

На правах рукописи

Костюков Евгений Вильевич

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ  
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ**

Специальность 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты,  
микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Москва – 2008

Работа выполнена на Федеральном государственном унитарном  
предприятии «Научно-производственное предприятие  
«Пульсар» (ФГУП «НПП «Пульсар»)

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Концевой Юлий Абрамович
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Носов Юрий Романович
	доктор технических наук, профессор Петросянц Константин Орестович
Ведущая организация	ГНЦ – ФГУП «НПО "Орион"»

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_2008 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д.409.004.01 на ФГУП «НПП "Пульсар"» по адресу: 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 27.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «НПП "Пульсар"».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_2008 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета Д.409.004.01,  
кандидат технических наук

А.Л. Филатов

## Общая характеристика работы

### Актуальность проблемы

Приборы с зарядовой связью (ПЗС) относятся к тем изделиям, значимость которых непрерывно возрастает и, несомненно, будет возрастать в дальнейшем вне зависимости от появления новых разновидностей интегральных схем и быстрого прогресса в области создания традиционных БИС и СБИС.

Устойчивость положения ПЗС в общей иерархии электронных приборов можно объяснить плодотворностью, «жизнеспособностью» основополагающей идейной концепции ПЗС, заключающейся в том, что в этих приборах информация представляется в виде зарядовых пакетов, которые формируются в приповерхностной области кристалла, управляемо перемещаются и требуемым образом преобразуются (делятся, сливаются, нормируются и прочее).

Функциональная широта ПЗС проявляется в способности оперировать (хранение, обработка) цифровыми и аналоговыми величинами, а также в возможности параллельного ввода больших массивов информации, в том числе соответствующих двумерным изображениям.

В ПЗС существуют два типа каналов переноса: поверхностный и объёмный. Для поверхностного канала, в котором хранение и перенос сигнального заряда осуществляются в потенциальных ямах на границе раздела «окисел-полупроводник», характерны относительная простота технологии изготовления и высокая управляющая способность (высокая зарядовая ёмкость). Однако взаимодействие перемещаемого зарядового пакета с поверхностными состояниями (захват и эмиссия носителей) существенно ограничивает эффективность переноса зарядового пакета. В объёмном канале это влияние значительно уменьшается. Сильные тянущие электрические поля в глубине полупроводника позволяют обеспечить высокую эффективность при высокой скорости переноса зарядов, но меньшую управляющую способность.

За период (чуть менее 40 лет), прошедший с момента изобретения ПЗС (ПЗС, предназначенные для восприятия, обработки и передачи изображений в дальнейшем будем обозначать как ФПЗС – фоточувствительные приборы с зарядовой связью), были созданы приборы, сравнимые с вакуумными ТВ-трубками по разрешению и превосходящие их по динамическому диапазону. Кроме того, они обладают такими важными практическими свойствами, как отсутствие инерционности, жёсткий геометрический растр, низкие питающие напряжения, малые габариты и масса.

Первоначальная цель разработки ФПЗС определила и основную область их применения – прикладное и вещательное телевидение, а в последние годы – цифровые фотоаппараты. Перечисленные выше достоинства ФПЗС сделали их удобными для ввода информации в ЭВМ с целью последующей обработки, а также стимулировали развитие гибридных оптико-электронных (в том числе цифровых) систем обработки изображений. В последнем случае возможность накопления и хранения зарядовой информации в ФПЗС позволяет использовать их в качестве устройства сопряжения информационных систем различной производительности.

Линейные фоточувствительные приборы с зарядовой связью (ЛФПЗС) могут использоваться для различных сканирующих систем, обеспечивающих факсимильную передачу, распознавание оптических образов. При этом требуются высокая разрешающая способность, высокая чувствительность и скорость вывода данных.

За рубежом ЛФПЗС с числом элементов 1024, 2048 и 4096 широко используются при высокоскоростной обработке документов, сортировке почты, измерении линейных размеров различных видов продукции, определении положения объектов, в спектроскопии и других промышленных и научных применениях, а также в спецтехнике различного назначения.

Вместе с тем важнейшей проблемой является разработка промышленной технологии производства ЛФПЗС и организация производства этих приборов.

Всё это свидетельствует об актуальности выбора направления создания данного класса оптоэлектронных приборов.

### **Цель работы**

Целью работы являются выбор архитектуры построения и разработка конструкций и промышленной технологии производства ЛФПЗС с поверхностным или объёмным каналами переноса носителей заряда, чувствительных в диапазоне длин волн 0,2 – 1,1 мкм.

Достижение поставленной цели обеспечивается решением следующих задач:

- выбором архитектуры построения ЛФПЗС в зависимости от функционального назначения и требований к фотоэлектрическим параметрам;
- определением конструкции основных элементов линейных ФПЗС;
- выбором базовой технологии изготовления кристалла ЛФПЗС;
- разработкой топологии кристалла ЛФПЗС;
- расчётом примесных профилей в кремниевой подложке и двумерного распределения потенциала;

- анализом полученных распределений с целью проверки работоспособности прибора во всех режимах;
- оптимизацией геометрии элементов прибора и технологических параметров;
- разработкой конструктивных и технологических решений, направленных на улучшение фотоэлектрических параметров и, в частности, на снижение уровня темнового тока и его неравномерности.

### **Научная новизна**

1. Разработана и освоена в производстве технология двухуровневой поликремниевой электродной структуры на двухслойном подзатворном диэлектрике с объёмным каналом n-типа для реализации двухфазных ФПЗС, работающих при высоких частотах ( $>20$  МГц) и имеющих малые потери передачи ( $<10^{-5}$ ). В качестве фоточувствительного элемента вместо МДП-структуры использован фотодиод, что позволило в 2,5 раза повысить интегральную чувствительность ЛФПЗС и продвинуть коротковолновую границу спектрального диапазона от 0,4 мкм до 0,2 мкм.

2. Предложена структура фотоячейки ЛФПЗС на основе фотодиода со слоем аккумуляции дырок, с планарным антиблумингом, что позволило снизить управляющие напряжения с 18-20 В до 7-9 В.

3. Для формирования диода со слоем аккумуляции дырок при условии обеспечения самосовмещения активных областей фотоячейки расчётным путем определены дозы, энергии и режимы термообработок последовательно имплантируемых в область фотодиода примесей  $As^{++} - B^+$  (при создании скрытого канала с ионнолегированными барьерами) и  $P^+ - B^+$  (при создании собственно диода).

4. Разработан линейный ФПЗС с внутренним охлаждением. Разработка оригинальна по характеру, так как отечественные и зарубежные аналоги к моменту разработки не были известны. При использовании варианта с внутренним охлаждением кристалла ФПЗС за счёт двухкаскадной термоэлектрической батареи на основе эффекта Пельтье обеспечиваются минимальные масса, габариты и энергопотребление, а время выхода на режим составляет менее 1 мин. Разработанная конструкция является базовой и используется при создании различных типов охлаждаемых ФПЗС на основе кристаллов их неохлаждаемых вариантов длиной не более 30 мм.

5. Показано, что при создании внутреннего геттера проведение начального отжига при  $1150^{\circ}C$  делает для использовавшихся пластин необязательным длительный отжиг при  $700 - 800^{\circ}C$ . Изменение времени отжига при  $1150^{\circ}C$  в диапазоне от шести

часов до пяти минут мало влияет на преципитацию кислорода в объёме пластины, что позволяет сформировать свободную от дефектов зону шириной, соответственно, от 20 мкм до 4 мкм, оптимальную для ФПЗС различных типов.

Выявлено, что в ходе отжигов, проводимых при изготовлении ЛФПЗС, образование преципитатов кислорода и других микродефектов в объёме кремниевых пластин продолжается. В результате, после первого длительного отжига эффективный геттер успевает образоваться в пластинах с меньшим содержанием кислорода.

Установлен диапазон начальной концентрации кислорода в пластинах кремния  $6,5 \cdot 10^{17} - 8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ , обеспечивающий необходимую плотность преципитатов  $10^{10} \text{ см}^{-3}$  при воспроизводимом процессе формирования внутреннего геттера.

### **Практическая значимость**

1. Приборы К1200ЦЛ2, К1200ЦЛ3 с фотодиодным накопителем, разработанные на основе технологии, приведенной в диссертации, внедрены в производство и выпускались на Опытном заводе НИИ «Пульсар» в 1979-1994 г.г., приборы 1200ЦЛ5, 1200ЦЛ6 и К1200ЦЛ7 выпускались на Опытном заводе НИИ «Пульсар» в 1984-1994 г.г.

2. ФПЗС13Л и ФПЗС14Л (модернизированные приборы 1200ЦЛ5 и 1200ЦЛ6) выпускаются малыми сериями совместно с ОАО «завод «Микрон» и НИИМЭ» и поставляются потребителям по договорам (в частности, для комплектации систем М-420, «Осьминог-ТВ» и других).

