

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 246928 B1**

Opis patentowy
przedrukowano ze względu
na zauważone błędy

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **437490**

(22) Data zgłoszenia: **2021.04.06**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.10.10 BUP 41/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2025.03.31 WUP 13/2025**

(51) MKP:

G01N 27/00 (2006.01)

G01N 27/622 (2021.01)

H01J 49/02 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

PIOTR SZYSZKA, Częstochowa, PL

TOMASZ GRZEBYK, Wrocław, PL

(54) Tytuł:

Prostoliniowa mikromechaniczna pułapka jonowa

PL 246928 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest prostoliniowa mikromechaniczna pułapka jonowa, wykonana technikami mikroinżynieryjnymi MEMS.

Pułapki jonowe są instrumentami powszechnie stosowanymi w spektrometrii mas, standaryzacji częstotliwości oraz czasu, jako elementy systemów badających właściwości pojedynczych atomów, a ostatnio jako elementy bazowe dla procesorów kwantowych.

Pułapkowanie odbywa się elektrodynamicznie, tj. obie pary elektrod polaryzuje się naprzemiennie napięciem częstotliwości rzędu MHz. Przy odpowiednich parametrach sygnału RF jony są stabilnie pułapkowane, a analiza może odbywać się na kilka sposobów, np. przez „boundary ejection”, gdzie przeziata się amplitudą sygnału pułapkującego wyrzucając przez aperturę kolejne frakcje masowe badanych jonów. Jednakże klasyczne procesy wytwarzania takich urządzeń nie pozwalają na ich produkcję wieloseryjną, skutecznie ograniczając ich zastosowanie. Ich miniaturyzacja niesie wiele korzyści. Mniejsze urządzenie przekłada się na mniejszy pobór prądu, wymagane amplitudy sygnałów sterujących są niższe, otwierają się możliwości zastosowania serii wielu pułapek, a ponadto możliwe są one do wytworzenia za pomocą technik mikroinżynieryjnych MEMS, w konsekwencji w sposób wysokoseryjny i powtarzalny.

Prostoliniowe pułapki jonowe wykonane technikami klasycznymi są obecnie wykorzystywane w przenośnych lub walizkowych spektrometrach mas, jednakże obecnie nie istnieją podobne pułapki wykonane technikami mikroinżynieryjnymi. Jedyne dostępne artykuły na podobny temat opisują jedynie teoretyczne opracowanie możliwości podobnych struktur w mikroskali. Istnieje również kilka artykułów na temat filtrów kwadrupolowych, oraz innych rodzajów pułapek jonowych, ale żadne z rozwiązań nie jest rozwiązaniem czysto mikromechanicznym, co za tym idzie możliwość ich masowej produkcji jest ograniczona.

W patencie US20040135080A1 opisane jest rozwiązanie prostoliniowej pułapki jonowej, charakteryzującej się uproszczeniem geometrii pułapki w stosunku do klasycznie wykorzystywanych elektrod o przekroju hiperbolicznym. Ułatwia to ich wytwarzanie oraz umożliwia kombinacje liniowe i szeregowe wielu pułapek. Macierze wielu pułapek jonowych pozwalają na zastosowanie kombinacji wielu procesów analizy jonów w celu uzyskania wysokiej czułości, wysokiej selektywności oraz większej przepustowości w analizie jonów.

W patencie CN106024575A opisane jest rozwiązanie prostoliniowej pułapki jonowej wykonanej technikami MEMS. Jest ona strukturą wielowarstwową wykonaną w całości ze szkła, na które zostały z naniesione metalizacje będące poszczególnymi elektrodami. Rozwiązanie to zawiera również elektrody odpowiedzialne za wprowadzenie jonów do obszaru analizy. Autorzy zwracają uwagę, że zastosowanie technik MEMS pozwala na wysoką precyzję wytwarzania oraz wytrzymałość mechaniczną tak wykonanej struktury. Ponadto zmniejszenie pułapki obniża pobór energii jednocześnie nie zmniejszając perspektyw jej zastosowania w miniaturowej spektrometrii mas.

Problemem technicznym jaki rozwiązuje niniejszy wynalazek jest możliwość wykonania liniowej pułapki jonowej o różnym stopniu skomplikowania geometrii, który pozwala na dobranie optymalnego poziomu uproszczenia do wymagań rozdzielczości analizy oraz kosztów produkcji.

