



УКРАЇНА

(19) UA (11) 59641 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H01P 7/00
G01N 24/10 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПЕКТРОМЕТР ЕЛЕКТРОННОЇ СПІНОВОЇ ЛУНИ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ДОВЖИН ХВИЛЬ

1

2

(21) u201013009

(22) 02.11.2010

(24) 25.05.2011

(46) 25.05.2011, Бюл.№ 10, 2011 р.

(72) ВЕНГЕР ЄВГЕН ФЕДОРОВИЧ, ЛУКІН СЕРГІЙ
МИКОЛАЙОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ ФІЗИКИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ІМ.
В.Є. ЛАШКАРЬОВА НАН УКРАЇНИ

(57) Спектрометр електронної спінової луни міліметрового діапазону довжин хвиль, що містить послідовно з'єднані генератор надвисокої частоти і імпульсний підсилювач, мікрохвильовий циркулятор, малошумливий підсилювач і захисний напівп-

ровідниковий надвисокочастотний ключ, резонатор з досліджуванним об'єктом, що розміщений між полюсами електромагніта, підключений до мікрохвильового циркулятора, генератор імпульсних послідовностей, керуючі виходи якого підключені до керуючих входів імпульсного підсилювача та захисного ключа, який відрізняється тим, що він додатково містить напівпровідниковий надвисокочастотний ключ, вхід якого підключений до виходу імпульсного підсилювача, керуючий вхід - до додаткового каналу генератора імпульсних послідовностей, а вихід підключений до входу мікрохвильового циркулятора.

Корисна модель відноситься до техніки надвисокочастотної спектроскопії і може бути використана в спектрометрах електронного парамагнітного резонансу (ЕПР), що досліджують електронну спінову луну.

Відома конструкція пристрою для дослідження електронного парамагнітного резонансу та зокрема спінової луни, що складається з генератора надвисокої частоти (НВЧ), імпульсного підсилювача, мікрохвильового циркулятора, генератора імпульсних послідовностей, малошумливого підсилювача, захисного ключа та робочого резонатора з досліджуванним об'єктом, що розміщений між полюсами електромагніту (див. Рекламний буклет фірми BRUKER "ESEEM, ENDOR and ELDOR at 34 GHz. Supr QFT E580-Q", та сторінку в Інтернеті http://www.bruker-biospin.com/superq_ft.html).

Відома конструкція має обмеження у можливостях проведення досліджень на об'єктах з відносно короткими часами спін-граткової релаксації у зв'язку з недостатньо великою імпульсною потужністю імпульсного підсилювача НВЧ (мах. 1 ват) та достатньо великим, так званим, „мертвим часом” (більш 100 нсек), тобто часом після останнього імпульсу у імпульсній послідовності та максимумом спінової луни.

Найближчим аналогом до пристрою, що заявляється, є пристрій для дослідження електронного парамагнітного резонансу та зокрема спінової лу-

ни, що складається з генератора НВЧ, напівпровідникового імпульсного підсилювача на основі лавино-прольотного діоду (ЛПД), мікрохвильового циркулятора, генератора імпульсних послідовностей, малошумливого підсилювача, захисного ключа та робочого резонатора з досліджуванним об'єктом, що розміщений між полюсами електромагніту у якому для збільшення потужності НВЧ у імпульсі використовується твердотілий імпульсний підсилювач потужності НВЧ на основі ЛПД. Використання підсилювача потужності НВЧ дозволяє скоротити довжину імпульсів у імпульсній послідовності, що потрібна для спостереження спінової луни. (Tkach I., Baldansuren A., Kalabukhova E., Lukin S., Tsvir A., Ischenko M., Rozentzeig Yu., Roduner E.A Homebuilt ESE Spectrometer on the Basis of a High-Power Q-Band Microwave Bridge Applied Magnetic Resonance.- 2008, V.35,N1, P. 95-112).

