

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИИ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
МЕХАНИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
СОВЕТ МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ ТГУ



Актуальные проблемы современной механики сплошных сред и небесной механики

Международная молодежная научная конференция

17–19 ноября 2014 г., Томск



Издательство Томского университета
2015

транзистора Шоттки методом двумерного численного моделирования. В результате было показано, что даже при низких потенциалах на затворе и стоке существует сильное поле вблизи стокового края затвора. Результаты приводят к выводу о влиянии величины потенциала затвора на характер прохождения электронов: чем выше величина потенциала на затворе, тем выше вероятность запираания транзистора. На основании данных исследований появилась возможность моделировать вольт-амперные характеристики полевого транзистора и более углубленно исследовать неоднородное распределение концентрации носителей заряда в активной области на достаточном уровне, позволяющем конструировать устройства перспективных направлений на существующем технологическом оборудовании.

Литература

1. *Кадничанский Я.О., Боцуло О.В.* Субмикронные полевые транзисторы. Харьков, 2012.
2. *Вячистый Д.Ф., Нариманов Р.К.* Гидродинамическая двумерная модель GaAs полевого транзистора Шоттки с учетом особенностей электрического поля. Томск, 2006.
3. *Васенин И.М., Нариманов Р.К.* Определение параметров магнитогиродинамического течения в канале МГД-генератора с учетом краевых эффектов электрического поля. Томск, 2001.
4. *Kohn E.* V-shaped-gate GaAs MESFET for improved high frequency performance // *Electronics Letters*. 1975. Vol. 11, № 8. P. 160.
5. *Wang Y.J., Lu S.S.* Two-dimensional simulation for the GaAs V-groove gate MESFET's // *Solid State Electronics*. 1999. Vol. 43, № 2. P. 229.
6. *Оболенский С.В., Китаев М.А.* Полевой транзистор с 30-нм затвором // *Письма в ЖТФ*. 2000. Т. 26, вып. 10. С. 13.
7. *Оболенский С.В., Китаев М.А.* Исследование процессов генерации в баллистическом полевом транзисторе // *Микроэлектроника*. 2001. Т. 30, вып. 1. С. 7–12.
8. *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика. М.: Наука, 1976.
9. *Иващенко В.М., Митин В.В.* Моделирование кинетических явлений в полупроводниках. Метод Монте-Карло. К.: Наукова думка, 1990. 192 с.
10. *Шур М.* Современные приборы на основе арсенида галлия / пер. с англ. М.: Мир, 1991. 632 с.
11. *Хокни Р., Иствуд Дж.* Численное моделирование методом частиц. М.: Мир, 1987. 640 с.
12. *Klimeck G., Ahmed S.S.* Atomistic simulation of realistically sized nanodevices using NEMO 3-D Part I. Models and Benchmarks // *Electron devices*. 2007. 54, 9. P. 1212.
13. *Флетчер К.* Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т. 1–2. М.: Мир, 1991.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ MgO В КОМПОЗИТЕ С ZrO₂(MgO) НА ПАРАМЕТРЫ СПЕКАНИЯ И СТРУКТУРУ МАТЕРИАЛА

А.С. Буюков, С.Н. Кульков

Работа посвящена изучению композита на основе стабилизированного оксидом магния диоксида циркония и оксида магния, спеченного в широком диапазоне температур при различной концентрации оксида магния. Проведен рентгеноструктурный анализ, изучены пористость и объемная усадка и выявлены закономерности между этими параметрами.

STUDY OF THE EFFECT OF MgO CONCENTRATION IN THE COMPOSITE WITH ZrO₂(MgO) ON THE STRUCTURE AND SINTERING PARAMETERS OF THE MATERIAL

A.S. Buyakov, S.N. Kulkov

This study based on the sintering of composite magnesia stabilized zirconia with magnesia in a wide temperature range and different magnesia concentrations. Shown the results of an X-ray analysis, studied porosity and volumetric shrinkage and the regularities between these parameters.

Благодаря своим уникальным свойствам (высокая твердость, коррозионная и термостойкость и т.д.) керамика на основе диоксида циркония нашла обширное

применение за последние несколько десятилетий [1]. Большой интерес представляют различные композиционные материалы, имеющие в своем составе ZrO_2 . Так, композиты на основе Al_2O_3 с включениями ZrO_2 , частично стабилизированного в тетрагональной фазе, характеризуются повышенной прочностью и трещиностойкостью [2]. При спекании ZrO_2 с 5–10 % $CaSiO_3$ материал будет обладать высокой ударной вязкостью [3], а керамические материалы на основе системы $ZrO_2 - MgO$ обладают высокой температурой плавления и химической стойкостью. Такой композит также интересен с точки зрения ортоимплантологии: MgO биологически активный материал, а $ZrO_2(MgO)$ входит в реестр ISO в качестве материала, пригодного для изготовления эндопротезов [2]. Однако несмотря на различные исследования композитов на основе MgO и $ZrO_2(Mg)$, опубликованные в работах ряда авторов, до конца не изучены изменения морфологии и фазовой структуры такого композита в широком диапазоне концентраций и температур спекания, что определило цель исследований: изучение влияния концентрации MgO в композите со $ZrO_2(MgO)$ на параметры спекания и структуру материала.

