



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **120274** (13) **U**
(51) МПК (2017.01)
G01K 7/00
H01L 41/00

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2017 04633	(72) Винахідник(и):	Шварц Юрій Михайлович (UA), Шварц Марина Михайлівна (UA)
(22) Дата подання заявки:	13.05.2017	(73) Власник(и):	ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ. В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, просп. Науки, 41, м. Київ, 03680 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	25.10.2017		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	25.10.2017, Бюл.№ 20		

(54) СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ

(57) Реферат:

Спосіб вимірювання температури T в магнітному полі за допомогою напівпровідникового датчика температури, який полягає в тому, що спочатку вимірюють температуру T_1 при відсутності магнітного поля $T_1=0$, після чого датчик розміщують в магнітному полі, робоча величина індукції якого $B_2 \neq 0$, орієнтуючи його в напрямку, перпендикулярному або паралельному магнітному полю, пропускають через датчик електричний струм, вимірюють падіння напруги на датчику $U_{B2}(T_1, B_2)$, визначають температурну поправку на вплив магнітного поля ΔT і визначають температуру датчика $T=T_1+\Delta T$, причому додатково вимірюють градувальну залежність падіння напруги на датчику $U(T, B_2)$ в робочому діапазоні температур при значенні магнітного поля B_2 , з якої визначають температурну чутливість датчика $\alpha(T_1, B_2)$ при температурі T_1 і магнітному полі B_2 , потім змінюють величину індукції магнітного поля на $B_3 \neq 0$ і вимірюють при цьому значенні магнітного поля падіння напруги $U_{B3}(T_1, B_3)$, а температурну поправку визначають з формули $\Delta T=(U_{B3}(T_1, B_3)-U_{B2}(T_1, B_2))/\alpha(T_1, B_2)$.

UA 120274 U

Корисна модель належить до області термометрії і може бути використана для вимірювання температури пристроїв, що знаходяться в магнітному полі.

Відомі області техніки, де широко використовуються пристрої, що працюють під одночасним впливом низької температури і магнітних полів (кріогенна електроніка, електроенергетика, атомна енергетика, наукові дослідження та ін.). Наприклад, для діагностики роботи надпровідних магнітних систем прискорювача заряджених часток у Великому андронному колайдері (ЦЕРН, Швейцарія) необхідні датчики, які забезпечують високу точність вимірювання в діапазоні гелієвих температур при впливі магнітних полів до 9 Т [1]. Контроль температури дозволяє забезпечувати діагностику таких пристроїв. Необхідна висока точність досягнення зазначеної мети може бути забезпечена застосуванням для вимірювання температури способів, що дозволяють точно врахувати або виключити вплив магнітного поля на вимірювання температури.

Відомий спосіб, згідно з яким вимірювання температури проводять за допомогою термометрів опору. Спосіб оснований на температурній залежності опору термометра і нехтуванні впливом магнітного поля на показання термометра (метод термоопору). З літератури відомо, що застосування зазначеного методу для вимірювання температури за допомогою металевих термометрів опору (платина, ірідій, родій, залізо та ін.) призводить до великих погрешностей виміру температури через залежність опору термометрів від магнітного поля [2]. Температурна поправка ΔT на вплив магнітного поля для платинового термометра опору залежить не тільки від величини температури T , а й індукції магнітного поля, і при температурі виміру 20 К відносна поправка до температури $\Delta T/T$ в магнітному полі величиною від 2 до 8 Т досягає 100 %.

Відомо також, що застосування методу термоопору для напівпровідникових термометрів також призводить до помилки у визначенні температури [3, 4]. Так, при вимірюванні температури за допомогою германієвого термометра опору типу ТСГ-2 відзначена висока чутливість і стабільність показань термометра. Однак при 4 К магнітне поле величиною 5 Т призводить до зростання опору термометра на 250 %, що еквівалентно зниженню температури на 1,75 К. Крім того, температурна поправка до градування термометра зростає зі збільшенням магнітного поля і немонотонно залежить від температури.

Таким чином, нехтування впливом магнітного поля на величину опору термометра призводить до помилки у визначенні температури, і отже, низької точності вимірювання температури в магнітному полі.