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Для улучшения фотоэлектрических параметров линейных ФПЗС в структуру кристалла введены: фотодиод (в том числе со слоем аккумуляции дырок), устройство планарного антиблуминга, двухфазная электродная система, быстродействующие выходные устройства на основе 2- и 2,5-каскадных истоковых повторителей.

2. Для расширения динамического диапазона (более 80 дБ) и повышения верхней температурной границы эксплуатации до  $+85^\circ\text{C}$  при минимальном энергопотреблении ЛФПЗС оснащён термоэлектрическим охладителем, причём охлаждается только кристалл ПЗС-линейки, находящийся в вакууме, а избыточное тепло термоохладильника используется для нагревания входного окна ЛФПЗС (авторское свидетельство № 1235425, пр. 6 января 1984 г.).

3. Для создания ЛФПЗС необходимо использовать технологические маршруты, составляющие основу промышленной технологии ЛФПЗС и включающие совокупность следующих элементов:

- периферийную изоляцию методом локального окисления кремния;
- изоляцию фотодиодов друг от друга методом минилокального окисления кремния;
- создание объёмного канала п-типа с помощью ионной имплантации мышьяка (с дозой 0,2 мкКл при энергии 350-500кэВ ) сквозь диэлектрическую систему «диоксид кремния-нитрид кремния»;
- формирование двухслойной поликремниевой электродной структуры;
- создание самосовмещенных ионно-легированных барьеров в объёмном канале п-типа;
- формирование методом самосовмещения фотодиодов (в том числе со слоем аккумуляции дырок);
- создание двухслойной алюминиевой металлизации.

4. Для изготовления ЛФПЗС с низким уровнем темнового тока и его неравномерности при использовавшемся в работе процессе создания геттера оптимальная концентрация кислорода в исходных пластинах должна лежать в узких пределах  $(6,5-8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ .

#### **Личный вклад автора в получение результатов**

Основной – в разработку конструкции и технологии ЛФПЗС (публикации 6, 7, 9, 10, 13, 16, 20, 25, 29, 34, 42).

Равнозначный с соавторами:

- в разработку конструкции и технологии ЛФПЗС (публикации 1-5, 14, 15, 17-19, 22, 23, , 33, 35, 37, 40);
- в исследования фотоэлектрических и электрофизических характеристик ЛФПЗС (публикации 8,11,12, 27, 30, 38, 39);
- в разработку процессов формирования внутреннего геттера (публикации 21, 24, 26, 28, 31, 32, 36, 41).

#### **Апробация работы**

Работы ФГУП «НПП "Пульсар"» по созданию ФПЗС, в том числе ЛФПЗС, в сочетании с рядом разработок ЦНИИ «Электрон» и других организаций удостоены Государственной премии Российской Федерации за 1998 год. Автору настоящей диссертации в числе других сотрудников также присуждена Государственная премия

РФ и присвоено звание лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники.

За разработку «Микросхемы линейные фоточувствительные с зарядовой связью (класс ФПЗС)» ФГУП «НПП "Пульсар"» и персонально автор настоящей диссертации решением Международного Жюри VIII-го Международного салона промышленной собственности «АРХИМЕД-2005» награждены золотой медалью.

Результаты работы были доложены на следующих конференциях и совещаниях:

- на II Всесоюзной конференции «Теоретические основы, технология и перспективы применения ПЗС в изделиях электронной техники», Цохкадзор, Армянская ССР, 1979 г.;

- на конференции «Физические проблемы МДП–интегральной электроники», Севастополь, 1983 г.;

- на конференции «Приборы с зарядовой связью. Технология и применение», Москва, 1983 г.;

- на XIII Всесоюзной конференции «Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов», Москва, 1987 г.;

- на XI Всесоюзной конференции по фотоэлектронным приборам «Новые принципы формирования телевизионных изображений», Ленинград, 1990 г.;

- на IV конференции с международным участием «Приборы с зарядовой связью и системы на их основе», Геленджик, 1992 г.;

- на V международной конференции «Charge-Coupled Devices and CCD Systems», Крым, пос. Новый Свет, 1995 г.;

- на международной конференции «Photonic Systems for Ecological Monitoring», Прага, Чехия, 1996 г.;

- на V конференции «Современное телевидение», Москва, 1997 г.;

- на IX международной конференции «Лазеры в науке, технике, медицине», Геленджик, 1998 г.;

- на XI международной конференции «Лазеры в науке, технике, медицине», Сочи, 2000 г.;

- на XII конференции «Пути развития телевизионных фотоэлектронных приборов и устройств на их основе», Санкт-Петербург, 2001 г.;

- in: Second Conference on Photonics for Transportation. Sochy, Russia, 2001;

- in: XVII International Scientific and Engineering Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices, Moscow, Russia, 2002;

- на совещании «Актуальные проблемы полупроводниковой фотоэлектроники», Новосибирск, 2003 г.;

- на XVIII международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2004 г.;

- на III Российской школе учёных и молодых специалистов по физике, материаловедению и технологии получения кремния и приборных структур на его основе, Москва, 2005 г.;

- на II конференции «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли», Адлер, 2005 г.;

- на конференции «Твердотельная электроника, комплексированные изделия, экономика и управление научными разработками и производством изделий электронной техники», Москва, 2005 г.;

- на XIX международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2006 г.;

- на III конференции «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли», Адлер, 2006 г.;

- на VI конференции «Твердотельная электроника, сложные функциональные блоки РЭА», Владимир, 2007 г.;

- на конференции «Радиационная стойкость электронных систем – СТОЙКОСТЬ-2007».

### **Публикации**

По теме диссертации опубликовано 42 печатные работы, список которых приведён в конце автореферата.

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель исследования, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** проведён подробный анализ ФПЗС-структур, в основном линейных ФПЗС. Отмечено, что в СССР и Российской Федерации большой вклад в разработку теории работы ПЗС, создание структур ПЗС и в разработку технологических процессов внесли Ю. Р. Носов, В. А. Шилин, Ю. А. Кузнецов, Ф. П. Пресс, М. М. Крымко, А. В. Вето, А. С. Скрылёв, В. А. Арутюнов, Г. И. Вишневский, Л. М. Василевская и другие учёные и работники производства. Указано на работы, в которых детально проанализировано распределение потенциала в приповерхностной области ПЗС при разных профилях распределения примесей (ступенчатый профиль,

произвольный профиль, структуры с однородно-легированным и профилированным объёмным каналом, структуры с виртуальной фазой, многоканальные структуры). Проанализированы отличия объёмного переноса от «поверхностного» переноса. Поведение носителей заряда определяется тем, что в поверхностном канале на них действует сильное поперечное (перпендикулярно направлению переноса) поле затвора, которое на порядок больше продольного (в направлении переноса) поля. В объёмном канале, удалённом от поверхности, поперечное поле близко к нулю, поэтому подвижность носителей равна объёмной, которая примерно вдвое выше поверхностной. Второе отличие связано со значительно бóльшими краевыми полями в объёмно-канальных ПЗС, ускоряющими передачу зарядов. Оба рассмотренных фактора обуславливают резкое увеличение быстродействия (при заданных потерях передачи) «объёмных» ПЗС по сравнению с «поверхностными». Для «объёмных» ПЗС тактовые частоты составляют десятки и сотни мегагерц. Существенное значение для снижения неэффективности переноса имеет более низкая плотность объёмных ловушек (центров захвата) по сравнению с плотностью поверхностных состояний.

Рассмотрены требования к кремнию для ЛФПЗС с объёмным каналом.

Выполнен обзор статей и патентов, посвящённых технологии и конструкции ЛФПЗС, а также их применению в науке и технике.

В выводах указано на проблемы, которые определили необходимость проведения конкретных разработок ЛФПЗС в СССР и Российской Федерации.

**Вторая глава** посвящена выбору архитектуры и принципам функционирования ЛФПЗС. Основными элементами кристалла ЛФПЗС являются фоточувствительная область, сдвиговый регистр и выходное устройство.

Конструкция фоточувствительной области ЛФПЗС представлена на рис. 1. Здесь показаны все основные элементы фотообласти.

В общем случае в состав фоточувствительной области входит система зарядово-связанных МДП-структур, затворы которых расположены параллельно (концентрично и т. п.) линии фотоприёмников, а подложка пронизана продолжениями (возможно иными конструктивно) стоп-каналов между ними. Фотоприёмник и зарядово-связанный с ним участок этой системы между ограничивающими их стоп-каналами образуют фотоячейку.

