

Rezonator MLGR o wysokiej dobroci wraz z układem strojeniowym do zastosowań w spektroskopii i obrazowaniu EPR

Przedmiotem wynalazku jest konstrukcja rezonatora MLGR o wysokiej dobroci wraz z układem strojeniowym do stosowania w spektroskopii i obrazowaniu Elektronowym Rezonansem Paramagnetycznym (EPR), zwłaszcza w badaniu obiektów biologicznych.

Obrazowanie metodą EPR (Electron Paramagnetic Resonance) jest wysoce czułą techniką w detekcji ciśnienia parcjalnego tlenu, może również dostarczyć danych o przestrzennym rozkładzie oraz farmakokinetyce wolnych rodników w tkankach. Stwierdzenie obecności tlenu w tkankach może stanowić bardzo ważną informację przy leczeniu nowotworów w terapii onkologicznej. W związku z faktem, że wolne rodniki w tkankach występują w małych stężeniach, natomiast ich czasy życia są bardzo krótkie, przyjmuje się, że na tym etapie badań należy wprowadzić z zewnątrz rodnik o wystarczająco długim czasie życia oraz odpowiedniej koncentracji, którego szerokość linii EPR w znacznym stopniu zależy od ciśnienia parcjalnego tlenu w jego otoczeniu. Ze względu na głębokość wnikania promieniowania elektromagnetycznego w materię żywą oraz potencjalny efekt podgrzewania badanego obiektu standardowe spektrometry EPR pracujące na częstotliwościach mikrofalowych są nieprzydatne do wykonywania obrazowania EPR. Z tego względu w praktyce stosuje się niższe częstotliwości z zakresu radiowego (RF), co pociąga za sobą znaczący spadek stosunku sygnału do szumu (S/N). Zmniejszenie S/N wynika ze zmniejszenia częstotliwości rezonansowej, co skutkuje zmniejszeniem wartości pola magnetycznego, w obszarze, którego wykonuje się badanie. Od wartości pola magnetycznego znacząco zależy wartość

magnetyzacji, która to wielkość ma zasadniczy wpływ na intensywność rejestrowanego sygnału, co w konsekwencji odpowiada za spadek S/N. Dodatkowo wraz ze zmniejszeniem częstotliwości rezonansowej zmniejszeniu ulega dobroć (Q) rezonatora, co dodatkowo powoduje obniżenie S/N, i w praktyce wprowadza limity związane z praktycznym wyborem częstotliwości rezonansowej szczególnie w tomografii EPR.

Do obrazowania żywych obiektów w warunkach laboratoryjnych stosuje się obecnie metody z wykorzystaniem fali ciągłej (CW), przejść nagłych oraz techniki impulsowe.

Przydatność metod impulsowych ograniczona jest bardzo krótkim czasem relaksacji spin – spin T_2 dla większości rodników. Związane z tym znaczne poszerzenie szerokości linii rezonansowych, powoduje nieprzydatność tych metod do obrazowania w technice EPR. Dodatkowym problemem jest skrócenie czasu relaksacji T_2 wynikające z racji obecności gradientu pola, który przy znacznych gradientach powoduje zanik sygnału indukcji swobodnej (FID) zachodzącym w czasie martwym spektrometru. Efekt ten utrudnia, a wręcz uniemożliwia wykonanie pomiaru. W celu znaczącego skrócenia efektu czasu martwego tomografu zaproponowano zastosowanie sekwencji Franka lub Chu, które pozwalają na wykonanie obrazowania. Sposób ten może być stosowany jedynie dla rodników o długich czasach relaksacji. Obrazy generowane tą metodą charakteryzuje się niską rozdzielczością przestrzenną, szczególnie w przypadku większych obiektów.