Порошки $ZrO_2(MgO)$ и MgO были получены аналогично исследованным в [4–6]. Порошки смешивались механически с различным содержанием MgO от 0 до 100 % и прессовались под давлением 80 МПа. Спекание проводилось при температурах от 1200 до 1650 °С с выдержкой в течение часа. Определены объемная усадка, пористость, плотность и фазовый состав образцов. Плотность и объем порового пространства образцов изучены методом гидростатического взвешивания, теоретическая плотность определялась по правилу смеси с учетом объемной доли фаз $ZrO_2(MgO)$ и MgO . Для определения фазового состава исследуемой керамики был проведен рентгеноструктурный анализ.

Объемная усадка имеет максимальное значение порядка 75 % в образцах, спеченных при температуре 1650 °С с содержанием MgO 1–5 %. При снижении температуры спекания до 1300 °С величина усадки снижается до значения 65 %, однако при изменении концентрации MgO при этих температурах она изменяется в пределах 5 %. С дальнейшим снижением температуры величина усадки резко уменьшается и имеет явную зависимость от количества MgO . Так, в образцах, спеченных при температуре 1200 °С без MgO , усадка составляет порядка 55 %, но с ростом концентрации MgO величина усадки заметно уменьшается, достигая минимума 35 %.

Наименьшую пористость и соответственно наибольшую плотность имеют образцы, спеченные при максимальной температуре в исследуемом диапазоне – 1650 °С. В этом случае объем порового пространства уменьшается от 15 % в образцах без MgO до 6 % в образцах с 75 % MgO . При снижении температуры спекания до 1400 °С объем порового пространства увеличивается без явной зависимости от MgO в среднем до 20 %. При более низких температурах пористость значительно возрастает до значения 55 % при 50 % MgO .

По полученным рентгенограммам построены зависимости изменения интенсивности пиков (111) и (11–1) моноклинной фазы (рис. 1) от количества MgO и температуры спекания. Интенсивности линий моноклинной фазы имеют максимум в образцах без добавок MgO и спеченных при температуре 1300 °С. С увеличением температуры спекания интенсивность резко уменьшается. Формирование моноклинной фазы совпадает с возрастанием пористости при тех же температурах спекания и концентрациях MgO . Изменение интенсивности кубической фазы при изменении температуры спекания и количества MgO имеет вид, обратный той же зависимости моноклинной фазы.

Зависимость размера кристаллитов моноклинной фазы от концентрации MgO была линеаризована в двойных логарифмических координатах и аппроксимирована

степенной функцией. Из рис. 2, *a* видно, что степень аппроксимирующей функции, скорость возрастания ОКР увеличиваются более чем в три раза с увеличением температуры спекания более 1500 °С, в то время как предэкспоненциальный множитель изменяется незначительно – в пределах 5 % (рис. 2, *б*).

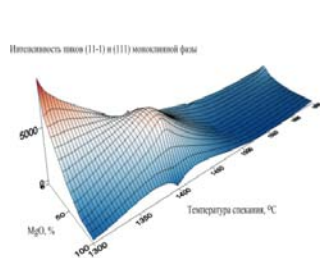


Рис. 1. Величина интенсивности пиков (11-1) и (111) моноклинной фазы $ZrO_2(MgO)$ в зависимости от температуры спекания и концентрации MgO

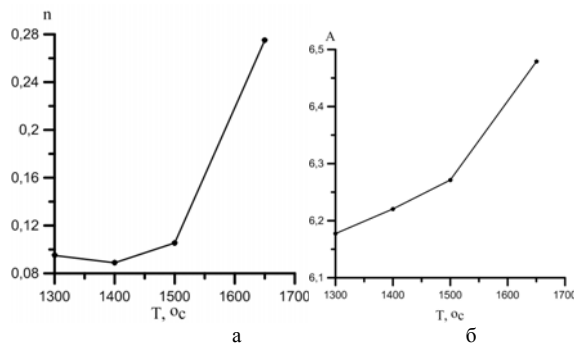


Рис. 2. Зависимость показателя экспоненты аппроксимирующей функции ОКР моноклинной фазы от температуры (*a*); *б* – зависимость предэкспоненциального множителя аппроксимирующей функции ОКР моноклинной фазы

Зависимость размера кристаллитов кубической фазы от содержания MgO можно разделить на три участка, на первом и третьем из которых ОКР практически неизменны, в то время как на втором видно резкое возрастание (рис. 3, *a*), что можно объяснить с помощью диаграммы состояния ZrO_2-MgO [7].

