

УДК 621.315.592

## ЭФФЕКТЫ ЗАЩЕЛКИВАНИЯ В КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ МЕТАЛЛ–ОКИСЕЛ–ПОЛУПРОВОДНИК ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ

Гадоев С.М.

*Таджикский национальный университет, Душанбе,  
e-mail: Gadoev\_59@mail.ru*

В работе сформулированы требования к модели защелкивания в комплементарных металл – окисел – полупроводник интегральных микросхем (кмпд) различных технологий, пригодных для использования в широком диапазоне температур. Показана возможность использования двухтранзисторной эквивалентной схемы в качестве модели для адекватного описания изменения параметров защелкивания в широком диапазоне температур для различных технологий и способов возбуждения

**Ключевые слова:** микросхема – подложка – эффект – структура – ток удержания

Одним из основных паразитных эффектов в КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ МЕТАЛЛ – ОКИСЕЛ – ПОЛУПРОВОДНИК ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ является срабатывание четырехслойных структур, происходящее под действием электрического перенапряжения или ионизации [1].

Существенное влияние температуры на этот эффект требует разработки модели защелкивания, адекватной при высоких температурах. В качестве основы для разработки модели электрического уровня взята двухтранзисторная эквивалентная схема [2, 3]. Она представляет собой два паразитных транзистора:  $n-p-n$  и  $p-n-p$  и их шунтирующие сопротивления, эмиттер-базу,  $R_{S^*}$ ,  $R_{W^*}$ .

Анализ модели показывает, что существенное влияние на параметры защелкивания оказывают такие характеристики физического уровня описания, как время жизни неравновесных носителей –  $\tau$ , коэффициент диффузии –  $D$ , ширина обедненного слоя  $p-n$  перехода  $W_p$ , которые в свою очередь определяют температурные характеристики таких электрических параметров, как напряжение отпираания  $p-n$  перехода  $U_{отп}$ , коэффициент передачи тока базы транзистора  $\beta_{ст}$ , сопротивления областей полупроводника, ионизационный ток  $I_{фк}$ , если защелкивание имеет ионизацион-

ную природу. С целью определения температурных зависимостей перечисленных параметров была проведена серия теоретических и экспериментальных исследований на тестовых КМОП структурах. На рис. 1. приведен график экспериментальной и расчетной зависимостей времени жизни носителей «карман-подложка» тестовой схемы серии КИТ-1. Время действительно растет с ростом температуры, как это следует из теории [4].

При этом время жизни в диапазоне температур 210...400 К изменяется по закону  $\tau \sim T$ , однако при более высоких температурах 360...420К, как  $\tau \sim T^{1/4}$ .

Увеличение времени жизни носителей с ростом температуры можно объяснить тем, что в полупроводнике  $n$ -типа ( $Si$ ) с ростом температуры фононы все более и более ионизируют ловушки, срывая с них электроны. Показатель степени эксперимента от теории, как видно из рис. 1, в диапазоне 210...400 К отличается в пределах от 0,6 до 1,6  $\mu s$  в переходе «карман-подложка» тестовой схемы.

Для определения температурной зависимости таких параметров электрического уровня, как  $\beta_{ст}$ ,  $I_{фк}$ ,  $R$ , необходимо также знать поведение диффузионной длины, зависящей от времени жизни и коэффициента диффузии (подвижности) [5] и

учитывать, что коэффициент передачи тока базы зависит от коэффициента переноса носителей и коэффициента инжекции эмиттерного перехода (рис. 2).

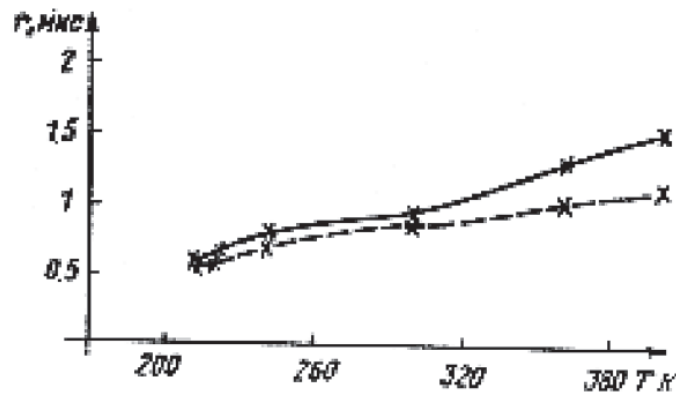


Рис. 1. График экспериментальной зависимости времени жизни носителей от температуры в переходе «карман – подложка» тестовой схемы (--- эксперимент, — расчет)

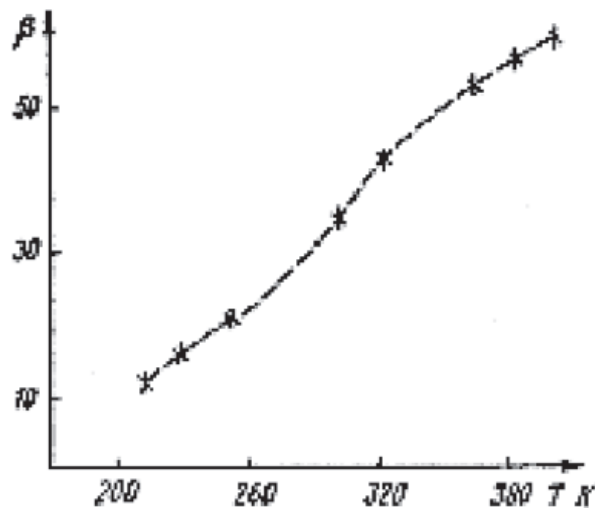


Рис. 2. График экспериментальной зависимости коэффициента передачи тока базы транзистора от температуры в тестовой схеме:  
200 K = 12,5; 300 K = 35; 400 K = 58

Из рис. 2 видно, что коэффициент передачи тока базы транзистора растет в диапазоне температур 210–400 K от 10 до 57. Измерение проводилось в тестовой схеме в статистическом режиме.

