

Н. П. БОГОРОДИЦКИЙ и Н. Л. ПОЛЯКОВА

## ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ ОКСИ АЛЮМИНИЯ

(Представлено академиком А. Ф. Иоффе 28 XII 1953)

Окись алюминия  $Al_2O_3$ , как известно, может существовать в трех модификациях. Наиболее устойчивой является модификация  $\alpha$ -глинозем (корунд). Вторая модификация,  $\gamma$ -глинозем, менее устойчива и переходит в модификацию  $\alpha$  при нагреве свыше  $1000^\circ$ . Третья модификация, так называемая  $\beta$ -глинозем, представляет собой различные виды высокоглиноземистых алюминатов, например натриевый алюминат — натриевый  $\beta$ -глинозем ( $Na_2O \cdot 11Al_2O_3$ ).

Корунд в качестве основы входит в состав ряда современных керамических материалов, в том числе в алюминоксид — технический материал, нашедший себе применение в электротехнике. Однако при использовании деталей из алюминоксида выявилась неустойчивость угла диэлектрических потерь этого вообще ценного материала. Для решения вопроса о том, не зависит ли это явление от перехода одной модификации глинозема в другую, нами были обследованы образцы чистого монокристалла корунда, полученного искусственно, такого же корунда с примесью окиси хрома (искусственный рубин), поликристаллических образцов, полученных спеканием при температуре около  $1750^\circ$ , спрессованных дисков из окиси алюминия, химически чистой и с добавками  $Na_2O$ , а также образцов, изготовленных из технической окиси алюминия марки Г-1. Чистота изучаемых материалов проверялась спектральным анализом. Для определения диэлектрических потерь из образцов монокристаллов вырезывались пластинки размерами  $20 \times 10 \times 0,5$  мм перпендикулярно оптической оси, параллельно и под различными углами к ней.

Поликристаллические образцы представляли собой диски диаметром 30 мм, толщиной около 1 мм. Electroдами служило серебро, нанесенное методом вжигания. Для перевода одной модификации глинозема в другую применялся обжиг при высокой температуре (около  $1750^\circ$ ) в окислительной, восстановительной и нейтральной среде. Для исследования поликристаллического корунда использовалась окись алюминия, полученная путем многократной перекристаллизации алюминиевых квасцов с дальнейшим их прокаливанием.

Для изучения диэлектрических потерь окиси алюминия были использованы образцы, полученные путем прессования порошков глинозема разных модификаций, без дальнейшего их спекания. Electroдами служили специальные серебряные диски, плотно прижатые к образцу. Измерение диэлектрических потерь производилось при частоте 1 Мгц при разных температурах. С целью устранения влияния влаги в пористых образцах диэлектрические потери измерялись только при температурах  $100$ — $300^\circ$ . Результаты изучения диэлектрических потерь монокристаллов корунда и поликристаллического корунда представлены в табл. 1.

Из приведенных данных видно, что в монокристаллах корунда, сплавленных в водородно-кислородном пламени, диэлектрические потери малы.

Диэлектрические потери в поликристаллическом корунде, полученном из химически чистой окиси алюминия, полностью совпадают со свойствами монокристалла корунда. Добавки окиси натрия к химически чистой окиси алюминия вызывают отчетливое изменение диэлектрических потерь

Таблица 1

Диэлектрические потери ( $\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$ ) образцов на основе корунда ( $f=1 \cdot 10^6$  гц) при разных температурах

| Образец  | Характеристика газовой среды при обжиге | Диэлектрические потери |               |               |               |
|--|---|------------------------|---------------|---------------|---------------|
|  |   | $t=20^\circ$           | $t=100^\circ$ | $t=200^\circ$ | $t=300^\circ$ |
| Монокристалл корунда (синтетический)<br>$N_g = 1,766$<br>$N_e = 1,758$ | —                                       | ~2                     | ~2            | 4             | 6             |
| Монокристалл корунда с добавкой 2% окиси хрома (синтет. рубин)         | —                                       | ~2                     | 3             | 4             | 6             |
| Поликристаллический корунд на химически чистой окиси алюминия          | Окислительная                           | ~2                     | ~2            | 4             | 6             |
|  | Восстановительная                       | ~2                     | ~2            | 4             | 6             |
| То же с добавкой 0,5% окиси натрия                                     | Окислительная                           | 400                    | 400           | 360           | 360           |
|  | Восстановительная                       | ~2                     | ~2            | 4             | 6             |
| Поликристаллический корунд из технического глинозема (алюминоксид)     | Окислительная                           | 190                    | 190           | 180           | 180           |
|  | Восстановительная                       | 3                      | 3             | 6             | 10            |

в зависимости от характера газовой среды. Обжиг образцов в окислительной газовой среде повышает величину угла диэлектрических потерь; восстановительная среда позволяет вновь иметь малые диэлектрические потери.

