



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 99343

(13) U

(51) МПК

G01R 33/035 (2006.01)

G01R 33/02 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**(21) Номер заявки: **u 2015 00220**(22) Дата подання заявки: **12.01.2015**(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.05.2015**(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.05.2015, Бюл.№ 10**

(72) Винахідник(и):

**Мінов Юрій Дмитрович (UA),  
Будник Микола Миколайович (UA),  
Ляхно Валерій Юрійович (UA),  
Шопен Олександр Борисович (UA),  
Ківіренко Олег Борисович (UA)**

(73) Власник(и):

**Мінов Юрій Дмитрович,  
вул. Княжий Затон, 2/30, кв. 179, м. Київ,  
02068 (UA),  
Будник Микола Миколайович,  
вул. Миколи Юнкерова, 73, кв. 3, м. Київ,  
04075 (UA)**

(74) Представник:

**Жук Віктор Олексійович, реєстр. №16****(54) ТЕРМОСТАБІЛЬНИЙ ГРАДІЄНТОМЕТР МАГНІТНОГО ПОТОКУ**

(57) Реферат:

Термостабільний градієнтнометр магнітного потоку містить принаймні каркас, приймальну котушку та щонайменше одну компенсаційну котушку, які виконані з надпровідного дроту та намотані на каркасі, виготовленому з матеріалу, коефіцієнт теплового розширення (КТР) якого підбирають так, щоб він був рівний КТР надпровідного дроту. Каркас виконаний у вигляді трубки з композитного матеріалу на основі епоксидного та/або іншого полімерного в'язучого, армованого вуглецевими волокнами, які мають негативне значення КТР вздовж волокна та слабку електропровідність. Волокна намотуються щонайменше у два шари, кількість волокон у кожному шарі композиту регулюється зміною кроку їх намотки. Поперечний та поздовжній КТР каркаса регулюються шляхом зміни кількості волокон у шарах, кута між волокнами сусідніх шарів, кількості шарів та/або матеріалу в'язучого.

UA 99343 U

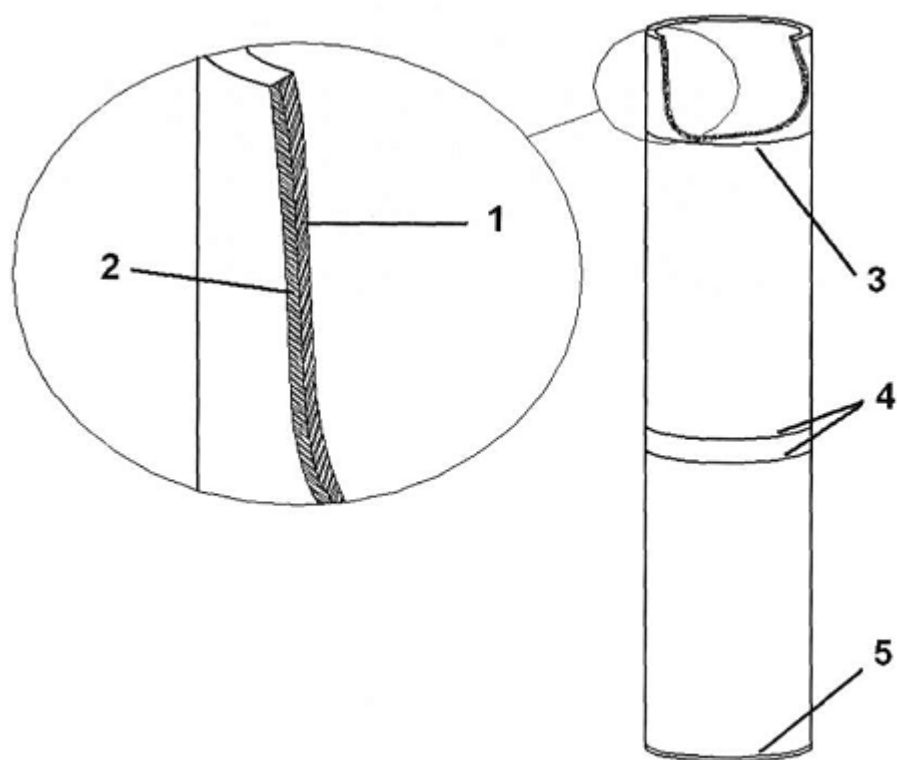


Fig. 1

Корисна модель належить до галузі надчутливих магнітних вимірювань і стосується конструкції антен СКВІД (Надпровідниковий Квантовий Інтерференційний Детектор) - магнітометрів.

