СОЗДАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОДНОКРАТНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ БК СЕРИЙ 5521 И 5529

CREATING ONE-TIME PROGRAMMABLE ELEMENTS FOR 5521 AND 5529 GATE ARRAY FAMILIES

УДК 621.382, ВАК 05.27.01

А.Семенов*, С.Белостоцкая* / A.Semenov@tcen.ru, S.Belostotskaya@tcen.ru
A.Semenov*, S.Belostotskaya*

Рассматривается пример разработки элементов однократного программирования в виде плавких перемычек (ПП) для базовых кристаллов серий 5521 и 5529. Представлены экспериментальные данные полученных образцов плавких перемычек. Показана возможность применения сложного функционального блока металлической ПП в составе микросхемы.

This paper describes an example of one-time programmable elements design in the form of fusible links (FL) for 5521 and 5529 gate array families. The experimental data of the obtained samples of FL are presented. The applicability of the IP cores of FL as part of the chip is also shown.

Элементы однократного программирования широко востребованы в интегральных схемах, где требуется подстройка электрических параметров или режимов работы после изготовления. Такими микросхемами, как правило, являются источники опорного напряжения, ПЛИС и ПЗУ. Наличие сложного функционального блока (СФ-блока) однократного программирования в библиотеке функциональных ячеек базовых кристаллов (БК) серии 5521 и 5529 [1, 2] позволяет увеличить номенклатуру разрабатываемых микросхем и область их применения.

Элементом однократного программирования, или плавкой перемычкой (ПП) называется соединительный элемент, который по умолчанию замкнут накоротко. Для получения требуе-

мой конфигурации схемы часть перемычек при подаче большого тока разрушается (пережигается) и цепь размыкается. Преимуществом элементов однократного программирования является малая занимаемая площадь на кристалле [3].

В НПК "Технологический центр" ведется разработка СФ-блока ПП для применения в БК серии 5521. Данная серия БК изготавливается по радиационно-стойкой КМОП-технологии с нормами 0,18 мкм на объемном кремнии. Напряжение питания составляет $3\text{ В} \pm 10\%$ или $3,3\text{ В} \pm 10\%$.

При разработке структуры ПП необходимо, чтобы максимальное значение напряжения пережигания ПП не превышало значения допустимого напряжения питания микросхемы.

Для реализации ПП были выбраны имеющиеся в технологии КМОП 0,18 мкм слои металлизации

Таблица 1. Технологические параметры разработанных ПП

Table 1. Technological parameters of developed FL

Тип ПП Type of FL	Толщина, мкм Thickness, μm	Поверхностное сопротивление, Ом/кв Surface resistance, Ω/sq	Минимальная ширина проводника W _{min} , мкм Minimum width of conductor W _{min} , μm
Металл Metal	0,5	0,072	0,32
n+ полицид n+ polycide	0,2	8	0,18

* НПК "Технологический Центр" / SMC "Technological Centre".

Таблица 2. Результаты пережигания металлических ПП с параметрами $L=1,7 \text{ мкм}$, $W=0,32 \text{ мкм}$

Table 2. Results of burnout of metal FL with $L=1.7 \text{ }\mu\text{m}$, $W=0.32 \text{ }\mu\text{m}$

№ образца Sample number	1	2	3	4
Ток пережигания, мА Burnout current, mA	200	175	175	190
Напряжение пережигания, В Burnout voltage, V	1,05	1,27	1,28	1,3
Сопротивление до пережигания, Ом Resistance before burnout, Ω	0,4	0,4	0,4	0,4
Сопротивление после пережигания, ГОм Resistance after burnout, G Ω	>1	>1	>1	>1

Таблица 3. Результаты пережигания металлических ПП с параметрами $L=1,0 \text{ мкм}$, $W=0,32 \text{ мкм}$

Table 3. Results of burnout of metal FL with $L=1.0 \text{ }\mu\text{m}$, $W=0.32 \text{ }\mu\text{m}$

№ образца Sample number	1	2	3	4
Ток пережигания, мА Burnout current, mA	250	250	233	225
Напряжение пережигания, В Burnout voltage, V	1,05	1,27	1,28	1,3
Сопротивление до пережигания, Ом Resistance before burnout, Ω	0,22	0,22	0,22	0,22
Сопротивление после пережигания, ГОм Resistance after burnout, G Ω	>1	>1	>1	>1

и полицида. В табл.1 представлены параметры тестовых структур ПП, разработанных по КМОП-технологии $0,18 \text{ мкм}$.