Відомий пристрій має обмеження у використанні, пов'язані з великою довжиною "мертвого часу", що обмежує можливості проведення досліджень на об'єктах з короткими часами спін-граткової релаксації.

В основу корисної моделі покладена задача удосконалення конструкції відомого пристрою для надання можливості дослідження об'єктів з більш короткими часами спін-граткової релаксації за рахунок значного скорочення "мертвого часу".

(19) UA (11) 59641 (13) U

Поставлена задача вирішується тим, в спектрометр електронної спінової луни міліметрового діапазону довжин хвиль, що містить послідовно пов'язані генератор надвисокої частоти і імпульсний підсилювач, мікрохвильовий циркулятор, малошумливий підсилювач і захисний ключ, резонатор з досліджуванним об'єктом, що розміщений між полюсами електромагніту, підключений до мікрохвильового циркулятора, генератор імпульсних послідовностей, керуючі виходи якого підключені до керуючих входів імпульсного підсилювача та захисного ключа додатково включено напівпровідниковий надвисокочастотний ключ, вхід якого підключений до виходу імпульсного підсилювача, керуючий вхід - до додаткового каналу генератора імпульсних послідовностей, а вихід підключений до входу мікрохвильового циркулятора.

Очікуваний технічний результат досягається при використанні додаткового напівпровідникового НВЧ ключа, який зменшує потужність, що надходить до робочого резонатору після закінчення насичуючої імпульсної послідовності. Додатковий напівпровідниковий НВЧ ключ потрібно встановити після імпульсного підсилювача та перед робочим резонатором та включати його за допомогою генератора імпульсної послідовності у той час коли потужність останнього імпульсу імпульсної послідовності зменшиться на 90-95 відсотків.

Додатковий напівпровідниковий швидкодієльний НВЧ ключ по сигналу з генератора імпульсних послідовностей вносить після закінчення останнього імпульсу імпульсної послідовності додаткову атенуацію у шлях потужності НВЧ від імпульсного підсилювача до відбиваючого робочого резонатора, та від нього до малошумливого підсилювача. Зменшення цієї потужності дозволяє відкрити малошумливий підсилювач для прийому корисного сигналу значно раніш ніж при відсутності додаткового ключа.

Корисна модель, що заявляється, ілюструється кресленнями, де на Фіг.1 показана блок-схема спектрометра спінової луни міліметрового діапазону довжин хвиль з додатковим ключем для скорочення „мертвого часу”.

Твердотілий генератор НВЧ 1 генерує робочу частоту, що підсилюється імпульсним підсилювачем 2 та подається через циркулятор 3 до відбиваючого робочого резонатора 4. Відбита від резонатора 4 потужність підсилюється малошумливим підсилювачем 6 та подається на змішувач 7. На гетеродинний вхід змішувача 7 подається сигнал потрібної потужності з генератора 1. На виході змішувача 7 виділяється корисний сигнал, що подається на радіочастотний підсилювач і далі на схему візуалізації та реєстрації (не зображені). Для захисту малошумливого підсилювача 6 від великої потужності насичуючих імпульсів в схемі передбачений захисний ключ 5, що захищає вхід малошумливого підсилювача 6 під час проходження імпульсних послідовностей. Додатковий швидкодієльний НВЧ ключ 8, що встановлений після імпульсного підсилювача та перед циркулятором 3, керується додатковим каналом багатоканального генератора імпульсних послідовностей 9. Ключ 8 включається і вносить атенуацію у 20 дБ у той час коли потуж-

ність останнього імпульсу імпульсної послідовності спадає до 10-5 відсотків пікової потужності імпульсів. Керуючий сигнал захисного ключа 5 також слід скорегувати до безпечної довжини. Таким чином сигнал спінової луни можливо спостерігати вже на відстані 10-20 нсек від кінця останнього імпульсу насичуючої послідовності.

Керуючий багатоканальний генератор імпульсних послідовностей циклічно виробляє певну імпульсну послідовність, що керує імпульсним підсилювачем та захисним ключем.

