

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОХРАННЫХ КОЛЕЦ КАК СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ ОТ НЕГАТИВНЫХ ФАКТОРОВ

Недашковский Леонид Владимирович

магистрант, Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», РФ, г. Москва

Поскольку сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) в составе радиоэлектронной аппаратуры должны функционировать в различных условиях эксплуатации, в том числе в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов, повышение стойкости изделий к этим факторам является важнейшей задачей на сегодняшний день.

Высокоэнергичные частицы при торможении корпусом устройства становятся источниками гамма-излучения, рентгеновского излучения и тяжёлых ионов. Эти частицы ионизируют КМОП-структуры, в частности затвор и подзатворный оксид транзисторов. В результате изменяются параметры приборов: токи утечки, время нарастания и спада фронтов.

Наиболее частые проблемы вызываются так называемыми случайными воздействиями (Single Event Effects, SEE), которые происходят, когда в интегральную схему попадают тяжёлые частицы (космические лучи, протоны, электроны, альфа-частицы, термические нейтроны и т. д.) Проходя сквозь объём полупроводника, они оставляют за собой трек (шлейф) из свободных носителей заряда. Это приводит к генерации электронно-дырочных пар в подзатворном окисле обычных КМОП-схем.

Наиболее часто случайное воздействие приводит к одиночным сбоям (Single Event Upset, SEU). Обычно такие события происходят в ячейках памяти или в статических триггерах при попадании в них ионов. Другое следствие случайного воздействия — это защёлкивание транзисторов (а также паразитных тиристорных структур) [1].

Разнообразие радиационных эффектов делает необходимой задачу обеспечения микросхем и элементарных блоков радиационной устойчивостью. Особенно важна эта проблема при разработке схем специального назначения, которые используются в неблагоприятных условиях. Это также касается микросхем для космического применения.

Мероприятия по обеспечению стойкости аппаратуры по дозовым эффектам включает в себя:

- 1) выбор элементной базы;
- 2) применение рациональной компоновки аппаратуры и дополнительной локальной защиты;
- 3) применение схемотехнических методов [2].

В интегральной КМОП-технологии существует потенциальная опасность взаимного расположения элементов, приводящего к образованию паразитных тиристорных структур. Типовой случай такой структуры приведён на рисунке 1.

Ток в р-п-р-п структуре протекает от истока р-канального транзистора, подключённого к питанию, к истоку п-канального транзистора, подключённого к земле.

Основным механизмом, который приводит к возможности включения тиристора, является инжекция неосновных носителей в карман или в подложку. Возникновению тиристорного

эффекта способствует генерация неосновных носителей вследствие внешнего воздействия (облучение светом, радиация).

