

- ких температур. – 2000. – № 6. – С. 991–1005.
2. Прохоренко В.Я, Прохоренко С.В. Вивчення впливу домішок, термічної обробки та пластичної деформації на електричний опір металів і сплавів // *Метод. вказівки лаб. роб. курсу* 3. Прохоренко С., Стадник Б., Ковальчик А., Филоненко С. *Акустическое излучение как информативный метод катастрофических изменений структуры // Materiały VII Intern. Sem. Metrologów < Metody i technika przetwarzania sygnałów w pomiarach fizycznych. – Rzeszów. – 1999. – P.200–205.*
4. Прохоренко С. Методика комплексних досліджень теплових та акустичних ефектів при змінах структури. // *Journal Solidification of Metals and Alloys. – 2000. – 2. – №43. – P.473–478.*
5. Пат. 41138А UA, МКВ G 01 N 29/04. Пристрій для визначення координат джерела акустичної емісії / Ройзман В.П., Ковтун І.І., Горошко А.В., Прохоренко С.В. (Україна); Технологічний університет Поділля. – N 2001031425; Заявл. 01.03.2001; Опубл. 15.08.2001; Бюл. N 7. – 12 с.
6. ДСТУ 2857-94. Перетворювачі термоелектричні. Загальні технічні вимоги. 7. Рогельберг И.Л., Бейлин В.М. Сплавы для термонар. *Справ.изд. – М.: Металлургия. – 1983. – 360 с.*
8. Лахтин Ю.М. *Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 389 с.*
9. Лейкин А.Е. *Материаловедение. – М.: Высшая школа, 1971. – 234 с.*
10. Prokhorenko W., Turczenco N., Pleszakow E., Bylica A., Prokhorenko S., Czajka W. *Interior pressure and repeated shaping of a structure after laser melting away // Journal Solidification of Metals and Alloys. – 1998. – №36. – P.175–181.*
11. Gu H.P., Duley W.W. *Resonant acoustic emission during laser welding of metals // Journal of Physics D.-Applied Physics. – 1996. – Vol.29, №3. – P. 550–555.*
12. Стадник Б.И., Столярчук П.Г., Федик И.И. *О возможном влиянии градиента температуры на Тедс однородных термоэлектродов. – М.: Сб. всес. конф. Методы и средства измерения температуры. – 1973. – С. 52–55.*

УДК

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛЬНОЛЕГОВАНИХ НАПІВПРОВІДНИКІВ ЯК МАТЕРІАЛІВ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ТЕРМОМЕТРІЇ

© Олеся Спондич¹, Пилип Скоропад¹, Володимир Ромака², 2009

¹ Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, вул. С. Бандери 12, Львів 79013, Україна

² Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра захисту інформації, вул. Кн. Романа 5, Львів 79000, Україна

Проаналізовано перспективи застосування сильнолегованих напівпровідників як матеріалів чутливих елементів для вимірювання криогенних температур. Здійснено аналітичний огляд найпоширеніших термометрів, що застосовуються сьогодні в діапазоні низьких температур, їх переваг та недоліків.

Проанализированы перспективы применения сильнолегированных полупроводников в качестве материалов чувствительных элементов для измерения криогенных температур. Проведен аналитический обзор наиболее распространенных термометров, которые применяются сегодня в диапазоне низких температур, их преимуществ и недостатков.

The prospects of application of the strongly alloyed semiconductors are analysed as sensible elements for measuring of low temperatures. The state-of-the-art review of the most widespread thermometers, which are used in today's time in the range of low temperatures, their advantages and failings, is conducted.

Постановка проблеми. Темпи розвитку техніки і технологій в діапазоні низьких температур в останні десятиліття виявились настільки значними, що нині без них неможливо уявити ні ракетну техніку, ні ядерну енергетику, ні численні галузі машинобудування. Доволі довго вважали, що діапазон низьких

температур не настільки широкий, щоб приділяти йому спеціальну увагу. Сьогодні ж особливості вимірювання низьких температур виявились настільки важливими, а їх освоєння настільки важким, що низькотемпературна термометрія перетворилась на великий самостійний розділ вимірювальної техніки.

