



ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ОДНОКРАТНО ПРОГРАММИРУЕМЫХ ПОСТОЯННО ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВ, СОЗДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ МЕХАНИЗМА ЭЛЕКТРОМИГРАЦИИ ПЕРЕМЫЧЕК (eFUSE)

RELIABILITY ASSESSMENT OF THE ONE-TIME PROGRAMMABLE READ-ONLY MEMORY DEVICES PRODUCED ON THE BASIS OF JUMPERS PROGRAMMABLE WITH THE USE OF THE ELECTROMIGRATION MECHANISM (eFUSE)

С.О.Белостоцкая*, вед. науч. сотр., А.А.Лукьянов*, науч. сотр., А.С.Росляков*, науч. сотр., А.Н.Семёнов*, науч. сотр., Р.А.Фёдоров*, начальник лаборатории разработки аналого-цифровых БИС, к.т.н. / A.Semenov@tcen.ru
S.O.Belostotskaya*, Leading Researcher, A.A.Lykyanov*, Researcher, A.S.Roslyakov*, Researcher, A.N.Semyonov*, Researcher, R.A.Fedorov*, Head of Laboratory for the Development of Analog-Digital LSI, Cand. of Sc. (Technical)

DOI: 10.22184/1993-8578.2020.13.2.114.121

Получено: 17.02.2020 г.

Сложность современных СБИС и важность решаемых ими задач предъявляют строгие требования к их надежности, оценка которой является актуальной исследовательской задачей. В работе оценивается надежность однократно программируемых постоянно запоминающих устройств (ОППЗУ), реализованных на технологии HCMOS8D с топологическими нормами 180 нм, разработанных для интеграции в базовый кристалл серии 5521TP. На основе базовых слоев технологии HCMOS8D разработана структура и конструкция программируемых с помощью механизма электромиграции элементов ОППЗУ – перемычек (eFuse), выполненных на основе слоев n⁺-поликремния и силицида никеля (NiSi₂). Приведены результаты испытаний на надежность разработанных элементов ОППЗУ. Разработана методика, позволяющая оценить надежность разработанных eFuse для использования в ячейках памяти базового кристалла серии 5521TP. Методика включает в себя комбинацию электрофизических измерений единичной eFuse-ячейки и функционального блока на ее основе. Показано, что eFuse гарантирует сохранение остаточного сопротивления в заданных пределах в течение всего срока службы микросхемы, включающей в себя данный сложный функциональный блок.

The complexity of modern VLSI and the importance of the tasks they solve impose strict requirements on their reliability, which assessment presents an urgent research task. In this work the reliability of the one-time read-only memory devices (OPROM) implemented on the HCMOS8D technology with topological standards of 180 nm and designed to be integrated into the base crystal of the 5521TP series is evaluated. With the use of the base layers of HCMOS8D technology, the structure and design of the programmed by the electromigration mechanism of the elements of the EEPROM – jumpers (eFuse), made on the basis of layers of n⁺-polysilicon

* НПК «Технологический центр» / Scientific-Manufacturing Complex "Technological Centre".



and nickel silicide (NiSi_2) were developed. Presented are the results of the reliability tests of the developed OPPZU elements. A technique has been developed to assess the reliability of eFuse intended for use as a part of memory cells in the 5521TP series base crystal. The technique includes a combination of electrophysical measurements of a single eFuse cell and a functional block based on it. It is shown that eFuse guarantees the preservation of residual resistance within specified limits throughout the life of the microcircuit, which includes this complex functional unit.

ВВЕДЕНИЕ

Использование перемычек eFuse на основе силицид металла-поликремний дает возможность реализовывать различные варианты конструкции СБИС в субмикронной технологии КМОП. Программируемые с помощью механизма электромиграции eFuse являются предпочтительным вариантом при проектировании сложных функциональных блоков СБИС по сравнению с перемычками с лазерной коррекцией, так как программирование в первом случае может быть реализовано без участия фирмы-производителя. В работе [1] ранее была показана принципиальная возможность использования сложных функциональных блоков ОПЗУ на основе плавких перемычек для их однократного программирования в составе микросхем, разрабатываемых на базовых кристаллах (БК) серии 5521TP.

