

Фотопьезоэлектрический приемник оптических сигналов на поверхностных акустических волнах

В. Митрохин, д. ф.-м. н.¹, А. Строгонов, д. т. н.², А. Гуров³, Д. Лялин⁴

УДК 538.958 | ВАК 2.2.2

В приемниках оптических сигналов входными элементами являются фотодиоды или фототранзисторы, принимающие сигналы в широком диапазоне частот. При этом функция предварительной фильтрации помех в таких устройствах отсутствует. В статье описан принцип действия и топология полупроводникового приемника оптических сигналов на поверхностных акустических волнах, обладающего избирательностью по частоте модуляции оптического сигнала. Приемник представляет собой твердотельное устройство, в котором на одном монокристалле арсенида галлия сформированы высокочастотная фотодиодная структура со штыревой топологией и элементы фильтра на ПАВ.

ВВЕДЕНИЕ

В подавляющем большинстве радиоприемных устройств супергетеродинного типа высокочастотный сигнал с антенны поступает во входной резонансный тракт, который предназначен для предварительной фильтрации полезного сигнала от сигнала с зеркальной частотой, а также шумов и помех. В то же время в приемниках оптических сигналов, в которых входными элементами являются фотодиоды или фототранзисторы, принимающие сигналы в широком диапазоне частот, как известно, отсутствует функция предварительной фильтрации помех.

В статье описаны принцип действия, топология и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) полупроводникового приемника оптических сигналов инфракрасного и видимого диапазонов длин волн на поверхностных акустических волнах (ПАВ), который обладает частотно-селективными свойствами. Он представляет собой твердотельное устройство функциональной электроники, в котором на одном монокристалле арсенида галлия сформированы высокочастотная фотодиодная структура со штыревой топологией и элементы фильтра на ПАВ. Отделение оптического сигнала от помех и шумов позволит защитить входные цепи усилителей от перегрузки и повысить отношение сигнал / шум.

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ФИЛЬТР НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

Пьезоэлектрические фильтры на ПАВ широко используются в радиоэлектронной аппаратуре в качестве эффективных устройств частотной селекции в диапазоне до 1 ГГц [1, 2]. Они изготавливаются на основе пьезоэлектрических диэлектриков, на поверхность которых наносятся пленочные встречно-штыревые преобразователи (ВШП), позволяющие преобразовывать электрический сигнал в акустическую волну и обратно. Изменяя топологию ВШП можно получать АЧХ требуемого вида.

Ставилась задача разработать и изготовить опытный образец фильтра на ПАВ на основе монокристаллической подложки арсенида галлия пьезоэлектрического среза, который может быть использован в качестве фотоприемника инфракрасного и видимого диапазона, обладающего избирательностью по частоте модуляции оптического сигнала. Его принцип действия основан на преобразовании энергии оптических импульсов в фото-ЭДС в штырях входного элемента, преобразующего пульсирующую фото-ЭДС в ПАВ с последующим обратным преобразованием ПАВ в выходной электрический сигнал с помощью встречно штыревого преобразователя (ВШП) [1].

На рис. 1 схематически показана топология описываемого фоточувствительного фильтра на ПАВ с входным преобразователем в виде окон прозрачности, сформированных на подложке арсенида галлия с ориентацией {100} таким образом, чтобы длинная ось штырей была перпендикулярна направлению максимального пьезоэффекта, то есть направлению $\langle 110 \rangle$ в плоскости подложки арсенида галлия указанной ориентации [3]. При облучении оптическим сигналом поверхности подложки в приповерхностном

¹ Воронежский государственный технический университет, профессор кафедры твердотельной электроники, mitro4@yandex.ru.

² Воронежский государственный технический университет, профессор кафедры твердотельной электроники, andreistrogonov@mail.ru.

³ Воронежский государственный технический университет, аспирант кафедры твердотельной электроники, gurov981998@mail.ru.

⁴ Воронежский государственный технический университет, аспирант кафедры твердотельной электроники, lyalin.denis@mail.ru.

