



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01R 31/28 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017141625, 29.11.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.11.2017

Дата регистрации:
22.08.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.11.2017

(45) Опубликовано: 22.08.2018 Бюл. № 24

Адрес для переписки:
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, ЦЗИС, 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)

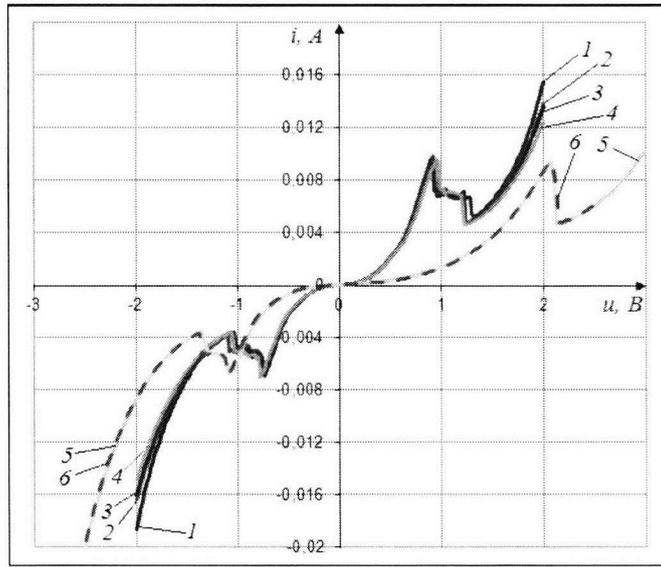
(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 20140088947 A1, 27.03.2014. RU 2606174 C1, 10.01.2017 C1. RU 2578053 C1, 20.03.2016. RU 2326394 C1, 10.06.2008. US 2017177434 A1, 22.06.2017. US 20160116529 A1, 28.04.2016. CN 105203942 A, 30.12.2015. US 2012105240 A1, 03.05.2012.

(54) Способ повышения надежности гибридных и монолитных интегральных схем

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу повышения надежности полупроводниковых монолитных и гибридных интегральных схем (ИС) в заданных условиях эксплуатации. Сущность: определяют скорость деградации информативных параметров ИС в результате искусственного старения. Строят функцию плотности вероятности информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС. Определяют методом имитационного моделирования на основе полученных закономерностей и скорости деградации информативных параметров ИС траектории их изменения во времени. Определяют моменты времени параметрических отказов всех ИС в партии. Статистически обрабатывают моменты

времени параметрических отказов всех ИС партии и определяют среднюю наработку на отказ. Корректируют номинальные информативные параметры ИС по критерию максимизации средней наработки на отказ, в течение которого функция плотности вероятности их информативных параметров во времени не выходит за пределы наложенных разработчиком ограничений. Синтезируют новые параметры конструкции ИС, обеспечивающие новые оптимальные по критерию максимальной наработки на отказ номиналы информативных параметров. Технический результат: повышение времени наработки на отказ гибридных и монолитных ИС. 2 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 1

RU 2664759 C1

RU 2664759 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01R 31/28 (2006.01)

(21)(22) Application: **2017141625, 29.11.2017**

(24) Effective date for property rights:
29.11.2017

Registration date:
22.08.2018

Priority:

(22) Date of filing: **29.11.2017**

(45) Date of publication: **22.08.2018** Bull. № 24

Mail address:

**105005, Moskva, ul. 2-ya Baumanskaya, 5, str. 1,
MGТУ im. N.E. Baumana, TSZIS, 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
tehnicheskij universitet imeni N.E. Baumana
(natsionalnyj issledovatel'skij universitet)"
(MGТУ im. N.E. Baumana) (RU)**

(54) **METHOD OF INCREASING THE RELIABILITY OF HYBRID AND MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS**

(57) Abstract:

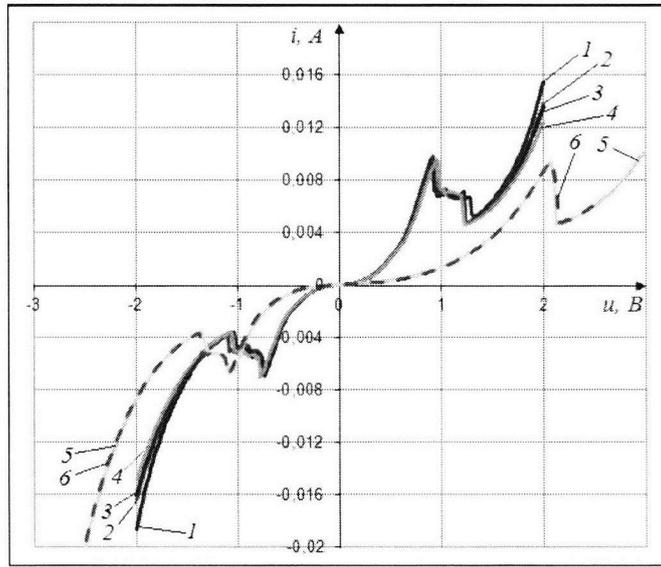
FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to the method for improving the reliability of semiconductor monolithic and hybrid integrated circuits (ICs) under the predetermined operating conditions. Degradation rate of informative parameters of IC is determined as a result of artificial aging. Function of the probability density of informative parameters is constructed, taking into account the technological errors of the parameters of the IC design. Trajectories of their variation in time are determined using the method of simulation based on the obtained regularities and the rate of degradation of the informative IC parameters. Moments of time of the parametric failures of all ICs in the batch are determined. Statistically, the moments of time of the

parametric failures of all ICs of the batch are processed and the mean cycle between failures is determined. Nominal informative parameters of the ICs are corrected according to the criterion of maximizing the mean cycle between failures, during which the probability density function of their informative parameters in time does not exceed the limits, which are imposed by the developer. New parameters of the IC design are synthesized, which provide for the new optimal values of informative parameters according to the criterion of maximum cycle between failures.

EFFECT: increased time between failures of hybrid and monolithic ICs.

3 cl, 5 dwg



Фиг. 1

RU 2664759 C1

RU 2664759 C1

Область техники

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

Уровень техники

5 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).

10 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-амперной характеристики (ВАХ) в рабочей области не менее чем на порядок больше погрешности
15 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 определении стойкости к радиационным и температурным воздействиям РТД на основе скорости деградации
20 РТД. Технический результат - повышение надежности путем определения стойкости к радиационным и температурным воздействиям наноэлектронного резонансно-туннельного диода.

Недостатком известного способа является ограниченность применения.

Наиболее близким аналогом (прототипом) является способ повышения надежности
25 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).

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

Недостатком прототипа является ограниченность его использования только в условиях эксплуатации.

Раскрытие изобретения

40 Задача, на решение которой направлено изобретение, заключается в повышении времени наработки на отказ гибридных и монолитных ИС за счет учета технологических разбросов параметров конструкции и закономерностей их деградации под действием внешних и внутренних факторов при эксплуатации и, соответственно, повышении надежности радиоэлектронной аппаратуры на их основе в условиях действия
45 перечисленных факторов.

Поставленная задача решается тем, что предложен способ повышения надежности ИС путем искусственного старения, в результате которого происходит деградация параметров материалов и структуры ИС и, как следствие, изменение их информативных

параметров. При этом определяют скорость деградации информативных параметров ИС, строят функцию плотности вероятности информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС, определяют методом имитационного моделирования на основе полученных закономерностей и скорости деградации информативных параметров ИС траектории их изменения во времени, определяют моменты времени параметрических отказов всех ИС в партии, статистически обрабатывают моменты времени параметрических отказов всех ИС партии и определяют среднюю наработку на отказ, корректируют номинальные информативные параметры ИС по критерию максимизации средней наработки на отказ, в течение которой функция плотности вероятности их информативных параметров во времени не выходит за пределы наложенных разработчиком ограничений, и синтезируют новые параметры конструкции ИС, обеспечивающие новые оптимальные по критерию максимальной наработки на отказ номиналы информативных параметров.

Причем искусственное старение ИС ведут циклами: 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, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 часов под электрической нагрузкой, измерение информативных параметров таким образом, чтобы 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 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 чертежей

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 траекторий информативного параметра $X(t)$ во времени.

На фиг. 3 показана схема формирования постепенного отказа ИС.

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 устройства $f(Y)$ в начальный момент времени t_0 и после заданной наработки в момент времени t_1 .

Осуществление изобретения

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

Для определения кинетики параметров ИС под действием дестабилизирующих факторов 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 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

5 дифференциальное сопротивление в рабочей области, крутизна, напряжение отсечки и др. В качестве информативных параметров устройств на основе диодов и транзисторов 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

10 ^{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

15 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, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 час под

20 электрической нагрузкой, измерение информативных параметров и/или ионизирующие излучения дозой порядка 10^3 - 10^6 рад, измерение информативных параметров, ионизирующие излучения дозой порядка 10^3 - 10^6 рад, измерение информативных параметров.

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

30 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 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.

40 На основе изменения информативных параметров определяется скорость их деградации.