На Фіг.2 зображена типова імпульсна послідовність для спостереження сигналу спінової луни (Фіг.2а) та корисний сигнал спінової луни (Фіг.2б). Імпульси імпульсної послідовності, довжина яких обумовлена властивостями досліджуваного об'єкту, добротністю робочого резонатора та потужністю НВЧ, що виробляє імпульсний підсилювач, підводяться до відбиваючого резонатору. Відстань між імпульсами t встановлюється за вимогами експерименту. Після закінчення останнього імпульсу імпульсної послідовності через час t спостерігається сигнал спінової луни, інтенсивність якої обумовлена властивостями досліджуваного об'єкту (див. Фіг.2). Підсилення в частині б Фіг.2 підвищено у 10^6 разів відносно частини а. Потужність НВЧ, що надходить до відбиваючого робочого резонатору у імпульсі складає від 0.1 ват (як у аналога) до 10 ват (як у прототипу). Довжина імпульсів змінюється відповідно до умов експерименту і мінімально може складати 20-40 нсек (як у аналога) та 10-20 нсек (як у прототипу). Потужність сигналу спінової луни дорівнює $(0.1-1) \cdot 10^{-6}$ ват, тому для його спостереження у схемі потрібно використовувати малошумливий підсилювач сигналу.

Умовно імпульси насичення вважаються прямокутними, але реально імпульс насичення має деяку довжину фронту та спаду. При використанні сучасних електронних схем довжини фронту та спаду можуть бути реалізовані у межах 3-5 нсек. Довжина імпульсу вираховується як відстань між точками половинної потужності. На Фіг.3 зображена форма імпульсу насичення при двох різних підсиленнях, що відрізняються у 100 разів. Після закінчення імпульсу потужність НВЧ, що подається до робочого резонатору та відбивається від нього, продовжує спадати по закону, що близький до експоненціального. Час коли ця відбита від резонатору потужність насичуючого імпульсу стане безпечною для малошумливого підсилювача отримала назву "мертвий час". Тобто це проміжок часу коли по технічним умовам неможливо спостерігати спінову луну та проводити дослідження.

Довжина "мертвого часу" сучасного обладнання може бути оцінена, виходячи з наведених вище параметрів та відомостей про характеристики малошумливого підсилювача. Пікова потужність імпульсу складає 10 ватт (як у прототипу), довжина спаду імпульсу складає 4 нсек, тобто за 4 нсек потужність імпульсу змінюється від 90 до 10 відсотків його пікової потужності. Від середини спаду потужності імпульсу (його закінчення у радіотехнічному сенсі) до його 10 відсоткової потужності, тобто до 1 вату, пройде 2 нсек. Далі потужність спадатиме по експоненціальному закону і стано-

вистиме (див Фіг.3) 10^{-2} Вт через 220 нсек, та $2 \cdot 10^{-3}$ Вт через 1100 нсек. Ця потужність подається на малошумливий підсилювач НВЧ 6 і далі на змішувач 7 та радіочастотну схему реєстрації. Малошумливий підсилювач НВЧ 6 має певний робочий динамічний діапазон (у випадку 8 мм діапазону довжин хвиль це 10^{-2} Вт). При перевищенні сигналом, відбитим від резонатору 4, цього рівня відбувається насичення пристрою малошумливого підсилювача, а при великому перевищенні - його електричне пошкодження. Для запобігання цьому у схемі спектрометру передбачений швидкісний запобіжний НВЧ ключ 5, що закриває вхід малошумливого підсилювача під час проходження імпульсної послідовності та відкриває його після закінчення імпульсної послідовності. Тобто при потужності, що є безпечною для малошумливого підсилювача та не призводить до його насичування і дозволяє реєструвати сигнал спінової луни.

