



УКРАЇНА

(19) UA (11) 94103 (13) C2
(51) МПК (2011.01)
H01J 49/00
G01T 1/28 (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) МІКРОЕЛЕКТРОННИЙ КООРДИНАТНО-ЧУТЛИВИЙ ДЕТЕКТОР МАС-СПЕКТРОМЕТРА

1

(21) a200813628

(22) 25.11.2008

(24) 11.04.2011

(46) 11.04.2011, Бюл.№ 7, 2011 р.

(72) БОРИСКІН ОЛЕКСАНДР ІВАНОВИЧ, ВЕРБИЦЬКИЙ ВОЛОДИМИР ГРИГОРОВИЧ, ЗАБРОДІНА ОЛЬГА МИКОЛАЇВНА, ЄРЕМЕНКО ВІКТОР МИТРОФАНОВИЧ, НІКОЛАСНКО ЮРІЙ ЄГОРОВИЧ, ПРОКОФ'ЄВ ЮРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, СИДОРЕНКО ВОЛОДИМИР ПАВЛОВИЧ, СИДОРЧУК ВОЛОДИМИР МИКОЛАЙОВИЧ, СТОРІЖКО ВОЛОДИМИР ЮХИМОВИЧ, ХОМЕНКО СЕРГІЙ МИКОЛАЄВИЧ, ШЕЛЕХОВ АНДРІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ МІКРОПРИЛАДІВ НТК "ІНСТИТУТ МОНОКРИСТАЛІВ" НАН УКРАЇНИ

(56) US 5347132 A; 13.09.1994

US 5463219 A; 31.10.1995

WO 98/50941 A1; 12.11.1998

CA 2131753 A1; 10.03.1996

RU 2187862 C2; 27.02.2002

(57) Мікроелектронний координатно-чутливий детектор мас-спектрометра, який має в своєму складі одну або кілька мікроканальних пластин і одну або кілька великих інтегральних схем (ВІС), кожна з яких має лінійку з n провідних електродів для приймання зарядів, двійкові лічильники імпульсів, n+1-розрядний послідовно-паралельний регістр зсуву, входи "Читання", "Такт", "Стоп", "Початок читання", "Включення виходів", з відповідними формувачами вхідних сигналів, вхід опорної напруги $U_{оп}$, вихід "Кінець читання", "Інформаційні виходи" детектора, вихід "Переповнення", відповідні формувачі вихідних сигналів і керуючу цифрову логіку для управління процесами прийому, обробки і передачі інформації детектором, який відрізняється тим, що між кожним провідним електродом і відповідним йому двійковим лічильником імпульсів ВІС встановлено підсилювач-формував рахункових імпульсів, виконаний на КМДН-транзисторах, з диференційним каскадом на його вході, причому перший вхід підсилювача-формувача підключено до відповідного провідного електрода ВІС, а його другий вхід підключено до

2

джерела опорної напруги $U_{оп}$, підкладки всіх р-канальних транзисторів підключені до шини джерела живлення V_{cc} , а підкладки всіх п-канальних транзисторів підключені до шини "земля", затвор п-канального транзистора першого кола диференційного каскаду підключено до першого входу підсилювача-формувача, а затвор п-канального транзистора другого кола цього ж каскаду до другого входу підсилювача-формувача, причому кожне коло каскаду складається з двох послідовно з'єднаних стоками р- і п-канальних МДН-транзисторів, витоки р-канальних транзисторів обох кіл диференційного каскаду підключено до шини джерела напруги, а їх затвори з'єднані між собою і підключені до точки з'єднання стоків транзисторів першого кола цього ж диференційного каскаду, а витоки п-канальних транзисторів обох кіл об'єднані зі стоком п-канального транзистора, витік якого підключено до шини "земля", затвор його підключено до точки з'єднання стоків і затворів р- і п-канальних допоміжних транзисторів, причому витік р-канального допоміжного транзистора підключено до шини джерела напруги, а витік п-канального транзистора до шини "земля", до точки з'єднання затворів і стоків цих транзисторів підключено затвор п-канального транзистора першого інвертора підсилювача-формувача рахункових імпульсів, витік якого підключено до шини "земля", а стік з'єднано зі стоком р-канального транзистора, витік якого підключено до джерела напруги, а затвор до точки з'єднання стоків р- і п-канальних транзисторів другого кола диференційного каскаду, між затворами п-канальних транзисторів якого підключені два паралельно з'єднані п-канальних транзистори, з яких затвор першого підключено до шини джерела напруги, а затвор другого до точки з'єднання стоків транзисторів першого інвертора підсилювача-формувача, до якої підключені також затвори р- і п-канальних транзисторів другого інвертора, витік р-канального транзистора якого підключено до шини джерела напруги, витік п-канального транзистора підключено до шини "земля", а точка з'єднання стоків цих транзисторів є виходом рахункових імпульсів підсилювача-формувача.

