

Рис.3. Относительная величина напряженности магнитного поля Земли вдоль оси  $Y_c$  КА для трех наклонений  $Q_m$ .

Магнитное поле Земли в действительности имеет более сложный характер. Только в первом приближении с точностью до 30% его можно принять за поле однородно намагниченного шара. Чтобы более точно определить величину магнитного поля Земли вокруг космического аппарата, необходимо использовать карты магнитного поля. Из-за векового хода геомагнитного поля такие карты приходится менять через каждые 10 лет. При применении старых карт следует учитывать, что за сто лет магнитное поле изменилось не более чем на 5%. Вследствие суточных вариаций и магнитных возмущений магнитные полюса смещаются в течение суток относительно среднего положения примерно на 100 км [1]

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Почтарев В.И. Магнетизм Земли и космического пространства. М.: Наука, 1966. - 144с.
2. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. акад. И.К.Коксяна. М.: Атомиздат, 1976. 1008 с.
3. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. - М.: Наука, 1981.- 720 с.
4. Левантовский В.И., Механика космического полета в элементарном изложении. - М.: Наука, 1980.- 512 с.

### МЕТОДИКА ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МИКРОСХЕМ 142ЕН5

Плотников В.Б., Пиганов М.Н., Жувак А.И.

Анализ тенденций развития радиоэлектронных устройств (РЭУ), устанавливаемых на борту космических аппаратов (КА), показывает пер-

спективность увеличения сроков активного функционирования [1], что может быть осуществлено только при ужесточении требований к качеству и надежности элементной базы таких устройств. В условиях нестабильно функционирующей системы поставок комплектующих электрорадиоизделий (ЭРИ) особую роль приобретают методы и средства отбора элементов повышенной надежности. Перспективным направлением отбраковочных испытаний элементов РЭУ является диагностический неразрушающий контроль (ДНК), не снижающий, в отличие от электротермотренировки, ресурса испытываемых изделий и имеющий лучшие показатели производительности и энергоемкости.

В данной работе предложена методика ДНК интегральных микросхем (ИС) 142ЕН5. Интегральные стабилизаторы 142ЕН5 представляют собой однокристалльную микросхему в керамическом корпусе, изготовленную по биполярной технологии.

Вероятность безотказной работы стабилизатора в условиях технологического разброса будет определяться временной стабильностью параметров всех звеньев системы стабилизации и их устойчивостью к внезапным отказам в заданных режимах и условиях эксплуатации [2]. Дegradация параметров такого класса изделий электронной техники в процессе хранения и эксплуатации связана с дефектами объема активной области кристалла или с кинетикой физико-химических процессов, происходящих в поверхностных слоях полупроводника, на границе раздела  $\text{Si-SiO}_2$ , качеством омических контактов и металлизации [3].

Дефекты объема объясняются либо нарушениями профиля легирования в объеме, либо структурными несовершенствами (дислокации, трещины и т.д.). Дислокации, возникающие в процессе высокотемпературных этапов изготовления кристалла, приводят к образованию областей повышенной концентрации примесей, что ведет к образованию объемных каналов различного рода утечки. Вдоль трещин возможна миграция атомов металлизации, приводящая к возникновению каналов, шунтирующих активные области кристалла и в конечном итоге росту токов утечки. Отклонение толщины эпитаксиального слоя от нормы может привести к замыканию базы и скрытого слоя или недостаточной глубине разделительной области, что также увеличивает токи утечки.

Поверхностные дефекты связаны с накоплением электрических зарядов в приповерхностной области биполярной структуры или загрязнением ее поверхности, вызывающими изменения состояния р-п переходов и появление поверхностных каналов проводимости, а также инверсию проводимости. Дефекты окисла, такие как трещины, приводят к образованию паразитных диффузионных областей или закорачиванию металлизации на активных областях кристалла, а также служат каналами миграции

ионных загрязнений к поверхности полупроводника. Загрязнения на поверхности окисла могут закорачивать металлизацию, увеличивая ток утечки. Возникновение так называемых "усов" и бугорков алюминия в результате электромиграции в слое металлизации у контактов, находящихся под положительным потенциалом, приводит к закорачиванию диффузионных областей (частичному или полному), также вызывая рост токов утечки или короткое замыкание и отказ.

Основным критерием при выборе информативных параметров для ДНК ЭРИ является наличие корреляционной связи их с надежностью контролируемых изделий, т.е. чувствительность относительно дефектов и пространственных неоднородностей физических свойств последних. Для стабилизатора 142ЕН5 с фиксированным рядом напряжений в силу схемной недоступности р-п переходов применение широко распространенных методов  $m$  - характеристик, ВАХ и их производных, электрофлюктуационной диагностики и т.д. связано со значительными трудностями.

