

**І.П. Жарков¹, В.В. Сафронов¹, В.О. Ходунов¹, В.М. Коновал¹,
В.О. Маслов¹, О.В. Селіванов¹, А.Г. Солонецький¹, В.В. Стрельчук²,
А.С. Ніколенко², Б.І. Циканюк², В.М. Насека²**

¹ Інститут фізики НАН України, проспект Науки, 46, Київ, 03680, Україна,
+380 44 525 1630, zharkov@iop.kiev.ua

² Інститут фізики напівпровідників НАН України, проспект Науки, 41, Київ, 03680, Україна,
+380 44 525 6473, btsykaniuk@gmail.com

СТВОРЕННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ МАНІПУЛЯТОРІВ ДЛЯ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ



Вступ. Дослідження магніто- та електрооптичних властивостей матеріалів в умовах криогенних температур потребує високошвидкісних спеціалізованих криостатів. У випадку проведення досліджень в магнітних полях з індукцією до 1 Тл можна використовувати спеціальні вставки-тримачі.

Проблематика. Розробка спеціальних маніпуляторів для криостату, які б дозволяли проводити дослідження оптичних властивостей матеріалів під впливом зовнішнього магнітного та електричного полів — це важлива проблема при проведенні низькотемпературних досліджень.

Мета. Створення спеціалізованих маніпуляторів для електро- та магнітооптичних вимірювань в умовах криогенних температур.

Результати. Розроблено спеціальні маніпулятори-тримачі зразків, які дозволяють проводити вимірювання в умовах криогенних температур у постійному магнітному полі з індукцією до 1 Тл в криостаті рідинно-проточного типу. Конструкція також передбачає можливість змінювати величину поля шляхом зміни величини зазору між магнітами. Додатково є можливість змінювати напрямок ліній напруженості магнітного поля відносно напрямку поширення світла.

Розробка дозволяє виконувати дослідження оптичних властивостей матеріалів залежно від прикладеного електричного поля в умовах низьких температур, а також передбачає можливість підведення електричного поля до зразків та реєстрацію електричних сигналів від зразка. Використання розроблених тримачів дає можливість проводити вимірювання декількох зразків в одному циклі заливки криостату.

Висновки. Розроблено спеціальні маніпулятори для дослідження магнітооптичних та електрооптичних властивостей матеріалів в умовах низьких температур, що дають можливість виконувати вимірювання впливу магнітного та електричного поля на оптичні властивості досліджуваних матеріалів.

Роботу виконано в рамках програми наукового приладобудування НАН України, грант П-2/16-40.

Ключові слова: маніпулятор, магнітооптика, електрооптика, криостат.

На сьогодні застосування тримачів досліджуваних зразків в криостатах для проведення досліджень в умовах низьких температур є достатньо широким [1–8]. Також вони є допоміжним засобом при виконанні низькотемпературних робіт, оскільки дозволяють виконувати

вимірювання досліджуваних зразків під впливом додаткових умов (електричне і магнітне поле, сили стискування та розтягування тощо). Крім того, за допомогою таких тримачів можна знімати додаткові інформаційні сигнали зі зразків.

Зазвичай для проведення низькотемпературних електрооптичних та магнітооптичних досліджень застосовують спеціалізовані криостати. Для створення магнітного поля такі

© І.П. ЖАРКОВ, В.В. САФРОНОВ, В.О. ХОДУНОВ,
В.М. КОНОВАЛ, В.О. МАСЛОВ, О.В. СЕЛІВАНОВ,
А.Г. СОЛОНЕЦЬКИЙ, В.В. СТРЕЛЬЧУК,
А.С. НІКОЛЕНКО, Б.І. ЦИКАНЮК, В.М. НАСЕКА, 2018

кріостати можуть використовувати спеціальні надпровідні соленоїди [7], штанги з індукційною котушкою [6] або безпосередньо розташовуватися в полі зовнішнього магніту [3]. Однією з проблем використання подібних кріостатів у наукових дослідженнях є їх висока вартість. Тому, при проведенні оптичних досліджень при невеликих значеннях магнітного поля (наприклад, дослідження ефекту Зеємана) або прикладенні зовнішнього електричного поля, альтернативним рішенням може бути використання в оптичному кріостаті вставки-тримача зразка, що розташований в полі між двома постійними магнітами. Метою роботи було створення спеціалізованих маніпуляторів для електро- та магнітооптичних досліджень в умовах криогенних температур.