Рассмотренные в [2-4] eFuse используют механизм электромиграции для увеличения электрического сопротивления перемычки. Физический разрыв тела перемычки происходит вследствие миграции ионов слоя силицида от анода к катоду потоком электронов, вызывая увеличение сопротивления перемычки на несколько порядков [2].

Считается, что металлы являются менее устойчивыми, нежели силициды, к процессу электромиграции [2], но ток программирования eFuse на основе металла более чем в 20 раз превышает ток программирования eFuse на основе силицид-поликремний [1].

Также силициды широко применяются как для формирования низкоомных контактов к диффузионным областям, так и элементов межсоединений. В работах [3, 4] показано, что возможно успешное использование процесса электромиграции слоев силицида в отдельных электрически программируемых элементах схемы. В качестве слоя силицида в элементах eFuse в этих работах были использованы слои силицида кобальта (CoSi_2) и силицида вольфрама (WSi_2) на сильнолегированном слое затворного поликремния.

Оценка надежности в работах [3, 4] проводилась в соответствии со стандартами JESD22-F104, JESD22-F113, JESD22-F108, JESD22-F110, обеспечивающими испытания при повышенной температуре, электрическом смещении, термоциклировании, а также ускоренные стресс-тесты при повышенной температуре и влажности.

В этой работе оценка надежности проводилась на тестовых структурах, включающих в себя только единичные eFuse, для минимизации влияния любых паразитных составляющих электрической цепи. В работе представлены: конструкция и послойная структура единичной eFuse; алгоритм программирования eFuse с определением критерия ее программирования; методика исследования eFuse на надежность; выходной критерий, обеспечивающий надежность eFuse в течение всего срока службы СБИС.

Конструкция и послойная структура eFuse.

INTRODUCTION

The use of eFuse jumpers based on metal-polysilicon silicide makes it possible to implement various design options for VLSI in the submicron CMOS technology. An eFuse programmable with the use of the electromigration mechanism is the preferred option when designing complex VLSI function blocks in comparison with laser correction jumpers since programming, in the first case, can be implemented

without the participation of the manufacturer. It was previously shown in [1] that it is possible, in principle, to use the complex functional blocks of the OTPZU based on fusible jumpers for their one-time programming in the microcircuits developed on the base crystals (BC) of the 5521TP series.

The eFuse discussed in [2-4] uses the electromigration mechanism to increase the electrical resistance of the jumper. Physical breakdown

of the bridge body occurs due to migration of the silicide layer ions from anode to cathode by the electron flow, causing an increase in the bridge resistance by several orders of magnitude [2].

Metals are considered to be less resistant than silicides to the electromigration process [2], but the metal-based eFuse programming current is more than 20 times greater than the eFuse programming current based on silicide-polysilicon [1].