Istota prostoliniowej mikromechanicznej pułapki jonowej, wykonanej technikami mikroinżynieryjnymi polega na tym, że składa się kolejno z warstwy górnej, warstwy środkowej oraz warstwy dolnej, pomiędzy którymi znajdują się warstwy dystansowników szklanych, górnego i dolnego, przez co w przekroju poprzecznym warstwy wraz z dystansownikami tworzą kształt dwóch liter „E”, z których prawa część stanowi lustrzane odbicie lewej, ponadto w warstwie górnej i dolnej wykonane są elektrody odpowiednio pionowa górna i pionowa dolna, przedzielone zasadniczo poza końcami pułapki szczeliną apertury, zaś w warstwie środkowej wykonana jest elektroda pozioma przedzielona wzdłuż długości, przez co w środku pułapki powstaje ciągnący się przez całą jej długość obszar pułapkujący, w kształcie koła wpisanego pomiędzy wewnętrznymi końcami elektrody poziomej oraz górną i dolną szczeliną apertury, którego promień r_0 wynosi od 0,11 mm do 1,1 mm.

Korzystnie, szczelina apertury ma szerokości od 0,01 mm do 0,2 mm.

Korzystnie, grubość warstw krzemu wynosi od 0,1 mm do 1 mm.

Korzystnie, grubość warstw dystansowników szklanych wynosi od 0,05 mm do 0,50 mm.

Korzystnie, boczne powierzchnie wszystkich elektrod są pionowe w stosunku do ich powierzchni w wyniku wytworzenia za pomocą głębokiego reaktywnego trawienia jonowego.

W wariacie wynalazku, boczne powierzchnie elektrod pionowej górnej i pionowej dolnej są nachylone w stosunku do ich powierzchni pod kątem 54,74 stopnia w wyniku wykonania tych elektrod za pomocą trawienia mokrego w wodnym roztworze KOH przez co szczelina apertury jest węższa od strony obszaru pułapkującego.

W wariacie wynalazku, powierzchnie boczne elektrody poziomej od strony obszaru pułapkującego, w wyniku wykonania tej elektrody za pomocą trawienia mokrego w wodnym roztworze KOH, tworzą zaostrenie w płaszczyźnie symetrii elektrody poziomej skierowane ostrą krawędzią ku obszarowi pułapkującemu, którego ścianki w stosunku do powierzchni górnych i dolnych elektrody poziomej są nachylone pod kątem 54,74 stopnia.

W wariacie wynalazku elektrody pionowa górna i pionowa dolna na części powierzchni leżących po bokach szczeliny apertury posiadają wgłębienia wykonane w wyniku wytrawienia części ich grubości od strony wnętrza pułapki.

Do zalet wynalazku należy fakt, iż proces wytwarzania opiera się na technikach mikroinżynierskich, cechujących się powtarzalnością oraz skalowalnością (zarówno pod względem rozmiarów urządzenia jak i seryjności produkcji). Tak wytworzone urządzenia są strukturami monolitycznymi, bez elementów mogących być podatne na czynniki mechaniczne. Dodatkowo rozdzielczość analizy jonów z wykorzystaniem tak uproszczonego urządzenia, nie odbiega znacząco od niemożliwych do wykonania w mikroskali geometriom hiperbolicznym. Urządzenie pozwala również na integrację z innymi mikrosystemami próżniowymi, szczególnie znanymi z Pat.230151 oraz Pat.230152.

Urządzenie zostało bliżej przedstawione w poniższych przykładach realizacji i w oparciu o rysunek, którego fig. 1 przedstawia rzut ogólny, fig. 2 przekrój poprzeczny, fig. 3 różne warianty mikrostrukturizowania elektrod, fig. 4 przykładowy rozkład pola elektrycznego w pułapce.