Високочутливі СКВІД-магнітометри мають високу роздільну здатність по магнітному полю в діапазоні піко-фемто Тл. В той же час корисний магнітний сигнал від вимірюваних біологічних об'єктів зосереджений у низькочастотному діапазоні 0,1-100 Гц. За наявності індустриальних джерел (радіостанції, мобільний зв'язок, електростатичні розряди, інші джерела електромагнітних полів та хвиль) магнітних завад вони у тисячі разів перевищують корисний надслабкий магнітний сигнал.

Для покращення відношення сигнал/шум (ВСШ) на вході магнітометра застосовують спеціальні антени - надпровідникові градієнтометри, утворені послідовним з'єднанням декількох котушок, виготовлених з дроту (аксіальні) чи плівок, напилених на підкладинку (планарні).

Для близьких об'єктів вимірювань, відстань до яких порядку відстані між котушками (так звана база градієнтометра), послаблення корисного сигналу на виході градієнтометра незначне, а сигнал від далеких джерел магнітних завад послаблюється як  $1/R^{(3+M)}$ , де М - порядок градієнтометра, R - відстань до джерела завад. Проте достатнє послаблення (в 1000 разів і більше) має місце лише при достатньо точному виготовленні градієнтометра, а також визначається його конструкцією та конструкційними матеріалами.

В надпровідних магнітометрах застосовують значну кількість конструкцій дровових градієнтометрів, серед них:

1) US 4,523,147, G01R33/02, Fine balancing 2-nd derivative gradiometer, S. D'Angelo et al., Consiglio Nazionale Delle Recerche, 1985;

2) WO 2002/027332, High Balance Gradiometer, A. Bakharev, Cardiomag Imaging, 2002;

3) UA 16882, G01R 33/035, Надпровідниковий градієнтометр магнітного поля, Ю. Мінов, М. Будник, ТОВ Київська медична група, 2006.

Пристрій, згідно з US 4,523,147, містить дрововий аксіальний градієнтометр 2-го порядку з верхньою, центральною та нижньою (приймальною) котушками. Корпус складається з двох коаксіальних частин, на першій з яких закріплено центральну і нижню котушки, а на другій - верхню котушку, при цьому верхня та нижня котушки мають N витків, а центральна - 2N витків.

Корпус антени має 3 вертикальні отвори, в яких розміщені балансувальні механізми по 3-х ортогональних компонентах поля, трім-елементи виконані свинцевими пластинами. Балансування полягає в переміщенні зазначених пластинок відносно котушок для вирівнювання їх ефективних площ. Ступінь балансу покращують за рахунок зміни відстані між котушками антени шляхом зсуву вверх-вниз верхньої частини корпусу.

Перевага даної конструкції - послаблення не лише вертикального поля, а й градієнту завади, технічний результат - зниження граничної частоти  $1/f$  шуму на виході з 10 Гц до 0,4 Гц. Недоліки - складність конструкції, що утруднює його виготовлення та підвищує вартість, а також недостатня міцність каркаса з графіту.

У пристрої, згідно з WO 2002/027332, запропоновано конструкції аксіальних градієнтометрів 1 ÷ 3-го порядку з корпусом, виготовленим зі скла PYREX, коефіцієнт теплового розширення якого близький до матеріалу дроту - ніобію при криогенних температурах, на корпусі виточують спіральні та вертикальні канавки, у які з натягом намотують та приклеюють ціаноакриловим клеєм витки дроту, а у вертикальні канавки намотують два скручених дроти (біфіляр). В результаті отримують ступінь балансу чи астатизму антени 400 ÷ 800 (2000) ppm для вертикальної Z (горизонтальних X та Y) компонент поля.

Перевагою такої конструкції є те, що матеріал каркаса - скло, значно міцніший за графіт, а недоліком - досить низький (менше 1000 ppm) рівень послаблення магнітних завад саме по вертикальній компоненті магнітного поля, яка містить корисний сигнал. Також недоліком є те, що коефіцієнт теплового розширення (КТР) при 300 К такого скла приблизно у 2 рази менший, ніж у матеріалу дроту (ніобій), але зазначені коефіцієнти скла та дроту зрівнюються при криогенних температурах (Малков М.П., Данилов І.Б., Зельдович А.Г. и др. Справочник по физико-техническим основам криогеники. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 432 с.). Такий характер змін КТР призводить до того, що після декількох термоциклів виникає розбаланс антени через механічні деформації та зсув котушок градієнтометра.

