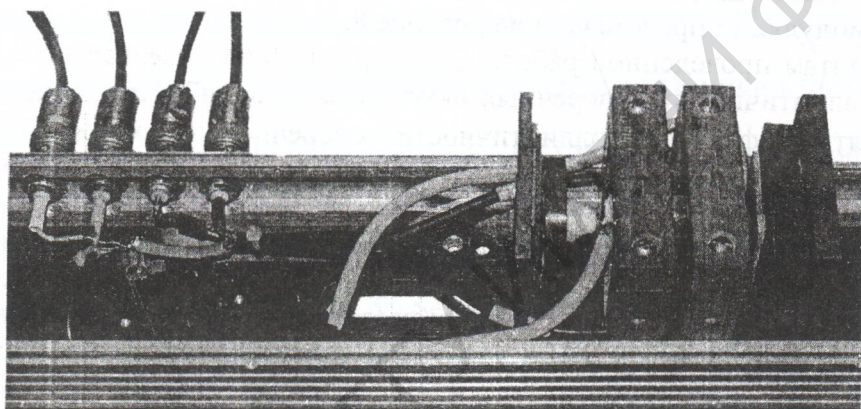


Рисунок 5 – Активная часть экспериментального комплекса

Комплекс позволяет задавать параметры измерения, проводить многофакторный анализ, управлять свойствами акустического волновода посредством искусственного формирования свойств среды во внешнем электрическом поле. Сформированная анизотропия свойств акустического волновода периодически изменяется с течением времени в результате воздействия переменных электрических полей.

Проведенные нами исследования показали хорошие результаты по созданию акустических волн в волноводе и их последующей регистрации. В исследованном диапазоне частот резонансов не наблюдалось. На рисунке 6 представлена осциллограмма электрических сигналов на излучающем элементе (нижняя синусоида) и приемнике акустических волн (верхняя синусоида).

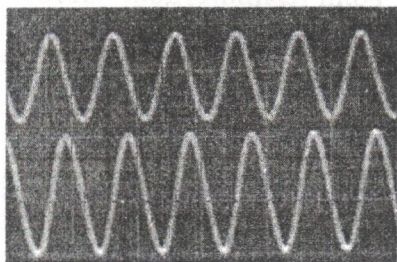


Рисунок 6 – Осциллограммы сигналов на активных элементах комплекса
(Верхняя синусоида при 0,2 В/дел., нижняя при 20 В/дел.)

При равенстве частот излучаемой акустической волны (нижняя синусоида на рисунке 7) и частоты внешнего вращающегося электрического поля наблюдается сложение акустических колебаний и как следствие резкое возрастание амплитуды проходящей волны (верхняя синусоида на рисунке 7).

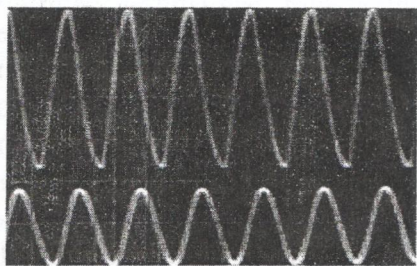


Рисунок 7 – Осциллограммы сигналов на излучающем элементе и приемнике акустических волн

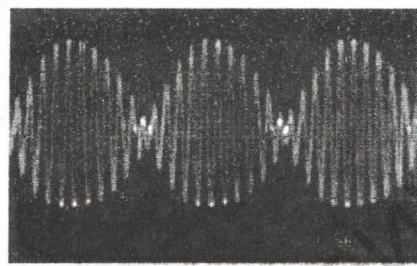


Рисунок 8 – Модуляция акустической волны электрическим полем

В случае, если частоты акустических волн различны, то наблюдается эффект модуляции акустических волн, как следствие сложения механических колебаний с различными частотами. Эффект модуляции представлен на рисунке 8.

