

патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ) (RU). – № 2013103932/06; заявл. 29.01.13; опубл. 20.07.13.

Воротнева Светлана Борисовна, аспирант кафедры «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, РФ

Научный руководитель – Голованчиков Александр Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Процессы и аппараты химических и пищевых производств» Волгоградского государственного технического университета, г. Волгоград, РФ

УДК 621.3.049.77

**ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ МЕТАЛЛИЗАЦИИ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ
ТОКОВ ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТИ**

Врабий Э.М., Дегалевич Д.А., Пискун Г.А., Алексеев В.Ф.

DOI: 10.12737/14845

Аннотация. Изучаются причины повреждения металлизации интегральных схем (ИС) в условиях воздействия токов повышенной плотности, которые характерны для разрядов статического электричества.

Ключевые слова: повреждение, отказ, металлизация, электродиффузия, надежность, электростатический разряд (ЭСР).

Технологические недостатки металлизации, контактов и внешних выводов в значительной мере объясняют тот факт, что прогнозируемая высокая надежность ИС достаточно трудно реализуема. Стоит отметить, что система внутрисхемных соединений должна исключительно надежно выполнять свои

функции, однако производственно-технологические дефекты могут существенно ограничить возможности металлизации ИС.

Среди различных видов повреждения ИС, вызванных воздействием разрядов статического электричества, особое место принадлежит эффекту расплавления металлизированных дорожек, представляющих собой узкие (шириной в несколько микрон), тонкие (толщиной около 0,5 мкм), протяженные (длиной до 100 мкм) полосы металлизации, напыляемые на поверхность окисных защитных пленок [1, 2].

Из работы [3] известно, что отведение тепла от дорожки осуществляется четырьмя способами: путем конвекции, теплового излучения, теплопередачи вдоль дорожки и теплопередачи в глубину полупроводникового кристалла. Количество тепла, отводимое от металлизированной дорожки в единицу времени, составляет:

- за счет конвекции (в соответствии с формулой Ньютона) (1) [3]:

$$Q_k = \alpha_k S_k (T - T_0), \quad (1)$$

- за счет теплового излучения (по закону Стефана-Больцмана) (2) [3]:

$$Q_{изл} = 4,9\varepsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4 S_{изл}, \quad (2)$$

- за счет теплопроводности металлизированной дорожки (в соответствии с законом Фурье) (3) [3]:

$$Q_{Т1} = \frac{8\lambda S}{l} (T_M - T_0). \quad (3)$$

В формулах (1) – (3) используются обозначения α_k – коэффициент теплоотдачи соприкосновением (Вт/(см²×К)); S_k – площадь участвующей в теплообмене поверхности (м²); T , T_0 , T_M – соответственно температура поверхности дорожки, температура окружающей среды и температура дорожки в наиболее разогретом сечении (К); ε – степень черноты лучеиспускающего тела; $S_{изл}$ – площадь излучающей поверхности (м²); λ – коэффициент теплопроводности дорожки (Вт/м×К); l – длина дорожки (м); S – площадь поперечного сечения (м²).

При анализе распределения тепла в системе токоведущих элементов при протекании токов повышенной плотности, вызванных воздействием разрядов статического электричества, стоит учитывать следующее:

- кристалл кремния, обладающий сравнительно небольшим значением теплового сопротивления и значительной тепловой инерционностью, для рассматриваемого процесса по существу представляет собой идеальный теплоотвод;

- металлизированные дорожки характеризуются пренебрежимо малым временем разогрева и могут рассматриваться как мгновенно разогреваемые слои с незначительным тепловым сопротивлением;

- наиболее значительная часть теплового сопротивления сосредоточена в слоях свинцово-силикатного стекла и окисла кремния, причем величина этого сопротивления при протекании через дорожки импульсов разрядного тока существенно зависит от соотношения между постоянной времени разряда и тепловой постоянной времени данных слоев.

На настоящий момент основным путем повышения термической устойчивости металлизированных дорожек к воздействию разрядов статического электричества может служить напыление более толстых и достаточно плотных слоев металлизации из материалов с высокой электропроводностью [3].

К основным видам отказов металлизации, возникающим под влиянием токов повышенной плотности, высоких температур, а также в результате длительного воздействия температурных и электрических нагрузок, следует отнести следующие [3 – 5]:

- обрыв металлизации в результате электродиффузии (электромиграции) металла и выгорания в местах повышенной плотности тока (например, в местах утончения металлической пленки при переходах через ступеньки окисла в полупроводниковых ИС или при изменении конфигурации токоведущих дорожек как в тонкопленочных, так и в полупроводниковых ИС);

- обрыв вследствие химической или электролитической коррозии алюминия при некачественном защитном покрытии и загрязнении поверхности кристалла или подложки ИС;

– короткое замыкание металлизации полупроводниковых ИС через отверстия в окисле или в результате образования «мостиков» между токоведущими дорожками в процессе электролитической коррозии в ИС обоих типов.

В работе [6], в результате проведенного эксперимента выявлено, что наибольшие перепады температуры в результате воздействия разряда статического электричества наблюдаются между такими соседними областями, как: «наружный вывод» / «внутренний вывод» и «внутренний вывод» / «металлизированная дорожка». Перепады температуры на данных участках составляют от 10 К (при напряжении разряда 2 кВ) до 142 К (при напряжении разряда 8 кВ).

Список литературы

1. Онегин, Е.Е. Автоматическая сборка ИС / Е.Е. Онегин, В.А. Зенькович, Л.Г. Битно. Минск: Выш. шк., 1990. 382 с.
2. Парфенов, О.Д. Технология микросхем / О.Д. Парфенов. М.: Высш. шк., 1986. 320 с.
3. Каверзнев, В.А. Статическое электричество в полупроводниковой промышленности / В.А. Каверзнев. М.: Энергия, 1975. 164 с.
4. Физические основы надежности ИС / под ред. Ю.Г.Миллера. М., Сов. радио, 1976, 320 с.
5. Брылева, О.А. Основные механизмы повреждения микроконтроллеров вследствие влияния электростатических разрядов / О.А. Брылева, В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун // Вестник Белорусско-Российского университета. 2013. № 2 (39). С. 130–137.
6. Моделирование распределения температуры в токоведущих элементах интегральных микросхем в результате воздействия электростатических разрядов / Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, В.Л. Ланин, В.Г. Левин // Доклады БГУИР. 2014. № 4 (82). С. 16–22.

Врабий Эдуард Михайлович, магистрант факультета компьютерного проектирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Дегалевич Дмитрий Александрович, магистрант факультета компьютерного проектирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Научные руководители:

Пискун Геннадий Адамович, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

Алексеев Виктор Федорович, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь

УДК 681.5.015

**СИНТЕЗ ИНВАРИАНТНОЙ СИСТЕМЫ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПО МОДЕЛИ ИДЕНТИФИКАЦИИ**

Бу Ань Хиен, Ягодкина Т.В.

DOI: 10.12737/14846

Аннотация: разрабатывается метод построения инвариантной относительно входного возмущающего воздействия системы по модели идентификации и синтез инвариантной системы модального управления.

Ключевые слова: инвариантная система, модальное управление, модель идентификации.

Улучшение качества работы АСУ в условиях действующих возмущений остается важной задачей. Мы рассмотрим случай измеряемых возмущающих воздействий и предложим способ их компенсации в объектах с неизвестной математической моделью.

Рассмотрим для стандартной MISO-системы варианты подхода к проблеме обеспечения инвариантности.