



Н.Г. Чернобровин, Г.А. Боднарчук, А.О. Новиков

## ИНТЕГРАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА БИПОЛЯРНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

(Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королёва)

Задача обеспечения надежности РЭС не может быть решена только совершенствованием технологии ее изготовления, поэтому особую роль в современных условиях приобрели методы и средства отбора элементной базы с повышенной степенью надежности ее работы в электронных схемах. Перспективным направлением в этой области является диагностический неразрушающий контроль электро-радиоизделий (ЭРИ), не снижающий, в отличие от метода электро-термотренировки ресурса испытываемых изделий и характеризующийся меньшими трудоемкостью и энергопотреблением.

Однако обеспечение информативности такого контроля для ЭРИ на основе полупроводниковых биполярных структур не является простой задачей.

Современные методы диагностики, ввиду многообразия типов дефектов кристаллической структуры полупроводника и процессов деградации, возникающих на поверхности кристалла, способны обеспечить приемлемую достоверность результатов диагностики всех областей биполярных структур только при условии их комплексного сочетания, что и обусловило необходимость применения достаточно большого числа взаимодополняющих методов, требующих большой номенклатуры испытательного оборудования и значительных затрат времени. Следовательно, актуальной является разработка способа интегральной диагностики таких структур, реализуемого в одном цикле на одном рабочем месте.

Рассматривается методика отбраковки дефектных биполярных структур, основанная на эффекте отрицательного дифференциального сопротивления в динамическом режиме питания высокочастотным напряжением [1]. Вольт-амперная характеристика при этом имеет S-образный характер с гистерезисной зоной. На рис.1 представлена S-образная характеристика  $U_{\Sigma}$  ( $U_{\kappa}$ ) транзистора 2Т831А, где  $U_{\Sigma} = I_{\Sigma} R_{\Sigma}$  амплитуда напряжения на токоизмерительном резисторе в цепи эмиттера,  $U_{\kappa}$  - амплитуда напряжения питания на частоте 1МГц. Анализ токов и (или) напряжений в характерных точках динамической характеристики позволяет проводить интегральную диагностику биполярной структуры и отбраковку экземпляров со скрытыми дефектами. При этом  $U_{\kappa}$  в диапазоне тестового воздействия значительно ниже напряжения лавинного пробоя p-n переходов структуры, что гарантирует неразрушающий характер диагностики.

Значения токов и (или) напряжений в точках 1-5 S-образной характеристики диагностируемой структуры образуют вектор наблюдений



(информативных параметров), который с помощью решающего правила (оператора классификации) определяет принадлежность данного экземпляра определенному классу потенциальной надежности.

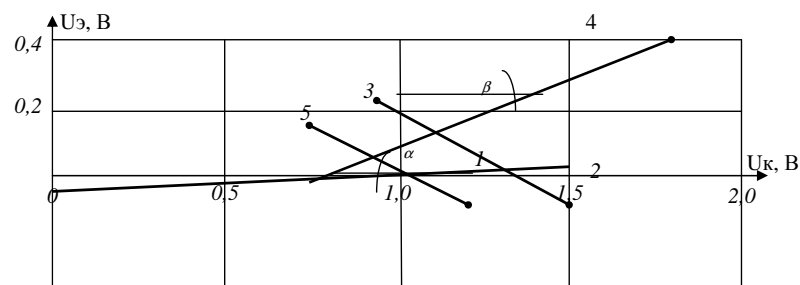


Рисунок 1. S-образная характеристика транзистора 2Т831А

Выбор метода построения оператора осуществлен исходя из того, что наиболее простыми являются линейные классификаторы, которые могут быть оптимальными в байесовском смысле для нормальных распределений с равными ковариационными матрицами классов. Так как условия нормальности и равенства ковариационных матриц классов выполняются не всегда, то имеет смысл использовать линейные классификаторы не зависящие от вида распределения [2]:

$$g(X) = B^T X + \Pi > 0 \Rightarrow X \in \{K_1, K_2\}. \quad (1)$$

Линейную, относительно вектора  $X$  функцию  $g(X)$  называют линейной разделяющей или дискриминантной функцией. Нахождение классификатора, в данном случае, сводится к определению оптимальных по некоторому критерию коэффициентов  $B = [b_1, b_2, \dots, b_k]$  и значения порога  $\Pi$ .

Определение фактического класса потенциальной надежности проведено на основе ускоренных испытаний транзисторов на безотказность в соответствии с методикой, описанной в технических условиях.

Проверка пригодности полученного классификатора для прогнозирования класса новых экземпляров, неиспользовавшихся в обучающем эксперименте, производится сравнением значения вероятности ошибочных решений с допустимым.

Разработана прикладная программа "ProgKontrol", предназначенная для статистической обработки массива (базы) исходных данных, подготовки их к обучающему эксперименту, вычислению по ним оператора прогнозирования и для прогнозирования по полученному оператору других массивов данных.

Исходный текст программы написан на языке *Object Pascal* в среде *Delphi* версии 3.0.



