

УДК 537.311.31  
PACS number(s): 72.15.Cz

## ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМИ Sn-Bi В РІДКОМУ СТАНІ

**В. Борейко**

*Львівський національний університет ім. І.Франка, фізичний факультет  
вул. Кирила і Мефодія, 79005 Львів, Україна  
e-mail: vova\_boreyko@ukr.net*

Описано експериментальну установку для вимірювання електропровідності розплавів в умовах надлишкового тиску аргону. Використана вимірювальна комірка оригінальної конструкції, яка дозволила аналітичним шляхом звести до мінімуму похибки. Проведені експериментальні вимірювання електропровідності евтектичної і біля евтектичних концентрацій системи Sn-Bi в рідкому стані. Інтерпретацію отриманих результатів проведено на основі теорії Займана. Показано, що ці сплави можуть бути використані як припої.

*Ключові слова:* комірка, електропровідність, безсвинцеві припої.

Останніми роками бурхливо досліджується новий тип припоїв – безсвинцевих. Головними причинами переходу до нового типу припоїв (крім екологічної безпеки) є ліпші експлуатаційні характеристики таких припоїв. Поки що, основні безсвинцеві припої – подвійні і потрійні евтектичні сплави на базі Sn. Зокрема Sn-Cu, Sn-Ag, Sn-Cu-Ag, Sn-Zn. За температурою плавлення їх можна зачислити до класичного Pb-Sn ( $T_n=180/200-220^\circ\text{C}$ ). Низькотемпературним припоєм ( $T_n<180^\circ\text{C}$ ) приділено значно менше уваги. До таких сплавів належать евтектичні концентрації системи Sn-Bi. У більшості робіт з досліджень цих сплавів увагу сконцентровано на механічних властивостях припоїв. У статті ми подаємо результати експериментальних досліджень електропровідності системи Sn-Bi таких концентрацій Sn<sub>53</sub>Bi<sub>47</sub> at.% (евтектика), Sn<sub>40</sub>Bi<sub>60</sub> at.%, Sn<sub>73</sub>Bi<sub>27</sub> at.% у рідкому стані.

Експериментальне дослідження електрофізичних властивостей металічних розплавів з низки причин пов'язане з великими труднощами. Важливою проблемою є їх висока агресивність, яка спричинює корозію вимірювальних комірок, електрондів і конструкційних елементів, особливо за високих температур. Суттєвим, також є питання високої токсичності і швидкого окиснення досліджуваних зразків.

Підвищення точності експериментальних даних потребує зменшення похибок окремих вимірів, збільшення масиву первинних результатів і об'єднання вимірів кількох параметрів в одному експерименті на одному зразку. Реалізація таких комплексних вимірів стає можливою завдяки розробці нових методів і установок для отримання і обробки даних.

За високотемпературних вимірів параметрів рідких металів можлива дисоціація і кипіння легколетючого компонента, що неминує спричинює порушення хімічного складу досліджуваної речовини в процесі експерименту. Отже, одне із основних методичних завдань полягає у забезпеченні стабільності хімічного складу досліджуваного зразка в широкому інтервалі температури. Для вирішення цього завдання ми застосувували принцип погашення процесів закипання рідини зовнішнім тиском нейтрального газу [1]. Методика реалізована на установці, схему якої показано на рис. 1.