(13) C2

(11) 94103

(19) UA

Винахід відноситься до мас-спектрометрії і може бути використаний при створенні координатно-чутливих детекторів заряджених частинок для визначення просторового розподілу заряджених частинок в мас-спектрометрії, електронній мікроскопії при аналізі елементного чи ізотопного складу речовини.

Найбільш близьким технічним рішенням до винаходу, що пропонується, і тому обраний нами за прототип, є детектор, виконаний у вигляді інтегральної схеми, над якою розташовані мікроканальні пластини в якості перетворювача іон - імпульс електронів, яка містить в собі лінійку кондуктивних електродів для приймання заряду, кожен з яких заряджається до опорної напруги, імпульсно-чутливі перемикаючі пристрої, які генерують імпульс, якщо прийнятий відповідним електродом заряд спричиняє напругу, що перевищує поріг спрацювання перемикаючого пристрою; лічильники для підрахунку таких імпульсів; пристрої для відновлення порогових потенціалів лінійки електродів, а також цифрову логіку для контролю та управління лінійкою електродів [Патент США 5296816 від 22.03 1994 р., кл. США 324/457].

Такий детектор, встановлений в фокальній площині мас-спектрометра, дає можливість прямого рахунку іонів ізотопів елементів, розподілених в просторі фокальної площини згідно відношенню їх маси до заряду, і реєструвати одночасно спектри декількох піків іонів та визначати їх маси та інтенсивність, а також оптимізувати процес іостування мас-спектрометра для визначення конкретного складу досліджуваної речовини.

Однак, недоліком такого пристрою є його недостатні чутливість, стабільність і швидкодія через те, що чутливість і стабільність роботи його залежать від співвідношення параметрів транзистора і резисторів в імпульсно-чутливому перемикаючому пристрої, які визначаються як технологічним процесом виготовлення BIC, так і величиною опорної напруги. Це обмежує чутливість пристрою і викликає необхідність коригувати опорну напругу при кожному вимірі.

При використанні мікроканального помножувача, в якому створюється лавина електронів, тобто негативних зарядів, в схемі прототипу принципово потрібно виконувати імпульсно-чутливі перемикаючі пристрої на р-канальних транзисторах, крутість яких приблизно в два рази менша порівняно з п-канальними транзисторами, що принципово обмежує швидкодію такої схеми.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення координатно-чутливого детектора мас-спектрометрів, в якому шляхом використання підсилювача-формуваача рахункових імпульсів з диференціальним входним каскадом на КМДН-транзисторах забезпечується підвищення чутливості, стабільності роботи і швидкодії детектора.