Відомий спосіб вимірювання температури оснований на можливості короткочасного відключення магнітного поля. Згідно з способом, в пристрої, де розташований термометр, що знаходиться під впливом низьких температур і магнітного поля, в момент вимірювання температури відключають магнітне поле. Далі проводять вимірювання опору термометра, і по градувальній кривій (залежності опору від температури) визначають шукану температуру [5]. Однак на практиці зазвичай відсутня можливість короткочасного відключення магнітного поля, тому відомий спосіб вимірювання температури в магнітному полі не використовується.

Відомий спосіб, який дозволяє враховувати вплив магнітного поля на вимірювання температури - прототип, з використанням напівпровідникових датчиків температури типу ТВО, чутливим елементом яких є вуглецевий композиційний термоопір [6]. Згідно з прототипом, спочатку вимірюють температуру T_1 при відсутності магнітного поля $B_1=0$. Після чого датчик розміщують в магнітному полі, робоча величина індукції якого $B_2 \neq 0$, орієнтуючи його в напрямку, перпендикулярному або паралельному магнітному полю. Після чого через датчик пропускають електричний струм постійної величини і вимірюють падіння напруги на датчику $U_{B_2}(T_1, B_2)$ при температурі T_1 в умовах впливу магнітного поля, величина індукції якого B_2 . Температурну поправку ΔT на вплив зміни магнітного поля з $B_1=0$ до B_2 , визначають з формули

$$\Delta T = (U_{B_2}(T_1, B_2) - U_{B_1}(T_1, B_1=0)) / \alpha(T_1), \quad (1)$$

де $\alpha(T_1) = dU(T_1)/dT$ - температурна чутливість датчика при температурі T_1 , коли $B_1=0$. Далі визначають температуру, яку вимірює датчик в умовах впливу магнітного поля:

$$T = T_1 + \Delta T. \quad (2)$$

Таким чином, прототип та аналоги забезпечують вимірювання зміни температури напівпровідникового датчика температури в магнітному полі B_2 по відношенню до умов, коли магнітне поле відсутнє - $B_1=0$, і не забезпечують необхідну високу точність вимірювання температури в умовах зміни магнітного поля від різних його значень, оскільки температурна чутливість напівпровідникових датчиків температури $\alpha(T)$ залежить від магнітного поля.

Задачею корисною моделі є підвищення точності визначення температури напівпровідникових датчиків в умовах впливу магнітного поля.

Для вирішення поставленої задачі спочатку вимірюють температуру T_1 при відсутності магнітного поля $B_1=0$. Після чого датчик розміщують в магнітному полі, величина індукції якого $B_2 \neq 0$, орієнтуючи його в напрямку, перпендикулярному або паралельному магнітному полю. Потім пропускають через датчик електричний струм і вимірюють падіння напруги на датчику $U_{B2}(T_1, B_2)$ при температурі T_1 і магнітному полі B_2 . Далі вимірюють градувальну залежність падіння напруги на датчику $U(T, B_2)$ в робочому діапазоні температур при значенні магнітного поля B_2 , з якої визначають температурну чутливість датчика $\alpha(T_1, B_2)$ при температурі T_1 і магнітному полі B_2 . Потім змінюють величину індукції магнітного поля на $B_3 \neq 0$ і вимірюють при цьому значенні магнітного поля падіння напруги $U_{B3}(T_1, B_3)$ при температурі T_1 і магнітному полі B_3 . Температурну поправку визначають з формули

$$\Delta T = (U_{B3}(T_1, B_3) - U_{B2}(T_1, B_2)) / \alpha(T_1, B_2) \quad (3)$$

і визначають температуру датчика $T = T_1 + \Delta T$.

Вибір значення магнітного поля B_2 , при якому проводиться градування датчика в робочому діапазоні температур і розраховується відповідне значення температурної чутливості датчика $\alpha(T_1, B_2)$, впливає з технічних вимог до діагностики надпровідних магнітних систем, робочі режими яких здійснюються в умовах впливу низьких температур і високих магнітних полів (які, наприклад, характеризуються значенням з індукцією B_2). Ці вимоги визначають необхідність контролю температури з високою точністю, що, в свою чергу, вимагає врахування зміни магнітного поля B на зміну показань датчика температури, який перебуває в умовах впливу магнітного поля.

