

УДК 621.382.001.63

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИКОВ СУБМИКРОННЫХ МИКРОСХЕМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ПРОБИВНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Д. т. н. А. С. Турцевич, С. В. Шведов, 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 тонких диэлектриков по результатам испытаний тестовых МДП-структур подачей на затвор ступенчато-нарастающего напряжения до пробоя структуры при разных скоростях развертки. На основе модели реализуется экспрессный контроль для оперативного выявления потенциально ненадежной продукции и поддержания технологического процесса на требуемом уровне.

Ключевые слова: МДП-структура, пробивное напряжение, наработка до отказа.

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 настоящее время отсутствует эффективный метод, позволяющий выявлять потенциально ненадежные изделия в процессе изготовления микросхем, и работы по созданию такого метода является весьма актуальными. Новым в данной работе является то, что впервые предложена модель, позволяющая реализовать экспрессную оценку показателей надежности тонких диэлектриков. Это позволяет обеспечить поступление на сборку потенциально надежных кристаллов и является гарантией надежности корпусированных микросхем.

Предложенная модель расчета времени наработки до отказа тонких диэлектриков базируется на результатах проведения испытаний тестовых МДП-структур при подаче на затвор ступенчато-нарастающего напряжения до пробоя структуры при разных скоростях развертки. При этом испытания проводятся при температуре эксплуатации микросхемы, и пересчетов или поправок на температуру испытаний не требуется. Модель основана на экспоненциальной зависимости времени до отказа от приложенного напряжения. В процессе эксплуатации микросхема работает при напряжении $U_{\text{экс}}$, и время наработки до отказа $T_{\text{отк_экс}}$ в данном случае будет рассчитываться из соотношения

$$T_{\text{отк_экс}} = A_0 \exp(-\beta U_{\text{экс}}), \quad (1)$$

где A_0 , β – константы.

Для обеспечения экспрессности контроля предложено использовать в процессе испытаний ступенчато-нарастающее напряжение, которое удобно характеризовать скоростью развертки $K_{\text{разв}}$:

$$K_{\text{разв}} = \frac{\Delta U}{\Delta t_{\text{ступ}}}, \quad (2)$$

где ΔU – величина ступеньки или шаг по напряжению при развертке, В;

$\Delta t_{\text{ступ}}$ – длительность ступеньки напряжения, с.

В процессе испытаний за время одной ступеньки $\Delta t_{\text{ступ}}$, в соответствии с выражениями (1) и (2), происходит деградация, эквивалентная деградации в условиях эксплуатации за время

$$\Delta T_{\text{отк_экс}} = \Delta t_{\text{ступ}} \cdot \exp(\beta[U - U_{\text{экс}}]) = \frac{\Delta U}{K_{\text{разв}}} \cdot \exp(\beta[U - U_{\text{экс}}]). \quad (3)$$

Проведя интегрирование (суммирование) по всем ступенькам напряжения, получим

$$T_{\text{отк_эксп}} = \int_{U_{\text{нач}}}^{U_{\text{проб}}} \frac{\exp(-\beta \cdot U_{\text{эксп}})}{K_{\text{разв}}} \cdot \exp(\beta \cdot U) dU = \frac{\exp(-\beta \cdot U_{\text{эксп}})}{K_{\text{разв}}} \cdot \int_{U_{\text{нач}}}^{U_{\text{проб}}} \exp(\beta \cdot U) dU =$$

$$= \frac{\exp(-\beta \cdot U_{\text{эксп}})}{K_{\text{разв}} \cdot \beta} \cdot (\exp(\beta \cdot U_{\text{проб}}) - \exp(\beta \cdot U_{\text{нач}})) \approx \frac{\exp(\beta \cdot (U_{\text{проб}} - U_{\text{эксп}}))}{K_{\text{разв}} \cdot \beta}. \quad (4)$$

Коэффициент β рассчитывается по данным двух измерений с различной скоростью развертки в соответствии с выражением

$$\beta = \frac{1}{U_{\text{проб1}} - U_{\text{проб2}}} \cdot \ln \frac{K_{\text{разв1}}}{K_{\text{разв2}}}, \quad (5)$$

где $U_{\text{эксп}}$ – напряжение эксплуатации микросхемы, В;

$U_{\text{нач}}$ – начальное напряжение при измерении пробивного напряжения ($U_{\text{нач}} \ll U_{\text{эксп}}$), В;

$U_{\text{проб1}}$ – напряжение пробоя диэлектрика при первой скорости развертки, В;

$U_{\text{проб2}}$ – напряжение пробоя диэлектрика при второй скорости развертки, В;

$K_{\text{разв1}}$ – первая скорость развертки, В/с;

$K_{\text{разв2}}$ – вторая скорость развертки, В/с.

Испытания проводились на комплексе B1500 фирма Agilent (США). В таблице приведены значения пробивного напряжения тестового конденсатора для двух значений скорости развертки. Конденсатор изготовлен по технологическому процессу микросхем с проектными нормами 0,35 мкм, сформирован над кремнием p -типа проводимости и имеет поликремниевый затвор, легированный фосфором. Толщина подзатворного слоя диоксида кремния составляла 7 нм, $U_{\text{эксп}} = 3,3$ В.

Пробивное напряжение тестового конденсатора при различных скоростях развертки и расчетное значение времени наработки до отказа

Параметр, единица измерения	Значение	
Скорость развертки $K_{\text{разв}}$, В/с	1.470	0.442
Пробивное напряжение при токе 10 мА, В	12.40	11.88
Время наработки до отказа, год	10.6	

Таким образом, предложенная модель позволяет реализовать экспрессный контроль времени наработки до отказа тонких 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.

A. S. Turtsevich, S. V. Shvedov, R. R. Chyhir, A. N. Petlitsky

Simulation of error-free running time of gate and tunnel dielectrics of submicron microcircuits as per measurement results of their breakdown voltage.

A model is offered for evaluation of the reliability indications of thin dielectrics as per test results of the trial MDS-structures by means of applying step-increasing voltage at the gate up to the structure breakdown at several rates of sweeping. On the basis of the model, the express control is realized for the operative detection of the potentially unreliable products and keeping the technological process at the required level.

Keywords: *MDS-structure, breakdown voltage, error-free running time.*