

12

О радиационной устойчивости внутренней памяти программируемых цифровых микросхем

© Ю.А. Котов, С.Ю. Соковнин, В.А. Скотников

Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург

Поступило в Редакцию 1 декабря 1997 г.

Проведено исследование радиационной устойчивости внутренней памяти программируемых цифровых микросхем. Установлена повышенная чувствительность внутренней памяти микросхем, выполненных по технологии КМОП, к ионизирующему излучению при замыкании выводов микросхем между собой. Информация, записанная во внутреннюю память микросхем, стирается при поглощенной дозе, которая существенно меньше уровня, при котором сама микросхема выходит из строя. Предложено найденный эффект использовать как способ стирания информации.

В настоящее время для проектирования электронных устройств широко используются программируемые цифровые микросхемы (ПЦМ), в частности микроконтроллеры. ПЦМ позволяют создавать новые устройства путем программирования их внутренней памяти, что проще, быстрее и дешевле обычного пути. Комплект продаваемого программного и аппаратного обеспечения позволяет производить компьютерное моделирование функций как самой ПЦМ, так и создаваемого электронного устройства перед записью программы во внутреннюю память ПЦМ. Однако при этом для ряда применений возникает вопрос радиационной устойчивости внутренней памяти ПЦМ, а также возможности повторного использования ПЦМ. ПЦМ достаточно дороги, а в последнее время фирмы-изготовители отказались от применения дорогостоящих окошек над кристаллами ПЦМ, прозрачных для ультрафиолета. Эти окна давали возможность многократного использования ПЦМ путем стирания внутренней памяти ультрафиолетом.

Известно использование радиации, в том числе и тормозного излучения, для контроля качества и модификации свойств микросхем [1]. Хорошо изучено воздействие ионизирующего излучения на материалы

и конструкцию микросхем оперативной памяти [2], однако исследование радиационной устойчивости внутренней памяти ПЦМ в литературе мы не нашли.

Поэтому мы исследовали действие тормозного излучения импульсного сильноточечного электронного пучка на внутреннюю память ПЦМ. Эксперименты проводились на микроконтроллерах серии Z86 фирмы Zilog и 87C196KR фирмы Intel. В качестве источника излучения использовался ускоритель УРТ-0.5 [3] (энергия электронов 0.5 MeV), в режиме генератора тормозного излучения при частоте работы 50 Hz создающий на расстоянии 0.5 cm от мишени, где размещались ПЦМ, среднюю мощность поглощенной дозы 7.64 Gy/min при максимальной (в импульсе) мощности поглощенной дозы 6.36 kGy/s.

Контроль и запись микроконтроллеров производилась: серии Z86 — на фирменном программаторе-эмуляторе, а 87C196KR на программаторе "Стерх-710" НПО "Бонд", г. Бердск.

Предварительно оттестированные ПЦМ, с записанной тестовой (все единицы) или рабочей программой, облучались до полного стирания внутренней памяти. При этом проводился периодический контроль ПЦМ во время облучения. После облучения ПЦМ исследовались на возможность записи тестовых и рабочих программ, с последующей работой в реальном устройстве.

Установлено, что информация во внутренней памяти ПЦМ полностью сохраняется до уровня поглощенных доз, при которых заведомо начинается их выход из строя (более 1000 Gy [2]). Однако нами было найдено, что стирание информации возможно, когда ПЦМ завернута в алюминиевую фольгу так, что происходит надежное замыкание всех контактов микросхемы между собой, при этом:

1) полное стирание информации во внутренней памяти всех ПЦМ (использовалось по 10 штук каждого типа) происходило при облучении в течение 50 min (поглощенная доза около 380 Gy);

2) при половинной дозе (от требуемой для полного стирания) основная часть информации стиралась, за исключением нескольких битов, расположенных случайным образом;

3) к повторному использованию были годны все ПЦМ после первого стирания, 80% после второго стирания, 50% микросхем выдержали четыре цикла.

Полученные результаты значительно отличаются от известных [2], где показано, что микропроцессоры 1802, выполненные по технологии

КМОП, имели уровень отказа при дозе более 130 Gy. Однако эти микропроцессоры имеют существенно бóльшую толщину подзатворного диэлектрика (увеличение толщины сильно снижает радиационную стойкость микросхем [2]), чем исследованные ПЦМ.

Элемент памяти ПЦМ, выполненной по КМОП-технологии, записывается подачей определенного отрицательного критического напряжения, причем на границе раздела слоев нитрида и двуокиси кремния возникает заряд и устанавливается высокий логический уровень "1", а при подаче положительного критического напряжения — низкий логический уровень "0" [4]. Таким образом, для стирания ПЦМ необходимо уменьшить величину заряда от логической "1" до логического "0". Механизм рассасывания заряда при облучении может быть как поверхностным, так и объемным. При интенсивности рентгеновского излучения более 10^2 Gy/s, как в нашем случае, плотности инжекционного и объемного токов становятся соизмеримыми $\sim 10^{-7}$ А/см² [2].

Подтверждением главной роли токов утечек в снятии заряда является необходимость электрического соединения выводов ПЦМ для стирания информации, так как схема запоминающего элемента на КМОП-транзисторах [4] предполагает отсутствие соединений между шинами записи, чтения, адреса, питания и земли. А это усложняет путь рассасывания тока без соединения шин между собой.

Однако наших интенсивностей не должно быть достаточно (порог 10^6 Gy/s) для развития фотовольтического эффекта, заключающегося в изменении падения напряжения на подзатворном диэлектрике и, следовательно, сдвига порогового напряжения [2].

Для проверки механизма стирания было выполнено облучение записанных ПЦМ 87С196ЛК излучением изотопа ⁶⁰Со при мощности дозы около 0.2 Gy/s. Информация в ПЦМ полностью стиралась, при поглощенной дозе 500 Gy. Это подтверждает отсутствие или очень слабое влияние мощности дозы в исследованном диапазоне 0.2–6360 Gy/s.

Таким образом, установлена повышенная чувствительность внутренней памяти ПЦМ, выполненных по технологии КМОП, к ионизирующему излучению при замыкании выводов микросхем между собой. Информация, записанная во внутреннюю память ПЦМ, стирается при поглощенной дозе, которая существенно меньше уровня, при котором сама ПЦМ выходит из строя.

Исходя из полученных данных по возможному количеству циклов стирания ПЦМ, можно оценить уровень поглощенных доз, при котором начинается выход исследованных ПЦМ из строя — более 700 Gy.

Эффект можно использовать как способ стирания информации, записанной во внутреннюю память ПЦМ, с целью их повторного использования.

Список литературы

- [1] *Радиационные методы в твердотельной электронике* / В.С. Вавилов, Б.М. Горин, Н.С. Данилин и др. М.: Радио и связь, 1990. 184 с.
- [2] *Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В.* // Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем. М.: Энергоатомиздат, 1988. 256 с.
- [3] *Kotov Yu.A., Sokovnin S.Yu.* // Accelerator for commercial application URT-0.5 / Pros. of 11th IEE International Pulsed Power Conf., June 29–July 2, 1997. Baltimore, USA (in press).
- [4] *Аналоговые и цифровые интегральные микросхемы. Справочное пособие* / С.В. Якубовский и др. М.: Радио и связь, 1984. 432 с.