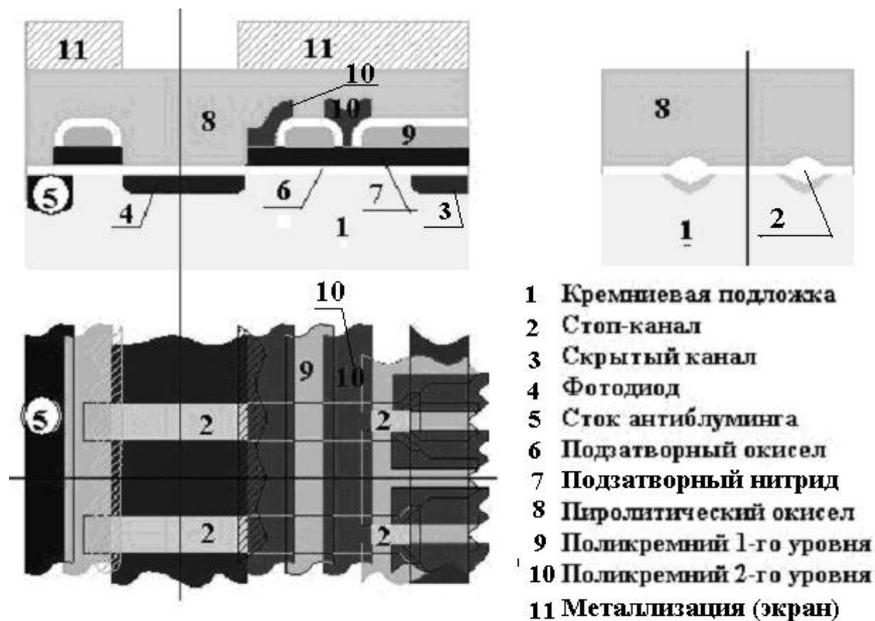


Рис.1. Конструкция фоточувствительной области ЛФПЗС

Указано, что в случае ЛФПЗС с фотообластью на основе фотодиодов вместо обычного р-п перехода с целью снижения импульсных напряжений и уменьшения задержки (инерционности) перетекания заряда при работе устройства в режиме электронного затвора применяется фотодиод со слоем аккумуляции дырок. Структура диода р-п-р с очень тонкой приповерхностной областью р-типа (менее 0,1 мкм) заимствована у фотодиодных матриц с межстрочным переносом, где она хорошо себя зарекомендовала при решении аналогичной задачи максимально полного перетекания накопленного заряда из фотодиода в область скрытого канала вертикальных ПЗС-регистров через разделяющую их область разрешающего затвора в виде поверхностно-канального участка приёмной фазы при приложении третьего (высокого) уровня фазного напряжения. В отличие от матричных ФПЗС предложенные в работе конструкция и технология фотоячейки обеспечивают полное самосовмещение её элементов, чем достигается высокая технологическая воспроизводимость, несмотря на низкую точность совмещения контактной фотолитографии.

Технологически оправданное сохранение шага (длины) ПЗС-бита при удвоении числа элементов ЛФПЗС становится возможным при условии разделения фотообласти на две разнесённые по обе стороны линейки фотоприёмников и обслуживающие одна чётные, а другая нечётные фотоэлементы. Такая архитектура в ПЗС-строении получила название схемы с черезэлементной разборкой информации и последующим билинейным считыванием. Кристалл ЛФПЗС при этом может быть оснащён как двумя

выходными устройствами, так и одним (общим). Наличие общего выходного устройства повышает однородность преобразования информационных зарядовых пакетов в выходной сигнал, но снижает в 2 раза быстродействие прибора (рис. 2).

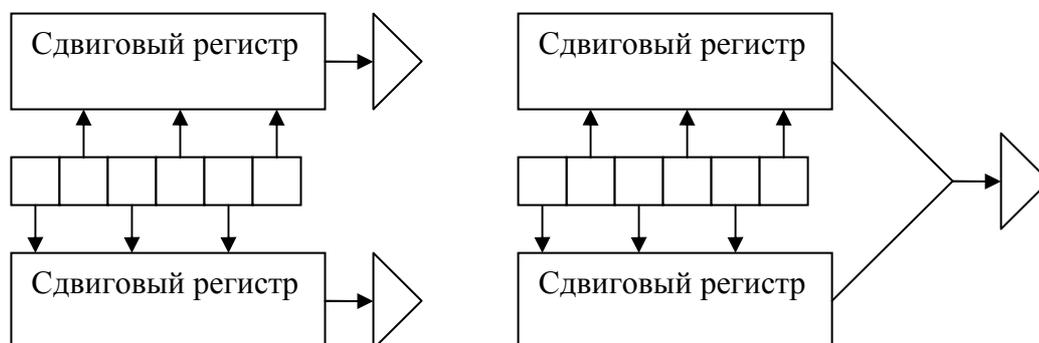


Рис. 2. Блок-схемы ЛФПЗС с билинейным считыванием информации

Во второй главе рассмотрены также линейные ФПЗС, выполненные по однорегистровой схеме с одним выходом, при этом шаг элементов фотодиодного накопителя равен длине бита ПЗС-регистра. Такая архитектура ужесточает требования к технологической проектной норме в 2 раза, но резко облегчает оснащение фоточувствительной области устройством антиблуминга (рис. 3).

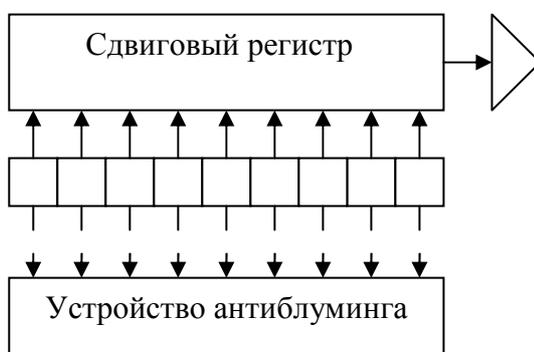


Рис. 3. Блок-схема ЛФПЗС с монолинейным считыванием информации

Достигнутый уровень неэффективности одного переноса заряда в объёмном канале не превышает  $10^{-5}$  при тактовой частоте 10 МГц и  $10^{-6}$  при 1 МГц, поэтому использование монолинейной архитектуры ЛФПЗС определяется не суммарными потерями передачи, а шагом расположения фоточувствительных элементов.

Анализируются проблемы, связанные с разработкой узла передачи зарядовых пакетов из фотообласти в сдвиговый регистр. Рассмотрена конструкция входного участка сдвигового регистра.

Рассмотрены основные элементы ЛФПЗС: фоточувствительная область, схема отсчёта уровня привязки к чёрному, фотозатвор, разрешающий затвор (затвор переноса), устройство антиблуминга, сдвиговой ПЗС-регистр, выходное устройство.

**Третья глава** диссертации посвящена вопросам проектирования ЛФПЗС. Пакет прикладных программ SAPSM позволил рассчитать следующие характеристики элементов ПЗС:

- двумерные и одномерные профили распределения примесей после легирования с учетом температурной разгонки и деформаций на последующих высокотемпературных технологических операциях;
- распределения потенциалов в фотообласти и объёмном канале передачи ПЗС;
- наличие потенциальных барьеров на криволинейном пути перетекания носителей заряда;
- управляющие напряжения, обеспечивающие работоспособность элемента ПЗС;
- управляющую способность (зарядовую ёмкость);
- электрофизические параметры МДП-структур и транзисторов электронного обртамления на кристалле по ВАХ тестовых транзисторов;
- статические и динамические характеристики элемента ввода и элементов вывода;
- спектральные характеристики пропускания и отражения многослойных структур с произвольной апертурой;
- частотно-контрастные характеристики.

Предварительный расчет внутренней структуры фоточувствительного накопителя на основе классических фотодиодов с р-п переходом, оснащенного планарным устройством антиблуминга в виде многоистокового МДП-транзистора, истоками которого являются фотодиоды, показал, что напряжения, управляющие работой устройства в режимах подавления блуминга и электронного затвора, имеют чрезмерно высокие уровни. С целью снижения указанных напряжений вместо традиционных фотодиодов было принято решение применить диоды с накоплением дырок, которые обеспечивают более эффективное управление барьером, отделяющим фотодиод от стока антиблуминга.

Проблема самосовмещения, упомянутая выше, привела к необходимости последовательного введения в область фотодиода не только примесей n- и р-типов, обычно формирующих его структуру, но и предшествующих по технологическому

маршруту примесей n- и p-типов, формирующих скрытый канал ПЗС-регистра. В работе рассчитаны характерные для фотодиодов со слоем аккумуляции дырок примесные профили, полученные для этого случая (рис. 4).



Рис. 4. Расчётные распределения примеси в фотодиодах со слоем аккумуляции дырок:  
слева – металлургические границы p-n-переходов фотодиодов;  
справа – распределение концентрации примесей в фотодиоде

На основе примесных профилей, полученных для всех элементов фотообласти, рассчитаны и проанализированы распределения потенциалов для режима накопления фотогенерированного заряда с учётом удаления избыточных носителей устройством антиблуминга и работы прибора в режиме электронного затвора. Результатом итерационного процесса являются оптимизированные геометрия элементов фотоячейки и параметры техпроцесса, полученные при условии минимизации управляющих напряжений. Для повышения точности расчётов структура разделена на две части: фотодиод-затвор антиблуминга-сток антиблуминга и фотодиод-фотозатвор.