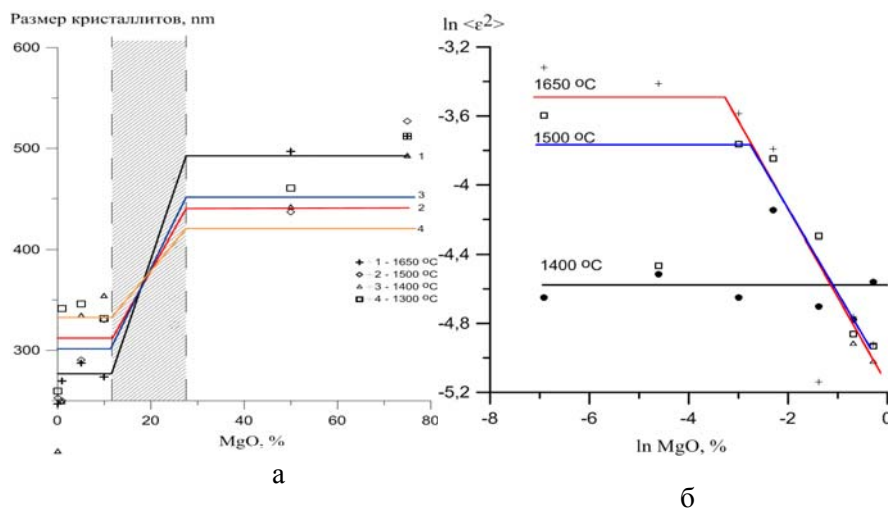


Рис. 3. Зависимость ОКР кубической фазы от содержания MgO (*a*); *б* – микродисторсия кубической кристаллической решетки

Микроискажения кубической решетки растут с увеличением температуры спекания, но не изменяются в зависимости от концентрации MgO. Однако при достижении этой концентрации более 5 % они резко уменьшаются (рис. 3, *б*) до значений ниже, чем при более низких температурах спекания. Это свидетельствует о том, что

искажения решетки с ростом температуры спекания релаксируют и решетка становится бездефектной.

Проведенные исследования показали, что при спекании и изменении концентрации MgO в композите $ZrO_2(MgO) - MgO$ объемная усадка изменяется в пределах 20 %, а пористость – в пределах 55 %. Микроискажения кристаллической решетки кубической фазы ZrO_2 растут при увеличении температуры спекания при малых содержаниях оксида магния, но при достижении концентрации MgO более 5 % они уменьшаются, что говорит о том, что с увеличением температуры спекания дефектность решетки уменьшается.

Литература

1. Hirvonen A., Nowaka R., Yamamoto Y. et al. // J. Eur. Ceram. Soc. 26 (2006) 1497–1505.
2. Evans A.G. Perspectives on the development of high-toughness ceramics // J. Amer. Ceram. Cos. 1990. Vol. 73, no 2. P. 187–206.
3. Duangsupa C., Kulkov S.N. Structure and mechanical properties of $ZrO_2(MgO)-CaSiO_3$ composites // Strategic Technology (IFOST), 2012 7th International Forum on. IEEE. 2012. P. 1–4.
4. Буякова С.П., Кульков С.Н. Фазовый состав и особенности формирования структуры в нанокристаллическом ZrO_2 // Российские нанотехнологии. 2007. Т. 2. С. 1–2.
5. Буякова С.П. Свойства, структура, фазовый состав и закономерности формирования пористых наносистем на основе ZrO_2 : дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2008. 280 с.
6. Buyakova S.P., Kalatur E.S., Buyakov A.S., Kulkov S.N. Structure and properties of ZrO_2-MgO powders // Journal OF Silicate Based and Composite Materials. 2014. No 8. P. 8–12.
7. Yokokawa H. et al. Phase diagram calculations for ZrO_2 based ceramics: thermodynamic regularities in zirconate formation and solubilities of transition metal oxides // Science and technology of zirconia V. 1993. P. 59–68.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ6

М.В. Надежкин, А.Г. Лунев, С.А. Баранникова, Н.А. Ионова

Проведено исследование распределений локальных деформаций при растяжении образцов титанового сплава ВТ6 с использованием автоматизированных систем анализа спекл-фотографий и цифровых спекл-изображений.

INVESTIGATION OF THE PLASTIC DEFORMATION LOCALIZATION IN TITANIUM ALLOY

M.V. Nadezhkin, A.G. Lunev, S.A. Barannikova, N.A. Ionova

The investigation of the local deformations distribution under conditions of tension of titanium alloy specimens using automated systems of speckle photography analysis and digital speckle images was carried out.

В настоящее время вопросы повышения прочности и обеспечения безопасности ответственных элементов конструкций, связанные с исследованиями полей деформаций и анализом напряженно-деформированного состояния материалов, для понимания природы локализации пластической деформации сплавов [1] могут решаться с использованием экспериментальных методов механики деформируемого твердого тела [2, 3]. В настоящее время титановые сплавы рассматриваются как наиболее перспективные конструкционные материалы для медицины, авиакосмической и химической техники вследствие их низкой плотности, хорошей биосовместимости и высокой коррозионной стойкости.