

НОВЫЕ МАТЕРИАЛИ ДЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Тищенко Я. С., Макудера А. А., Глабай М. С., Лакиза С. Н.

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины,
ул. Кржижановского, 3, Киев, 03680, Украина
e-mail: tyshjana@ukr.net

Пленки теплозащитных покрытий (ТЗП) из ZrO_2 , стабилизированного оксидом иттрия (Y_2O_3), широко используются для защиты деталей горячих секций двигателей самолетов и наземных турбин. Кроме YSZ, перспективными материалами для ТЗП являются также цирконаты лантана, легированные редкоземельными оксидами.

Поиск новых материалов для ТЗП ведется в двух направлениях: материалы с более низкой теплопроводностью и материалы, обеспечивающие более высокую стойкость покрытия от разрушения и отслоения в процессе эксплуатации. Второе направление более важное, поскольку стабильность ТЗП является основным условием для практического его использования в двигателестроении.

В современных ТЗП химическая защита от окисления осуществляется тонкой пленкой $\alpha-Al_2O_3$ (thermally grown oxide, TGO), которая возникает в процессе эксплуатации изделия между связующим покрытием (СП) (bonding coating) и теплозащитным покрытием. Поэтому изучение фазовых равновесий между соединениями со структурой типа пироклора и Al_2O_3 (TGO) играет важную роль в создании ТЗП. При этом трудно переоценить роль построения диаграмм состояния систем $Al_2O_3-Zr(Hf)O_2-Ln_2O_3$ для оценки успешности использования того или иного материала в качестве ТЗП.

В изотермических разрезах диаграммы состояния системы $Al_2O_3-ZrO_2-La_2O_3$ существуют десять областей, из которых три однофазные ($T-ZrO_2(T)$, $Al_2O_3(AL)$, $A-La_2O_3(A)$), пять двухфазных: $AL+T$, $\beta-Al_2O_3(\beta)+T$, $LaAlO_3(LA)+T$, $LA+La_2Zr_2O_7(LZ_2)$ (31,5–35), $LA+A$ (91) и четыре трехфазные: $AL+T+\beta$, $\beta+T+LA$, $T+LA+LZ_2$, $LA+LZ_2(35)+A(91)$. В кавычках приведено содержание % La_2O_3 в твердых растворах на основе фазы LZ_2 и % ZrO_2 в твердом растворе A на основе La_2O_3 . Новых фаз и, соответственно, фазовых областей с их участием в тройной системе, как и прогнозировалось, не обнаружено. Строение изотермического разреза определяется особенностью фазовых равновесий в ограничивающих

двойных системах, а именно: образованием соединений β , LA , LZ_2 , твердых растворов T и A . По характеру взаимодействия изотермические сечения диаграммы состояния системы $Al_2O_3-ZrO_2-La_2O_3$ при 1250 та 1650 °C не отличаются. Разница заключается лишь в большей протяженности областей гомогенности фаз LZ_2 и T , что обусловлено строением диаграммы состояния ограничивающей двойной системы $ZrO_2-La_2O_3$. Наличие в обоих изотермических сечениях двухфазных областей $AL+T$, $LA+LZ_2$ и $\beta+LZ_2$ позволяет прогнозировать существование триангулирующих сечений в них.

Анализ строения изотермических сечений диаграммы состояния системы $Al_2O_3-HfO_2-La_2O_3$ при 1250 и 1600 °C показывает, что они подобны. Изменяется только ширина некоторых областей, что связано с изменением протяженности областей M , A и LH_2 -твердых растворов на диаграмме состояния двойной системы $HfO_2-La_2O_3$ с изменением температуры. Наличие в обоих сечениях двухфазных областей $AL+LH_2$, $\beta+LH_2$ и $LA+LH_2$ позволяет прогнозировать существование триангулирующих сечений в них. Изотермические сечения обеих систем-аналогов отличаются тем, что равновесия между фазами AL , $Hf(Zr)O_2$, LZ_2 , LH_2 , LA в рассматриваемых системах принципиально разные. Если в системе с ZrO_2 существует равновесие ZrO_2-LA , то в системе с HfO_2 имеет место альтернативное равновесие LH_2-AL . В результате изменяется триангуляция системы. Причина этого явления, вероятнее всего, в более высокой термодинамической стабильности фазы $La_2Hf_2O_7$ (температура плавления 2420 °C) по сравнению с аналогичной фазой $La_2Zr_2O_7$ (температура плавления 2280 °C). Остальные равновесия обеих систем однотипны. Именно поэтому гафнат лантана можно наносить на связующее покрытие, не боясь реакции с Al_2O_3 и разрушения ТЗП. В результате следует ожидать более стабильной работы покрытия, изготовленного из гафната лантана.