



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 31/303 (2018.08)

(21) (22) Заявка: 2018122679, 21.06.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.06.2018

Дата регистрации:
16.04.2019

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.06.2018

(45) Опубликовано: 16.04.2019 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦИС, для Мешкова
С.А. (НИИ РЛ)

(72) Автор(ы):

Мешков Сергей Анатольевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Московский государственный
технический университет имени Н.Э.
Баумана (национальный исследовательский
университет)" (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2014088947 A1, 27.03.2014. RU
2326394 C1, 10.06.2008. RU 2578053 C1,
20.03.2016. US 8201038 B2, 12.06.2012. US
2017171434 A1, 22.06.2017. US 2012167025 A1,
28.06.2012.

(54) Способ повышения надежности и качества функционирования партии гибридных и монолитных интегральных схем

(57) Реферат:

Изобретение относится к повышению надежности и качества функционирования партии полупроводниковых монолитных и гибридных интегральных схем (ИС). Сущность: ИС подвергают искусственному старению, в результате которого происходит деградация параметров материалов и структуры ИС и изменение их информативных параметров. На основе закономерностей деградации информативных параметров ИС под действием дестабилизирующих факторов эксплуатации определяют функции изменения информативных параметров во времени, строят зависимости вероятности выполнения заданных функций ИС от значений информативных параметров, строят функцию плотности вероятности информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС, строят функцию плотности вероятности информативных параметров с учетом

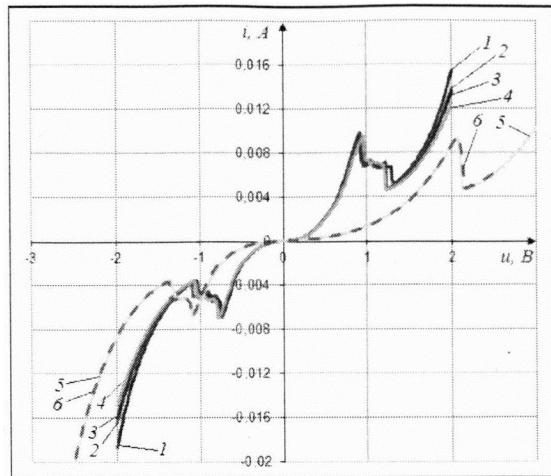
технологических погрешностей параметров конструкции ИС и вероятности выполнения заданных функций. Получают вероятность выполнения заданных функций партией ИС в начальный момент времени, получают вероятность выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки. Корректируют номинальные информативные параметры ИС по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки и синтезируют новые номинальные параметры конструкции ИС, обеспечивающие оптимальные по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки номиналы информативных параметров. Технический результат: повышение надежности и качества функционирования партии гибридных и монолитных ИС. 2 з.п. ф-лы, 6 ил.

1
С1
3
4
9
4
4
8
2
6
U
R

R
U
2
6
8
4
9
4
3
C
1

R U 2 6 8 4 9 4 3 C 1

R U 2 6 8 4 9 4 3 C 1



Фиг. 1

RUSSIAN FEDERATION



(19)

RU

(11)

2 684 943

⁽¹³⁾ C1

(51) Int. Cl.

G01R 31/303 (2006.01)

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC

G01R 31/303 (2018.08)

(21) (22) Application: 2018122679, 21.06.2018

(24) Effective date for property rights:

21.06.2018

Registration date:
16.04.2019

Priority:

(22) Date of filing: 21.06.2018

(45) Date of publication: 16.04.2019 Bull. № 11

Mail address:

105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGTU im. N.E. Baumana, TSIS, dlya Meshkova
S.A. (NII RL)

(72) Inventor(s):

Meshkov Sergej Anatolevich (RU)

(73) Proprietor(s):

federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Moskovskij gosudarstvennyj
tekhnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatelskij universitet)"
(MGTU im. N.E. Baumana) (RU)

(54) METHOD FOR INCREASING RELIABILITY AND QUALITY OF FUNCTIONING BATCH OF HYBRID
AND MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS

(57) Abstract:

FIELD: technological processes.