На основе полученных закономерностей и скорости деградации информативных параметров ИС строят траектории их изменения во времени. На фиг. 2 показан пучок траекторий информативного параметра $X(t)$ во времени. Точки выхода функции $X(t)$

45 за пределы заданных ограничений $X_{\text{в}}$ фиксируются как моменты времени параметрических отказов t_i .

Методом имитационного моделирования на основе полученных траекторий изменений во времени определяют моменты времени параметрических отказов t_i всех

ИС в партии, статистически обрабатывают моменты времени параметрических отказов

и определяют среднюю наработку на отказ $t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$, где n - количество случайных

5 реализаций функции $X(t)$, t_{cp} - средняя наработка партии ИС на отказ. Общая схема формирования постепенного отказа ИС показана на фиг. 3, где $f(t)$ - функция плотности вероятности наработки на отказ.

10 Строится функция плотности вероятности информативных параметров $f(Y)$ с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС (см. фиг. 4).

Методы и алгоритмы для построения функции плотности вероятности информативных параметров с учетом технологических погрешностей параметров конструкции ИС рассматриваются в учебном пособии Технологическая оптимизация микроэлектронных устройств СВЧ: 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.

15 Корректировка номинальных информативных параметров ИС по критерию максимизации средней наработки на отказ, в течение которой функция плотности вероятности их информативных параметров во времени не выходит за пределы наложенных разработчиком ограничений, является задачей оптимизации. На фиг. 5 представлена графическая интерпретация решаемой задачи. На ней показана функция плотности вероятности информативного параметра устройства $f(Y)$ в начальный момент времени t_0 и после заданной наработки в момент времени t_1 . Задача ставится

20 следующим образом. Целевая функция: $P_r(t, \bar{Y}, \bar{\sigma}, \bar{\Delta})$ - вероятность выхода годных ИС, где $\bar{Y} = q(\bar{X})$, \bar{X} - вектор параметров конструкции ИС; \bar{Y} - вектор информативных электрических параметров ИС, t - время эксплуатации, $\bar{\sigma}$ - вектор разбросов (технологическая точность) параметров конструкции ИС; $\bar{\Delta}$ - вектор допустимых отклонений (допуски) на информативные параметры ИС.

$$P_r = \int_{Y_{MIN}}^{Y_{MAX}} f(Y) dY,$$

$f(Y)$ - функция плотности вероятности информативных параметров ИС;

35 Y_{MIN} , Y_{MAX} - границы поля допуска $\bar{\Delta}$ на информативные параметры ИС,

Y_{NOM} - номинал информативного параметра ИС;

Y_{OPT} - новые значения номинала информативного параметра ИС;

P_r^i - вероятность попадания параметра Y^i в элементарный интервал ΔY^i .

40 Критерий оптимальности: $\max P_r(t, \bar{Y}, \bar{\sigma}, \bar{\Delta})$.

Управляемые параметры: номиналы информативных параметров Y .

Ограничения: $\bar{\Delta} = const$, $\bar{\sigma} = const$, $\bar{X} \in O_k$, $\bar{X} \in O_r$, где O_k , O_r - 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.

В результате решения задачи оптимизации получают новые значения номиналов Y_{OPT} , которым соответствует $\max P_T$ в течение наработки от t_0 до t_1 .

Затем осуществляется синтез параметров конструкции X , обеспечивающих новые оптимальные по критерию максимальной наработки на отказ номиналы информативных параметров Y_{OPT} . 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 максимальной наработки на отказ номиналы информативных параметров и достигается повышение времени наработки на отказ гибридных и монолитных ИС за счет учета технологических разбросов параметров конструкции и закономерностей их деградации под действием внешних и внутренних факторов при эксплуатации и, соответственно, повышение надежности радиоэлектронной аппаратуры на их основе в условиях действия перечисленных факторов.

(57) Формула изобретения

1. Способ повышения надежности 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

определяют скорость деградации информативных параметров ИС,

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

определяют методом имитационного моделирования на основе полученных закономерностей и скорости деградации информативных параметров ИС траектории их изменения во времени,

определяют моменты времени параметрических отказов всех ИС в партии,

статистически обрабатывают моменты времени параметрических отказов всех ИС партии и определяют среднюю наработку на отказ,

корректируют номинальные информативные параметры ИС по критерию максимизации средней наработки на отказ, в течение которой функция плотности вероятности их информативных параметров во времени не выходит за пределы наложенных разработчиком ограничений,

и синтезируют новые параметры конструкции ИС, обеспечивающие новые оптимальные по критерию максимальной наработки на отказ 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 час, измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 час, измерение информативных параметров, воздействие повышенной температуры около 150°C в течение 1-20 час, 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.

