

УДК 621.382.049

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНЫХ ДМОП ТРАНЗИСТОРОВ

В.В. БАРАНОВ¹, М.М. КРЕЧКО², И.И. РУБЦЕВИЧ²

¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь

²Унитарное предприятие "Завод Транзистор"
Корженевского, 16, Минск, 220108, Беларусь

Поступила в редакцию 17 ноября 2006

Описана разработанная система моделирования и конструктивно-технологической оптимизации мощных ДМОП транзисторов, которая позволила освоить в серийном производстве ряд мощных полевых *n*- и *p*-канальных МОП транзисторов, конкурентоспособных на мировом рынке. Диапазон рабочих напряжений приборов 12–800 В, рабочих токов от 0,1 до 75 А.

Ключевые слова: ДМОП транзисторы, структура, модели, методы оптимизации.

Введение

Задача быстрого и экономически эффективного внедрения в серийное производство нового типа приборов — мощных ДМОП транзисторов — настоятельно потребовала разработки комплексной системы конструктивно-технологической оптимизации мощных ДМОП транзисторов [1]. При ее создании использован опыт, накопленный ранее при освоении серийного производства маломощных изделий микроэлектроники.

Объект и предмет исследований

В качестве объекта исследований выбраны мощные ДМОП транзисторы. Структура кристалла мощного ДМОП транзистора схематически изображена на рис. 1, а поперечное сечение элементарной ячейки кристалла — на рис. 2.

Примером может служить транзистор типа КП 727. Кристалл данного прибора имеет ячеистую структуру и состоит из нескольких тысяч параллельно включенных короткоканальных МОП транзисторов. Структура прибора отличается низкой мощностью рассеивания, малой величиной сопротивления открытого прибора, низкими значениями времени переключения. Обычно такие приборы собирают в корпуса типа КТ-28-2, что делает их стоимость доступной для широкого круга потребителей.

В условиях конкурентной борьбы с ведущими мировыми производителями приборов аналогичного класса — фирмами International Rectifier, Motorola и др. значения электрических параметров необходимо выдерживать на рекордном уровне. Решение данной задачи возможно при использовании современных методов численного инженерно-физического моделирования структуры приборов, а также путем координации усилий всего предприятия на быстрое и экономически эффективное освоение изделий нового класса. Поэтому предметом исследований

в данной работе явились моделирование и оптимизация твердотельной структуры приборов с целью получения заданного сочетания параметров в соответствии с требованиями потребителей и комплексная система конструктивно-технологической оптимизации изделий силовой электроники.

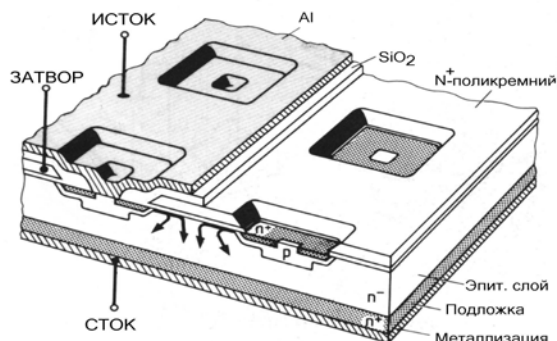


Рис. 1. Твердотельная структура кристалла мощного ДМОП транзистора

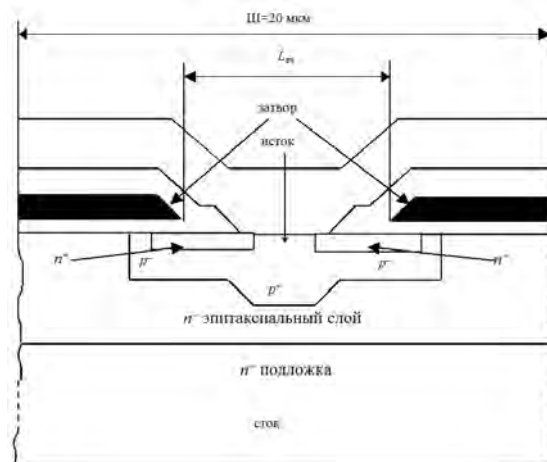


Рис. 2. Сечение элементарной ячейки мощного ДМОП транзистора

Экспериментальная часть и обсуждение результатов

Структура разработанной комплексной системы показана на рис. 3. Она включает в себя двенадцать взаимосвязанных элементов, постоянно взаимодействующих, обменивающихся информацией и влияющих друг на друга. Внешние управляющие импульсы приходят в систему через следующие элементы:

элемент II "Маркетинговые исследования" (анализ рынка и его формирование, работа с имеющимися и потенциальными потребителями через разработку каталогов, создание интернет-сайтов, рекламу);

элемент III "Внешние программы и заказы" (государственные и межгосударственные комплексные научно-технические программы, контрагентские работы, фаундри-бизнес, ОКР по разработке MOSFET с повышенной устойчивостью к внешним факторам эксплуатации для поставки на российский рынок);

элемент IV "Анализ передового мирового опыта в области силовой электроники" (анализ элементов конструкции и технологии изготовления изделий-аналогов, методик измерений, испытаний, патентный анализ).