слое прозрачных штырей возникает периодическая в пространстве и пульсирующая с частотой оптического сигнала объемная фото-ЭДС, которая (посредством обратного пьезоэлектрического эффекта) порождает ПАВ вдоль акустического канала в направлении $\langle 110 \rangle$ в плоскости подложки. Распространяясь по этому каналу ПАВ попадает на выходной пленочный ВШП, преобразующий акустическую волну в электрический сигнал.

В конструкции, показанной на рис. 1, области прозрачных штырей входного преобразователя являются фотоэлементами с линейной топологией на основе объемного фотоэффекта, для которого характерна высокая инерционность вследствие большого времени релаксации (диффузионного перераспределения) неравновесных электронно-дырочных пар [4], что ограничивает частотный диапазон принимаемых оптических сигналов. С целью расширения частотного диапазона описываемого устройства в окнах прозрачности штырей были сформированы полупрозрачные барьеры Шоттки путем напыления слоя золота толщиной 150–200 нм [5]. В подобных фотодиодных структурах оптическое излучение поглощается в обедненной барьерной области, а неравновесные носители заряда (являющиеся основными носителями) за короткое время выносятся из этой области барьерным дрейфовым полем, что обеспечивает высокое быстродействие фотодиодов Шоттки [6].

Для повышения оптической чувствительности и частотной избирательности описываемого фотоприемника была использована топология фильтра на ПАВ резонаторного типа, содержащая два идентичных полупрозрачных входных преобразователя, расположенных вдоль акустического канала симметрично по обе стороны от выходного ВШП. На рис. 2 схематически показана топология этого фильтра. Источник постоянного напряжения предназначен для обратного смещения барьеров металл-полупроводник вблизи штырей выходного ВШП с целью расширения обедненной области в пространстве между гребенками ВШП и повышения коэффициента преобразования ПАВ в выходной электрический сигнал.

На рис. 3 схематически представлена топология быстродействующего входного преобразователя оптического сигнала в ПАВ на основе полупрозрачной фотодиодной структуры металл-полупроводник. Его принцип действия состоит в следующем. Модулированный оптический сигнал из области спектра собственной фотопроводимости (для арсенида галлия длина волны $\lambda \leq 870$ нм), проходя в окнах прозрачности через изолирующий слой диоксида кремния, попадает на фотодиодные структуры на основе полупрозрачных барьеров Шоттки и порождает в них барьерную

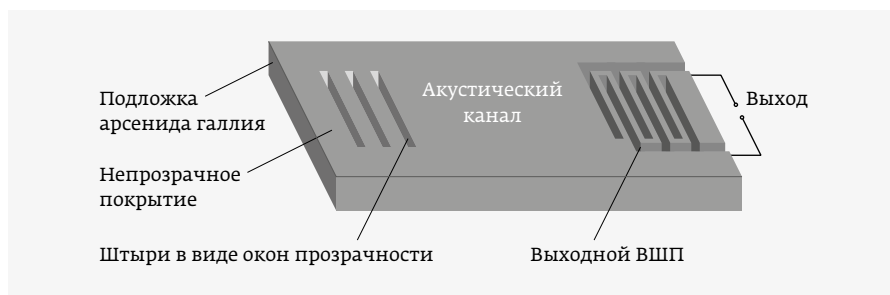


Рис. 1. Топология фоточувствительного фильтра на ПАВ с входным преобразователем в виде окон прозрачности [3]

фото-ЭДС, направленную перпендикулярно поверхности подложки. При кристаллографической ориентации пластины арсенида галлия $\{100\}$ направление пульсирующего поля фото-ЭДС совпадает с электрической осью пьезоэлектрического эффекта, что создает условия для индуцирования ПАВ посредством обратного пьезоэффекта вдоль акустического канала в направлении $\langle 110 \rangle$ (перпендикулярно штырям преобразователя) [7].