Исходя из требований простоты, оперативности и возможности совмещения ДНК с параметрическим контролем, была рассмотрена возможность использования в качестве информативного параметра – потребляемого тока  $I_{\text{потр}}$ . При анализе в предыдущем разделе причин и элементов ненадежности ИС 142ЕН5 отмечена связь большинства дефектов биполярных структур с изменением токов через р-п переходы. Действительно, прохождение носителей заряда в реальном р-п переходе определяется свойствами объема и поверхности полупроводника.

Полный ток через переход состоит из следующих компонент [4,5]:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 ,$$

где  $I_1$  -объемный генерационно-рекомбинационный (диффузионный) ток;

$I_2$  - генерационно-рекомбинационный ток на поверхности ОПЗ;

$I_3$  - генерационно-рекомбинационный ток в ОПЗ;

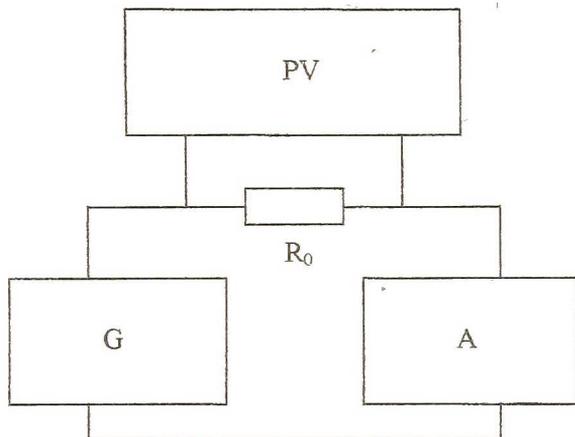
$I_4$  - ток поверхностных каналов.

Так как генерация и рекомбинация носителей заряда зависят от концентрации объемных и поверхностных дефектов, то последняя и будет определять величину полного тока через переход.

С другой стороны величина тока потребления  $I_{\text{потр}}$  интегрального стабилизатора 142ЕН5 определяется токами соответствующих р-п переходов, а также качеством контактов и температурным режимом, в свою очередь зависящим от качества посадки кристалла в корпус, и таким образом может быть использована в качестве информативного параметра при ДНК микросхемы. С учетом проведенного анализа, экспериментальных исследований, включающих измерение параметров ТУ ( $I_{\text{потр}}$ ,  $U_{\text{вых}}$ ,  $K_u$ ,  $K_{\text{ст}}$ ) и результатов испытаний на безотказность в условиях повышенной и

пониженной температур, а также воздействия термоциклов в качестве информативного параметра предложена пропорциональная току потребления  $I_{\text{потр}}$  величина падения напряжения  $U_r$  на образцовом резисторе  $R_0$ , включенном в цепь питания контролируемой микросхемы.

Структурная схема установки представлена на рисунке и содержит источник питания  $G$  напряжением 11(12) В, нагрузочный резистор  $R_0$  сопротивлением  $1000 \text{ Ом} \pm 1\%$ , адаптер  $A$  для подключения контролируемой ИС,  $PV$  - вольтметр универсальный.



Испытываемый интегральный стабилизатор подключается к установке через адаптер  $A$  в соответствии с цоколевкой.

Для отбора интегральных стабилизаторов повышенной надежности проводились измерения  $U_r$  в двух тестах, соответственно при минимально и максимально допустимых напряжениях питания  $U_{\text{вх min}}$ ,  $U_{\text{вх max}}$ .

По результатам измерений параметра  $U_r$  для обучающей выборки ИС 142ЕН5 проведена классификация их потенциальной надежности по критерию технологической предопределенности, согласно которому значения параметров изделий при стабильном технологическом процессе лежат в технологически предопределенной области

$$M [U_r] - S_i [U_r] < U_{rki} < M_i [U_r] + S_i [U_r],$$

где  $U_{rki}$  - значение параметра  $U_r$   $k$ -й ИС в  $i$ -ом тесте ( $i = 1, 2$ );  $M_i$ ,

$S_i$  - соответственно, математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение параметра  $U_r$  в выборке при реализации  $i$ -го теста.

Из партии исключались экземпляры ИС, значения параметра  $U_r$  которых не попадали в установленные границы критичной зоны распределений параметров  $U_r$  ( $U_{\text{вх min}}$ ),  $U_r$  ( $U_{\text{вх max}}$ ). При этом выполняется необходимое, но недостаточное условие селекции ИС по уровню потенциаль-

ной надежности. Условие достаточности выполняется при дополнительной разбраковке прошедших первую ступень селекции ИС по критерию закономерности зависимости параметров от тестовых режимов для всех изделий выборки (партии):

$$\left| U_{rk_1} - U_{rk_2} \right| \leq 2\Delta U_{cu} + \left| M_1[U_T] - M_2[U_T] \right| ,$$

где  $U_{rk_1}$ ,  $U_{rk_2}$  - значения параметра  $U_T$  k-й ИС соответственно в 1 и 2 тестах;

$M_1(U_T)$ ,  $M_2(U_T)$  - математические ожидания параметра  $U_T$  в выборке при реализации 1 и 2 тестов;  $\Delta U_{cu}$  - погрешность вольтметра.

