

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МИКРОСХЕМЫ НА ОСНОВАНИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ВНУТРЕННИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕСТОВОЙ СТРУКТУРЫ

Абрамешин А.Е., Андреевская Т.М., Пашев Р.Ю.
г. Москва, МИЭМ НИУ ВШЭ

В статье дается метод диагностирования интегральных схем на основании идентификации внутренних параметров тестовой структуры в виде полупроводникового диода.

The method to determine the IC technical state based on the identification of internal parameters of the test structure. Abrameshin A., Andreevskaya T., Pashev R.

This article deals with the method of diagnosing IC based on the identification of the internal parameters of the test structure in a semiconductor diode.

В настоящее время актуальность проблемы диагностирования сверхбольших интегральных схем (СБИС), плотность компоновки элементов в которых доходит до 1 млн. в кристалле, растет и требует новых методов и критериев оценки качества. Для технологического процесса производства СБИС нужна высокая точность формирования структуры элементов. На рис.1 приведены наборы масок (называемых также фотошаблонами) для микросхем. По их требуемому числу можно легко определить трудоемкость разработки и процесс производства интегральных схем.

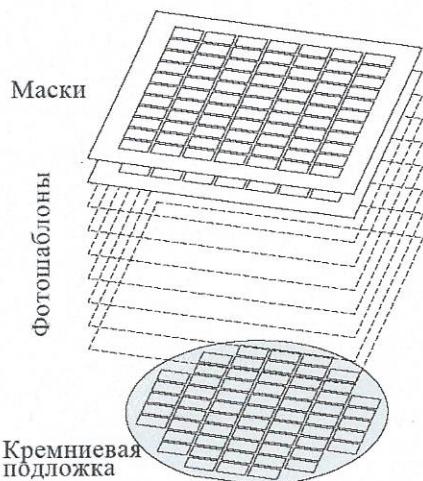


Рис.1. Маски или фотошаблоны

Идентифицировать электрические параметры каждого сформированного на кристалле элемента невозможно из-за высокой степени интеграции микросхемы и малых размеров элементов. Для решения этой проблемы предлагается формировать тестовые структуры на кремниевой подложке, где создается партия микросхем одного типа, а одна из них содержит тестовые структуры (рис.2). Основной принцип построения тестовых структур состоит в том, что при таком способе формирования тестовые структуры должны иметь определенное сходство с рабочими компонентами диагностируемых интегральных микросхем, содержать все конструктивные элементы в различных сочетаниях и обеспечивать удобство их контроля во время испытаний, чтобы объективно отражать их свойства. Так как микросхемы формируются в едином

технологическом процессе, то по выходным характеристикам тестовой структуры можно контролировать техническое состояние микросхемы в целом. Применение тестовых структур позволяет организовать эффективный технологический контроль производства ИМС и сократить трудоемкость при проведении испытаний на надежность СБИС, особенно на этапе отработки технологии.

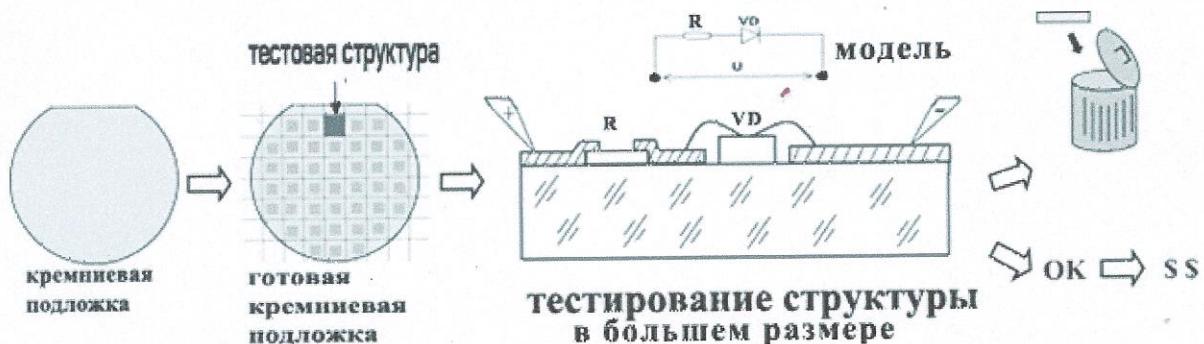


Рис.2. Контроль технического состояния гибридной интегральной микросхемы по внутренним характеристикам тестовой структурой в виде диода

Цель работы: по измерениям выходных характеристик тестовой структуры микросхемы идентифицировать действительные значения электрических параметров отдельных элементов; сравнить их с предельно-допустимыми значениями; классифицировать техническое состояние данной микросхемы как исправное или неисправное. На рис.3 дан пример области допустимых внутренних параметров q_n тестовой модели, например, такого как обратный ток диода тестовой структуры.



Рис.3. Область допустимых значений q_n

на рис. 3 обозначено:

- $q_n^{\text{ном}}$ - номинальное значение n -го внутреннего параметра;
- $\Delta q_n^H, \Delta q_n^B$ - нижний и верхний допуски на n -ый параметр;
- q_n^D – действительное значение n -го внутреннего параметра;

Состояние микросхемы классифицируется как неисправное, если действительное значение хотя бы одного внутреннего параметра ее тестовой структуры выходит за допустимые границы, т.е. не выполняются условия:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_1^{\text{ном}} - \Delta q_1^H \leq q_1^D \leq q_1^{\text{ном}} + \Delta q_1^B \\ q_2^{\text{ном}} - \Delta q_2^H \leq q_2^D \leq q_2^{\text{ном}} + \Delta q_2^B \\ \vdots \\ q_n^{\text{ном}} - \Delta q_n^H \leq q_n^D \leq q_n^{\text{ном}} + \Delta q_n^B . \end{array} \right.$$

Разработка метода диагностирования микросхем на основе идентификации параметров тестовой структуры велась на примере маломощного полупроводникового диода КД103А. Анализ режима работы и контроль технического состояния полупроводникового диода осуществляется по известной экспоненциальной вольт-амперной характеристике:

$$I = I_s \cdot \left(e^{\frac{U}{\varphi_t \cdot N}} \right), \quad (*)$$

где I_s – обратный ток диода; U – напряжение на $p-n$ переходе; φ_t – температурный потенциал; N – коэффициент, учитывающий неидеальность $p-n$ перехода и его материал.

