

ВЛИЯНИЕ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ПРОБОЮ НАНОРАЗМЕРНЫХ СЛОЕВ ДВУОКСИ КРЕМНИЯ

Д. т. н. В. А. Солодуха, член-корр. НАН Беларуси, д. т. н. В. А. Пилипенко, к. ф.-м. н. А. Н. Петлицкий, к. т. н. Г. Г. Чигирь, к. т. н. Т. В. Петлицкая, Д. В. Жигулин

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

Для управления устойчивостью к пробую наноразмерных слоев двуокиси кремния предложено отработку процесса подготовки поверхности кремния проводить под контролем масс-спектрометрического анализа и обеспечить эффективное удаление загрязняющих металлических примесей, а оперативный контроль в дальнейшем проводить по величине заряда пробоя наноразмерного слоя. Установлены критерии контроля.

Ключевые слова: наноразмерный слой, двуокись кремния, кремниевая пластина, заряд пробоя.

Ключевым элементом, определяющим стабильность микро- и нанoeлектронной элементной базы для аэрокосмической техники, являются наноразмерные слои двуокиси кремния. По мере уменьшения их толщины в процессе масштабирования растет совокупный объем факторов, определяющих их электрофизические свойства. В процессе эксплуатации прибора к диэлектрику прикладывается электрическое поле и через него протекает ток, под действием которого происходит деградация структуры, и через определенное время наступает пробой диэлектрика. От начала эксплуатации прибора до отказа через диэлектрик протекает определенный заряд. Если на этапе изготовления микросхемы провести измерение величины заряда пробоя диэлектрического слоя ($Q_{пр}$), то она будет характеризовать устойчивость к пробую и в значительной степени — время эксплуатации до отказа [1]. Повышение величины заряда пробоя до 10—20 Кл/см² является необходимым условием для увеличения времени эксплуатации до 20 и более лет. Однако в процессе производства наблюдаются значительные разбросы величины $Q_{пр}$ как от партии к партии, так и по поверхности отдельных пластин. Это свидетельствует о присутствии неконтролируемых факторов. В данной работе методом масс-спектрометрии установлены загрязняющие металлические примеси и их уровень, влияющие на надежность наноразмерных слоев диоксида кремния толщиной от 7 до 42 нм, и определены способы удаления загрязнений. Это позволяет повысить управляемость технологическими процессами и повысить надежность элементной базы.

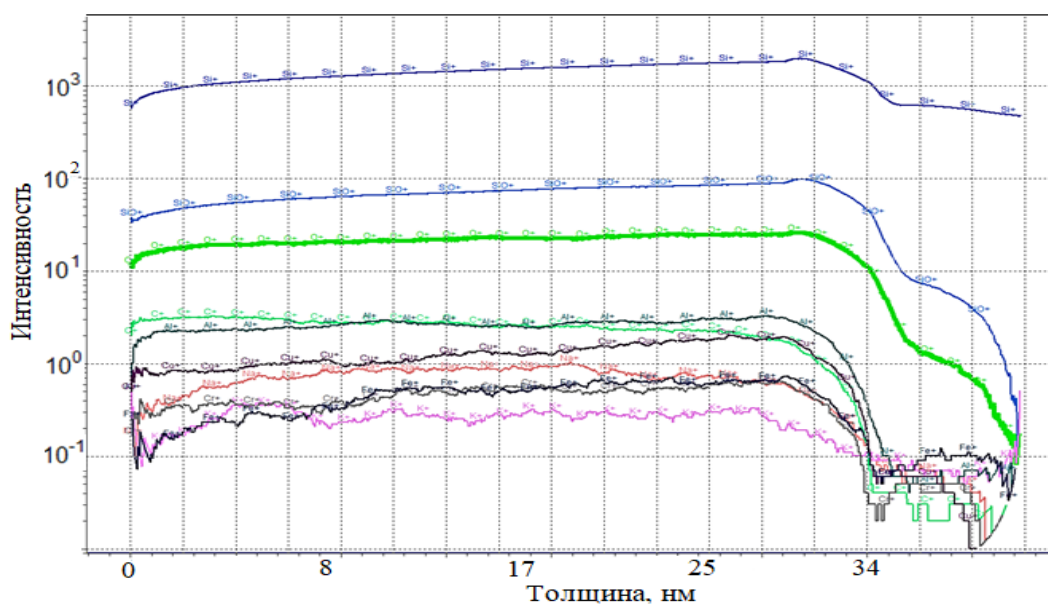
Диоксид кремния формировался на кремниевых пластинах диаметром 200 мм пирогенным окислением при температуре 850°C (толщина оксида $d = 16—42$ нм), окислением в сухом кислороде при 900°C ($d = 7$ нм) и 1000°C ($d = 16—42$ нм). Анализ загрязняющих примесей наноразмерных слоев диоксида кремния проводился на времяпролетном масс-спектрометре вторичных ионов (TOF-SIMS-5-200, ф. IONTOF GmbH) с чувствительностью 10^9 и 10^{16} ат/см³, пространственным разрешением 70 нм и возможностью проведения профилирования образцов по глубине с разрешением 1 нм. Для проведения экспериментальных исследований были подобраны пластины с малой величиной заряда пробоя слоя SiO₂: от 0,3 до 1,0 Кл/см². В качестве примера на рисунке приведены измеренные профили распределения загрязняющих примесей в слое SiO₂ толщиной 34 нм и величиной заряда пробоя 0,6 Кл/см². Из рисунка следует, что в наноразмерном слое диоксида кремния практически равномерно по толщине распределены неконтролируемые примеси металлов Al, Cu, Na, Cr, Fe, K, что и является причиной снижения величины заряда пробоя диэлектрика. Локальное присутствие этих примесей также является причиной значительного разброса значений $Q_{пр}$ по поверхности отдельных пластин, т.е. данные примеси могут находиться на поверхности пластин в виде пятен произвольной формы.