Stosowanie natomiast metod opartych na technice fali ciągłej (CW) oraz przejść nagłych (RS) pozbawione jest podobnych ograniczeń. W obu technikach wymagany jest aby rezonator rejestrował całe pasmo przenoszenia sygnału, z tym że w przypadku techniki CW pasmo przenoszenia jest bardzo wąskie, natomiast w przypadku techniki RS lub impulsowej sygnał ma bardzo szerokie pasmo przenoszenia rzędu kilku, kilkunastu MHz. Należy jednak zaznaczyć, że chociażby zmniejszenie szybkości skanowania w technice RS umożliwia zmniejszenie pasma przenoszenia sygnału, ze względu na liniową zależność obu wartości.

Dobroć rezonatora definiuje szerokość pasma przenoszenia sygnału, który może być poprawnie detektowany. Im większa dobroć, tym mniejsze pasmo przenoszenia. Istotne jest aby pasmo przenoszenia rezonatora było rzędu, ale nie mniejsze od pasma przenoszenia sygnału. W takim przypadku detekcja sygnału będzie najbardziej efektywna. Obecnie dla metod CW i RS wykorzystywanych w tomografii EPR dobroć rezonatora Q nie jest dobrana pod względem pasma przenoszenia sygnału, tzn. pasmo przenoszenia

sygnału jest zdecydowanie węższe aniżeli pasmo przenoszenia rezonatora. W celu optymalnej detekcji sygnału dobroć rezonatora powinna być możliwie duża tak by nie wpłynąć na kształt detektowanego sygnału. Ponadto rezonator musi być wykonany z materiałów nie wpływających na rozkłady pól magnetycznych. Do detekcji (spełnienia warunku rezonansu dla określone częstotliwości) stosuje się zmienne pole magnetyczne generowane przez zewnętrzne cewki. Pole takie w rezonatorze standardowej konstrukcji generuje prądy wirowe, które poprzez generację nieokreślonych pól magnetycznych zaburzają sygnał.

Bardzo ważnym czynnikiem jest również trudność w dostrojeniu warunków rezonansu, która szczególnie widoczna jest w przypadku badań obiektów żywych. Okazuje się, że rezonator jest podatny na obiekty umieszczane w jego wnętrzu, co w szczególności powoduje zmiany częstotliwości rezonansowej. Powyższy efekt może na tyle zmienić warunki rezonansowe, że rezonans wypadnie poza dostępnym zakresem układu nadawczo – odbiorczego tomografu, co uniemożliwi wykonanie obrazowania.

Ograniczeń tych pozbawiony jest nowa konstrukcja rezonatora do zastosowań w spektroskopii i obrazowaniu EPR małych zwierząt proponowana w niniejszym rozwiązaniu.

Celem wynalazku jest konstrukcja rezonatora o wysokiej dobroci wraz z układem strojeniowym do zastosowań w spektroskopii i obrazowaniu EPR małych zwierząt.

Istota rezonatora według wynalazku polega na tym, że silnik układu dopasowania wraz z wałem stanowiący napęd dla układu dopasowania połączony jest z elementem 1 obudowy rezonatora, natomiast wał silnika układu dopasowania połączony jest poprzez sprzęgło 1 ze śrubą napędową układu dopasowania, która połączona jest z karetką pozycjonującą umieszczoną na elemencie pozycjonującym, natomiast karetką pozycjonującą połączona jest za pomocą prętów mocujących z układem pozycjonowania pętli dopasowującej, na którym umieszczona jest pętla dopasowująca, dodatkowo element pozycjonujący jest połączony z elementem łączeniowym, który połączony jest z elementem nośnym 1 płatków rezonatora, który połączony jest z elementem 5 obudowy rezonatora, natomiast na elemencie nośnym płatków 1 rezonatora zamontowano płatki 1 rezonatora, natomiast płatki 2 rezonatora umieszczone są na elemencie nośnym płatków 2

rezonatora, który zamontowany jest do pierścienia montażowego, który za pomocą łożyska 1 i łożyska 2 zamontowany jest do elementu 3 obudowy rezonatora, dodatkowo pierścień montażowy jest obracany za pomocą paska oraz koła napędowego, zamontowanego na wale napędowym, który zamontowany jest z jednej strony do łożyska 3 umieszczonego w elemencie 5 obudowy rezonatora, natomiast z drugiej strony za pomocą sprzęgła 2 do silnika układu strojenia wraz z wałem zamontowanego z elementem 1 obudowy rezonatora, natomiast ekran zamocowany jest na elemencie 3 obudowy rezonatora, elemencie 4 obudowy rezonatora oraz elemencie 5 obudowy rezonatora, natomiast sygnał wielkiej częstotliwości doprowadzono do rezonatora poprzez wejście/wyjście linii transmisyjnej umieszczonej w elemencie 2 obudowy, które za pomocą przewodu podłączono do pętli dopasowującej.