В качестве примера на рис. 5 приведено распределение потенциала в фотоячейке ЛФПЗС для области фотодиод-фотозатвор в режиме электронного затвора, при котором происходит слив заряда из n-области фотодиода в сток антиблуминга (не показано).

Из рис. 5а, 5б следует, что между фотодиодом и областью хранения под фотозатвором имеется достаточно высокий потенциальный барьер в области переноса под фотозатвором, препятствующий накоплению фотогенерированного заряда.

Рис. 5в показывает наличие необходимой разности потенциалов между дном потенциальной ямы и поверхностью. Эта разность потенциалов должна составлять не менее 0,26 В. При этом гарантированно предотвращается захват заряда поверхностными состояниями.

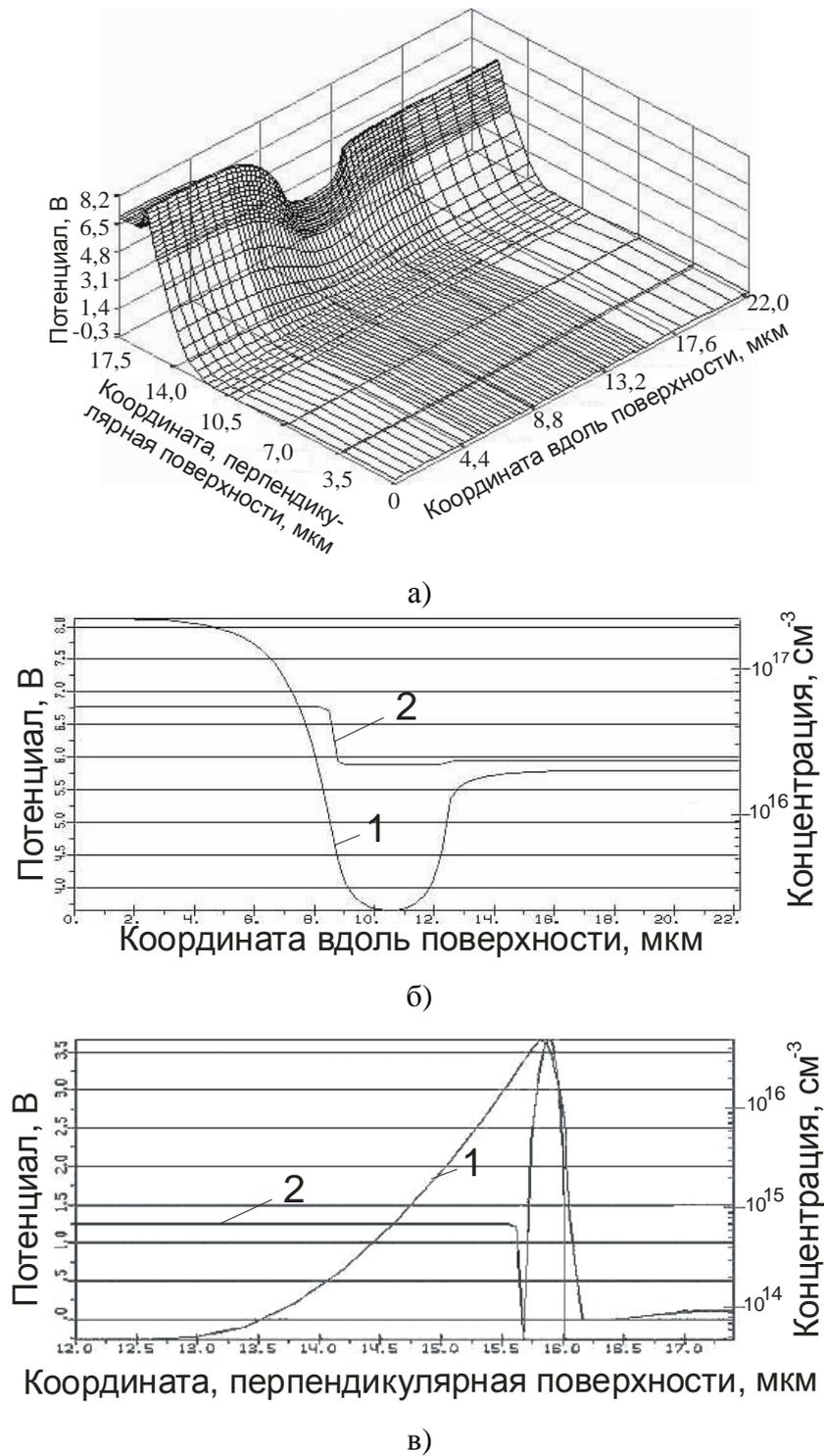


Рис. 5. Распределение потенциалов в фотоячейке ЛФПЗС

а – двумерное распределение потенциала; б – одномерное распределение потенциала вдоль поверхности на расстоянии от неё (1), соответствующем максимуму потенциала в области под фотозатвором, наложенное на соответствующее распределение примеси (2); в – одномерное распределение потенциала по глубине области под фотозатвором (1), наложенное на соответствующее распределение примеси (2)

В рассматриваемой главе аналогичные распределения при всех режимах работы приведены для области фотодиод-затвор антиблуминга-сток антиблуминга, а также в регистре в направлении переноса.

Для схемотехнического моделирования выходного устройства посредством использования графического редактора SHEMA была синтезирована схема (рис. 6).

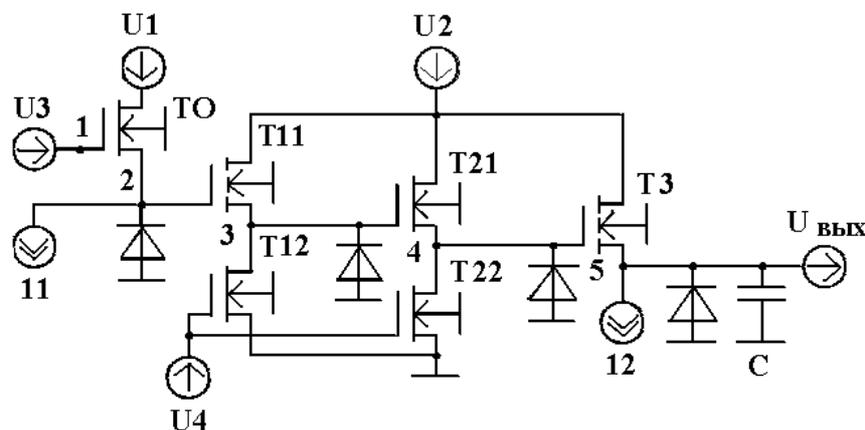


Рис. 6. Принципиальная схема выходного устройства

С помощью программы AELIS были получены статические и динамические характеристики этого 2,5-каскадного истокового повторителя при работе на ёмкостную нагрузку с тактовой частотой 40 МГц, приведённые в диссертации.

Расчётный график частотно-контрастной характеристики на длине волны 850 нм, полученный с помощью программы СНКН для созданного на основе диода с аккумуляцией дырок линейного ПЗС с размером элемента 13x13 мкм, в качестве примера приведён на рис. 7. Снятие частотно-контрастных характеристик производилось в диапазоне от 430 до 950 нм с определенным шагом, что позволило перекрыть весь рабочий спектральный диапазон прибора.

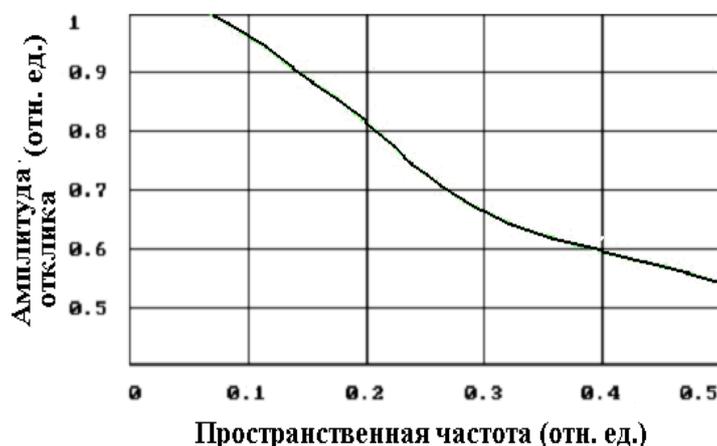


Рис. 7. Расчётная частотно-контрастная характеристика при длине волны 850 нм

На рис. 8 приведена спектральная характеристика, полученная с помощью программы SPECTRAL.

