

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.382.019.3

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В КАЧЕСТВЕ ИМИТАЦИОННОГО
ФАКТОРА ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОСТЕПЕННЫХ ОТКАЗОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**

С.М. БОРОВИКОВ, А.И. БЕРЕСНЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь**Поступила в редакцию 4 мая 2005*

В данной работе с помощью экспериментальных исследований биполярных транзисторов для функционального параметра (коэффициента усиления тока базы в схеме с общим эмиттером) установлено наличие линейной корреляции между изменениями, вызываемыми действием температуры как имитационного фактора, и изменениями, обусловленными длительной наработкой транзисторов. Наличие тесной корреляции (модуль коэффициента корреляции более 0,8) является доказательством возможности использования температуры в качестве имитационного фактора при прогнозировании постепенных отказов полупроводниковых приборов методом имитационных воздействий.

Ключевые слова: полупроводниковые приборы, постепенные отказы, имитационный фактор, статистическая аналогия, прогнозирование.

Введение

На долю постепенных отказов приходится до 80% всех отказов полупроводниковых приборов [1]. Эти отказы определяют понятие "параметрическая надежность", их прогнозирование является актуальной задачей. Один из методов решения этой задачи — использование имитационных испытаний [2–5]. При таких испытаниях полупроводниковый прибор в начальный момент времени кратковременно подвергают воздействию имитационного фактора, гипотетически вызывающего такое же изменение функционального параметра прибора, как и его длительная наработка. По реакции прибора на имитационное воздействие прогнозируют значение его функционального параметра и, следовательно, наличие или отсутствие постепенного отказа для заданной будущей наработки t_3 . Считают, что испытываемый прибор для наработки t_3 будет иметь такое же значение параметра, как полученное путем измерения при наличии имитационного воздействия, уровень которого $F_{им}$ определяется исходя из этой наработки. Для пересчета наработки t_3 на значение $F_{им}$ используется функция пересчета, определяемая с помощью предварительных исследований один раз для полупроводниковых приборов интересующего типа. Метод определения функции пересчета рассмотрен в работах [2–5] и в данной статье не обсуждается.

На практике возникает вопрос, какое воздействие выбрать в качестве имитационного фактора. Воздействие должно в начальный момент времени вызывать такое изменение функционального параметра, которое с большой вероятностью будет иметь место для заданной длительной наработки полупроводникового прибора. Но изменение, вызываемое действием ими-

тационного фактора, должно быть обратимым, не повреждать прибор и не вызывать расходование его рабочего ресурса.

Традиционно в качестве имитационного фактора пытаются использовать температуру. Прогнозирование функционального параметра для заданной наработки t_3 в этом случае состоит в его измерении при имитационной температуре $T_{им}$, значение которой соответствует этой наработке. При использовании температурного имитационного воздействия придется выполнять кратковременное охлаждение или нагрев прибора до температуры $T_{им}$.

Актуальным является вопрос о правомерности использования температуры в качестве имитационного фактора в задачах прогнозирования значений функциональных параметров и, следовательно, постепенных отказов полупроводниковых приборов.

Методика

Чтобы использовать какое-то воздействие (температуру, электрический ток, механическую нагрузку и т.д.) в качестве имитационного фактора при решении задач прогнозирования постепенных отказов полупроводниковых приборов методом имитационных испытаний, необходимо доказать, что между изменениями параметра, вызываемыми действием имитационного фактора, и изменениями, обусловленными длительной наработкой (дрейфом функционального параметра), существует статистическая аналогия. Ответ на вопрос о наличии аналогии может дать корреляционный анализ этих изменений. Если будет установлено наличие тесной корреляции между изменениями, то тем самым будет доказана возможность использования выбранного воздействия для прогнозирования значений параметра и постепенных отказов полупроводниковых приборов методом имитационных испытаний.

Для подтверждения гипотезы о наличии тесной корреляционной связи между температурными изменениями функционального параметра и изменениями, вызываемыми длительной наработкой полупроводниковых приборов, нужно иметь два массива данных. Элементами первого массива должны быть изменения функционального параметра, вызванные действием температуры (изменением значения температуры) в начальный момент времени, а элементами второго массива — соответствующие изменения этого же параметра, обусловленные длительной наработкой полупроводниковых приборов. Указанные данные могут быть получены с помощью экспериментальных исследований выборки приборов объемом n . Выбор значения n в работе не рассматривается, но в любом случае должно выполняться условие $n > 20-30$. Эту выборку называют обучающей. Суть экспериментальных исследований заключается в том, что, вначале для приборов обучающей выборки выполняются измерения интересующего параметра (обозначим его как P) в нескольких температурных точках. Поскольку имитационный фактор не должен приводить к необратимым изменениям параметра P , то температурные точки не должны выходить за пределы диапазона рабочих температур, указываемого в технической документации на полупроводниковые приборы рассматриваемого типа. Затем приборы обучающей выборки испытывают на длительную наработку. В процессе таких испытаний изменения параметра P , как правило, являются необратимыми из-за процессов деградации. Длительность испытаний должна соответствовать гарантированной наработке t_n , указываемой в документации на приборы. Обработка результатов эксперимента позволит сформировать два одномерных массива длиной n каждый:

$$\Delta P_i \Big|_{T_1}^{T_2}, \Delta P_i \Big|_{t=0}^{t=t_n}; i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

