

## МЕХАНИЗМЫ ПРОВОДИМОСТИ В ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЕ $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$

Панков С.Ю.<sup>1</sup>, Жилова О.В.<sup>1</sup>, Макагонов В.А.<sup>1</sup>, Фошин В.А.<sup>1</sup>, Бабкина И.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Воронежский государственный технический университет  
E-mail: srgpank@mail.ru

## CONDUCTION MECHANISMS IN THE THIN FILM STRUCTURE $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$

Pankov S.Yu.<sup>1</sup>, Zhilova O.V.<sup>1</sup>, Makagonov V.A.<sup>1</sup>, Foshin V.A.<sup>1</sup>, Babkina I.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voronezh state technical university

The paper presents the results of analysis of the mechanisms of electrotransport in thin-film multilayer structures  $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$  in the temperature range 77-300 K.

Многослойные структуры ферромагнитный металл – полупроводник (диэлектрик) с толщинами слоев нанометрового диапазона вызывают большой интерес как с практической, так и фундаментальной точек зрения. Практический интерес вызван обнаруженным в них достаточно сильным магнитным взаимодействием между металлическими слоями, что возможно использовать при применении таких систем в ВЧ- и СВЧ-диапазонах. Фундаментальный аспект изучения свойств таких материалов заключается в том, что при уменьшении характеристических размеров до единиц-десятков нанометров в таких объектах проявляются новые физические явления, объясняемыми исключительно в рамках законов квантовой механики.

В данной работе были изучены механизмы проводимости в многослойной системе  $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$ , полученной методом ионно-лучевого напыления. Толщина пленок варьировалась в диапазоне от 60 до 150 нм, а толщина бислоя  $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]$  от 0,6 до 1,6 нм.

Для установления физической природы электропереноса в многослойных структурах были измерены и проанализированы температурные зависимости электросопротивления образцов в диапазоне температур 77-300 К. Для сравнения был проведен анализ зависимости электросопротивления композита  $(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}$ , полученного аналогичным способом толщиной 120 нм.

Было установлено, что электросопротивление многослойных структур и композита характеризуется отрицательным температурным коэффициентом, а значения уменьшаются на один-два порядка величины при увеличении температуры от 77 до 300 К. Анализ температурных зависимостей композита показал, что во всем температурном диапазоне соблюдается пропорциональность  $\ln R \sim f(1/T^{1/2})$ ,

что может быть интерпретировано как проявление механизма термоактивированного туннелирования в рамках модели Шенга и Абелеса.

В отличие от композита, для многослойных структур данная пропорциональность не выполняется, а наиболее удовлетворительная линейаризация сопротивления происходит в координатах  $\ln R \sim f(1/T)$ , при этом в области температур порядка 167 К наблюдается излом и разделение на два участка. Оценки энергии активации электрической проводимости на этих участках и сравнение с литературными источниками [1] позволяют предположить, что в диапазоне от 77 до 160 К многослойных структурах  $[(\text{Co}_{40}\text{Fe}_{40}\text{B}_{20})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{ZnO}]_{112}$  реализуется прыжковая проводимость с прыжками по ближайшим соседям, а в диапазоне от 160 до 300 К — примесная проводимость по прослойкам ZnO.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук МК-4296.2022.1.2*

1. L. Schmidt-Mende, J.L., MacManus-Driscoll ZnO – nanostructures, defects, and devices, *Materials Today*, 10, 40, (2007)