На рис. 1 представлено схему конструкції маніпулятора для проведення магнітооптичних досліджень. Розроблений маніпулятор дозволяє використовувати неодимові магніти діаметром 20 мм для створення радіально та аксіально орієнтованого магнітного поля з напруженістю до 1 Тл. Він складається з центральної трубки 1, підкладки 2 для кріплення зразка, комутаційної коробки 3, механізму переміщення постійних магнітів 4 і подовжувача 5. Трубка 1 – це тонкостінна трубка з матеріалу з низькою теплопровідністю, всередині якої закріплено з можливістю обертання шток 6 механізму переміщення магнітів. Механізм просторового паралельного розведення магнітів за допомогою двох гвинтових пар з правою та лівою різьбою перетворює обертальний рух штока навколо вертикальної осі в синхронний поступальний рух в протилежних напрямках двох обойм з магнітами. Також всередині трубки 1 закріплено чотири трубки (7) меншого діаметру. Крізь ці трубки проведено провідники, які з'єднують зразок, нагрівач, датчик температури та датчики Холла, а також ємнісний рівнемір із з'єднувачами на комутаційній коробці 3.

В розробленому маніпуляторі для магнітооптичних досліджень зразок 11 закріплюють на торець підкладки 2 і розташовують вздовж

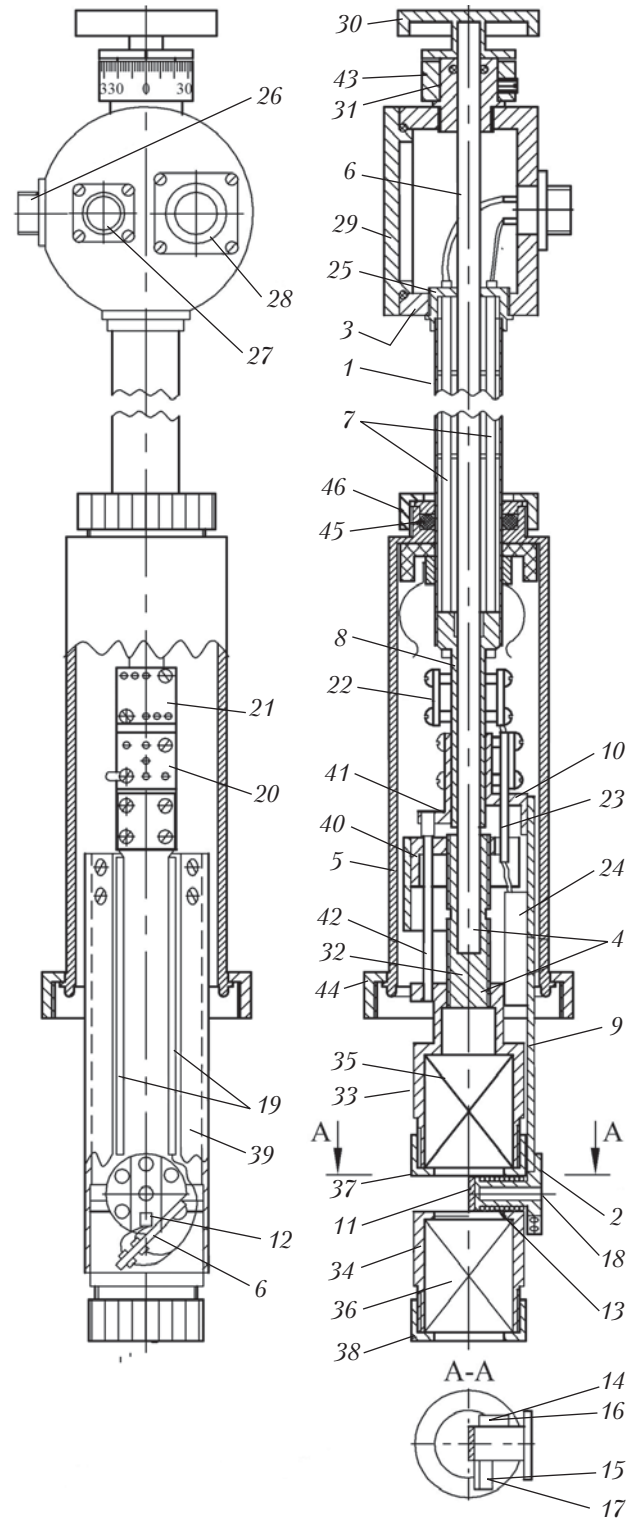


Рис. 1. Конструкція розробленого магнітооптичного маніпулятора

вертикальної осі маніпулятора. Підкладка 2 кріпиться на хвостовик 8 у нижній частині трубки 1 через пластину 9 та кронштейн 10. На цій підкладці також встановлено датчик температури 12 та обмотку електронагрівача 13 ($R = 15 \text{ Ом} \pm 20 \%$). Додатково на ній також розміщено плати 14 і 15, на яких закріплено два датчики Холла 16, 17, необхідних для