



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 40795

(13) C2

(51) 6 H01J49/40

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ЧАСОПРОЛІТНИЙ МАС-СПЕКТРОМЕТР

1

2

(21) 2000031618

(22) 22.03.2000

(24) 15.10.2002

(46) 15.08.2001, Бюл. № 7, 2001 р.

(72) Опачко Іван Іванович

(73) УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(56) RU 2079925, H01J 49/40, 20.05.1997

RU 2059982, H01J 49/40, 10.05.1996

(57) Часопролітний мас-спектрометр, який містить імпульсне джерело іонів, вакуумний безпольовий дрейфовий простір, циліндричний електростатичний аналізатор, детектор іонів, який **відрізняється** тим, що між циліндричними електродами циліндричного електростатичного аналізатора співвісно з віссю поверхонь циліндричних електродів та перпендикулярно до їх поверхонь

розміщені кільцеві електроди, що з'єднані через подільник напруги з джерелом живлення циліндричних електродів, причому відповідні довжини дрейфового простору і рівноважної траєкторії електростатичного аналізатора I_D та I_A і напруженість електричного поля E_0 на рівноважній траєкторії радіуса r_0 зв'язані співвідношенням:

$$\frac{I_D}{I_A} = \frac{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{E_0} \frac{dE}{dr}}{\frac{1}{r_0} + \frac{1}{E_0} \frac{dE}{dr}},$$

де $\frac{dE}{dr}$ - радіальний градієнт електричного поля.

Винахід відноситься до мас-спектрометричної техніки, зокрема до часопролітних мас-спектрометрів і може бути застосований в металургійній, хімічній та електронній промисловості, а також в наукових дослідженнях.

Відомий безмагнітний часопролітний мас-спектрометр з високою роздільною здатністю - мас-рефлектор, який містить імпульсне джерело іонів, безпольовий дрейфовий простір, простір з електростатичним полем спеціальної конфігурації - електростатичним дзеркалом, а також детектор іонів [1].

Відомий пристрій хоча й дає високу роздільність по масам, але вимагає створення багатоелектродного об'єму з полем спеціальної конфігурації.

Найбільш близьким до заявленого по технічній сутності та досягаємому результату є часопролітний мас-спектрометр - циліндричний електростатичний аналізатор, який містить імпульсне (лазерне) джерело іонів, безпольову дрейфову трубку, 90° - циліндричний електростатичний аналізатор з вхідною і вихідною діафрагмами, детектор іонів [2].

Але роздільна здатність цієї системи в значній мірі залежить від розмірів вхідної і вихідної діафрагм селектора. При цьому підвищення роздільної здатності системи здійснюється зменшенням роз-

мірів діафрагм, що в свою чергу приводить до погіршення світлосили і чутливості мас-спектрометра в цілому.

Завданням винаходу є підвищення роздільної здатності та світлосили часопролітного мас-спектрометра з циліндричним електростатичним аналізатором.

Поставлене завдання досягається таким чином, що часопролітний мас-спектрометр, який містить імпульсне джерело іонів, вакуумний безпольовий дрейфовий простір, циліндричний електростатичний аналізатор, детектор іонів, який відрізняється тим, що між циліндричними електродами циліндричного електростатичного аналізатора співвісно до осі поверхонь циліндричних електродів та перпендикулярно до їх поверхонь розміщені кільцеві електроди, що з'єднані через подільник напруги з джерелом живлення циліндричних електродів, причому відповідні довжини дрейфового простору і рівноважної траєкторії електростатичного аналізатора I_D та I_A і напруженість електричного поля E_0 на рівноважній траєкторії радіуса r_0 зв'язані співвідношенням

(13) C2

(11) 40795

(19) UA

$$\frac{l_D}{l_A} = \frac{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{E_0} \frac{dE}{dr}}{\frac{1}{r_0} + \frac{1}{E_0} \frac{dE}{dr}}$$

де $\frac{dE}{dr}$ - радіальний градієнт електричного поля.

Радіальна складова електричного поля $E(r) \sim 1/r$ циліндричного аналізатора коректується в залежності від співвідношення довжин безпольового дрейфового простору і траєкторії іонів в електричному полі таким чином, що досягається аналогічний реалізованому в мас-рефлекторі [1] ізохронний режим роботи. Порівняльний аналіз з прототипом вказує, що при цьому зберігається простота пристрою притаманна йому, а роздільна здатність і світлосила мас-спектрометра збільшується досягаючи значень характерних для мас-рефлектора. Введення між циліндричними електродами електростатичного аналізатора, симетрично розміщених кільцевих електродів, які через подільник напруги з'єднані з джерелом живлення циліндричних електродів. При цьому виконується умова часового фокусування, коли зменшення часу прольоту безпольового дрейфового простору більш швидкими іонами компенсується збільшенням часу їхнього прольоту в циліндричному аналізаторі внаслідок збільшення довжини траєкторії і навпаки, досягається при умові:

$$\frac{l_D}{l_A} = \frac{\frac{1}{r_0} - \frac{1}{E_0} \frac{dE}{dr}}{\frac{1}{r_0} + \frac{1}{E_0} \frac{dE}{dr}} \quad (1)$$