З метою зменшення "мертвого часу" в схему спектрометру спінової луни міліметрового діапазону довжин хвиль, що заявляється, вводиться додатковий швидкісний НВЧ ключ 8, керований багатоканальним генератором імпульсних послідовностей 9. Додатковий швидкісний НВЧ ключ 8 розташовується після імпульсного підсилювача та перед циркулятором. По сигналу з генератора імпульсних послідовностей додатковий швидкісний НВЧ ключ 8 вносить атенуацію у 20 дБ у шлях потужності НВЧ від імпульсного підсилювача 2 крізь циркулятор 3 до робочого резонатора 4, та далі до малошумливого підсилювача 6. Таким чином потужність, що прямує до малошумливого підсилювача 6 зменшується у 100 разів і малошумливий підсилювач 6 може бути відкритий для прийому корисного сигналу спінової луни значно раніш ніж при відсутності ключа 8. див. На Фіг.4 зображена форма імпульсу насичення, що створюється у пристрої, що заявляється.

Наведена будова пристрою для дослідження спінової луни проста у реалізації, оскільки НВЧ ключ з потрібними параметрами вже використовується у складі приладу і потрібно лише встановити ще один додатковий НВЧ ключ після імпульсного підсилювача та перед циркулятором, і налаштувати додатковий канал багатоканального генератора імпульсних послідовностей для керування ним. Модифікований пристрій надає змогу розширити

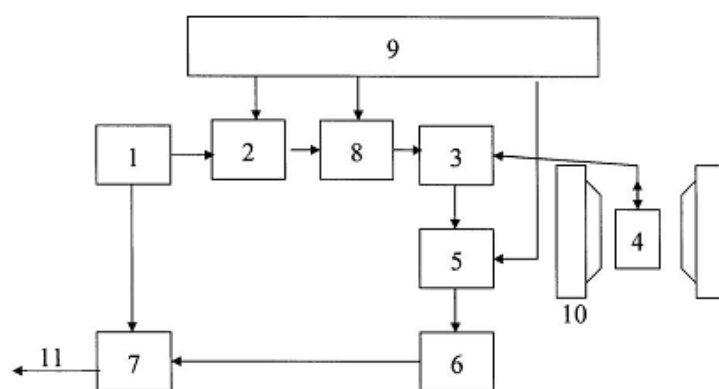
коло об'єктів, що досліджуються методом спінової луни.

Спектрометр спінової луни міліметрового діапазону довжин хвиль працює наступним чином.

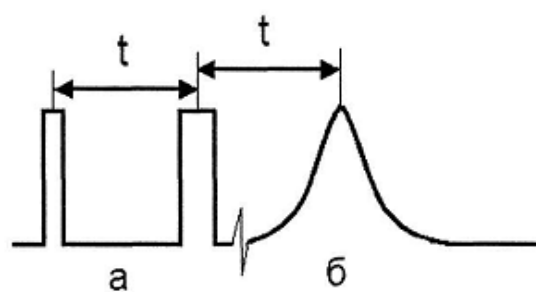
Для спостереження спінової луни досліджуванний об'єкт розташовується в робочому резонаторі 4 спектрометру спінової луни, що встановлений між полюсами поляризуючого електромагніту 10, частота генератору НВЧ 1 налаштовується на частоту робочого резонатора, генератор імпульсних послідовностей 9 налаштовується на формування імпульсів імпульсної послідовності, що задовольняє умовам експерименту, довжина захисного імпульсу обирається такою, що перекриває всю імпульсну послідовність та забезпечує захист малошумливого підсилювача 6, початок керуючого імпульсу додаткового швидкісного НВЧ ключа 8 встановлюється на 5 відсоткову потужність останнього імпульсу імпульсної послідовності. Після цього попереднього налагодження генератор імпульсних послідовностей запускається і на виході 11 спостерігається сигнал спінової луни від досліджуваного об'єкту. Для спостереження сигналу спінової луни, що розташований близько від часу закінчення останнього імпульсу імпульсної послідовності, час включення додаткового ключа 8 та час виключення захисного ключа 6 підбираються шляхом перепрограмування генератору імпульсних послідовностей 6.

