

Изобретение относится к электронной промышленности и может быть использовано для отбраковки потенциально надежных полупроводниковых приборов и ИС с МДП структурой на разных стадиях их изготовления.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому изобретению является способ, при котором осуществляется одновременное воздействие на испытуемые приборы высокой температуры и создание на них определенного режима, причем температура создается за счет подачи на МДП прибор дозированной электрической мощности и сравнения измерения информативных электропараметров до и после воздействия с эталонами.

Согласно этому способу импульсы греющего тока выбирают больше, чем тепловая постоянная кристалла, и меньше, чем постоянная прибора, а мощность - больше, чем полугорная максимально допустимая рассеивающая мощность. При этом для обеспечения прохождения импульсов греющего тока, а также с целью потенциальной тренировки на затворы МДП структуры подают импульсы открывающего напряжения с амплитудой менее 0,9 от напряжения пробоя подзатворного диэлектрика.

К недостаткам способа-прототипа относятся:

- малая производительность отбраковки, обусловленная ограничением по мощности разогревающих импульсов и ограниченной длительностью импульсов разогрева, которая больше постоянной тепловой релаксации кристалла;

- малая достоверность способа, обусловленная тем, что с его помощью отбраковывается нестабильность, проявляющаяся при подаче на затвор запирающих напряжений;

- узость области применения, обусловленная самим принципом способа, при котором не на все внутренние МДП структуры сложных ИС возможна подача электрических режимов во время нагрева, что снижает эффективность отбраковки.

Таким образом, указанные недостатки ограничивают область применения и функциональные возможности способа-прототипа.

Задачей предлагаемого изобретения является повышение производительности, достоверности и расширение области применения отбраковки путем изменения режима подачи и параметром импульсов разогрева. Указанная задача решается тем, что по способу отбраковки полупроводниковых приборов, включающему воздействие на контролируемый прибор тренирующими электропотенциалами и импульсом греющей мощности величиной не менее 1,5 максимально допустимой рассеивающей мощности, определение изменения параметров контролируемого прибора и сравнение этого изменения с эталонным значением, согласно изобретению, после воздействия на контролируемый прибор импульсом греющей мощности и в процессе воздействия на него тренирующими электропотенциалами, воздействуют на контролируемый прибор термостабилизирующим импульсом греющей мощности в течение заданного интервала времени, а параметры импульса греющей мощности выбирают из соотношения:

$$P \leq \frac{T_{кр} - T_o}{\sum_{i=1}^N R_{Ti} [1 - \exp(-t_n/\tau_i)]}, \quad (1)$$

$$P = j_{max} \cdot S \cdot U,$$

где P , t_n - мощность, выделяемая на контролируемом приборе при прохождении импульса греющей мощности и его длительность, соответственно.

$T_{кр}$, T_o - критическая температура и температура активной части кристалла до воздействия импульсов греющей мощности, соответственно,

τ_i , R_{Ti} - тепловые постоянные и тепловые сопротивления времени элементов контролируемого прибора, соответственно,

N - число элементов контролируемого прибора,

j_{max} , S - максимально допустимая плотность тока через металлизацию контролируемого прибора и ее суммарная площадь, соответственно.

U - падение напряжения на нагреваемом элементе контролируемого прибора.

Полупроводниковый прибор, одновременно с воздействием напряжений определенной полярности, обеспечивающих его потенциальную тренировку, нагревается подачей импульсов греющего тока до высокой температуры, при которой резко ускоряются деградационные процессы в приборе и за счет этого возможно сокращение времени отбраковки.

Подача греющих импульсов осуществляется тремя способами:

- подачей напряжения прямого смещения на p-n переход величиной большей, чем прямое падение напряжения на открытом p-n переходе (например, для германиевого p-n перехода - 0,5 В, кремниевого - 0,7 В);

- подачей напряжения обратного смещения на p-n переход, при этом величина его больше напряжения лавинного пробоя p-n перехода, т.к. в противном случае ток будет, практически, отсутствовать и прибор разогреваться не будет;

- для МДП приборов и ИС-подачей на исток-сток полностью открытого канала напряжений больше, чем предельно допустимое по техническим условиям (ТУ) на данный прибор напряжение.

При таком способе подачи греющих импульсов, максимальная их мощность фактически ограничена только минимальным временем их действия и максимальной температурой функционирования p-n перехода прибора $T_{кр}$.