Korzystnym jest gdy płatki rezonatora są wykonane z litego materiału, perforowanego, podrapanego, napyłane lub z równoległych przewodów.

Korzystnym jest gdy rezonator składa się z płatków umieszczonych na elementach o promieniach różnych.

Korzystnym jest gdy płatki rezonatora ułożone są spiralnie, liniowo lub kołowo na elemencie nośnym.

Korzystnym jest gdy grubość płatków rezonatora mieści się w zakresie od 10 nm do 1cm.

Korzystnym jest gdy płatki rezonatora umieszczone są współosiowo.

Ponadto korzystnym jest gdy rezonator składa się z płatków umieszczonych na elementach o promieniach równych.

Korzystnym jest gdy ilość płatków rezonatora mieści się w zakresie od 1 do 10000.

Korzystnym jest gdy płatki wchodzące w skład rezonatora są o różnych wymiarach.

Dalej korzystnym jest gdy płatki wchodzące w skład rezonatora są o równych wymiarach.

Korzystnym jest gdy płatki rezonatora wykonane są z wielu pętli połączonych na końcach.

Korzystnym jest gdy dopasowanie realizowane jest przy pomocy sprzężenia magnetycznego bądź elektrycznego.

Ponadto korzystnym jest gdy dopasowanie realizowane jest przy pomocy pętli o zmiennej geometrii.

Korzystnym jest gdy dopasowanie realizowane jest przy pomocy ruchomej pętli.

Korzystnym jest gdy dopasowanie realizowane jest przy pomocy dodatkowej – wykonującej ruch obrotowy lub postępowy - anteny.

Korzystnym jest gdy dopasowanie realizowane jest przy pomocy pętli oraz zewnętrznych pojemności.

Równie korzystnym jest gdy dopasowanie realizowane jest przy pomocy anteny oraz zewnętrznych pojemności.

Korzystnym jest gdy ekran wykonany jest z jednolitego materiału, z wielu pętli, perforowanego, podrapanego, zwojów lub z równoległych przewodów.

Korzystnym jest gdy ekran jest o kształcie walcowym lub o zmiennej geometrii.

Dodatkowo korzystnym jest gdy zwoje ekranu są przecięte i połączone.

Korzystnym jest gdy ilość ekranów o różnych geometriach mieści się w zakresie od 1 do 10000.

Korzystnym jest gdy ilość przerw w ekranie mieści się w zakresie od 1 do 10000.

Korzystnym jest gdy ekran jest dłuższy niż długość rezonatora.

Ponadto korzystnym jest gdy ekran jest krótszy lub równy długości rezonatora.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że strojenie częstotliwości rezonansowej rezonatora, wewnątrz którego znajduje się badana próbka uzyskuje się za pomocą wzajemnej zmiany orientacji płatków 1 rezonatora i płatków 2 rezonatora.

Istota sposobu według wynalazku polega również na tym, że dopasowanie rezonatora, wewnątrz którego znajduje się badana próbka uzyskuje się za pomocą regulacji odległości pętli dopasowującej do płatków 1 rezonatora i płatków 2 rezonatora.

