

ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.3.049.77.001

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КМОП БИС
К ВНЕШНИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

В.В. БАРАНОВ, А.В. ПРИБЫЛЬСКИЙ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 9 января 2003*

Проанализировано влияние основных технологических операций на радиационно-чувствительные параметры КМОП БИС. Определены причины отказов БИС при импульсном воздействии γ -излучения и показано, что повысить их устойчивость к внешним воздействиям можно путем задания нормативных уровней разброса параметров активных элементов и модификации конструкции МОП-транзисторов.

Ключевые слова: МОП-транзисторы, спецстойкость микросхем.

Введение

Наиболее радиационно-чувствительными структурами КМОП БИС (по дозовым эффектам) являются активные МОП-транзисторы (в особенности, *n*-канальные) и паразитные МОП-транзисторы, связанные с изолирующим оксидом. Кроме того, дисперсия статических параметров интегральных микросхем, в частности КМОП БИС, зависит от разброса геометрических размеров активных элементов и стабильности технологического процесса [1]. В этой связи к числу основных характеристик технологии МОП-структур, потенциально оказывающими наибольшее влияние на устойчивость к внешним воздействиям (ВВ) — γ -излучению и повышенным температурам в процессе эксплуатации (спецстойкость микросхем), можно отнести температурные режимы, механические напряжения и неконтролируемые примеси.

Из топологических параметров КМОП БИС наибольшее влияние на устойчивость к ВВ оказывают, прежде всего, толщина подзатворного и изолирующего оксидов, а также вертикальные размеры элементов структуры МОП-транзисторов, типичные значения которых сведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры слоев элемента КМОП-структуры

Элемент структуры	Толщина, мкм	Материал	Поверхностное сопротивление, кОм/□
<i>p</i> -карман	5±1,25	КДБ	2,9±0,3
<i>n</i> -карман	5±1,25	КЭФ	1,7±0,3
Оксид локальный	0,6±0,1	SiO ₂	—
Оксид подзатворный	0,025±0,0025	SiO ₂	—
Оксид межслойный (первый)	0,7±0,1	БСС (SiO ₂ +6,5±0,5% В) или ФСС (SiO ₂ +1,6±0,5% Р)	—
Пассивация	1,5±0,25	SiO ₂	—

Методика

В процессе изготовления партий интегральных микросхем проводили контроль параметров *n*- и *p*-канальных МОП-транзисторов. В качестве примера в табл. 2 представлены параметры *n*-МОП-транзисторов, обеспечиваемые технологическим процессом и используемые при моделировании БИС.

Воздействие ионизирующим излучением (γ -излучение) на партии изделий проводили по стандартным методикам, используя соответствующее оборудование контрольно-испытательных станций (КИС).

Таблица 2. Нормативные уровни разбросов пороговых напряжений *n*-МОП-транзисторов

Тип <i>n</i> -МОП-транзистора	Обозначение	Ед. измерения	Норма		Режим измерений
			Мин.	Макс.	
Внутренний ($L/W=1/5/50$)	$U_{\text{зи. пор.}}^n$	В	0,8	1,2	$I_c=100 \text{ нА,}$ $U_i=U_{\text{шт}}=0$
Выходной			0,65	1,05	

Анализ проблемы повышения спецстойкости КМОП БИС

В настоящее время принято считать, что наибольшее влияние на спецстойкость КМОП БИС оказывают режимы операций, протекающих в процессе и после формирования слоев подзатворного (тонкого) и изолирующего (толстого) оксидов [2].

На практике длительность и температурный режим на стадиях загрузки и выгрузки партий пластин имеют существенный разброс. Кроме того, после операции локального окисления следует не менее 8 высокотемпературных операций. Эта последовательность может влиять на уровень механических напряжений в изолирующем и подзатворном оксидах и на концентрацию содержащихся в них примесных включений. Так, операция диффузии фосфора проводится при температуре $\sim 900^\circ\text{C}$. При этом можно полагать, что повышенная по сравнению с температурой формирования тонкого оксида температура операции может влиять на микроструктуру диэлектрика, а также на распределение механических напряжений в пленках. Зависимость же плотности дефектов в оксиде от концентрации хлора в процессе выращивания оксида немонотонна, и при повышении концентрации хлора выше оптимальной плотность дефектов может превысить предельное значение, что, в конечном счете, приведет к снижению устойчивости БИС к ВВ.