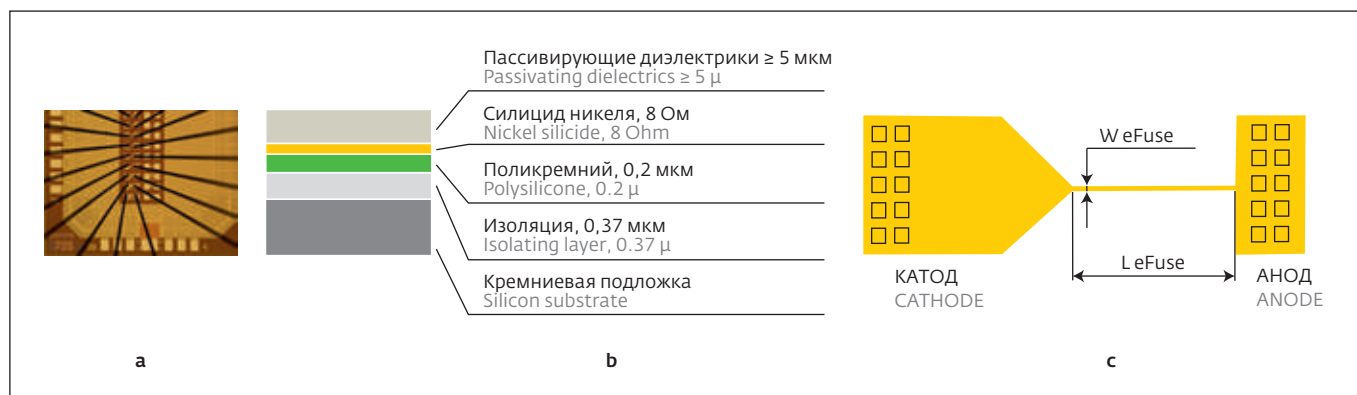


Рис.1. Изображения: а – фрагмент микросхемы серии 5521TP, б – конструкция единичной eFuse, с – послойная структура eFuse
 Fig.1. Images: a – fragment of the 5521TP series chip, b – unit eFuse design, c – eFuse layered structure

Оптическое изображение фрагмента микросхемы серии 5521TP, включающей в себя разработанные единичные eFuse, их эскизную конструкцию и послойный разрез, представлено на рис.1. Разработанные элементы eFuse были встроены в базовую технологию HCMOS8D с проектными нормами 180 нм на основе базовых слоев без использования дополнительных технологических циклов. Перемычки eFuse представляют собой слой сильнолегированного n^+ -затворного поликремния на изолирующем оксиде, полностью покрытого слоем силицида никеля $NiSi_2$. Расширение элементной базы в технологии HCMOS8D разработанными нами eFuse позволило создать как ОППЗУ, так и схемы подстройки аналоговых блоков.

Для оценки надежности использовались три варианта исполнения eFuse с различным отношением

W/L (табл.1). Количество исследуемых образцов каждой модификации eFuse составляло по 20 шт.

АЛГОРИТМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ eFUSE С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ КРИТЕРИЯ ЕЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Алгоритм программирования eFuse разработан на основе ограничивающих параметров ТУ АЕНВ.431260.412ТУ. Для программирования и эксплуатации eFuse ограничивающим параметром является напряжение питания. По требованию к электрическим параметрам и режимам эксплуатации ТУ АЕНВ.431260.412ТУ на базовый кристалл 5521TP диапазон предельно допустимых напряжений питания БК 5521TP составляет от 2,7 до 3,63 В, а его предельное значение – 4 В.

Silicides are also widely used both for the formation of low-resistance contacts to diffusion regions, and for interconnect elements. In works [3, 4] it was shown that it is possible to successfully use the process of electromigration of silicide layers in individual electrically programmed circuit elements. In these studies, layers of cobalt silicide ($CoSi_2$) and tungsten silicide (WSi_2) on a heavily doped gate polysilicon layer were used as a silicide layer in eFuse elements.

Reliability assessment in works [3, 4] was carried out in accordance with the standards JESD22-F104,

JESD22-F113, JESD22-F108, JESD22-F110 providing tests at elevated temperature, electric displacement, thermal cycling, as well as accelerated stress tests at elevated temperature and humidity.

In this work, the reliability assessment was carried out on test structures that included only single eFuses to minimize the influence of any stray components of the electric circuit. The paper presents: the design and layered structure of a single eFuse; eFuse programming algorithm with the definition of its programming criteria; eFuse research methodology for

reliability; and the output criterion ensuring eFuse reliability over the entire VLSI service lifetime.

eFUSE DESIGN AND LAYERING

The optical image of a fragment of the 5521TP series microcircuit, which includes the developed single eFuse, their outline design and layered section, is shown in Fig.1. The developed eFuse elements were integrated into the HCMOS8D basic technology with 180 nm design standards based on the base layers without the use of additional technological cycles. The eFuse jumpers present a layer of heavily doped n^+ gate polysilicon on an

Таблица 1. Геометрические размеры eFuse

Table 1. eFuse dimensions

Модификация eFuse eFuse variant	Длина L, мкм Length L, μ	Ширина W, мкм Width W, μ
1	0,5	0,18
2	1,0	0,18
3	1,7	0,18

Для определения состояния eFuse была разработана схема доопределения, которая работает в диапазоне от 10 кОм и выше.

Первая и вторая модификации (см. табл.1) eFuse были запрограммированы при следующих условиях: на один вывод eFuse подавалось напряжение 3,63 В длительностью 100 мс с ограничением по максимальному значению тока через eFuse в 100 мА, на второй вывод напряжение не подавалось. Третья модификация eFuse при программировании на напряжении 3,63 В не удовлетворяла параметру минимального остаточного сопротивления. Для получения статистических данных по величине остаточного сопротивления третья модификация была запрограммирована при предельном напряжении питания 4 В. Условия по времени и току оставались прежними.