Istota sposobu według wynalazku polega również na tym, że dopasowanie rezonatora, wewnątrz którego znajduje się badana próbka realizowane jest przez sprzężenie indukcyjne poprzez wstępne ustalenie odległości pętli dopasowującej od płatków 1 rezonatora oraz płatków 2 rezonatora oraz doregulowanie dopasowania trymerami podłączonymi do rezonatora poprzez wejście/wyjście linii transmisyjnej.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że zmiana częstotliwości rezonansowej rezonatora, wewnątrz którego znajduje się badana próbka realizowana jest poprzez obrót płatków 2 rezonatora względem płatków 1 rezonatora.

Wynalazek zostanie bliżej opisany na podstawie przykładowej konstrukcji rezonatora pokazanej na Fig.1 oraz Fig.2, które przedstawiają w dwóch prostopadłych rzutach elementy umożliwiające zestrojenie rezonatora do warunków rezonansu. Zarejestrowany sygnał poddawany jest dalszej obróbce w urządzeniu nadawczo-odbiorczym bądź innym układzie elektronicznym.

Zestaw oznaczeń na rysunku

- 1 - Silnik układu dopasowania wraz z wałem.
- 2 - Silnik układu strojenia wraz z wałem.
- 3 – Sprzęgło 2.
- 4 – Sprzęgło 1.
- 5 – Wał napędowy.
- 6 - Śruba napędowa układu dopasowania.
- 7 – Karetkę pozycjonującą.
- 8 – Ekran.
- 9 – Płatki 2 rezonatora.
- 10 – Płatki 1 rezonatora.
- 11 – Element nośny płatków 2 rezonatora.
- 12 – Element nośny płatków 1 rezonatora.
- 13 – Łożysko 1.
- 14 – Łożysko 2.
- 15 – Wejście/wyjście linii transmisyjnej.
- 16 – Przewód.
- 17 – Element 2 obudowy rezonatora.

- 18 – Koło napędowe.
- 19 – Pasek.
- 20 – Łożysko 3.
- 21 – Pętla dopasowująca.
- 22 – Pręty mocujące.
- 22a – Układ pozycjonowania pętli dopasowującej.
- 23 – Element łączeniowy.
- 24 – Element pozycjonujący.
- 25 – Element 1 obudowy rezonatora.
- 26 – Element 3 obudowy rezonatora.
- 26a – Element 4 obudowy rezonatora.
- 26b – Element 5 obudowy rezonatora.
- 27 – Pierścień montażowy.

Badaną próbkę umieszcza się wewnątrz rezonatora, który składa się z dwóch przeciętych płatków o różnych średnicach zamocowanych wewnątrz ekranu. Korzystnie zastosować ekran w kształcie walca, natomiast płatki rezonatora w kształcie przeciętego walca, których zamontowanie pokazano na Fig. 1 i Fig. 2. Dopasowanie rezonatora można uzyskać poprzez pętlę dopasowującą, która poprzez regulację odległości od płatków rezonatora dopasowuje sprzężenie indukcyjne.

Alternatywnie dopasowanie można uzyskać poprzez wstępne ustalenie odległości pętli dopasowującej od płatków rezonatora, a następnie doregulowanie trymerami podłączonymi do wejścia/wyjścia linii transmisyjnej. Pozycję pętli dopasowującej ustala się za pomocą mechanizmów [22a], [22], [24], [7], [6] i [4], które wprawiane są w ruch przy pomocy silnika układu dopasowania wraz z wałem 1 (Fig.1).

Silnik układu dopasowania wraz z wałem [1] stanowiący napęd dla układu dopasowania połączony jest z obudową rezonatora, natomiast jego wał połączony poprzez sprzęgło 2 [3] ze śrubą napędową układu dopasowania [6] która jest umieszczona w łożysku ślizgowym. Śruba układu dopasowania [6] napędza układ pozycjonowania pętli dopasowującej [22a] poprzez elementy karetkę pozycjonującą [7] oraz element pozycjonujący [24] zapewniający swobodę ruchu oraz właściwe usztywnienie układu. Układ pozycjonowania pętli dopasowującej [22a] połączono z elementem ślizgowym przy pomocy prętów [22]. Element łączeniowy [23] łączy element pozycjonujący [24] z

