

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Буркова Сергея Ивановича
«Влияние внешних статических воздействий на распространение упругих волн в пьезокристаллах и слоистых структурах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Актуальность. К настоящему времени создан широкий класс акустоэлектронных устройств, принципом работы которых является использование пьезоэлектрического эффекта кристаллической структуры. Расширение функциональных возможностей и повышение частотного диапазона вплоть до СВЧ подобных устройств стимулируют проведения новых исследований в области поиска новых материалов и типов волн, которые были необходимы для высокостабильных узкополосных фильтров, линий задержки, генераторов. Поэтому, начиная с 60-х гг. XX века и к настоящему времени можно говорить о таких быстро развивающихся научно-технических областях, как пьезотехника и акустоэлектроника. Стоит упомянуть наиболее интересные и технически совершенные приборы и устройства последнего времени – акустические микроскопы, диагностический и хирургический ультразвук, вторичные стандарты частоты и времени, сверхчувствительные весы для измерений масс единичных молекул. Прогресс в пьезотехнике и акустоэлектронике всецело базируется на открытии новых материалов и физических эффектов, возникающих при возбуждении, распространении и взаимодействии акустических волн различных типов, в особенности, в низкоразмерных слоистых пьезоэлектрических структурах. Всё более активно используют дисперсионные моды Лэмба и Лява в композитных слоистых пьезоэлектрических структурах, их особые свойства с точки зрения применений в чувствительных элементах сенсоров различных физико-химических воздействий. Можно сказать, что применение методов акустики обеспечивает многие незаменимые потребности современной цивилизации. Поэтому поиск материалов с наилучшими акустическими параметрами, обнаружение новых типов акустических волн, создание и исследование низкоразмерных слоистых пьезоэлектрических структур и СВЧ акустических резонаторов составляют круг актуальных задач современной кристаллоакустики и акустоэлектроники.

Исследование влияния внешних статических воздействий на характеристики объемных (ОАВ) и поверхностных (ПАВ) акустических волн проводятся начиная с 80-х годов прошлого века, но данная проблема только становится актуальнее в настоящее время в связи с потребностью дополнительных возможностей управления для сенсорных

систем. Так как в этом случае, возможно, контролируемо изменять физические свойства и акустические параметры звукопровода. Необходимо также отметить, что влияние внешних статических воздействий, таких как электрическое поле или одноосное механическое напряжение на характеристики и условия распространения упругих волн в пьезоэлектрических пластинах и слоистых структурах на их основе практически не изучено. Именно поэтому с уверенностью можно констатировать несомненную актуальность исследований, выполненных Бурковым Сергеем Ивановичем в рамках диссертационной работы.

Необходимо также отметить, что диссертационная работа является естественным продолжением работ по исследованию изменения физических свойств пьезоэлектрических кристаллов при внешних статических воздействиях, проводимых уже в течение ряда лет на кафедре «Физики твердого тела и нанотехнологий» Сибирского федерального университета и в Институте физики им. Л. В. Киренского СО РАН под руководством академика Александрова К.С..

Научная и практическая значимость полученных в работе результатов обусловлена установлением ряда важных закономерностей и разработкой нового подхода к определению влияния внешних статических воздействий на характеристики объемных и поверхностных акустических волн, поиска новых сенсорных систем. Это позволило получить ряд новых и несомненно, важных результатов, которые нашли отражение в диссертации.

1 На основе теории распространения упругой волны в конечно-деформированной пьезоэлектрической среде выполнен анализ влияния одноосного механического давления и электрического поля на анизотропию характеристик объемных и поверхностных акустических волн в кристаллах тригональной и кубической сингонии. Особо можно отметить анализ особенности влияния внешних статических воздействий на поведение характеристик объемных акустических волн в окрестности акустических осей вследствие изменения эффективной симметрии кристалла. Представленные расчетные данные хорошо согласуются с экспериментальными данными других авторов.