Поставлена задача досягається тим, що в мікроелектронному координатно-чутливому детекторі мас-спектрометра, який має в своєму складі одну або кілька мікроканальних пластин і одну або кілька великих інтегральних схем (BIC) на КМДН-транзисторах, кожна з яких має лінійку з п кондук-

тивних електродів для приймання зарядів, двійкові лічильники імпульсів, $n+1$ -розрядний послідовно-паралельний регістр зсуву, входи "Читання", "Такт", "Стоп", "Початок читання", "Включення виходів", з відповідними формувачами входних сигналів, вхід опорної напруги $U_{оп}$, вихід "Кінець читання", "Інформаційні виходи" детектора, вихід "Переповнення", відповідні формувачі вихідних сигналів і керуючу цифрову логіку для управління процесами прийому, обробки і передачі інформації детектором, між кожним кондуктивним електродом і відповідним йому двійковим лічильником імпульсів BIC встановлено підсилювач-формуваач рахункових імпульсів, виконаний на КМДН-транзисторах, з диференціальним каскадом на його вході, причому перший вхід підсилювача-формуваача підключено до відповідного кондуктивного електроду n BIC, а його другий вхід підключено до джерела опорної напруги $U_{оп}$, підкладки всіх р-канальних транзисторів підключені до шини джерела живлення V_{cc} , а підкладки всіх п-канальних транзисторів підключені до шини "земля", затвор п-канального транзистора першого кола диференційного каскаду підключено до першого входу підсилювача-формуваача, а затвор п-канального транзистора другого кола цього ж каскаду до другого входу підсилювача-формуваача, причому кожне коло каскаду складається з двох послідовно з'єднаних стоками р- і п-канальних МДН-транзисторів, витіки р-канальних транзисторів обох кіл диференційного каскаду підключено до шини джерела напруги, а їх затвори з'єднані між собою і підключені до точки з'єднання стоків транзисторів першого кола цього ж диференційного каскаду, витіки п-канальних транзисторів обох кіл об'єднані зі стоком п-канального транзистора, витік якого підключено до шини "земля", затвор його підключено до точки з'єднання стоків і затворів р- і п-канальних допоміжних транзисторів, причому витік р-канального допоміжного транзистора підключено до шини джерела напруги, а витік п-канального транзистора до шини "земля", до точки з'єднання затворів і стоків цих транзисторів підключено затвор п-канального транзистора першого інвертора підсилювача-формуваача рахункових імпульсів, витік якого підключено до шини "земля", а стік з'єднано зі стоком р-канального транзистора, витік якого підключено до джерела напруги, а затвор до точки з'єднання стоків р- і п-канальних транзисторів другого кола диференційного каскаду, між затворами п-канальних транзисторів якого підключені два паралельно з'єднані п-канальних транзистори, з яких затвор першого підключено до шини джерела напруги, а затвор другого до точки з'єднання стоків транзисторів першого інвертора підсилювача-формуваача, до якої підключені також затвори р- і п-канальних транзисторів другого інвертора, витік р-канального транзистора якого підключено до шини джерела напруги, витік п-канального транзистора підключено до шини "земля", а точка з'єднання стоків цих транзисторів є виходом підсилювача-формуваача, який підключається до входу відповідного лічильника.

Використання усіх суттєвих ознак мікроелектронного координатно-чутливого детектора мас-спектрометра дозволяє отримати пристрій з високою чутливістю, стабільністю і швидкодією.

На фігурі 1 представлена структурна схема МКЧД.

На фігурі 2 представлена схема підсилювача-формування, який виконує функцію прийому електронів з мікроканальних пластин і формування рахункових імпульсів.