Основным выходным электрофизическим параметром, характеризующим выполнение процесса программирования eFuse, было изменение начального сопротивления тела перемычки не менее чем на два порядка. Разброс значений остаточного

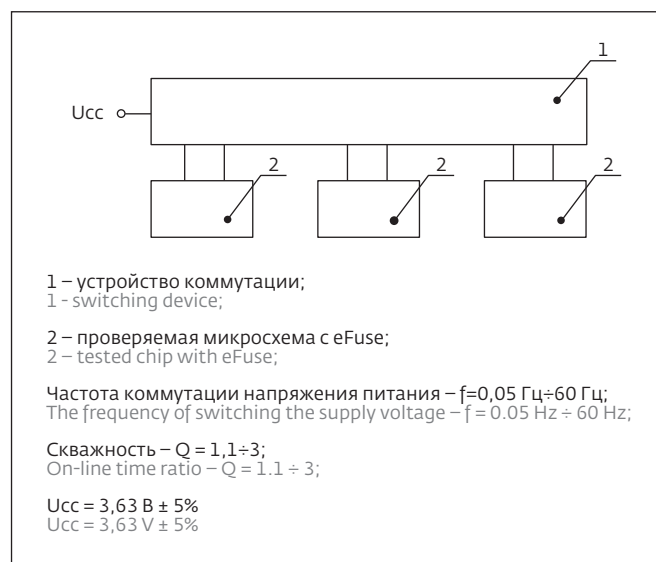


Рис.2. Блок-схема для исследования eFuse

Fig.2. Block diagram for eFuse research

сопротивления исследуемых трех модификаций eFuse до и после процесса программирования приведены в табл.2.

Полученные данные показывают, что eFuse модификации 1 имеет наибольший из трех модификаций ток программирования, для которого в дальнейшем понадобится большой транзистор программирования, что впоследствии скажется на площади занимаемой ячейкой памяти, основанной на этом варианте eFuse. Модификация 1 программируется предельно допустимым напряжением питания. Данная модификация

insulating oxide completely coated with a layer of nickel silicide NiSi₂. Expansion of the elemental base in the HCMOS8D technology with the developed by us eFuses allowed us to develop both the core memory and analog circuit tuning circuits.

To assess reliability, three eFuse designs were applied with different W/L ratios (Table 1). The number of test samples of each eFuse modification was 20 pieces.

THE eFUSE PROGRAMMING ALGORITHM WITH THE DEFINITION OF ITS PROGRAMMING CRITERION

The eFuse programming algorithm has been developed based

on the limiting parameters of TU AENV.431260.412TU. For programming and operation of eFuse, the supply voltage is the limiting parameter. According to the requirement for electrical parameters and operating modes of the TU AENV.431260.412TU for the 5521TR base crystal, the range of maximum permissible supply voltages of the BK 5521TR varies from 2.7 to 3.63 V, its limit value being 4 V.

To determine the state of eFuse, an extension circuit has been developed that operates in the range of 10 k Ω and higher.

The first and second modifications (see Table 1) of

eFuse were programmed under the following conditions: a voltage of 3.63 V for a duration of 100 ms was applied to one eFuse pin with a limit of the maximum current value through eFuse that equals 100 mA, no voltage was applied to the second pin. The third modification of eFuse, when programming at a voltage of 3.63 V, did not satisfy the minimum residual resistance parameter. To obtain statistics on the residual resistance value, the third modification was programmed at a maximum supply voltage of 4 V. The time and current conditions remained the same.



Таблица 2. Изменение сопротивления eFuse в процессе программирования

Table 2. Change of eFuse resistance when programming

Модификация eFuse eFuse variant	Ток, mA Current, mA	Напряжение программирования, В Programming voltage, V	Начальное сопротивление, Ом Initial resistance, Ohm	Сопротивление после программирования, МОм Resistance after programming, MOhm
1	17	3,63	~ 60	От (from) 0,538 до (to) 423
2	14	3,63	~ 70	От (from) 304 до (to) 446
3	10	4,0	~ 84	От (from) 0,012 до (to) 0,020

eFuse имеет наибольший, из всех представленных, разброс сопротивления после программирования, а также наибольшее изменение остаточного сопротивления во время испытаний. Результаты изменения сопротивления во время работы eFuse представлены ниже, на рис.3.