2 Найдена трансформация отраженных и преломленных упругих волн в окрестности акустической оси при приложении внешнего электрического поля к кристаллу $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ и ниобата лития при различных вариантах типа падающей волны и приложения внешнего электрического поля.

3 Установлены закономерности отражения и преломления объемных акустических волн от границы раздела двух сред на примере «плавленый кварц - $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ » и «ниобат

лития - $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ » при приложении внешнего одноосного механического давления к структуре. Найдены максимальные изменения амплитудных коэффициентов отраженных и преломленных акустических волн происходят в окрестности акустической оси при одноосном механическом воздействии на кристалл.

4 Проведена классификация видов гибридизации мод упругой волны и механизм смены типа колебаний взаимодействующих мод в области гибридизации. Выполнен анализ влияния внешнего электрического поля на взаимодействие (гибридизацию) мод акустической волны в пластине пьезокристалла. Выполнена оценка возможности термокомпенсации изменения фазовой скорости (частоты сигнала) приложением внешнего электрического поля к пластине кристалла на основе температурных зависимостей фазовых скоростей волн Лэмба и SH-волн в пластине кристалла лангасита во всех базовых плоскостях и в Z- повернутых, Y- повернутых срезах.

5 Представлен анализ дисперсионной зависимости фазовых скоростей, угла потока энергии, коэффициентов электромеханической связи упругой волны при различных вариантах приложения внешнего электрического поля в слоистых пьезоструктурах « $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ /плавленый кварц» и « $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ /плавленый кварц». Результаты подобных расчетов позволяют выбрать направление распространения упругой волны для создания устройства акустоэлектроники, не проводя реального эксперимента. Продемонстрирована трансформация объемной акустической волны в поверхностную недисперсионную моду упругой волны, вследствие воздействия внешнего электрического поля на пьезоструктуру.

6 Установлен дисперсионный характер акустических мод в пьезоэлектрических слоистых структурах « $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ /плавленый кварц», « $\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$ /плавленый кварц», «плавленый кварц/ LiNbO_3 » и « AlN /алмаз» при воздействии внешнего механического давления и найдено хорошее совпадение расчетных и экспериментальных данных для слоистой структуры « AlN /алмаз» и « $\text{ZnO}/\text{Si}(001)$ ». Определен вклад физической и геометрической нелинейности в изменение характеристик упругой волны в слоистой структуре, подвергнутой воздействию внешнего механического давления.

Достоверность выполненных автором исследований и полученных результатов подтверждена, прежде всего, использованием апробированных корректных вычислительных методов. Проводится также сравнение результатов, полученных численным способом с результатами полученных аналитическими методами для отдельных высокосимметричных направлений кристаллографических классов. Также количественным и качественным соответствием полученных в работе результатов с экспериментальными данными других авторов.

Однако, работа не лишена некоторых недостатков и моментов, оставшиеся не совсем понятными:

1. На стр.97 утверждается, что понижение симметрии происходит только за счет нелинейного пьезоэффекта и электрострикции и отсутствует статическая деформация кристалла. Как это понимать, электрострикция связана с деформацией?
2. На стр.101 вычисляются температурные коэффициенты задержки по формуле (4.22), куда входит эффективный коэффициент линейного теплового расширения. Что значит эффективный и откуда взяты эти величины?
3. Спектр собственных значений и векторов вычислялись из минимума функционала. В этом случае присутствуют локальные минимумы, которые не являются решением системы уравнений. Каким образом и на основании какого критерия эти решения отбрасывались?
4. На рисунке 6.2 представлены расчетные данные и экспериментальные точки из работы [291] и различие в численных значениях объясняется относительным изменением длины звукопровода. Однако численных значений этого изменения не приводится. Одним из граничных условий в уравнениях (5.2) указано непрерывность волны потенциала на границе кристалл-вакуум, но в уравнении (5.11) оно опущено без каких либо объяснений.
5. Несмотря на качественно оформленную работу, имеется ряд орфографических погрешностей, например, лишние или пропущенные запятые стр. 9, 28, 43, 61. Ряд «описок», например на стр. 81 в тексте электростатический потенциал обозначен как φ . но в уравнении 4.3 уже как f .

