

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА Bi_2Te_3 МИКРОНИТЕЙ В СТЕКЛЯННОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Виктор ПЕНКАЛА*

ТУМ, факультет Вычислительной техники, информатики и микроэлектроники, Кишинев, Молдова;
Институт Электронной Инженерии и Нанотехнологий им. Д. Гицу, Кишинев, Молдова

*Автор-корреспондент: Пенкала, Виктор, e-mail victor.pencala@mib.utm.md

Абстракт. Приведены результаты исследования электрических и термоэлектрических свойств n - и p -микронитей Bi_2Te_3 в стеклянной изоляции различного диаметра ($d = 15 - 20$ мкм). Цилиндрические поликристаллы Bi_2Te_3 в стеклянной изоляции были получены методом жидкофазного литья в стеклянный капилляр. Измерения сопротивления и термоэдс проводились в широком интервале температур (80-300 К).

Ключевые слова: Bi_2Te_3 микронити, проводимость, термоэдс, фактор мощности, топологический изолятор.

Введение

Теллурид висмута (Bi_2Te_3) представляет собой полупроводник с узкой запрещенной зоной, который хорошо известен как один из лучших термоэлектрических (ТЕ) материалов [1]. При комнатной температуре массивные образцы Bi_2Te_3 показывают самые высокие значения термоэлектрической добротности $ZT = TS^2\sigma/k \sim 1$, где S – термоэдс (коэффициент Зеебека), σ – электропроводность, T – температура, k – теплопроводность. Bi_2Te_3 является одним из старейших среди базовых материалов для высокопроизводительных ТЕ элементов. В настоящее время параметры Bi_2Te_3 оптимизируются с помощью таких технологических факторов, как - легирование и ионное замещение $[(\text{Bi},\text{Sb})_2(\text{Te},\text{Se},\text{S})_3]$; - изменение мезоструктуры (сверхрешетки, квантовые точки и проволоки) [2]; и - изменение условий синтеза. Недавно этот материал был открыт как новый тип состояния материи - 3D-топологический изолятор (ТИ) [3]. Большая часть ТИ имеет изолирующую щель, тогда как на поверхности существуют нетривиальные металлические поверхностные состояния (SS).

Образцы и экспериментальные результаты

В качестве термоэлектрических материалов в интервале температур $T = 250-300$ К используются полупроводниковые сплавы соединений Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 , Sb_2Te_3 , Sb_2Se_3 . Чаще всего для материалов проводимости n -типа используются сплавы $\text{Bi}_2\text{Te}_{3-x}\text{Se}_x$ ($x = 0,1 \div 1$). В качестве термоэлектрического материала проводимости p -типа обычно используются сплавы $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{1-x}(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_x$. Для термоэлектрического материала n -типа мы выбрали сплав $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{Se}$, а для термоэлектрического материала p -типа - сплав $(\text{Bi}_2\text{Te}_3)_{0,25}(\text{Sb}_2\text{Te}_3)_{0,75}$. В качестве исходных компонентов были использованы материалы с высокой степенью чистоты: Bi (99,999%), Sb (99,999%), Te (99,999%), Se (99,999%). Синтез проводили при температуре $700 \div 720$ °С в цилиндрической печи. Для изготовления микронитей на основе полупроводниковых материалов со многими компонентами и летучими примесями при высоких температурах разработан метод Тейлора–Улитовского (схема метода изображена на Рисунок 1а) с термическим нагревом ампулы с материалом во внешней печи. Изготовленные по этой технологии микронити в стеклянной изоляции имели следующие параметры: диаметр жилы $d=15-20$ мкм, внешний диаметр $D=25-30$ мкм.

Образцы были вырезаны из длинных микронитей (длина образцов составляла 3-5 мм) и располагались на подложке, изготовленной из фольгированного стеклотекстолита. Электрические контакты к образцам выполнялись с использованием эвтектики $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}$. Автоматизированная экспериментальная установка позволяла регистрировать

температурные зависимости сопротивления и термоэдс образцов в интервале температур 80-300 К. Для измерения термоэдс использовалось устройство, состоящее из двух медных блоков; нагреватель был установлен на одном из них, его температура измерялась калиброванным термометром (Si Diode). Дифференциальная термопара Cu-Constantan, которая находилась в тепловом контакте с двумя медными блоками использовалась для измерения градиента температуры между горячим и холодным концами образца. Градиент температуры обычно составлял 0,5 - 1,5 К в зависимости от средней температуры образца.