Конструкція, згідно з UA 16882, яка вибрана за прототип, включає циліндричний корпус, приймальну та дві компенсаційні котушки, намотані на циліндричний корпус цільним відрізком надпровідного дроту та з'єднані за допомогою прямого і зворотного відрізків дроту, змотаних разом та вкладених у вертикальну проточку, причому перша компенсаційна котушка виконана двовитковою та розміщена посередині корпусу, а приймальна та друга компенсаційні котушки

виконані одновитковими та розміщені на протилежних кінцях корпусу, виконаного з матеріалу з низьким КТР, регулюючий пристрій для механічного балансування градієнтометра.

Конструкція відрізняється тим, що на зовнішній поверхні корпусу виконано кільцеві проточки, площини яких перпендикулярні осі циліндричного корпусу, витки всіх котушок розміщено в кільцевих проточках, витки середньої котушки розміщені на відстані, не менше ніж половина їх радіуса. Така конструкція забезпечує початковий розбаланс 400÷800 (200-400) ppm для вертикальної (горизонтальних) компонент поля.

Перевагою такої конструкції є те, що він забезпечує достатній (біля 20 ppm після механічного балансування) рівень послаблення магнітних завад по вертикальній компоненті магнітного поля, яка містить корисний сигнал, а недоліком - недостатня механічна міцність графіту та погіршення балансу антени при багатократних термоциклах через різний характер змін КТР графіту та ніобію при охолодженні.

Таким чином, недоліком сучасного рівня є відсутність конструкції градієнтометра, яка одночасно забезпечувала б механічну міцність корпусу, стабільність (не погіршення) ступеня балансу при багатократних циклах охолодження-відігрівання під час експлуатації, екранування електромагнітних завад, та низькі власні магнітні шуми.

Новизна пропонованої корисної моделі полягає в усуненні недоліків градієнтометрів, відомих із сучасного рівня техніки, за допомогою покращення конструкції каркаса, у якого:

1) застосований композитний матеріал має підвищену механічну міцність, низьку магнітну сприйнятливості та її варіації, спричинені флуктаціями температури;

2) забезпечено високий початковий баланс градієнтометра, який не погіршується внаслідок термоциклів за рахунок вирівнювання КТР матеріалів каркаса та дроту.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення конструкції термостабільного градієнтометра магнітного потоку, який містить принаймні каркас, приймальну котушку та щонайменше одну компенсаційну котушку, які виконані з надпровідного дроту та намотані на каркасі, виготовленому з матеріалу, КТР якого підбирають так, щоб він був максимально близький до КТР надпровідного матеріалу дроту.

Поставлена задача вирішується шляхом:

1) виконання каркаса у вигляді трубки;

2) виготовлення трубки з композитного матеріалу на основі епоксидного та/або іншого полімерного в'язучого;

3) армування в'язучого вуглецевими волокнами, які мають негативне значення КТР вздовж волокна та слабку електропровідність;

4) намотування волокон щонайменше у два шари;

5) регулювання кількості волокон у кожному шарі зміною кроку їх намотки,

6) регулювання поперечного та поздовжнього КТР композитного каркаса шляхом зміни кількості волокон у шарах, кута між волокнами сусідніх шарів, кількості шарів та/або матеріалів в'язучого;

7) підбирання поперечного КТР каркаса так, щоб він був рівний КТР дроту.

Технічний результат полягає у:

1) підвищенні механічної міцності каркаса за рахунок заміни графіту на композитний матеріал;

2) підвищенні строку експлуатації градієнтометра за рахунок усунення механічних деформацій та зсувів між частинами пристрою при його охолодженні до криогенних температур та наступному відігріванні;

3) досягненні рівня послаблення вертикальних (горизонтальних) завад не гірше 800 (400) ppm, достатнього для вимірювань в неекранираних умовах;

4) стабільності, тобто не погіршення початкового балансу протягом строку експлуатації внаслідок багатократних температурних циклів "охолодження-відігрівання";

5) послабленні зовнішніх електромагнітних завад за рахунок того, що вуглецеве волокно має слабку електропровідність, а тому композитний матеріал на основі вуглецевих волокон (вуглепластик) виконує роль ВЧ-екрана;

6) зменшенні магнітних шумів каркаса, спричинених флуктаціями температури, за рахунок того, що вуглепластик має меншу магнітну сприйнятливості при криогенних температурах порівняно з графітом, склопластиком чи іншими відомими матеріалами.