Для данного прибора возможна подача разогревающих импульсов такой мощности:

1. Прямое смещение p-n перехода стока при $U_{пр} = 6,0$ В. $I_{пр} \geq 2,5$ А,

$P \geq 2,5 \times 6 = 15,0$ Вт

2. Обратное смещение p-n перехода при $U_{обр} = 30-35$ В, $I_{пр} \geq 0,5$ А

$P \geq 0,5 \times 30 + 35 = 15 + 17,5$ Вт

3. Разогрев за счет прохождения тока через открытый канал прибора.

Ток полного открытия канала при стоковом напряжении $U_{ис} = 25$ Вт больше, чем максимально допустимое напряжение стока ($U_{ис\max} = 15$ В) и равен $I = 300-600$ мА

$$P \geq 300+600 \times 25 = 7,5+15.0 \text{ Вт.}$$

Максимальная (критическая) $T_{кр}$ температура функционирования кристалла определяется условием существования р-п перехода в приборе, т.е. такой температурой при которой проводимость наиболее низколегированной части р-п перехода становится собственной и р-п переход исчезает. Эта температура определяется из уравнения 4:

$$n_i = 4,9 \cdot 10^{15} \left(\frac{m_{dc} \cdot m_{dh}}{m_0^2} \right)^{3/4} \times \\ \times M_c^{1/2} \cdot T^{3/2} \cdot \exp \left(-\frac{E_g}{2kT} \right), \quad (2)$$

где n_i - концентрация примеси в собственном полупроводнике;

m_{dc} , m_{dh} - электронная и дырочная эффективная масса плотности состояний в зоне проводимости;

M_c - число эквивалентных минимумов в зоне проводимости;

E_g , k - ширина запрещенной зоны и постоянная Больцмана. соответственно;

T - температура полупроводника.

Для кремния с концентрацией низколегированной части перехода N_{np} при критической температуре, когда эта концентрация равна концентрации примеси в собственном полупроводнике n_i уравнение (1) имеет вид;

$$N_{np} \approx 3,615 \cdot 10^{15} T_{кр}^{3/2} \exp \left(\frac{5896}{T_{кр}} \right). \quad (3)$$

где N_{np} концентрация примеси в низколегированной части р-п перехода (см^{-3});

$T_{кр}$ - критическая температура р-п перехода.

Мощность греющих импульсов определяется условиями:

$$P \leq \frac{T_{кр} - T_0}{R_T(t)}, \quad (4)$$

где T_0 - температура р-п перехода до подачи разогревающих импульсов;

$R_T(t)$ - переходное тепловое сопротивление. Переходное тепловое сопротивление $R_T(t)$ при подаче ступеньки мощности определяется выражением:

$$R_t(t) = \sum_{i=1}^N R_{Ti} [1 - \exp(-t/\tau_i)], \quad (5)$$

где t - время;

N - количество элементов (участков) прибора;

τ_i - тепловые постоянные времени участков полупроводникового прибора;

R_{Ti} - тепловые сопротивления, соответствующие постоянным времени и связанные с ним формулой:

$$\tau_i = R_{Ti} \cdot C_{Ti},$$

где C_{Ti} - теплоемкость участка прибора.

С учетом соотношения (5) получают выражение для допустимой мощности греющих импульсов в виде:

$$P \leq \frac{T_{кр} - T_0}{\sum_{i=1}^N R_{Ti} [1 - \exp(-t_n/\tau_i)]}, \quad (7)$$

где t_n - длительность импульса разогрева,

Таким образом, выделяемая на приборе мощность не должна превышать значения, определяемых выражением (5). При больших значениях мощности прибор перестает функционировать, т.к. входящие в его состав переходы исчезают.

Длительность импульса электрического разогрева кристалла определяется его мощностью P по формуле (1). Выделяемая на приборе мощность определяется величиной максимально допустимого тока, протекающего через него:

$$I_{\max} = J_{\max} \cdot S_{\Sigma}$$

где J_{\max} - максимально допустимая плотность тока через металлизацию испытуемого прибора;

S_{Σ} - суммарная площадь поперечного сечения металлизации, через которую протекает разогревающий ток.