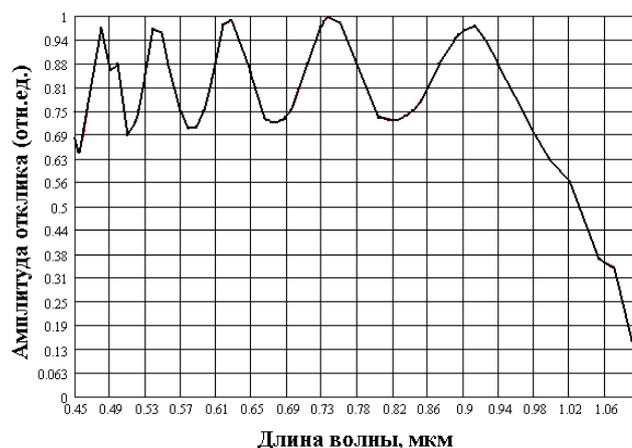


Рис. 8. Расчётная спектральная характеристика ЛФПЗ

На рис. 9 приведены экспериментальные зависимости относительной спектральной чувствительности линейных ФПЗС, снятые на измерительных комплексах.

Приведённые на графиках спектральные характеристики приборов содержат интерференционные экстремумы, которые достаточно хорошо согласуются при сравнении расчётных и экспериментальных результатов. Однако имеется расхождение, достигающее максимума на границах видимого спектра. Это расхождение объясняется тем, что математическая расчётная модель не учитывает захвата генерированных неосновных носителей для коротковолнового излучения в приповерхностной области и объёмного захвата для больших длин волн спектрального диапазона чувствительности.

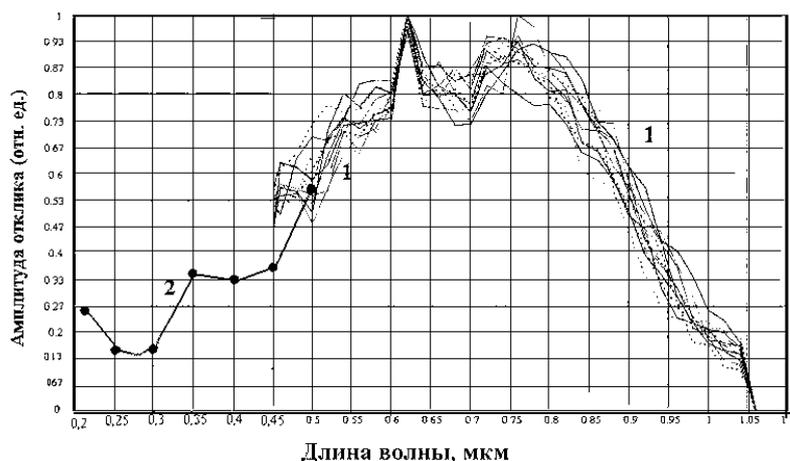


Рис. 9. Экспериментальные спектральные характеристики ЛФПЗС:

1- измерено на ФГУП «НПП "Пульсар"»;

2- измерено в Институте спектроскопии Академии наук.

В четвёртой главе рассмотрены основы промышленной технологии ЛФПЗС.

В начале главы кратко изложена технология создания ЛФПЗС с поверхностным каналом: формирование каналоограничивающих областей (стоп-каналов); создание подзатворного диэлектрика и многоуровневой системы электродов; формирование фотодиодов с р-n-переходом и стоков-истоков; создание одноуровневой металлизации. Затем достаточно детально излагается базовая изопланарная ПЗС-технология с объёмным n-каналом, включающая создание полевого окисла, подзатворного диэлектрика и профилированного скрытого канала, многоуровневой системы затворов, фотодиодов в области накопления зарядов и областей истоков–стоков, диэлектрической изоляции с контактными окнами под металлизацию, создание металлизации и оптического экрана.

В работе приведён пооперационный технологический маршрут, основные операции которого представлены на рис. 10.

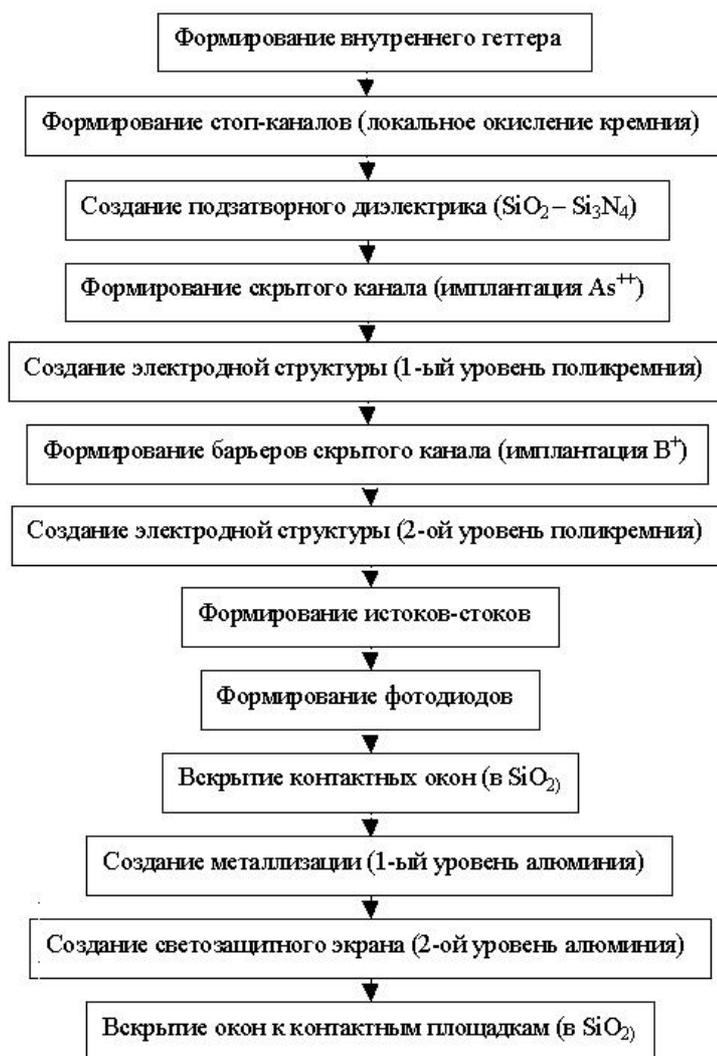


Рис. 10. Блок-схема технологического маршрута ЛФПЗС со скрытым каналом

Однако введение в конструкцию фотообласти ЛФПЗС фотодиодов со слоем аккумуляции дырок требует корректировки базовой технологии. Технологическая реализация серии фоточувствительных приборов с р-п-р-фотодиодами становится возможной при условии перехода от диффузионного геттерирования в качестве финишной термообработки к внутреннему геттерированию с целью избежать разгонки примеси (бор), образующей слой аккумуляции дырок. Внутренний геттер формируется в самом начале технологического маршрута и связывает нежелательные примеси во время всех последующих отжигов.

В заключительном параграфе главы 4 изложено исследование влияния на качество внутреннего геттера содержания кислорода в исходных пластинах КДБ20 и КДБ40 диаметром 100 мм с ориентацией (100), а также влияния разных последовательностей отжигов, как проводимых специально для создания внутреннего геттера, так и применяемых в ходе изготовления приборов. Изложены результаты исследования процессов геттерирования примесей с использованием преципитации кислорода. В использованных в работе пластинах распределение исходной концентрации кислорода могло быть как практически однородным по всей пластине, так и сильно отличаться.

На рис. 11 приведены примеры распределения концентрации кислорода по диаметру пластины и изменения содержания межзельного кислорода в процессе термообработок.

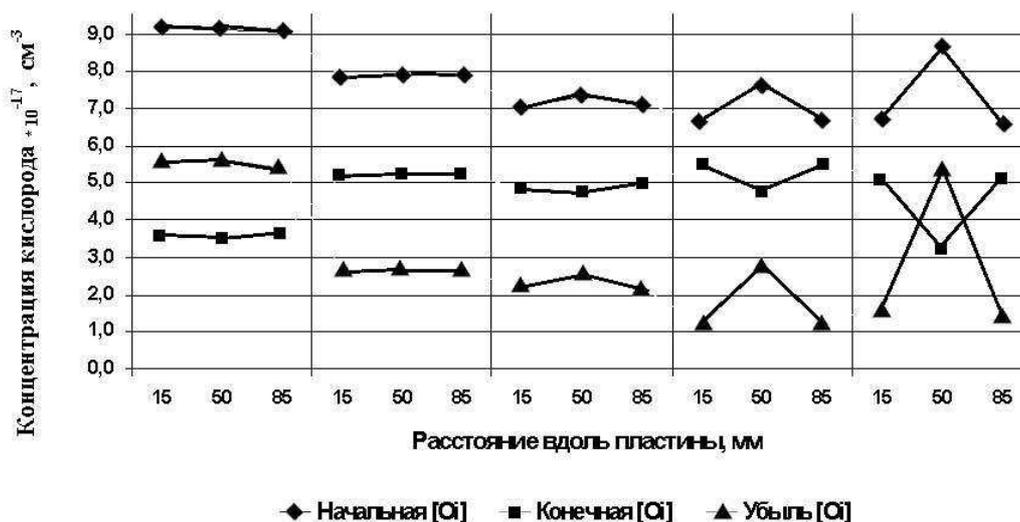


Рис. 11. Примеры распределения начальной концентрации межзельного кислорода по диаметру пластины и ее убыли в ходе создания внутреннего геттера

Качество внутреннего геттера контролировали двумя способами: по убыли концентрации кислорода в данной точке пластины в ходе создания геттера и оптическим наблюдением и подсчетом фигур травления, вызванных наличием микродефектов. Наблюдалась хорошая корреляция между данными, полученными этими двумя методами.