На второй ступени селекции из отнесенных к классу потенциально надежных по первому критерию изделий удалялись экземпляры, величина  $U_T$  которых изменялась от первого теста ( $U_{Tx} \max$ ) ко второму ( $U_{Tx} \min$ ) по отношению к изменению математических ожиданий  $\left| M_1[U_T] - M_2[U_T] \right|$  на величину, большую удвоенной погрешности вольтметра.

В таблице приведены оценки достоверности ДНК ИС 142ЕН5А, полученные для выборки объемом  $N = 50$  шт. путем разбраковки изделий на потенциально надежные и потенциально ненадежные, соответственно по одному и двум критериям с последующими испытаниями на безотказность в ускоренном режиме ( $t = 2500$  ч,  $T = 80^\circ\text{C}$ ,  $I_n = 150$  мА.), где  $P_n$  - вероятность правильных решений,  $P_{\text{пост}}$  - риск поставщика,  $P_3$  - риск заказчика.

Число и номер критериев	Оценка достоверности		
	Вероятность правильных решений $P_n$	Риск поставщика $P_{\text{пост}}$	Риск заказчика $P_3$
1	0,88	0,06	0,18
1 и 2	0,94	0,12	0,08

## ВЫВОДЫ

Разработана методика ДНК микросхемы 142ЕН5А,Б. В качестве информативного параметра использована величина падения напряжения  $U_T$  на образцовом резисторе, включенном в цепь питания контролируемой микросхемы. Величина  $U_T$  пропорциональна току потребления. Измерение  $U_T$  необходимо производить в двух тестах - при минимально и максимально допустимых напряжениях питания. Установлено, что при отбра-

ковке микросхем по одному критерию обеспечивается вероятность правильных решений  $R_p = 0,88$  при риске поставщика  $R_{пост} = 0,06$  и риске заказчика  $R_z = 0,18$ . При отбраковке по двум критериям  $R_p$  возрастает до  $0,94$  при  $R_{пост} = 0,12$  и  $R_z = 0,08$ . Разработана и изготовлена установка ДНК микросхемы 142ЕН5. Основным функциональным узлом является источник питания, включающий в себя двухполупериодный выпрямитель и стабилизатор напряжения компенсационного типа. Измерительная цепь включает в себя образцовый резистор с сопротивлением  $1000 \pm 1\%$  Ом и адаптер для подключения выводов микросхемы к выходу стабилизатора. Используется универсальный вольтметр В7-38.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лавренцов В.Д., Вансков В.П. Система обеспечения качества и надежности ИЭТ в аппаратуре с длительными сроками эксплуатации // Надежность и контроль, качества изделий электронной техники. М.: ЦНИИ "Циклон". -1991.- С.7.
2. Маловик К.Н. Обеспечение надежности стабилизаторов напряжения при проектировании и производстве. -М.: Радио и связь, 1988.-96 с.
3. Чернышев А.А. Основа надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. -М.: Радио и связь, 1988.-256 с.
4. Данилин Н.С., Гусев Л.И., Загоровский Ю.И. Обеспечение качества РЭА методами диагностики и прогнозирования. М. : Изд-во стандартов, 1983.-224 с.
5. Пряников В.С. К вопросу о прогнозировании надежности транзисторов // Известия вузов. Радиоэлектроника.-1970.-Т.13, №1,-С.99-102.

### МАТРИЦА РАССЕЯНИЯ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ С ГИРОМАГНИТНЫМ РЕЗОНАТОРОМ И НЕРЕГУЛЯРНОСТЯМИ В ОБОИХ ПЛЕЧАХ

Добкин Б.В.

При построении различных СВЧ устройств используется электродинамическая структура (ЭС) в виде отрезка линии передачи (ЛП) с поперечно намагниченным гиромагнитным резонатором (ГР). Указанная структура может быть использована в качестве чувствительного элемента при построении измерителя СВЧ импеданса. При этом в одном из плеч имеется некоторая нерегулярность, параметры которой необходимо измерить, а в другом – нерегулярность, обусловленная неидеальностью согласующих элементов и вносящая некоторую погрешность в работу измерителя. Анализ матрицы рассеяния ЛП с ГР и нерегулярностями в обоих плечах позволяет определить влияние нерегулярностей на резонансные характеристики системы и определить требования к отдельным элементам создаваемого устройства. Матрицу рассеяния такой ЭС можно получить