Напряжение программирования модификации 2 eFuse совпадает с напряжением программирования первой модификации, но при этом eFuse модификации 2 имеет меньший ток программирования, меньший разброс сопротивлений после программирования и меньший разброс остаточного сопротивления во время работы. Результаты изменения сопротивления во время работы eFuse представлены ниже, на рис.4.

Модификация 3 обеспечивает минимальный ток программирования из исследованных модификаций, но требующееся для программирования напряжение не попадает в предельно допустимый диапазон напряжений питания для БК 5521TP.

Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что наилучшей из представленных модификаций является модификация 2 eFuse.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ eFUSE НА НАДЕЖНОСТЬ

Микросхемы серии 5521TP должны быть стойкими к воздействию специальных факторов с характеристиками 7.И, 7.С и 7.К в соответствии с ГОСТ РВ 20.39.414.2. Одним из основных критериев качества микросхемы является ее надежность в течение всего срока службы. Для подтверждения надежности разработанной ячейки eFuse была разработана методика оценки надежности данного блока в соответствии с ГОСТ РВ 20.39.414.2.

Методика оценки надежности eFuse была направлена на исследование термической стабильности сопротивления eFuse, включая стресс, релаксацию и связанные с этим изменения остаточного сопротивления. Микросхема подвергалась воздействию повышенной температуры (125 °С) при

The main output electrophysical parameter characterizing the implementation of the eFuse programming process was a change in the initial resistance of the jumper body by at least 2 orders of magnitude. The scatter of the residual resistance values of the three eFuse modifications under study before and after the programming process is shown in Table 2.

The data obtained show that eFuse of modification 1 has the largest programming current out of three modifications for which a large programming transistor will be needed in future, which

will subsequently affect the area occupied by the memory cell based on this eFuse variant. Modification 1 is programmed with the maximum permissible supply voltage. After programming, this eFuse modification has the largest resistance spread out of all presented, as well as the largest change in residual resistance during testing. The results of resistance changes during eFuse operation are presented below in Fig.3.

The programming voltage of the second modification eFuse is the same as the programming voltage of the first modification, but the eFuse of the second modification

has a lower programming current, a smaller spread of resistances after programming and a smaller spread of residual resistance during operation. The results of resistance changes during eFuse operation are presented below in Fig.4.

Modification 3 provides for the minimum programming current from the studied modifications but the voltage required for programming does not fall within the maximum permissible supply voltage range for the 5521TP base crystal.

Based on the obtained data, we can conclude that the second

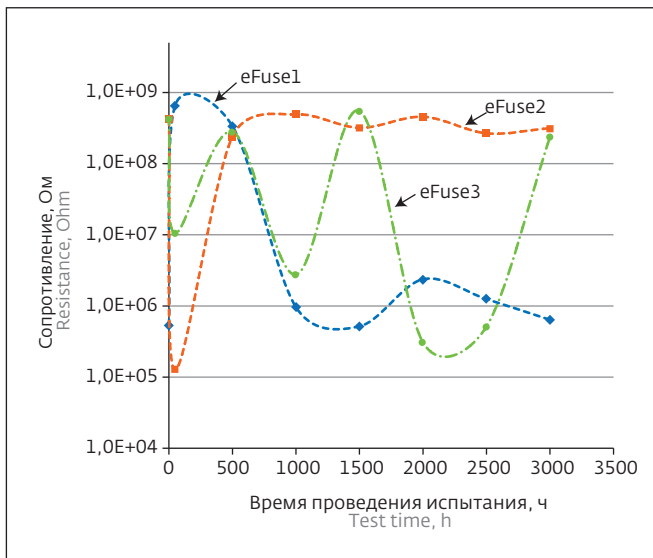


Рис.3. Диапазон изменения остаточного сопротивления во времени eFuse с размерами $L/W = 0,5/0,18$ мкм
 Fig.3. The range of changes in residual resistance over time eFuse with dimensions $L/W = 0.5 / 0.18 \mu$

