

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИОДОВ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ШУМА

Васильев В.А., Пиганов М.Н., Зайцев В.Ю.

Низкочастотные шумы представляют наибольший интерес с точки зрения прогнозирования отказов диодов, так как причиной их возникновения являются различного рода дефекты в структуре полупроводниковых приборов. В литературе еще нет единой терминологии для этого вида шума [1]. Мы в дальнейшем будем этот шум называть низкочастотным, подразумевая под этим шумом шум, спектральная плотность которого пропорциональна $\frac{1}{f^\gamma}$, где коэффициент γ характе-

ризует вид спектра. Низкочастотный (НЧ) шум проявляется практически у всех материалов и элементов, используемых в электронике.

Исследования [2] показывают, что НЧ шум полупроводниковых приборов обусловлен, прежде всего, электрофизическим состоянием поверхности кристалла. НЧ шумы создают флуктуации концентрации зарядов на поверхности, флуктуации скорости поверхностной рекомбинации в области эмиттерного перехода и флуктуации поверхностной утечки по периметру коллекторного перехода. Перечисленные дефекты могут привести к отказу полупроводникового прибора. Повышенный НЧ шум создают и объемные дефекты структуры. Структурная неоднородность различных областей, дислокации и микротрещины приводят при протекании тока к локальной перенапряженности и перестройке отдельных участков структуры.

Существенная часть НЧ шума обусловлена дефектами контактов. Интенсивность отказов полупроводниковых приборов в большей степени определяется отказами (обрывами) внутренних контактных соединений. Причинами обрывов являются недостаточная прочность термокомпрессионных соединений, плохая адгезия алюминиевых контактных площадок к поверхности полупроводниковой структуры, появление нежелательных химических соединений в местах контактов разнородных металлов.

Соединение можно представить состоящим из большого числа отдельных "микрконтактов", обусловленных взаимным проникновением атомов соприкасающихся материалов. Качество этих микрконтактов неодинаково, некоторые из них неустойчивы и могут замыкаться и размыкаться случайным образом. Во внешней цепи это будет проявляться как шумовые флуктуации тока - контактный шум. В процессе разрушения контактного соединения, например, электролитической коррозии дорожки металлизации, относительное число неустойчивых контактных точек растет. Поэтому шумы контактных соединений постепенно возрас-

тают. Особенно значительными они становятся в “предотказовом” состоянии соединения. Следовательно, измерения контактных шумов могут быть использованы для прогноза их отказов.

В данной работе предложена методика контроля качества и отбраковки диодов по уровню НЧ шума. Шумовые свойства полупроводниковых диодов типа 2Д103 исследовались на установке “Старт-1”. Измерения шумов проводились в полосе частот от 6 Гц до 6 кГц.

Измерение значений напряжения шума $U_{ш}$ производилось при различных значениях обратного напряжения, выбираемых согласно ТУ. Уровень отбраковки $U_{ш.о.}$ определялся путем вероятностно-статистической обработки результатов измерения зависимости $U_{ш} = f(U_{обр})$ для данной выборки, состоящей из n - диодов. В нашем случае $n=100$.

Среднее значение напряжения шума определялось по формуле:

$$\overline{U_{ш}} = \sum_{i=1}^n \frac{U_{ши}}{n},$$

где $U_{ши}$ - значение шумового напряжения i - го диода при определенном обратном напряжении.

Дисперсия шума определялась по выражению:

$$D[U_{ш}] = \sum_{i=1}^n \frac{(U_{ши} - \overline{U_{ш}})^2}{n-1}.$$

Среднеквадратическое отклонение оценивалось по формуле:

$$\sigma = \sqrt{D/n}.$$

Границы доверительного интервала определяли следующим образом:

$$\begin{aligned} \overline{U_{ш \min}} &= \overline{U_{ш}} - t_{\alpha} \cdot \sigma, \\ \overline{U_{ш \max}} &= \overline{U_{ш}} + t_{\alpha} \cdot \sigma, \end{aligned}$$

где $\overline{U_{ш \max}}$ и $\overline{U_{ш \min}}$ - максимальное и минимальное значение границ доверительного интервала;

t_{α} - коэффициент Стьюдента.

Уровень отбраковки определяли по формуле: $\overline{U_{ш.о.}} = \overline{U_{ш \max}} + 3\sigma$.

Все экземпляры, у которых при рассматриваемом обратном напряжении величина $U_{ш}$ превышала $\overline{U_{ш.о.}}$, считались потенциально ненадежными и отбраковывались. В результате экспериментов было установлено, что у диодов, отбракованных по уровню шума, обратные токи были больше, чем у потенциально надежных диодов. Это можно объяснить наличием сквозного канала у таких приборов. Для изучения характера связи на-

пряжения шума с обратным током был проведен корреляционный анализ. Коэффициент корреляции определялся по формуле:

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_{cp})(y_i - \bar{y}_{cp})}{S_x \cdot S_y}$$

где x - значение напряжения шума при определенном обратном напряжении;

y - значение обратного тока при том же обратном напряжении;

S_x, S_y - стандартные отклонения переменных x и y , которые определялись по формулам :

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad S_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}.$$

В результате исследований было установлено, что для диодов 2Д212 величина r равна 0,62. Вероятность правильных решений при отбраковке по уровню $U_{ш}$ составила 0,68.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нарышкин А.К., Врачев А.С. Теория низкочастотных шумов. - М.: Энергия, 1972. - 152 с.
2. Ван дер Зил А. Шум. Источники, описание, измерение. - М.: Сов. Радио, 1973. - 308 с.

РАСЧЕТ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Коньгин С.Б., Семкин Н.Д.

В процессе функционирования космический аппарат (КА) находится в непрерывном взаимодействии с окружающей средой, зачастую определяемой работой систем КА, называемой собственной внешней атмосферой (СВА) КА.

СВА - газопылевая обстановка в окрестности КА, обусловленная как взаимодействием КА с факторами космического пространства (КП), так и существованием на КА собственных источников газопылевых компонентов.

Имеющиеся данные относительно СВА однозначно свидетельствуют о возможности оказания повреждающего воздействия на элементы конструкций КА. В этой связи встает вопрос об увеличении продолжительности активного функционирования КА и повышении его надежности. Для проведения предварительных оценок воздействия СВА на элементы конструкций КА необходимо знание математических моделей процессов