де l_D і l_A - відповідно довжини дрейфового простору і рівноважної траєкторії електростатичного аналізатора, $E(r_0)$ - напруженість електричного поля на середній рівноважній траєкторії радіуса r_0 .

$$t_D = \frac{l_D}{v} = t_D(r_0) - A(r_0)\Delta r + B(r_0)\Delta r^2 + K, \text{ де } A(r_0) = -\frac{d[t_D(r_0)]}{dr}; B(r_0) = \frac{d^2[t_D(r_0)]}{dr^2}; \quad (4)$$

Знак (-) перед $A(r_0)$ відповідає очевидному зменшенню t_D при зростанні v .

$$t_A = \frac{l_A}{v} = t_A(r_0) + C(r_0)\Delta r + D(r_0)\Delta r^2 + K', \text{ де } C(r_0) = \frac{d[t_A(r_0)]}{dr}; D(r_0) = \frac{d^2[t_A(r_0)]}{dr^2}; \quad (5)$$

K, K' - члени третього порядку малості відносно Δr . Знак (+) перед $C(r_0)$ відповідає збільшенню часу прольоту t_A при зростанні v внаслідок збіль-

$$t = t_D + t_A = t_D(r_0) + t_A(r_0) + C(r_0)\Delta r - A(r_0)\Delta r + [B(r_0) + D(r_0)]\Delta r^2 + K + K'. \quad (6)$$

При умові $A(r_0) = C(r_0)$, з якої випливає запропоноване співвідношення (1), тривалість імпульса іонного пакета внаслідок компенсації членів ряду з Δr пропорційна $\Delta t \sim \Delta r^2 \sim (\Delta v/v)^2$, на відміну від $\Delta t \sim \Delta v/v$ для мас-спектрометра - прототипа [2], в якому не реалізоване часове фокусування. Якщо в мас-спектрометрі - прототипі роздільна здатність R

$$R = \frac{M}{\Delta M} \sim \frac{t}{\Delta t} \sim \frac{v}{\Delta v} \quad (7)$$

Порівняння заявленого рішення з відомими технічними рішеннями [1,2] показує, що введення електродів, які коректують циліндричне поле електростатичного аналізатора згідно співвідношення (1), дає змогу не тільки досягнути підвищення роздільної здатності часопролітного мас-спектрометра в цілому, але й збільшити його світлосилу завдяки можливості збільшення розмірів вхідної і вихідної діафрагм при збереженні роздільної здатності завдяки реалізації режиму ізохронності траєкторій. Це дозволяє зробити висновок про відповідність заявленого технічного рішення критерію "істотні відмінності".

На фіг. схематично зображено запропонований мас-спектрометр.

Мас-спектрометр складається з імпульсного джерела іонів 1; безпольової дрейфової трубки 2 довжиною l_D ; циліндричного електростатичного аналізатора 3; коректуючих кільцевих електродів 4, перпендикулярних до поверхні циліндричних електродів; джерела напруги живлення електродів 5; детектора іонів 6. На поперечному розрізі електростатичного селектора, що проходить через вісь циліндричних електродів, зображені силові лінії скоригованого електричного поля і область траєкторії іонів 7, яка виділяється діафрагмами.

Мас-спектрометр працює таким чином. Нехай імпульсне джерело іонів емітує іони в деякому інтервалі швидкостей $v, v+\Delta v$. З умови

$$\frac{mv^2}{r} = ZE(r) \quad (2)$$

де $E(r)$ - напруженість поля електростатичного аналізатора на рівноважній траєкторії радіуса r , Z - заряд іона, ми можемо визначити

$$v = v[r, E(r)] \quad (3)$$

Час прольоту іонами безпольового дрейфового простору розкладемо в ряд по параметру в околі $r_{0+\Delta r}$:

Аналогічно, час прольоту іонами електростатичного селектора

згідно (2) радіуса рівноважної траєкторії. Сумарний час прольоту

і складає $R \approx 50 \div 100$, то в запропонованому

пристрої $R' \sim \frac{t}{\Delta t} \sim \left(\frac{v}{\Delta v}\right)^2 \sim R^2$ і може досягати

значень $R' \approx 1000$. При цьому світлосила аналізатора при умові, що Δr задається діафрагмами $D \sim \Delta r/r_0$ може зрости більш, ніж на порядок, завдяки можливості збільшення Δr при забезпеченні необхідного значення $R' \approx 1000$.

