

ЭКСПРЕССНЫЙ КОНТРОЛЬ НАДЕЖНОСТИ ПОДЗАТВОРНОГО ДИЭЛЕКТРИКА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ПО ВЕЛИЧИНЕ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ РАЗНОЙ СКОРОСТИ РАЗВЕРТКИ

К. т. н. В. А. Солодуха, С. В. Шведов, к. т. н. Н. С. Ковальчук, к. т. н. Г. Г. Чигирь,
к. ф.-м. н. А. Н. Петлицкий

ОАО «ИНТЕГРАЛ»-управляющая компания холдинга «ИНТЕГРАЛ»
Республика Беларусь, г. Минск
office@bms.by

Предложена модель оценки показателей надежности подзатворных диэлектриков по результатам испытаний тестовых МДП-структур путем подачи на затвор ступенчато нарастающего напряжения до фиксации момента пробоя структуры при разной скорости развертки. На основе модели реализован экспрессный контроль для оперативного выявления потенциально ненадежной продукции и поддержания серийного производства интегральных микросхем на требуемом уровне.

Ключевые слова: подзатворный диэлектрик, пробивное напряжение, надежность.

Современные технологии интегральных микросхем предъявляют высокие требования к подзатворному и туннельному диэлектрикам, толщина которых составляет менее 10 нм. Они во многом определяют надежность микросхем.

В данной работе предложена модель, позволяющая реализовать экспрессную оценку надежности тонких диэлектриков в процессе производства кристаллов микросхем, что позволяет обеспечить поступление на сборку потенциально надежных кристаллов и является гарантией надежности корпусированных микросхем.

В основу модели положена экспоненциальная зависимость времени до отказа от приложенного напряжения. Испытание тестовых МДП-структур проводили при подаче на затвор ступенчато нарастающего напряжения до пробоя структуры при разной скорости развертки. Проведя интегрирование по всем ступенькам напряжения, получим величину времени наработки до отказа в режиме эксплуатации [1]

$$T_{oper} = \frac{\exp(\beta(U_{bd} - U_{oper}))}{K_{swip} \beta}, \quad (1)$$

где константа β рассчитывается из результатов двух испытаний с различными скоростями развертки в соответствии с выражением

$$\beta = \frac{1}{U_{bd1} - U_{bd2}} \cdot \ln \frac{K_{swip1}}{K_{swip2}}. \quad (2)$$

В этих формулах U_{oper} — напряжение работы микросхемы; U_{bd1} , U_{bd2} — соответственно, пробивное напряжение диэлектрика при первой (K_{swip1}) и второй (K_{swip2}) скорости развертки.

Из соотношений (1), (2) следует, что время до отказа подзатворного диэлектрика T_{oper} экспоненциально увеличивается с увеличением константы β . В то же время, значение β увеличивается с уменьшением разницы пробивных напряжений, измеренных при двух различных скоростях развертки. Это означает, что для диэлектриков с высокой надежностью эта разница пробивных напряжений должна быть достаточно мала и не должна превышать определенное, заранее рассчитанное исходя из

требований надежности значение. Контроль сводится к определению разницы пробивных напряжений, и если она не превышает установленное значение, надежность считается достаточной.

Испытания проводились на измерительном комплексе прецизионного анализа характеристик элементной базы микросхем (тестовых структур) модели B1500 ф. Agilent (США) с зондовой станцией Summit 11000 AP ф. Cascade (США). Комплекс обеспечивает измерение параметров в широком диапазоне с погрешностью 0,1% и возможностью работы в специальных режимах, включая режим ступенчато нарастающего напряжения. Кроме того, данный комплекс позволяет измерять параметры тестовых структур в составе пластины диаметром до 200 мм в диапазоне температур эксплуатации микросхемы от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$. Это существенно расширяет возможности проведения испытаний и обеспечивает широкий их спектр.

Предварительное опробование метода проведено на микросхеме памяти статического ОЗУ емкостью 1 Мбит, изготовленной по КМОП-технологии с 0,35-мкм проектной нормой, толщиной подзатворного диэлектрика 7 нм, $U_{oper} = 3,3$ В. В таблице приведены значения пробивного напряжения тестового конденсатора площадью $S = 2,1 \cdot 10^{-4}$ см² для двух разных скоростей разверток и расчетное значение времени наработки до отказа. Конденсатор изготовлен по технологическому процессу микросхемы над кремнием *p*-типа проводимости и имеет поликремниевый затвор, легированный фосфором.

Пробивное напряжение конденсатора определялось при уровне тока 10 мА. При увеличении скорости развертки с 0,44 до 1,47 В/с величина пробивного напряжения увеличивалась с 11,9 до 12,4 В. Расчетное значение времени наработки до отказа составляет 10,6 лет.

Следует отметить, что при реализации предложенного метода целесообразно набирать статистику до 30 измерений и обработку данных проводить по построенным распределениям Вейбула. Это позволит достоверно определить величину пробивного напряжения и оценить плотность скрытых дефектов подзатворного диэлектрика.

Таким образом, предложенная модель позволяет реализовать экспрессный контроль времени наработки до отказа подзатворных диэлектриков микросхем за счет значительного уменьшения времени испытаний и обработки данных. Контроль является эффективным для оперативного выявления потенциально ненадежной продукции и поддержания технологического процесса на требуемом уровне. Существенным достоинством предложенного метода также является возможность оценки надежности подзатворного диэлектрика микросхем в диапазоне температур эксплуатации от -60 до $+150^{\circ}\text{C}$ путем непосредственных измерений характеристик тестовых структур при соответствующей температуре. При этом не требуется проведения сложной процедуры интерполяции измеренных данных.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Solodukha V.A., Shvedov S.V., Chyhir R.R., Petlitsky A.N. Prefailure Life time simulation of the submicron ICs' gate dielectric as per the breakdown voltage value at the various sweep rates // Proc. of the 10th International Conference «New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementation».— Poland, Zakopane.— 2017— P. 24.

V. A. Solodukha, S. V. Shvedov, N. S. Kovalchuk, R. R. Chyhir, A. N. Petlitsky

Express test of gate insulator reliability in integrated microcircuits by breakdown voltage value at various sweep rates

A model was offered for evaluation of the reliability indications of the gate insulator as per the test results of the MIS-structures by means of applying at the gate of the step-increasing voltage up to the structure breakdown at several rates of sweeping. The model was used as a base for the express control realization for the operative detection of the potentially unreliable products and keeping the serial technological process at the required level.

Keywords: gate insulator, breakdown voltage, reliability.