

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно- исследовательской работе

ФГБОУ ВО «СГУ имени

Н.Г.Чернышевского»

доктор физико-математических наук,
профессор

Алексей Александрович Короновский

« 23 » сентября 2019 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

Недоспасова Ильи Александровича

«Особенности распространения обратных и прямых акустических волн в изотропных и анизотропных пластинах и структурах на их основе»,

представленную на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.07 — физика конденсированного состояния

1. Актуальность темы диссертации

В последние годы активно исследуются волновые процессы, характеризующиеся разнонаправленностью фазовой и групповой скоростей. Такие процессы можно наблюдать как в искусственных метаматериалах, состоящих из периодических сред, так и в однородных анизотропных средах. Подобные эффекты могут приводить к отрицательным коэффициентам преломления при распространении волн в этих средах. Для объемных акустических волн в однородных кристаллах сильная анизотропия обычно характеризуется сложной формой поверхностей медленностей. В этом случае наблюдаются большие значения углов между фазовой и групповой скоростями. Например, кристалл парателлурита с ромбической симметрией из-за сильной анизотропии его свойств характеризуется рекордными показателями такого угла (до 70 градусов). Отрицательная вогнутость поверхности медленностей соответствует модам с аномальной дисперсией, называемым обратными волнами. Такие волны могут существовать и в изотропных пластинах, но частотные диапазоны их существования относительно узкие. Например, для алюминиевой пластины толщиной 1 мм частотный диапазон составляет 0.2 МГц.

Рост количества работ по данной тематике в последнее время связан в первую очередь с перспективами практических применений обратных волн. Например, такие моды могут использоваться для создания акустоэлектронных устройств, датчиков, резонаторов, лабораторий

на чипе, либо в ультразвуковых устройствах неразрушающего контроля. В связи с вышесказанным тема диссертации несомненно является актуальной.

Целью диссертации И.А. Недоспасова является исследование обратных акустических волн различных типов в изотропных и анизотропных пластинах и структурах на их основе. Особое внимание уделяется исследованию влияния анизотропии, геометрии волновода, а также граничных условий на существование данных волн. Кроме того, большое внимание в работе уделено выявлению и объяснению механизмов возникновения обратных волн в сильных пьезоэлектриках, характеризующихся, в частности, высоким коэффициентом электромеханической связи (до 50%).

2. Новизна исследования и полученных результатов

Наиболее важными и ценными научными результатами, полученными автором в процессе работы, являются следующие:

- впервые обнаружено существование обратных сдвиговых волн в пластине из ниобата калия XY-среза в широких частотных диапазонах (1 МГц для низшей моды и более 1 МГц для высших типов в пластине толщиной 1 мм), что связано с отрицательной вогнутостью на поверхности медленностей. Был раскрыт физический смысл коэффициентов разложения дисперсионных соотношений в ряды в точках зарождения как механизмов возникновения данных волн;
- впервые предложен способ возбуждения и регистрации обратных акустических волн Лэмба в пьезоэлектрической пластине ниобата лития YX-среза с помощью набора встречно-штыревых преобразователей (ВШП) с различными периодами;
- впервые показано, что при распространении обратных вытекающих волн Лэмба в пластине, погруженной в жидкость, амплитуда поля в данной жидкости затухает с глубиной, а не нарастает, как в случае прямых волн. Было показано, что вследствие существования этого эффекта усредненная по времени и интегрированная по глубине величина горизонтальной проекции потока энергии для обратных вытекающих волн Лэмба равна нулю;
- обнаружено значительное влияние проводящих тонких слоев на спектр чисто сдвиговых обратных мод в пластине ниобата калия XY-среза и на распределение их электрических полей;
- впервые определены частотные диапазоны существования локализованных волн на общей наклонной границе двух четвертьпространств или на границе двух клиньев с контрастом акустических материальных постоянных для частного случая пуассоновских сред;
- для структур в виде усеченного клина, состоящего из трех сред, впервые найдены частотные диапазоны существования обратных волн.

3. Степень обоснованности и достоверности и достоверности положений и выводов, сформулированных в диссертации

Все решения задач в диссертации, представленной И.А. Недоспасовым, получены с помощью адекватных аналитических и численных методов. Для нахождения дисперсионных характеристик мод в пьезоэлектрических пластинах использовался известный итерационный метод поиска решений, основанный на сведении изначальной постановки проблемы в виде уравнений движений к задаче на собственные значения в терминах смещений и элементов тензоров напряжений. Полученные в результате такого подхода данные хорошо согласуются с результатами, полученными при решении задачи методом конечных элементов в среде COMSOL Multiphysics, и находятся в хорошем соответствии с экспериментальными данными.

Для вычислений акустических полей в сложных волноводах клиново-кромочного типа использовались авторские программы, основанные на полуаналитическом методе конечных элементов, получаемом из вариационной постановки. Данный метод проверялся и оптимизировался с помощью метода функций Лагерра и в частных случаях показал хорошее соответствие с полным методом конечных элементов, реализованном в COMSOL Multiphysics. Основные положения и выводы не противоречат современным представлениям науки, достоверность полученных результатов подтверждается сравнением с результатами других авторов, а также хорошим соответствием теоретических результатов и экспериментальных данных.

4. Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта

Полученные диссертантом результаты существенно углубляют понимание механизмов возникновения и существования обратных акустических волн в пьезоэлектрических пластинах, характеризующихся сильным пьезоэффектом. Фундаментальное значение имеют результаты исследования энергетических характеристик вытекающих обратных волн Лэмба в изотропных пластинах, нагруженных жидкостью.