Режимы операций термообработки контактов и «вжигания» алюминия также имеют разброс, что может быть существенным для распределения механических напряжений в тонкопленочной структуре. Кроме того, величина этих напряжений зависит от толщины металлической пленки.

Разброс параметров техпроцесса применительно к качеству оксида может приводить к следующим эффектам.

1. Изменению характеристик нестехиометрического оксида вблизи границы раздела с кремнием. В зависимости от максимальной температуры в процессе окисления приграничный слой термического оксида имеет различную дефектность, которая оценивается как $N=f(e^{-W/kT})$, где $W \approx 1,5 \text{ эВ}$ [3]. Кроме того, механические напряжения, преимущественно в приграничной области [4], существенно зависят не только от температуры (обычно контролируемой), но и от кинетики процессов нагрева и остывания, а также ряда других факторов.

2. Введению различного количества примесей, в основном водородосодержащих. В результате при облучении возможно высвобождение радиолитических ионов, чаще всего — протонов.

Оба эти фактора приводят к нестабильности характеристик радиационной стойкости, например, возникновению токов утечки подзатворного диэлектрика.

При разработке конструкции радиационностойких КМОП логических ИС следует исходить из того факта, что наибольшее влияние на работоспособность ИС в условиях ионизирующих излучений оказывают не объемные эффекты в кремнии, а поверхностные эффекты, проявляющиеся на границе раздела кремний–диэлектрик. При этом генерируются электронно-дырочные пары, значительная часть которых подвергается рекомбинации в течение короткого промежутка

времени. Оставшаяся часть под действием электрических полей в оксиде начинает двигаться. Электроны, имеющие высокую подвижность, перемещаются к областям с положительным зарядом, а дырки, имеющие низкую подвижность, захватываются на ловушках в диэлектрике. В результате такого захвата дырок происходит изменение интегральных характеристик емкость–напряжение и проводимость–напряжение как в активных, так и в паразитных областях структуры БИС. Как показывают данные [5–7], плотность "захваченного" заряда стремится к насыщению по мере увеличения поглощенной дозы и слабо зависит от мощности дозы. "Наведенный" положительный заряд в оксиде изменяет пороговые напряжения "рабочих" и "паразитных" МОП-транзисторов, причем изменение пороговых напряжений МОП-транзисторов зависит как от величины и полярности напряжения на затворе во время облучения, так и от особенностей конструкции и технологии изготовления КМОП БИС. Максимальный сдвиг порогового напряжения происходит у *n*-канальных транзисторов при положительном напряжении на затворе. В меньшей степени подобные процессы проявляются в структурах МОП-транзисторов при эксплуатации в условиях повышенных температур.

Таким образом, при проектировании маршрутной технологии изготовления КМОП БИС, устойчивых к ВВ, необходимо прежде всего решить две основные проблемы:

разработать радиационнотойкую технологию формирования блока изоляции;

разработать конструкцию и топологию МОП-транзисторов, сохраняющих высокую стабильность электрических характеристик при воздействии γ -излучения.

Вторая по важности задача получения КМОП ИС, устойчивых к большим дозам ионизирующего облучения, связана с созданием конструкций основных "рабочих" транзисторов с минимальным уходом величины пороговых напряжений.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены соответственно зависимости величины сдвига порогового напряжения *n*-канального транзистора от толщины подзатворного оксида и от температуры отжига для подзатворного оксида толщиной 29 нм.