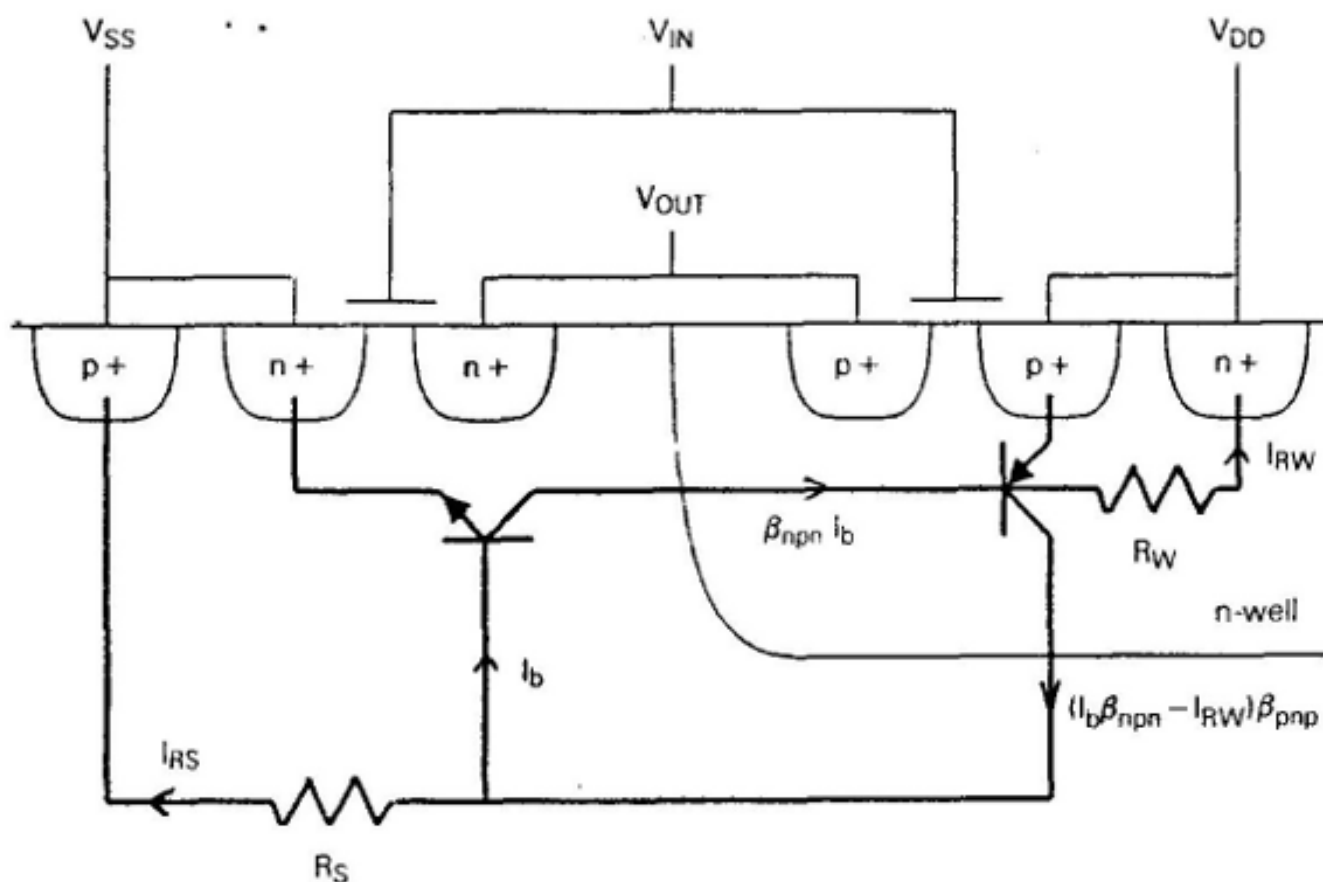


Рисунок 1. Паразитная тиристорная структура в стандартной КМОП-структуре

Существует ряд различных способов защиты от включения паразитного тиристора. Для защиты узлов входа/выхода, как правило, используются двойные охранные кольца, которые окружают структуры, образующие в совокупности паразитный тиристор. Для защиты внутренних блоков от включения тиристора используются технологические методы и специальные правила построения топологии (рисунок 2).

Самым эффективным способом является вариант с использованием замкнутых охранных колец (рисунок 2г). Он, как правило, применяется при построении аналоговых блоков и в местах, близких к вероятным источникам инъекции неосновных носителей (вблизи диодов и т.д.) [3].

Тиристорная защёлка может быть подавлена путем подключения к каждой уязвимой диффузионной области (или прибору) охранного кольца (guard ring). Несколько таких областей, имеющих общее соединение, могут иметь общее охрannое кольцо.

