

УДК 621.791.4

І.В. Завальна, аспірант

Чернігівський національний технологічний університет, irina-zavalnaya@rambler.ru

О.О. Новомлинець, канд. техн. наук, доцент

Чернігівський національний технологічний університет, oon1@ukr.net

Є.В. Половецький, канд. техн. наук

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ, м. Київ, Україна, evgesha@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗДАТНОСТІ ДО ЗВАРЮВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОГО МАТЕРІАЛУ З МІДДЮ ЧЕРЕЗ ПРОМІЖНІ НАНОПОРІСТІ ПРОШАРКИ

Одним з найефективніших традиційних термоелектричних матеріалів, використовуваних сьогодні для виготовлення робочих елементів термоелектричних приладів і обладнань є телурид вісмуту Bi_2Te_3 [1,2]. Вибір матеріалу комутації визначається відсутністю або мінімальною хімічною взаємодією його з напівпровідником і близькими коефіцієнтами лінійного розширення. Л.І. Анатичук та ін. [3] зазначають, що з'єднання віток р- і n-типів в одне електричне коло зазвичай здійснюється металевими пластинами з міді, нікелю, заліза, кобальту, товщина яких залежить від сили струму.

Основними способами отримання нероз'ємних з'єднань напівпровідникового матеріалу з комутуючою пластиною при виготовленні термоелементів є пайка, спільне пресування термоелектричних віток і комутаційного матеріалу, напилення комутаційних матеріалів у вакуумі або інертному газі, гальванічне або хімічне нанесення комутаційного матеріалу, а також контактне електрозварювання через порошкові прошарки. Однак всі ці способи мають недоліки і не можуть в повній мірі задовольнити вимоги до якості нероз'ємних з'єднань напівпровідникового матеріалу з комутуючою пластиною. Тому, на сьогоднішній день актуальною проблемою є пошук і розробка нового способу отримання нероз'ємних з'єднань напівпровідникового матеріалу з комутуючою пластиною при виготовленні термоелементів. Одним з найбільш ефективних способів зварювання різномірних матеріалів, які суттєво відрізняються за своїми фізико-хімічними властивостями, є дифузійне зварювання у вакуумі.

Властивості напівпровідникового матеріалу висувають обмеження щодо допустимої температури їх зварювання – не більше 350 °С та тиску зварювання – не більше 2 МПа. Це в свою чергу потребує використання нових засобів активації поверхонь. В роботі [4] вказується, що одним з найбільш ефективних способів інтенсифікації процесу дифузійного зварювання є застосування проміжних ультрадисперсних порошоків та напилених прошарків, які мають високе відношення поверхні до об'єму, широкий можливий інтервал упорядкування структури, значну пористість, недосконалість кристалічної решітки, що забезпечує прискорення дифузійних процесів, внаслідок чого забезпечується збільшення міцності з'єднань, що має найбільш важливе значення для якості нероз'ємних з'єднань. У роботах [5] та [6] відзначається, що використання в якості проміжного шару порошку нікелю дозволяє проводити дифузійне зварювання при температурі на 200°С нижче, ніж без такого прошарку. Однак застосування проміжних ультрадисперсних порошоків та прошарків, отриманих напиленням має ряд недоліків, що пов'язано з технологічними особливостями отримання частинок потрібної форми, дисперсності, властивостей прошарків та їх дозування при внесення у стик при зварюванні. В роботі [7] показано, що застосування пористої фольги дозволяє здійснювати дифузійне зварювання у вакуумі металевих матеріалів та отримувати якісні нероз'ємні з'єднання при температурі зварювання на 30-35 % меншій у порівнянні зі зварюванням без прошарку. Тому метою даної роботи є дослідження здатності до зварювання напівпровідникового матеріалу Bi_2Te_3 з міддю через нанопористі фольги.

