



Государственный комитет  
СССР  
по делам изобретений  
и открытий

# О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 1005216

(61) Дополнительное к авт. свид-ву —

(22) Заявлено 13.11.81. (21) 3353371/18-21

с присоединением заявки № —

(23) Приоритет —

Опубликовано 15.03.83. Бюллетень № 10

Дата опубликования описания 15.03.83.

(51) М. Кл.<sup>3</sup>

H 01 J 49/40

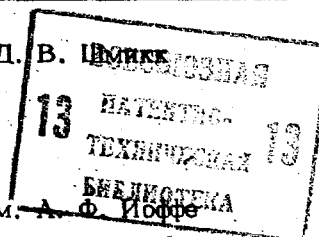
(53) УДК 621.384  
(088.8)

(72) Авторы  
изобретения

М. А. Иванов, Б. Н. Козлов, Б. А. Мамырин, Д.  
и В. Г. Шебелин

(71) Заявитель

Ордена Ленина физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе



### (54) ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ МАСС-СПЕКТРОМЕТР

Изобретение относится к динамической масс-спектрометрии и применяется для исследования процессов воздействия лазерного излучения на молекулы газовой струи.

Наиболее интересными результатами воздействия лазерного излучения на молекулы являются многофотонное поглощение и диссоциация молекул. Они проявляются при максимальных плотностях электромагнитных полей, которые достигаются только в импульсном режиме работы лазера. В ряде случаев требуется предварительное охлаждение исследуемых молекул, осуществляемое в расширяющейся газовой струе. Импульсный характер процесса и необходимость подачи образца в виде газовой струи чрезвычайно усложняют задачу масс-спектрометрического анализа продуктов взаимодействия.

Используемое для этих целей масс-спектрометры со стабильной траекторией движения ионов [1] обладают ограни-

ченным диапазоном измеряемых масс и позволяют за один импульс лазерного воздействия проанализировать количество только одной массовой компоненты. Поэтому для получения нескольких линий масс-спектра необходимо многократное повторение измерений, что ведет к росту погрешности из-за нестабильности работы лазера и газовой струи, значительному увеличению времени проведения эксперимента и увеличению расхода образца.

Продукты, импульсно возникающие в небольшом объеме взаимодействия лазерного излучения с молекулами струи, удобно анализировать с помощью времяпролетного масс-спектрометра. Он позволяет за один импульс лазерного воздействия получить весь масс-спектр продуктов взаимодействия.

Для быстрого анализа продуктов взаимодействия времяпролетным масс-спектрометром и для уменьшения потерь возбужденных молекул при тран-

спортировке и столкновениях необходимо облучение газовой струи лазерным светом производить непосредственно в области ионизации источника ионов.

Известен времяпролетный масс-спектрометр, содержащий импульсный источник ионов, дрейфовое пространство и приемник ионов. Источник ионов такого прибора содержит несколько ускоряющих ионы электродов, расположенных параллельно, и электронную пушку, помещаемую так, что электронный пучок проходит между этими электродами параллельно им [2].

Однако одновременный вывод газовой струи и лазерного излучения в этот источник ионов не осуществим, а значит с его помощью невозможно обеспечить исследование процессов взаимодействия лазерного излучения с молекулами струи.

Наиболее близким к изобретению является времяпролетный масс-спектрометр, содержащий импульсный источник ионов, дрейфовое пространство и детектор ионов. Источник ионов включает два электрода, ограничивающих область ионизации, и электронную пушку с коллектором электронов, расположенную так, чтобы ленточный пучок электронов проходил параллельно электродам [3].

Недостатком этого прибора является невозможность исследования с его помощью воздействия лазерного излучения на молекулы струи. Это связано с тем, что область ионизации источника ионов ограничена с четырех сторон двумя электродами, электронной пушкой и коллектором электронов. Таким образом, одновременное введение в этот объем пересекающихся газовой струи и лазерного излучения невозможно.

Целью изобретения является расширение функциональных возможностей за счет исследования процессов воздействия лазерного излучения на молекулы газовой струи с помощью времяпролетного масс-спектрометра.

Поставленная цель достигается тем, что в времяпролетном масс-спектрометре, включающем импульсный источник ионов с электронной пушкой и двумя ограничивающими область ионизации электродами, дрейфовое пространство и приемник ионов, в источник ионов введен шелевой коллиматор газовой струи, два квантовых генератора и две расположенные по разные стороны источника ионов диафрагмы для ввода излучения кванто-

вых генераторов, выполненные с возможностью перемещения, при этом коллиматор расположен в плоскости, перпендикулярной плоскости электродов, ограничивающих область ионизации, средняя плоскость распространения газовой струи лежит между указанными электродами, оптические оси квантовых генераторов, проходящие через центры диафрагм совпадают и лежат в средней плоскости распространения газовой струи, электронная пушка расположена за первым электродом, ограничивающим область ионизации, выполненным со щелью для прохождения электронного луча, а второй электрод выполнен со щелью для пропускания ионов из области ионизации, причем щели в обоих электродах параллельны оси лазерных лучей.

