

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СФОКУСИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КМОП ИС

*Скоробогатов С.П.<sup>1</sup>, Скоробогатов П.К.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Кембриджский университет,  
<sup>2</sup>Московский инженерно-физический институт  
(государственный университет)

Приведены результаты численного моделирования и экспериментальных исследований воздействия сфокусированного лазерного излучения на элементы КМОП ИС, подтверждающие возможность изменения таким способом состояния внутренних элементов и ячеек памяти ИС.

В работе [1] приведены результаты экспериментальных исследований и численного моделирования воздействия сфокусированного лазерного излучения (ЛИ) на матрицу ячеек памяти КМОП ОЗУ, подтвердившие возможность определения таким способом состояния ячеек памяти.

Однако сфокусированное лазерное излучение может быть также использовано для изменения состояния логических элементов и ячеек памяти бесконтактным способом. Такая возможность может оказаться очень полезной для целей диагностирования отказов кристаллов ИС на стадии разработки и отладки техпроцесса, а также при радиационных испытаниях [2].

С целью анализа возможности изменения состояния ячеек памяти и определения наиболее оптимальных параметров ЛИ было выполнено численное моделирование ионизационной реакции КМОП-структуры под действием сфокусированного ЛИ с использованием пакета "DIODE-2D" [3]. Поперечное сечение моделируемой структуры приведено на рис.1. Структура представляет собой типичный КМОП-инвертор и выполнена по объемной КМОП технологии с р-карманами на слаболегированной ( $1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ) п-подложке. Уровень легирования р-карманов считался равным  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , а длина каналов транзисторов

принималась равной 1 мкм. Моделирование проводилось при напряжении питания +3,3 В. Определялись временные зависимости выходного напряжения инвертора при воздействии на структуру импульсов ЛИ различной энергии с длиной волны от 0,53 мкм до 1,06 мкм.

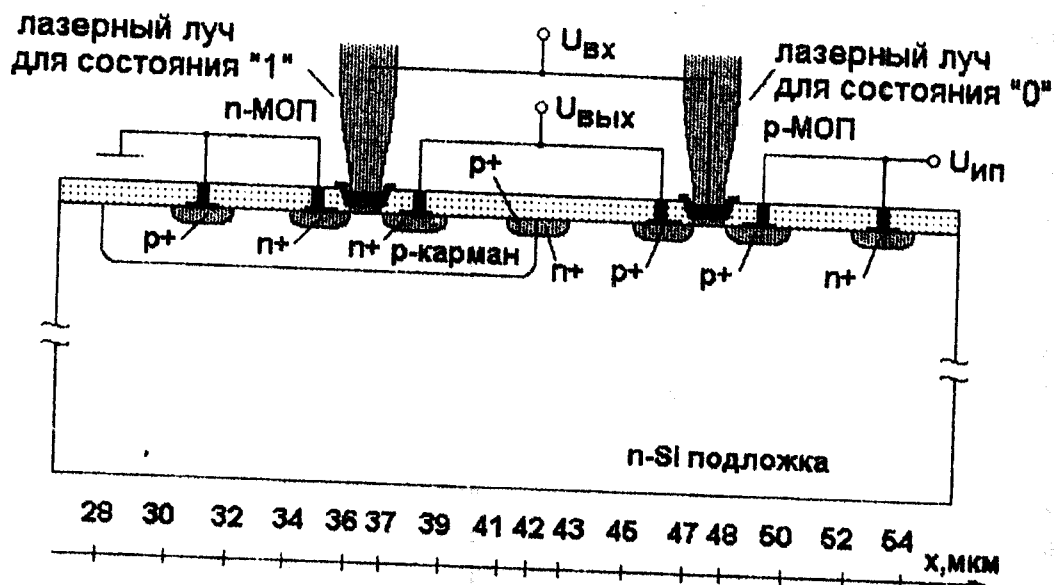


Рис.1. Поперечное сечение моделируемой КМОП-структуры

Результаты предварительных расчетов и данные работы [1] подтвердили предположение о том, что наибольшее изменение выходного напряжения инвертора в состоянии лог. «0» имеет место при облучении области затвора первоначально закрытого p-MOSFET транзистора, а в состоянии лог. «1» - n-MOSFET транзистора. Области локализации ЛИ, использованные при расчете, отмечены на рис.1.

Результаты численного моделирования показали, что основным фактором, ограничивающим возможности лазерного метода для изменения состояния элементов КМОП ИС, является срабатывание паразитных четырехслойных структур (тиристорный эффект) при их ионизации ЛИ. Изменение состояния инвертора возможно только в том случае, если необходимая для этого интенсивность ЛИ меньше порога срабатывания любой из входящих в его состав тиристорных структур. Фокусировка ЛИ в области канала закрытого транзистора создает более оптимальные условия для

изменения состояния инвертора, однако не может полностью исключить тиристорный эффект, так как генерируемые ЛИ неравновесные носители достаточно быстро заполняют объем структуры за счет диффузии и дрейфа и формируют ионизационные токи всех входящих в структуру р-п переходов.

Результаты расчета зависимостей режима работы исследуемого КМОП-инвертора в состоянии лог. «0» от энергии импульса ЛИ длительностью 11 нс и длины волны излучения приведены на рис.2.



