

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК.539.5

DOI: 10.17223/00213411/68/11/14

Влияние процесса формирования анортитных включений на фазовый состав, структуру и физические свойства корундовой керамики*М.В. Григорьев¹, В.А. Егошин^{1,2}, А.А. Ахмадиева¹, Н.Л. Савченко¹,
Е.В. Ермолаев², Р.Ш. Ахметгалиев^{1,2}, Ш.Н. Шугаепов^{1,2}, И.А. Жуков¹¹ *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*² *АО «Завод полупроводниковых приборов», г. Йошкар-Ола, Россия*

Исследование направлено на изучение процессов формирования анортитных включений в темной и белой корундовой керамике, используемой для применения в металлокерамических корпусах интегральных схем. Показаны возможные причины возникновения анортита в структуре керамики и какую роль при этом играет циркон. Было предложено: исключение из состава шихты цирконового концентрата, введение карбоната магния ($MgCO_3$) и корректировка содержания $CaCO_3$. Анализ микроструктуры, фазового состава и физических свойств подтвердил снижение пористости, исчезновение анортита и повышение плотности. Результаты демонстрируют перспективность модифицированных керамик для микроэлектроники.

Ключевые слова: анортит, оксид алюминия, диэлектрическая керамика, пористость, размер зерна.

Введение

При производстве корундовой вакуумплотной керамики с содержанием минерализаторов системы $CaO-MgO-SiO_2$ до 10% сталкиваются с проблемой возникновения дефектов в виде анортитных включений ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) [1, 2]. Такая керамика находит широкое применение в науке и технике от изоляторов до подложек интегральных схем и от фильер до режущего инструмента. Анортит может образовываться в результате взаимодействия примесных или целевых оксидов кальция (CaO), алюминия (Al_2O_3) и кремния (SiO_2) при высокотемпературном обжиге [1–3]. Их появление обусловлено как неоптимальным составом сырья, так и недостаточным контролем температурного режима спекания.

Наличие анортитных включений в вакуумплотной корундовой керамике может способствовать снижению диэлектрической проницаемости или дестабилизировать ее значения – анортит обладает иными диэлектрическими свойствами (диэлектрическая проницаемость ~ 6) по сравнению с $\alpha-Al_2O_3$ (диэлектрическая проницаемость ~ 9), что приводит к неоднородности электрических характеристик материала [4]. Кроме этого, может увеличиваться тангенс угла диэлектрических потерь ($\tan \delta$), особенно на высоких и сверхвысоких частотах. Это критично для применения в СВЧ-устройствах, где требуется минимальное поглощение сигнала. Анортитные включения создают слабые границы раздела фаз, что может оказать влияние на прочность сцепления с наносимыми проводящими покрытиями на основе вольфрама и молибдена. Это может привести к отслоению металлизированных слоев при эксплуатации. И, наконец, анортитные включения приводят к повышенной хрупкости и снижению механической прочности из-за термических напряжений, возникающих на границах фаз $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 / \alpha-Al_2O_3$ с разными коэффициентами теплового расширения (коэффициент теплового расширения $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \sim 5 \cdot 10^{-6}/^\circ C$, коэффициент теплового расширения $\alpha-Al_2O_3 \sim 8 \cdot 10^{-6}/^\circ C$). Важным фактором корундовой керамики с анортитными включениями является нестабильность ее диэлектрических и механических характеристик при изменении температуры и времени – анортит может подвергаться полиморфным превращениям [5, 6] или выделяться в виде вторичных фаз [5, 6] при длительной эксплуатации, что ухудшает долговременную надежность компонентов.

* Исследование проводилось при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2025-607 от 01.07.2025).