

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

совета по защите диссертаций Д 02.15.03 при учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по диссертационной работе Доан Тхе Хоанг «Формирование тонкопленочных слоев с высокой диэлектрической проницаемостью на основе сложных оксидов реактивным магнетронным распылением», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники.

Соответствие диссертации специальности и отрасли науки, по которым присуждается ученая степень. Диссертация Доан Тхе Хоанг является самостоятельной законченной работой и соответствует требованиям ВАК Республики Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники.

Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости. Экспериментально установлены закономерности влияния параметров процесса высоковакуумного импульсного реактивного магнетронного распыления составных мишеней Ti-Al, Ta-Al, Hf-Zr, Ti-Zr в среде газов Ar/O₂ на разрядные и эмиссионные характеристики магнетронной распылительной системы. Показано, что при распылении составных мишеней изменение относительного содержания металлов в пленке происходит за счет формирования пленок оксидов на поверхности каждой из частей мишени и различиями скоростей их окисления. Установлена линейная зависимость между соотношением содержания металлов в пленке и соотношением интенсивности контрольных линий оптического излучения атомов этих металлов в плазме магнетронного разряда. Предложена модель магнетронного распыления составной мишени в смеси газов Ar/O₂, которая позволяет прогнозировать с погрешностью до 10 % соотношение содержания металлов в формируемых пленках. Исследования диэлектрических характеристик пленок сложных оксидов показали, что наилучшим сочетанием свойств обладают пленки Hf_{0,6}Zr_{0,4}O_y с диэлектрической проницаемостью 14,5 – 16,0, тангенсом угла диэлектрических потерь 0,006 – 0,008 на частоте 1 кГц, плотностью тока утечки до 5×10^{-5} А/м² и шириной запрещенной зоны 5,86 – 5,89 эВ.

Конкретные научные результаты, за которые соискателю может быть присуждена ученая степень. Соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности за новые научно обоснованные экспериментальные результаты, включающие:

- экспериментально установленную закономерность высоковакуумного реактивного магнетронного распыления составной мишени Ti-Al, заключающуюся в том, что при раздельной газоподаче, Ar на мишень и O₂ на подложку, пленки формируются в переходном режиме работы системы распыления, что увеличивает содержание кислорода в пленках сложного оксида титана-алюминия от 45 – 48 ат.% до 60 – 64 ат.% при совместной и раздельной газоподаче соответственно и обеспечивает рост скорости нанесения пленок до 3 – 9 нм/мин, диэлектрической проницаемости до 17 – 23 и снижение диэлектрических потерь до 0,01 – 0,02 на частоте 1 кГц;

- механизм распыления составных мишеней в среде рабочих газов Ar/O₂ и формирования пленок сложных оксидов с изменением относительного атомного содержания Al к Ti пленке оксида титана-алюминия от 0,52 до 0,36 с минимумом при концентрации кислорода 12,5 % для совместной и 30 % для раздельной газоподачи, в результате различия скоростей окисления Ti и Al на поверхности составной мишени;

- установленную линейную зависимость соотношения содержания металлов в наносимой пленке от интенсивности контрольных линий оптического излучения возбужденных атомов металлов Al, Ti, Zr, Hf, Ta в плазме магнетронного разряда при высоковакуумном распылении составных мишеней Ti-Al, Ta-Al, Hf-Zr, Ti-Zr, что позволяет с погрешностью до 6 % обеспечить контроль содержания металлов в наносимых пленках сложных оксидов;

- модель магнетронного нанесения пленок сложных оксидов при распылении двухкомпонентной составной мишени, учитывающую распределение плотности ионного тока на мишени, коэффициенты распыления и ионно-электронной эмиссии распыляемых металлов и их оксидов, и скорости химической реакции образования оксидов, которая позволяет прогнозировать содержание металлов в наносимых пленках с погрешностью до 5 % при распылении мишеней в среде Ar и с погрешностью до 10 % при изменении концентрации кислорода в смеси газов Ar/O₂ от 0 до 100 %;

что в совокупности вносит вклад в развитие научных основ формирования диэлектрических слоев из многокомпонентных мишеней современных МОП интегральных схем.

Рекомендации по использованию результатов исследования. Полученные экспериментальные зависимости и разработанная методика нанесения пленок сложных оксидов импульсным реактивным магнетронным распылением составных мишеней могут быть использованы отраслевой лабораторией новых технологий и материалов ОАО «ИНТЕГРАЛ» – управляющей компанией холдинга «ИНТЕГРАЛ» для разработки новых приборных структур микроэлектроники.

Председатель совета по защите диссертаций

Н.В.Гапоненко

Ученый секретарь совета по защите диссертаций

Г.А.Пискун