При концентрации свободных носителей заряда в подложке арсенида галлия порядка 10^{15} см^{-3} глубина барьерного слоя составляет несколько мкм, что близко к длине волны ПАВ на частотах около 30 МГц. Поэтому барьерная фото-ЭДС может эффективно преобразовываться в ПАВ в области обеднения барьера посредством обратного пьезоэффекта. Напряженность поля барьерной фото-ЭДС составляет величину около 10^5 В/см , что, с учетом резонансного акустического усиления в ПАВ-структуре, оказывается достаточным для возбуждения в выходном ВШП сигнала с амплитудой в несколько десятков милливольт.

Ширина окон прозрачности в реальной структуре составляет около 3,2 мкм. Расстояние между входными штырями

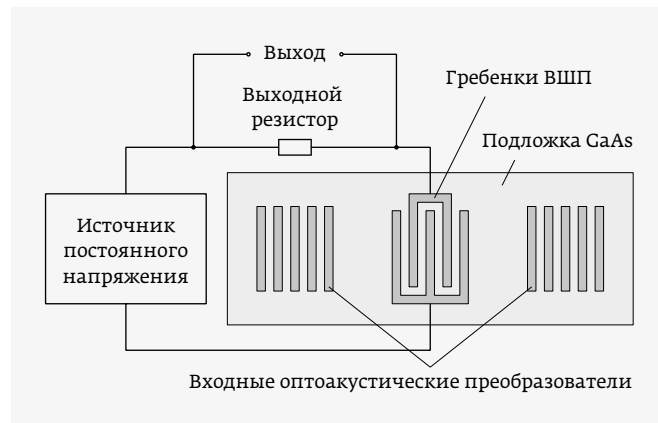


Рис. 2. Схематическое изображение топологии фоточувствительного фильтра на ПАВ

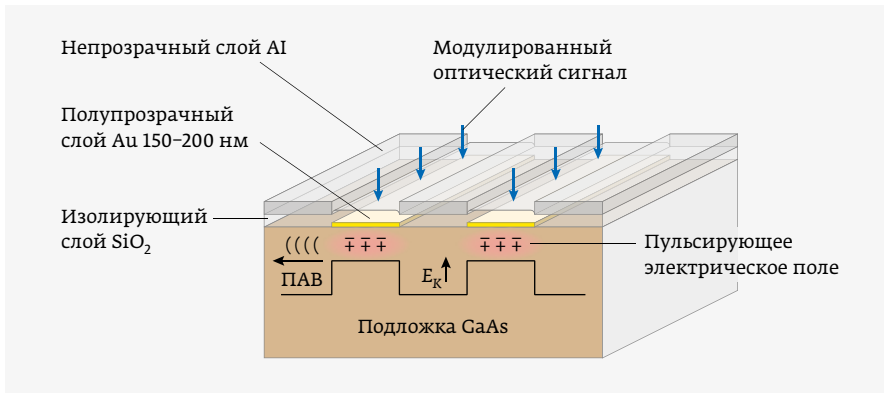


Рис. 3. Схематическое изображение топологии входного преобразователя на основе фотодиодной структуры «металл – полупроводник»



Рис. 4. Фотопьезоэлектрический приемник оптических сигналов на ПАВ в корпусе с выводами

равно шагу выходного ВШП. На рис. 4 показан внешний вид опытного образца описываемого фотопьезоэлектрического приемника в корпусе с выводами. Для него была измерена зависимость амплитуды электрического сигнала на выходном ВШП от частоты оптического сигнала (рис. 5).

Полоса пропускания фильтра составляет около 5 МГц. Ноль децибел затухания соответствует амплитуде выходного сигнала на центральной частоте 27,5 МГц. Максимум оптической чувствительности располагается вблизи длины волны 870 нм, что соответствует области фундаментального поглощения в арсениде галлия.

