

10. Исидоров, В. А. Введение в химическую экотоксикологию / В. А. Исидоров. – СПб.: Химиздат, 1999. – 144 с.
11. Коваль, А. Т. Эколого-геохимическая оценка загрязнения ртутью компонентов природной среды Амурской области: дис. канд. биол. наук / А. Т. Коваль. – М.: РГБ, 2003. – 186 с.
12. Лапердина, Т. Г. Определение ртути в природных водах / Т. Г. Лапердина. – Новосибирск: Наука, 2000. – 222 с.
13. Методика выполнения измерений массовой концентрации общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РП-91С: ПНДФ 16.1:2.23-2000.
14. Сауков, А. А. Геохимия ртути / А. А. Сауков // Труды Ин-та геологических наук АН СССР, 1946. – Вып. 78. – 131 с.
15. Черных, Н. А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н. А. Черных [и др.]. – Пушкино, 2001. – 148 с.
16. Черных, Н. А. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах / Н. А. Черных. – М.: Агроконсалт, 2002. – 200 с.
17. Швайкова, М. Д. Токсикологическая химия / М. Д. Швайкова. – М.: Медицина, 1975. – 378 с.

УДК 621.382.02

Орлова, Е. П., Опиок Н. Э.

ВАКУУМНЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОКСИДОВ ЦИРКОНИЯ

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Тонкие диэлектрические пленки из различных материалов нашли широкое применение. Благодаря ряду уникальных физико-химических свойств, они используются в качестве буферных покрытий, стойких к воздействиям высокой температуры плазмы, коррозионных сред, медленных нейтронов, в качестве материала твердотельных электролитов и др. Наиболее перспективными для получения защитных покрытий являются оксиды титана и циркония.

В настоящее время в литературе имеется много сообщений о способах получения пленок диоксида циркония. Многообразие методов нанесения объясняется различием химической природы исходных пленкообразующих веществ, материала тех изделий, на ко-

торые должны быть нанесены пленки, а также различным назначением пленок и разнообразными условиями их использования. Нанесение пленок может осуществляться физическими (или вакуумными) и химическими методами при использовании различных химических реакций или физико-химических процессов, происходящих на поверхности твердого тела [1].

Ионы различных металлов (щелочноземельных – Be, Mg, Ca, Sr, Ba, подгруппы скандия – Sc, Y, лантаноидов), внедренных в диэлектрическую пленку диоксида циркония, в ряде случаев играют стабилизирующую роль при получении кубической модификации. Наилучшими стабилизирующими свойствами обладают ионы иттрия. Введение их в структуру ZrO_2 приводит к формированию флюоритоподобной кубической фазы, стабильной в широком температурном диапазоне – от комнатной температуры до высоких температур порядка 1500 °С. При этом система ZrO_2 – Y_2O_3 существует в виде твердого раствора оксидов и здесь не происходит образование химических соединений. В работе [2] приведены сравнительные исследования пленок диоксида циркония, полученных электрохимическим и термическим окислением тонкой (100 нм) пленки циркония с 10 %-ным содержанием иттрия, равномерно распределенного по объему. Подложкой служили 74 пластины монокристаллического кремния КЭФ-4,5 с ориентацией (100). Анализ дифрактограмм показал, что структура легированных пленок, имеет преимущественно кубическую модификацию. Причем для пленок, сформированных термическим окислением тонких пленок металлического циркония с 10 %-ным иттрием, содержание моноклинной модификации значительно больше, чем для анодированных пленок и не изменяется с повышением температуры окисления от 500 до 800 °С. Для анодированных пленок ZrO_2 с повышением температуры отжига до 800 °С содержание моноклинной модификации уменьшается. Таким образом, стабилизация кубической фазы ZrO_2 за счет добавки иттрия устойчива с ростом температуры. Оценивали буферные свойства тонкопленочных покрытий ZrO_2 на кремниевых подложках [3] по распределению Si, Zr, в толщине пленок ZrO_2 . Установлено, что количество кремния, проникшего через пленку диоксида циркония, ничтожно мало у анодных пленок и на 1,5 порядка меньше, чем у слоев ZrO_2 , сформированных термическим окислением тонких пленок Zr. Таким образом, добавка иттрия по-