Кроме этого, выделяемая на приборе мощность определяется падением напряжения на нагревающих элементах изделия U , определяемым при данном способе подачи разогревающих импульсов его вольтамперной характеристикой. Затем поддерживают температуру на установившемся уровне в течение времени, обеспечивающем необходимую жорсткость отбраковки.

Пример конкретного выполнения.

Предлагаемый способ отбраковки реализован при контроле КМДП ИМС E561 КТЗ следующим образом.

Мощность импульсов греющего тока находят из условия:

$$P > 1,5 P_{\max},$$

$$P \leq \frac{T_{кр} - T_0}{\sum_{i=1}^N R_{Ti} [1 - \exp(-t_n/\tau_i)]}, \quad (8)$$

критическую температуру $T_{кр}$ находят из выражения:

$$N = 3,614 \cdot 10^{15} \cdot T_{кр}^{3/2} \exp\left(\frac{5896}{T_{кр}}\right). \quad (9)$$

а $N_{пр}$ - концентрацию примеси 9 низколегированной части p-n перехода - исходя из удельного сопротивления исходной кремниевой пластины КЭФ4.5. Отсюда $T_{пр} = 190^\circ\text{C}$.

Тепловые сопротивления i тепловые постоянные элементов ИС определяют, учитывая конструкцию прибора и то, что угол растекания теплового потока в эквивалентном однородном параллелепипеде равен $45-50^\circ$.

Они равны:

- тепловое сопротивление кристалл-сигнал $R_{кр} = 44,4$ К/Вт сигнал-корпус $R_{сиг-кор} = 94$ К/Вт, корпус - окружающая среда $R_{кор-окр.ср} = 45$ К/Вт
- постоянные времени, соответствующие тепловым сопротивлениям

$$\tau_{кр} = 68,6 \text{ мс}, \quad \tau_{сиг} = 1,00 \text{ мс}, \quad \tau_{кор} = 1,4 \text{ с}.$$

Затем определяют максимальный ток разогрева I_{\max} , исходя из значения максимально допустимой плотности тока J_{\max} как

$$I_{\max} = J_{\max} S_{\Sigma} \quad (10)$$

Для алюминиевой металлизации $J_{\max} = 10^6 \text{ А/см}^2$. Минимальное сечение металлизированной дорожки S_{Σ} каждого вывода микросхемы, по которой проходит разогревающий ток, равно $S_{\Sigma} = 30 \text{ мкм}^2$. С учетом этого $I_{\max} = 0,3 \text{ А}$.

Так как в данном случае разогрев производят путем пропускания греющего токового импульса через четыре открытых ключа, сопротивление которых, определяемое вольт-амперной характеристикой, равно $R_{кл} = 10 \text{ Ом}$, то подводимое к ИС напряжение равно $U_1 = 3,0 \text{ В}$.

А выделяемая при этом мощность разогрева

$$P = 4UI_{\max} = 4 \times 3 \times 0,3 = 3,6 \text{ Вт}$$

Так как максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность по ТУ P_{\max} равна 200 мВт. то условие $P > 1,5 P_{\max}$ выполняется. Используя найденные значения P , $T_{кр}$ и тепловых постоянных R_{Ti} , τ_i , из условия (7) находят значения длительности разогревающего импульса $t_n = 105 \text{ мс}$.

Затем поддерживают установившуюся температуру в течение времени, обеспечивающего необходимую жесткость отбраковки. Мощность, необходимая для поддержания критической температуры, определяется выражением:

$$P_n = \frac{T_{кр} - T_0}{\sum_{i=1}^N R_{Ti}} \quad (11)$$

Она равна: $P_n \cong 0,9 \text{ Вт}$.

В данном примере этот способ должен обеспечить такую же жесткость отбраковки для ИС как и электротренировка (ЭТТ) при $T = 85^\circ\text{C}$ в течение 48 часов при рабочем напряжении тренировки $U_{тр} = 10 \text{ В}$ и механизме отказов с энергией активации $E_a \geq 1,0 \text{ эВ}$.