С использованием метода масс-спектрометрии установлено, что основной причиной наличия неконтролируемых примесей в диэлектрике является недостаточно эффективная подготовка поверхности пластин перед формированием слоя диэлектрика. Проведено исследование качества химиче-

ских обработок поверхности кремниевых пластин перед окислением в деионизованной воде марки А и У, а также в химических растворах: Каро (смесь перекиси водорода и серной кислоты), HF (плавиковая кислота), ПАР5 (перекисно-аммиачный раствор), ПСР (перекисно-соляной раствор) при различной последовательности применения этих растворов и установлено:

— чистота поверхности кремниевых пластин сильно зависит от чистоты химических растворов, типа установки, времени обработки и качества отмывки в деионизованной воде;

— химическая обработка в растворах с кислотной средой (ПСР, HF) способствует удалению примесей металлов с поверхности кремниевых пластин.



Профили распределения загрязняющих примесей C, Al, Cu, Na, Cr, Fe, K в слое SiO₂ толщиной 34 нм (расчетное значение содержания Cu в слое составляет $7.4 \cdot 10^{11}$ ат/см², Fe — $3.6 \cdot 10^{11}$ ат/см², Al — $6.1 \cdot 10^{10}$ ат/см², остальных примесей — менее 10^{10} ат/см²)

Из полученных данных следует, что оптимальной является обработка пластин перед окислением последовательно в растворах КАРО→HF→ПАР5→ПСР. Применение такой обработки обеспечивает снижение металлических примесей в слое до уровня 10^{10} ат/см² и формирование наноразмерных слоев диоксида кремния толщиной от 7 до 42 нм в сухом кислороде или пироженным окислением с величиной заряда пробоя на уровне не ниже 10 Кл/см².

Таким образом, оперативный контроль загрязняющих примесей методом масс-спектрометрического анализа в сочетании с контролем величины заряда пробоя диэлектрических слоев повышают управляемость технологическими процессами, а предложенная обработка кремниевых пластин перед окислением позволяет существенно увеличить надежность микросхем и обеспечить время наработки на отказ до 20 и более лет.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Procedure for the Wafer-Level Testing of Thin Dielectric. JEDEC JESD Standard 35-A, USA, 2010.

V. A. Solodukha, V. A. Pilipenko, A. N. Pyatlitski, R. R. Chyhir, T. V. Piatlitskaya, D. V. Zhigulin

Influence of the surface conditioning on the breakdown resistance of the nano-dimensional silicon dioxide layers

To control the breakdown resistance of the silicon dioxide, the authors propose to debug the silicon surface conditioning process under control of the mass-spectrometric analysis and to ensure the effective removal of the polluting metal admixtures, while performing the subsequent routine control as per the breakdown charge value of the nano-dimensional layer. The control criteria are set.

Key words: nano-dimensional layer, silicon dioxide, silicon wafer, breakdown charge.