* * *

Представленный полупроводниковый фоточувствительный фильтр на основе ПАВ и фотодиодных структур является первым приемником оптических сигналов, обладающим свойствами частотной селекции, и может быть использован для избирательного приема оптических сигналов при частотах модуляции сигнала до 1 ГГц и в интервале длин

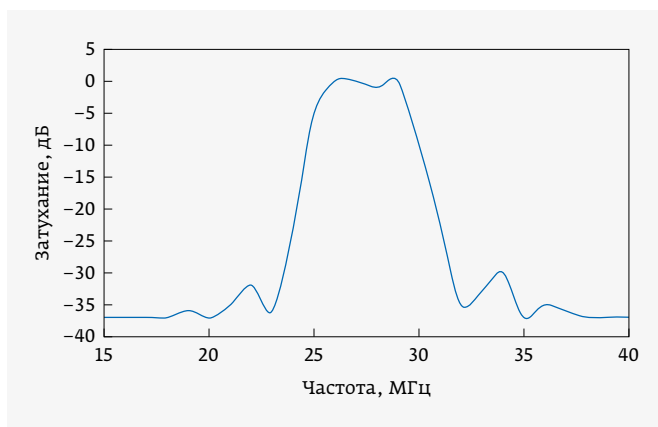


Рис. 5. АЧХ фотопьезоэлектрического фильтра на ПАВ

волн 400–1100 нм. Спектральная чувствительность фотоприемника оценивается как 1–5 А/Вт при ослаблении сигнала за пределами полосы пропускания до 40 дБ. Фильтр является монолитным устройством функциональной электроники и может производиться по планарной технологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акустоэлектронные устройства обработки и генерации сигналов / Под ред. Ю. В. Гуляева. М.: Радиотехника, 2012. С. 576.
2. **Campanella H.** Acoustic Wave and Electromechanical Resonators. Concept to Key Applications. Boston-London; Artech House, 2010. P. 345.
3. **Митрохин В. И., Николаев О. В., Рембеза С. И.** Фоточувствительный фильтр на поверхностных акустических волнах. Патент на изобретение RU2439755C1, 10.01.2012. Заявка № 2010119289/07 от 13.05.2010.
4. **Хлудков С. С., Толбанов О. П., Вилисова М. Д., Прудяев И. А.** Полупроводниковые приборы на основе арсенида галлия с глубокими примесными центрами. Томск: Изд. дом Томского государственного университета, 2016. С. 256.
5. **Митрохин В. И., Железный С. В., Кривенко Н. Н.** Быстродействующие фотопьезоэлектрические преобразователи оптических сигналов в поверхностную акустическую волну // Охрана, безопасность, связь. 2019. Т. 3. № 4. С. 37–41.
6. **Рембеза С. И., Митрохин В. И.** От внутреннего трения к оптоэлектронике // Международный научный журнал альтернативная энергетика и экология. 2015. № 3(167). С. 150–175.
7. **Митрохин В. И., Кривенко Н. Н., Логинов В. А., Железный С. В.** Повышение эффективности фотопьезоэлектрического индуцирования акустических волн в полупроводящих монокристаллах арсенида галлия // Письма в ЖТФ. 2022. Т. 48, вып. 10. С. 37–39.

СПЕЦИАЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА ЭКБ

Молекулярно-лучевая эпитаксия

■ A3N | A3B5 | A2B6

Плазмохимическое травление и осаждение

■ ICP-RIE | RIE | ICP-PECVD | PECVD

Физическое осаждение

■ Магнетронное распыление
■ Электронно-лучевое напыление

Быстрый термический отжиг и процессинг



ПРОИЗВОДСТВО И РЕИНЖИНИРИНГ КОМПЛЕКТУЮЩИХ И КЛЮЧЕВЫХ УЗЛОВ

■ Молекулярные источники
■ Вводы вращения
■ Ростовые и линейные манипуляторы

в том числе для установок МЛЭ иностранного производства



Генератор электрохирургический «ЭХГ ИНТЕГРАЛ»

Назначение:

Резание и коагуляция тканей и сосудов при выполнении операций на органах и системах у пациентов с хирургической, травматологической, урологической, онкологической, гинекологической, кардиохирургической, нейрохирургической и другой патологией.

Применение:

Операционные стационары и поликлиники, где требуется выполнение традиционных, открытых, эндохирurgicalических и амбулаторных операций.