вимірювання напруженості магнітного поля різної орієнтації. Для вимірювання напруженості радіально орієнтованого магнітного поля використовується датчик Холла 16, а для аксіально орієнтованого – датчик Холла 17. Підкладка 2 має отвір 18 для можливості виконання оптичних досліджень.

Провідники від зразка, нагрівача, датчиків Холла та температури прокладено крізь трубки 19 до комутаційних плат 20, 21 і 22 та з'єднано з провідниками, що йдуть через трубки 7 до з'єднувачів на комутаційній коробці 3. Крім того, провідник 23 від ємнісного датчика рівня 24 проходить крізь одну із трубок 7 і його з'єднано з відповідним з'єднувачем на комутаційній коробці. Комутаційну коробку 3 закріплено безпосередньо у верхній частині центральної трубки 1 через наконечник 25 і призначено для встановлення з'єднувачів 26, 27 та 28. Для забезпечення доступу до контактів з'єднувачів передбачено кришку 29, яка знімається. Схему підключення електричних ланцюгів до контактів з'єднувачів наведено на рис. 2.

Для зміни напруженості магнітного поля між постійними магнітами використовується механізм 4. Він складається із маховика 30, який жорстко закріплено у верхній частині штока 6. Маховик і шток можуть обертатись у втулці 31. Конструкція механізму також включає в себе гвинт 32 з правою і лівою різьбою, який закріплено в нижній частині штока, і обойми 33, 34, в яких вмонтовано постійні магніти 35, 36, закріплених за допомогою накидних гайок 37 і 38. Обойма 33 має праву різьбу у верхній частині та встановлена на нижній частині гвинта 32. При обертанні гвин-

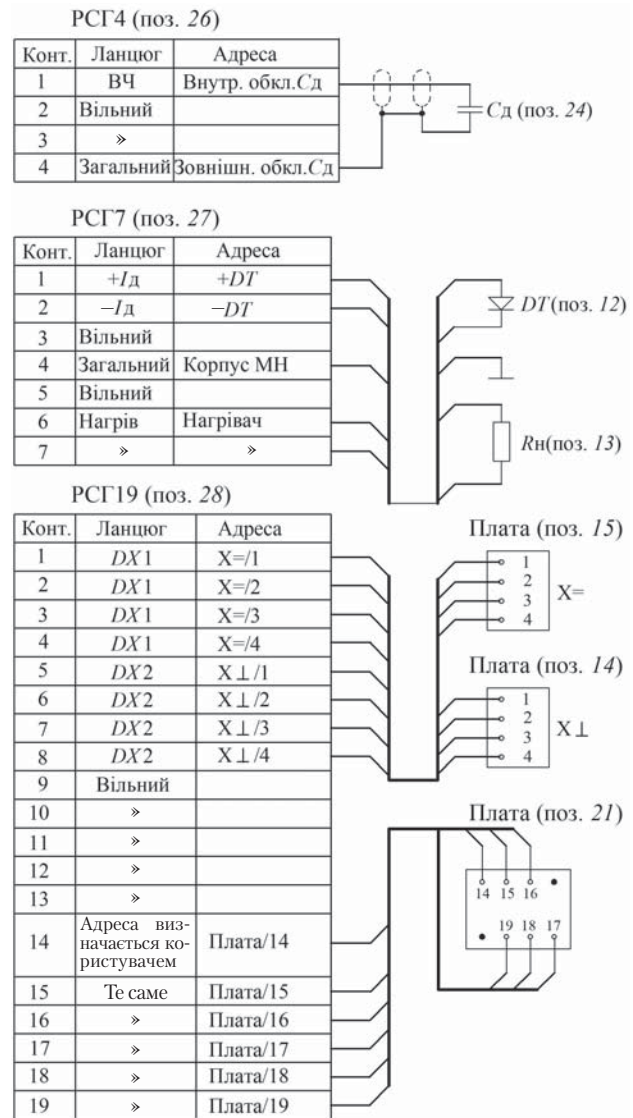


Рис. 2. Схema підключення електричних ланцюгів на маніпуляторі для магнітооптичних досліджень