Эта информация передается в ядро системы (элементы V, VI, VII), где подвергается исследованию в рамках элемента VI "Конструктивно-технологическая оптимизация с помощью пакета программ расчета и моделирования", который обеспечивает:

- поиск оптимальных параметров конструкции и технологии;
- моделирование отдельных элементов конструкции и технологии;
- анализ потенциальных возможностей топологии;
- расчет прогнозируемого процента выхода годных;
- подготовку исходных данных для расчета экономических параметров разработки.

Информация, переданная из элемента VI в элемент I "Экономический анализ" используется для составления бизнес-планов на новые разработки.

Элемент V "Анализ элементов конструкции и технологии изготовления кристалла методом натурального эксперимента" решает поставленные перед ним задачи методами:

- изготовления целевых тестовых матриц;
- использования тестовых наборов в кристаллах серийных изделий;
- варьирования элементов конструкции рабочих кристаллов;
- варьирования параметров технологического процесса.

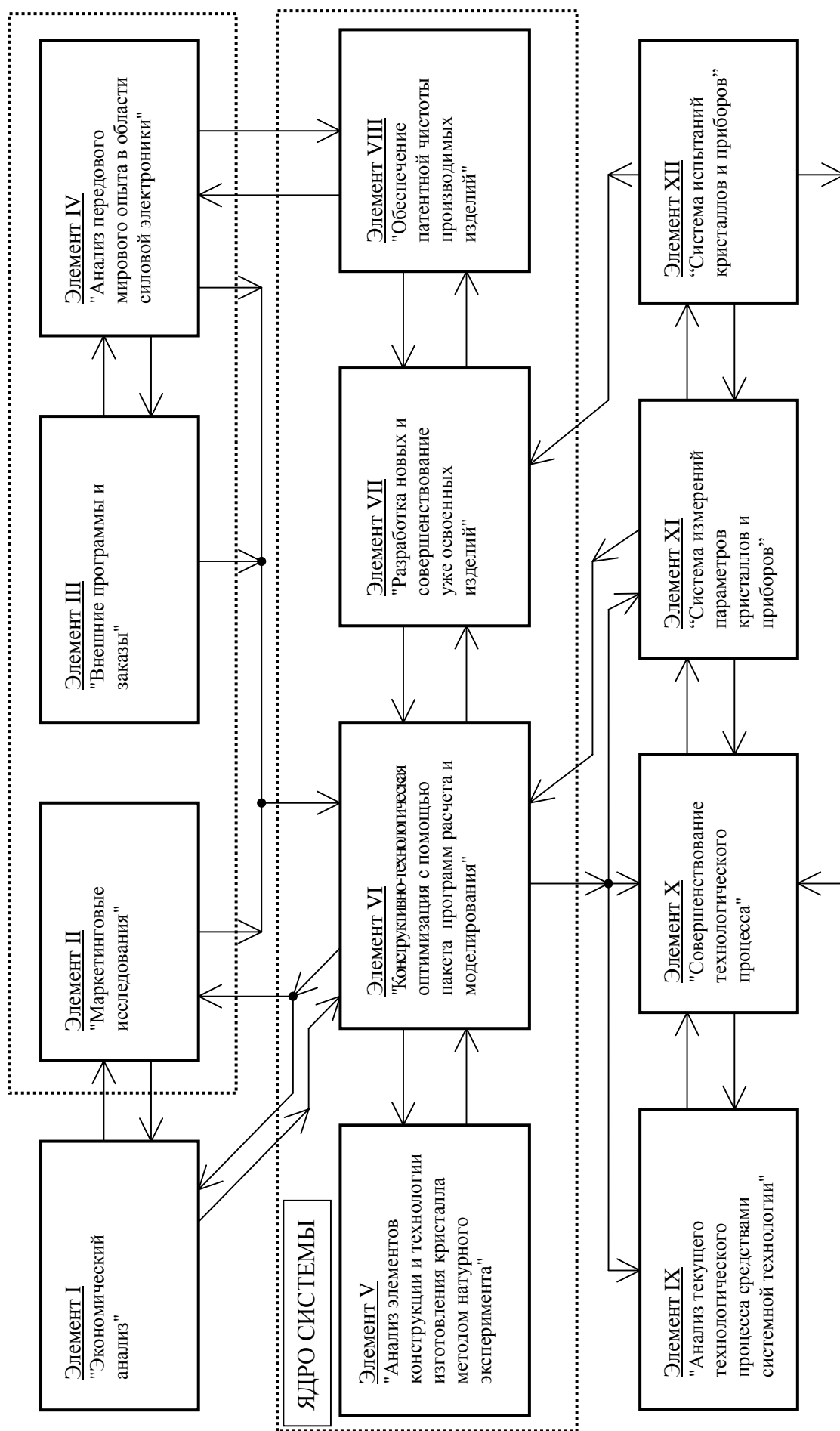


Рис. 3. Структура комплексной системы конструктивно-технологической оптимизации мощных ДМОП транзисторов на УП "Завод Транзистор"

