

## ОПЕРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ ПО ВОЛЬТ-АМПЕРНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

К. т. н. В. А. Солодуха, д. т. н. В. А. Пилипенко, А. В. Кетько, к. т. н. Г. Г. Чигирь,  
В. А. Филипеня

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

*Предложен оперативный анализ качества диэлектрических слоев путем сравнения измеренной вольт-амперной характеристики с контрольной, измеренных при одинаковых скоростях развертки. При этом основное внимание уделяется величине тока, при которой возникает канал пробоя. Наличие скрытых дефектов приводит к уменьшению тока пробоя, что обусловлено снижением величины заряда пробоя и качества диэлектрика. По сравнению токов пробоя оценивается состояние и тенденция процесса формирования диэлектрика.*

*Ключевые слова: диэлектрический слой, вольт-амперная характеристика, ток пробоя.*

Современные технологии изготовления интегральных микросхем (ИМС) требуют высокого качества диэлектрических слоев, поскольку этим во многом определяется надежность ИМС. В процессе эксплуатации микросхемы к диэлектрику прикладывается электрическое поле, и через диэлектрик протекает ток, под действием которого происходит деградация структуры диэлектрика, и через определенное время наступает пробой диэлектрика. При этом наличие скрытых дефектов существенно снижает качество диэлектрика и ускоряет наступление пробоя. В ряде случаев возникает необходимость оперативной оценки качества диэлектрического слоя непосредственно после его формирования. При этом часто требуется сравнительная оценка, позволяющая оценить тенденции (улучшение/ухудшение качества) при изменении параметров процесса или указывающая на необходимость поддержания этих параметров.

В данной работе качество диэлектрического слоя предложено оценивать путем сравнения текущей вольт-амперной характеристики (ВАХ) с характеристиками, которые получены при предыдущих параметрах процесса, измеренных при одинаковых скоростях развертки.

ВАХ можно разделить на три области, которые являются достаточно информативными. В первой величина тока имеет постоянное значение, что обусловлено собственной проводимостью диэлектрика. Во второй ток возрастает, что обусловлено форсированным режимом проводимости под воздействием больших электрических полей. В третьей области наблюдается резкое возрастание тока из-за возникновения канала пробоя. В данной работе основное внимание уделяется величине тока, при которой возникает канал пробоя (ток пробоя), что приводит к необратимому пробоя и резкому изменению вида ВАХ при повторном измерении. Напряжение, при котором возникает канал пробоя, является пробивным напряжением диэлектрика. Для диэлектрика, не содержащего скрытых дефектов, величина тока пробоя определяется собственным пробоем диэлектрика и является максимальной. При наличии дефектов пробой происходит в области дефекта при меньшей величине тока пробоя. С увеличением плотности дефектов ток пробоя уменьшается, что обусловлено снижением величины заряда пробоя и качества диэлектрика. При известной скорости развертки измеренной ВАХ можно определить площадь под кривой ВАХ до момента пробоя (произвести интегрирование) и таким образом определить величину заряда пробоя.

Анализ влияния быстрой термообработки (БТО) на качество подзатворного окисла проведен на тестовых МОП-структурах площадью  $S = 10^{-5}$  см<sup>2</sup>. Подзатворный диэлектрик толщиной 50 нм формировался на пластинах КЭФ 4.5 ориентации <100> и диаметром 100 мм путем пирогенного окисления при температуре 850°C. В качестве затвора использовался слой поликремния, легированный фосфором. Часть кремниевых пластин до и после формирования подзатворного диэлектрика подвер-

галась быстрой термообработке (БТО), которая проводилась в естественных атмосферных условиях облучением нерабочей стороны пластины некогерентным излучением галогенных ламп в течение 7 с, обеспечивая кратковременный нагрев пластины до температуры 1100°C.

На рис. 1 приведены ВАХ исходной МОП-структуры (2) и структуры с применением БТО (1). ВАХ измерены при скорости развертки 0,25 В/с на анализаторе параметров модели B1500 ф. Agilent (США).