Мікроелектронний координатно-чутливий детектор іонів має в своєму складі одну або кілька мікроканальних пластин 1 і одну або кілька великих інтегральних схем (BIC) 2, кожна з яких має лінійку 3 з n кондуктивних електродів 3.1-3. n для приймання зарядів, двійкові лічильники імпульсів 4.1-4. n , $n+1$ -розрядний послідовно-паралельний регістр зсуву 5 (5.1-5. $n+1$ - розряди регістра), входи "Читання" 6, "Такт" 7, "Стоп" 8, "Початок читання" 9, "Включення виходів" 10, з відповідними формувачами вхідних сигналів 11.1-11.5, вхід опорної напруги $U_{оп}$ 12, вихід "Кінець читання" 13, "Інформаційні виходи" детектора 14.1-14. N , вихід "Переповнення" 15, відповідні формувачі вихідних сигналів 16.1-16.3 і керуючу цифрову логіку 17 для управління процесами прийому, обробки і передачі інформації детектором, між кожним кондуктивним електродом 3.1-3. n і відповідним йому двійковим лічильником імпульсів 4.1-4. n BIC 2 встановлено підсилювач-формування рахункових імпульсів 18.1-18. n , виконаний на КМДН-транзисторах, з диференційним каскадом на його вході, причому перший вхід 19 підсилювача-формування 18.1-18. n підключено до відповідного кондуктивного електрода 3.1-3. n BIC 2, а його другий вхід 20 підключено до джерела опорної напруги $U_{оп}$ 12, підкладки всіх p -канальних транзисторів підключені до шини джерела живлення V_{cc} 21, а підкладки всіх n -канальних транзисторів підключені до шини "земля" 22, затвор n -канального транзистора 23 першого кола диференційного каскаду підключено до першого входу 19 підсилювача-формування 18.1-18. n , а затвор p -канального транзистора 24 другого кола цього ж каскаду до другого входу 20 підсилювача-формування 18.1-18. n , причому кожне коло каскаду складається з двох послідовно з'єднаних стоками p - і n -канальних МДН-транзисторів, транзистори 25 і 23 в першому колі і транзистори 24 і 26 в другому колі відповідно, витоки p -канальних транзисторів 25 і 26 обох кіл диференційного каскаду підключено до шини джерела напруги V_{cc} 21, а їх затвори з'єднані між собою і підключені до точки з'єднання стоків транзисторів 23 і 25 першого кола цього ж диференційного каскаду, а витоки n -канальних транзисторів 23 і 24 обох кіл об'єднані зі стоком n -канального транзистора 27, витік якого підключено до шини "земля" 22, затвор його підключено до точки з'єднання стоків і затворів p - і n -канальних допоміжних транзисторів 28 і 29, причому витік p -канального допоміжного транзистора 28 підключено до шини джерела напруги V_{cc} 21, а витік n -канального транзистора 29 - до шини "земля" 22, до точки з'єднання затворів і стоків цих транзисторів 28 і 29 також підключено затвор n -канального транзисто-

ра 30 першого інвертора підсилювача-формування рахункових імпульсів 18.1-18. n , витік якого підключено до шини "земля" 22, а стік з'єднано зі стоком p -канального транзистора 31, витік якого підключено до джерела напруги V_{cc} 21, а затвор до точки з'єднання стоків p - і n -канальних транзисторів 26 і 24 другого кола диференційного каскаду, між затворами n -канальних транзисторів 23 і 24 якого підключені два паралельно з'єднані n -канальних транзистори 32 і 33, у яких затвор транзистора 32 підключено до шини джерела напруги V_{cc} 21, а затвор транзистора 33 до точки з'єднання стоків транзисторів 30 і 31 першого інвертора підсилювача-формування 18.1-18. n , до якої підключені також затвори p - і n -канальних транзисторів 34 і 35 другого інвертора, витік p -канального транзистора 34 якого підключено до шини джерела напруги V_{cc} 21, витік n -канального транзистора 35 підключено до шини "земля" 22, а точка з'єднання стоків цих транзисторів 34 і 35 є виходом 36 підсилювача-формування 18.1-18. n , який підключається до входу відповідного лічильника 4.1-4. n .

Детектор працює в такий спосіб.

На поверхню першої в складі детектора мікроканальної пластини (МКП) 1, розташованої в фокальній площині мас-спектрографа, поступають іони, положення яких на МКП 1 визначаються відношеннями маси до заряду конкретних іонів ізотопів досліджуваних елементів. Кожен канал МКП 1, в який поступив іон, працює в якості перетворювача іон - імпульс електронів, який поступає на площинку відповідного кондуктивного електрода 3.1-3. n , яка з'єднана з входом 19 відповідного підсилювача-формування 18.1-18. n , до якої підключено затвор n -канального транзистора 23 першого кола диференційного каскаду, а затвор p -канального транзистора 24 другого кола цього ж каскаду підключено до другого входу 20 відповідного підсилювача-формування 18.1-18. n , на який поступає опорна напруга $U_{оп}$ від джерела опорної напруги $U_{оп}$ 12.