На основании полученных результатов расчета, натуральных экспериментов и с учетом внешних управляющих импульсов принимается решение о проведении разработки новых типономиналов или новых поколений изделий МОП транзисторов — MOSFET, что осуществляется посредством элемента VII "Разработка новых и совершенствование освоенных изделий".

В качестве последних примеров можно привести:

разработку новых изделий IV поколения (КП508, КП509);

модернизацию ранее освоенных приборов (КП504, КП723);

разработку MOSFET с защитой затвора (КП505, КП508Б);

разработку MOSFET с повышенной устойчивостью к внешним факторам эксплуатации (2П771, 2П7145);

разработку биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT).

Эффективное устойчивое функционирование и развитие системы невозможно без работы каналов обратной связи, по которым в ядро системы постоянно направляется информация о ходе и результатах новых разработок и текущего изготовления уже серийно освоенных изделий. Сбор и обработка этой информации осуществляется с помощью элементов VIII, X, XI и уже описанного I.

Элемент X "Система измерений параметров кристаллов и приборов" решает задачу объективной оценки выходных параметров изделия через разработку и совершенствование:

таблиц норм электрических параметров (ТНЭП);

методик и программ измерений;

оснастки, оборудования;

непосредственное проведение измерений.

Элемент XI "Система испытаний кристаллов и приборов" призван оценивать уровень надежности выпускаемых изделий путем подготовки:

программ и методик испытаний;

оснастки;

оборудования;

проведения испытаний;

проведения анализа причин отказов.

Параллельно проводится работа в рамках элемента VIII "Анализ текущего технологического процесса средствами системной технологии". При этом проводится:

расчет емкостей C_p , $C_{рк}$;

отслеживание тенденций изменения параметров;

аттестация операций, оборудования, персонала.

Этот элемент системы, с одной стороны, позволяет обеспечивать необходимый уровень технологического процесса и тем самым экономической эффективности производства, а с другой стороны, является источником ценной информации для остальных элементов системы.

На основании информации, поступающей из элементов III, VII, VIII, XI, формулируются задачи по совершенствованию существующих технологических процессов и разработке новых, которые решаются в рамках элемента IX посредством:

повышения уровней стандартизации и унификации существующего техпроцесса;

повышения уровня производственной технологичности;

разработки новых технологических процессов;

освоения новых корпусных исполнений.

Следует отметить, что одним из факторов, способствующих принятию решения об освоении в производстве MOSFET, явилась технологическая совместимость данного класса изделий с базовой технологией КМОП БИС, уже имеющейся на УП "Завод Транзистор". Это позволило начать серийное освоение MOSFET без крупных финансовых затрат, однако все же пришлось решить ряд технических проблем.

В качестве примеров новых разработанных технологических процессов можно привести:

разработку технологического процесса наращивания высокоомных толстослойных эпитаксиальных структур (до 100 мкм);

создание технологии создания многослойной металлизации обратной стороны кремниевых пластин;

освоение техпроцесса высокоточного утонения кремниевых пластин (технологии прецизионной механической обработки кремниевых пластин с уже готовыми кристаллами);

освоение новых корпусных исполнений (разработан ряд новых корпусов для мощных силовых приборов ТО-220, ТО-218, ТО-3, ТО-3-5, IZOWATT-218, В-47, в том числе и для перспективного поверхностного монтажа — SMD-220, DPACK);

разработку техпроцесса ПХТ кремния (канавки).

Надежное и стабильное завоевание рынка невозможно без повышения степени патентной чистоты производимых изделий, эту задачу решает элемент VI путем:

получения патентов на изобретения;

регистрации топологии кристаллов в Российской Федерации;

публикаций.

Используя разработанную комплексную систему, разработана и оптимизирована твердотельная структура ряда мощных ДМОП транзисторов. В качестве примера можно привести разработку прибора КП727А. Первоначально была решена задача создания аналога прибора BUZ 71 фирмы Siemens, являющегося кремниевым эпитаксиально-планарным с изолированным затвором обогащением *n*-канала и встроенным обратносмещенным диодом полевым МОП транзистором в корпусе КТ-28.