На рис. 12 представлена серия микрофотографий поперечных сколов участков пластин с разным содержанием кислорода. Из рисунка видно, что с уменьшением концентрации кислорода плотность преципитатов заметно уменьшается, одновременно увеличивается ширина чистой зоны.

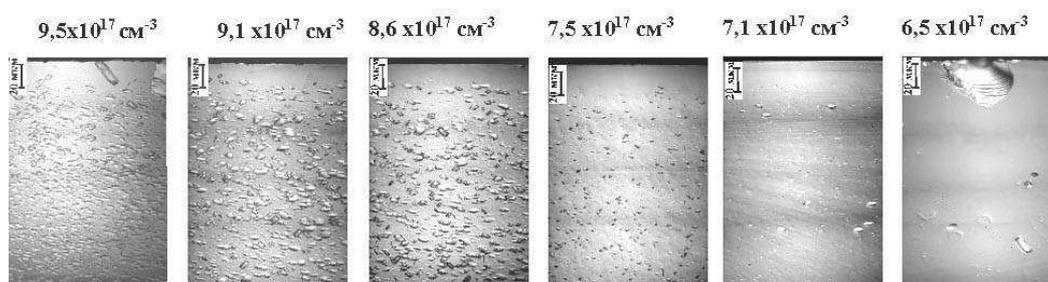


Рис. 12. Микрофотографии участков поперечных сколов пластин с разной начальной концентрацией кислорода после проведения цикла создания внутреннего геттера (концентрация кислорода указана над рисунками)

Подсчитано, что плотность преципитатов порядка  $10^{10} \text{ см}^{-3}$ , достаточная для геттерирования нежелательных примесей в процессе последующих операций техпроцесса изготовления линейных ФПЗС, соответствует убыли кислорода, равной  $2,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Такая убыль получается в пластинах с начальной концентрацией кислорода  $6,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Увеличение концентрации кислорода свыше  $8 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  приводит к заметному уменьшению чистой зоны. Таким образом, оптимальная концентрация кислорода, необходимая для геттерирования, лежит в узких пределах  $(6,5-8) \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . В работе показано, что для используемых пластин после проведения высокотемпературного отжига при  $1150^\circ\text{C}$  традиционно следующий за ним отжиг при  $700-8000^\circ\text{C}$  не влияет на преципитацию при начальных концентрациях кислорода в указанном диапазоне.

Было подсчитано, что плотность микродефектов, которая позволяет заметно увеличить время жизни неосновных носителей заряда в приповерхностных областях пластин, соответствует указанной выше убыли кислорода. Такой геттер позволил

изготовить линейные фоточувствительные приборы с зарядовой связью, с неравномерностью темнового сигнала, меньше 0,2% (время накопления 1 мс).

**В пятой главе** рассмотрены основные типы созданных ЛФПЗС и указаны их параметры.

ФПЗС13Л, ФПЗС14Л являются линейными фоточувствительными приборами с зарядовой связью на 1024 и 2048 элементов соответственно. Приборы разработаны для различных сканирующих систем, обеспечивающих факсимильную передачу, распознавание оптических образов и т. п., которые требуют высоких разрешающей способности, чувствительности и скорости вывода данных.

1024 чувствительных элемента прибора ФПЗС 13Л обеспечивают разрешение 120 линий/дюйм при сканировании страницы шириной 8,5", а 2048 чувствительных элементов прибора ФПЗС14Л – 8 линий/мм при сканировании страницы шириной 256 мм.

Приборы обладают высокой чувствительностью, расширенным спектральным диапазоном в синей области и пониженным уровнем темнового сигнала. Фотоэлементы размером 13 x 13 мкм<sup>2</sup> расположены с шагом 13 мкм. Приборы изготовлены с использованием изопланарной ПЗС-технологии с объёмным n-каналом.

Приборы ФПЗС11Л и ФПЗС12Л в отличие от приборов ФПЗС13Л и ФПЗС14Л выполнены с использованием однострочной организации, при которой имеются один двухфазный сдвиговый регистр и одно выходное устройство, и представляют собой линейные твёрдотельные датчики изображения на 1024 и 4096 элементов соответственно.

ЛФПЗС высокого разрешения представляют собой однострочные твёрдотельные датчики изображения на 4096, 6144, 8192 и 12288 элементов с размером фотоэлемента 6,5 x 6,5 мкм<sup>2</sup>.

Все ЛФПЗС имеют фактор заполнения фоточувствительной ячейки 100%.

На рис. 13 показан внешний вид разработанных ЛФПЗС с шагом элементов 13 мкм и 6,5 мкм.

Приборы двух последних серий снабжены устройством планарного антиблуминга, которое обеспечивает возможность работы приборов этой серии в режиме электронного затвора и при сильных локальных пересветках с возможностью увеличения динамического диапазона на три порядка.

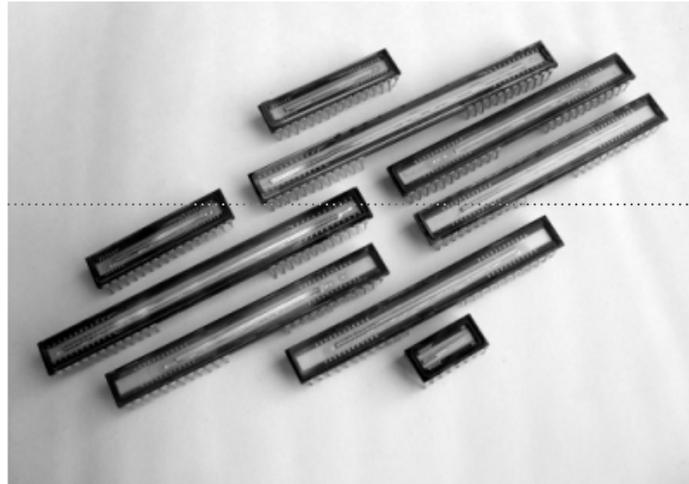


Рис. 13. Внешний вид трёх серий ЛФПЗС с шагом 13 мкм и 6,5 мкм

Разработанные впервые в СССР ЛФПЗС со встроенным охлаждением кристалла двухкаскадной ТЭБ на основе эффекта Пельтье (рис. 14) обеспечивали при небольших массогабаритах и энергопотреблении динамический диапазон более 60 дБ при температуре до  $+85^{\circ}\text{C}$ , а при комнатной и более низкой температуре достигается динамический диапазон более 80 дБ.

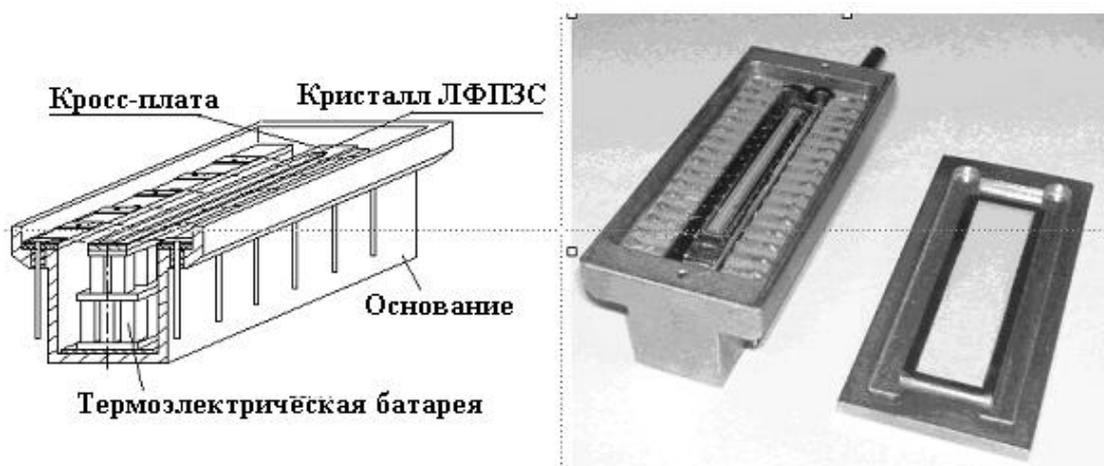


Рис. 14. ЛФПЗС типа ФППЗ10Л с термоэлектрическим охлаждением

Конструкция ЛФПЗС обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с известными способами охлаждения корпусированных линейных ФПЗС в составе камер: отсутствие запотевания входного оптического окна, меньшее время выхода на режим и более низкие требования к теплоотводу. Вследствие того, что рабочая температура кристалла на  $50-60^{\circ}\text{C}$  ниже температуры окружающей среды, удалось реализовать уровни темнового сигнала и его неравномерности более низкие, чем при

комнатной температуре у неохлаждаемых ЛФПЗС. На момент разработки этого прибора его уровень превосходил уровень лучших мировых достижений.