Короткий опис ілюстрацій:

фіг.1 - конструкція градієнтометра 2-го порядку, згідно з корисною моделлю, де: 1 - внутрішній шар каркаса; 2 - зовнішній шар каркаса; 3 - верхній компенсаційний виток; 4 - середні компенсаційні витки; 5 - нижній (приймальний) виток антени;

фіг.2 - структура найпростішої двошарової реалізації композиту, згідно з корисною моделлю, де: 1 - внутрішній шар каркаса; 2 - зовнішній шар каркаса;

фіг.3 - залежність магнітної сприйнятливості від температури в постійному магнітному полі 20 мТл для графіту та вуглепластика, згідно з корисною моделлю, тобто композитного матеріалу з епоксидною матрицею, армованого вуглецевими нитками з різною орієнтацією в різних шарах: трикутники - графіт, квадратики - вуглепластик;

фіг.4 - залежність похідної магнітної сприйнятливості в постійному магнітному полі 20 мТл від температури для графіту та пропонованого композитного вуглепластика: трикутники - графіт, кружечки - вуглепластик.

Конструкція пристрою наведена на фіг. 1, що ілюструє принцип корисної моделі. В основній реалізації пристрій являє собою аксіальний дровотий градієнтметр 2-го порядку, який реєструє 2-гу просторову похідну вертикальної (аксіальної) компоненти поля. Градієнтметр складається з 4-х круглих витків 3-5 радіусом 11 мм та відстанню між 4-4 та 4-5 (база), рівною 60 мм. Приймальний виток 5 призначений для реєстрації корисного сигналу, два середні 4 та верхній 3 - для компенсації магнітних завад від далеких джерел. Середні витки намотані у протилежному напрямі відносно верхнього і нижнього витків. Антена виготовлена з цільного відрізка надпровідного дроту, витки з'єднують скрученими прямим і зворотним відрізками дроту (біфіляр) і вкладають у вертикальні канавки в корпусі. Ці елементи конструкції детально розкриті в прототипі UA 16882.

Згідно з пропонованою корисною моделлю, виготовляють трубчасту деталь з 2-х шарів композитного матеріалу, внутрішнього 1 та зовнішнього 2. Кожний шар виготовлений з епоксидної смоли типу ЕД-22, армованої вуглецевими волокнами типу ВМН-4. Для виготовлення застосовують циліндричні алюмінієві оправки, волокна першого (внутрішнього) шару укладають вздовж оправки та примотують волокнами другого (зовнішнього) шару, орієнтованими перпендикулярно чи під певним кутом до волокон першого шару.

Слід зазначити, що вуглецеві волокна мають ряд унікальних властивостей. Так, їх питомий електричний опір може змінюватись у широких межах залежно від способу їх виготовлення (на 9 порядків), КТР змінює знак вздовж та поперек волокон, тобто при охолодженні волокна розширюються в осьовому напрямку. Також такі волокна мають дуже високі значення модуля пружності та механічної міцності [див. Мелешко А.И., Половин С.П., Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. - М.: "Сайнс-Пресс", 2007. - 192 с.]. В результаті механічна міцність пропонованого композитного матеріалу дозволяє виготовляти деталі, наприклад каркас антени, з товщиною стінки не більше 1,0 мм.

Такий тип армуючих волокон має питомий електричний опір на три порядки більший, ніж у міді. Це забезпечує значне поглинання електромагнітних завад каркасом, оскільки електропровідність існує і у масиву композитного матеріалу. При цьому загальний електричний опір каркаса можна варіювати за рахунок наповнення діелектричної матриці волокнами.

Вуглецеві волокна являють собою шарувату структуру з переважною орієнтацією шарів вздовж волокон, тобто подібно графіту в напрямку, перпендикулярному головній кристалографічній осі. Це призводить до негативного значення КТР вздовж волокна. Поперек волокна КТР позитивний, а його величина більша, ніж вздовж волокна.

КТР запропонованого в основній реалізації армуючого матеріалу вздовж волокна дорівнює  $(-0,4...-0,9) \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$ , де К - кельвін, що забезпечує значну технологічну гнучкість у підборі кількості армуючих волокон у матриці та їх відношення у різних шарах композитного матеріалу для вирівнювання КТР композиту та матеріалу дроту.

Принципова можливість зміни КТР композитного матеріалу полягає в тому, що:

1) армуючі (в основній реалізації - вуглецеві) волокна мають різні КТР вздовж та поперек волокна (бажано різного знаку);

2) вуглецеві волокна мають КТР вздовж волокна, значно менший за КТР в'язучого.

Отже, КТР композиту можна регулювати як відносним вмістом в'язучого та його типом, так і відотною кількістю армуючих волокон у шарах та їх орієнтацією.