та за годинниковою стрілкою обойма разом з магнітом 35 переміщується вгору. Обойму 34 через трубку 39 закріплено на верхній частині гвинта 32 за допомогою гайки 40 з лівою різьбою. При обертанні гвинта 32 за годинниковою стрілкою обойма 34 із вмонтованим магнітом 36 переміщується вниз. Таким чином, при обертанні маховика 30 за годинниковою стрілкою відстань між магнітами 35 і 36 відносно зразка буде синхронно збільшуватися, а

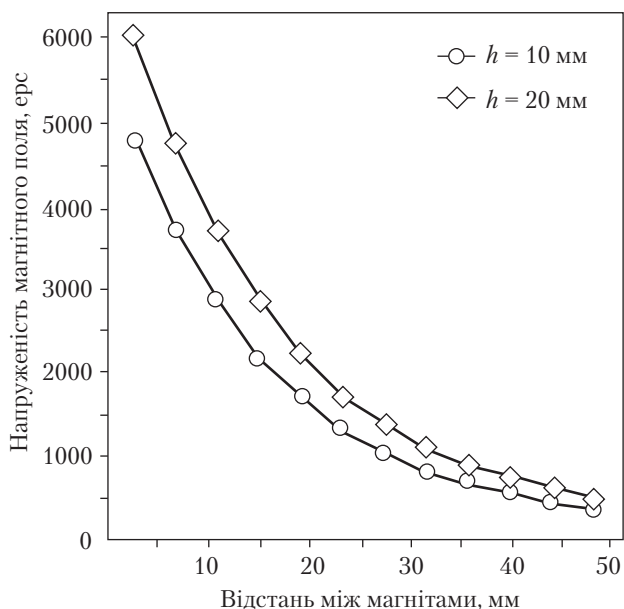


Рис. 3. Залежність напруженості магнітного поля від відстані між постійними магнітами різної висоти ($h = 10$ мм, $h = 20$ мм)

при обертанні маховика проти годинникової стрілки — зменшуватися.

Для зручності градуювання величини напруженості магнітного поля від кута повороту гвинта розроблено спеціальний механізм, принцип роботи якого полягає в наступному: на хвостовику 8 закріплено кутник 41 з направляючою 42 для обойми 33 і гайки 40. На втулці 31 закріплено лімб 43 для відліку кута повороту штока 6 з гвинтом 32. Останній має ліву та праву різьбу з кроком 1 мм. Подовжувач 5 за допомогою гайки 44 кріпиться на верхньому патрубку кріостата. В сальниковому ущільненні 45 трубка 1 може переміщуватися вгору або вниз, а також обертатися на 360° . Положення трубки 1 фіксується за допомогою гайки 46. При одному повному обертанні гвинта відстань між магнітами може збільшуватись або зменшуватись на 2 мм. Графік залежності напруженості магнітного поля від відстані між магнітами товщиною 10 мм та 20 мм представлено на рис. 3.

Розроблений маніпулятор дозволяє проводити низькотемпературні (4,2 К) магнітооптичні вимірювання спектрів пропускання,

поглинання, відбивання, фото- та електролюмінесценції в широкій інфрачервоній області спектру (0,8–300 μm). Також додатково передбачено можливість вимірювання спектрів магнітного циркулярного дихроїзму в інфрачервоній області в двох різних геометріях: Фарадея (хвильовий вектор k падаючого світла паралельний вектору напруженості магнітного поля H , магнітний циркулярний дихроїзм) та Фойгта (хвильовий вектор k перпендикулярний вектору H , магнітний лінійний дихроїзм).

За допомогою розробленого маніпулятора можна проводити вимірювання різних магнітооптичних ефектів, зокрема, ефекту Зеємана в магніторозчинених напівпровідниках, легованих атомами перехідних $3d$ металів. Дослідження спектральної залежності ефекту Зеємана дозволяє визначити величину й характер зеєманівського розщеплення, що свідчить про тип та величину взаємодії між магнітними домішками.

Завдяки можливості регулювання величини магнітного поля й калібруванню його величини за допомогою датчиків Холла, розроблений маніпулятор можна використовувати для вимірювання залежності описаних магнітооптичних ефектів від величини напруженості прикладеного магнітного поля.