Практичною реалізацією пристрою був створений мас-спектрометр з джерелом іонів на базі неодимового лазера з модуляцією добротності з густиною потужності на твердій мішені 10^9 Вт/см^2 . Довжина дрейфової трубки $l_D = 1 \text{ м}$, середній радіус рівноважної траєкторії 90° циліндричного аналізатора $r_0 = 11 \text{ см}$, при відстані між пластинами $r_1 - r_2 = 1 \text{ см}$. Для виконання умови (1) в цьому випадку необхідно забезпечити

$$\frac{1}{E(r_0)} \frac{dE}{dr} = -\frac{0,7}{r_0}.$$

Для нескоректованого поля циліндричного аналізатора

$$\frac{1}{E(r_0)} \frac{dE}{dr} = -\frac{1}{r_0}.$$

Тому необхідна відносна корекція поля по радіусу циліндричного аналізатора складає

$$-\frac{0,7}{r_0} - \left(-\frac{1}{r_0}\right) = \frac{0,3}{r_0} = \frac{0,3}{11} = 0,027 \text{ см}^{-1}$$

Це для міжелектродної відстані 1 см складає $2,7\%$. Така корекція реалізується подачею на кільцеві електроди через потенціометри, приєднані до основних електродів коректуючої напруги. Роздільна здатність реалізованого мас-спектрометра при ширині вхідної діафрагми $0,6 \text{ см}$

$$R' = 3,7 \left(\frac{r_0}{\Delta r} \right)^2 = 3,7 \left(\frac{11}{0,6} \right)^2 = 1244.$$

Реальна зафіксована роздільна здатність $R' \approx 1000$. Для досягнення такої ж роздільної здатності в мас-спектрометрі - прототипі необхідно було звузити вхідні щілини до розмірів

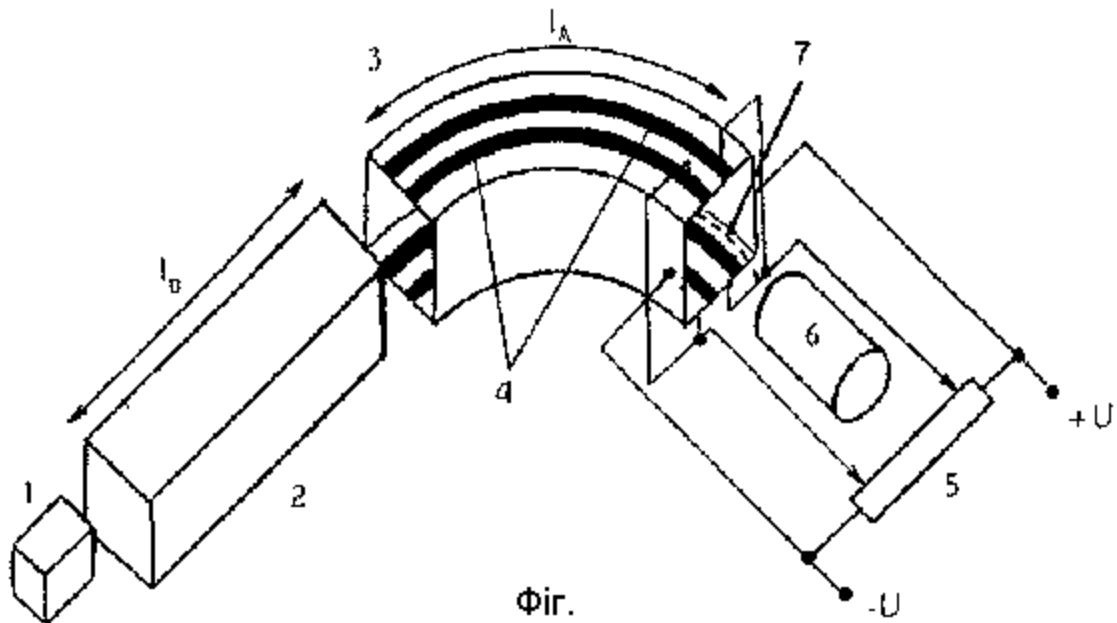
$$\Delta r = \frac{r_0}{2R} = \frac{11}{2 \cdot 1000} = 0,0055 \text{ см} \approx 0,06 \text{ мм}$$

Це значить, що при однаковій роздільній здатності світлосила (чутливість) запропонованого мас-спектрометра збільшується в $0,6/0,06 = 10$ разів.

Винахід може бути використаний в промисловості, на підприємствах по виробництву мас-спектрометричної техніки, в конструкторсько-технологічних бюро лазерної техніки, в науково-дослідних лабораторіях по виготовленню мас-спектрометричної техніки.

Джерела інформації

1. Мамырин Б.А., Каратаев В.И., Шмигк Д.В. и др. Масс-рефлектор: Новый безмагнитный времяпролетный масс-спектрометр с высокой разрешающей способностью // Письма в ЖЭТФ. - 1973. - т. 64. - №1. - в. 1. - с. 82 - 85.
2. В кн. Масс-спектрометрический метод определения следов. М., "Мир", стр. 431 - 432, 1975. - прототип/.



ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)

вул. Сім'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна

(044) 456 - 20 - 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»

вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна

(044) 216 - 32 - 71