Відомо, що КТР 1-шарового композиту вздовж  $\alpha_{\parallel}$  та поперек  $\alpha_{\perp}$  орієнтації волокон з упорядкованим напрямом описуються виразами (1-2) [див. Круглов А. Б. Теплофизические свойства стеклоэпоксидов и эпоксидных смол при криогенных температурах: Дисс. канд. физ.-мат. наук: 01.04.14 - М., 2007. - 118 с.].

$$\alpha_{\parallel} = \alpha_f + \frac{\alpha_m - \alpha_f}{1 + \left( \frac{v_f}{1 - v_f} \right) \frac{E_f}{E_m}} \quad (1)$$

$$\alpha_{\perp} = \alpha_m - (\alpha_m - \alpha_f) \left[ \frac{2(1 + \mu_m)(\mu_m^2 - 1)C}{1 + 1,1 \cdot v_f - \mu_m + 2\mu_m^2 C} - \frac{v_m \cdot \frac{E_f}{E_m}}{\frac{1}{C} + \frac{E_f}{E_m}} \right], \quad (2)$$

де для циліндричних волокон константа  $C=1,1 \cdot v_f(1-1,1 \cdot v_f)$ ,

$\alpha_m, \alpha_f$  - КТР,  $E_m, E_f$  - модуль Юнга;

$v_m, v_f$  - об'ємний вміст компонентів у композиті,

5 індекси m (matrix) та f (fiber) означають, відповідно, полімерну матрицю та армуючі волокна;

$\mu_m$  - коефіцієнт Пуассона полімерної матриці.

В основній реалізації застосовано найпростішу двошарову структуру, у якій волокна в шарах намотані під кутом  $90^\circ$ . У такого композиту (див. фіг. 2, де 1 - внутрішній шар, 2 - зовнішній шар) кожний шар має властивості односпрямованого композиту, а його загальний КТР визначається сумісним деформуванням обох шарів.

При цьому, зі зміною температури композитного матеріалу завдяки сумісній (взаємопов'язаній) деформації матеріалів, в них виникають напруження, тобто в одному шарі - стиснення, в іншому - розтягнення. Лінійна деформація шару описується законом Гука, а різний об'ємний вміст волокон  $v_{f1} \neq v_{f2}$  та в'язучого  $v_m = 1 - v_f$  у шарах забезпечує технологічне обладнання. При цьому різна кількість волокон у шарах забезпечить різні товщини цих шарів.

Отже, з огляду на циліндричну форму каркаса антени та згідно з фіг.2 для 2-шарового композитного матеріалу розраховують  $\alpha_{C\perp}$ , який задає деформацію в радіальному напрямку, та  $\alpha_{C\parallel}$  - осьову та кутову деформації. Тобто, вирішується система рівнянь, що пов'яже узагальнені КТР композитного матеріалу  $\alpha_{C\perp}$  та  $\alpha_{C\parallel}$  з компонентами КТР однонаправлених армованих шарів  $\alpha_{1\perp}, \alpha_{2\perp}$  і  $\alpha_{1\parallel}, \alpha_{2\parallel}$  з урахуванням сумісних деформацій цих шарів (1 та 2 - номер шару). Ця система рівнянь значно ускладнюється при неортогортропному армуванні шарів, тобто при наявності певного кута  $\phi$  між напрямками розміщення армуючих волокон у шарах композиту.

При термоциклах задля відсутності механічних напруг радіальний КТР повинен дорівнювати КТР матеріалу дроту, з якого намотані витки антени, в основній реалізації - ніобію. Рівність КТР композиту (3) та дроту досягають зміною об'ємного вмісту волокон у кожному шарі, який регулюють кроком їх намотки, а також кутом між напрямками намотки волокон у сусідніх шарах.

Проведені експериментальні дослідження показують, що поєднання цих типів матеріалів в композиті забезпечує зменшення його магнітної сприйнятливості. На фіг. 3 подані залежності магнітної сприйнятливості графіту (трикутники) та композитного матеріалу, армованого вуглецевими нитками з оптимізованою структурою шарів - вуглепластика (квадратики) в діапазоні температур 5÷50 K.

Вимірювання проведено у ФТІНТ НАНУ (м. Харків) за допомогою лабораторного сасептометра, розробленого у відділі магнітних властивостей та спектроскопії нормальних металів, з чутливістю до магнітного моменту не гірше  $4 \cdot 10^{-10} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ , який дозволяє проводити прецизійні вимірювання за допомогою СКВІД-магнітометра СГМ-5 [див. СКВІД-магнітометр для структуроскопії конструкционных материалов / А.В. Федорченко, В.Ю. Ляхно, В.И. Шнырков // Питання атомної науки і техніки. Серія "Фізика радіаційних ушкоджень та радіаційне матеріалознавство". - 2010. - Вип. 1(65). - С. 150-156].