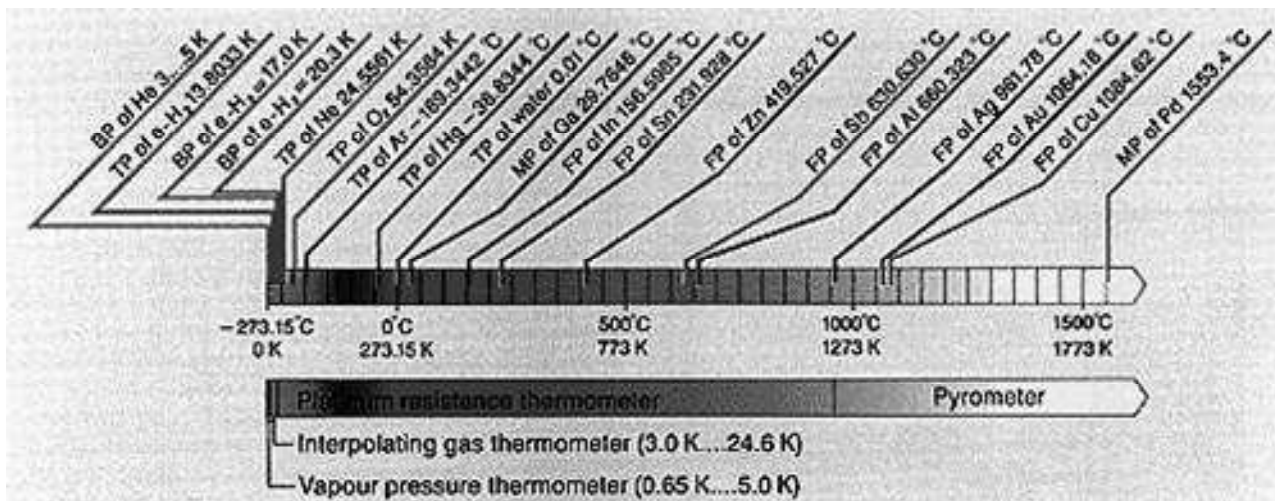


Рис. 1. Реалізація міжнародної температурної шкали МТШ-90

Розглядаючи реалізацію Міжнародної температурної шкали МТШ-90 (рис. 1), бачимо, що вимірювання у діапазоні низьких температур від 0,65K до 24,5561K розділено на вузькі піддіпазони. Так, у діапазоні 0,65K...5,0K вимірювання здійснюються за допомогою конденсаційного гелієвого термометра сталого тиску, в області температур 3,0K...24,5561K – використовується спеціально сконструйований газовий термометр, а уже в діапазоні температур між 13,81 K і 903,89 K [1–3] як еталонний засіб застосовують платиновий термометр опору. Проміжні, між реперними, точки МТШ-90 відтворюються за інтерполяційними залежностями [4–7], які встановлюють зв'язок між температурою і термометричними властивостями засобів, які визначені еталонами. Отже, МТШ-90 складається з певної кількості діапазонів і піддіпазонів, деякі з яких перекриваються. У точках перекривання застосовуються різні засоби вимірювання температури, що вносить додаткову похибку у процес відтворення МТШ-90 і, відповідно, робить вимірювання температури не зовсім коректним. Цієї некоректності можна уникнути, використавши для вимірювання, по можливості, у ширшому діапазоні температур – від 0,1 K і хоча б до 1000 K – один вимірювальний засіб.

Міжнародна температурна шкала постійно розвивається і доповнюється. Так, у 2000 р. Міжнародний комітет з мір і ваг затвердив попередню редакцію низькотемпературної міжнародної шкали (PLTS-2000), яка розширяє діапазон МТШ-90 в низькотемпературній області [1]. А отже, сучасна низькотемпературна термометрія поширюється на все ширші

діапазони низьких температур, практичне освоєння яких відкриває унікальні можливості для науки і техніки. Тому подальший розвиток низькотемпературної термометрії тісно пов'язаний з багатообіцяючими перспективами розвитку галузей народного господарства. Відповідно це вимагає постійного пошуку шляхів покращання відомих параметрів та створення нових засобів вимірювання температури з поліпшеними метрологічними та експлуатаційними характеристиками.

У метрологічній практиці існують термоперетворювачі для вимірювання низьких температур, які серійно випускаються, проте за їх допомогою все ж не вдається задовольнити весь комплекс вимог, науки та промисловості. Пов'язано це з ускладненням умов експлуатації об'єктів, необхідністю жорсткішого контролю технологічних процесів, підвищенням вимог в питаннях безпеки тощо. Тому привертають увагу перспективні шляхи розвитку термометрії із застосуванням нових методів та засобів вимірювання температури, що ґрунтуються на використанні нових фізичних ефектів та матеріалів.

Одним з таких шляхів є використання як матеріалу чутливого елемента (ЧЕ) термоперетворювачів сильнолегованих напівпровідників (СНП), які характеризуються особливим структурним станом та електрофізичними властивостями [5–6], завдяки яким їх можна використовувати для виготовлення як термоелектричних, так і терморезистивних ЧЕ при вимірюванні як криогенних, так і високих температур одним засобом вимірювальної техніки.

Аналіз актуальних досліджень і публікацій.