вышает степень текстурированности пленок ZrO_2 и улучшает их буферные свойства относительно диффузии атомов кремния. Методы получения ZrO_2 в вакууме требуют обязательного последующего отжига формируемых слоев для стабилизации структуры. Буферные слои диоксида циркония получали методом ВЧ магнетронного распыления [4]. Осаждение осуществляли из порошковой мишени, состоящей из смеси диоксида циркония и оксида иттрия, который вводится для стабилизации кубической фазы. В качестве рабочего газа применяли смесь аргона с кислородом. Слои ZrO_2 толщиной 0,14–0,51 мкм получали электроннолучевым распылением мишени поликристаллического ZrO_2 диаметром 15 мм, толщиной 2,5 мм на подложке Si, нагретые до 520 К. Взаимодействие слоев ZrO_2 с кремнием показано, что после термоотжига при 870 К (7 мин), 1170 К (30 мин), 1270 К (5 мин) практически все пленки имеют поликристаллическую структуру с кубической решеткой. Проводили осаждение ZrO_2 с составом пленки: 90 % ZrO_2 +10 % Y_2O_3 высокотемпературным магнетронным распылением мозаичной мишени [5]. Рентгенофазовым анализом была идентифицирована тетрагональная структура диоксида циркония. В [6] описана технология нанесения высококачественных защитных покрытий, содержащих ZrO_2 , на поверхность титановых заготовок. Свойства жаропрочных и теплозащитных покрытий диоксида циркония, получаемых методом плазменного осаждения показали, что при плазменном воздействии происходит коагуляция частиц в результате оплавления. Анализ термозащитных свойств слоя ZrO_2 (8 мас.% Y_2O_3), полученного плазменным осаждением на слои Co, Ni, Cr, Al, Y, приведен в работе [7]. Показано, что наличие керамического покрытия существенно повышает окалиненность композиционного покрытия при термоциклировании на воздухе между 1050 °С и комнатной температурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецова, Г. Н. Тонкопленочные диэлектрические покрытия и некоторые методы их исследования. Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1986. – 56 с.
2. Технология формирования покрытий на основе окислов циркония и титана / Л. М. Лыньков, В. П. Глыбин, В. П. Богуш [и др.]; под ред. Л. М. Лынькова. – Мн.: БГУИР, 2001. – 200 с.

3. Лыньков, Л. М. Исследование анодного диоксида циркония для буферных слоев ВТСП-структур на кремнии / Л. М. Лыньков, Ю. К. Карелин // Современная технология получения материалов и элементов высокотемпературных микросхем // Материалы II междунар. семинара. – Мн., 1992. – С. 83.

4. Сотников И. Л. Формирование буферных слоев диоксида циркония для щелочных ВТСП-структур / И. Л. Сотников, А. А. Фомин // Материалы межотрасл. науч.-техн. семинара. – Мн., 1990. – С. 174.

5. Исследование путей нанесения тонких пленок МПГ на оксидные подложки // Отчет о НИР. – М., 1987. – 50 с.

6. Заявка 62-133054. Япония. С.22F 1/ 18. – 1987.

7. 10. Microstructures, properties and failure Analysis of ZrO₂ – 8 wt % Y₂O₃ (Co, Ni, Cr, Al, Y) Thermal Barrier Coatings / B. C. Wa, E. Chang, D. Tu, S. I. Wands // Mater Sci and Eng. A. – 1988. – № 111. – P. 201 – 210.

УДК 512

Пчельник В. К.

**ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА
QR-РАЗЛОЖЕНИЯ МАТРИЦЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ
ТАБЛИЦАХ MS EXCEL**

*Гродненский государственный университет
имени Янки Купалы,
г. Гродно, Республика Беларусь*

В курсе «Вычислительные методы алгебры» изучается алгоритм QR-разложения квадратной матрицы $A = (a_{ij})_{i,j=1}^n$. Имеет место следующая теорема (о QR-разложении) [1, стр. 31].

Теорема. Преобразованиями Хаусхолдера любая квадратная матрица с вещественными элементами может быть представлена в виде произведения вещественных ортогональной и правой треугольной матриц.

Найти матрицы Q и R можно в соответствии с формулами (1) [1, стр. 29–30].