SUBSTANCE: invention relates to high reliability and quality of operation of a batch of semiconductor monolithic and hybrid integrated circuits (IC). Essence: IC is subject to artificial aging, as a result of which degradation of parameters of materials and structure of IC and change of their informative parameters takes place. Based on patterns of degradation of IC information-bearing parameters under action of destabilizing operation factors, functions of changing information-bearing parameters in time are determined, building dependencies of probability of execution of specified functions of IC from values of information-bearing parameters, constructing a function of probability density of information-bearing parameters taking into account technological errors of parameters of the IC structure, constructing a probability density function of information-bearing parameters taking into

account technological errors of parameters of the design of IC and probability of performing given functions. Probability of performing the given functions with the IC batch at the initial moment in time is obtained, and the probability of performing the given functions by the batch of the IC during a given time is obtained. Nominal informative parameters of the integrated circuit are corrected based on the criterion of the maximum probability of performing given functions by the IC batch during a given operating time and new nominal parameters of the structure of the IC are synthesized, providing optimal by the criterion of maximum probability of the given functions performance by the IC batch during the specified operating time nominal values of the informative parameters.

EFFECT: high reliability and quality of operation of batch of hybrid and monolithic integrated circuits.

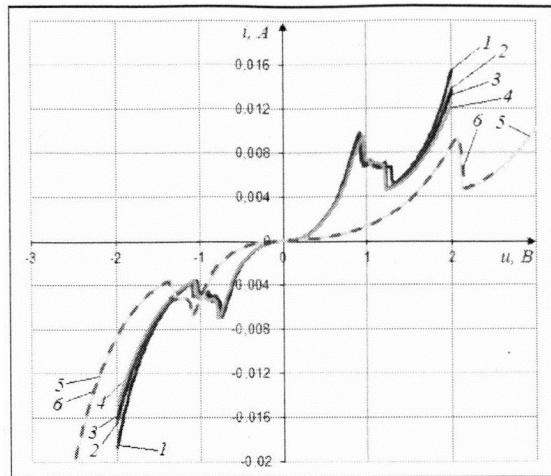
3 cl, 6 dwg

RU 2684943 C1

RU 2684943 C1

R U 2 6 8 4 9 4 3 C 1

R U 2 6 8 4 9 4 3 C 1



Фиг. 1

Область техники

Изобретение относится к способу повышения надежности и качества функционирования партии полупроводниковых монолитных и гибридных интегральных схем (ИС) в заданных условиях эксплуатации.

5 Уровень техники

Из уровня техники известен способ повышения надежности наноэлектронного резонансно-туннельного диода (РТД) на основе многослойных AlGaAs (алюминий, галлий, арсеник) полупроводниковых гетероструктур путем определения стойкости к радиационным и температурным воздействиям (см. RU 2606174 C1, кл. G01R 31/28, 10.01.2017).

Сущность известного изобретения заключается в последовательном приложении циклов радиационных воздействий на партию РТД, доза которых постепенно накапливается в каждом цикле, и температурных воздействий, время воздействия которых увеличивается с тем, чтобы получить вызванные ими изменения вольт -

15 амперной характеристики (ВАХ) в рабочей области не менее чем на порядок больше погрешности измерения, в определении количества циклов радиационных и температурных воздействий путем установления ВАХ, соответствующей параметрическому отказу для конкретного применения РТД, в построении семейства ВАХ, в определении на основе анализа кинетики ВАХ скорости деградации РТД и в 20 определении стойкости к радиационным и температурным воздействиям РТД на основе скорости деградации РТД. Технический результат - повышение надежности путем определения стойкости к радиационным и температурным воздействиям наноэлектронного резонансно-туннельного диода.

Недостатком известного способа являются ограниченность применения.

25 Наиболее близким аналогом (прототипом) является способ повышения надежности полупроводниковых монолитных и гибридных интегральных схем путем искусственного старения, в результате которого происходит деградация параметров материалов и структуры ИС и, как следствие, изменение их информативных параметров (см. US 2014/088947, кл. G01R 31/26, 27.03.2014).

30 В известном способе осуществляют ускоренное стресс-тестирование. Способ осуществляют с помощью встроенного в микросхему микропроцессора, который избирательно чередует работу испытуемой интегральной схемы между тестовым режимом и стрессовым режимом. Микросхема запитывается таким образом, что в режиме стресса испытуемая схема работает при более высоком уровне напряжения, 35 чем функциональная схема. Результаты тестирования интегральной схемы используют для моделирования характеристик деградации и прогнозирования момента времени отказа схемы.

