

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Доан Тхе Хоанг
**«ФОРМИРОВАНИЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СЛОЕВ С ВЫСОКОЙ
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ НА ОСНОВЕ СЛОЖНЫХ
ОКСИДОВ РЕАКТИВНЫМ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ»**,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства
полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

Поиск новых диэлектрических материалов с высокой диэлектрической проницаемостью, низким током утечки, высокой стабильностью параметров и разработка методов нанесения тонких пленок сложных оксидов принципиальны для дальнейшего улучшения характеристик интегральных схем и являются актуальными задачами, которые требуют решения. Диссертационная работа Доан Тхе Хоанг как раз и посвящена решению таких задач как разработка методов контролируемого формирования тонких пленок сложных оксидов реактивным магнетронным распылением составных мишеней, контроля и управления их составом и электрофизическими свойствами, что позволяет использовать данный класс пленок в качестве диэлектрических слоев современных МОП интегральных схем.

В работе автором установлены закономерности высоковакуумного реактивного магнетронного распыления составных мишеней при совместной и раздельной подаче газов в камеру, разработана модель магнетронного распыления двухкомпонентной составной мишени, учитывающая распределение плотности ионного тока на мишени, коэффициенты распыления и ионно-электронной эмиссии металлов и их оксидов, и скорости химической реакции образования оксидов, установлены зависимости диэлектрических характеристик пленок сложных оксидов от параметров процесса магнетронного распыления и степени легирования.

Благоприятное впечатление о работе в целом основывается на новизне решенных задач, тщательно выполненном эксперименте и результатах, наиболее важными из которых являются:

- впервые показано, что при высоковакуумном импульсном магнетроном распылении двухкомпонентных Ti-Al, Ta-Al, Zr-Hf, Ti-Zr составных мишеней напряжение разряда магнетрона и скорость нанесения пленок при изменении концентрации кислорода в Ar/O₂ смеси газов определяются эффективными коэффициентами распыления и ионно-электронной эмиссии мишени;

- установлено изменение относительного содержания металлов в пленке, которое связано с процессами формирования пленок оксидов на поверхности частей мишени и различием скоростей окисления этих металлов, определяющиеся значением свободной энергии Гиббса образования оксида;

- выявлены зависимости диэлектрических характеристик (диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь, тока утечки, ширины запрещенной зоны, напряженности поля пробоя) пленок сложных оксидов Ti_xAl_{1-x}O_y, Ti_xZr_{1-x}O_y, Hf_xZr_{1-x}O_y, Ta_xAl_{1-x}O_y от параметров процесса магнетронного распыления и степени легирования.

В целом диссертация Доан Тхе Хоанг является законченным научным исследованием, проведенным на высоком научном уровне.

Вместе с тем имеется несколько замечаний:

- в автореферате автор пишет “при реактивном распылении мишень частично покрыта соединением и мгновенный баланс частиц на поверхности мишени определяется двумя конкурирующими процессами: формированием соединения на непокрытой части поверхности ($1 - \theta_i$) и распылением соединения с покрытой части поверхности θ_i .” Однако в автореферате не отражено влияние количества образующегося соединения на поверхности мишени на структурное совершенство напыляемых пленок, что необходимо знать для их дальнейшего использования;

- автор пишет “Установлено, что легирование пленок оксида титана Al (до 65 ат.%) и Zr (до 62 ат.%) приводит к снижению тангенса угла диэлектрических потерь, плотности тока утечки и увеличению напряженности поля пробоя пленок.” Тем не менее, автором не указаны причины влияния легирующих добавок на электрофизические свойства пленок, что, несомненно, было бы полезно для понимания механизмов формирования и воспроизводимости заявленных свойств.

Высказанные замечания, безусловно, не влияют на высокую оценку данной работы, которая выполнена на высоком научном и экспериментальном уровне.

Основываясь на вышесказанном, считаю, что диссертационная работа Доан Тхе Хоанг содержит принципиально новые фундаментальные результаты по проблеме роли физико-химических процессов в плазме магнетронного разряда на формирование диэлектрических слоев сложных оксидов, выполнена на высоком научно-техническом и экспериментальном уровне с хорошим анализом полученных данных, представляет большой научный и практический интерес. Работа соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Доан Тхе Хоанг заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Я, Каланда Н.А., даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Ведущий научный сотрудник
НПЦ НАН Беларуси по материаловедению
доктор физико-математических наук, доцент



Ознакамлиен

03.10.2023

Doan Txe Hoang

Doan Txe Hoang

Совет по защите
диссертаций при БГУИР
«03» октября 2023 г.
Вх. № 05.02-11/169