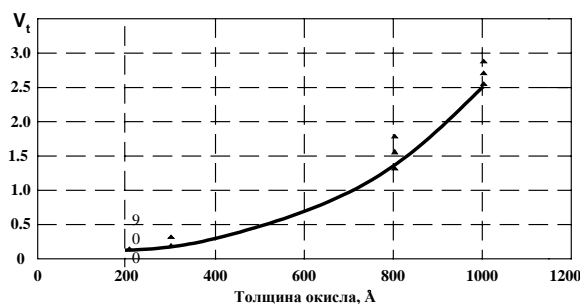


Рис. 1. Зависимость величины сдвига порогового напряжения *n*-канального транзистора от толщины подзатворного оксида

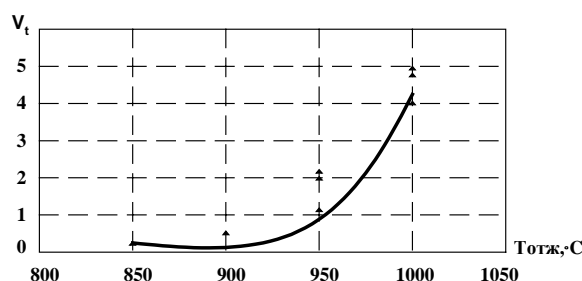


Рис. 2 Зависимость величины сдвига порогового напряжения *n*-канального транзистора от толщины подзатворного оксида и от температуры отжига для подзатворного оксида толщиной 29 нм

На рис. 3. представлена конструкция n -канального транзистора, отвечающая вышеуказанным требованиям, с повышенной устойчивостью к ВВ. Охранное кольцо p^+ - типа проводимости формируется под тонким подзатворным оксидом и, следовательно, формируется в технологическом процессе изготовления микросхемы одновременно с формированием областей истока и стока p -канальных МОП-транзисторов. Такая конструкция n -канального МОП-транзистора характеризуется высокими (более 15 В) значениями пробивных напряжений стока и отсутствием "утечек" по цепи "сток-исток" при воздействии ионизирующего излучения с дозами до 10^6 рад.

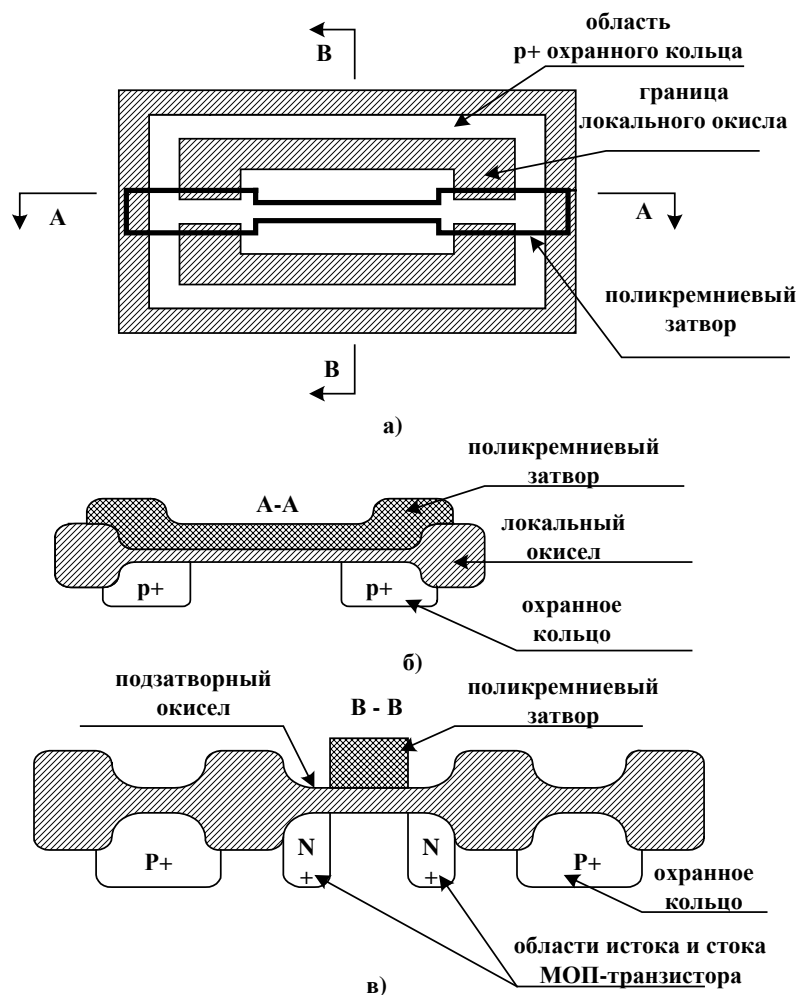


Рис. 1. Эскиз топологии (а) и сечения вдоль (б) и поперек (в) затвора МОП-транзистора с повышенной устойчивостью к воздействию ИИ

В ходе совершенствования технологического процесса и использования предложенной конструкции транзисторов нами спроектированы, изготовлены, а затем проведены сравнительные испытания трех групп изделий (И).