Недостатком прототипа является ограниченность его использования только в условиях эксплуатации.

40 Раскрытие изобретения

Технический результат, на достижение которого направлено изобретение, заключается в повышении вероятности выполнения заданных функций партией гибридных и монолитных ИС в течение заданной наработки за счет учета технологических разбросов параметров конструкции и закономерностей их деградации под действием

45 дестабилизирующих факторов при эксплуатации и, соответственно, повышении надежности и качества функционирования радиоэлектронной аппаратуры на их основе в условиях действия перечисленных факторов.

Технический результат достигается тем, что предложен способ повышения

надежности и качества функционирования партии ИС путем искусственного старения, в результате которого происходит деградация параметров материалов и структуры ИС и, как следствие, изменение их информативных параметров. При этом на основе закономерностей деградации информативных параметров ИС под действием

- 5 дестабилизирующих факторов эксплуатации определяют функции изменения информативных параметров во времени, строят зависимости вероятности выполнения заданных функций ИС от значений информативных параметров, строят функцию плотности вероятности информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС, строят функцию плотности вероятности
- 10 информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС и вероятности выполнения заданных функций, получают вероятность выполнения заданных функций партией ИС в начальный момент времени, получают вероятность выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки, корректируют номинальные информативные параметры ИС по критерию максимума
- 15 вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки, синтезируют новые номинальные параметры конструкции ИС, обеспечивающие оптимальные по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки номиналы информативных параметров.

Причем искусственное старение ИС ведут циклами: воздействие повышенной

- 20 температуры около 150°C в течение 1-20 часов под электрической нагрузкой, измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 часов под электрической нагрузкой, измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 часов под электрической нагрузкой, измерение информативных параметров таким образом, чтобы
- 25 вызванное их действием изменение информативных параметров было не менее чем на порядок больше погрешности измерений.

Причем искусственное старение ИС ведут циклами: ионизирующие излучения дозой порядка 10^3 - 10^6 рад, измерение информативных параметров, ионизирующие излучения

- 30 дозой порядка 10^3 - 10^6 рад, измерение информативных параметров таким образом, чтобы вызванное их действием изменение информативных параметров было не менее чем на порядок больше погрешности измерений.

Перечень фигур

- На фиг. 1 показаны вольт - амперные характеристики РТД, полученные в результате циклов термических воздействий и циклов ионизирующих излучений гамма-квантами.

На фиг. 2 показан пучок функций изменения информативного параметра $Y(t)$ во времени.

На фиг. 3 показана зависимость вероятности P_ϕ выполнения заданных функций ИС от значения информативного параметра.

- 40 На фиг. 4 показана функция плотности вероятности информативного параметра $f(Y)$ с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС.

На фиг. 5 показана функция плотности вероятности информативного параметра $f_\Phi(Y)$ с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС и вероятности выполнения заданных функций.

- 45 На фиг. 6 показаны зависимость вероятности P_ϕ выполнения заданных функций ИС от значения информативного параметра, функция плотности вероятности информативного параметра $f(Y)$ с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС, функция плотности вероятности информативного параметра $f_\Phi(Y)$

с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС и вероятности выполнения заданных функций в начальный момент времени $t=t_0$ и после заданной наработки в момент времени $t=t_1$ и оптимальное положение функции плотности вероятности информативного параметра $f(Y)$, которому соответствует новое 5 номинальное значение информативного параметра Y_{opt} .

Осуществление изобретения

Способ повышения надежности и качества функционирования гибридных и монолитных интегральных схем осуществляется следующим образом.

Для определения функций изменения информативных параметров Y ИС под действием 10 дестабилизирующих факторов от времени эксплуатации проводится искусственное старение, заключающееся в воздействии на ИС повышенной температуры и ионизирующих излучений (ИИ), в результате которых происходит деградация материалов ИС и, как следствие, изменение их электрических характеристик. В 15 результате действия ИИ в гетероструктуру и в контактные области ИС вносятся дефекты, ускоряющие диффузионные процессы в них. Под действием повышенной температуры диффузионные процессы в гетероструктуре и контактных областях также ускоряются, что является причиной дополнительных изменений информативных параметров.