Виконавши огляд літературних джерел, можна порівняти засоби термометрії (рис. 2), які нині використовують для вимірювання температур у діапазоні 0,1 К...1000 К).

Термометри для вимірювання низьких температур утворюють дві основні групи:

а) термометри, у яких температура визначається через вимірювання тиску (газові термометри сталого об'єму використовуються для вимірювань у обмеженому температурному інтервалі)

б) термометри, у яких визначення температури відбувається за допомогою вимірювання електричних параметрів (застосовують як для прецизійних $\Delta T \leq 0,1 \dots 1,0$ мК, так і для тривіальних вимірювань $\Delta T \leq 1,0$ К).

Основні характеристики найпоширеніших з них подано у роботах [2, 3, 4, 9]. Газові та конденсаційні термометри використовують у зріджувальних устатках, в сховищах криогенних рідин та наукових дослідженнях, за умови, що великі розміри ЧЕ не є істотними. Ці термометри забезпечують високу довготривалу стабільність та незалежність результатів від впливу магнітного поля, проте їх неможливо використовувати для процесів швидкоплинних.

Для точних вимірювань у діапазоні криогенних температур найкращими є термометри опору з ЧЕ з металу – платинові та неметалу – германієві та вуглецеві.

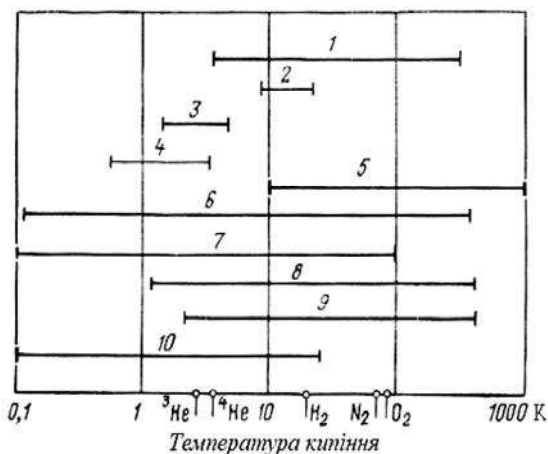


Рис.2. Розподіл типів термометрів по інтервалах температур застосування:

- 1 – газовий з ^4He ; 2 – конденсаційний з H_2 ;
- 3, 4 – конденсаційний з ^4He і ^3He ; 5 – термометри опору з металів; 6 – вуглецевий; 7 – германієвий;
- 8 – германієвий діод; 9 – термопару;
- 10 – парамагнітні термометри

Основною перевагою платинових та германієвих термоперетворювачів є висока відтворюваність значень протягом довгого часу за різних умов експлуатації навіть при багаторазових циклічних нагріваннях та охолодженнях. Проте ці термометри значно змінюють свої покази в магнітному полі. До того ж еталонні, зразкові та робочі платинові термометри опору застосовують для вимірювання температур в діапазоні від 13,81 К до 903,89 К. При температурах, нижчих за 13,81 К, чутливість їх сильно зменшується.

Вуглецеві термометри широко використовують для вимірювання низьких температур завдяки таким параметрам, як висока чутливість, низька залежність від впливу магнітного поля та помірна вартість. Основний недолік вуглецевих термометрів – низький показник довготривалої стабільності, який до того ж погіршується при циклічних процесах, та необхідність періодичного градування після певної кількості термоциклювань, тому їх не можна використовувати як еталон.

Для вимірювання низьких температур як ЧЕ найчастіше використовують мідь-константову термопару типу (Т) та такі термоелектроди для термопар, якот: стоп золота із залізом, золота з кобальтом. Як другий термоелектрод для термопар на основі стопів золота використовують мідь або хромель. Їх перевагами є простота конструкції і виготовлення, малі розміри ЧЕ, що забезпечує вимірювання температури майже в точці, мала теплоємність і відповідно швидке встановлення термодинамічної рівноваги. Проте в нашому випадку істотним недоліком є невелика чутливість, яка зменшується зі зниженням температури. До того ж при вимірюванні низьких температур значним недоліком є неоднорідність електродів, їхня велика теплопровідність і залежність термометричних властивостей від магнітного поля.

Більшість з розглянутих вище термометрів стають непридатними для прецизійних вимірювань при криогенних температурах, особливо нижчих за 20,0 К, оскільки різко падає відтворюваність та стабільність метрологічних характеристик їх ЧЕ.

Постановка завдання. Нами встановлено, що перспектива застосування нових термометричних матеріалів (у конкретному випадку – СЛНП) у засобах вимірювання температури полягає, зокрема, у можливості одночасного впливу на зміну концентрації носіїв електричного струму, їх рухливості, а також

типу кристалографічної орієнтації, механізму розсіювання тощо, що приводить до цілеспрямованого керування значеннями термо-ЕРС та питомого електроопору при збереженні їх однозначної температурної залежності. Ця особливість СЛНП дає змогу на їх основі створювати ЧЕ для прецизійної термометрії в широкому діапазоні температур.