Przykład 1

Prostoliniowa mikromechaniczna pułapka jonowa składa się kolejno z warstwy górnej 2, warstwy środkowej 3 oraz warstwy dolnej 4, pomiędzy którymi znajdują się warstwy dystansowników szklanych, górnego 5 i dolnego 6, przez co w przekroju poprzecznym warstwy wraz z dystansownikami tworzą kształt dwóch liter „E”, z których prawa część stanowi lustrzane odbicie lewej, ponadto w warstwie górnej 2 i dolnej 4 wykonane są elektrody pionowe odpowiednio pionowa górna 10a i dolna 10b, przedzielone zasadniczo poza końcami pułapki szczeliną apertury 8, zaś w warstwie środkowej 3 wykonana jest elektroda pozioma 11 przedzielona wzdłuż długości, przez co w środku pułapki powstaje ciągnący się przez całą jej długość obszar pułapkujący 12, w kształcie koła wpisanego pomiędzy wewnętrzne końce elektrody poziomej 11 oraz górną i dolną szczelinę apertury 8, którego promień r_0 wynosi 0,5 mm. Szczelina apertury ma szerokości od 0,1 mm. Grubość warstw krzemu wynosi od 0,5 mm. Grubość warstw dystansowników szklanych wynosi od 0,25 mm. Boczne powierzchnie elektrod są pionowe w stosunku do ich powierzchni w wyniku wytworzenia za pomocą głębokiego reaktywnego trawienia jonowego.

Przykład 2

Urządzenie jak w przykładzie 1, z tą różnicą, że boczne powierzchnie elektrod pionowej górnej i dolnej są nachylone w stosunku do ich powierzchni pod kątem 54,74 stopnia w wyniku wykonania tych elektrod za pomocą trawienia mokrego w wodnym roztworze KOH przez co szczelina apertury 8 jest węższa od strony obszaru pułapkującego 12.

Przykład 3

Urządzenie jak w poprzednich przykładach, z tym, że powierzchnie boczne elektrody poziomej 11 od strony obszaru pułapkującego 12, w wyniku wykonania elektrody za pomocą trawienia mokrego w wodnym roztworze KOH, tworzą zaostrenie w płaszczyźnie symetrii elektrody poziomej skierowane ostrą krawędzią ku obszarowi pułapkującemu 12, którego ścianki w stosunku do powierzchni górnych i dolnych elektrody poziomej 11 są nachylone pod kątem 54,74 stopnia.

Przykład 4

Urządzenie jak w poprzednich przykładach, przy czym elektrody pionowa górna 10a i pionowa dolna 10b na części powierzchni leżących po bokach szczeliny apertury 8 posiadają wgłębienia wykonane w wyniku wytrawienia połowy ich grubości od strony wnętrza pułapki.

Wykaz oznaczeń

2	–	Warstwa górna
3	–	Warstwa środkowa
4	–	Warstwa dolna
5	–	Dystansownik górny
6	–	Dystansownik dolny
8	–	Szczelina apertury
10a	–	Elektroda górna
10b	–	Elektroda dolna
11	–	Elektrod pozioma

Zastrzeżenia patentowe

1. Prostoliniowa pułapka jonowa wykonana technikami mikroinżynieryjnymi MEMS, zbudowana w formie wielowarstwowej, kanapki krzemowo – szklanej, **znamienna tym**, że składa się kolejno z warstwy górnej (2), warstwy środkowej (3) oraz warstwy dolnej (4), pomiędzy którymi znajdują się warstwy dystansowników szklanych, górnego (5) i dolnego (6), przez co w przekroju poprzecznym warstwy wraz z dystansownikami tworzą kształt dwóch liter „E”, z których prawa część stanowi lustrzane odbicie lewej, ponadto w warstwie górnej i dolnej wykonane są elektrody pionowe odpowiednio górna (10a) i dolna (10b), przedzielone zasadniczo poza końcami pułapki szczeliną apertury (8), zaś w warstwie środkowej (3) wykonana jest elektroda pozioma (11) przedzielona wzdłuż długości, przez co w środku pułapki powstaje ciągnący się przez całą jej długość obszar pułapkujący (12), w kształcie koła wpisanego pomiędzy wewnętrzne końce elektrody poziomej (11) oraz górną i dolną szczelinę apertury (8).
2. Prostoliniowa pułapka jonowa, według zastrz. 1, **znamienna tym**, że promień r_0 obszaru pułapkującego (12) wynosi od 0,11 mm do 1,1 mm.
3. Prostoliniowa pułapka jonowa, według zastrz. 1, **znamienna tym**, że boczne powierzchnie wszystkich elektrod są pionowe w stosunku do ich powierzchni w wyniku wytworzenia za pomocą głębokiego reaktywnego trawienia.
4. Prostoliniowa pułapka jonowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że boczne powierzchnie elektrod pionowej górnej (10a) i pionowej dolnej (10b) są nachylone w stosunku do ich powierzchni pod kątem 54,74 stopnia w wyniku wykonania tych elektrod za pomocą trawienia mokrego w wodnym roztworze KOH przez co szczelina apertury (8) jest węższa od strony obszaru pułapkującego (12).
5. Prostoliniowa pułapka jonowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że powierzchnie boczne elektrody poziomej (11) od strony obszaru pułapkującego (12) w wyniku wykonania elektrody za pomocą trawienia mokrego w wodnym roztworze KOH tworzą zaostrenie w płaszczyźnie symetrii elektrody poziomej (11) skierowane ostrą krawędzią ku obszarowi pułapkującemu (12), którego ścianki w stosunku do powierzchni górnych i dolnych elektrody poziomej (11) są nachylone pod kątem 54,74 stopnia.
6. Prostoliniowa pułapka jonowa według zastrz. 1, **znamienna tym**, że elektrody pionowa górna (10a) i pionowa dolna (10b) na części powierzchni leżących po bokach szczeliny apertury (8) posiadają wgłębienia wykonane w wyniku wytrawienia części ich grubości.

