

$$\text{где } t_{i(j-1)} = \begin{cases} \frac{m_i \left(-U_{ix(j-1)} + \sqrt{U_{ix(j-1)}^2 - 2 \frac{eE_{x(j-1)}}{m_i} \Delta x} \right)}{eE_{x(j-1)}}, & \text{при } \Delta x > 0; \\ \frac{m_i \left(-U_{ix(j-1)} - \sqrt{U_{ix(j-1)}^2 - 2 \frac{eE_{x(j-1)}}{m_i} \Delta x} \right)}{eE_{x(j-1)}}, & \text{при } \Delta x < 0. \end{cases} \quad (17)$$

Вычисления проводятся до момента столкновения иона с катодом с учетом упругих потерь иона в результате его столкновений с молекулами остаточного газа, совершаемых при выполнении условия $l_i = \lambda_i$.

В результате с помощью вышеизложенной модели были построены расчетные траектории движения электронов и положительных ионов в высоковольтном газовом разряде в азоте, а также зависимость модуля напряженности такого поля от расстояния, отсчитываемого от поверхности катода в направлении распространения разряда (вдоль оси y). Предложенная модель позволяет дать качественное и количественное объяснение особенностям поведения заряженных частиц высоковольтного газового разряда в неоднородном электростатическом поле, а также механизмам возникновения и самоподдержания такого разряда.

Список использованных источников

1. Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, Формирование оптического микрорельефа во внеэлектродной плазме высоковольтного газового разряда, Радио и связь, Москва (2009).
2. Ю.П. Райзер, *Физика газового разряда*, Наука, Москва (1992).
3. Л.А. Арцимович, С.Ю. Лукьянов, *Движение заряженных частиц в электрических и магнитных полях*, Наука, Москва (1972)
4. В.А. Колпаков, ФХОМ вып. 5, 41 (2006).
5. В.А. Колпаков, ФХОМ вып. 1, 53 (2007). М.А. Маркушин, В.А. Колпаков, С.В. Кричевский и др., ЖТФ 85(3), 60 (2015).
6. И.В. Вагнер, Э.И. Болгов, В.Ф. Гракун и др., ЖТФ 44(8), 1669 (1974).
7. В.А. Колпаков, Микроэлектроника 31(6), 431 (2002).
8. Н.Л. Казанский, А.И. Колпаков, В.А. Колпаков, Микроэлектроника 33(3), 218 (2004).
9. Н.Л. Казанский, В.А. Колпаков, ЖТФ 79(9), 41 (2009).

УДК 621.382

ВИЗУАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КМОП-МИКРОСХЕМ

Р.О. Мишанов

Самарский университет, г. Самара

Для проведения обучающего эксперимента с целью прогнозирования показателей качества и надёжности микросхем целесообразно рассматривать только те микросхемы, которые не имеют явных дефектов при их изготовлении. Таким образом,

зависимость ошибки прогнозирования от выбора конкретных экземпляров микросхем, имеющих явные дефекты, сводится к минимуму. К явным дефектам относят сколы, царапины, разрывы поверхности металлизации, пустоты в областях металлизации, обрывы проводов, коррозия металлизации, дефекты проводов в микросхеме, трещины подложки и слоя пассивации и др. Микросхемы, имеющие явные дефекты, необходимо из выборки исключать и заменять другими, исправными экземплярами.

Проведенный в работе анализ показал, что с целью минимизации временных затрат на исследование микросхем для локализации явных дефектов, целесообразно использовать визуальный контроль, который удовлетворяет следующим требованиям предварительной отбраковки: контроль должен быть неразрушающим (метод неразрушающего контроля); исключена подача питания на микросхему; исключен любой механический контакт с поверхностью подложки микросхемы (бесконтактный метод контроля); на контроль должно быть затрачено минимальное количество времени; минимальное количество времени должно быть затрачено на принятие или отбраковку микросхемы.