З фіг. 3 видно, що зі зниженням температури в обох матеріалів магнітна сприйнятливість збільшується і при  $T=5 \text{ K}$  стає рівною: у графіту ( $-22,7 \cdot 10^{-6}$ ) безрозмірних одиниць в системі СІ, у композитного матеріалу  $3,89 \cdot 10^{-6}$ . Отже, згідно з експериментальними даними графіт є діамagnetиком, а композитний матеріал - парамагнетиком. При цьому сприйнятливість композитного матеріалу за абсолютним значенням приблизно у 5,8 разів менша. На думку авторів, це пояснюється взаємною компенсацією парамагнетизму епоксидної смоли та діамagnetизму вуглецевих волокон.

Таким чином, при застосуванні композитного матеріалу як матеріалу каркаса градієнтметра магнітні спотворення корисного сигналу будуть в декілька разів менші. Крім цього будуть менші внутрішні магнітні шуми каркаса, спричинені флуктуаціями температури при кипінні рідкого гелію, що демонструє фіг. 4, на якій подано залежність похідних магнітної сприйнятливості обох матеріалів від температури (трикутники - графіт, кружечки - вуглепластик).

Проведемо кількісну оцінку магнітних завад від каркаса антени на основі флуктуацій магнітного моменту  $dM$  від матеріалу об'ємом  $V$  в магнітному полі  $H$  при варіаціях температури  $dT$ :

$$dM = \frac{d\chi}{dT} \cdot V \cdot H \cdot dT$$

З рівня техніки відомо, що системи електронної термостабілізації можуть забезпечити варіації температури у кріостаті, спричинені кипінням рідкого гелію, біля  $dT=10^{-4}$  К. Отже для матеріалу об'ємом  $1 \text{ см}^3$  при температурі  $T=4,2$  К в магнітному полі Землі  $H=50$  мкТл маємо з

5 експериментальних даних фіг. 4 для зразків графіту -  $\frac{d\chi}{dT}=1,13 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$  та вуглепластика -  $\frac{d\chi}{dT}=0,9 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$ . Звідси з виразу (4) легко отримаємо відповідні значення флуктуацій магнітного моменту  $dM \approx 5,65 \cdot 10^{-20} \text{ Вб} \cdot \text{м}$  та  $dM \approx 4,5 \cdot 10^{-20} \text{ Вб} \cdot \text{м}$ , отже магнітні завади від вуглепластика в 1,3 рази менші, ніж у графіту.

10 У додаткових реалізаціях як в'язуче застосовують не епоксидну смолу, а полімер, пластик чи інший в'язучий матеріал, а рівність КТР композиту та дроту досягають додатковим підбором типу матеріалів в'язучого та/або кількості шарів композиту.

У інших реалізаціях застосовують матеріал, інший ніж ніобій, каркас градієнтометра має іншу форму, наприклад у вигляді багатокутника, а градієнтометр має порядок інший ніж 2-й, наприклад 1-й чи 3-й.

15 Основною перевагою пропонованої конструкції є практична відсутність механічних деформацій та зсувів, спричинених тепловим розширенням матеріалів частин пристрою. Це забезпечує незмінність положення та площ котушок градієнтометра, що, у свою чергу, забезпечує стабільність ступеня балансу антени внаслідок багаторазових термоциклів від кріогенної до кімнатної температури.

20 Застосована в основній реалізації конструкція забезпечує досягнення початкового балансу по аксіальній (поперечним) компоненті поля в діапазоні 800 (400) ppm, що достатньо для надчутливих вимірювань в неекраниваних умовах без застосування додаткових засобів знешумлення (компенсація за допомогою референтного векторного магнітометра, магнітоекранирована кімната чи камера).

25 Додатковою перевагою композитного матеріалу є його кращі магнітні властивості (в 5 раз менша магнітна сприйнятливості), що забезпечує менші спотворення корисного сигналу.

Пропонований пристрій промислово придатний, бо для виготовлення потребує конструкційних матеріалів та обладнання, яке широко застосовують при серійному виготовленні виробів із композитних матеріалів (склопластикові труби та інше).

30 Технологія виготовлення вуглепластика відпрацьована в процесі виготовлення установчої партії каркасів градієнтометрів на НВП "Пластар" (сmt Золочів Харківської області). Дослідження магнітних властивостей композитного вуглепластика та виготовлення градієнтометрів виконано у ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАНУ, м. Харків. Градієнтометри застосовані в 9-канальному кардіомагнітному сканері, створеному в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАНУ, м. Київ.

