

Научная статья

УДК 621.785:669.1.08.29

Исследование структуры и свойств покрытия системы $\text{SnO}_2\text{--In}_2\text{O}_3\text{--Ag--N}$

Денис Анатольевич Романов¹, Василий Витальевич Почетуха²

^{1,2} Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия

¹ romanov_da@physics.sibsiu.ru

Аннотация. Впервые покрытия системы $\text{SnO}_2\text{--In}_2\text{O}_3\text{--Ag--N}$ получены методом последовательной обработки, включающей электровзрывное напыление, электронно-пучковую обработку и азотирование. В статье исследованы структура, фазовый состав и свойства покрытий.

Ключевые слова: покрытие, комплексный метод, электровзрывное напыление, азотирование, импульсный электронный пучок, структура, свойства

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 20-79-00141); авторы выражают благодарность научному руководителю – доктору физико-математических наук, профессору В. Е. Громову.

Original article

Study of Structure and Properties Coatings of the $\text{SnO}_2\text{--In}_2\text{O}_3\text{--Ag--N}$ System

Denis A. Romanov¹, Vasily V. Pochetukha²

^{1,2} Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

¹ romanov_da@physics.sibsiu.ru

Abstract. For the first time, coatings of the $\text{SnO}_2\text{--In}_2\text{O}_3\text{--Ag--N}$ system were obtained by the method of sequential processing, including electroexplosive spraying,

electron-beam processing, and nitriding. The structure, phase composition and properties of the coatings have been investigated.

Keywords: coating, complex method, electroexplosive spraying, nitriding, pulsed electron beam, structure, properties

Acknowledgments. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation (project No. 20-79-00141); the authors express their gratitude to the scientific supervisor — doctor of physical and mathematical sciences, professor V. E. Gromov.

В настоящее время человечество ежедневно использует различные выключатели для коммутации электрического тока, начиная от бытовых приборов и заканчивая переключателями мощных электрических сетей. Главными конструктивными элементами, определяющими долговечность работы любого выключателя, являются его электрические контакты. Дугостойкие контакты должны обеспечивать высокую электропроводность и дугостойкость. Сочетание этих двух свойств позволяет добиться использования композиционных материалов. Высокую электропроводность обеспечивает золото, серебро, медь и др., а высокую дугостойкость — оксиды олова, кадмия и др., а также чистые металлы, например вольфрам или молибден. Дополнительное повышение электроэрозионной стойкости может обеспечить введение в состав композиционного материала добавок на основе оксида In_2O_3 в количестве до 3 масс. %. При коммутации дугостойких электрических контактов максимальное электроэрозионное воздействие испытывает их поверхность. Поэтому целесообразно использовать экономичные композиционные покрытия, но сформировать их известными методами напыления в настоящее время не представляется возможным. Исключение составляет метод электровзрывного напыления. Улучшить качество электровзрывных покрытий возможно с использованием электронно-пучковой обработки и азотирования.

В свою очередь, для физики конденсированного состояния важны причины, приводящие к обеспечению высокой электроэрозионной стойкости. К таким причинам относят структуру, фазовый состав покрытий их адгезию, электропроводность и др. Цель работы — анализ структуры и свойств покрытия состава $\text{SnO}_2\text{—In}_2\text{O}_3\text{—Ag—N}$, сформированного на меди комплексным методом, сочетающим электровзрывное напыление, облучение импульсным электронным пучком и по-

следующее азотирование в плазме газового разряда низкого давления.

Электровзрывное напыление покрытия системы $\text{SnO}_2\text{--In}_2\text{O}_3\text{--Ag}$ проводили на установке ЭВУ 60/10 М. В качестве подложки использовали медь марки М00. Процесс осуществляли при следующих параметрах: время воздействия плазмы на поверхность образца ~ 100 мкс, поглощаемая плотность мощности на оси струи $\sim 5,5$ ГВт/м², давление в ударно-сжатом слое вблизи облучаемой поверхности $\sim 12,5$ МПа, остаточное давление газа в рабочей камере ~ 100 Па, температура плазмы на срезе сопла ~ 104 К. В качестве материала для напыления использовали двухслойную серебряную фольгу массой 1,5 г. Между слоями фольги размещали порошковые навески SnO_2 и In_2O_3 массами по 50 мг каждая. После электровзрывного напыления покрытия облучали импульсным электронным пучком (17 кэВ, 20 Дж/см², 200 мкс, 5 имп., 0,3 с-1) и подвергали азотированию в плазме газового разряда низкого давления на установке «Комплекс». Режим азотирования: 520 °С, 5 ч. Исследование дефектной субструктуры и элементного состава покрытия осуществляли методами сканирующей электронной микроскопии.

На меди сформированы покрытия состава $\text{SnO}_2\text{--In}_2\text{O}_3\text{--Ag--N}$ толщиной ≈ 100 мкм. Показано, что износостойкость медного образца с нанесенным покрытием превышает износостойкость меди без покрытия в 2,8 раза. Коэффициент трения образцов с покрытием ($\mu = 0,479$) меньше коэффициента трения меди без покрытия ($\mu = 0,679$) в 1,4 раза. Установлено, что твердость покрытия увеличивается по мере приближения к подложке и достигает максимального значения ≈ 1400 МПа (твердость подложки 1270 МПа). Методами рентгеноспектрального анализа установлено, что основным химическим элементом покрытия является серебро, в значительно меньшем количестве присутствуют медь, олово, индий, кислород и азот. Методами рентгенофазового анализа в покрытии выявлены твердые растворы на основе меди и серебра.