

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра физики твердого тела**

ХАЙДАРОВ
Мухсинжон Умаралиевич

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА МЕДЬСОДЕРЖАЩИХ ПОВЕРХНОСТНЫХ
СЛОЕВ В ОКСИДЕ АЛЮМИНИЯ СИНТЕЗИРОВАННЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭРОЗИОННЫХ И КОМПРЕССИОННЫХ
ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ**

Дипломная работа

Научный руководитель:
доцент, кандидат физ.-мат. наук
Черенда Николай Николаевич

Рецензент:
Заведующей кафедрой ядерной
физики,
кандидат физ.-мат. наук, доцент
Тимощенко Андрей Игоревич

Допущена к защите
“ ” 2022 г.

Зав. кафедрой физики твердого тела
доктор физико-математических наук, профессор Углов В.В.

Минск, 2022

Реферат

Дипломная работа: 48 страниц, 29 рисунков, 1 таблица, 17 источников

ОКСИД АЛЮМИНИЯ, МЕДЬ, ЭРОЗИОННЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПОТОКИ, КОМПРЕССИОННЫЕ ПЛАЗМЕННЫЕ ПОТОКИ, ПОВЕРХНОСТНОЕ ЭЛЕКТРОСОПРОТИВЛЕНИЕ, ДИФРАКЦИОННЫЙ АНАЛИЗ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Целью данной работы являлось легирование поверхностного слоя оксида алюминия атомами меди в результате последовательного использования воздействия эрозионных и компрессионных плазменных потоков, а также исследование структурно-фазового состояния, морфологии поверхности и свойств сформированных поверхностных слоев.

Объектом исследования является поликристаллический оксид алюминия, содержащий 5 масс.% каолина и 5 масс.% доломита.

Методы исследования - рентгеноструктурный анализ, растровая электронная микроскопия, энергодисперсионный микроанализ, измерение поверхностного электросопротивления, определение коэффициента трения, определение параметров шероховатости и волнистости поверхности.

С помощью эрозионных компрессионных потоков были синтезированы покрытия, содержащие медь, на поверхности оксида алюминия. Покрытия представляли собой совокупность медьсодержащих кластеров размером 0.2-1 мкм. Увеличение количества импульсов и уменьшение расстояния до катода ведет к формированию более сплошного покрытия, обеспечивающего уменьшение разброса измеряемых данных. При обработке 3 импульсами на расстоянии 5 см поверхностное сопротивление составило 149 кОм·□, при обработке 6 импульсами на расстоянии 6 см - 24 кОм·□.

Воздействие компрессионных плазменных потоков на образцы оксида алюминия с покрытием меди (4 кВ, расстояние 12 – 14 см) приводит к растрескиванию поверхности и удалению кластеров меди с поверхности. Концентрация меди в анализируемом слое составляет 1.5 ат.%, которая может присутствовать как в легированном слое (в результате перемешивания), так и на поверхности (в результате испарения и последующей конденсации).

Установлены зависимости параметров шероховатости поверхности и трибологических характеристик от режимов воздействия.

Report

Thesis: 48 pages, 29 figures, 1 table, 17 sources

ALUMINUM OXIDE, COPPER, EROSION PLASMA FLOWS, COMPRESSION PLASMA FLOWS, SURFACE ELECTRICAL RESISTANCE, DIFFRACTION ANALYSIS, MECHANICAL PROPERTIES.

The purpose of this work was the alloying of the surface layer of aluminum oxide with copper atoms as a result of the consistent use of the effects of erosive and compression plasma flows, as well as the study of the structural-phase state, surface morphology and properties of the formed surface layers.

The object of the study is polycrystalline aluminum oxide containing 5 wt.% kaolin and 5 wt.% dolomite.

Research methods - X-ray diffraction analysis, scanning electron microscopy, energy dispersion microanalysis, measurement of surface electrical resistance, determination of friction coefficient, determination of surface roughness and undulation parameters.

With the help of erosive compression flows, coatings containing copper on the surface of aluminum oxide were synthesized. The coatings were a set of copper-containing clusters with a size of 0.2-1 microns. An increase in the number of pulses and a decrease in the distance to the cathode leads to the formation of a more continuous coating, which reduces the spread of the measured data. When treated with 3 pulses at a distance of 5 cm, the surface coprotection was $149 \text{ kOhm} \cdot \text{cm}^2$, when treated with 6 pulses at a distance of 6 cm - $24 \text{ kOhm} \cdot \text{cm}^2$.

The effect of compression plasma flows on aluminum oxide samples coated with copper (4 kV, 12-14 cm distance) leads to cracking of the surface and removal of copper clusters from the surface. The concentration of copper in the analyzed layer is 1.5 at.%, which can be present both in the alloyed layer (as a result of mixing) and on the surface (as a result of evaporation and subsequent condensation).

The dependences of the surface roughness parameters and tribological characteristics on the exposure modes are established.

Содержание

Сокращения и обозначения	5
Введение	6
Глава 1 Генерация компрессионных плазменных потоков. Модификация структуры и свойств оксида алюминия при взаимодействии с высокоэнергетическими частицами.	
1.1 Генерация компрессионных плазменных потоков	7
1.2 Параметры плазмы компрессионного потока в мини-МПК	8
1.3 Применение оксида алюминия в термоядерных реак	9
1.4 Модификация структуры анодного оксида алюминия при воздействии ионными пучками	14
Глава 2 Объект и методы исследования	17
2.1 Объект исследования	17
2.2 Режимы обработки эрозионными плазменными потоками	18
2.3 Режимы обработки компрессионными плазменными потоками	18
2.4 Рентгеноструктурный анализ	21
2.5 Растровая электронная микроскопия	23
2.6 Рентгеноспектральный микроанализ	24
2.7 Методика измерения поверхностного сопротивления	25
2.8 Измерение коэффициента трения	27
2.9 Измерение шероховатости и волнистости поверхности	28
Глава 3 Структурно-фазовое состояние и свойства поверхностного слоя оксида алюминия с покрытием меди, осажденном с помощью эрозионных плазменных потоков	
3.1 Фазовый состав	29
3.2 Элементный состав	30
3.3 Морфология поверхности	31
3.4 Морфология поперечного сечения	37
3.5 Измерение поверхностного электросопротивления	38
3.6 Шероховатость поверхности	38
3.7 Коэффициент трения	40
Глава 4 Структурно-фазовое состояние и свойства поверхностного слоя системы Cu/Al ₂ O ₃ , обработанной компрессионными плазменными потоками	
4.1 Фазовый состав	41
4.2 Морфология поверхности	42
4.3 Шероховатость поверхности	44
4.4 Коэффициент трения	45
Вывод	46
Литература	47