Все указанные замечания носят частный характер и не могут повлечь на общую, несомненно, высокую оценку диссертационной работы. Диссертационная работа Буркова С.И. является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований сформулированы теоретические положения теории распространения нормальных акустических волн в конечно-деформированной среде с учетом наличия границ раздела, изучение особенностей распространения акустических волн в таких условиях, а также эффектов управления, взаимодействия, трансформации мод упругой волны. Совокупность полученных результатов можно классифицировать, как крупное научное достижение на стыке областей радиофизики и кристаллоакустики.

Представленные в диссертационной работе результаты следует рекомендовать для ознакомления, учета и использования научным организациям, ведущим исследования в области радиофизики и кристаллоакустики в Институте радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН; Институте прикладной физики РАН; Московском

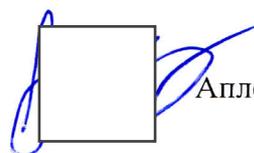
государственном университете имени М.В. Ломоносова; Акустическом институте имени Н.Н. Андреева; ФГБОУ ВПО "Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники ФГБОУ ВПО "Национальный исследовательский Томский государственный университет ФГАОУ «Южный Федеральный Университет ОАО НИИ ЭЛПА; лабораториях акустоэлектронных профилей, а также в других научных и учебных центрах, где ведутся исследования по близкой тематике.

Основные результаты работы Буркова С.И. полностью отражены в достаточном количестве опубликованных статей в престижных рецензируемых российских и международных научных журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и апробированы на многочисленных всероссийских и международных конференциях по теме диссертации. Практическая значимость полученных результатов подтверждается 8 авторскими свидетельствами.

Диссертация правильно отражает содержание опубликованных работ, а автореферат – содержание диссертации.

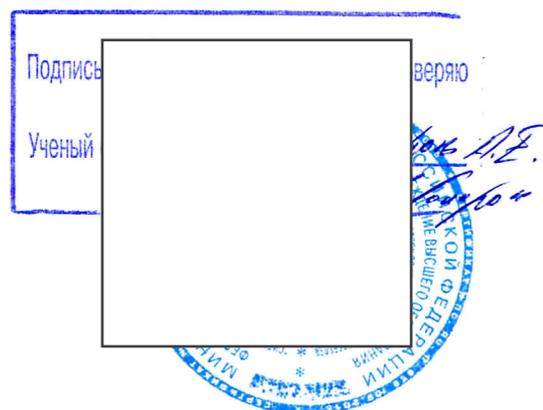
Считаю, что докторская диссертация Буркова С.И. «Влияние внешних статических воздействий на распространение упругих волны в пьезокристаллах и слоистых структурах» соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ к докторским диссертациям, а её автор, Бурков Сергей Иванович, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.03 – радиофизика.

Заведующий кафедры физики ФГБОУ ВО
«Сибирский государственный
аэрокосмический университет имени
академика М.Ф. Решетнева» доктор физико-
математических наук, профессор



Аплеснин Сергей Степанович

Адрес: 660037, г. Красноярск, пр. им. газеты Красноярский рабочий, 31, а/я 1075
эл. почта: apl@iph.krasn.ru



СПИСОК

опубликованных научных работ
(за период с 15.09.2012 по 15.09.2015)

Аплеснин Сергей Степанович

(ФИО научно-педагогического работника высшей квалификации)