Для идентификации реальных параметров диода использовались методы оптимизации, при котором осуществлялся выбор наилучшего варианта из множества возможных. В данной работе использовался метод одномерной оптимизации. К методам решения одномерной оптимизации относится: Метод перебора; Метод исключения отрезков (метод деления пополам и метод золотого сечения).

В данной работе выбран самый простой способ поиска распознаваемых значений внутренних параметров тестовой структуры – метод перебора.

Обработка экспериментальных данных выполнялась по следующим образом:

1. Вычислялась наилучшая оценка по результатам серии снятия отсчетов математического ожидания m по следующей формуле:

$$m_i^* = \sum_{i=1}^n I_{s,i}$$

2. Определялась наилучшая оценка статистического среднеквадратического отклонения:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_{s,i}}{n}}.$$

3. находилась доверительная погрешность измерений из ряда 0,9; 0.95; 0.99:

$$\Delta = t_\alpha \frac{S_i}{\sqrt{n}},$$

где t_α - коэффициент Стьюдента, n - число наблюдений.

4. Конечный результат записать в виде:

$$I_s = m_i^* \pm \frac{S_i}{\sqrt{n}}.$$

При выборе доверительной вероятности, равной 0.9, значение величины t_α получается равным 1,675.

Для идентификации параметров тестовой структуры был промоделирован выбранный диод (КД103А) с помощью программы PSPICE (программа моделирования с ориентацией на интегральные схемы).

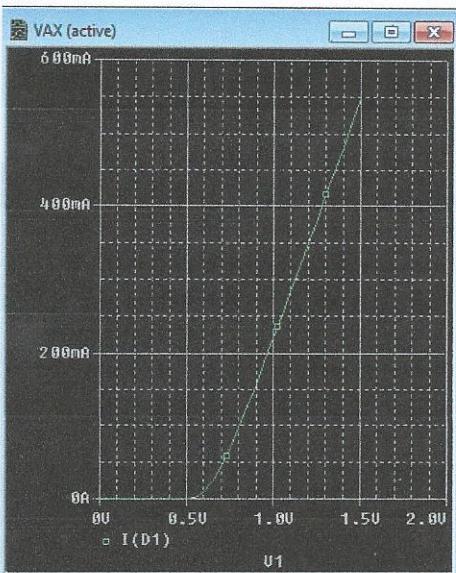


Рис.4. ВАХ, полученная в PSPICE.

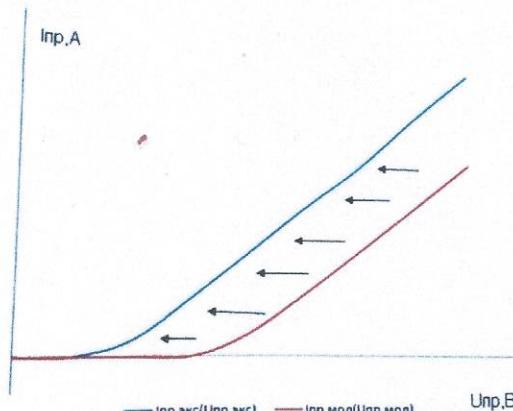


Рис.5. Минимизация разницы ВАХ

Полученный результат моделирования сравнивался со значениями ВАХ, полученными при экспериментальном снятии ВАХ, и находилась разница между ними. Для минимизации разницы между двумя ВАХ изменялось значение тока насыщения (I_s) и коэффициент N в формуле (*), отражающий неидеальность p - n перехода (N). Подбор параметров происходил до тех пор, пока разница не станет минимальной. Этот результат был достигнут при $I_s=67.09$ пА и $N=1.23$.

Завершающим этапом работы являлось сравнение выявленных значений тока насыщения и коэффициента неидеальности p - n перехода N с заданными допусками. Сравнение показало, что оба значения входят в область допусков.

На основе данных результатов можно сделать вывод, что данная тестовая структура не имеет дефекта по этим двум параметрам, следовательно данная микросхема также не имеет дефектов по этим двум параметрам.

Литература

- 1) Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции (2010) / Отв. ред.: С.У. Увайсов; науч. ред.: С.У. Увайсов. М.: МИЭМ, 2010.
- 2) Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. Материалы Международной научно-практической конференции (2011) / Отв. ред.: С.У. Увайсов; науч. ред.: С.У. Увайсов. М.: МИЭМ, 2011.
- 3) Тумковский С.Т.. Идентификация параметров математических моделей элементов РЭС : дис. ... д-ра техн. наук : 05.12.04 Москва, 2006 251 с. РГБ ОД, 71:07-5/285
- 4) Увайсов С.У., Иванов И.А., Увайсов Р.И. Показатели контролепригодности радиоэлектронной аппаратуры // Мир измерений. 2008. № 3. С. 47-51.
- 5) Иванов И.А., Увайсов С.У., Кошелев Н.А. Формирование наборов тестовых сигналов для контроля качества электронных средств космических аппаратов // Качество. Инновации. Образование. 2011. № 11. С. 84-88.