С целью оптимизации временных затрат на проведение визуального контроля было выбрано 60-кратное увеличение, относящееся к классу малых (30-60 кратное увеличение). В качестве оборудования был выбран микроскоп МС-10, имеющий диапазон увеличения 4...100 раз. Проведенные исследования показали, что к отбраковке (удалению из выборки) подлежат экземпляры со следующими дефектами:

1. Царапины на металлизации при условии: обнажения нижележащего слоя и повреждения более 50% ширины верхнего слоя металлизации; полного пересечения дорожки металлизации и повреждения нижнего слоя (слоя пассивации); наличия любой царапины на металлизации оксидного моста затвора и обнажении нижнего слоя пассивации.

2. Пустоты в металлизации при условии: обнажения нижележащего слоя и повреждения более 50% ширины верхнего слоя металлизации; наличия любой пустоты с слое металлизации оксидного моста затвора при повреждении более 25% длины металлизации между диффузионными областями истока и стока; наличия любой пустоты с слое металлизации оксидного моста затвора при повреждении более 40% поверхности.

3. Любая коррозия металлизации.

4. Любое отслаивание, вздутие и вспучивание металлизации.

5. Наличие перемычек между проводниками, либо малое расстояние между проводниками (менее 2,5 мкм)

6. Уменьшение размеров контактных площадок при условии: наличия металлизации менее 50% поверхности площадки; наличия металлизации менее 40% периметра площадки.

7. Наличие любой трещины подложки или слоя пассивации в активной области микросхемы, либо наличие трещины длиной более 75 мкм.

8. Любые дефекты проводов от контактных площадок микросхемы. Особое внимание уделялось излишним изгибам, провисанием проводов, касанием проводов между собой, зазубринам, разрезам, разрывам, сужениям проводов.

Выбор этих критериев исключения экземпляра из выборки микросхем соответствует также ГОСТ Р МЭК 748-11-1-2001.

Более полное выявление явных дефектов и получение наиболее достоверных результатов отбраковки микросхем позволяет применение электронного сканирующего микроскопа, т.к. это оборудование позволяет наблюдать топографический и электрический рельеф поверхности структуры. Но использование электронного сканирующего микроскопа и расшифровка снятых с помощью него снимков требует значительных временных затрат, поэтому такой способ в исследовательских испытаниях нами не использовался.

В ряде случаев эффективен инфракрасный сканирующий микроскоп. Он повышает вероятность отбраковки микросхем с явными дефектами вследствие возможности измерения термических профилей, позволяющих с высокой точностью оценить конструкцию. Но такой способ требует подачи питания на микросхему, что не соответствует заранее выдвинутым требованиям к выбору метода контроля и нами неиспользования. Иногда совместно с оптическим микроскопом используют термочувствительные пленки с красками. Такие пленки наносят на поверхность микросхемы, на которую подано питание. В зависимости от температуры поверхности краска окрашивается различными цветами, по которым можно судить о тепловыделении с различных участков поверхности. Такой способ не отвечает требованиям, предъявляемым к выбору метода контроля в исследовательских испытаниях по ряду причин: метод требует подачи питания на микросхему; метод подразумевает нанесение пленок непосредственно на поверхность микросхемы; расшифровка данных с помощью оптического микроскопа занимает значительное количество времени, что затрудняет оперативное принятие решения; нанесение пленок на поверхность микросхемы требует значительного опыта и навыков для исключения попадания влаги и пыли между микросхемой и пленкой, что может привести к искажениям результата контроля.

УДК 621.382.049.77+629.78

МОДАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ РЭС КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Н.Ю. Швецов

Самарский университет, г. Самара

Для качественного улучшения продукции космической отрасли нормативная документация в области разработки и производства изделий космической техники должна быть актуальной и соответствовать международным стандартам. Особенно в области отработки стойкости космической техники к механическим воздействиям. Вследствие этого, а также в связи с использованием зарубежного оборудования и элементной базы в составе отечественных КА, необходимо знать стандарты в области обработки прочности конструкции и бортовой аппаратуры (БА) космического аппарата (КА) для того, чтобы:

- подтверждать соответствие аппаратуры сторонних разработчиков требованиям по нагрузкам, предъявляемым при эксплуатации в составе ракеты-носителя (РН);