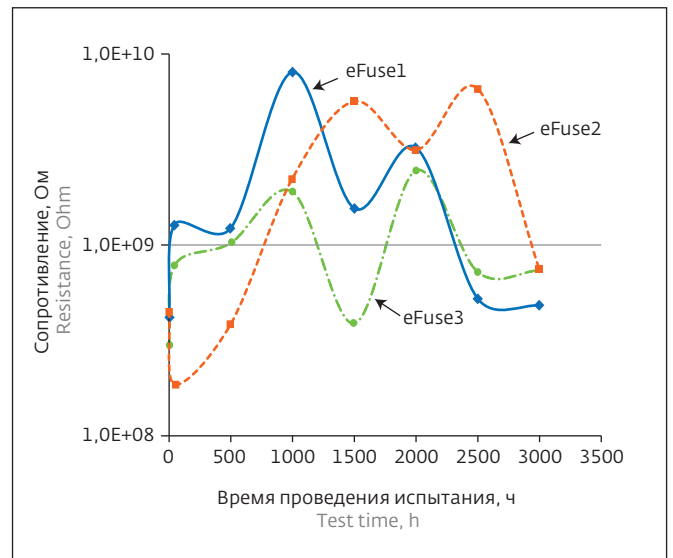


Рис.4. Диапазон изменения остаточного сопротивления во времени eFuse с размерами $L/W = 1,0/0,18$ мкм
 Fig.4. The range of changes in residual resistance over time eFuse with dimensions $L/W = 1.0 / 0.18 \mu$

частоте коммутации напряжения питания от 0,05 до 60 Гц.

Блок схема, разработанная для испытания eFuse, представлена на рис.2.

Для испытания на надежность микросхему с eFuse устанавливали в соответствии со схемой, приведенной на рис.2. Испытания проводились при температуре 125°C, при напряжении питания 3,6 В $\pm 5\%$.

Алгоритм исследования eFuse последовательно включал в себя измерение сопротивления eFuse до программирования, программирование eFuse, измерение сопротивления после программирования, проведение испытаний в составе микросхемы в течение 3000 ч с промежуточным контролем остаточного сопротивления eFuse через 48, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 ч.

modification of eFuse is the best one out of the presented modifications.

METHODS OF RESEARCH ON RELIABILITY

Chips of the 5521TP series must be resistant to special factors with characteristics 7.I, 7.C and 7.K in accordance with GOST RV 20.39.414.2. One of the main criteria for the quality of a microcircuit is its reliability over the entire service life. To confirm the reliability of the developed eFuse cell, a methodology was developed for assessing the reliability of this unit in accordance with GOST RV 20.39.414.2.

The eFuse reliability assessment methodology was aimed at studying the thermal stability of eFuse resistance, including stress, relaxation, and related changes in residual resistance. The microcircuit was exposed to elevated temperature (125 °C) at a switching frequency of the supply voltage from 0.05 Hz to 60 Hz.

The block diagram developed for the eFuse test is shown in Fig.2.

For reliability testing, the chip with eFuse was installed in accordance with the circuit shown in Fig.2. The tests were carried out at a temperature of 125 °C at a supply voltage of 3.6 V $\pm 5\%$.

The eFuse research algorithm consistently included the measurement of eFuse resistance before programming, the eFuse programming, the measurement of resistance after programming, and testing of the chip for 3,000 hours with an intermediate monitoring of the eFuse residual resistance through 48, 500, 1,000, 1,500, 2,000, 2,500 and 3,000 hours.

AN OUTPUT CRITERION THAT ENSURES eFUSE RELIABILITY OVER THE ENTIRE VLSI SERVICE LIFETIME

The main performance criteria for a single eFuse are the residual



ВЫХОДНОЙ КРИТЕРИЙ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЙ НАДЕЖНОСТЬ eFuse В ТЕЧЕНИЕ ВСЕГО СРОКА СЛУЖБЫ СБИС

Основными критериями работоспособности единичной eFuse являются остаточное сопротивление и диапазон изменения остаточного сопротивления. Изменение остаточного сопротивления во времени под воздействием внешних факторов может повлиять на правильную работоспособность микросхемы. Для проверки остаточного сопротивления были проведены испытания, выбраны eFuse с геометрическими размерами 0,5/0,18 мкм и 1,0/0,18 мкм, так как данные eFuse программируются с использованием предельно допустимого напряжения питания. В работе приведены результаты исследования изменения остаточного сопротивления разработанных eFuse. Выявлен диапазон изменения остаточного сопротивления с течением времени. Полученные результаты представлены на рис.3, 4.