в которых значения $\Delta P_i \Big|_{T_1}^{T_2}$ и $\Delta P_i \Big|_{t=0}^{t=t_n}$ для i -го прибора обучающей выборки определяются по выражениям

$$\Delta P_i \Big|_{T_1}^{T_2} = P_i(T_2) - P_i(T_1), \quad (2)$$

$$\Delta P_i \Big|_{t=0}^{t=t_i} = P_i(t = t_i) - P_i(t = 0), \quad (3)$$

где $P_i(T_j)$ — значение рассматриваемого функционального параметра P i -го прибора, соответствующее температуре T_j ($j=1, 2$); $P_i(t=0)$ — значение P i -го прибора в начальный момент времени; $P_i(t=t_n)$ — значение P i -го прибора для наработки t_n (на момент окончания испытаний).

Статистическая обработка массивов (1) позволит определить коэффициент корреляции между температурными и деградационными изменениями параметра P и принять решение о возможности использования температуры в качестве имитационного фактора.

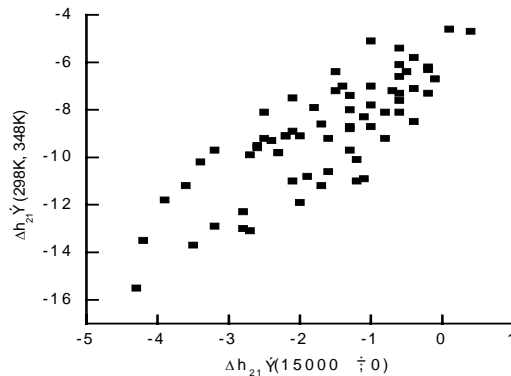
Экспериментальные исследования

Полупроводниковыми приборами, на примере которых выяснялась возможность использования температуры в качестве имитационного фактора, являлись мощные биполярные транзисторы типа КТ8272. В качестве параметра P , определяющего параметрическую надежность транзисторов, рассматривался статический коэффициент передачи тока базы в схеме с общим эмиттером ($h_{21Э}$) при рабочем токе коллектора, равном 0,1 А. Ставилась задача – получить изменения параметра $h_{21Э}$, вызываемые действием температуры как предполагаемого имитационного фактора, и изменения этого же параметра, обусловленные длительной наработкой (дрейфом функционального параметра).

Экспериментальные исследования состояли в следующем. Случайным образом была сформирована обучающая выборка объемом 100 транзисторов указанного типа. У каждого экземпляра выборки при рабочем токе коллектора, равном 0,1 А, были измерены значения $h_{21Э}$, соответствующие нескольким точкам абсолютной температуры в диапазоне 213–398 К. Затем обучающая выборка была испытана на долговечность. Использовались ускоренные форсированные испытания, выполняемые по типовым методикам [6–8]. Время ускоренных испытаний составляло 216 ч, что эквивалентно наработке (времени работы) $t_n=15000$ ч в нормальных условиях. В процессе испытаний в определенные моменты времени контролировалось значение $h_{21Э}$ у каждого экземпляра обучающей выборки. В результате экспериментальных исследований для параметра $h_{21Э}$ были получены данные об изменениях, вызываемых действием температуры, с одной стороны, и обусловленных длительной наработкой — с другой. Из экспериментальных данных было сформировано несколько наборов, состоящих из массивов вида (1). В этих наборах в качестве ΔP рассматривались изменения $\Delta h_{21Э}$, элементы массива оставались неизменными, а элементами массива являлись значения, определяемые по выражению (2) для различных сочетаний температур T_1 и T_2 из ряда значений 213, 248, 298, 348, 398 К.

Результаты и их обсуждение

Для каждого набора изменений вида $\Delta h_{21Э} \Big|_{T_1}^{T_2}$ и $\Delta h_{21Э} \Big|_{t=0}^{t=t_i}$ были построены корреляционные поля (диаграммы разброса) и определены оценки коэффициентов линейной корреляции. Для примера на рисунке приведена диаграмма разброса изменений $\Delta h_{21Э} \Big|_{348K}^{298K}$ и $\Delta h_{21Э} \Big|_{t=0}^{t=15000 \text{ ч}}$, обозначенных соответственно как $\Delta h_{21Э}(298 \text{ К}, 348 \text{ К})$ и $\Delta h_{21Э}(15000 \text{ ч}, 0 \text{ ч})$. Оценка коэффициента линейной корреляции для этого случая составила $R=0,81$.