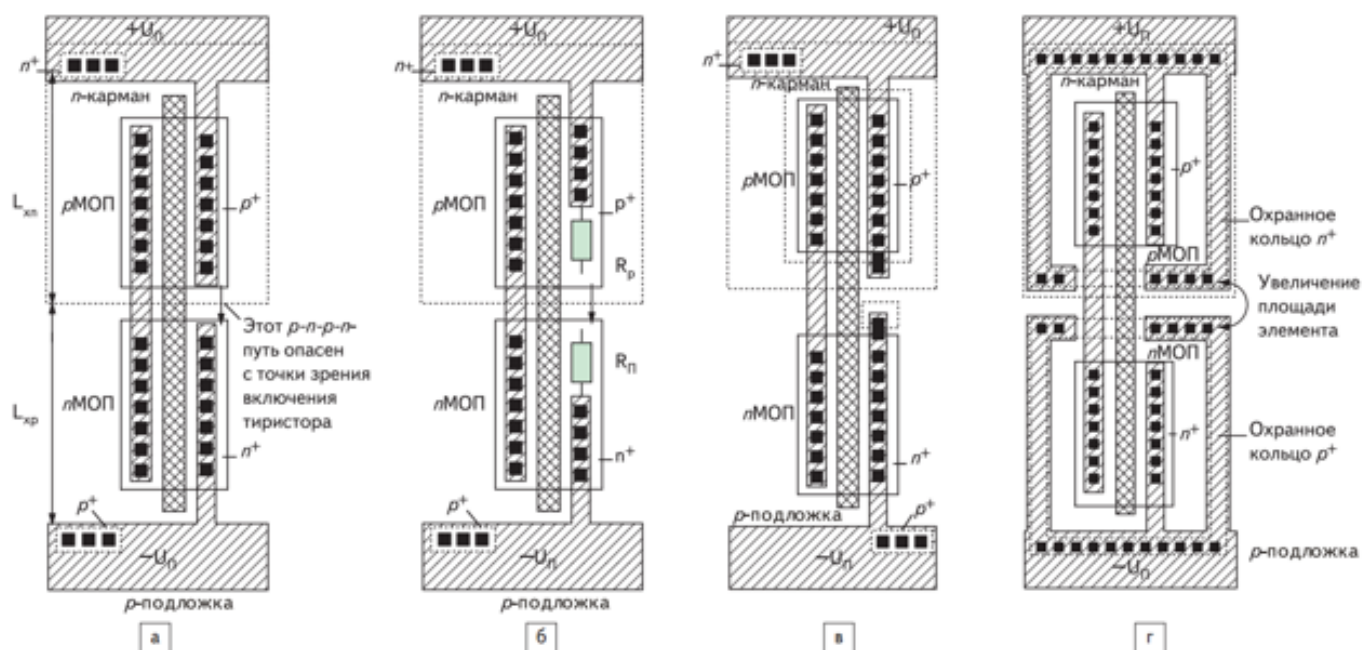


Рисунок 2. Примеры топологии внутренних блоков: а – без специальной антиотиристорной защиты; б – с увеличенным сопротивлением истоков; в – с использованием встречных двойных контактов; г – с использованием контактных колец

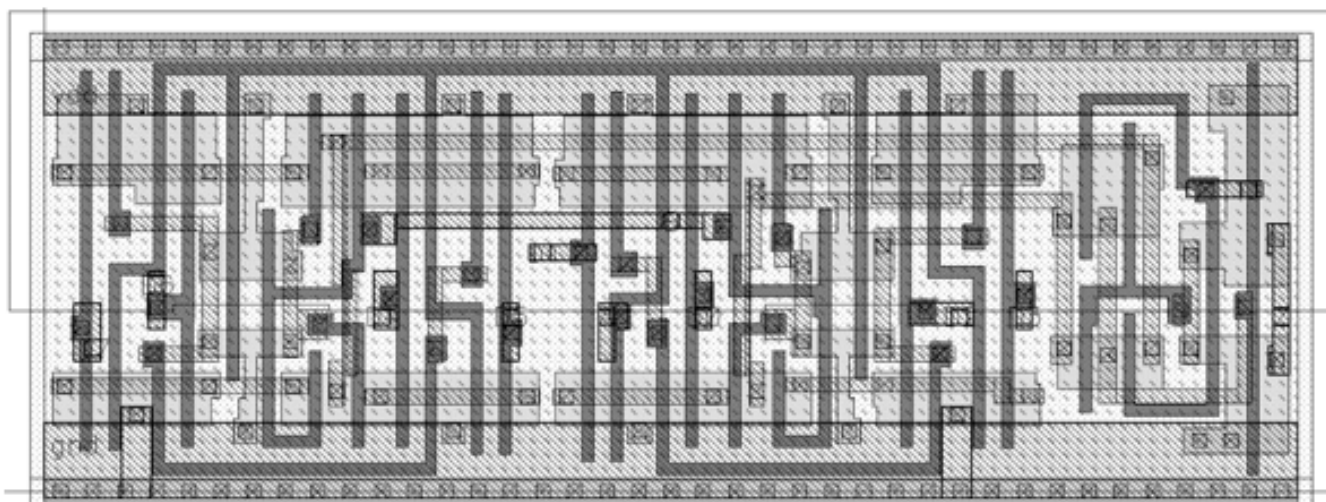
Многие старые стандартные биполярные конструкции допускают использование защитных колец от нескольких или от всех контактов, но при проектировании современных конструкций не стоит повторять этот опыт, потому что он приводит к дорогостоящему перепроектированию [4].