1. Интегральные микросхемы, ранее изготовленные (без предложенной модернизации) по "стойкой" эпитаксиальной КМОП технологии с проектными нормами 2 мкм и высоколегированными защитными областями (далее — "защита"), предотвращающими возникновение радиационно-индуцированных токов утечки (типовой представитель К1554ТМ2).

2. Интегральные микросхемы, серийно выпускаемые в настоящее время по масштабированной эпитаксиальной технологии без "защиты" (К1554ЛН1, К1594ЛН1, К1554АП5, К1594АП5, К1594ТМ9).

3. Интегральные микросхемы (после модернизации) по "стойкой" эпитаксиальной КМОП технологии с "защитой" (типовой представитель К1554ЛН1).

Полученные результаты испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3. Обобщенные результаты предварительной оценки спецстойкости микросхем

Типовой уровень стойкости		Группа 1	Группа 2	Группа 3
		2У	менее 1У	3У
И2	Катастрофический отказ	нет до 3У	нет до 3У	нет до 3У
	Тиристорный эффект	нет до 3У	0,01 1У	нет до 3У
	УБР	0,06 1У	0,02 1У	0,06 1У
	ВПР	12 мкс	20 мкс	0,3 мкс
И3	Активные <i>n</i> -МОП-транзисторы	2–3У	2–3У	более 2 3У
	Утечки	нет до 3У	2 1У	нет до 3У

Проведение аналогичных испытаний для БИС микроконтроллера 1830BE31 позволило установить, что отказ БИС при воздействии импульсного излучения определяется тиристорным эффектом и соответствует поведению интегральной микросхемы группы 2.

В комплексе повышение стойкости микроконтроллера может быть обеспечено конструктивно-технологическими методами. В частности, промежуточная в технологическом маршруте структура МОП- транзистора в составе микроконтроллера может иметь вид, приведенный на рис. 3. Как видно, топологический рисунок затвора из поликристаллического кремния адаптирован к охранному кольцу.

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать следующий вывод: установленные нормативные уровни разброса параметров активных элементов структуры КМОП БИС, а также целенаправленная модернизация интегральных микросхем позволяет обеспечить их высокую устойчивость к внешним воздействиям, в частности, к ионизирующему γ - излучению.

METHODS OF INCREASING CMOS VLSIS STABILITY TO RADIATION EXPOSURE

V.V. BARANOV, A.V. PRIBYLSKY

Abstract

Influence of principal technological processes on radiation dependent parameters of CMOS LSIs has been analyzed. LSIs failure mechanisms are determined under γ -radiation pulse action. It is shown that LSIs stability may be increased with being given a certain levels of parameters distribution of active elements and modification of MOS transistor design.

Литература

1. Кильметов Р.С., Кухаренко А.П., Механцев Б.Е., Механцев Е.Б. // Известия ТРТУ. 2000. № 3 (17). С. 167–178.
2. Коршунов Ф.П., Богатырев А.В., Вавилов В.А. Воздействие радиации на интегральные схемы. Мн., 1986.
3. Технология СБИС / Под ред. С. Зи. М., 1986. Кн. 1.
4. Баранов В.В., Достанко А.П., Соловьев Я.А. // Докл. НАН Беларуси. 2002. Т. 46, № 4. С. 119–122.
5. Агаханян Т.М., Аствацатурьян Е.Р., Скоробогатов П.К., Чумаков А.Н. // Микроэлектроника. 1984. Т. 13, вып. 5. С. 392–400.
6. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники / Под ред. Е.А. Ладыгина. М., 1980.
7. Ладыгин Е.А., Мельников Л.Л., Муратов В.Н. // Электронная промышленность. 1991. Вып. 4. С.37–42.