Для розробки та впровадження у виробництво приладних структур важливо знати їх поведінку під впливом різноманітних зовнішніх факторів, зокрема оптичного випромінювання, температури, прикладеного електричного струму тощо. Тому в рамках виконаної роботи було розроблено конструкцію та створено маніпулятор для електрооптичних досліджень (рис. 4). Останній дозволяє працювати зі зразками, які розміщено в стандартний корпус *Plcc 20 pins* (*Plastic leadless chip carrier*), а також із плоскими зразками довільної форми із максимальним поперечним розміром 15 мм.

Конструкція маніпулятора складається із центральної трубки 1, тримача змінних підкладок зі зразками 2, комутаційної коробки 3,

подовжувача 4 і механізму 5 фіксованого переміщення тримача 2 по вертикалі і навколо осі. Трубка 1 – це тонкостінна трубка з матеріалу з низькою теплопровідністю, всередині якої закріплено чотири менші трубки 6 з пропущеними провідниками. За допомогою зазначених провідників з'єднуються зразок, нагрівач, датчик температури та ємнісний рівнемір із з'єднувачами на комутаційній коробці 3.

Тримач змінних підкладок 2 зі зразками закріплено на хвостовику 7 в нижній частині трубки 1. Додатково на тримачі встановлено датчик температури 8, а також закріплений за допомогою хомута 9 датчик 10 ємнісного рівнеміра рідкого гелію. На тримачі 2 передбачено чотири різьбові отвори для кріплення змін-

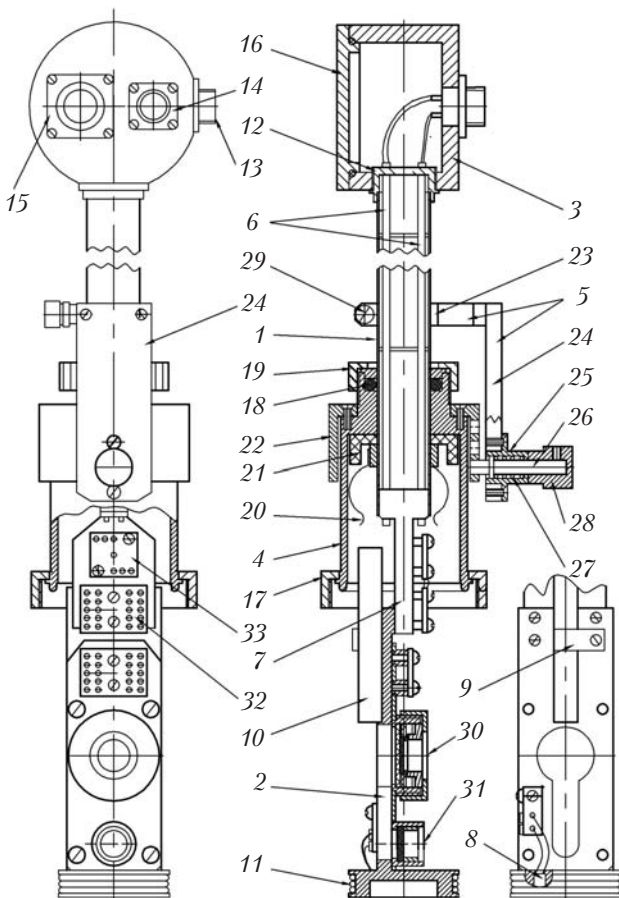


Рис. 4. Конструкція маніпулятора для електрооптичних досліджень

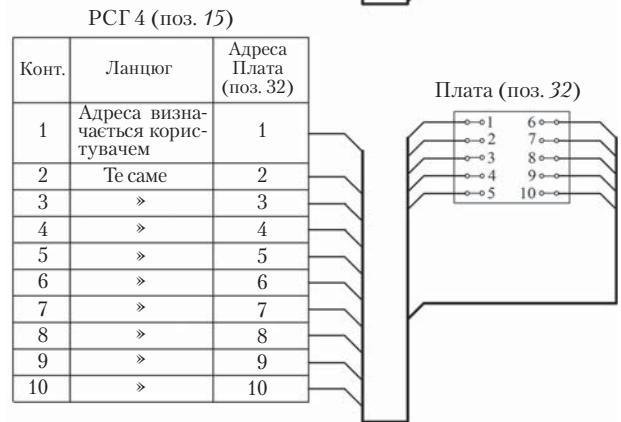
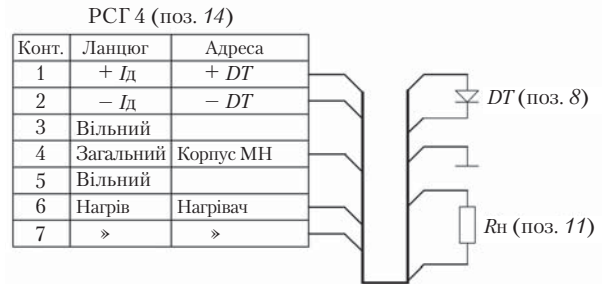
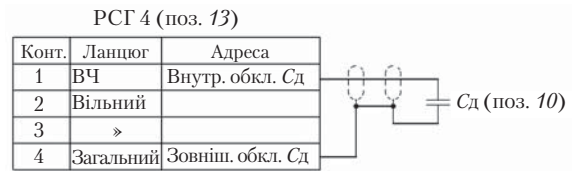