Разработан комплекс аппаратно-программных средств, позволяющих создать автоматическое рабочее место входного контроля биполярных транзисторов.

### Литература

1. Чернобровин Н.Г., Дмитриев В.Д., Пиганов М. Н., Новиков С.А. Способ отбраковки биполярных транзисторов. Описание изобретения к авторскому свидетельству, МПК G01 R 31/26 №1825155
2. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов/ К. Фукунага.:Пер. с англ.-М.:Наука, 1979.-368 с.

Н.А. Шарафутдинов, М.Н. Осипов, Ю.Д. Щеглов, Н.С. Знаменьщикова

### ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СПЕКЛ-ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ НА ОДИНОЧНОМ СПЕКЛЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

(Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева)

При исследовании как статических, так и динамических процессов в элементах конструкций особое внимание в настоящее время уделяется интерферометрическим методам, основанных на применении цифровой спекл-интерферометрии [1-3]. Спекл-интерферометрия в настоящий момент является одним из основных оптических методов, как при фундаментальных исследованиях различных задач механики, так и при практическом контроле и разработке новых элементов конструкций в различных областях промышленности, поскольку является методом неразрушающих исследований, бесконтактным, и, следовательно, не влияющим на происходящие процессы и результаты измерений. Следует также отметить, что спекл-интерферометрия обладает интерферометрической точностью и не предъявляет жестких требований к оптической схеме по сравнению с голографической интерферометрией. Указанные характеристики спекл-интерферометрии позволяют использовать данный метод в условиях приближенных к промышленным.

В работах [4-6] представлен новый метод спекл-интерферометрии на одиночном спекле, который наиболее применим для исследования вибрационных процессов в условиях приближенных к промышленным и в широком диапазоне амплитуд и частот. В данных работах изменение интенсивности света одиночного спекла, регистрируемое точечным быстродействующим фотодетектором, описывается следующим выражением:

$$u(t) = A + B \cos[\delta\varphi - \varphi(t)], \quad (1)$$

где  $u(t)$  – выходное напряжение электрической схемы фотоприемника;

$A$  – выходное напряжение смещения, которое связано со средней интенсивностью спекла;



$B$  – амплитуда полезного выходного напряжения, которое определяется параметрами оптико-электронной схемы;

$\delta\varphi$  – начальное значение разности фаз между опорным и объектным пучками в плоскости регистрации, оно может меняться, но остается постоянным во время измерений;

$\varphi(t)$  – изменение фазы спекла, которое связано с изменением оптического пути при динамических смещениях исследуемой поверхности.

Из анализа выражения (1), как показано в работах [4-6], следует, что поведение выходного напряжения с фотодетектора имеет сложный характер и при колебаниях исследуемой поверхности на величину меньше  $\lambda/8$  (где  $\lambda$  – длина волны лазерного излучения) выходное напряжение фотодетектора должно соответствовать данному перемещению, а при перемещениях больше  $\lambda/8$ , вид выходного напряжения фотодетектора не соответствует данному перемещению. Однако в указанных работах не проанализировано влияние начального значения разности фаз между опорным и объектным пучками в плоскости регистрации одиночного спекла, на поведение выходного напряжения фотодетектора.

На Рис. 1 и Рис. 2 представлены графики теоретических расчетов выходного сигнала фотодетектора для  $\delta\varphi=0$ ,  $\delta\varphi=\pi/2$ ,  $\delta\varphi=\pi/4$ , и значений амплитуд колеблющейся исследуемой поверхности  $a=\lambda/12$ , и  $a=\lambda$ . Значение напряжения выходного сигнала и амплитуда колебаний исследуемой точки поверхности представлены в относительных единицах.

Из представленных графиков следует, что при собственных колебаниях исследуемой поверхности с амплитудой меньше  $\lambda/8$  выходное напряжение фотодетектора полностью соответствует колебаниям локальной точки исследуемой поверхности только при  $\delta\varphi=\pi/2$ . При  $\delta\varphi=0$  амплитуда колебаний выходного напряжения фотодетектора соответствует амплитуде колебаний локальной точки исследуемой поверхности, а частота колебаний выходного напряжения фотодетектора вдвое больше частоты колебаний локальной точки исследуемой поверхности. При  $\delta\varphi=\pi/4$  происходит искажение амплитуды колебаний выходного напряжения фотодетектора относительно амплитуды колебаний локальной точки исследуемой поверхности с сохранением частотного соответствия.

При измерении собственных колебаний исследуемой поверхности с амплитудой колебаний больше  $\lambda/8$ , выходное напряжения фотодетектора имеет вид осциллирующих пакетов при всех значениях  $\delta\varphi$ . Число осцилляций внутри пакета пропорционально удвоенной амплитуде колебаний локальной точки исследуемой поверхности. Одна полная осцилляция внутри пакета соответствует перемещению локальной точки исследуемой поверхности на величину равную  $\lambda/2$ . При этом частота следования осциллирующих пакетов равна удвоенной частоте колебаний исследуемой поверхности.