В качестве информативных параметров полупроводниковых приборов, таких как транзисторы, диоды и др., наиболее часто используются их вольт-амперные характеристики (ВАХ), из которых можно получить такие параметры, как дифференциальное сопротивление в рабочей области, крутизна, напряжение отсечки и др. В качестве информативных параметров устройств на основе диодов и транзисторов 25 могут использоваться их показатели назначения, такие как коэффициент усиления для усилителей, потери преобразования и ширина динамического диапазона для смесителей.

Радиационное облучение может производиться с помощью источника γ -квантов 60 ^{60}Co , например, ГИК-17М. Для температурного воздействия может использоваться лабораторная электронагревательная печь, например, СНОЛ 6/11.

Доза ИИ, температура и длительность термического воздействия выбираются такими, чтобы вызванное их действием изменение информативных параметров было не менее чем на порядок больше погрешности измерений. Опытным путем установлено, что 30 искусственное старение ИС оптимально вести циклами, например, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 час. под электрической нагрузкой, измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 час. под электрической нагрузкой, измерение информативных параметров и/или 35 измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 час. под электрической нагрузкой, измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 час. под электрической нагрузкой, измерение информативных параметров и/или 40 измерение информативных параметров, измерение информативных параметров, измерение информативных параметров, измерение информативных параметров и/или измерение информативных параметров.

Изменение ВАХ диодов и транзисторов регистрируется измерительным прибором (например, совместное использование микрозондового устройства (МЗУ) «ЛОМО 45 900072» и источника питания с цифровым управлением «Agilent 3640A DC Power Supply»). Изменение информативных параметров функциональных устройств регистрируется измерительными приборами, соответствующими выбранным информативным параметрам.

Пример изменения информативных параметров, в результате которых получается кинетика информативных параметров, приведен на фиг. 1. На оси абсцисс приведены значения напряжения U в вольтах, на оси ординат приведены значения тока I в амперах.

На фигуре 1 показаны кривые 1 - ВАХ до ионизирующих и температурных

5 воздействий, 2 - ВАХ после 1-го цикла ионизирующих и температурных воздействий, 3 - ВАХ после 2-го цикла ионизирующих и температурных воздействий, 4 - ВАХ после 3-го цикла ионизирующих и температурных воздействий, 5 - ВАХ после 4-го цикла ионизирующих и температурных воздействий, 6 - ВАХ после 5-го цикла ионизирующих и температурных воздействий.

10 На основе полученных закономерностей деградации информативных параметров ИС строят функции их изменения во времени. На фиг. 2 показан пучок функций изменения информативного параметра $Y(t)$ во времени.

Строят зависимости вероятности $P_\phi(Y)$ выполнения заданных функций ИС от 15 значений информативных параметров. На фиг. 3 показан пример зависимости $P_\phi(Y)$. Зависимости $P_\phi(Y)$ строятся методом экспертных оценок. Методика экспертного оценивания излагается в учебном пособии Абомелик Т.П. Управление качеством 39-44.

20 Странят функцию плотности вероятности информативных параметров $f(Y)$ с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС (см. фиг. 4). Методы и алгоритмы построения функций плотности вероятности информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС рассматриваются в учебном пособии Технологическая оптимизация микроэлектронных устройств СВЧ: 25 учебное, пособие / А.Г. Гудков, С.А. Мешков, М.А. Синельщикова, Е.А. Скороходов. - М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014, с. 16-20.

На основе зависимостей вероятности $P_\phi(Y)$ выполнения заданных функций ИС от 30 значений информативных параметров и функции плотности вероятности информативных параметров $f(Y)$ с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС получают функцию плотности вероятности информативных параметров $f_\phi(Y)$ (фиг. 5) с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС и вероятности выполнения заданных функций как

$$f_\phi(Y) = P_\phi(Y)f(Y).$$

35 Путем численного интегрирования функции плотности вероятности информативных параметров $f_\phi(Y)$ по значениям информативного параметра получают вероятность выполнения заданных функций партией ИС в момент времени t_i :

$$40 \quad P_\phi^n(t_i) = \int_{-\infty}^{\infty} f_\phi(Y, t = t_i) dY.$$

45

Путем численного интегрирования функции $P_\phi^n(t_i)$ по времени в

⁵ пределах заданной наработки

$$\begin{aligned} \text{10} \quad P_\phi^n(t_0, t_1) &= \int_{t_0}^{t_1} P_\phi^n(t) dt \\ \text{15} \end{aligned}$$

получают вероятность выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки.