По результатам проведенной работы была предложена полезная модель “Устройство для измерения эллиптичности поперечных акустических волн”. Предложенное устройство позволяет измерять коэффициент эллиптичности поперечной акустической волны в волноводе в относительных единицах или в процентах. В основе работы устройства лежит метод измерения отношения амплитуд механических колебаний во взаимно-перпендикулярных плоскостях и их последующего сравнения. В качестве регистрирующих элементов в устройстве применены пьезоэлектрические резонаторы, которые преобразуют механические колебания в электрические, вследствие прямого пьезоэлектрического эффекта. Устройство сравнения являются инструментальные усилители с дифференциальным входом, которые помимо функции вычитания также обеспечивают основное усиление электрических сигналов. Кроме описанных элементов, в схему устройства включены: фильтры нижних частот, амплитудные детекторы, а также резисторный потенциометр. Это позволило обеспечить высокую повторяемость устройства, гибкую настройку и возможность работы с волноводами любых типов и линейных размеров.

Полученные результаты могут быть применены в экспериментальных разделах акустики, акустооптики, акустоэлектроники. Основные результаты работы могут быть использованы при теоретических и экспериментальных исследованиях сред со структурой, периодически изменяющейся с течением времени. Разработанная методика может быть использована для определения влияния внешних воздействий на свойства упругих волн в кристаллах различных точечных групп симметрии. Результаты, полученные при рассмотрении особенностей создания поперечных акустических волн в кристалле, могут быть использованы при разработке практических устройств, при решении широкого круга теоретических и экспериментальных задач физики твердого тела и ультразвуковой акустики, связанных с управлением характеристиками акустических волн (амплитудой, частотой, поляризацией) путем изменения напряженности и (или) частоты внешнего поля.

Работа частично поддержана грантом Министерства образования Республики Беларусь для аспирантов.

Abstract. The effects of formation of induced anisotropy in isotropic media are studied in the paper. These phenomena are interesting, first of all, owing to an opportunity of control by artificial anisotropy of media, and also owing to an opportunity of transfer of energy to the propagating acoustic or electromagnetic wave. With the purpose of confirmation of theoretical results we carried out experimental researches in the described field.

Литература

1. Белый В. Н., Севрук Б. Б. Параметрическое взаимодействие циркулярно поляризованных электромагнитных и акустических волн в кристаллах с электрострикционной нелинейностью // Сб.: Ковариантные методы в теоретической физике. Мн., 1986.
2. Белый В. Н., Севрук Б. Б., Хаткевич А. Г. Воздействие внешнего электрического поля на акустические оси в centrosимметричных кубических кристаллах // Кристаллография. 1986. Т. 31, № 1.
3. Федоров Ф. И. Теория упругих волн в кристаллах. М., 1965. 386 с.
4. Федоров Ф.И., Бокуть Б.В., Сердюков А.Н. К феноменологической теории оптически активных кристаллов, Кристаллография, 1970, т. 15, № 5.
5. Семченко И. В., Хахомов С. А., Севрук Б. Б. Частотная зависимость взаимодействия ультразвука с вращающимся электрическим полем в проводящей сегнетокерамике // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук . 1995. № 4.
6. Семченко И. В., Сердюков А. Н., Хахомов С. А. Усиление акустических волн в кристалле, помещенном во вращающееся электрическое поле // Кристаллография. 1993. Т.38, № 1.
7. Семченко И. В., Хахомов С. А. Объемные акустические волны в кристаллах во вращающемся электрическом поле, Минск, Беларуская навука, 1998, 150 с.
8. Хахомов С.А., Яковцов И.Н., Барсуков С.Д. Исследование амплитудно-частотных характеристик пьезокерамического элемента на основе соединения цирконий-титанат-свинец, Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, №6 (39), ч.1, 2006, с. 147-151
9. Khakhomov S.A., Barsukov S. D., Semchenko I.V. Interaction of acoustic waves with rotating electric field in ceramics on the base of barium titanate , The 6th International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2007, September 26-30, 2007, Hamamatsu, Japan, Proceedings, Vol.1, p.126-135.
10. Barsukov S. D., Khakhomov S.A., Semchenko I.V. The universal generator for acousto-optic researches, The 7th International Conference on Global Research and Education Inter-Academia 2008, September 15-18, 2008, Pecs, Hungary, Proceedings, p.438-443.
11. Семченко И.В., Хахомов С. А., Барсуков С.Д. Устройство для измерения амплитудно-частотной характеристики акустоэлектрического элемента, Патент РБ №4624, ВУ 4624 U 2008.08.30