35 Конкретна реалізація пристрою у корисній моделі детально описана лише з метою ілюстрації. Зрозуміло, що на практиці люди, досвідчені в матеріалознавстві та кріогенній техніці, можуть внести деякі зміни і модифікації в конструкцію пропонованого пристрою. Проте, ми вважаємо, що зазначені зміни і модифікації у разі, якщо вони зроблені без суттєвих відхилень від даної корисної моделі, підпадають під його дію.

40

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Термостабільний градієнтометр магнітного потоку, який містить принаймні каркас, приймальну котушку та щонайменше одну компенсаційну котушку, які виконані з надпровідного дроту та намотані на каркасі, виготовленому з матеріалу, коефіцієнт теплового розширення (КТР) якого підбирають так, щоб він був максимально близький до КТР надпровідного дроту, який **відрізняється** тим, що каркас виконаний у вигляді трубки, яка виготовлена з композитного матеріалу на основі епоксидного та/або іншого полімерного в'язучого, армованого вуглецевими волокнами, які мають негативне значення КТР вздовж волокна та слабку електропровідність,   
45 волокна намотуються щонайменше у два шари, кількість волокон у кожному шарі композиту регулюється зміною кроку їх намотки, поперечний та поздовжній КТР каркаса регулюються шляхом зміни кількості волокон у шарах, кута між волокнами сусідніх шарів, кількості шарів та/або матеріалу в'язучого, поперечний КТР каркаса підбирається так, щоб він був рівний КТР дроту.