На рис.3 показана зависимость остаточного сопротивления трех одинаковых eFuse модификации 1 от времени. Данный рисунок отражает диапазон изменения остаточного сопротивления во времени.

Диапазон изменения остаточного сопротивления eFuse с геометрическими размерами $L/W = 0,5/0,18$ мкм составляет от 10 кОм до 1 ГОм.

На рис.4 представлена зависимость остаточного сопротивления трех одинаковых eFuse модификации 2 от времени испытания. Данный рисунок показывает диапазон изменения остаточного сопротивления во времени.

Диапазон изменения остаточного сопротивления eFuse с геометрическими размерами $L/W = 1,0/0,18$ мкм составляет от 10 МОм до 10 ГОм.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из приведенных в работе данных можно сделать выводы о том, что не все разработанные геометрии eFuse можно использовать в ячейках ОППЗУ. Схема ячейки ОППЗУ на основе разработанных eFuse представлена на рис.5. eFuse с геометрическими размерами 0,5/0,18 мкм имеет большой разброс остаточного сопротивления после программирования (от 500 кОм до 400 МОм), а также большой разброс остаточного сопротивления во время испытания (от 10 кОм до 100 МОм). Данная модификация eFuse нуждается в схеме доопределения, которая может отследить изменение сопротивления в диапазоне от 10 кОм до 10 МОм.

Разработанная модификация eFuse с геометрическими размерами 1,0/0,18 мкм обладает стабильно большим остаточным сопротивлением после программирования (от 300 до 500 МОм). Остаточное сопротивление во время испытания изменяется в диапазоне от 45 МОм до 8 ГОм, что позволяет ослабить требования к схеме доопределения. Ячейка памяти на основе данной eFuse имеет большую площадь и нуждается в большем транзисторе для программирования, схема ячейки памяти представлена на рис.2.

resistance and the range of variation of the residual resistance. Changing the residual resistance over time under the influence of external factors can affect the correct performance of the chip. To check the residual resistance, tests were carried out, eFuses with geometrical sizes of 0.5 / 0.18 μm and 1.0 / 0.18 μm were selected, since the eFuse data is programmed using the maximum allowable supply voltage. The paper presents the results of a study of changes in residual resistance developed by eFuse. The range of changes in residual resistance over time has been

identified. The results are presented in Figs.3, 4.

Fig.3 shows the time dependence of the residual resistance of three identical eFuse of the first modification. This figure shows the range of changes in residual resistance over time.

The range of the residual resistance variation in eFuse with geometric dimensions $L / W = 0.5 / 0.18 \mu\text{m}$ is from 10 k Ω to 1 G Ω .

Fig.4 shows the dependence of the residual resistance of three identical eFuse of the second modification on the test time. This figure shows the range of change in residual resistance over time.

The range of variation of the residual resistance eFuse with geometric dimensions $L / W = 1.0 / 0.18 \mu\text{m}$ is from 10 M Ω to 10 G Ω .

DISCUSSION

From the data presented in the work we can conclude that not all developed eFuse geometries can be used in the cells of the RAM. The cell layout of the RAM based on the developed eFuse is presented in Fig.5. eFuse with geometric dimensions of 0.5 / 0.18 μm has a large spread of residual resistance after programming (from 500 k Ω to 400 M Ω), as well as a large spread of residual resistance during the test

Модификация с геометрическими размерами 1,7/0,18 мкм не подходит для дальнейшего использования в разрабатываемых ячейках памяти, так как напряжение программирования превышает предельное напряжение для разработанного кристалла серии 5521TP.

Схема включения для программирования eFuse в составе ОППЗУ представлена на рис.5.