Rysunki

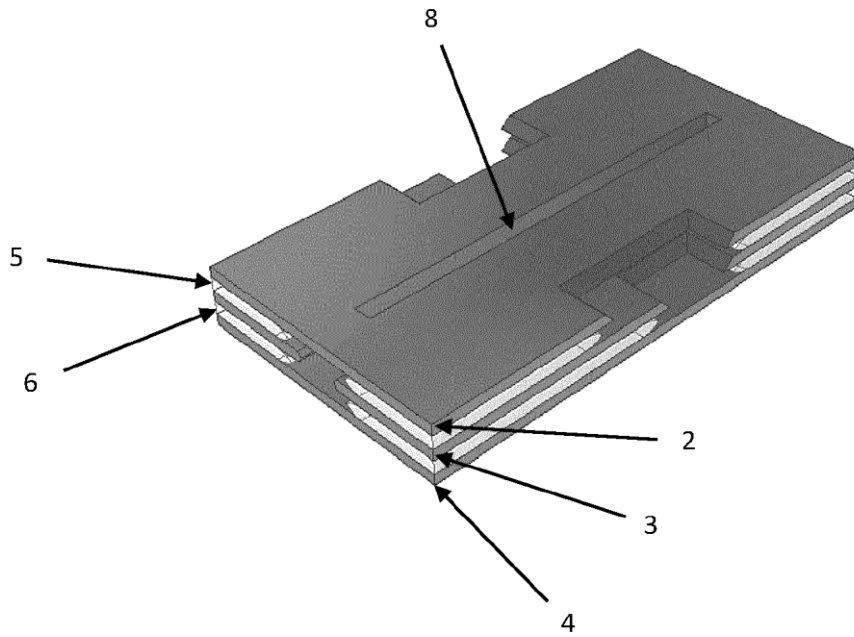


Fig. 1

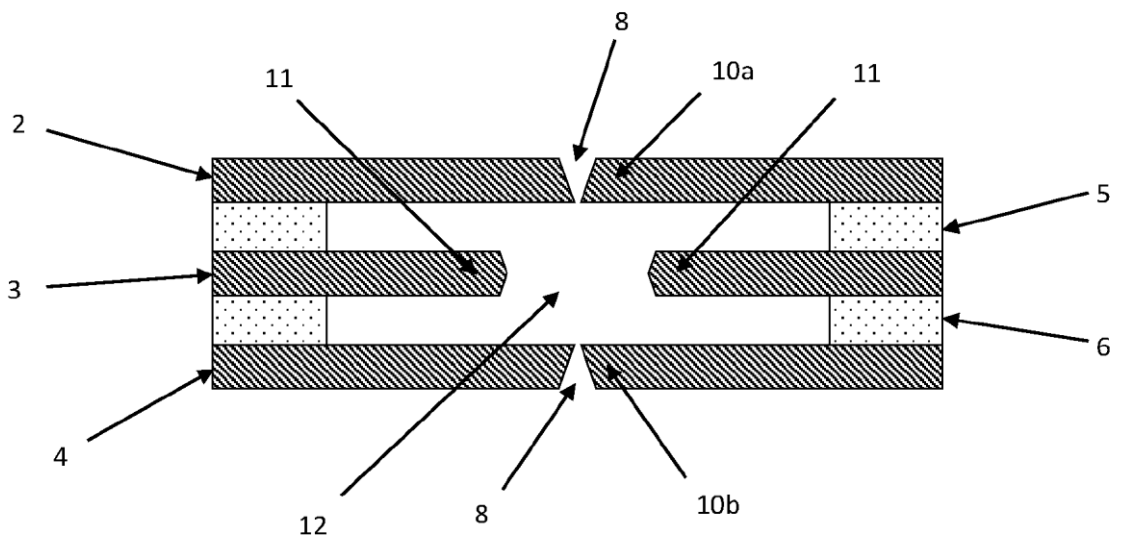