5

10

15

20

25

30

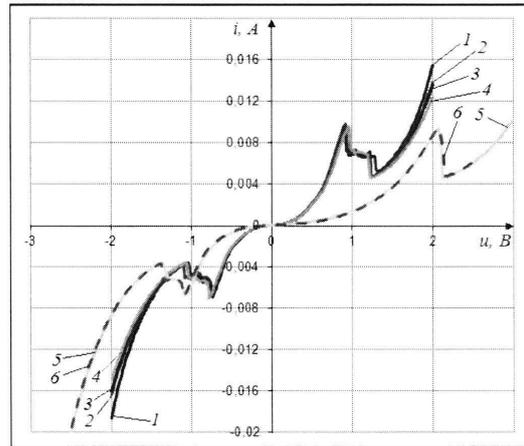
35

40

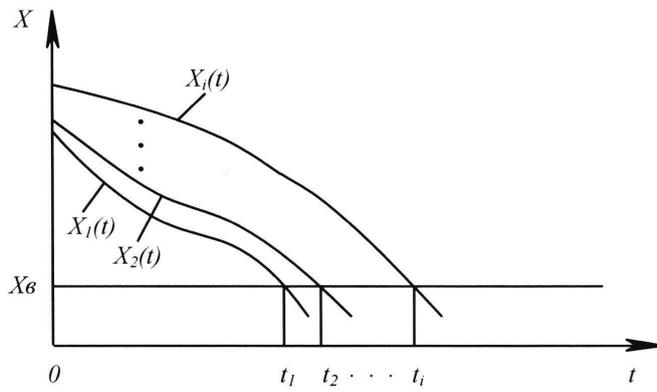
45

1

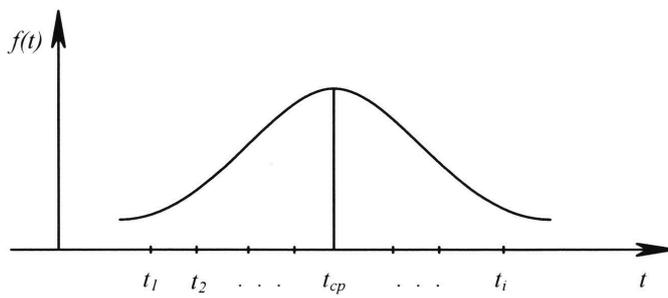
8



Фиг. 1

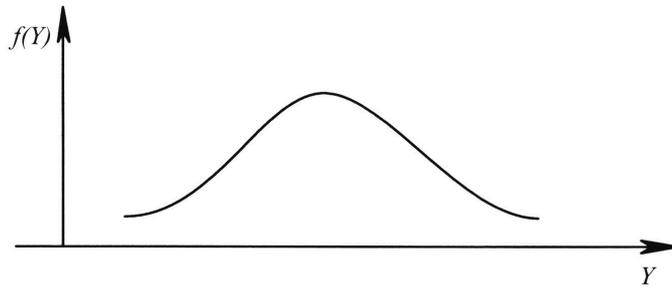


Фиг. 2

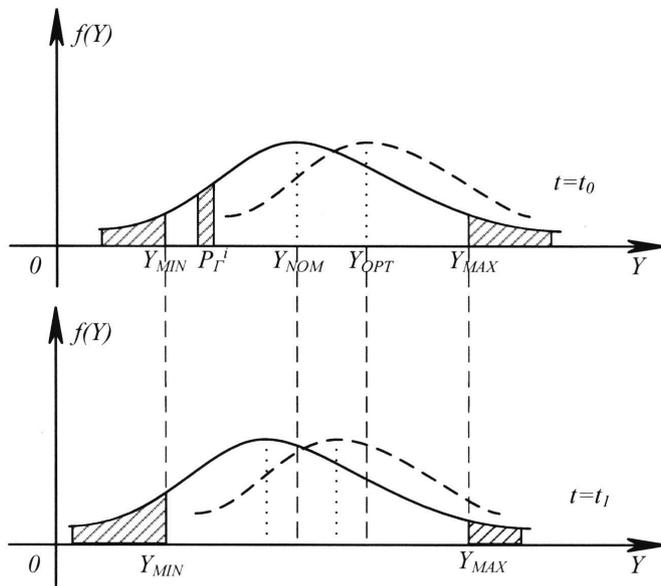


Фиг. 3

2



Фиг. 4



Фиг.5