Рис. 5. Схема підключення електричних ланцюгів на маніпуляторі для виконання електрооптичних досліджень

них підкладок зі зразками. Також у нижній частині тримача встановлено електронагрівач 11 ($R = 21 \text{ Ом} \pm 20 \%$).

Комутаційну коробку 3 закріплено у верхній частині трубки 1 через наконечник 12 і призначено для установки з'єднувачів 13, 14, 15. Для забезпечення доступу до контактів з'єднувачів в комутаційній коробці є кришка 16, яка знімається. Маніпулятор встановлюється на верхньому патрубку кріостата за допомогою подовжувача 4, який закріплюється нерухомо накидною гайкою 17. Трубка 1 у верхній частині подовжувача встановлена з можливістю повороту і переміщення по вертикалі. Положення трубки фіксується за допомогою сальникового ущільнення 18 за допомогою на-

кидної гайки 19. Спеціальний пристрій для центрування 20 забезпечує центрування нижньої частини маніпулятора у камері термостатування та при його розміщенні в кріостаті. Пробка з пінопласту 21 обмежує зверху об'єм камери термостатування із введеним маніпулятором.

Для фіксованого переміщення тримача 2 по вертикалі і навколо осі розроблено спеціальний механізм. Його конструкція складається зі стакану 22, який закріплено у верхній частині подовжувача 4, а також пристрою для фіксації. Останній складається із хомута 23, встановленого на трубці 1, планки 24, корпусу 25, в якому закріплена вісь 26 і пружина 27, а також закріпленого на осі маховика 28. Хомут 23 закріплюється на трубці 1 за допомогою гвинта 29. Конструкція механізму 5 передбачає переміщення тримача 2 у трьох фіксованих положеннях по висоті і навколо осі, що визначаються положенням дев'яти отворів у стакані 22.

Для початку роботи необхідно встановити маніпулятор у вихідне положення. В такому положенні вісь 26 заходить у нижній отвір стакану 22, а вертикальний переріз механізму фіксації розташований у площині вертикального перерізу тримача 2. При такому розміщенні нижньому положенню осі 26 в стакані 22 відповідає положення верхнього отвору 30 підкладки, яке знаходиться на оптичній осі вікон кріостату.

Для переміщення тримача 2 у друге фіксоване положення необхідно послабити гайку 19, підняти вісь 26 вгору в стакані 22 за допо-

могою маховичка 28. При цьому нижній отвір 31 підкладки піднімається вгору на 22 мм. У випадку застосування підкладки з трьома отворами необхідно перемістити тримач 2 вгору на 10,5 мм та зафіксувати вісь 26 в отворі стакану 22. За необхідності, окрім переміщення по вертикалі, також можна змінювати кутове положення тримача 2 шляхом його обертання в різні боки на 90°. Виводи від зразків, датчика температури, ємнісного датчика та нагрівача з'єднані з комутаційною коробкою за допомогою комутаційних плат 32, 33. Схему підключення електричних ланцюгів до контактів з'єднувачів показано на рис. 5.

Переміщення маніпулятора по вертикалі та його фіксація в певних положеннях дозволяє проводити дослідження декількох зразків в одному робочому циклі заливки гелію. Завдяки цьому усувається необхідність нагрівання кріостату та його розгерметизації для заміни зразка, що значно скорочує як час виконання вимірювання, так і витрати енергоресурсів та кріогенних рідин. Крім того, можливість регулювання розташування маніпулятора по висоті та його положення навколо осі дозволяє проводити додаткове юстування положення зразка в кріостаті відносно напрямку падаючого світла. Така можливість дозволяє обирати для дослідження певні локальні ділянки зразка. Додаткова можливість підключення електричних контактів до зразка дозволяє одночасно проводити електрофізичні, оптичні та електрооптичні дослідження.

