

сопротивления на валентность металла  $\rho \cdot z$  может быть использовано для оценки свойств тонкопленочных материалов, являющихся электронными проводниками; для оценки свойств дырочных тонкопленочных проводников и резистивных слоев можно использовать отношение  $\frac{\rho}{z}$ . Чем больше это отношение, тем выше стойкость материала к процессам электродиффузии. Соотношения между  $\rho$  и  $z$  можно использовать в качестве критериев выбора резистивных тонкопленочных материалов. Как правило, основным носителем заряда в ТПР являются электроны, поэтому в качестве критерия стойкости к электродиффузии целесообразно использовать произведение удельного сопротивления и валентности, т.е.

$$K_{\text{эл.д}} = \rho \cdot z. \quad (2)$$

Чем больше значение коэффициента  $K_{\text{эл.д}}$ , тем выше стойкость материала к электродиффузии и выше должна быть стабильность ТПР при работе под электрической нагрузкой.

Кроме того, для высокостабильных резисторов желательно использовать резистивные пленки с большими значениями  $\rho$  и размера зерен  $\Delta$ . Согласно исследованиям Левинштейна размер зерна металлической пленки зависит от температуры плавления:

$$\Delta \sim \frac{1}{T_{\text{пл}}}.$$

С учетом этого стойкость металлов к процессу электродиффузии можно оценить с помощью следующего обобщенного критерия:

$$K_{\text{эл. д}} = \frac{\rho \cdot z}{T_{\text{пл}}}. \quad (3)$$

Согласно критерию (3) наиболее эффективными металлами из рассмотренных следует считать V, Re, Cr и Nb. Однако из этих четырех металлов лишь V и Cr имеют  $T_{\text{исп}}$  менее 2000°C. Перспективными должны быть так же РЗМ, например, Y, Sm, Gd, т.к. для них  $K_{\text{эл.д.}} \geq 0,1$ . Исходя из условий (1) и (3), наиболее эффективным металлом следует считать хром. Это подтверждено также экспериментально. Возьмем его за основу металлической фазы при разработке высокоомных стабильных керметов.

УДК 621.382

## ФИЗИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ФАЗЫ КЕРМЕТОВ

М. А. Карпец

Самарский университет, г. Самара

Выбор диэлектрической фазы для керметов оказывается еще более трудным. Ранее были предложены некоторые критерии выбора материала диэлектрика для керметов: коэффициент диссоциации  $\gamma_{\text{д}}$ , величина энергии поляронного состояния  $H_0$  и коэффициент поляронной активации  $K_a$ .

Согласно этим критериям одним из наиболее перспективных материалов для диэлектрической фазы керметов могут быть некоторые соединения РЗМ, обладающие кроме того высокой термодинамической устойчивостью и эффектом модифицирования, что позволяет размельчать структуру тонкой пленки и при постоянных значениях толщины и состава в несколько раз увеличить удельное сопротивление. Для совместного использования с хромом предлагается использовать многокомпонентные системы, такие как двойные бораты РЗЭ с элементами II группы периодической системы, например  $Dy_2Sr_3(BO_3)_4$ . Этот материал сублимирует, температура его испарения близка к  $T_{исп}$  хрома, он имеет  $K_a \geq 0,05$  и большие значения коэффициентов  $\gamma_d$  и  $H_o$  по сравнению с другими материалами, что согласно критериям позволяет считать его перспективным диэлектриком для керметов. Подходящими диэлектриками должны быть также  $Nd_2O_3$  и  $NdAlO_3$ .

Для изготовления высокоомных тонкопленочных резисторов предлагается использовать ряд резистивных материалов: Cr-  $Nd_2O_3$ , Cr-  $NdAlO_3$ , Cr-  $Dy_2Sr_3(BO_3)_4$ , Cr-SiO-  $NdAlO_3$ .

#### КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Проведена оценка эффективности диэлектрических материалов по оптимальному сочетанию свойств, удельной емкости и технологичности, атомному размеру РЗМ, энергии активации, ширине запрещенной зоны, коэффициенту поляронного эффекта, температурному критерию и критерию стойкости к подгонке. Наиболее эффективными диэлектриками для прецизионных ТПК должны быть  $NdAlO_3$ ,  $Ho_2Zr_2O_7$ ,  $YScO_3$ ,  $DyAlO_3$ ,  $HoAlO_3$ .

2. Проведено физико-технологическое обоснование выбора и диэлектрической фазы керметов. В качестве металлической фазы выбран хром, т.к. он обладает максимальным значением критерия сочетания электрофизических свойств и технологичности и большой стойкостью к процессам электродиффузии. В качестве диэлектрической фазы предложено использовать  $Dy_2Sr_3(BO_3)_4$ ,  $NdAlO_3$ .

УДК 53.091

### СТЕНД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ПОВЕРХНОСТЬ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

А.С. Касаткин, М.П. Калаев  
Самарский университет, г. Самара

В настоящее время существует тенденция увеличения концентрации высокоскоростных техногенных пылевых частиц на околоземных орбитах. Учитывая все повышающиеся требования к долговечности космических аппаратов, а также появление множества новых материалов, необходимо