²⁰ Корректируют номинальные информативные параметры ИС по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки, синтезируют новые номинальные параметры конструкции ИС, обеспечивающие оптимальные по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки номиналы информативных параметров.

²⁵ Корректировка номинальных информативных параметров ИС по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки является задачей оптимизации. На фиг. 6 представлена графическая интерпретация решаемой задачи. На ней показана зависимость P_ϕ вероятности выполнения заданных функций ИС от значения информативного параметра, функция плотности вероятности информативного параметра $f(Y)$ с учетом технологических ³⁰ погрешностей параметров конструкции ИС, функция плотности вероятности информативного параметра $f_\Phi(Y)$ с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС и вероятности выполнения заданных функций в начальный момент времени $t=t_0$ и после заданной наработки в момент времени $t=t_1$ и оптимальное ³⁵ положение функции плотности вероятности информативного параметра $f(Y)$, которому соответствует новое номинальное значение информативного параметра Y_{opt} .

Задача оптимизации ставится следующим образом. Целевая функция: вероятность выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки (t_0-t_1)

$$\begin{aligned} \text{40} \quad P_\phi^n(t_0, t_1) &= \int_{t_0}^{t_1} P_\phi^n(t) dt , \\ \text{45} \end{aligned}$$

где вероятность выполнения заданных функций партией ИС в момент времени t_i

$$P_{\phi}^n(t_i) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{\phi}(Y, t = t_i) dY,$$

10

где $\bar{Y} = q(\bar{X})$, \bar{X} - вектор параметров конструкции

15

ИС.

20

Критерий оптимальности: $\max P_{\phi}^n(t_0, t_1)$.

Управляемые параметры: номиналы информативных параметров $Y_{\text{ном}}$.

Ограничения:

25

$$\bar{\sigma} = \text{const}, \bar{X} \in O_k, \bar{X} \in O_T, \text{где } \bar{\sigma}$$

30

- вектор разбросов (технологическая точность) параметров конструкции ИС, O_k, O_T - ограничения конструкторского и технологического характера. Задача решается методами одномерной условной оптимизации, описанными в книге Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. 2-е изд., М., Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, с 157-170.

35

В результате решения задачи оптимизации получают новые значения номиналов информативных параметров $Y_{\text{ном}}$, которым соответствует

40

$$\max P_{\phi}^n(t_0, t_1)$$

45

Затем осуществляется синтез параметров конструкции $X_{\text{ном}}$, обеспечивающих новые оптимальные по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки номиналы информативных параметров $Y_{\text{ном}}$. Синтез ведется итерационными методами с использованием методов оптимизации нулевого, первого, второго порядка, которые рассматриваются в книге Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учебник для вузов. 2-е изд., М., Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, с 157-170.

В результате указанного выше синтеза новых параметров конструкции ИС решается поставленная задача, а именно обеспечиваются новые оптимальные по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки параметры и достигается повышение надежности и качества

5 функционирования партии гибридных и монолитных ИС за счет учета технологических разбросов параметров конструкции и закономерностей их деградации под действием дестабилизирующих факторов при эксплуатации и, соответственно, повышение надежности и качества функционирования радиоэлектронной аппаратуры на их основе в условиях действия перечисленных факторов.

10

(57) Формула изобретения

1. Способ повышения надежности и качества функционирования партии гибридных и монолитных интегральных схем (ИС) путем искусственного старения, в результате которого происходит деградация параметров материалов и структуры ИС и, как следствие, изменение их информативных параметров, отличающийся тем, что

15 на основе закономерностей деградации информативных параметров ИС под действием дестабилизирующих факторов эксплуатации определяют функции изменения информативных параметров во времени,

20 строят зависимости вероятности выполнения заданных функций ИС от значений информативных параметров,

строят функцию плотности вероятности информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС,

25 строят функцию плотности вероятности информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС и вероятности выполнения заданных функций,

30 получают вероятность выполнения заданных функций партией ИС в начальный момент времени,

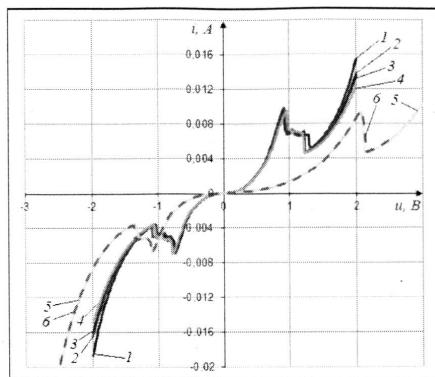
получают вероятность выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки,

