

Рис. 1. Механизм образования порошковых криогелей поливинилового спирта

социации гидратов метана, что показывает высокую эффективность системы для многократного использования с целью хранения и транспортировки газа в гидратном состоянии.

Список литературы

1. Истомин В. И., Якушев В. С. Газовые гидраты в природных условиях. – М.: Недра, 1992. – 235 с.
2. Yang L. // Chem. Eng. J., 2019. – № 374. – 802–810 pp.
3. Podenko L. V. // J. Nat. Sc. Eng., 2021. – № 88. – Р. 8.
4. Lozinsky V. I., Okay O. // Polymeric Cryogels, 2014. – 49–101 pp.

Работа выполнена в рамках госзадания № 122011400146-6.

СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ МАХ-ФАЗ С ДОБАВЛЕНИЕМ ДИОКСИДА ГАФНИЯ

П. А. Пономарёва

Научный руководитель – д.т.н., С. Н. Перевислов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Россия, г. Томск, проспект Ленина, дом 30, par14@tpu.ru

Композитные материалы под названием МАХ-фазы известны уже достаточно давно [1], однако их синтез еще не до конца изучен. Условия и исходные компоненты могут варьироваться, благодаря чему могут синтезироваться материалы разного состава [2].

В работе было проведено спекание МАХ-фаз Ti_3SiC_2 и Zr_2AlC с диоксидом гафния в различных пропорциях.

В процессе синтеза могут образовываться МАХ-фазы других составов, однако они чаще сопровождают основную фазу в качестве примесей. Иногда при спекании добавляют оксиды металлов, например, использованный в этой работе диоксид гафния.

Спекание производилось при двух температурах: 1500 °С и 1800 °С в вакуумной печи в среде аргона при времени выдержки в 1 час.

Дальнейшее исследование полученных МАХ-фаз было произведено с помощью микроскопа Tescan Vega 3 SBH (поэлементный анализ) и дифрактометра Rigaku SmartLab 3 (фазовый состав).

Для образцов, спекаемых при 1500 °С, характерна стойкость МАХ-фаз и слабое взаимодействие с оксидом гафния. В качестве примесей присутствуют карбид титана, оксид титана и оксиды гафния. Пример полученных данных приведен в Таблице 1.

Для образцов, спекаемых при 1800 °С, характерно полное взаимодействие с диоксидом гафния. Также испаряются алюминий и крем-

Таблица 1. Фазовый состав образцов, полученных при 1500 °С

| № образца | Химический состав | Идентифицированные фазы | Количественное содержание фаз, об. % |
|-----------|---|-------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 90 мол. % Ti_3SiC_2 + 10 мол. % HfO_2 | Ti_3SiC_2 | 4,57 |
| | | TiC | 23,28 |
| | | TiOx | 45,40 |
| | | SiC | 10,42 |
| | | HfO_2 | 16,33 |
| 2 | 90 мол. % Zr_2AlC + 10 мол. % HfO_2 | Zr_2AlC | 20,59 |
| | | ZrC | 51,79 |
| | | HfO_2 | 12,51 |
| | | Al_2O_3 | 15,11 |

Таблица 2. Фазовый состав образцов, полученных при 1800 °С

| № образца | Химический состав | Идентифицированные фазы | Количественное содержание фаз, об. % |
|-----------|---|-------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 90 мол. % Ti_3SiC_2 + 10 мол. % HfO_2 | SiC | 10,74 |
| | | TiC | 89,26 |
| 2 | 90 мол. % Zr_2AlC + 10 мол. % HfO_2 | ZrC | 87,83 |
| | | HfC | 27,17 |

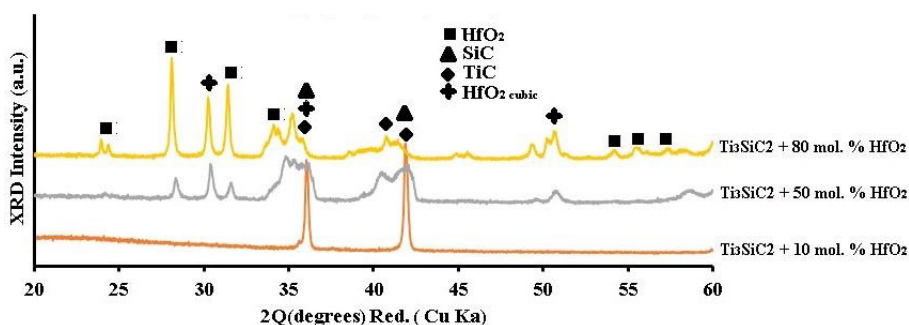


Рис. 1. Дифрактограмма образцов $Ti_3SiC_2 + HfO_2$ синтезированных при температуре 1500 °С

ний. В качестве примесей МАХ-фазы сопровождают карбиды кремния и титана, а также соединения гафния. Примеры полученных данных для этого синтеза представлен в Таблице 2.

На рисунке 1 представлена дифрактограмма образцов титановых МАХ-фаз, спеченных с диоксидом гафния при 1500 °С.

Список литературы

1. Anasori B., Gogotsi Y. *2D Metal Carbides and Nitrides (MXenes). Structure, Properties and Applications* / Anasori B., Gogotsi Y. // Drexel University, Philadelphia, PA, USA, 2019. – 530 p.
2. МЕТОДЫ СИНТЕЗА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ: учебное пособие / Л. Я. Гаврилова. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2008. – 74 с.