Согласно маршруту проектирования цифровых интегральных схем, на начальном этапе разрабатываются библиотеки стандартных элементов (логических вентилей, триггеров, сумматоров и т.д.). С учётом современных тенденций и специфики применения интегральных схем, часто разрабатываются библиотеки элементов с повышенной радиационной стойкостью. Защита от радиационных воздействий обеспечивается отдельными охранными кольцами вокруг n- и p-

канальных областей элементов (рисунок 3). За счёт этого увеличивается высота ячеек.

Также защитные кольца нашли широкое применение для уменьшения помех в подложке.

Шум представляет собой случайный статистический процесс, а характеризующие его факторы являются вероятностными. Шумами обычно называют флуктуирующие сигналы в электрических цепях. Мощность и спектральная плотность шумов определяют нижний предел уровня полезного сигнала, который может быть обработан электронными устройствами [5].



а

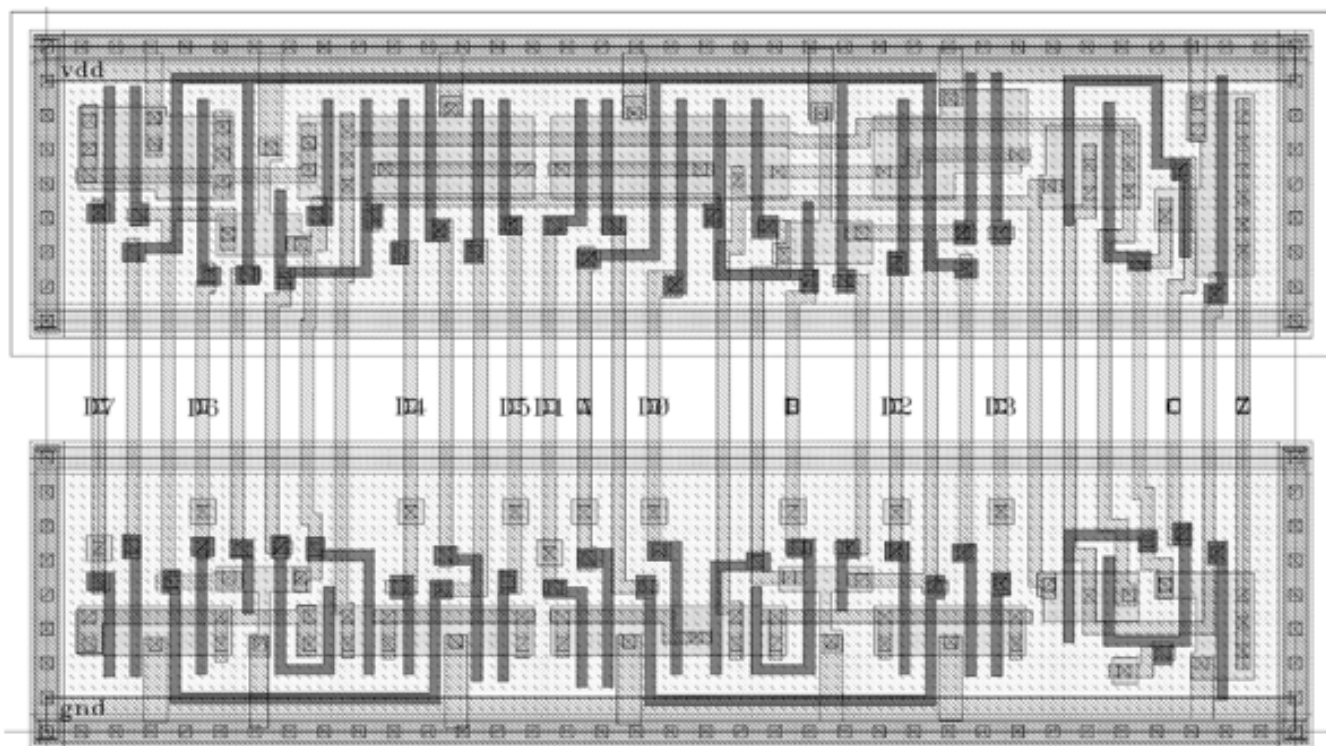


Рисунок 3. Топологии ячейки мультиплексора из 8 в 1, выполненные для технологии с проектной нормой 90 нм: а - базовая топология; б - топология ячейки с охранными кольцами

Шумы и помехи от цифровых блоков, как правило, передаются по подложке и по шинам «земли» и питания [6]. При этом ухудшается работа прецизионных аналоговых блоков. Уровень связанных с подложкой помех может оказаться весьма высоким [7].