Виготовлений спектрометр спінової луни міліметрового діапазону довжин хвиль у 8 мм діапазоні НВЧ має наступні параметри:

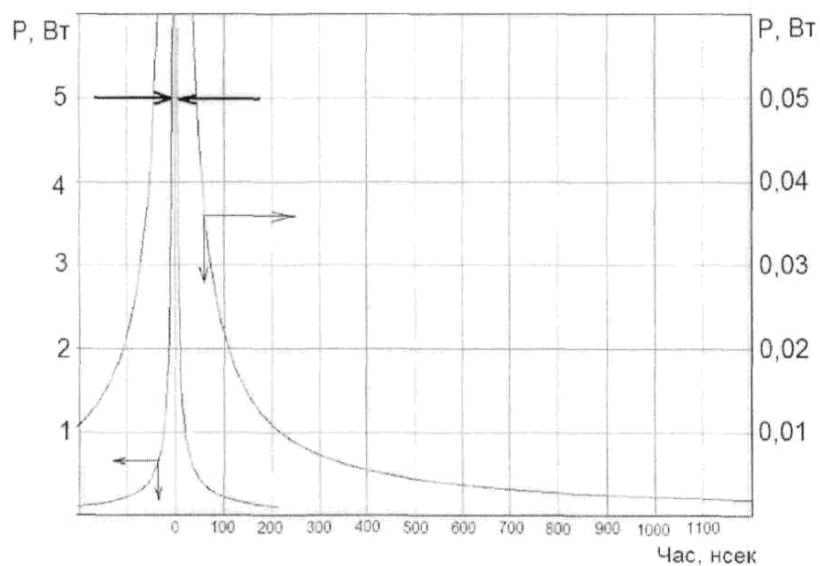
1. Робоча мода резонатору – H_{011} ;
2. Робоча частота - 34–37 ГГц;
3. Добротність резонатору - біля 400;
4. Навантажена добротність резонатору - біля 200 (при наявності зразка);
5. Потужність генератору НВЧ – 100 мВт;
6. Потужність НВЧ у імпульсі, що подається до робочого резонатору – 10 Вт;
7. Максимальна, безпечна для малошумливого підсилювача НВЧ потужність – 30 мВт;
8. Максимальна потужність НВЧ, що не призводить до насичення малошумливого підсилювача – 10 мВт;
9. "Мертвий час" без використання додаткового ключа – 220 нсек;
10. "Мертвий час" при використанні додаткового ключа - 20–40 нсек;



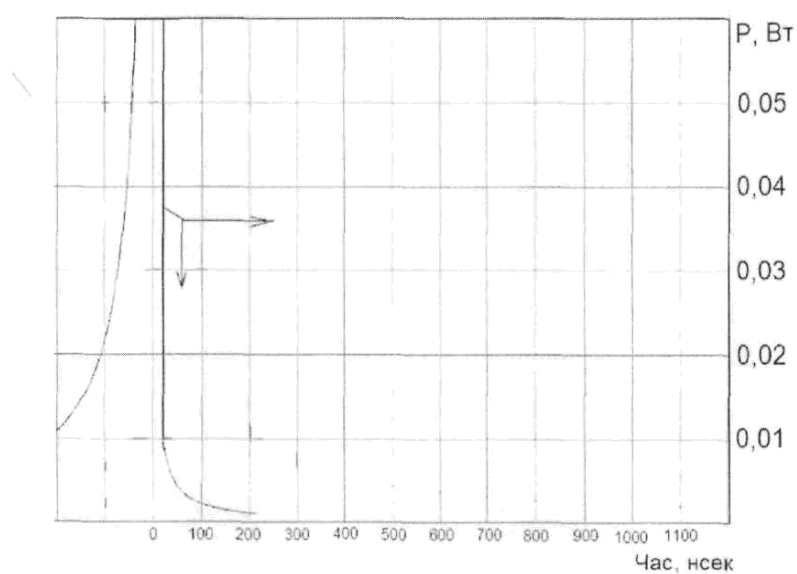
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фіг.4