Аналогично должен вести себя и ионизационный ток, определяемый диффузионной длиной, что подтверждает график на рис. 3, измеренный для перехода «карман-подложка» тестовой структуры. На температурную зависимость напряжения отпи-

рания *p-n* перехода наиболее сильно влияет изменение теплового тока [5].

На рис. 4 приведена зависимость напряжения отпираания *p-n* перехода «карман-подложка» от температуры тестовой схемы при двух значениях тока (0,1 и 0,3 мА). Напряжение отпираания заметно падает с ростом температуры. Температурное изменение ширины обедненного слоя *p-n* перехода определяется в основном изменением контактной разности потенциала  $U_{\text{общ}}$  [6].

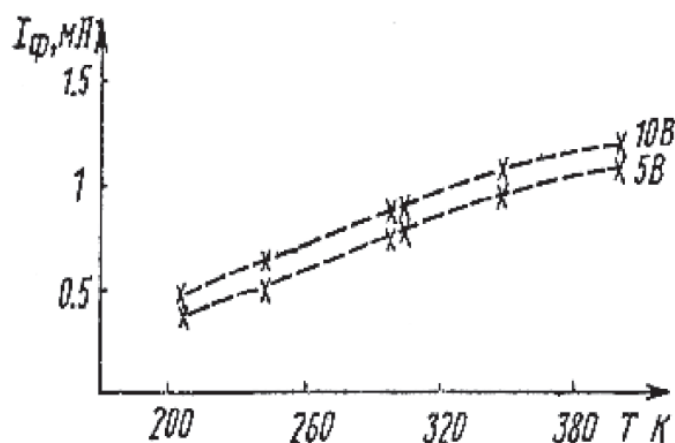


Рис. 3. График зависимости первичного фототока от температуры р-п перехода «карман-подложка» (тестовая схема)

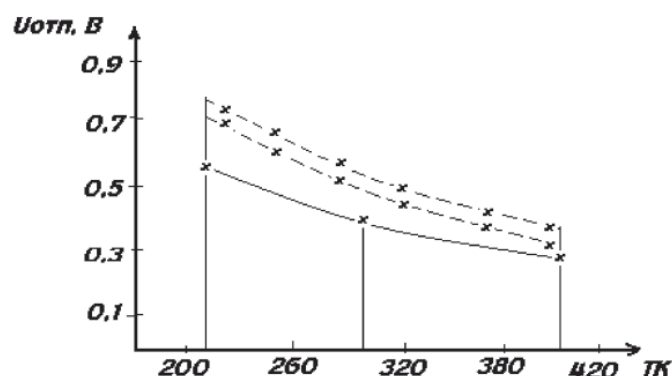


Рис. 4. Зависимости напряжения отпираания от температур для перехода тестовой схемы (— — — эксперимент, ——— — расчет)

С целью экспериментальной проверки адекватности разработанной модели была проведена серия экспериментов по измерениям температурной зависимости тока и напряжения удержания ИС К176ЛП1 и К564ПУ4.

Для всех этих ИС наблюдается уменьшение при росте температуры удерживающего тока при  $\Delta T = 400$  К составило 40 %.

Расчеты по модели [7] верно предсказывают характер температурного изменения параметров защелкивания паразитных структур КМОП ИС.

Таким образом, с помощью разработанной модели можно достаточно адекватно прогнозировать температурные зависимости параметров защелкивания паразитных

КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ МЕТАЛЛ – ОКИСЕЛ – ПОЛУПРОВОДНИК (КМДП) структур, что позволяет рекомендовать их для использования в составе СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ МЕТАЛЛ – ОКИСЕЛ – ПОЛУПРОВОДНИК ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ (САПР КМДП ИС). Упрощенный в вариант модели, учитывающий только изменение напряжения отпираания р-п переходов, может быть использован для оценочных расчетов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dressendorfer P.V. Ochoa Jr // IEEE Transactions on nuclear science. – 1981. – Vol. Ns-28, №6. – P. 4292-4294.

2. Baze M.P., Johnston A.H. // IEEE Transactions on nuclear science. – 1981. – Vol. Ns-34, №6. – P. 1730-1735.
3. Troutman R.R. Latch-up in CMOS Technology. The problem and it's cure. – Boston, 1986. – P. 47-48.
4. Федотов Я.А. Кремниевые планарные транзисторы. – М.: Советское радио, 1973. – 335 с.
5. Федотов Я.А. Основы физики полупроводниковых приборов. – М.: Советское радио, 1970. – 591 с.
6. Тилл У., Лаксон Дж. Интегральные схемы. – М.: Мир, 1985. – 504 с.
7. Jer Chen, Chins-Yuan Mv. Solid-State Electronics. – Vol. 29, №4. – P. 395-407.

## THE EFFECT OF LATCH-UP IN INTEGRATED MICROCIRCUITS IN WIDE RANGE OF TEMPERATURES

**Gadoev S.M.**

*Tajik National University, Dushanbe,  
e-mail: Gadoev\_59@mail.ru*

Calculations on model predict character of temperature change of parameters of effect latch-up complimentary threwoxide-semiconductor(cmos is). By means of this model it is possible to predict adequately enough temperature dependences of parameters of effect in structure complementary threwoxide-semiconductors (cmos is). Structures that allows to recommend them for research in structure of SAPR complimentary threwoxide-semiconductor(cmos is).

**Keywords:** structure – latching current – the effect – CVR – microshema