Разработанные конструкции линейных ФПЗС удовлетворяют предъявляемым к ним требованиям по стойкости к внешним воздействующим факторам: механическим, климатическим, надежности, устойчивости к спецвоздействиям.

### **Выводы**

1. Разработана система конструктивно-технологического проектирования ЛФПЗС на основе расчета и оптимизации двумерных примесных профилей, двумерных распределений потенциалов и электрических полей с использованием системы сквозного физико-технологического моделирования.

2. Разработана топология ЛФПЗС с билинейной и монолинейной организацией, включая многоканальное считывание, обеспечивающей функциональную широту для различных областей применения.

3. Разработаны и освоены в производстве следующие базовые технологические маршруты, составляющие основу промышленной технологии ЛФПЗС:

- многоуровневая поликремниевая технология с поверхностным каналом р-типа и фотодиодами с р-n-переходом. По данной технологии выпускались серийно ЛФПЗС типов К1200ЦЛ2, К1200ЦЛ3;

- многоуровневая поликремниевая технология с объёмным каналом п-типа, предназначенная для реализации ФПЗС, работающих при высоких частотах считывания (до 20 МГц), имеющих малые потери передачи (менее  $1 \cdot 10^{-5}$ ), большой формат, повышенную радиационную стойкость к электронному облучению. По данной технологии выпускались серийно ЛФПЗС типов К1200ЦЛ5, К1200ЦЛ6, К1200ЦЛ7 и в настоящее время выпускаются малыми сериями приборы ФПЗС13Л и ФПЗС14Л. В последние годы с использованием усовершенствованной технологии разработаны опытные образцы ЛФПЗС на 1024 и 4096 элементов и экспериментальные с числом элементов до 12288 на основе фотодиодов со слоем аккумуляции дырок, оснащённые устройством антиблуминга и электронного затвора и имеющие пониженные (менее 9В) импульсные управляющие напряжения.

4. Предложены и реализованы оригинальные конструкции ЛФПЗС, содержащие:

- фотодиодный накопитель, устройство планарного антиблуминга, систему считывания с моно- или билинейной организацией, одно или два многокаскадных

выходных устройства, что позволило увеличить разрешающую способность в 2 раза и удвоить частоту считывания (К1200ЦЛ2, ФПЗС13Л, ФПЗС14Л);

- изоляцию активных областей локальным окислением кремния, что позволило повысить чувствительность до уровня 3-5 мкВ/ё и частоту считывания до 20 МГц (К1200ЦЛ5, К1200ЦЛ6);

- вытянутую апертуру фоточувствительного элемента, стоп-канальные области в виде МДП-структур, что позволило снизить уровень темновых токов в 25 раз и обеспечить повышение чувствительности при измерении спектральных характеристик и повысить точность линейных измерений (К1200ЦЛ7).

5. Приборы К1200ЦЛ2, К1200ЦЛ3 с фотодиодным накопителем, разработанные на основе технологии, приведенной в диссертации, внедрены в производство и выпускались на Опытном заводе НИИ «Пульсар» в 1979-1994 г.г., приборы 1200ЦЛ5, 1200ЦЛ6 и К1200ЦЛ7 выпускались на Опытном заводе в 1984-1994 г.г. Всего было выпущено около 50000 линейных ФПЗС. ЛФПЗС типа 1200ЦЛ2, 1200ЦЛ5 использованы в аппаратах «Кл-205», «М420», «Осьминог-ТВ». ФППЗ10Л на основе кристалла 1200ЦЛ6 поставлялся для комплектации аппаратур «Кл-205» и «М420».

ФПЗС13Л и ФПЗС14Л (модернизированные приборы 1200ЦЛ5 и 1200ЦЛ6) выпускаются малыми сериями совместно с ОАО «НИИМЭ и завод "Микрон"», ФПЗС14Л поставлены потребителям по договорам в количестве более 200 штук (в частности, для комплектации систем «М420», «Осьминог-ТВ», «ТВ-видео» и дистанционно-пилотируемого летательного аппарата комплекса 1К133).

ФПЗС12Л поставляется для комплектации аппаратуры «Заочник-2».

## **Публикации**

По теме диссертации опубликованы 42 печатные работы, в том числе: 17 статей в научно-технических журналах (из них 1 статья в зарубежном журнале), 4 авторских свидетельства, 21 публикация в тезисах и материалах научно-технических конференций (из них 9 публикаций на международных конференциях).

1. Я. А. Федотов, Ф. П. Пресс, А. В. Вето, Е. В. Костюков, М. М. Крымко, Ю. А. Кузнецов, В. Н. Мордкович, Д. И. Рубинштейн. Фотопреобразователь на основе приборов с зарядовой связью. – Физика и техника полупроводников, 1976, т. 10, вып. 2, с. 361-363.

2. А. В. Вето, Е. В. Костюков, Ю. А. Кузнецов, Ф. П. Пресс. Фоточувствительные схемы с зарядовой связью: состояние и перспективы развития. – Электронная промышленность, 1982, вып. 7 (113), с. 3.
3. И. Д. Кашлаков, В. Т. Клёнов, Е. В. Костюков. Линейная фоточувствительная схема с зарядовой связью К1200ЦЛ1. – Электронная промышленность, 1982, вып. 7(113), с. 7.
4. Л. М. Василевская, Е. В. Костюков, З. В. Павлова. Линейная фоточувствительная схема с зарядовой связью типа К1200ЦЛ2. – Электронная промышленность, 1982, вып. 7(113), с. 10.
5. Е. В. Костюков, Ф. П. Пресс. Двухфазный прибор с зарядовой связью. – А. С. № 1217208, пр. 13 мая 1983 г.
6. А. Л. Вайнер, Л. М. Гладких, Э. А. Изупак, Е. В. Костюков, А. Г. Огородников, В. М. Смирнова. Фоточувствительные микросхемы с зарядовой связью с встроенным микрохолодильником. – Электронная промышленность, 1983, вып. 8 (125), 3 стор. обл.
7. И. М. Баш, Л. М. Гладких, Э. Л. Изупак, В. Т. Кленов, Е. В. Костюков. Устройство передачи изображения. – А. С. № 1235425, пр. 6 января 1984 г.
8. В. М. Китаев, Е. В. Костюков, Ю. А. Кузнецов, А. Н. Марков. Способ определения спектральной характеристики чувствительности твердотельной фоточувствительной схемы. – А. С. № 1485938, пр. 15 мая 1986 г.
9. Е. В. Костюков, З. В. Павлова, Ф. П. Пресс. Линейные фоточувствительные микросхемы с зарядовой связью К1200ЦЛ5 и К1200ЦЛ6. – Электронная промышленность, 1987, вып. 3(161), с. 33.
10. Е. В. Костюков, В. Д. Манагаров, А. Г. Огородников, Л. С. Турилина. Интегральная микросхема. – А. С. № 1480685, пр. 21 апреля 1987 г.
11. Е. В. Костюков, Ю. А. Левыкин, А. Г. Огородников, А. В. Пелезнев, Э. Г. Силькис. Измерение характеристик высокоапертурного линейного фоточувствительного прибора с зарядовой связью. – Тезисы докладов XIII Всесоюзной конференции «Высокоскоростная фотография, фотоника и метрология быстропротекающих процессов», 30 ноября – 3 декабря 1987 г. (М.: ВНИИОФИ, 1987, с. 73).
12. С. Д. Егорова, Е. В. Костюков, А. М. Мончак. Цифровой сканер на базе К1200ЦЛ6. – Электронная промышленность, 1993, вып. 6-7, с. 120-123.

13. Е. В. Костюков, Л. С. Турилина. Линейные ФПЗС с термоэлектрическим охлаждением. – Тезисы докладов международной конференции «Фотонные системы экологического мониторинга», Прага, 8-12 декабря 1996 г. (М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 1996, с. 56-57).

14. Л. А. Васильева, Е. В. Костюков, Л. С. Турилина, М. А. Шитова. Серия линейных и матричных ФПЗС с объёмным переносом заряда. – Тезисы докладов международной конференции «Фотонные системы экологического мониторинга», Прага, 8-12 декабря 1996 г. (М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 1996, с. 57-60).

15. В. В. Воронов, Е. В. Костюков, А. С. Скрылёв. Линейные, матричные и ФПЗС с ВЗН отечественного производства для видимого диапазона длин волн. – Тезисы докладов IX международной конференции «Лазеры в науке, технике, медицине», Геленджик, 28 сентября – 1 октября 1998 г. (М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана,

16. Е. В. Костюков, А. С. Скрылёв, А. А. Тихонов. Разработка линейного ФПЗС с устройством планарного антиблуминга. – Тезисы докладов XI Международной конференции «Лазеры в науке, технике, медицине», Сочи, 18-22 сентября 2000 г. (М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000, с.151-152).