Таблица 2

Диэлектрические потери окиси алюминия различных модификаций при разных температурах ( $f=1 \cdot 10^6$  гц)

| Модификация окиси алюминия                           | Диэлектрические потери ( $\operatorname{tg} \delta \cdot 10^4$ ) |               |               | Уд. объемное сопротивление в ом·см |                    |                    |
|--|--|---------------|---------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|
|  | $t=100^\circ$  | $t=200^\circ$ | $t=300^\circ$ | $t=100^\circ$                      | $t=200^\circ$      | $t=300^\circ$      |
| $\gamma$ -глинозем . . . . .                         | 40   | 60            | 60            | $>5 \cdot 10^{11}$                 | $>5 \cdot 10^{11}$ | $>5 \cdot 10^{11}$ |
| $\alpha$ -глинозем (корунд) . . . . .                | ~3   | ~3            | 4             | $>5 \cdot 10^{11}$                 | $>5 \cdot 10^{11}$ | $>5 \cdot 10^{11}$ |
| Натриевый $\beta$ -глинозем (в порошке) . . . . .    | 100  | 120           | 100           | $4 \cdot 10^{11}$                  | $2 \cdot 10^{10}$  | $2 \cdot 10^9$     |
| Натриевый $\beta$ -глинозем (монокристалл) . . . . . | >1000  | >1000         | >1000         | —                                  | —                  | —                  |

В табл. 2 представлены электрические характеристики окиси алюминия различных модификаций. Модификации глинозема устанавливались рентгеновскими и микроскопическими анализами. Из данных этой таблицы видно, что свойства модификаций  $\alpha$ - и  $\gamma$ -глинозема резко различны. Различие показателей  $\beta$ -глинозема в порошке и в монокристалле объясняется пористой структурой спрессованного порошка и наличием воздуха в порах. Наши данные подтвердили, что электрические свойства  $\alpha$ -глинозема (корунда) при всех условиях термической обработки весьма высоки. Модификация  $\gamma$ -глинозема имеет пониженные показатели электрических свойств и еще ниже электрические показатели  $\beta$ -глинозема.

Малые диэлектрические потери в корунде ( $\alpha$ -глиноземе) объясняются наличием в его кристаллах двух видов поляризации электронной и ионной; в  $\beta$ -глиноземе следует предположить преобладание структурной поляризации в связи с разрыхленной решеткой кристалла.

Обобщая полученные результаты, следует прийти к выводу, что наблюдаемое в корундовой керамике понижение электрических свойств зависит от возможного наличия в ней  $\beta$ -глинозема, образующегося в процессе обжига изделия в присутствии примесей в глиноземе в условиях окислительной среды. Обжиг такой керамики в восстановительной среде приводит к повышению электрических свойств, благодаря разрушению  $\beta$ -глинозема и перехода его в  $\alpha$ -модификацию. Примеси при обжиге частично улетучиваются или переходят в стеклофазу.

Таблица 3

Характеристики глинозема сырого и после прокаливания с борным ангидридом

| Условия обработки  | Содержание щелочей в % | Угол диэлектрич. потерь при $f=10^8$ гц в минутах при $t=300^\circ$ | Уд. объемное сопротивление в ом·см при $t=300^\circ$ |
|--|------------------------|---|--|
| Сырой глинозем (технический)                                     | 0,50                   | 71,0  | $8 \cdot 10^9$                                       |
| Глинозем, обожженный при $1400^\circ$ без добавки борной кислоты | 0,37                   | 48,0  | $1 \cdot 10^{11}$                                    |
| Глинозем, обожженный при $1400^\circ$ с добавкой борной кислоты  | 0,02                   | 0,9   | $>1 \cdot 10^{12}$                                   |

Этот же процесс разрушения  $\beta$ -глинозема и перехода его в  $\alpha$ -модификацию можно осуществить, как показали наши опыты (см. табл. 3), прокаливанием глинозема в любой среде в присутствии минерализатора, например борного ангидрида.

Поступило  
17 XII 1953

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Н. П. Богородицкий, Л. И. Кац, Изв. эл.-пром. слабого тока, № 3 (1937).  
<sup>2</sup> Н. П. Богородицкий, И. Д. Фридберг, Электричество, № 5 (1951).  
<sup>3</sup> Ф. А. Галахов, Изучение высокотемпературных превращений глинозема, Диссертация, 1949. <sup>4</sup> Физические свойства корунда, Тр. Ин-та кристаллогр. АН СССР, 1953.