Задача изолированного кольца состоит в съёме блуждающих зарядов в пределах подложки, с тем чтобы предупредить возникновение нежелательных помех в результате их попадания в чувствительную часть схемы [7].

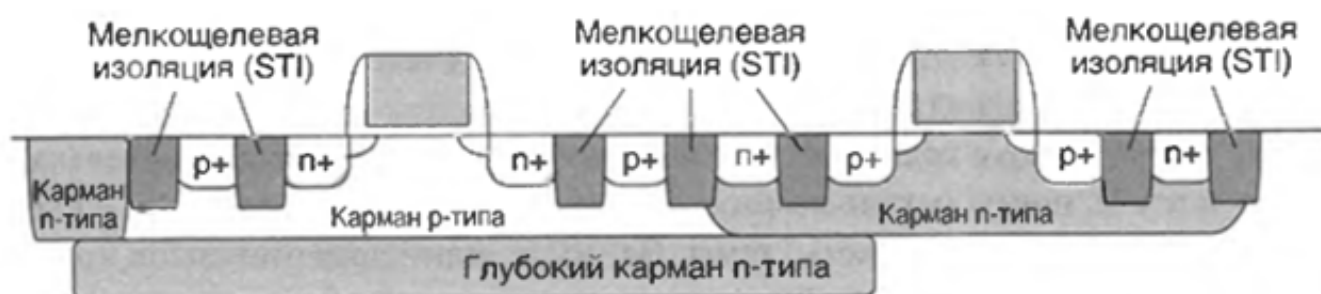


Рисунок 4. Упрощённый вид в разрезе n-МОП- и р-МОП-приборов, полученных с помощью процесса имплантации глубоких карманов n-типа

Для улучшения изоляции n-МОП-транзисторов используются глубокие карманы n-типа (deep n-well, DNW). Такая структура показана на рисунке 4. Область глубокого кармана формируется ионной имплантацией с последующим созданием изолированного кармана р-типа. Однако необходимо соблюдать осторожность при проектировании с использованием глубокого кармана n-типа, поскольку большой размер кармана увеличивает паразитную ёмкость к подложке, наличие которой способствует возникновению нежелательных наводок [7].

Охранные структуры также могут использоваться при проектировании аналоговых схем для биполярных транзисторов, резисторов, конденсаторов, индуктивностей (рисунок 5). Однотипные элементы помещаются в одно общее кольцо. Конденсаторы со структурой металл-диэлектрик-металл (MIM), как правило, выполняются на уровне верхних слоёв металлизации и отдалены от подложки (так же, как и интегральные индуктивности). Тем не менее, обкладки конденсаторов образуют паразитные ёмкости с подложкой, поэтому в ряде случаев целесообразно окружать охранным кольцом площадь под конденсатором.

