

УДК 538.9, 536.2, 621.362

## СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК ВИСМУТА, ВЫПОЛНЕННЫХ НА ПОДЛОЖКЕ ИЗ КРЕМНИЯ С ПОДСЛОЕМ И БЕЗ ПОДСЛОЯ СУРЬМЫ

Макарова Е.С. (Университет ИТМО), Герега В.А. (Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена), Ефимов Д.Д. (Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена),

Научный руководитель – доцент, кандидат технических наук Новотельнова А.В. (Университет ИТМО), Каблукова Н.С. – кандидат физико-математических наук (Университет ИТМО)

**Аннотация:** Рассматриваются основные проблемы измерения тепловых свойств тонких пленок  $3\omega$  методом. Представлены результаты исследования гальваномагнитных свойств тонких пленок висмута.

**Введение.** В последние годы термоэлектрические преобразователи, основанные на тонкопленочных термоэлектриках, вызывают повышенный интерес исследователей. Тонкопленочные устройства могут найти широкое применение в микроэлектронике (прецизионные микрохолодильники, кондиционеры, генераторы, а также устройства фотоники). Одним из эффективных низкотемпературных термоэлектрических материалов является висмут.

**Основная часть.** Основная проблема в проведении исследований свойств термоэлектрических тонких пленок является выбор методов исследования тепловых свойств. Выбор конкретного метода измерения для характеристики тепловых свойств должен основываться на:

- 1) знании особенностей образца, теплофизические свойства которого должны быть определены, включая геометрию и его размер, шероховатость поверхности и метод изготовления и подготовки поверхности;
- 2) понимание основ и процедур методики и оборудования для испытаний, например, некоторые методы ограничены образцами с определенной геометрией или ограничены конкретным диапазоном теплофизических свойств;
- 3) понимание потенциальных источников ошибок, которые могут повлиять на конечные результаты, например, конвекционные и радиационные тепловые потери.

Один методов, применимых для измерения теплопроводности тонких пленок, является  $3\omega$  метод. Данный метод позволяет производить измерения поперечной теплопроводности тонких пленок, а также используется для определения тензора теплопроводности для анизотропных образцов. Поэтому данный метод представляет интерес для измерения анизотропных пленок висмута. Ограничением данного метода является использование кремниевой подложки.

Для проведения предварительного эксперимента были изготовлены пленки висмута толщиной от 150 нм до 3 мкм на подложке из кремния методом термического испарения в вакууме. Из-за плохой адгезии пленки висмута на кремнии получались неоднородные, поэтому также были получены пленки висмута с подслоем сурьмы толщиной 10 нм. Подслой сурьмы улучшает адгезию, и термоэлектрические пленки получаются более однородными.

Проведены исследования температурной зависимости удельного сопротивления полученных пленок, электропроводности, магнетосопротивления и коэффициента Холла на установке HMS-5000.

При проведении подготовки образцов для измерения коэффициента теплопроводности для  $3\omega$  метода, возникли дополнительные сложности. Предварительные эксперименты выявили проблемы с дополнительным диэлектрическим слоем, нанесенным между термоэлектрической пленкой и нагревателем. Возможно, использование другого

материала или более толстого слоя диэлектрической пленки позволит провести исследования с помощью  $3\omega$  метода.

### **Выводы.**

Исследованы электрические и гальваномагнитные свойства тонких слоев висмута на кремниевой подложке.

Проведенные теплофизические исследования выявили, проблемы в исследовании тепловых свойств термоэлектрических пленок висмута с помощью  $3\omega$  метода. Увеличение толщины диэлектрического слоя, может решить проблему с подготовкой образца, Предложено ограничить использование  $3\omega$  метода при исследовании тонких термоэлектрических пленок толщиной менее 100 нм.