Таким чином, при визначенні температурної поправки ΔT , викликаній зміною магнітного поля від значення B_2 до B_3 , враховується вплив магнітного поля B_2 на температурну чутливість $\alpha(T_1, B_2)$. При цьому точність вимірювання підвищується. Спосіб дозволяє провести вимірювання температури без відключення магнітного поля.

Приклад запропонованого способу

Для експериментальної перевірки способу, що заявляється, вибраний діодний датчик температури (далі - датчик). Чутливим елементом датчика є кремнієвий планарний діод з n^{++} - p^{+} -переходом, виготовлений на промисловій базі мікроелектроніки. Вимірювання виконані на обладнанні Міжнародної лабораторії низьких температур і сильних магнітних полів у Вроцлаві (Польща) з використанням гелієвого кріостату і надпровідного магніту виробництва фірми Oxford Instruments. Магніт з гелієвим кріостатом дозволяє проводити вимірювання в стаціонарних магнітних полях до 14 Т в діапазоні температур від 1.5 К до 350 К. Для автоматизованих вимірювань використовувалися джерело струму Current Source Keithley 224, вольтметр Multimeter Keithley (Model 2000 і Model 2001), температурний контролер - 340 Temperature Controller виробництва фірми Lake Shore. Точність підтримки робочого струму була не гірше $\pm 0.05\%$. Точність вимірювання падіння напруги не гірше ± 0.5 мкВ. Похибка контролю температури з використанням термометра Cernox не перевищувала ± 0.03 К. Похибка контролю величини індукції магнітного поля з використанням датчика Холла на основі InSb не перевищувала ± 0.1 Т.

Згідно з способом, який заявляється, вимірювання температури в присутності магнітного поля проводили в наступній послідовності. Датчик розміщували на вставці кріостата таким чином, щоб напрямком струму, що проходить через датчик, був перпендикулярним або паралельним магнітному полю, створюваному надпровідним магнітом. Вставку з датчиком розміщали в гелієвому кріостаті, хвостовик якого з датчиком знаходиться під впливом магнітного поля надпровідникової магнітної системи. Після заливки в кріостат кріогенних рідин (рідкий азот, гелій) підключали автоматизовану систему підтримки температури кріостата і забезпечували зниження температури вставки з розташованим на ній датчиком до температури, близької температурі кипіння рідкого гелію ($\approx 4,2$ К). Через датчик пропускали електричний струм величиною 1 мкА в пропускному напрямку, вимірювали залежність падіння напруги $U(T)$ в робочому діапазоні температур від 1,5 К до 5 К, з якої визначали температурну залежність температурної чутливості датчика $\alpha(T) = dU/dT$. Із градувальної залежності датчика $U(T, B_1)$ при відсутності магнітного поля $B_1=0$ визначали температуру $T_1=4,22$ К. Після чого датчик розміщували в магнітному полі з величиною індукції $B_2=4$ Т, орієнтуючи його в напрямку, перпендикулярному або паралельному магнітному полю, і вимірювали падіння напруги на датчику $U_{B2}(T_1, B_2)=1080,5$ мВ. Потім при значенні магнітного поля $B_2=4$ Т вимірювали градувальну залежність $U(T, B_2)$ в робочому діапазоні температур від 1,5 К до 5 К, з якої визначали температурну чутливість датчика $\alpha(T_1, B_2) = dU(T, B_2)/dT$ при температурі $T_1=4,22$ К: $\alpha(T_1=4,22 \text{ К}, B_2=4 \text{ Т}) = 3,25$ мВ/К. Потім величину індукції змінювали на $B_3=5$ Т і вимірювали падіння напруги $U_{B3}(T_1, B_3)=1081$ мВ. Температурну поправку ΔT на вплив магнітного поля визначали з виразу

$$\Delta T = (U_{B3}(T_1, B_3) - U_{B2}(T_1, B_2)) / \alpha(T_1, B_2) = 0,5 \text{ мВ} / 3,25 \text{ мВ/К} = 0,15 \text{ К}.$$

Далі визначали, що під впливом зміни магнітного поля від 4 Т до 5 Т температура, яку вимірює напівпровідниковий датчик, змінилась від $T_1 = 4,22 \text{ К}$ до $T = T_1 + \Delta T = (4,22 + 0,15) \text{ К} = 4,37 \text{ К}$.