Функциональное назначение данного полевого транзистора — использование в источниках вторичного электропитания с бестрансформаторным входом, в регуляторах, стабилизаторах и преобразователях напряжения с непрерывным импульсным управлением, блоках питания ЭВМ, схемах управления электродвигателями и другой радиоэлектронной аппаратуре.

Основные параметры прибора КП727А (BUZ 71):

пробивное напряжение сток-исток — 50 В;

сопротивление сток-исток в открытом состоянии — 0,1 Ом;

максимальный ток стока — 14 А.

На основе численной конструктивно-технологической оптимизации была создана топология кристалла, обеспечивающая требуемые параметры:

размер кристалла — 3,6×3,6 мм²;

шаг рабочей ячейки — 20 мкм;

размер ячейки — 12 мкм;

зазор между ячейками — 8 мкм;

количество рабочих ячеек — 23488 шт.

Дополнительный численный расчет показал, что использование данной топологии кристалла при условии изменения таких конструктивных параметров, как объемное сопротивление и толщина эпитаксиальной пленки, а также толщина подзатворного оксида кремния, позволяет получить дополнительный номенклатурный ряд транзисторов.

Подтверждение данных численного расчета с помощью натурального эксперимента позволило разработать три новых прибора: КП727Б (аналог IRFZ34¹), КП727В (IRLZ34), КП745А (IRF530).

При начале разработки серии *p*-канальных ДМОП транзисторов с помощью численного расчета была проведена оценка возможности использования топологии кристалла КП727. Повторение процедуры численного расчета и натурального эксперимента позволили использовать имеющуюся топологию для производства *p*-канального ДМОП транзистора КП784А (IRF9Z34).

В таблице приведены основные электрические параметры полевых транзисторов, производимых с использованием одной топологии (один комплект МПО² для пяти изделий).

¹ Фирма International Rectifier.

² Металлический промежуточный оригинал.

Электрические параметры полевых транзисторов при температуре 25°C

Наименование параметра	Обозначение	КП727А (BUZ71)	КП727Б (IRFZ34)	КП727В (IRLZ34)	КП745А (IRF530)	КП784А (IRF9Z34)
Пробивное напряжение сток-исток	$U_{\text{проб}}$, В	50	60	60	100	-60**
Пороговое напряжение	$U_{\text{зи,пор}}$, В	2,0-4,0	2,0÷4,0	1,0÷2,0*	2,0-4,0	-2,0÷-4,0
Сопротивление сток-исток в открытом состоянии	$R_{\text{си,отк}}$, Ом	0,1	0,05	0,05	0,16	0,14
Ток стока	$I_{\text{с}}$, А	14	30	30	14	-18
Напряжение на диоде при прямом включении	$U_{\text{ис,пр}}$, В	1,8	1,6	1,6	2,5	-6,3
Тепловое сопротивление переход-корпус	$R_{\text{тп-к}}$, С/Вт	3,1	1,7	1,7	1,7	1,7
Входная емкость	$C_{\text{вх}}$, пФ	1600	1600	2100	1350	1540
Выходная емкость	$C_{\text{вых}}$, пФ	800	800	860	650	700
Проходная емкость	$C_{\text{прох}}$, пФ	195	195	225	160	200

* Логический уровень управления;

** *p*-канальный транзистор.

Заключение

Приведенная комплексная система конструктивно-технологической оптимизации мощных ДМОП транзисторов доказала свою эффективность на протяжении более десяти лет и позволила осуществить освоение в серийном производстве широкой номенклатуры мощных полупроводниковых приборов — более 70 типов полевых *n*- и *p*-канальных МОП транзисторов, обладающих широким диапазоном технических характеристик, охватывающих область рабочих напряжений от 12 до 800 В и рабочих токов от 0,1 до 75 А, что полностью обеспечивает растущие потребности экономики страны в приборах данного класса. Ежегодные поставки за рубеж в объемах сотен тыс. долларов США обеспечивают повышение экспортного потенциала промышленности Республики Беларусь. В течение 2001–2004 гг. в зарубежные страны поставлено свыше 5 млн шт. МОП ПТ на сумму более 0,8 млн долларов США [2].

OPTIMIZATION OF POWER DMOS TRANSISTORS SOLID-STATE STRUCTURE AND TECHNOLOGY

V.V. BARANOV, M.M. KRECHKO, I.I. ROUBTSEVICH

Abstracts

The developed system of simulation and optimization of power DMOS transistors layout and technology has been described. It is used for starting manufacture of power MOSFETs with *n*- and *p*-channels that are demanded by the world market. The range of the devices voltage is 12–800 V, the range of the devices current — 0,1–75 A.

Литература

1. Юдинцев В.А. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2002. № 6. С. 16–20.
2. Емельянов В.А. Технология миромонтажа интегральных схем / Под ред. В.В. Баранова. Минск, 2002. 232 с.