ВЫВОДЫ

В данной работе были представлены три модификации разработанных на основе базовых слоев технологии HCMOS8D перемычек eFuse, описан режим программирования и выбран критерий оценки надежности. Из всех представленных eFuse критерием надежности удовлетворяет только модификация 2. Она имеет стабильно большое (выше 1 МОм) остаточное сопротивление после программирования, а также во время проведения испытания. Проведенные испытания подтверждают надежность разработанной конструкции в течение всего срока службы микросхемы заявленного в ТУ АЕНВ.431260.412. Разработанная модификация eFuse в дальнейшем может применяться в составе блока однократно программируемого постоянно запоминающего устройства в составе БК серии 5521TP.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Семёнов А., Белостоцкая С. Создание элементов однократного программирования для БК серий 5521 и 5529 // НАНОИНДУСТРИЯ. 2016. № 7. С. 48-51.

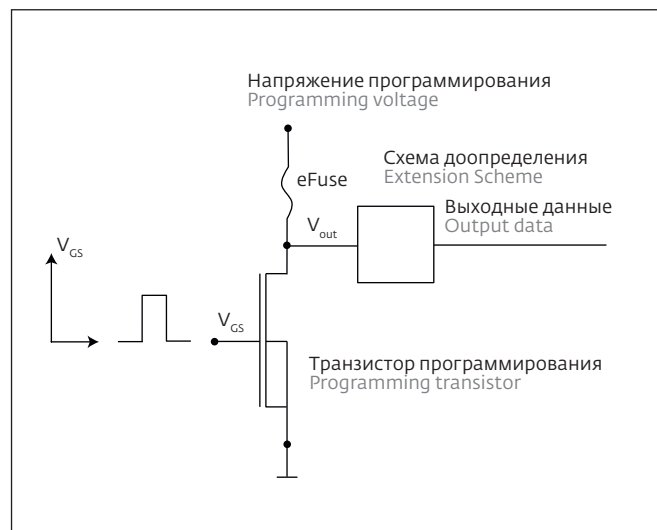


Рис.5. Схема ячейки ОППЗУ на основе разработанных eFuse
Fig.5. Scheme of the RAM cell based on the developed eFuse

2. Kothandaraman C., Iyer S.K., Iyer S.S. Electrically programmable fuse (eFUSE) using electromigration in silicides // IEEE Electron Device Letters. 2002. Т. 23. № 9. С.523-525.
3. Tian C. et al. Reliability qualification of CoSi₂ electrical fuse for 90nm technology // IEEE International Reliability Physics Symposium Proceedings. IEEE, 2006. С.392-397.
4. Tont W.R. et al. Product specific sub-micron e-fuse reliability and design qualification // IEEE International Integrated Reliability Workshop Final Report, IEEE, 2003. С. 36-40.

(from 10 kΩ to 100 MΩ). This eFuse modification needs an additional definition circuit that can track resistance changes in the range of 10 kΩ to 10 MΩ.

The developed eFuse modification with geometric dimensions of 1.0 / 0.18 μm has a stable large residual resistance after programming (from 300 MΩ to 500 MΩ). The residual resistance during the test varies in the range from 45 MΩ to 8 GΩ, which makes it possible to weaken the requirements for the additional determination circuit. The memory cell based on this eFuse has a large area and needs a larger transistor for

programming, the memory cell diagram is shown in Fig.2.

The modification with geometric dimensions of 1.7 / 0.18 microns is not suitable for further use in the developed memory cells since the programming voltage exceeds the maximum voltage for the developed 5521TP series crystal.

The wiring diagram for eFuse programming as part of the EEPROM is shown in Fig.5.

CONCLUSIONS

In this paper we presented three modifications of the eFuse jumpers developed on the basis of the base layers of the HCMOS8D technology,

described the programming mode and selected a criterion for evaluating reliability. Of all those presented eFuses only the second modification satisfies the reliability criterion. This modification has a stable large (above 1 MΩ) residual resistance after programming as well as during the test. The carried out tests confirm the reliability of the developed design during the entire service life of the microcircuit declared in TU AENV.431260.412. The developed eFuse modification can later be used as a part of the unit of a one-time programmable read-only memory device as a part of the base crystal of the 5521TP series. ■