Інтелектуальна власність на розробки оформлена патентами України № 120275 та № 120401.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Декларативний патент на корисну модель України № 17466. Жарков І.П., Маслов В.О., Сафронов В.В., Чмуль А.Г. Вставка кріостата.
2. Патент України № 44265 на корисну модель. Жарков І.П., Жирко Ю.І., Комаров А.В., Маслов В.О., Сафронов В.В. Вставка кріостата.
3. Жарков І.П., Жирко Ю.І., Иващенко А.Н., Сафронов В.В., Ходунов В.А. Терморегулируемая криостатная система для исследования магнито-оптических свойств материалов под давлением в диапазоне температур 77-300 К. *Научное приборостроение*. 2010. Т. 20, № 2. С. 120–125.

4. Патент України № 55606 на корисну модель. Жарков І.П., Маслов В.О., Ходунов В.О., Сафронов В.В., Чмуль А.Г. Вставка криостата для дослідження фотovoltaїчних характеристик зразків при механічних навантаженнях.

5. Патент України на винахід № 103508. Жарков І.П., Комаров А.В., Маслов В.О., Сафронов В.В. Вставка криостата для електромагнітооптичних досліджень.

6. Патент України на корисну модель № 86176. Жарков І.П., Маслов В.О., Сафронов В.В., Селіванов О.В. 3D вставка криостата для оптичних та електрооптичних досліджень.

7. Патент України на винахід № 112992. Жарков І.П., Пилипчук О.С., Порошин В.М., Сафронов В.В., Ходунов В.О. Терморегульована криостатна система для магнітофізичних та електрофізичних досліджень.

8. Жарков І.П., Сафронов В.В., Паламарчук С.П., Пилипчук О.С., Солонецький А.Г., Ходунов В.О. Комплекс кріоапаратури з вбудованим надпровідним соленоїдом для магнітофізичних та електрофізичних досліджень. *Наука та інновації*. 2016. Т. 12, № 3. С. 29–34.

Стаття надійшла до редакції 14.11.17

REFERENCES

1. *Deklaratsiynyi patent na korysnu model Ukrainy # 17466*. Zharkov I. P., Maslov V. O., Safronov V. V., Chmul A. H. Vstavka kriostata [in Ukrainian].

2. *Patent Ukrainy N 44265 na korysnu model*. Zharkov I. P., Zhyrko Yu. I., Komarov A. V., Maslov V. O., Safronov V. V. Vstavka kriostata [in Ukrainian].

3. Zharkov, Y. P., Zhyrko, Yu. Y., Ivashchenko, A. N., Safronov, V. V., Khodunov, V. A. (2010). Termorehulyruemaia kryostatnaia sistema dlia yssledovaniya mahnyto-optycheskykh svoistv materialov pod davlenyem v dyapazone temperatur 77-300 K. *Nauchnoe pryborostroeniye*, 20(2), 120–125 [in Russian].

4. *Patent Ukrainy N 55606 na korysnu model*. Zharkov I. P., Maslov V. O., Khodunov V. O., Safronov V. V., Chmul A. H. Vstavka kriostata dlia doslidzhennia fotovoltaichnykh kharakterystyk zrazkiv pry mekhanichnykh navantazhenniakh [in Ukrainian].

5. *Patent Ukrainy na vynakhid N 103508*. Zharkov I. P., Komarov A. V., Maslov V. O., Safronov V. V. Vstavka kriostata dlia elektromahnitooptychnykh doslidzhen [in Ukrainian].

6. *Patent Ukrainy na korysnu model N 86176*. Zharkov I. P., Maslov V. O., Safronov V. V., Selivanov O. V. 3D vstavka kriostata dlia optychnykh ta elektrooptychnykh doslidzhen [in Ukrainian].

7. *Patent Ukrainy na vynakhid N 112992*. Zharkov I. P., Pylypchuk O. S., Poroshyn V. M., Safronov V. V., Khodunov V. O. Termorehulovana kriostatna sistema dlia mahnitofizychnykh ta elektrofizychnykh doslidzhen [in Ukrainian].

8. Zharkov, I. P., Safronov, V. V., Palamarchuk, S. P., Pylypchuk, O. S., Solonetskyi, A. H., Khodunov, V. O. (2016). Kompleks krioparatury z vbudovanyim nadprovidnym solenoidom dlia mahnitofizychnykh ta elektrofizychnykh doslidzhen. *Nauka innov.*, 12(3), 29–34 [in Ukrainian].