№ п/п	Наименование работы, ее вид (статья, монография, патент)	Форма работы (печ., комп.)	Выходные данные (источник публикации, год издания)	Объем в стр.	Соавторы
1	1	3	4	5	6
1	Синтез, структурные и магнитные свойства анион-замещенных халькогенидов марганца (статья)	печ	Физика твердого тела, 2012, т 54, в. 7. с.1296-1301	5	О.Б. Романова, М.В. Горев, А.Д. Васильев, О.Ф. Демиденко, Г.И. Маковецкий, К.И. Янушкевич
2	Магнитные и электрические свойства кобальтита висмута Bi ₂₄ (CoBi) ₄ O ₄₀ с зарядовым упорядочением (статья)	печ	Физика твердого тела, 2012, т 54, в. 10, 1882-1890.	9	Л.В. Удод, М.Н. Ситников, Д.А. Великанов, М.В. Горев, М.С. Молокеев
3	Metal-semiconductor transition in Sm _x Mn _{1-x} S solid solutions (статья)	печ	Phys. Status Solidi B, 2012, V 249, pp 812-817	6	O. Romanova, A. Harkov, D. Balaev, M.I Gorev, A. Vorotinov, V. Sokolov, and A. Pichugin
4	Magnetic and thermophysical properties of Gd _x Mn _{1-x} S solid solutions (статья)	печ	J. Phys.: Condens. Matter, 2013, V. 25 pp. 025802 (5pp)	5	O B Romanova, M V Gorev, D A Velikanov, A G Gamzatov and A M Aliev
5	Магнитные и динамические свойства твердых растворов Sm _x Mn _{1-x} S. (статья)	печ	Физика твердого тела, 2013, Т. 55, N. 1, с. 69-74	7	Харьков А.М.
6	Spin reduction in the Mn _{1-x} HoxS solid solutions (статья)	печ	Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2013, V 347, pp 10-13.	4	А.М. Khar'kov, M.N. Sitnikov, V.V. Sokolov
7	Spin state of cations and magnetoelastic effect in the Mn _{1-x} Yb _x S	печ	Journal of Magnetism and Magnetic	5	A.M. Kharkov, O.B. Romanova, M.N. Sitnikov, E.V. Eremin,

	(статья)		Materials, 2014, V. 352, p. 1–5.		M.V. Gorev, K.I. Yanushkevich, V.V. Sokolov, A.Yu. Pichugin
8	Диэлектрические и электрические свойства полиморфного пиростаната висмута $\text{Bi}_2\text{Sn}_2\text{O}_7$ (статья)	печ	Физика твердого тела, 2014, Т. 56, в. 7, с.1267-1271.	5	Л.В. Удод, М.Н. Ситников, М.С. Молокеев
9	Магнитотранспортные эффекты в парамагнитном состоянии в $\text{Gd}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ (статья)	печ	Письма в ЖЭТФ, 2014, Т.100, в.2, с.104-110.	6	М.Н. Ситников
10	Magnetoresistance effect in substituted manganese chalcogenides (статья)	печ	Phys. Status Solidi B, 2015, Vol. 252, N 8, P 1792-1798.	7	О.В. Romanova, K.I. Yanushkevich
11	Исследование транспортных свойств катионозамещенных твердых растворов $\text{Yb}_x\text{Mn}_{1-x}\text{S}$ (статья)	печ	Физика твердого тела, 2015, Т 57, в. 5, стр 872-876.	5	Романова, А.М. Харьков, А.И. Галяс
12	Усиление магнитоемкостного эффекта во внешнем электрическом поле в пленках $\text{La}_x\text{Bi}_{1-x}\text{FeO}_3$ (статья)	печ	ЖЭТФ, 2015, Т.148, в. 2(8), стр 1-8.	8	В.В. Кретинин, А.М. Панасевич, К.И. Янушкевич
Монографии					
1	Магнитные и электрические свойства сильнокоррелированных магнитных полупроводников с четырёхспиновым взаимодействием и с орбитальным упорядочением (монография)	печ	Москва, Физматлит, 2013г. -176с, ISBN 978-5- 9221-1492-9.	176	

Соискатель:

Список верен
Заведующий кафедрой:

Ученый секретарь ученого совета:



_____/Аплеснин С.С

ь)

_____/Аплеснин С.С.

ь)

_____/Гончаров А.Е.

сь)