Дослідження проводили з використанням нанопористої нікелевої фольги товщиною 40 мкм і пористістю 30 %, яку виготовлено в інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України методом електронно-променевого випаровування і осадження з парової фази в вакуумі. На нашу думку, така фольга, окрім активації поверхонь зварювання, може також відігравати роль антидифузійного, а також демпфуючого прошарку і дозволити зменшувати залишкові напруження і деформації в стику за рахунок їх гасіння у порах. Для перевірки цієї гіпотези були проведені розрахунки за допомогою програмного пакету ANSYS, які дозволили встановити, що, використовуючи пористу нікелеву фольгу, напруження на 15-20% менші ніж при зварюванні Bi_2Te_3 з Cu без антидифузійного прошарку або через нікелеву фольгу.

Враховуючи режими зварювання та робочий температурний цикл використання термоелектричного модулю, встановлено, що середня глибина дифузії міді в пористий нікель становить 0,017 мкм. Тобто нікелева фольга товщиною 40 мкм є досить ефективним антидифузійним бар'єром для міді.

Дифузійне зварювання напівпровідникового матеріалу Bi_2Te_3 з міддю через нанопористі нікелеві фольги проводили на наступному режимі: $T_{зв}=250-350^{\circ}\text{C}$; $t_{зв}=20-40\text{хв.}$; $P_{зв}=2-3\text{ МПа}$. Однак, на жаль, якісне зварне з'єднання Bi_2Te_3 з Cu через пористий прошарок нікелю на вказаних режимах отримати не вдалося. Тому для додаткової активації поверхонь нами був використаний рідкий прошарок з індію, якій у вигляді фольги товщиною 20 мкм попередньо вносили в зону з'єднання між напівпровідниковим матеріалом і нікелем та між нікелем і міддю. В результаті зварювання прошарок індію майже повністю витискається зі стику, а перехідна зона являє собою чітку лінію контакту без видимих дефектів.

Таким чином в роботі встановлено ефективність використання нанопористої нікелевої фольги для зварювання напівпровідникового матеріалу Bi_2Te_3 з міддю щодо виготовлення термоелементів.

Список посилань

1. Анисимов М.А., Новые термоэлектрические материалы на основе редкоземельных гексаборидов для криогенных рефрижераторов и сенсоров: конкурсная работа аспиранта 2-го года. - МФТИ (ГУ).
2. Горський П.В. Електропровідність контактуючих часток термоелектричного матеріалу / П. В. Горський, В. П. Михальченко // *Термоелектрика*. – 2013. – № 2. – С.12–18.
3. Термоелектричні модулі для генераторів на газовому органічному паливі. [Текст] : научно-популярна література / Л.І. Анатичук, Є.І. Антонюк, В.Я. Михайловський та ін // *Термоелектрика*. – 2006. – № 4. – С. 55 – 72.
4. Люшинский А.В. Диффузионная сварка разнородных материалов: учебное пособие для студ. высш. учебн. заведений / А.В. Люшинский – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 208 с.
5. Люшинский А.В. Критерии выбора промежуточных слоев при диффузионной сварке разнородных материалов/ А.В. Люшинский // *Сварочное производство*. – 2001. – №5. –С. 40–43.
6. Люшинский А.В., Мазанко В.Ф., Белякова М.Н., Ворона С.П. Массоперенос при сварке давлением с применением ультрадисперсного порошка никеля/ А.В. Люшинский, В.Ф. Мазанко, М.Н. Белякова, С.П.Ворона // *Сварочное производство*. – 1999. – №6. – С. 10–14.
7. Патент України на корисну модель 94079 UA, МПК В23К 20/00 Спосіб дифузійного зварювання через пористу фольгу / Устінов А. І., Харченко Г. К., Фальченко Ю. В., Новомлинець О. О., Петрушинець Л. В., Мельниченко Т. В., Ляпіна К. В.; заявник і патентовласник Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. – № u201405643; заявл. 26.05.2014; опубл. 27.10.2014, Бюл. № 20.