



ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**АВАНГАРД**

Кондратьевский пр., д. 72  
Санкт-Петербург, 195271  
Тел.: (812) 540-15-50  
Факс: (812) 545-37-85  
e-mail: avangard@avangard.org  
http://www.avangard.org

26.08.15г., № У-1837

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ОАО «Авангард»

д.т.н., профессор



В. А. Шубарев

26 августа

### Отзыв

**ведущей организации Открытого акционерного общества «Авангард»  
на диссертационную работу Янкина Сергея Сергеевича на тему  
«Взаимодействие поверхностных акустических волн с неоднородностями,  
сравнимыми с длиной волны», представленную на соискание ученой  
степени кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.03– «радиофизика»**

#### **1. Актуальность темы выполненной работы.**

Устройства на основе поверхностных акустических волн (ПАВ) находят широкое применение в радиоэлектронике, мобильной связи, радиочастотной идентификации, навигации, радиолокации, сейсмологии, а также в медицине. Важную роль при проектировании акустоэлектронных устройств имеет изучение полей рассеяния, возникающих при взаимодействии ПАВ с периодически-топографическими неоднородностями на поверхности кристалла, образующими либо встречно-штыревые преобразователи (ВШП), либо отражательные структуры (ОС). Аналитические решения получены в предположении малого отношения толщины неоднородности к длине волны. В диапазоне свыше 3 ГГц длина волны ПАВ ( $\approx 1$  мкм) становится сравнимой с толщиной металлических электродных структур, что требует описания и учета сложной структуры колебаний ПАВ, распространяющейся по поверхности с такого рода неоднородностями. Поэтому диссертационная работа Янкина С.С., посвящённая анализу полей рассеяния при прохождении ПАВ через систему топографических неоднородностей

родностей на поверхности кристалла, сравнимых с длиной волны, проектировании на основе полученных результатов радиочастотной идентификационной метки (РИМ) на ПАВ в диапазоне частот 5650–6425 МГц, её создании и экспериментальном исследовании, а также исследовании характеристик рассеяния ПАВ в поверхностных фоновых кристаллах (ФК) является актуальной, как в теоретическом, так и в экспериментальном плане.

## **2. Научная новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе**

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемых сокращений и списка литературы. Полный объем диссертации составляет 117 страниц. Список литературы содержит 147 наименований.

В **Первой главе** проведен анализ двумерной картины полей рассеяния ПАВ в отражательной линии задержки на ниобате лития  $Y+128^\circ$ -среза. Определены важные для проектирования устройств на ПАВ зависимости коэффициентов отражения и поглощения радиоимпульсов ПАВ от высоты и ширины различных поверхностных неоднородностей, сравнимых с длиной волны.

Во **Второй главе** теоретически и экспериментально исследована радиочастотная идентификационная метка на поверхностных акустических волнах в диапазоне частот 5650–6425 МГц. В главе продемонстрирована возможность технической реализации системы радиочастотной идентификации, при этом уровень потерь кодовых импульсов составляет 50–55 дБ. Указанный результат имеет важное практическое значение, т.к. данный диапазон даёт возможность использовать в девять раз большую полосу частот, чем в ISM диапазоне (2.4–2.48 ГГц), что позволяет увеличить информационную емкость, быстроту идентификации, уменьшить размеры РИМ при сохранении дальности идентификации (даже учитывая значительные потери на распространение ПАВ).

В указанном диапазоне частот экспериментальное исследование проведено впервые.

В **третьей главе** численно с помощью метода конечных элементов исследовано образование запрещенных зон для ПАВ в фоновом кристалле в ви-

де периодической решетки цилиндрических никелевых столбиков различной толщины на пьезоэлектрической подложке  $LiNbO_3$   $Y+128^\circ$  -среза. Следует отметить, что автором разработана трёхмерная модель фононного кристалла на основе метода конечных элементов, позволяющая рассчитывать акустические поля в пьезоэлектрической подложке и никелевых столбиках, а также и в приемо-передающих встречно-штыревых преобразователях.

Основные результаты диссертации достаточно полно отражены в опубликованных работах автора.

**К наиболее значимым новым научным результатам**, полученным автором диссертации, следует отнести следующие:

Коэффициент отражения ПАВ от топографических неоднородностей в виде выступов зависит от их высоты *квазипериодически*, а коэффициент отражения ПАВ от канавок имеет *убывающий* характер при глубине более  $\lambda/10$ ;

Предсказаны возможности использования более толстых, чем принято, и широких электродов для использования в отражательных структурах, в которых при сохранении отражательных свойств снижаются омические потери в отражателях и упрощается технология их изготовления;

Показано, что отражатели из тяжелых металлов (золото, молибден) интенсивно рассеивают энергию ПАВ в подложку, что наблюдается уже даже при малых высотах  $h_r/\lambda = 0.01..0.05$ , а и при дальнейшем увеличении высоты уровень рассеяний не опускается ниже 40%;

Найдена оптимальная (с точки зрения равенства амплитуд кодовых сигналов) структура отражательной линии задержки на ПАВ для использования в РИМ в диапазоне частот 5650–6425 МГц с алюминиевыми электродами и с амплитудами кодовых импульсов около -50 дБ;

Теоретически (методом конечных элементов) и экспериментально исследовано взаимодействие ПАВ с фононным кристаллом, представляющим собой двумерную периодическую решетку цилиндрических никелевых столбиков, расположенных на пьезоэлектрической подложке  $LiNbO_3$   $Y+128^\circ$ -среза и пока-

зано хорошее соответствие измеренной функции  $S_{11}$  фононного кристалла и расчетных значений для первой зоны непропускания.