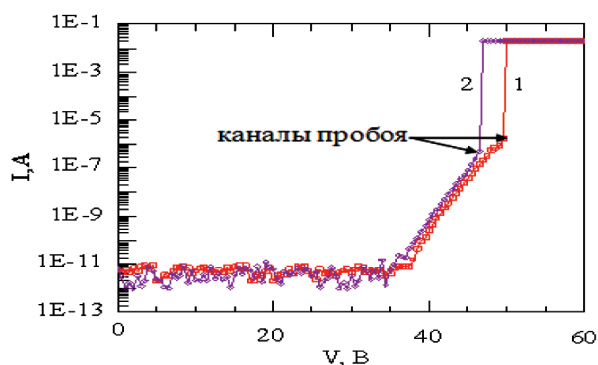


Рис. 1. ВАХ МОП-структур с подзатворным диэлектриком толщиной 50 нм на подложке КЭФ 4.5, полученных при применении БТО (1) и в стандартном процессе пирогенного окисления (2)

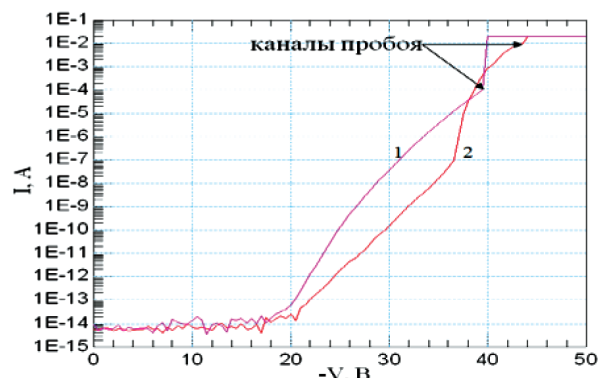


Рис. 2. ВАХ МОП-структур с подзатворным диэлектриком толщиной 40 нм на подложке КДБ 12, полученных пирогенным (1) и сухим (2) окислением

Из данных рис. 1 следует, что проведение БТО подзатворного диэлектрика, полученного пирогенным окислением кремния, позволяет за счет изменения микроструктуры пленки существенно улучшить ее электрофизические параметры. Увеличение пробивного напряжения с 47 до 50 В и величины тока пробоя с 0,4 до 2 мкА свидетельствует о значительном повышении надежности подзатворного диэлектрика.

Проведен сравнительный анализ качества тестовых МОП-структур площадью  $S = 10^{-4} \text{ см}^2$ , сформированных на пластинах КДБ 12 ориентации  $\langle 100 \rangle$  и диаметром 150 мм путем пирогенного окисления (температура окисления 850°C) и окисления в сухом кислороде (1000°C), с толщиной подзатворного диэлектрика 40 нм. В качестве затвора использовался слой поликремния, легированный бором. Из приведенных на рис. 2 данных видно, что ток пробоя в первом случае составляет 0,1 мА, а во втором его величина на два порядка больше и составляет 10 мА. При этом величина заряда пробоя для пирогенного оксида составляет 0,7 Кл/см<sup>2</sup>, а для оксида, сформированного сухим окислением, — 8 Кл/см<sup>2</sup>, что свидетельствует о значительно более высоких показателях надежности последнего.

Таким образом, предложенный метод позволяет оценивать качество диэлектрических слоев интегральных микросхем путем сравнительного анализа текущей и контрольной вольт-амперной характеристик, полученных при одинаковых скоростях развертки, величине тока и заряда пробоя оперативно. Метод позволяет оценить появление скрытых дефектов в диэлектрическом слое по уменьшению тока пробоя, обусловленного снижением величины заряда пробоя и качества диэлектрика. По сравнению токов пробоя оценивается процесс формирования диэлектрического слоя.

V. A. Solodukha, V. A. Pilipenko, A. V. Ketsko, R. R. Chyhir, V. A. Filipenia

#### Rapid analysis of the quality of dielectric layers of integrated circuits by to current-voltage characteristics

*The authors suggest a rapid analysis of the quality of dielectric layers by comparing current-voltage characteristic with reference characteristics measured at similar sweep speeds. The emphasis in this study is upon the electric current value, at which the breakdown channel appears. If any latent defects occur, it results in the decrease of breakdown current which is caused by the decrease in the breakdown charge value and in the dielectric quality. Comparison of the breakdown currents allowed estimating the status and trend in dielectric formation process.*

*Key words: dielectric layer, current-voltage characteristic, breakdown current.*