Received 14.11.17

Zharkov¹, I.P., Safronov¹, V.V., Khodunov¹, V.A., Konoval¹, V.M., Maslov¹, V.A., Selivanov¹, A.V., Solonetsky¹, A.G., Strelchuk², V.V., Nikolenko², A.S., Tsykaniuk², B.I., and Naseka,² V.N.

¹ Institute of Physics, the NAS of Ukraine, 46, Nauki Ave., Kyiv, 03680, Ukraine
+380 44 525 1630, zharkov@iop.kiev.ua

² Institute of Semiconductor Physics, the NAS of Ukraine, 41, Nauki Ave., Kyiv, 03680, Ukraine
+380 44 525 6473, btsykaniuk@gmail.com

CREATION OF SPECIALIZED MANIPULATORS FOR LOW TEMPERATURE RESEARCH

Introduction. Magneto- and electro-optical research of materials at cryogenic temperature requires expensive specialized cryostats. In the case of research in magnetic fields up to 1 T special manipulator holders can be used.

Problem Statement. Development of special manipulators for cryostats to enable the magneto-optical research of materials under the action of external magnetic and electric fields is a relevant problem for low temperature studies.

Purpose. The purpose is to create specialized manipulators for electro- and magneto-optical measurements at cryogenic temperature.

Results. Special sample holding manipulators have been developed. They enable to conduct low-temperature measurements at cryogenic temperature in a constant magnetic field up to 1 T in the continuous-flow cryostat. The design enables varying the field by changing the gap between the magnets. The magnetic field line direction is changeable with respect to the direction of light propagation.

The developed manipulator allows the researchers to study the optical properties of materials depending on applied electric field, at low temperature and to supply electric field to the samples, as well as to record electrical signals from the sample. The use of sample holding manipulators enables measuring several samples in one cycle of cryostat fill.

Conclusion. Special manipulators have been designed to study the magneto- and electro-optical properties of materials at low temperature. With the help of developed manipulators, it is possible to measure the influence of magnetic and electric field on the optical properties of the materials studied.

The research has been carried out within the framework of the Program of Research Instrument-Making of the NAS of Ukraine, grant No. P- 2/16-40.

Keywords: manipulator, magneto-optics, electro-optics, and cryostat.

*І.П. Жарков¹, В.В. Сафронов¹, В.А. Ходунов¹, В.М. Коновал¹, В.А. Маслов¹, А.В. Селіванов¹,
А.Г. Солонецкий¹, В.В. Стрельчук², А.С. Николенко², Б.И. Цыканиук², В.Н. Насека²*

¹ Институт физики НАН Украины, просп. Науки, 46, Киев, 03680, Украина
+380 44 525 1630, zharkov@iop.kiev.ua

² Институт физики полупроводников НАН Украины, просп. Науки, 41, Киев, 03680, Украина
+380 44 525 6473, btsykaniuk@gmail.com

СОЗДАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Введение. Исследование магнито- и электрооптических свойств в условиях криогенных температур требует дорогостоящих специализированных криостатов. В случае проведения исследований в магнитных полях с индукцией до 1 Тл можно использовать специальные вставки-держатели.

Проблематика. Разработка специальных манипуляторов для криостата, позволяющих проводить исследования оптических свойств под воздействием внешнего магнитного и электрического полей — это важная проблема при проведении низкотемпературных исследований.

Цель. Создание специализированных манипуляторов для электро- и магнитооптических измерений в условиях криогенных температур.

Результаты. Разработаны специальные манипуляторы-держатели образцов, которые позволяют проводить измерения в условиях криогенных температур в постоянном магнитном поле с индукцией до 1 Тл в криостате жидкостно-проточного типа. Конструкция также предусматривает возможность изменять величину поля путем изменения величины зазора между магнитами. Дополнительно есть возможность менять направление линий напряженности магнитного поля относительно направления распространения света.

Разработка позволяет выполнять исследования оптических свойств в зависимости от приложенного электрического поля в условиях низких температур, а также предусматривает возможность подведения электрического поля к образцам и регистрации электрических сигналов от образца. Использование разработанных держателей дает возможность проводить измерения нескольких образцов в одном цикле заливки криостата.

Выводы. Разработаны специальные манипуляторы для исследования магнитооптических и электрооптических свойств в условиях низких температур, позволяющие выполнять измерения влияния магнитного и электрического поля на оптические свойства исследуемых материалов.

Ключевые слова: манипулятор, магнитооптика, электрооптика, криостат.