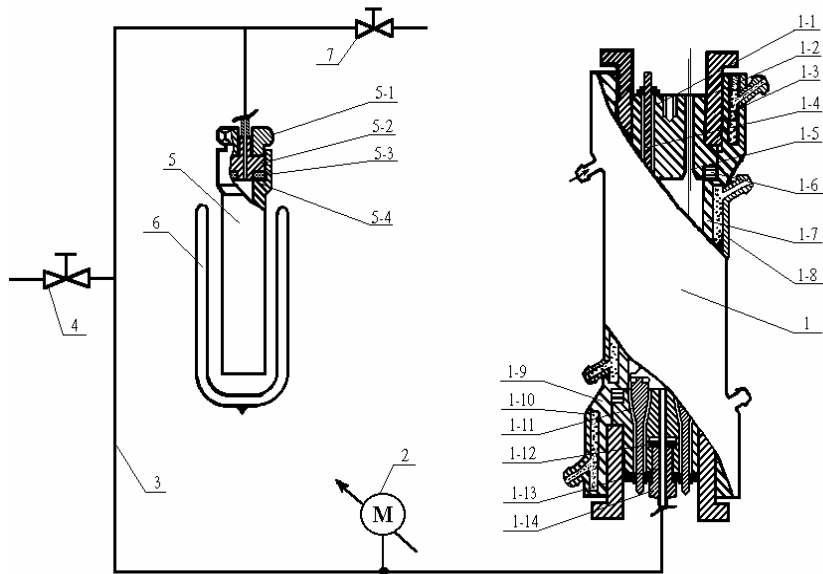


Рис. 1. Схема установки високого тиску, призначеної для високотемпературних досліджень  $\sigma(T)$  і  $S(T)$ . 1.Робоча камера і її будова: 1-1, 1-9 – обтюратори; 1-2 – прижимний фланець; 1-3, 1-8, 1-10 – контури водяного охолодження; 1-4 – вимірювальні зонди; 1-5 – гермовводи з термоелектродами; 1-6, 1-12 – тефлонові ущільнення; 1-7 – суцільнолитий корпус; 1-11 – електроводи; 1-13 – штуцер газопроводу. 2. Манометр. 3. Газопровід високого тиску. 4. Кран подачі газу з балона. 5. Ємність-зріджувач. 5-1 – прижимна гайка; 5-2 – обтюратор; 5-3 – тефлонові ущільнення; 5-4 – корпус. 6. Посудина Дьюара. 7. Випускний газовий кран

У цю установку поміщують вимірювальну комірку з досліджуваним зразком. Критерієм для вибору конструкційного матеріалу для комірки є передусім його хімічна стійкість у контакті з досліджуваним об'єктом, а також електричні властивості, зокрема, питомий опір. У наших досліджах використовували унікальний матеріал – нітрид бору (NB), який має високі антикорозійні і діелектричні властивості, а також легко обробляється механічно. Принциповим є питання про форму конструкції і орієнтацію вимірювальних комірок. Необхідно запобігти конвекції в досліджуваному зразку, внаслідок якої похибка вимірів може стати співрозмірною з абсолютною величиною вимірювальних параметрів. Для цього доцільно максимально зменшити горизонтальні складові градієнтів концентрації й температури. А це найпростіше зробити, використовуючи комірки у вигляді вертикальних циліндричних контейнерів з

мінімально можливим внутрішнім діаметром. На рис. 2 показано схему цієї комірки, яка є вертикальним циліндром із NB. Діаметр внутрішнього отвору – 3 мм, висота – 50–60 мм. Через 8 мм по висоті комірки вмонтовані графітові електроди, які слугують контактами для під'єднання зразка до окремих вимірювальних кіл. У графітові електроди впресовані термопари, а також струмові електрозонди. Термопари застосовують як для вимірювання температури, так і для вимірювання термо-е.р.с. зразка. Окремі термоелектроди термопар також використовують як потенціальні електрозонди при вимірюванні електропровідності.

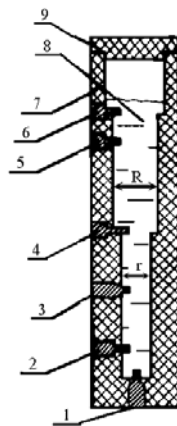


Рис. 2. Вимірювальна комірка

Використана комірка дає змогу на одному зразку виміряти комплексно електропровідність з досить високою точністю, завдяки наявності трьох вимірних зон. По-перше, точність підвищується за рахунок збільшення кількості однотипних результатів за різними зонами, тобто, розширюється статистичний набір даних. І по-друге, зміна одних і тих самих параметрів на одній зоні окремо, і зразу на двох, трьох а також по всій довжині комірки дає змогу аналітично виключити електричні наводки, які виникають у підвідних провідниках на контактах, а також систематичні відхилення вимірювальних приладів.

В цій роботі вимірювання електропровідності проводять контактним методом. Для правильного розрахунку абсолютних значень  $\sigma$  попередньо визначали геометричні фактори комірки

$$K_{ij} = L_{ij}/S_{ij}, \quad (1)$$

де  $L_{ij}$  – довжина зони між  $i$  і  $j$ -електродами,  $S_{ij}$  – поперечний переріз комірки. Під час калібрування стабілізований змінний струм (63 Гц) пропускали між електродами 1–6 (див. рис. 2). Спад напруги між електродами 2–3, 3–4, 4–5, 2–4, 3–5 вимірювали шляхом комутації відповідних вимірювальних кіл. Вимірювані напруги у кожному випадку можна представити виразом:

$$U_{ij} = \rho K_{ij} I + U_i + U_j + U_0, \quad (2)$$

де  $\rho = \sigma^{-1}$  – відомий питомий опір калібровочної рідини;  $K_{ij}$  – шуканий геометричний фактор;  $U_0$  – паразитний сигнал вимірювального приладу;  $U_i$  – паразитний сигнал-наводка в електричній лінії “і-зонд-прилад”.

Зазначимо, що  $U_0$  і  $U_i$  є джерелами великих похибок у разі калібрування і особливо при високотемпературних вимірюваннях. Виключення цих наводок є дуже важливим завданням. Визначення  $K_{ij}$  можливе завдяки вимірюванню  $U_{ij}$  на всіх можливих парах зондів, що дає змогу записати систему рівнянь, з якої ми визначаємо геометричні фактори  $K_{ij}$ . Потрібно зазначити, що точність визначення  $K_{ij}$  залежить лише від класу точності вимірювальних приладів і від точності визначення  $\rho$  калібрувальних рідин. При дослідженні речовини, заповненої в калібрувальну комірку, унаслідок проведення аналогічних вимірів розв’язується задача обернена до калібрувальної: за відомими  $K_{ij}$ ,  $U_{ij}$  і  $I$  визначаємо  $\rho$  [2].