Зауважимо, що отримане значення поправки ΔT згідно з способом, що заявляється, істотно відрізняється від значення, отриманого відповідно до способу-прототипу, який не враховує вплив магнітного поля B_2 на температурну чутливість $\alpha(T_1, B_2)$. Згідно з способом-прототипом результат розрахунку ΔT дає значення $\Delta T_{\text{прот}} = (U_{B2}(T_1, B_3) - U_{B1}(T_1, B_1=0)) / \alpha(T_1, B_1=0) = (1081 \text{ мВ} - 1080,2 \text{ мВ}) / 2,8 \text{ мВ/К} = 0,29 \text{ К}$. Тобто при зміні магнітного поля до 5 Т температура, яку вимірює напівпровідниковий датчик, змінилась від $T_1 = 4,22 \text{ К}$ до $T = T_1 + \Delta T = (4,22 + 0,29) \text{ К} = 4,51 \text{ К}$.

Джерела інформації:

1. Tomiyoshi Haruyama, Nobuhiro Kimura, Kenichi Tanaka and Akira Yamamoto. Temperature Measurement under High Magnetic Fields around 1.8 K by using CGR Thermometers //KEK Preprint 96-35 KEK, 1996. - National Laboratory for High Energy Physics, Japan. - P. 649-652

2. Орлова М.П. Низкотемпературная термометрия, - М.: 1975. - Изд-во стандартов. - 160 с.

3. Шиков А.А., Панова Г.Х., Самойлов Б.Н., Черноплеков Н.А. Исследование поведения германиевых, угольных и GaAs - термометров при низких температурах в полях до 60 кЭ. //Препринт ИАЭ-2603. - 1976. - М. - 20 с.

4. Хлопкин М.Н., Панова Г.Х. Поведение низкотемпературных термометров в магнитном поле. //Препринт ИАЭ-2988. - 1976. - М. - с. 1-8.

5. Астров Д.Н., Авилов Г.С., Альшин Б.И. Измерение низких температур в присутствии сильных магнитных полей //Измерительная техника. - 1977. - № 4. - С. 39-44.

6. Микляев В.М., Суханова А.К., Филлипов Ю.П., Шабратов В.Г. Поведение криогенных датчиков ТВО в магнитных полях //Письма в ЭЧАЯ. - 2000. - № 4 (101). - С. 46-53.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб вимірювання температури T в магнітному полі за допомогою напівпровідникового датчика температури, який полягає в тому, що спочатку вимірюють температуру T_1 при відсутності магнітного поля $T_1=0$, після чого датчик розміщують в магнітному полі, робоча величина індукції якого $B_2 \neq 0$, орієнтуючи його в напрямку, перпендикулярному або паралельному магнітному полю, пропускають через датчик електричний струм, вимірюють падіння напруги на датчику $U_{B2}(T_1, B_2)$, визначають температурну поправку на вплив магнітного поля ΔT і визначають температуру датчика $T = T_1 + \Delta T$, який **відрізняється** тим, що додатково вимірюють градувальну залежність падіння напруги на датчику $U(T, B_2)$ в робочому діапазоні температур при значенні магнітного поля B_2 , з якої визначають температурну чутливість датчика $\alpha(T_1, B_2)$ при температурі T_1 і магнітному полі B_2 , потім змінюють величину індукції магнітного поля на $B_3 \neq 0$ і вимірюють при цьому значенні магнітного поля падіння напруги $U_{B3}(T_1, B_3)$, а температурну поправку визначають з формули

$$\Delta T = (U_{B3}(T_1, B_3) - U_{B2}(T_1, B_2)) / \alpha(T_1, B_2).$$