Впервые предложенный способ возбуждения и регистрации обратных волн Лэмба в пьезоэлектрических пластинах с помощью набора резонаторов на ВШП с различными периодами позволил провести тонкие измерения дисперсии скорости высших волн Лэмба и в дальнейшем может быть использован при разработке новых устройств обработки сигналов на волнах с нулевой групповой скоростью.

Полученные в работе И.А. Недоспасова теоретические результаты могут использоваться для интерпретации и анализа различных экспериментальных данных. Также данная работа

является основой для продолжения и постановки новых теоретических и экспериментальных исследований. Например, возможно продолжение исследования обратных акустических волн в пластинах из сильных пьезоэлектриков, где имеют место большие значения фазовых скоростей этих волн, без использования квазистатического приближения для электромагнитного поля. Интересных и практически важных результатов можно ожидать при исследовании обратных акустических волн в пьезополупроводниковых пластинах.

Найденные в работе условия существования обратных сдвиговых акустических волн в ниобате калия могут в дальнейшем обеспечить необходимый подбор материалов и выбор их ориентаций для поиска расширенных диапазонов существования обратных волн.

Разработанные в диссертации численные методы и аналитические подходы могут использоваться при анализе волноводных мод в более сложных структурах.

5. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Описанные в работе новые результаты и выводы могут найти применение в научных исследованиях в Саратовском национальном исследовательском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского, в Саратовском государственном техническом университете им. Ю.А. Гагарина, в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова и других исследовательских организациях, связанных с использованием акустических волн для обработки сигналов и создания акустических датчиков и устройств для неразрушающего контроля.

6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям

Диссертационная работа Недоспасова Ильи Александровича «Особенности распространения обратных и прямых акустических волн в изотропных и анизотропных пластинах и структурах на их основе» соответствует всем требованиям пунктов 9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния.

7. Соответствие содержания автореферата содержанию диссертации

Автореферат соответствует всем требованиям, предусмотренным п. 25 «Положения о присуждении ученых степеней», его содержание достаточно полно отражает содержание диссертации, полученные результаты и выводы.

8. Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертационная работа И.А. Недоспасова представляет собой важное научное исследование и является завершенной работой в рамках поставленной цели. В ней проведены изучение особенностей возбуждения и регистрации волн в пьезоэлектрических пластинах различных типов.

Умелое и грамотное использование современных численных методов, наряду с важными для глубокого понимания физических процессов и интерпретации аналитическими методами, говорит о высоком теоретическом уровне работы. Главные положения работы и ее выводы сформулированы ясно и глубоко аргументированы. Большинство полученных результатов обладают научной новизной. Таким образом является очевидным, что цель диссертационной работы достигнута.

Текст диссертации и автореферат оформлены в соответствии с действующими нормами и требованиями, стиль и язык изложения соответствует литературным нормам и правилам.

Результаты диссертационного исследования опубликованы в 15 научных работах, из них 5 в отечественных журналах из списка ВАК, и 4 в основных зарубежных высокорейтинговых журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus и Web of Science. Также работа апробирована как на всероссийских, так и на крупных международных научных конференциях. Дополнительно результаты докладывались на научных семинарах Физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, ИРЭ имени В.А.Котельникова РАН, ИБФ имени Н.М.Эмануэля РАН.

9. Замечания к диссертационной работе.

1. При использовании метода конечных элементов для моделирования резонаторов, полагается, что на границе пластины с вакуумом нормальная компонента электрической индукции равна нулю. Но при расчете спектров мод использовались непрерывные граничные условия на границе пьезоэлектрика с вакуумом. В диссертации ничего не сказано об этом различии.
2. Автор при описании полуаналитического метода кривизну поверхности медленности аппроксимирует дополнительными квадратичными членами, но только для антисимметричных мод. Это исключение в диссертации не имеет обоснования.
3. Ряд результатов диссертации получен только для пуассоновских сред. Но в диссертации нет оценок для применения используемых методов для произвольных упругих сред.
4. На некоторых рисунках третьей главы подписи к рисункам неадекватны описываемым дисперсионным зависимостям.

5. В тексте диссертации есть ряд орфографических и пунктуационных ошибок. Последние несколько ссылок неверно указаны и не соответствуют статьям. Номер последней ссылки в тексте и последней ссылки в списке различается.

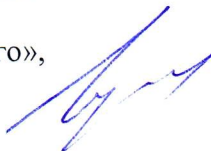
10 Заключение

Несмотря на наличие ряда замечаний, они не умаляют значения результатов работы И.А. Недоспасова. Диссертационная работа И.А. Недоспасова представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком теоретическом уровне. Данная работа содержит решение ряда задач, которые объясняют свойства обратных акустических волн в пластинах и на кромках.

На основании вышесказанного можно утверждать, что диссертация «Особенности распространения обратных и прямых акустических волн в изотропных и анизотропных пластинах и структурах на их основе» соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней» для кандидатских диссертаций, а ее автор Недоспасов Илья Александрович достоин присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния.

Отзыв подготовлен руководителем Научно-технологического центра «Микро- и наноэлектроника», доктором физико-математических наук, с.н.с., Сучковым Сергеем Германовичем. Отзыв заслушан и обсужден на научном семинаре Научно-технологического центра «Микро- и наноэлектроника» (протокол №3/19 от 19.09.2019 г.).

Руководитель Научно-технологического центра
«Микро- и наноэлектроника»
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»,
доктор физико-математических наук, с.н.с.



Сучков Сергей Германович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского», сокращенно ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г.Чернышевского», 410012, г.Саратов, ул. Астраханская, д. 83, 8452-261696, 8452-271196, suchkov.s.g@mail.ru, rector@sgu.ru, www.sgu.ru