Однак для отримання необхідної інформації про конкретні електрокінетичні та теплофізичні властивості конкретних матеріалів необхідні додаткові дослідження. Оскільки властивості СЛНП перебувають у функціональній залежності від хімічного і структурного складу, а також від впливу чинників зовнішнього середовища, то лише застосування комплексних методів досліджень стане джерелом інформації – необхідної і достатньої для розуміння сутності процесів та явищ, що відбуваються в досліджуваних матеріалах з метою застосування їх в термометрії.

Виклад основного матеріалу. В електротермометрії найпоширеніші два основні типи первинних термоперетворювачів: термоперетворювач опору і термоперетворювач термоелектричний. Термометричними властивостями, що в них реалізуються, є відповідно температурні залежності електричного опору та термо-ЕРС. Своєю чергою, стабільність метрологічних та надійність експлуатаційних характеристик термоперетворювачів залежать, переважно, від рівня стабільності та відтворюваності термометричних властивостей матеріалів їх ЧЕ.

Виконано попередні дослідження основних термометричних характеристик СЛНП, результати яких [8] показали наявність переваг у них перед застосуванням як матеріалів для виготовлення ЧЕ традиційних полікристалічних матеріалів, головні з яких:

- можливість цілеспрямовано змінювати значення питомого електроопору та коефіцієнта термо-ЕРС, оскільки утворення твердих розчинів заміщення дає змогу плавно змінювати концентрації носіїв електричного струму, що, своєю чергою, дає можливість керувати положенням рівня Фермі;
- висока стабільність характеристик, стійкість електрофізичних властивостей за різних зовнішніх впливів;
- висока гомогенність структурного стану, простота, технологічність та економічність виготовлення;
- не містять токсичних, радіоактивних та забруднюючих компонентів, тобто виготовлення, використання та утилізація не забруднюють довкілля;

- відсутність взаємодії з матеріалами арматури ЧЕ та вимірювальним середовищем;
- широкий діапазон температур застосування – 0,1 К...1000 К.

Висновки. Особливості структури СЛНП формують їх унікальні електричні, фізичні, магнетні, механічні тощо властивості, котрих не мають традиційні моно- чи полікристалічні матеріали. Однак наукова та практична цінність досліджуваних матеріалів ще недостатньо повно розкрита. Цим і продиктована необхідність збирання, дослідження аналізу та узагальнення, зокрема, їх термометричних, властивостей. Отримана інформація може бути корисною для широкого кола наукових та інженерних працівників, що займаються як створенням нових матеріалів із задалегідь заданими властивостями, так і практичним застосуванням їх, зокрема, в об'єктах нової техніки.

Дослідження в галузі створення ЧЕ термоперетворювачів на основі СЛНП є доволі актуальними, оскільки з метою покращання ситуації в Україні в плані економічного використання енергоресурсів шляхом широкого застосування в народному господарстві недорогих та прецизійних первинних термоперетворювачів, необхідно шукати альтернативу термоперетворювачам на основі шляхетних металів платинової групи.

1. ©Temperatures.ru. 2. Поліщук Є.С., *Методи та засоби вимірювання неелектричних величин.* – Львів: Видавництво ДУ “Львівська політехніка”, 2000.
3. Bernhard Frank, *Technische Temperaturmessung. Physikalische und meßtechnische Grundlagen, Sensoren und Meßverfahren, Meßfehler und Kalibrierung,* Springer-Verlag GmbH, September 2003.
4. Beckerath, Alexander von Eberlein, Anselm Julien, Hermann Kernsten, Peter Kreutzer, Jochem, *Druck- und Temperaturmeßtechnik, WKA, Mittenberg* 1995.
5. Бонч-Бруевич В.Л., Калашиников С.Г., *Фізика напівпровідників.* – Ереван: Изд-во Ерев. ун-та, 1988.
6. Фистуль В.И. *Сильно легированные полупроводники.* – М.: Наука, 1967.
7. Луцик Я.Т., Буняк Л.К., Рудавський Ю.К., Стадник Б.І. *Енциклопедія термометрії.* – Львів: Видавництво Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2003.
8. Ромака В.А., автореферат дис ... д-ра техн. наук, *Фізичні засади розроблення термометричних елементів на основі інтерметалічних напівпровідників.* – Львів, 2008;
9. Поліщук Є.С., Дорожжовець М.М., Стадник Б.І., Івахів О.В., Бойко Т.Г., Ковальчик А. *Засоби та методи вимірювань неелектричних величин.* – Львів: Бескид Біт, 2008.