В вихідному стані на затворах транзисторів 23 і 24 диференційного каскаду, виконаних таким чином, що крутість транзистора 24 менша крутість транзистора 23, встановлюється однакова опорна напруга $U_{оп}$ за рахунок зв'язку входів 19 і 20 через транзистори 32 і 33 (затвор першого з них постійно підключений до джерела живлення V_{cc} 33 і має сталу часу включення на порядок більшу, ніж у перемикального транзистора 33, щоб унеможливити випадкове спрацювання підсилювача-формування від імпульсів електронів, спричинених електронним шумом МКП), а так як витоки транзисторів 23 і 24 підключені до спільної точки, то їх керуючі напруги в цьому стані однакові. Оскільки крутість транзистора 24 менша крутість транзистора 23, то і струм в транзисторі 24 в цьому випадку значно менше струму транзистора 23. Транзистори 25 і 26 виконуються конструктивно однаковими, затвори їх підключені до спільної точки, витоки підключені до спільної шини (шини джерела живлення V_{cc} 21), стік транзистора 25 з'єднаний з його затвором, тому він знаходиться в насиченні, а транзистор 26, струм в ланцюзі якого значно менший, буде знаходитися в тріодній обла-

сті з малою напругою стік - витік. Тому напруга в вузлі «стік транзистора 26 - стік транзистора 24» буде високою, близькою до напруги шини живлення Vcc 21. При цьому р-канальний транзистор 31 закритий, вузол «стік транзистора 31 - стік транзистора 30» буде розряджений через транзистор 30, і напруга в цьому вузлі встановиться близькою до нуля, що приведе до запирання транзистора 35 і відпирання транзистора 34. В вузлі «стік транзистора 34 - стік транзистора 35», тобто на виході 36 підсилювача-формувача 18.1-18.n знову встановлюється напруга високого рівня, близька до напруги шини живлення Vcc 21.

Якщо прийнятий відповідним електродом імпульс заряду електронів спричиняє на затворі транзистора 23 диференційного каскаду напругу, що перевищує порогову, струм транзистора 23 зменшиться, і в вузлі «витік транзистора 23 - витік транзистора 24 - стік транзистора 27» струм, який витікає (струм транзистора 27), стає більшим того, що вливається (струм транзистора 24), потенціал в вузлі знижується, що приводить до збільшення напруги затвор-витік транзистора 24, струм цього транзистора починає зростати, що спричиняє розряд вузла «стік транзистора 24 - стік транзистора 26». Оскільки транзистор 24 знаходився і продовжує знаходитися в насиченні, струм його при зниженні потенціалу його стоку не буде зменшуватись до тих пір, поки він не вийде з насичення. Після цього його струм починає падати до тих пір, поки не зрівняється зі струмом транзистора 26, який при зниженні потенціалу на його витоку входить в режим насичення і починає працювати в режимі "дзеркала струму" транзистора 25. При цьому в вузлі «стік транзистора 24 - стік транзистора 26» встановлюється потенціал низького рівня, при якому відкривається транзистор 31, струм якого в цьому режимі перевищує струм транзистора 30, який працює в режимі "дзеркала струму" транзистора 29, і вузол «стік транзистора 31 - стік транзистора 30» заряджається. Це приводить до закриття транзистора 34, відкриття транзистора 35 і встановлення на виході 36 підсилювача-формувача 18.1-18.n низького рівня напруги, близького до нуля.

Коли потенціал вузла стоків транзисторів 30 і 31 перевищить потенціал на затворі транзистора 23 на величину більшу, ніж порогова напруга транзистора 33, транзистор 33 відкриється і почнеться зворотній процес. Вузол затвора транзистора 23 почне заряджатися до рівня опорної напруги Uop, струм транзистора 23 буде зростати, що визве зростання потенціалу в точці з'єднання витоків транзисторів 23 і 24 та стоку транзистора 27. При цьому зменшується керуюча напруга транзистора 24, його струм починає падати, потенціал в точці з'єднання стоків транзисторів 24 і 25 починає зростати, в результаті транзистор 24 входить в насичення, а транзистор 26 виходить із насичення і його струм також починає падати, доки струми транзисторів 24 і 26 не зрівняються. В вузлі стоків транзисторів 24 і 26 встановлюється висока напруга, близька до напруги джерела живлення Vcc 21, р-канальний транзистор 31 закривається, що призводить до розряду вузла стоків транзисторів 30 і