Fig. 2

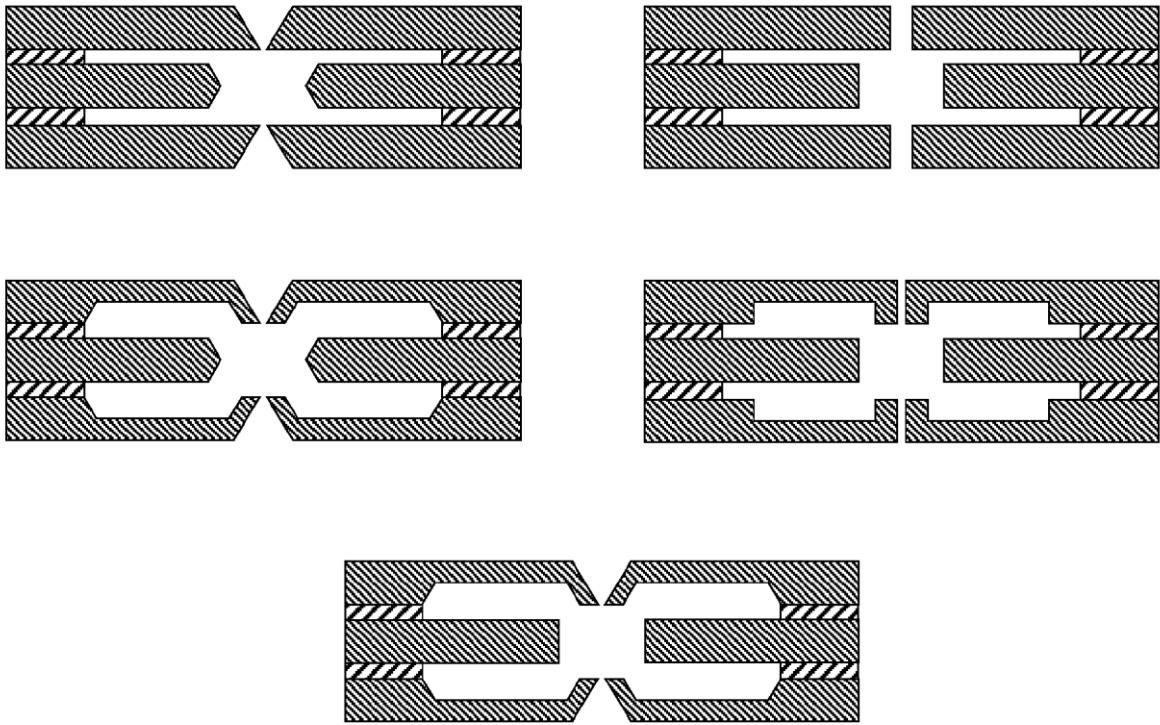


Fig. 3

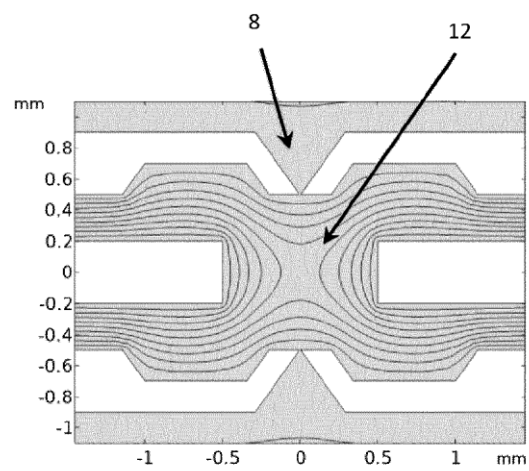


Fig. 4