Таблица 4. Результаты пережигания полицидных ПП с параметрами $L=1,7 \text{ мкм}$, $W=0,18 \text{ мкм}$

Table 4. Results of burnout of polycide FL with $L=1.7 \text{ }\mu\text{m}$, $W=0.18 \text{ }\mu\text{m}$

№ образца Sample number	1	2	3	4
Ток пережигания, мА Burnout current, mA	10	10	10	10
Напряжение пережигания, В Burnout voltage, V	4	3,93	4,1	4,2
Сопротивление до пережигания, Ом Resistance before burnout, Ω	75	75	75	75
Сопротивление после пережигания, кОм Resistance after burnout, k Ω	20	15	12	17

Таблица 5. Результаты пережигания полицидных ПП с параметрами $L=1,0 \text{ мкм}$, $W=0,18 \text{ мкм}$

Table 5. Results of burnout of polycide FL with $L=1.0 \text{ }\mu\text{m}$, $W=0.18 \text{ }\mu\text{m}$

№ образца Sample number	1	2	3	4
Ток пережигания, мА Burnout current, mA	10	10	10	10
Напряжение пережигания, В Burnout voltage, V	3,4	3,66	3,23	3,36
Сопротивление до пережигания, Ом Resistance before burnout, Ω	45	45	45	45
Сопротивление после пережигания, кОм Resistance after burnout, k Ω	18,2	21	19	18

Было заложено по два варианта с разной длиной ПП. Ширина ПП выбиралась минимально допустимой. После изготовления тестовых структур были

The one-time programmable elements are widely demanded in integrated circuits if the adjustment of electrical parameters or operation modes after manufacture are required. Such circuits typically include a reference voltage sources, PLD and ROM. The presence of one-time programmable IP core in the library of functional cells of 5521 and 5529 gate array families [1, 2] allows to increase the range of the developed microchips and their application area.

One-time programmable element or fusible link (FL) is the connecting element, which by

default is shorted. To obtain the required schema configuration a part of the links is destroyed (burned) by applying high current and the circuit is opened. The advantage of the one-time programmable elements is a small footprint on the chip [3].

SMC "Technological Centre" develops IP core of FL for use in 5521 gate array family. The gate array family is manufactured by $0.18 \text{ }\mu\text{m}$ radiation-resistant CMOS process on bulk silicon. Supply voltage is $3 \text{ V} \pm 10\%$ or $3.3 \text{ V} \pm 10\%$.

In designing the FL structure it is necessary that the maximum

voltage of the FL burnout does not exceed the permissible supply voltage of the chip.

For the implementation of FL the metallization and polycide layers that are available in the $0.18 \text{ }\mu\text{m}$ CMOS process were chosen. Table.1 presents the parameters of the test structures for FL, developed by $0.18 \text{ }\mu\text{m}$ CMOS technology.

Samples with two different length of FL were studied. Minimum admissible values of width of FL were chosen. Fabricated test structures were tested for burnout of FL. The results are presented in tables

Рис.1. Металлическая ПП до (a) и после (b) пережигания
Fig.1. Metal FL before (a) and after (b) burnout

Рис.2. Кремниевая ПП до (a) и после (b) пережигания
Fig.2. Silicon FL before (a) and after (b) burnout

проведены исследования по пережиганию ПП. Результаты представлены в табл.2-5. Конструкции ПП ранее были рассмотрены в [4] и [5].

Фотографии металлических ПП до и после пережигания представлены на рис.1. По результатам контроля электрофизических параметров ПП можно сделать следующие выводы. Металлические ПП имеют большое остаточное сопротивление (более 1 ГОм), что позволяет применять их при подстройке сопротивления в аналоговых блоках и в устройствах однократного программирования. Для пережигания металлических ПП требуется ток около 200–25 мА, коммутация которого требует применения аналоговых ключей на МОП-транзисторах с большим значением ширины канала. Это может стать лимитирующим фактором в случаях, когда имеются ограничения на размер кристалла микросхемы.

Снимки кристаллов кремниевых ПП до и после пережигания представлены на рис.2. Кремниевые ПП имеют остаточное сопротивление 12–20 кОм и небольшие токи пережигания около 10 мА. Для подстройки аналоговых блоков из-за большого разброса остаточного сопротивления и низкого его номинала кремниевые ПП малоприспособны. Данные ПП могут найти применение в микросхемах с функцией однократного программирования.

СФ-блок металлической плавкой перемычки был использован при разработке микросхемы супервизора напряжения питания 5521TP015-710. Матрица из металлических ПП, входящая в состав блока стабилизатора напряжения, с помощью регистра управления дает возможность однократно программировать

2–5. Design of PP was previously considered in [4] and [5].

