

62
К
382(035)
N 5760



А. О. Касьянов

Приборы и методы функциональной микросэлектроники



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Инженерно-технологическая академия

А. О. КАСЬЯНОВ

**ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ
ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Учебное пособие

Ростов-на-Дону – Таганрог
Издательство Южного федерального университета
2018

УДК 621.38 (075.8)

ББК 32.845я73

К289

Печатается по решению кафедры радиотехнических и телекоммуникационных систем Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета (протокол № 6 от 30 января 2018 г.)

Рецензенты:

доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой радиоэлектроники Донского государственного технического университета

М. Ю. Звездина

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиопизики Южного федерального университета *Г. Ф. Заргано*

Касьянов, А. О.

К289 Приборы и методы функциональной микроэлектроники : учебное пособие / А. О. Касьянов ; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. – 99 с.

ISBN 978-5-9275-2861-5

Излагаются физические основы такого современного бурно развивающегося направления науки и техники, как функциональная микроэлектроника в части акустоэлектроники и обработка сигналов с помощью упругих волн, распространяющихся в пьезоэлектрических кристаллах. Показано, что развитие акустоэлектроники связано с разработкой сверхминиатюрных устройств, предназначенных для формирования, фильтрации и аналоговой математической обработки сигналов. Несмотря на то, что возможность и целесообразность использования упругих волн для обработки сигналов обусловлено их низкой скоростью по сравнению со скоростью света, большинство вопросов, подробно рассмотренных в данном пособии, ранее в учебной литературе не рассматривались и освещались лишь в периодических изданиях и трудах научных конференций, которые были практически недоступны студентам.

Целесообразность издания настоящего пособия, имеющего междисциплинарный характер, обусловлена необходимостью обеспечения учебного процесса по образовательным программам бакалавриата и специалитета по дисциплинам: «Электроника» и «Специальные радиоэлектронные устройства».

Предназначено для студентов специальности 11.05.01 – «Радиоэлектронные системы и комплексы» и студентов направления подготовки – 11.05.02 «Инфокоммуникационные технологии».

УДК 621.38 (075.8)

ББК 32.845я73

ISBN 978-5-9275-2861-5

© Южный федеральный университет, 2018

© Касьянов А. О., 2018

© Оформление. Макет. Издательство

Южного федерального университета, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ И СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКУСТОЭЛЕКТРОНИКИ.....	9
1.1. Общая характеристика основных типов упругих волн в твердом теле.....	10
1.1.1. Основные типы упругих волн в неограниченном твердом теле.....	10
1.1.2. Упругие волны вблизи границы раздела твердое тело – воздух. ПАВ Релея.....	12
1.2. Упругие волны в неограниченном кристалле.....	16
1.2.1. Элементы статической теории упругости.....	16
1.2.2. Уравнение движения.....	20
1.2.3. Волновое уравнение.....	21
1.2.4. Поток упругой энергии.....	25
1.3. Поверхностные акустические волны Релея.....	30
1.3.1. Общая схема решения граничной задачи.....	30
1.3.2. Характеристики ПАВ Релея для изотропной подложки.....	33
1.3.3. Характеристики ПАВ Релея для анизотропной подложки.....	35
1.3.4. ПАВ Релея в пьезоэлектрических кристаллах.....	40
1.3.5. Распространение волн релеевского типа в тонких слоях.....	44
1.3.6. Отражения ПАВ от разрывов поверхности.....	47
1.3.7. Дифракционные эффекты ограниченных пучков ПАВ.....	50
2. ВОЗБУЖДЕНИЕ И РЕГИСТРАЦИЯ УПРУГИХ ВОЛН.....	54
2.1. Встречно-штыревые преобразователи для поверхностных акустических волн (волн Релея).....	54
2.1.1. Принцип действия.....	54
2.1.2. Импульсная и частотная характеристики ВШП.....	56
2.2. Метод дискретных источников.....	61
2.3. Аподизированные преобразователи.....	64
2.3.1. Физические основы работы.....	64
2.3.2. Методика проектирования аподизированного ВШП.....	65

3. ПРИМЕНЕНИЕ УПРУГИХ ВОЛН ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ	67
3.1. Общая структура акустической линии	67
3.1.1. Преобразование электрического сигнала в упругую волну	67
3.1.2. Распространение упругих волн	67
3.1.3. Взаимодействие упругой волны с внешней волной	68
3.1.4. Модуляция	69
3.1.5. Преобразование обработанной волны в электрический сигнал	69
3.2. Акустические линии задержки	70
3.2.1. Линии задержки на волнах Релея	70
3.3. Применения линий задержки на ПАВ	73
3.3.1. Акустические генераторы с АЛЗ в качестве фильтра	73
3.3.2. Резонаторы на ПАВ	73
3.4. Сжатие импульсов в акустоэлектронике на основе согласованной фильтрации	76
3.4.1. Согласованный фильтр	76
3.4.2. Сигналы с линейной частотной модуляцией	77
3.4.3. Частотная характеристика согласованного фильтра при его реакции на ЛЧМ-сигнал	80
3.5. Согласованные фильтры на волнах Релея	82
3.5.1. Согласованный фильтр для ЛЧМ-сигнала	82
3.5.2. Полосовые фильтры	88
3.5.3. Конвольвер (реализуется свертка сигналов)	91
3.5.4. Коррелятор (реализация корреляционной функции)	93
3.6. Особенности обработки сигналов устройствами на упругих волнах	94
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	96
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	98