Температурные зависимости удельного сопротивления ρ , термоэдс и коэффициента мощности $P.f. = S^2/\rho$ для микропроводов Bi_2Te_3 показаны на рисунке 1b. Все исследованные образцы демонстрируют металлический тип зависимости сопротивления от температуры. При 300 К для образцов n - и p -типа термоэдс S и коэффициент мощности $P.f.$ составляли - 157 $\mu\text{V}/\text{K}$, $1.6 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{K}^2 \cdot \text{m})$ и 258 $\mu\text{V}/\text{K}$, $4.5 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{K}^2 \cdot \text{m})$ соответственно. Максимальный коэффициент мощности ($6 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{K}^2 \cdot \text{m})$) был получен в образце Bi_2Te_3 p -типа при $T = 150 \text{ K}$. Для достижения более высоких значений $P.f.$ необходимо исследовать тонкие нити Bi_2Te_3 ($d < 100 \text{ nm}$), чтобы в полной мере использовать преимущества SS в TI и квантового размерного эффекта [4].

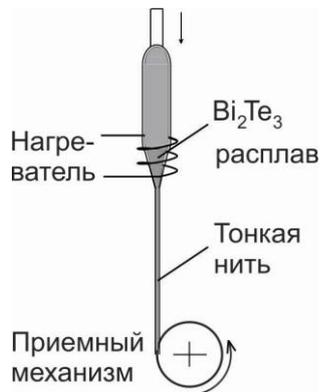


Рисунок 1

Рисунок 1. Схема получения нитей по техпроцессу Тейлора-Улитовского.

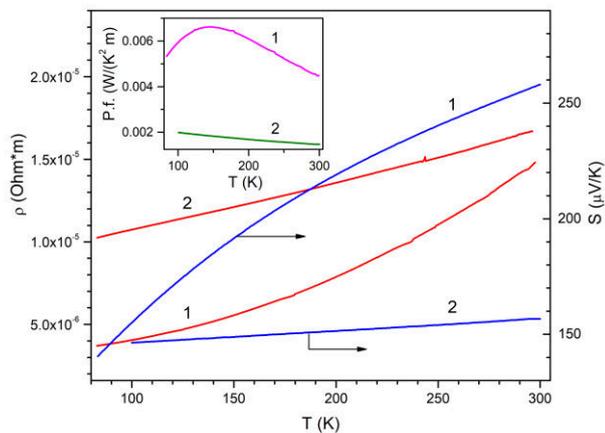


Рисунок 2

Рисунок 2. Температурные зависимости удельного сопротивления ρ , термоэдс S и коэффициента мощности $P.f.$ (показано на вставке) для Bi_2Te_3 микронитей: 1 – образец p -типа ($D=29.9 \mu\text{m}$, $d=16.8 \mu\text{m}$); 2 - образец n -типа ($D=30.7 \mu\text{m}$, $d=17.3 \mu\text{m}$), для удобства термоэдс умножена на -1.

Заключение

Проведены исследования электрических и термоэлектрических свойств Bi_2Te_3 микронитей в стеклянной изоляции n - и p -типа. Установлено, что максимальный коэффициент мощности $P.f. = 6.8 \cdot 10^{-3} \text{ W}/(\text{K}^2 \cdot \text{m})$ достигается в образцах p -типа при $T = 150 \text{ K}$. Для достижения заметного эффекта повышения термоэлектрической эффективности ZT необходимо исследовать более тонкие образцы Bi_2Te_3 .

Список литературы

1. DiSALVO, F.J., Thermoelectric Cooling and Power Generation. In: *Science*, 1999, 285, 703-706
2. ZHOU, J., JIN, C., SEOL, J., LI, X., and SHI, L., Thermoelectric properties of individual electrodeposited bismuth telluride nanowires. In: *Appl. Phys. Lett.*, 2005 87, 133109
3. HASAN, M., and KANE, C., Topological insulators., In: *Reviews of Modern Physics*, 2010, 82, 3045-3067
4. HEREMANS, J.P., Low-Dimensional Thermoelectricity. In: *Acta Physica Polonica A*, 2005, 108, 609-634