Время, необходимое для обеспечения такой же жесткости отбраковки, определяется из формулы (6).

$$K_{уск} = \frac{t_1}{t_2} = \exp\left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)\right] \left(\frac{U_{тр}}{U_{отб}}\right)^{\nu}. \quad (12)$$

где t_2 - определяемое время;

t_1 - время проведения ЭТТ;

E_a - энергия активации механизма отказа;

T_1 - температура прибора (кристалла) при ЭТТ;

T_2 - температура прибора (кристалла) при отбраковке;

k - постоянная Больцмана;

$U_{тр}$ - величина тренирующего напряжения при ЭТТ;

$U_{отб}$ - величина тренировочного напряжения при отбраковке;

ν - параметр;

$K_{уск}$ - коэффициент ускорения процессов.

Подставляя в эту формулу значения, учитывая, что величина тренировочного напряжения при отбраковке $U_{отб} = 25 \text{ В}$, $\nu = 4,5$, находят

$$K_{\text{уск}} = \frac{t_1}{t_2} = \exp \left[\frac{1,0}{8,6 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{1}{385} - \frac{1}{465} \right) \right] \times$$

$$\times (2,5)^{4,5} = 96\,648 \text{ раз.}$$

Из этого выражения, с учетом Бремені тренировки (ЭТТ) – t_1 , находят время термополевого воздействия:

$$t_2 = \frac{t_1}{K_{\text{уск}}} = \frac{48 \cdot 3600}{96648} \approx 1,8 \text{ сек.}$$

Учитывая, что ИМС К561 КТЗ представляет собой четыре двунаправленных ключа, сохраняющих работоспособность до критической температуры – $T_{\text{кр}}$, мощность для поддержания установившейся температуры P_n подается на два из них. На два других выходных ключа и соответствующие им выходы подается комбинация логических нулей и единиц, обеспечивая контроль работоспособности схемы и одновременно тренировку при этой температуре в течение времени t_2 . Величина логической единицы равна тренирующему напряжению $U_{\text{отб}}$. Затем греющие импульсы пропускают по другим двум ключам, а на освободившийся логический тракт подается аналоговая проверочно-тренировочная рабочая комбинация также в течение времени t_2 .

Подводимое к двум ключам ИМС разогревающее напряжение находят из выражения:

$$U_2 = \sqrt{\frac{P_n}{2} \cdot R_{\text{кл}}} = 2,12 \text{ В.}$$

По окончании тренировки производят контроль электропараметров по нормам для эталонных микросхем, прошедших соответствующие отбраковочные испытания. Для ИМС К1561КТЗ измерялись: входной и выходной ток высокого и низкого уровня, ток потребления, ток утечки и максимальный ток утечки. минимальное и максимальное выходные напряжения

Заявляемый способ поясняется с помощью устройства, представленного на чертеже.

Устройство содержит измерительную программу отбраковки 1, вводимую в ЭВМ 2 автоматической измерительной системы, источники программируемого напряжения (тока) 3 и измеритель 4, управляемые от ЭВМ 2. Измеритель 4 и источники 3 подключены к измеряемому прибору 5.

При работе устройства ЭВМ 2 по заданной программе 1 коммутирует регулируемые источники тока и напряжения 3 для задания на измеряемом МДП приборе 4 разогревающих токовых и тренирующих потенциальных импульсов соответственно. Параметры импульсов (напряжение, ток, длительность и т.д.) задаются программой 1 в зависимости от типа и конструкции ИМС согласно формулы изобретения. При нагреве активной части кристалла прибора до критической температуры $T_{\text{кр}}$, источники тока 3 задают другой режим, обеспечивающий поддержание набранной температуры. При этом на выводы прибора источником напряжения 3 подается комбинация логических нулей и единиц, обеспечивающая контроль работоспособности прибора и одновременную тренировку ее при этой температуре в течении заданного программой 1 времени. По окончании тренировки измеритель 4 по командам ЭВМ 2 с помощью источников 3 производит контроль МДП прибора 5 по нормам эталонных характеристик.

Предлагаемый способ отбраковки можно использовать для отбраковки любых полупроводниковых приборов ИС с p-n переходом.

Использование способа наиболее эффективно для КМОП ИС.

В предлагаемом способе введение верхнего предела ограничения по мощности импульсов разогрева в зависимости от критической температуры позволяет вести отбраковку на предельных режимах, что существенно повышает производительность.

Введение запредельных режимов подачи разогревающих импульсов позволяет увеличивать их мощность, а, следовательно, производительность отбраковки.

Способ подачи разогревающих импульсов позволяют подавать тренирующие импульсы на различные части ИМС что существенно повышает достоверность и расширяет область применения отбраковки.