elementem nośnym płatków 1 rezonatora [12] o cylindrycznym kształcie, który zakotwiczone w elemencie 5 obudowy rezonatora [26b]. Strojenie realizowane jest przez wzajemną zmianę kąta płatków 1 rezonatora [10] i 2 rezonatora [9]. Płatki 2 rezonatora [9] zamontowano na elemencie nośnym płatków 2 rezonatora [11] o kształcie cylindrycznym, którego jeden koniec przytwierdzono na stałe do pierścienia montażowego [27] zamocowanego na łożysku 1 [13] oraz łożysku 2 [14] do elementu 3 obudowy rezonatora [26]. Przeniesienie napędu pierścienia montażowego [27] zrealizowano przy pomocy paska [19] oraz koła napędowego [18], które zamocowano na stałe na wale napędowym [5]. Wał napędowy [5] zamocowano na łożysku 3 [20], przeniesienie ruchu wału napędowego [5] zrealizowano przy pomocy sprzęgła 2 [3] bezpośrednio połączonego z silnikiem układu strojenia wraz z wałem [2] zamontowanego z elementem 1 obudowy rezonatora [25]. Ekran [8] zamocowano na stałe na elementach 3-5 obudowy rezonatora [26, 26a, 26b]. Sygnał wielkiej częstotliwości doprowadzono do rezonatora poprzez wejście/wyjście linii transmisyjnej [15], umieszczonej w elemencie 2 obudowy rezonatora [17], którego koniec podłączono do przewodu [16], którego drugi koniec podłączono do pętli dopasowującej [21].

Natomiast w przypadku konieczności przestrojenia częstotliwości rezonansowej, jej zmianę wykonuje się poprzez wzajemny obrót płatków 1 rezonatora i płatków 2 rezonatora.

Próbkę umieszcza się w rezonatorze, który znajduje się w obszarze wieloskładnikowego pola magnetycznego, adekwatnie do przeznaczenia w spektroskopii lub obrazowania EPR, po czym przeprowadza się procedurę dopasowania i strojenia rezonatora, dzięki czemu możliwa staje się detekcja sygnału, oraz jego dalsza analiza w układzie odbiorczym.

Po umieszczeniu próbki pomiędzy płatkami 1 rezonatora 10 poprzez układ pozycjonowania pętli dopasowującej 22a, pręty dopasowujące 22, element pozycjonujący 24, karetkę pozycjonującą 7, śrubę napędową układu dopasowania 6 i sprzęgło 1 4 za pomocą silnika układu dopasowania wraz z wałem 1 zmienia się pozycję pętli dopasowującej 21 aż do momentu uzyskania optymalnego dopasowania rezonatora. Zmianę pozycji pętli dopasowującej rezonatora 21 wykonuje się poprzez zmianę położenia układu pozycjonowania pętli dopasowującej 22a wykonywaną za pomocą ruchu prętów

dopasowujących 22, zamontowanych na stałe w karetkce pozycjonującej 7. Karetka pozycjonująca 7 jest przesuwana za pomocą śruby napędzanej przez silnik dopasowania wraz z wałem 1.

W celu zmiany częstotliwości rezonansowej dokonuje się obrotu płatków rezonatora 2 9 w stosunku do płatków rezonatora 1 10 aż do momentu uzyskania warunku rezonansu na oczekiwanej częstotliwości rezonansowej. Powyższy obrót wykonuje się poprzez obrót płatków 2 rezonatora 9 za pomocą obrotu elementu nośnego płatków 2 rezonatora 12 realizowanych za pomocą obrotu pierścienia montażowego 27, do którego jest element nośny przytwierdzony. Obrót pierścienia montażowego 27 jest realizowany za pomocą obrotu koła napędowego 18 przenoszonego poprzez pasek 19. Koło napędowe 18 jest obracana za pomocą wału napędowego 5, który napędzany jest silnikiem układu strojenia wraz z wałem 2 oraz sprzęgłem 2 3.

Przykładowy obraz 3D rozkładu markera z wykorzystaniem proponowanego rozwiązania pokazano na Fig. 3.