Рис.2. Зависимости режима работы КМОП-инвертора в состоянии лог. «0» от длины волны ЛИ и энергии импульса излучения

Энергия импульса ЛИ фокусировалась на область площадью порядка  $10 мкм^2$  над затвором р-МОП транзистора. Критерием переключения считался переход выходного напряжения в область допустимых значений входного напряжения высокого уровня (более 2 В при напряжении питания 3,3 В). Это условие является несколько избыточным, так как переключение следующего за облучаемым инвертором каскада имеет место при превышении выходного напряжения порогового уровня, лежащего где-то посередине между уровнями земли и напряжения питания. Однако в

отсутствие информации о значениях пороговых напряжений внутри ИС использованное условие заведомо гарантирует переключение следующего каскада в противоположное исходному состоянию, а также изменение информации в соответствующей ячейке памяти КМОП ОЗУ.

Как видно из полученных зависимостей, существует достаточно большая область значений энергии ЛИ, при которой имеет место устойчивое переключение инвертора. Причем с уменьшением длины волны ЛИ область допустимых значений энергии ЛИ расширяется. Это объясняется тем, что с уменьшением длины волны ЛИ растет коэффициент его поглощения в кремнии, что приводит к увеличению концентрации неравновесных носителей в подзатворной области облучаемого транзистора. Данное обстоятельство, с одной стороны способствует более эффективной модуляции проводимости канала закрытого транзистора, а с другой — затрудняет включение паразитной тиристорной структуры за счет уменьшения вклада ионизационных токов n-МОП транзистора.

В противоположность этому, результаты расчета зависимостей режима работы исследуемого КМОП-инвертора в состоянии лог. «1» от энергии импульса ЛИ и длины волны излучения показали, что область устойчивого переключения отсутствует во всем диапазоне длин волн от 0,53 мкм до 1,06 мкм. Срабатывание паразитных четырехслойных структур происходит при энергиях импульса ЛИ, при которых выходное напряжение инвертора еще не достигает области входных напряжений низкого уровня (менее 0,8 В при напряжении питания 3,3 В).

В качестве примера на рис.3 приведены временные зависимости выходного напряжения КМОП-инвертора в состоянии лог. «1» при воздействии импульса ЛИ с длиной волны 0,53 мкм и с энергиями вблизи и чуть выше порога срабатывания паразитной тиристорной структуры. Видно, что даже вблизи порога срабатывания паразитной тиристорной структуры выходное напряжение инвертора не опускается в область входных напряжений низкого уровня (менее 0,8 В). Переключение следующего каскада возможно только в том случае, если величина его порогового напряжения составляет более 1,4 В, что в общем-то не гарантируется.



Рис.3. Временные зависимости выходного напряжения КМОП-инвертора в состоянии лог. «1» при воздействии импульса ЛИ с длиной волны 0,53 мкм и с энергиями 0,35 нДж (1) и 0,36 нДж (2)

Причина такого поведения инвертора заключается в том, что при облучении инвертора, выполненного по объемной КМОП технологии с р-карманами (см. рис.1), ионизационный ток области стока р-МОП транзистора не ограничен объемом кармана и существенно превосходит ионизационный ток области стока п-МОП транзистора. Это приводит к тому, что результирующий ток в выходной цепи направлен от источника питания к земле и выходной потенциал при воздействии ЛИ повышается, препятствуя понижению выходного напряжения. Для КМОП технологии с п-карманами следует ожидать противоположного характера поведения в различных состояниях.

Результаты расчетов были использованы при выборе параметров лазерного источника для бесконтактного изменения состояния ячеек памяти ОЗУ микроконтроллера PIC16F84. В ходе экспериментов было обнаружено устойчивое переключение состояния ячеек памяти при использовании лазерного диода с

длиной волны 0,65 мкм.

Таким образом, результаты расчетов и экспериментов подтверждают возможность использования сфокусированного лазерного облучения для бесконтактного изменения состояния элементов и ячеек памяти ИС, выполненных по объемной КМОП технологии. При этом КМОП-инверторы, выполненные по технологии с р-карманами, наиболее чувствительны к переключению в состоянии лог. «0», а выполненные в п-карманной технологии – в состоянии лог. «1». Наиболее оптимальные условия переключения обеспечиваются при облучении областей затворов первоначально закрытых МОП транзисторов с использованием ЛИ с более короткими длинами волн.

#### Литература

1. Скоробогатов С.П., Скоробогатов П.К. Использование сфокусированного лазерного излучения для определения состояния ячеек памяти КМОП ОЗУ // Электроника, микро- и наноэлектроника. Сб. научных статей - М.: МИФИ, 2003. – С. 37-42.
2. Яненко А.В. Методы исследования радиационной стойкости КМОП БИС ОЗУ с использованием локального воздействия // Электроника, микро- и наноэлектроника. Сб. научных статей - М.: МИФИ, 2003. – С. 226-230.
3. Система численного физико-топологического двумерного моделирования полупроводниковых структур "DIODE-2" / Ю.И.Сыцько, П.К. Скоробогатов, А.И. Чумаков и др. // Радиационная стойкость электронных систем - Стойкость-99: Тез. докл. Росс. научн. конф., г. Лыткарино, 1-3 июня 1999 г. - М.: СПЭЛС-НИИП, 1999. - С.21-22.