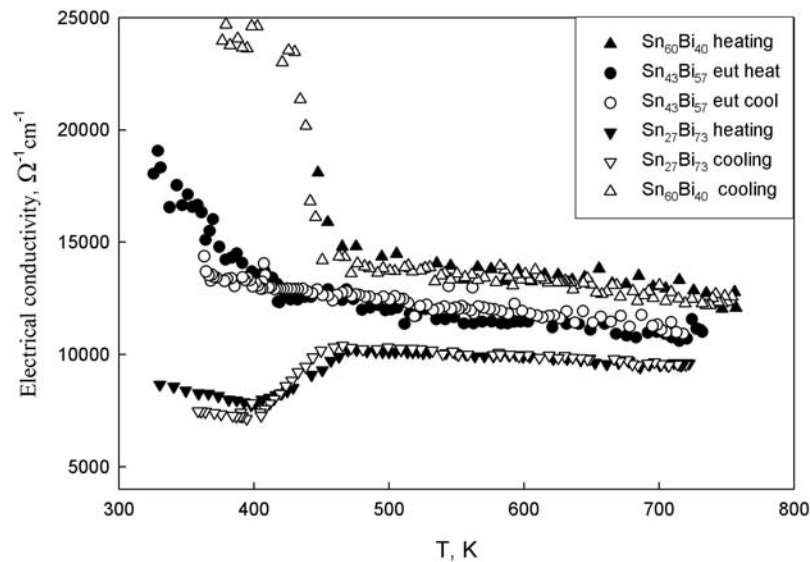


Рис. 3. Температурна залежність електропровідності системи Sn-Bi

Отримані результати експериментальних вимірювань всіх трьох сплавів в режимі “нагрівання-охолодження” рис. 3. Наші дані добре узгоджуються з літературними даними [3]. Електропровідність,  $\sigma$ –сплавів Sn<sub>43</sub>Bi<sub>57</sub> і Sn<sub>60</sub>Bi<sub>40</sub> у разі плавлення стрибкоподібно зменшується. За подальшого зростання температури  $\sigma$  зменшується за лінійним законом. У сплаві концентрації Sn<sub>27</sub>Bi<sub>73</sub> електропровідність під час плавлення збільшується. Підвищення температури після плавлення призводить до зменшення  $\sigma$ . Зазначимо, що температурний коефіцієнт електропровідності всіх досліджених розплавів є майже однаковим. Отримані експериментальні результати досліджених розплавів цілком адекватно інтерпретуються в рамках теорії Займана.

Отже, високі абсолютні значення електропровідності, малі температурні коефіцієнти, малі значення термо-е.р.с досліджених розплавів дають підстави стверджувати, що ці сплави можуть бути використані як припої.

1. Циклис Д.С. Техника физико-химических исследований при высоких температурах и сверх высоких давлениях. М.: Химия, 1976. 431 с.
2. Plevarchuk Yu., Sklyarchyk V. Electro physical measurements for strongly aggressive liquid semiconductions semiconductors // Meas. Sci. and Techn. 2001. Vol. 12. P. 23–26.
3. Roll A., Basu P. Elektrischer Widerstand von metallischen schmelzen // Metallkde. 1963. Vol. 54. N 9. P. 511–513.

### ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF LIQUID Sn-Bi SYSTEM

V. Borejko

*Ivan Franko National University, Physical faculty, Department of Metal Physics  
Kyrylo and Mephodiy Str., 8, 79005 Lviv, Ukraine*

Experimental facility for electrical conductivity measurements of liquid alloys under excess pressure of argon is described. A special measuring cell allowing analytical elimination of different sources of errors has been used. Experimental electrical conductivity measurements of eutectic and near eutectic Sn-Bi alloys in the liquid state were carried out. A Ziman theory was used for data interpretation. It was shown that these alloys can be used as lead-free solders.

*Key words:* cell, electrical conductivity, lead-free solders.

### ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ Sn-Bi В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ

В. Борейко

*Львовский национальный университет им. И.Франко  
физический факультет  
ул. Кирилла и Мефодия, 8, 79005 Львов, Украина*

Описана экспериментальная установка для измерения электропроводности расплавов в условиях избыточного давления аргона. Использована измерительная ячейка оригинальной конструкции, которая позволила аналитическим путем возвести к минимуму погрешности. Проведены экспериментальные измерения электропроводности эвтектической и околоэвтектических концентраций системы Sn-Bi в жидком состоянии. Интерпретация полученных результатов проведена на основе теории Займана. Показано, что эти сплавы могут быть использованы в качестве припоя.

*Ключевые слова:* ячейка, электропроводность, безсвинцовые припои.

Стаття надійшла до редколегії 19.05.2008

Прийнята до друку 20.07.2009