корректируют номинальные информативные параметры ИС по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки,

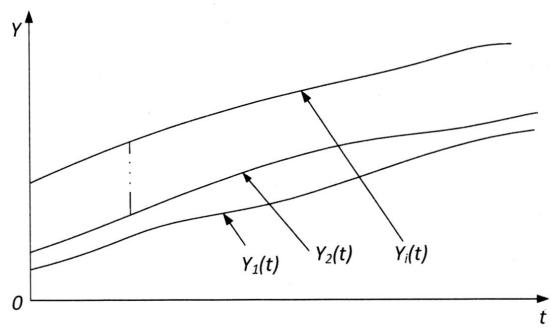
35 синтезируют новые номинальные параметры конструкции ИС, обеспечивающие оптимальные по критерию максимума вероятности выполнения заданных функций партией ИС в течение заданной наработки номиналы информативных параметров.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что искусственное старение ИС ведут циклами: воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 ч, измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 ч, измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 ч, измерение информативных параметров таким образом, чтобы вызванное их действием изменение информативных параметров было не менее чем на порядок больше погрешности измерений.

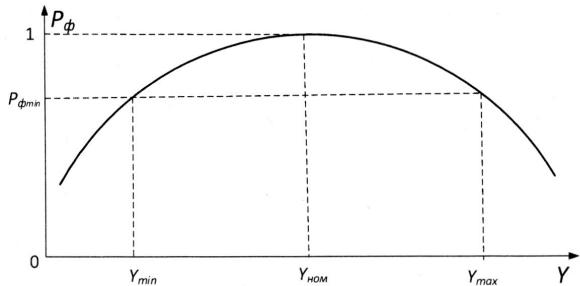
3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что искусственное старение ИС ведут циклами: ионизирующие излучения дозой порядка 10^3 - 10^6 рад, измерение информативных параметров, ионизирующие излучения дозой порядка 10^3 - 10^6 рад, измерение информативных параметров таким образом, чтобы вызванное их действием изменение информативных параметров было не менее чем на порядок больше погрешности измерений.



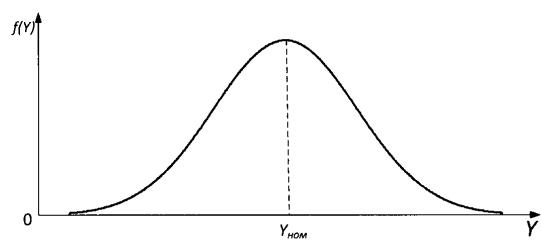
Фиг. 1



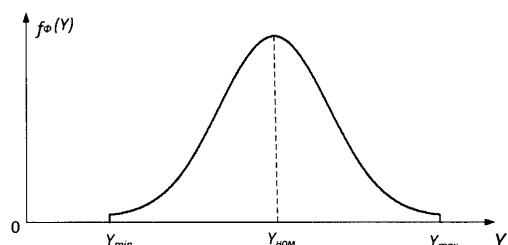
Фиг. 2



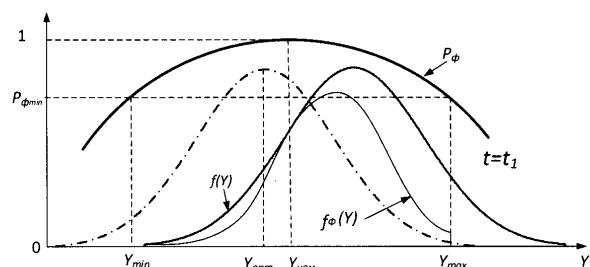
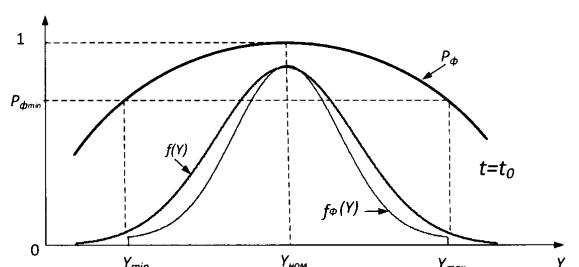
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6