Photos of metal FL before and after burnout are presented in Fig.1. The results of the control of electro-physical parameters of FL allow us to draw the following conclusions. Metal FL have great residual resistance ($>1 \text{ G}\Omega$), allowing to use them for adjusting the resistance in the analog blocks in a one-time programmable devices. Burnout of metal FL requires current of about 200–250 mA, switching of which requires the use of analog keys on MOS transistors with a large channel width. This can become a

limiting factor in cases of restrictions on the size of the chip.

Photos of the silicon FL before and after burnout are shown in Fig.2. Silicon FL have a residual resistance of 12–20 k Ω and a small burnout currents of about 10 mA. Due to the large scatter of the residual resistance and its low values the silicon FL are not suitable to adjust analog blocks. Such FL can be used in circuits with one-time programmable function.

IP core of metal FL was used to develop IC of supply voltage supervisor 5521TP015-710. The matrix of metal FL, as a part of the voltage regulator, allow to

program the value of the reference voltage of stabilizer using the control register. Fig.3 shows a fragment of the topology of the matrix of metal FL in the above mentioned chip.

Thus, the analysis of the experimental data for the samples of the fusible links confirms the possibility of using them for one-time programming as a part of chips developed on 5521 gate array family. ■

This paper was created with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Unique identifier RFMEFI58015X0005.

Рис.3. Фрагмент топологии матрицы металлических ПП в составе микросхемы супервизора напряжения питания 5521TP015-710

Fig.3. Fragment of topology of matrix of metal FL in structure of IC of supply voltage supervisor 5521TP015-710

значение опорного напряжения стабилизатора. На рис.3 представлен фрагмент топологии матрицы металлических ПП в вышеуказанной микросхеме.

Таким образом, анализ экспериментальных данных образцов плавких перемычек подтверждает возможность использования их для однократного

программирования в составе микросхем, разрабатываемых на БК серии 5521.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России. Уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI58015X0005.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коняхин В.В., Денисов А.Н., Федоров Р.А., Вильсон А.Л., Бражников С.С., Коновалов В.С., Малашевич Н.И., Росляков А.С. Микросхемы для аппаратуры космического назначения : Практическое пособие / Под общ.ред.Саурова А.Н. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. 388 с.
2. Гаврилов С.В. Денисов А.Н. Коняхин В.В., Малашевич Н.И. Федоров Р.А. Семейство серии базовых матричных кристаллов // Известия высших учебных заведений. Электроника. 2015. Т. 20. № 5. С. 497–504.
3. Рабаи Ж.М., Чандракасан А., Николич Б. Цифровые интегральные схемы. Методология проектирования / 2-е изд, пер. с англ. – М.: Вильямс, 2007. 912 с.
4. William Jeong-Ho Kim, Du-Hwi Kim, Liyan Jin, Pan-Bong Ha, and Young-Hee Kim. Design of 1-Kb eFuse OTP Memory IP with Reliability Considered. Journal of semiconductor technology and science. 2011. Vol. 11. No. 2.
5. Tonti R. eFuse Design and Reliability. IBM Semiconductor Research and Development Corporation. 1000 River Street, Essex Junction VT 05452.

KEYSIGHT TECHNOLOGIES РАСШИРИЛА ФУНКЦИИ АСМ 9500

Компания Keysight Technologies объявила о добавлении новых функций в быстродействующий атомно-силовой микроскоп 9500.

Новые возможности реализованы благодаря программной системе KeysightNanoNavigator, графический интерфейс которой упрощает работу пользователей микроскопа. Последняя версия NanoNavigator поддерживает функцию QuickSense – режим построения изображения, позволяющий выполнять количественную оценку наномеханических свойств широкого круга образцов. QuickSense позволяет быстро и просто устанавливать амплитуду и частоту модуляции, захватывать отдельные силовые кривые и измерять адгезию и жесткость. Все данные собираются в то время, пока микроскоп 9500 строит изображения топографии образца, что позволяет точно определять флуктуации локальных механических свойств в наномасштабе.

Новая версия NanoNavigator поддерживает контроль потенциалов и циклическую полярографию для электрохимических приложений, что

дополняет собственные возможности построения изображения системы 9500. Функции контроля окружающей среды (газов, жидкостей и воздуха) и температуры облегчают реализацию проектов, относящихся к материаловедению, биологии и измерению электрических параметров.

Кроме того, последняя версия NanoNavigator поддерживает AFM-SECM – методику сканирующей зондовой микроскопии компании Keysight, которая предназначена для исследования поверхностной химической активности и изучения процессов на границе раздела жидкость-твердое тело и жидкость-жидкость. Окислительно-восстановительные реакции с участием активных частиц и их кинетические свойства очень важны для новых исследований, простирающихся от анализа биохимических сигналов (например, в живых клетках и тканях) до проблем материаловедения в таких областях, как технологии топливных элементов, катализ, зондирование и химия окружающей среды.

Keysight Technologies