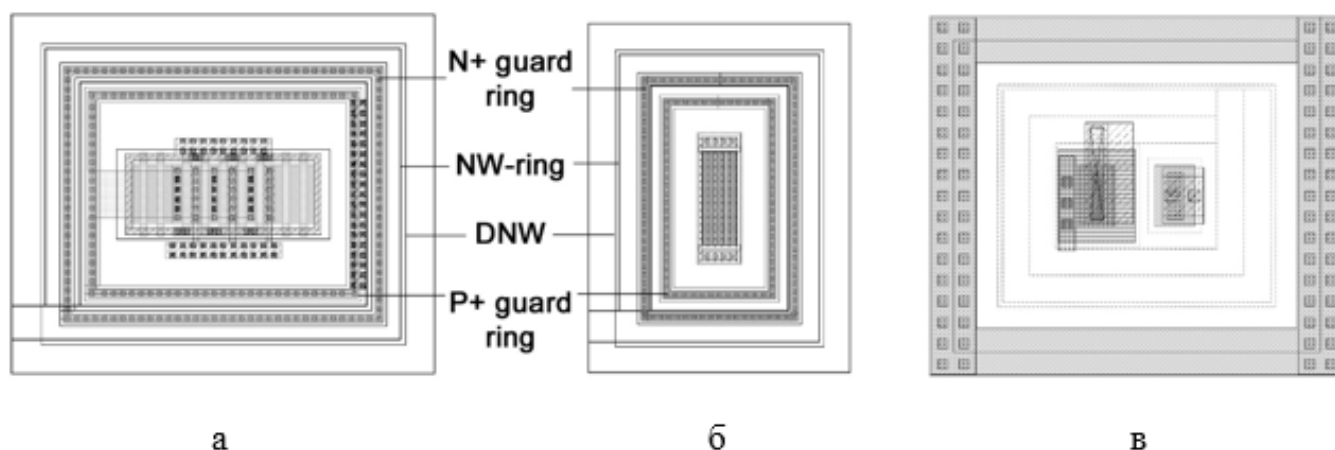


Рисунок 5. Топология n-МОП-транзистора с глубоким n-карманом и двумя охранными кольцами (а), резистора с аналогичной охранный структурой (б) и биполярного транзистора с р+ охранным кольцом

В современных системах автоматизированного проектирования охранные кольца часто рисуются автоматически. При этом они представляют собой замкнутые диффузионные области n+ или p+ типа с замкнутыми дорожками металлизации первого уровня над ними. Эти области соединены контактными окнами.

Таким образом, охранные кольца используются

проектировщиками, в первую очередь, для повышения стойкости КМОП-структур к радиационному воздействию и, как следствие, предотвращения включения паразитной тиристорной структуры. Также охранные кольца призваны уменьшить влияние шумов по подложке и изолировать приборы с помощью глубокого п-кармана. При помощи охранных областей с такой структурой обеспечивается изоляция цифровой «земли» от аналоговой. Однако такие структуры далеко не всегда бывают эффективными, это лишь один из топологических приёмов для борьбы с негативными факторами. Для наиболее качественной защиты необходимо соблюдать полный комплекс схемотехнических и топологических рекомендаций по проектированию СБИС с повышенной устойчивостью к дестабилизирующим факторам.

Список литературы:

1. Юдинцев В. Радиационно стойкие интегральные схемы. Надёжность в космосе и на земле // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. М.: РИЦ «Техносфера». – №5/2007. – С. 72-77.
2. Чумаков А.И. Радиационная стойкость изделий ЭКБ: Научное издание / Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.И. Чумакова. М.: НИЯУ МИФИ, 2015. – 512 с.
3. Эннс В.И., Кобзев Ю.М. Проектирование аналоговых КМОП-микросхем. Краткий справочник разработчика / Под редакцией канд. техн. наук В.И. Эннса. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2005 – 454 с.
4. Hastings A. The Art of Analog Layout – Pearson Education, 2004 – 556 p.
5. Адамов Ю., Губин Я., Сибгатуллин А., Сомов О. Аналоговые блоки в системах на кристалле // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. М.: РИЦ «Техносфера». – №1/2005.
6. Кириллова Е. Физическое проектирование прецизионных аналоговых блоков в цифро-аналоговых ИМС // Компоненты и технологии. СПб: Издательство Файнстрит. – №6(71)/2007. – С. 154-163
7. Вонг Б.п., Миттал А., Цао Ю., Старр Г. Нано-КМОП-схемы и проектирование на физическом уровне. – М.: Техносфера, 2014. – 432 с.