Корреляция между изменениями $\Delta h_{21\Omega} \Big|_{\substack{298\text{K} \\ 348\text{K}}}$ и $\Delta h_{21\Omega} \Big|_{\substack{t=15000\text{ч} \\ t=0\text{ч}}}$

В таблице приведены значения коэффициентов линейной корреляции между температурными изменениями параметра $h_{21\Omega}$ (значениями элементов массива вида $\Delta h_{21\Omega} \Big|_{\substack{T_2 \\ T_1}}$) и дрейфом этого параметра, возникающим в течение наработки транзисторов, равной 15000 ч (значениями элементов массива $\Delta h_{21\Omega} \Big|_{\substack{t=15000\text{ч} \\ t=0\text{ч}}}$).

Значения коэффициентов линейной корреляции

$\Delta h_{21\Omega} \Big _{\substack{T_2 \\ T_1}}$	$\Delta h_{21\Omega} \Big _{\substack{398\text{K} \\ 348\text{K}}}$	$\Delta h_{21\Omega} \Big _{\substack{398\text{K} \\ 298\text{K}}}$	$\Delta h_{21\Omega} \Big _{\substack{298\text{K} \\ 348\text{K}}}$	$\Delta h_{21\Omega} \Big _{\substack{298\text{K} \\ 248\text{K}}}$	$\Delta h_{21\Omega} \Big _{\substack{348\text{K} \\ 248\text{K}}}$	$\Delta h_{21\Omega} \Big _{\substack{298\text{K} \\ 213\text{K}}}$
Модуль коэффициента	0,78	0,84	0,81	0,79	0,85	0,83

Выводы

Из рисунка и таблицы видно, что между температурными изменениями функционального параметра $h_{21\Omega}$ и изменениями этого же параметра, вызываемыми длительной наработкой транзисторов, существует тесная линейная корреляционная связь. Причем корреляция имеет место для всех рассматриваемых диапазонов изменения температур. Наличие корреляции между указанными изменениями параметра $h_{21\Omega}$ позволяет сделать заключение о возможности использования температуры в качестве имитационного фактора, по реакции на воздействие которого в начальный момент времени ($t=0$) можно прогнозировать значения параметра $h_{21\Omega}$ и постепенные отказы транзисторов.

USING TEMPERATURE AS IMITATION FACTOR IN FORECASTING GRADUAL FAILURES OF SEMICONDUCTOR DEVICES

S.M. BARAVIKOU, A.I. BERASNEVICH

Abstract

Forecasting gradual failures of semiconductor devices by means of imitation effect method is based on the presence of similarity between the changes of functional parameter occurring within the long operating age of the device on one hand, and the changes caused by the imitation factor action at

the initial moment of time, on the other. And the changes caused by the imitation factor, must be reversible, must not damage the device and not cause exhausting its working resource. The basis for using some effect as the imitation factor is the presence of statistic analogy between the changes mentioned, and the criterium for analogy is the close correlation between the changes being considered. By experimental research of bipolar transistors for functional parameter (gain factor of base current in the circuit with common emitter) the paper establishes the presence of linear correlation between the changes caused by the temperature action as the imitation factor and changes attributed to long operating age of transistors. The presence of close correlation (correlation factor module more than 0,8) is the proof of the possibility to use temperature as the imitation factor in forecasting gradual failures of semiconductor devices by imitation effect method.

Литература

1. *Боровиков С.М.* Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. Мн., 1998.
2. *Боровиков С.М., Щерба А.И.* // Изв. Белорус. инж. акад. 1998. № 2 (6)/2. С. 158–159.
3. *Боровиков С.М., Щерба А.И.* // Докл. БГУИР. 2003. Т. 1, № 2. С.113–117.
4. *Боровиков С.М.* // Изв. Белорус. инж. акад. 2002. № 2 (14)/2. С. 181–182.
5. *Боровиков С.М., Ануфриев Л.П., Щерба А.И.* // Проблемы проектирования и производства радиоэлектронных средств: Сб. материалов 2-й Междунар. науч.-техн. конф. Новополоцк, 2002. Т. 2. С. 66–69.
6. *Peattie D.S., Adams J.D., Carreli S.L., et al.* // Proc. IEEE. 1974. Vol. 62, № 2. P. 149–168.
7. Quick Logic Reliability Report / pASIC, Vialink and Quick Logic Corp. Orleans, 1998.
8. Reliability Audit Report 1999. Life Test Data. ON Semiconductor L.L.C., 1999.