31 до напруги, близької до нуля, відпирання р-канального транзистора 34 і запирання п-канального транзистора 35. На виході 36 підсилювача-формувача 18.1-18.n знову встановлюється високий рівень напруги, близький до напруги джерела живлення Vcc 21.

Таким чином, в результаті падіння іонів на мікроканальну пластину 1 і створення лавин електронів, які заряджають відповідні електроди 3.1-3.n, на виході 36 відповідних підсилювачів-формуваців 18.1-18.n формуються рахункові негативні імпульси, які подаються на входи відповідних лічильників 4.1-4.n.

Коли кількість одиниць рахунку в лічильнику 4.1-4.n досягає максимального значення, на виході "Переповнення" 15 формується напруга низького рівня (ознака переповнення бодай одного лічильника 4.1-4.n). При цьому, вхід переповненого лічильника блокується, а інші (непереповнені) лічильники можуть продовжувати рахувати. Після завершення зчитування інформації з переповнених лічильників на виході "Переповнення" 15 знову встановлюється напруга високого рівня.

Рахування може бути також зупинено користувачем. Для цього треба подати напругу низького рівня на вхід "Стоп" 8. В цьому випадку блокуються входи всіх лічильників 4.1-4.n BIC 2.

Для виконання зчитування інформації з лічильників 4.1-4.n на вхід "Читання" 6 подається напруга високого рівня, на вхід "Такт" 7 - тактові імпульси зчитування (по низькому рівню кожного імпульсу виконується послідовне зчитування з лічильників 4.1-4.n BIC 2), на вхід "Початок читання" 9 - високий рівень імпульсу, який по спаду має перекривати низький рівень першого тактового імпульсу на вході "Такт" 7.

По спаду імпульсу на вході "Початок читання" 9 на вхід "Включення виходів" 10 треба подати напругу низького рівня, при цьому включаються формувачі вихідних сигналів 16.2 і інформація з лічильників 4.1-4.n з'являється на "Інформаційних виходах" детектора 14.1-14.N. "Інформаційні виходи" детектора 14.1-14.N, вихід "Переповнення" 15, відповідні формувачі вихідних сигналів 16.1-16.3.

Після закінчення зчитування останнього лічильника 4.n BIC, на виході "Кінець читання" 13 з'являється імпульс високого рівня, який може бути використано для подачі на вхід "Початок читання" 9 наступної BIC, детектора.

В BIC реалізуються три варіанти зчитування.

В першому варіанті зчитування виконується без припинення рахування. В цьому випадку блокується рахування тільки в тому лічильнику 4.1-4.n, інформація з якого зчитується. Після закінчення зчитування з поточного лічильника (зчитується інформація з наступного лічильника) виконується обнуління лічильника і знімається блокування рахування.