50

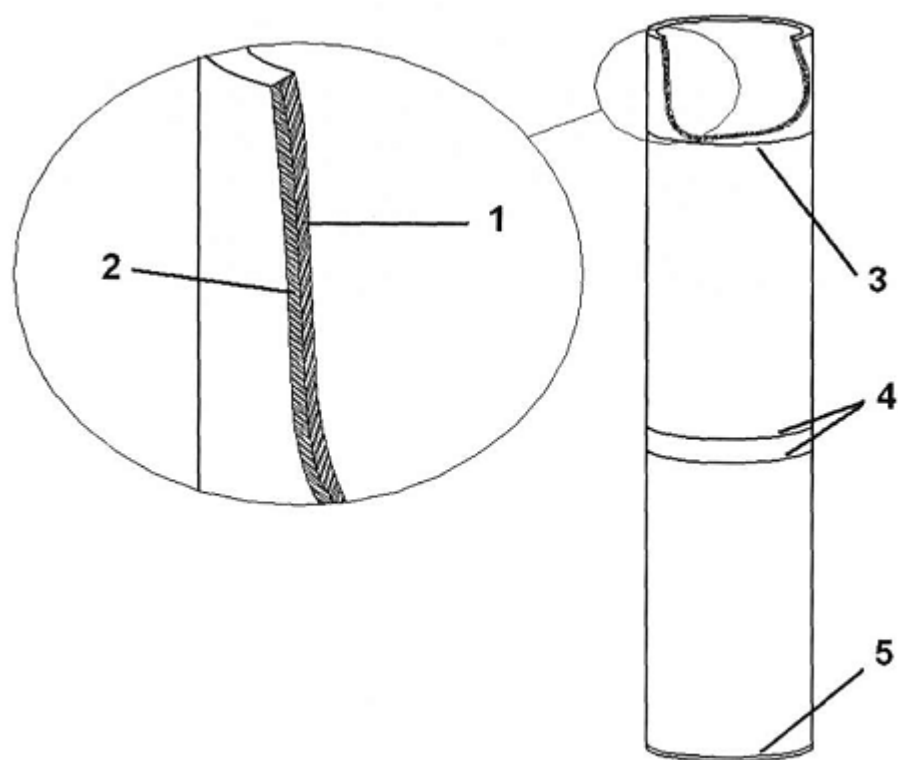


Fig. 1

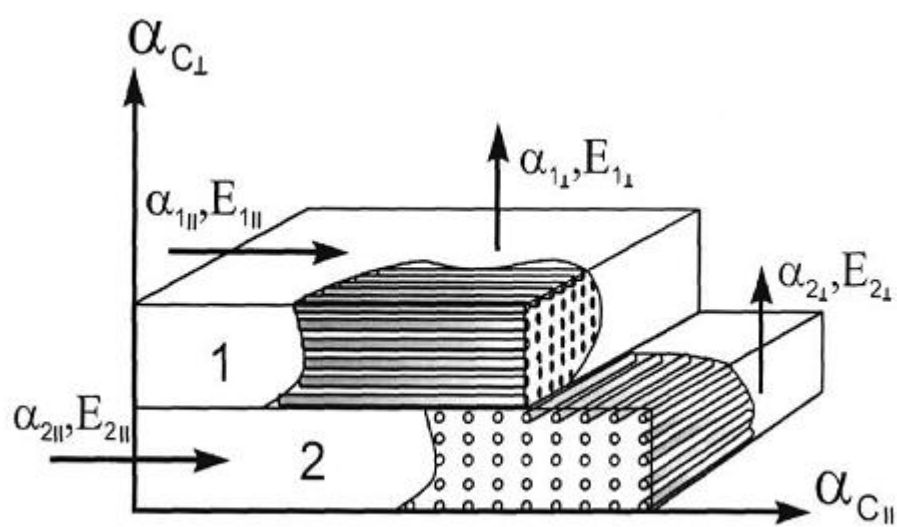


Fig. 2



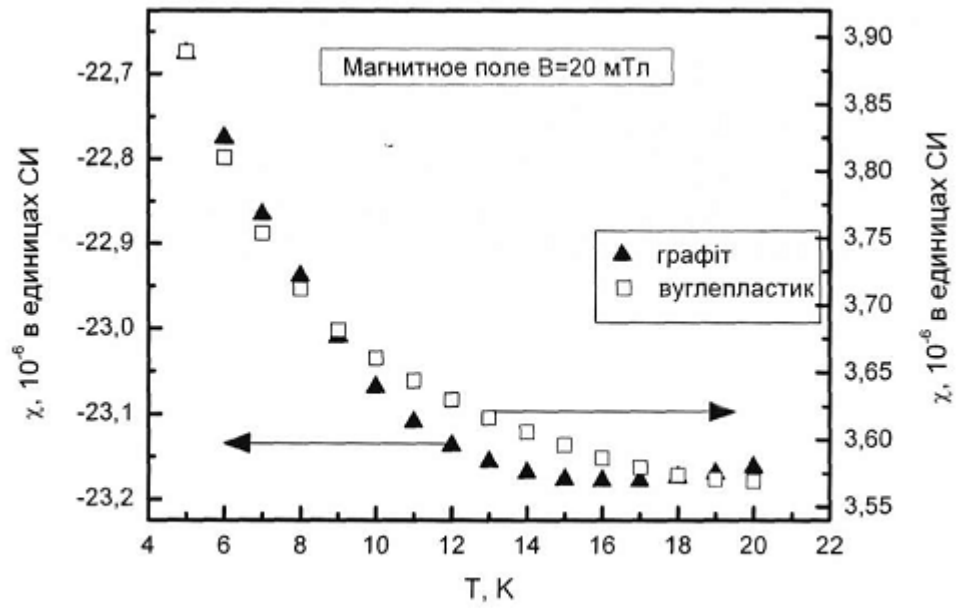


Fig. 3

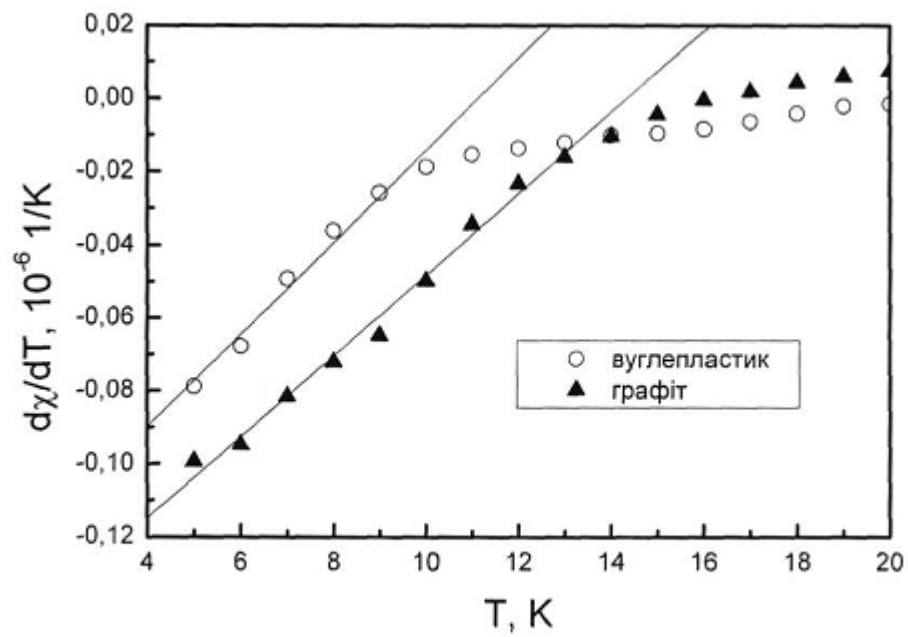


Fig. 4

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601