Особенности:

- высокая выходная мощность (до 360 Вт);
- непрерывная активная система самодиагностики и контроля токов утечки;
- совмещены монополярные и биполярные режимы работы, включая режимы заваривания (лигирования) сосудов;
- возможность надежного заваривания крупных сосудов (диаметром до 7 мм);
- программа микрохирургии для прецизионных операций;
- режим выполнения операций в жидкой среде (TUR);
- функция защиты от перегрева и перегрузок;
- непрерывный анализ встроенной микропроцессорной системой нагрузки выхода;
- автоматическая корректировка выходной мощности по специальным алгоритмам, позволяющая минимизировать повреждения обугливание тканей;
- поддержка подключения двойного нейтрального электрода с активной функцией непрерывного контроля качества контакта с телом пациента;
- 10 программируемых настроек выходной мощности по каждому режиму;
- предупреждения об ошибках с текстовыми сообщениями;
- русскоязычное меню пользователя;
- унифицированные разъемы для подключения инструментов от ведущих европейских и американских производителей;
- режим автоматической биполярной коагуляции;
- функции автостарт и автостоп.



Таблица 1. Технические характеристики

| | |
|---|--|
| Класс защиты от поражения электрическим током | Класс 1, Тип CF |
| Напряжение питания от сети переменного тока частотой 50 Гц, В | 230±23 |
| Максимальная потребляемая мощность, не более, Вт | 800 |
| Номинальная частота переменного напряжения на выходах, кГц | 410±8,2 / модуляции 25 кГц |
| Максимально допустимое эл. сопротивление между двумя выводами разъема нейтрального двойного гибкого электрода, не более, Ом | 150 |
| Ток потребления в режиме ожидания, не более, мА | 120 |
| Габаритные размеры, мм | 470x380x160 |
| Масса, не более, кг | 9,0 |
| Требование электробезопасности | В соответствии с ГОСТ 30324 (IEC601) |
| Электромагнитная совместимость | По СТБ МЭК 60601-1-2 (соответствие европейскому стандарту EN60601-1-2) |

Таблица 2. Технические параметры режимов работы ЭХГ

| Режим работы | Максимальная амплитуда напряжения на выходе, не более, В | Максимальная мощность на выходе, Вт | Крест-фактор при максимальной мощности | Нагрузка при макс. мощности на выходе, Ом |
|---|--|-------------------------------------|--|---|
| Чистое резание | 650 | 360 ± 54,0 | 1,5 ± 0,3 | 350 ± 3,5 |
| Смешанное резание 1 | 1400 | 330 ± 49,5 | 2,0 ± 0,3 | 450 ± 4,5 |
| Смешанное резание 2 | 1550 | 300 ± 45,0 | 2,5 ± 0,3 | 500 ± 5,0 |
| Смешанное резание 3 | 1900 | 270 ± 40,5 | 2,8 ± 0,5 | 500 ± 5,0 |
| Быстрая коагуляция | 1725 | 200 ± 30,0 | 3,3 ± 0,5 | 500 ± 5,0 |
| Форсированная (принудительная) коагуляция | 1900 | 140 ± 21,0 | 4,5 ± 0,5 | 500 ± 5,0 |
| Поверхностная коагуляция | 2250 | 120 ± 18,0 | от 5,5 до 7,5 | 700 ± 7,0 |
| Щадящая коагуляция | 300 | 100 ± 20,0 | 1,5 ± 0,3 | 150 ± 1,5 |
| Биполярная коагуляция | 275 | 80 ± 16,0 | 1,5 ± 0,3 | 50 ± 0,5 |
| Автоматическая биполярная коагуляция | 275 | 50 ± 10,0 | 1,5 ± 0,3 | 50 ± 0,5 |
| Заваривание сосудов 1 | 275 | 160 ± 24,0 | 1,5 ± 0,3 | 50 ± 0,5 |
| Заваривание сосудов 2 | 200 | 80 ± 16,0 | 1,5 ± 0,3 | 50 ± 0,5 |

Регистрационное удостоверение МЗ РБ № ИМ-7.98435/2007