Важное практическое значение диссертационной работы состоит в том, что по результатам проведенных расчетов впервые в мире была изготовлена и экспериментально исследована радиочастотная идентификационная метка (РИМ) на поверхностных акустических волнах (ПАВ) в диапазоне 6 ГГц. Продемонстрировано удовлетворительное согласие расчетных и экспериментальных временных характеристик. В эксперименте был получен уровень кодовых импульсов не ниже -55 дБ, что позволяет перейти к технической реализации системы радиочастотной идентификации в диапазоне частот 5650–6425 МГц, в котором размеры РИМ могут быть существенно уменьшены, а также в этом диапазоне значительно меньше уровень электромагнитных помех.

Достоверность полученных в диссертации результатов обеспечена строгой постановкой и решением граничных задач пьезоакустики методом конечных элементов, она подтверждается как хорошим соответствием полученных результатов расчетов с экспериментальными и теоретическими результатами других авторов, так и соответствием экспериментальным результатами, полученным самим автором.

### **3. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы:**

Результаты представленных в диссертации исследований следует рекомендовать к использованию на предприятиях и в организациях электронной промышленности, таких как: ОАО «Авангард», ЗАО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон», АО НПП «Контакт», АО НПП «Алмаз», в ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, а также в высших учебных заведениях Министерства образования и науки Российской Федерации. Особое внимание рекомендуем уделить использованию основных результатов работы при конструировании и разработке технологии изготовления акустоэлектронных устройств в диапазоне 6 ГГц.

#### **4. Недостатки диссертационной работы:**

1. В выводах к первой главе, указаны геометрические параметры ОС, позволяющие достичь повышения добротности и сокращения размеров резонаторов на ПАВ, однако по тексту главы нет прямого доказательства данного заключения.

2. Во второй главе автор делает вывод о возможности технической реализации системы радиочастотной идентификации в новом диапазоне «6 ГГц», при этом не приведена оценка потерь информационного сигнала при учете влияния антенных систем метки и ридера, а также возможной дальности идентификации.

3. Результаты третьей главы относятся только к квадратным решеткам фононных кристаллов, при этом отсутствует информация о результатах применения разработанного метода для известных из литературы и нередко применяемых на практике треугольной и гексагональной форм элементов фононных кристаллов.

#### **Выводы**

Отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки диссертации, вносящей весомый вклад в раздел радиофизики «Акустоэлектроника СВЧ». Данная работа является законченным научным исследованием, свидетельствующим о высокой квалификации соискателя. По результатам исследований, выполненных при работе над диссертацией, опубликовано 14 работ, в том числе 5 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 5 статей – в трудах российских и международных конференций, 4 работы – в тезисах докладов конференций, и получены патенты Российской Федерации на изобретение и полезную модель. Основные результаты диссертационной работы докладывались на различных Всероссийских и Международных научно-технических конференциях. Автореферат диссертации полностью отражает ее содержание.

Таким образом, диссертационная работа Янкина С.С. на тему «Взаимодействие поверхностных акустических волн с неоднородностями, сравнимыми с длиной волны» соответствует паспорту специальности 01.04.03 – Радиофизики

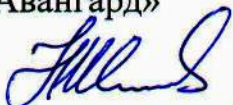
ка, отвечает требованиям пп. 9-14 действующего «Положения о присуждении учёных степеней» (утверждено Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор С.С. Янкин заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.03 – Радиофизика.

Доклад Янкина Сергея Сергеевича заслушан на заседании НТС ОАО «Авангард». Отзыв рассмотрен и одобрен на этом же заседании от 26 августа 2015 г., протокол № 224.

Отзыв составили:

Ученый секретарь НТС ОАО «Авангард»

к.т.н., с.н.с.



Николай Николаевич Иванов

Начальник отдела ОАО «Авангард»

к.т.н.



Владимир Анатольевич Калинин

Начальник учебного центра ОАО «Авангард»

д.ф.-м.н., профессор



Валерий Дмитриевич Лукьянов

Адрес: ОАО «Авангард»: 195271, Россия, г.Санкт-Петербург, Кондратьевский пр., д.72;

Телефон: 8 (812)543-90-76

E-mail: [avangard@avangard.org](mailto:avangard@avangard.org)