17. В. В. Воронов, В. Ф. Морозов, В. Г. Стахин, С. В. Трунов, Е. В. Костюков, Ю. А. Кузнецов, А. С. Скрылёв, В. А. Шилин. Разработка основ проектирования и субмикронной технологии изготовления ФПЗС нового поколения. – Тезисы докладов XII конференции «Пути развития телевизионных фотоэлектронных приборов и устройств на их основе», Санкт-Петербург, 27-29 июня 2001 г. (С-Пб.: ОАО «ЦНИИ "Электрон"», 2001, с. 89-90).

18. Р. К. Кирдяшев, Е. В. Костюков, А. С. Скрылев. Разработка конструкции металлокерамических корпусов для серии перспективных линейных ФПЗС высокого разрешения. – Тезисы докладов конференции «Твердотельная электроника. Комплексированные изделия. Экономика научных разработок», Москва, 14 декабря 2001 г. (М.: ГУП «НПП "Пульсар"», 2001, с. 25-26).

19. E. V. Kostyukov, A. A. Pugachev, A. S. Skrylev, P. A. Skrylev. Design and Mixed Modeling of PhCCD with Vertical Antiblooming Structure. – Proceeding of. SPIE, 2002, Vol. 4761, p. 152-160.

20 E. V. Kostyukov. Bilinear photosensitive CCD series. – Abstracts of XVII International Scientific and Engineering Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices, May 27-31, 2002, Moscow, Russia (M.: SRC SUE «RD&P Center "Orion"», 2002, p. 98-99).

21. E. V. Kostyukov, M. A. Pospelova, T. F. Rusak, S. V. Trounov. Internal gettering processes for new generation photosensitive charge-coupled devices. – Abstracts of XVII International Scientific and Engineering Conference on Photoelectronics and Night Vision Devices, May 27-31, 2002, Moscow, Russia (M.: SRC SUE «RD&P Center "Orion"», 2002, p. 153).

22. В. В. Воронов, М. И. Какоулин, Е. В. Костюков, Ю. А. Кузнецов, А. М. Маклаков, А. С. Скрылёв, А. А. Тихонов, С. В. Трунов, А. А. Пугачёв, В. В. Чернокожин, В. А. Шилин. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью – современная элементная база фотонных систем. – Электронная промышленность, 2003, вып. 2, с. 155-168.

23. Е. В. Костюков, А. А. Пугачёв, А. С. Скрылёв, В. А. Шилин. Фоточувствительные приборы с зарядовой связью. – Электронные компоненты, 2003, № 4, с. 83-88.

24. Е. В. Костюков, М. А. Пospelova, Т. Ф. Русак, С. В. Трунов. Отработка технологии создания внутреннего геттера для фоточувствительных приборов с зарядовой связью нового поколения. – Прикладная физика, 2003, вып. 5, с. 102-106.

25. Р. К. Кирдяшев, Е. В. Костюков, М. А. Маклаков, А. С. Скрылёв, С. В. Трунов. Линейные фотоприёмники с зарядовой связью высокого разрешения с числом элементов до 12000. – Тезисы докладов XVIII международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 25- 28 мая 2004 г. (М.: ГНЦ РФ – ФГУП «НПО "ОРИОН"», 2004, с. 30).

26. Е. В. Костюков, М. А. Пospelova, Т. Ф. Русак, С. В. Трунов, Т. А. Облыгина, Г. И. Никитина. Создание внутреннего геттера для современных ПЗС. – Тезисы докладов VIII международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 25-28 мая 2004 г. (М.: ГНЦ РФ – ФГУП «НПО "ОРИОН"», 2004, с. 162).

27. Е. В. Костюков, В. Г. Горячев, Н. В. Федуква. Влияние ионизирующего излучения на параметры МНОП-структур для ФПЗС. – Сборник «Радиационная стойкость электронных систем – СТОЙКОСТЬ-2004», М.: вып. 10, с. 111-112.

28. Е. В. Костюков, М. А. Пospelova, Т. Ф. Русак, Г. И. Никитина. Создание внутреннего геттера для современных ПЗС в пластинах с разной начальной концентрацией кислорода. – Тезисы лекций и докладов III Российской школы учёных и молодых специалистов по физике, материаловедению и технологии получения

кремния и приборных структур на его основе, Москва, 4-7 июля 2005 г. (М.: МИСИС, 2005, с. 162-163).

29. Е. В. Костюков, А. М. Маклаков, А. С. Скрылёв, О. В. Михайличенко, С. В. Трунов. Перспективы развития линейных фоточувствительных приборов с зарядовой связью со сверхвысоким разрешением. – Материалы II конференции «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли», Адлер, 12-16 сентября 2005 г. (М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2005, с. 93-95).

30. Е. В. Костюков, А. Л. Алимов, Е. Ф. Певцов, А. С. Скрылёв. Фотоприёмное устройство на основе линейного ФПЗС11Л для нашлемной системы целеуказания. – Тезисы докладов конференции «Твердотельная электроника, комплексированные изделия, экономика и управление научными разработками и производством изделий электронной техники», Москва, 14-15 декабря 2005 г. (М.: ФГУП «НПП "Пульсар"», 2005, с. 17-18).

31. Е. В. Костюков, М. А. Поспелова, Т. Ф. Русак, С. В. Трунов, Т. А. Облыгина, Г. И. Никитина. Создание внутреннего геттера для современных ПЗС. – Прикладная Физика, 2006, № 1, с. 124-128.

32. Е. В. Костюков, М. А. Поспелова, Т. Ф. Русак, Г. И. Никитина. Внутренний геттер в ходе отжига процесса изготовления ПЗС. – Тезисы докладов XIX международной конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 23-26 мая 2006 г. (М.: ГНЦ РФ – ФГУП «НПО "ОРИОН"», 2006, с. 185-186).

33. Е. В. Костюков, А. М. Маклаков, А. С. Скрылёв. Разработка и исследования современных линейных фоточувствительных приборов с зарядовой связью. – Материалы III конференции «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли», Адлер, 11-15 сентября 2006 г. (М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2006, с. 137-144).

34. Е. В. Костюков. Линейные фоточувствительные приборы с зарядовой связью с разрешением до 50 пар лин./мм. – Интеграл, 2007, № 1, с. 3-8.

35. Ю. И. Завадский, Ю. А. Концевой, Е. В. Костюков, Ю. А. Кузнецов, А. М. Маклаков, А. С. Скрылёв, В. В. Чернокожин. Твёрдотельные кремниевые фотоприёмники видимого и ультрафиолетового диапазонов. – Материалы VI конференции «Твердотельная электроника, сложные функциональные блоки РЭА», Владимир, 21-23 марта 2007 г. (М.: МНТОРЭС, 2007, с. 119-120).

36. Е. В. Костюков, М. А. Поспелова, Т. Ф. Русак. Подготовка кремниевых пластин для изготовления ПЗС. – Материалы VI конференции «Твердотельная

электроника, сложные функциональные блоки РЭА», Владимир, 21-23 марта 2007 г. (М.: МНТОРЭС, 2007, с. 147-149).

37. Л. М. Василевская, С. Н. Клёмин, Ю. А. Концевой, Е. В. Костюков, Ю. А. Кузнецов, В. В. Чернокожин. Многоспектральные фоточувствительные приборы. – Фотоника, 2007, № 4, с. 18-23.

38. В. Г. Горячев, Е. В. Костюков, Н. В. Федукова. Влияние элементов структуры ЛФПЗС и электрического режима их работы на параметры приборов при радиационном воздействии. – Сборник «Радиационная стойкость электронных систем – СТОЙКОСТЬ-2007», вып. 10, с. 109-110.

39. В. Г. Горячев, Е. В. Костюков, Н. В. Федукова. Восстановление параметров ЛФПЗС в процессе изохронного отжига. – Сборник «Радиационная стойкость электронных систем – СТОЙКОСТЬ-2007», вып. 10, с. 111-112.

40. Е. В. Костюков, А. М. Маклаков, А. С. Скрылёв, В. В. Чернокожин. Состояние и уровень развития фоточувствительных приборов с зарядовой связью. – Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы, 2007, вып. 2(219), с. 3-20.

41. Е. В. Костюков, М. А. Поспелова, Т. Ф. Русак, Г. И. Никитина. Внутренний геттер в ходе отжигов, проводимых при изготовлении приборов с зарядовой связью. – Прикладная физика, 2008, № 4, с. 122–127.

42. И. С. Борисов, М. И. Климентова, Е. В. Костюков, А. М. Маклаков. Разработка фоточувствительных приборов с зарядовой связью на основе линейки фотодиодов, оснащённой устройством антиблуминга и электронного затвора. – Электронная техника. Серия 2. Полупроводниковые приборы, 2008, вып. 1(220), с. 67-75.

Костюков Евгений Вильевич

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСНОВ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ  
ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ**

Автореферат

Подписано к печати 24.10.2008 г. Тираж 100 экз.

Отпечатано на ФГУП «НПП "Пульсар"»

105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 27.