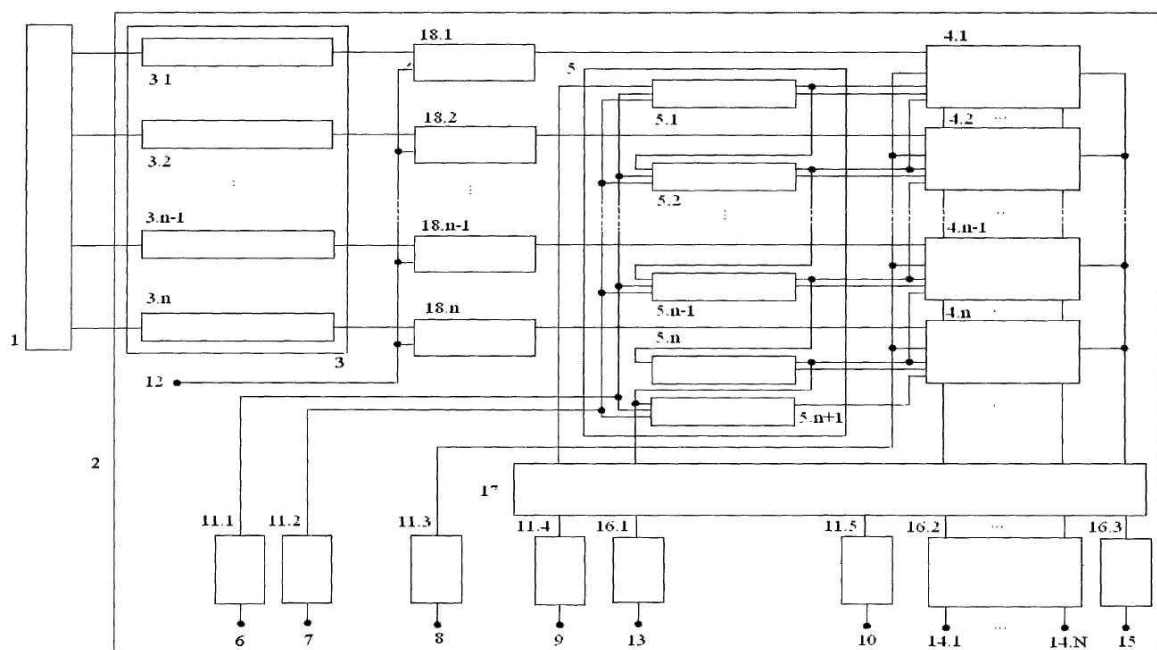
В другому варіанті по команді "Стоп" блокується рахування всіх лічильників і виконується послідовне зчитування інформації з наступним обнулінням зчитаного лічильника. Після закінчення зчитування блокування знімається і знову починається рахування.

В третьому варіанті зчитування проводиться після появи ознаки переповнення на виході "Переповнення" 15 бодай одного із лічильників 4.1-4.n.

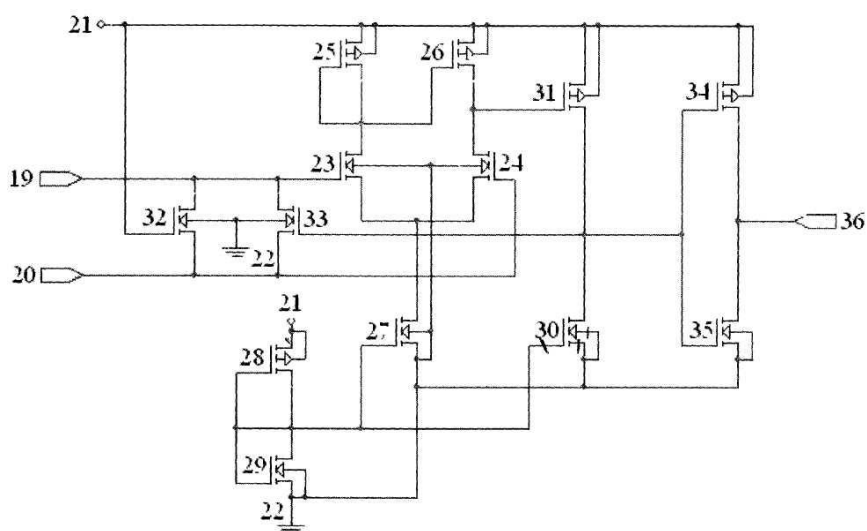
Використання підсилювача-формувача з диференційним каскадом на вході робить його нечувливим до відхилень параметрів транзисторів при виготовленні і експлуатації, дає можливість підвищити чутливість детектора і сталість його роботи.

Виконання підсилювача-формувача повністю на КМДН-транзисторах дає можливість підвищити його швидкодію і швидкодію детектора в цілому.

Таким чином, запропонований координатно-чутливий детектор іонів забезпечує підвищення чутливості, стабільності роботи і швидкодії.



Фиг.1



Фиг.2