Шелевой коллиматор необходим для введения в область ионизации между электродами источника ионов газовой струи так, чтобы она проходила не касаясь элементов конструкции источника. Две диафрагмы лазерных лучей служат для ввода в область ионизации между электродами источника ионов лазерного излучения таким образом, чтобы лучи лазеров пересекали среднюю плоскость газовой струи и не касались этих электродов.

Расположение электронной пушки так, чтобы пучок электронов проходил между ограничивающими область ионизации электродами параллельно им (как в прототипе и других времяпролетных масс-спектрометрах) теперь конструктивно невозможно. Поэтому она помещена за первым ограничивающим область ионизации электродом, а этот электрод выполнен со щелью для прохождения электронного пучка в область ионизации. Угол наклона плоскости электронного пучка к плоскости первого электрода может быть практически любым, отличным от нуля. Предпочтительны углы, близкие к  $45^\circ$ , так как увеличение угла наклона ведет к уширению пакета ионов, вырезаемого (из всех ионизованных молекул) щелью второго электрода, что, в свою очередь, снижает разрешающую способность масс-спектрометра. Уменьшение этого угла неизбежно приводит к конструктивному увеличению расстояния до зоны ионизации и практически уменьшает плотность электронного тока в ней, что снижает чувствительность прибора.

Зона взаимодействия молекул газовой струи с лазерным излучением представляет некий цилиндрический объем, образованный пересечением лазерных лучей и газовой струи. Поэтому для обеспечения максимальной чувствительности времяпролетного масс-спектрометра необходимо обеспечить максимальное перекрытие этого цилиндрического объема ленточным электронным пучком. Это достигается тем, что упомянутая щель в первом электроде параллельна оси цилиндрического объема, а электронная пушка расположена так, что ленточный электронный пучок проходит через эту щель и пересекает ось цилиндрического объема.

Для пропускания ионов облученных молекул в пространство дрейфа во втором ограничивающем область ионизации электроде прорезана щель, ось которой параллельна оси лазерных лучей. При этом большинство ионов, полученных из молекул газовой струи, не облучавшихся лазерным светом, не проходят в щель второго электрода.

Для увеличения плотности электронного тока, что ведет к увеличению чувствительности масс-спектрометра, в источнике ионов могут использоваться несколько электронных пушек, расположенных за первым электродом так, что плоскости ленточных электронных пучков пересекаются по оси, параллельной оси лазерных лучей. В этом случае в первом электроде прорезается несколько щелей.

На фиг. 1 изображена блок-схема времяпролетного масс-спектрометра; на фиг. 2 - конструкция источника ионов.

Предлагаемое устройство состоит из импульсного источника 1 ионов, дрейфового пространства 2 и приемника 3 ионов. Источник ионов включает щелевой коллиматор 4, формирующий газовую струю, две диафрагмы 5 и 6 лазерных лучей. Электронные пушки 7 и 8 расположены за первым ограничивающим область ионизации электродом 9, в котором прорезаны две щели 10 и 11 для прохождения ленточных электронных пучков. Во втором электроде 12 выполнена щель 13 для пропускания ионов из области ионизации.

Устройство работает следующим образом.

В область ионизации между электродами 9 и 12 через щелевой коллиматор 4 попадает ленточная струя исследуемого газа. В определенный момент времени

некоторый участок этой струи (определяемый положением диафрагм лазерных лучей 5 и 6) облучается импульсом лазерного света. Затем этот же участок газовой струи облучается электронными пучками от пушек 7 и 8. Образовавшиеся ионы выталкиваются из области ионизации импульсным напряжением, приложенным к электродам 9 и 12, в дрейфовое пространство 2. Ионы могут образовываться из остаточного газа и рассеянных молекул газовой струи на всем протяжении ленточных электронных пучков, но через щель 12 во втором ограничивающем область ионизации электроде 12 преимущественно проходят ионы, находившиеся в облученной лазерным светом зоне газовой струи. Прошедшие в дрейфовое пространство 2 ионы разделяются по массам и последовательно поступают на приемник 3 ионов.

**Пример.** Был создан времяпролетный масс-спектрометр для исследования процессов воздействия лазерного излучения на молекулы газовой струи. В источнике ионов этого прибора применены три ускоряющих ионы электрода (для повышения разрешающей способности масс-спектрометра), два из которых ограничивают область ионизации. Размеры этих электродов  $60 \times 30 \times 2 \text{ мм}^3$ . Расстояние между электродами, ограничивающими область ионизации, 5 мм для беспрепятственного прохождения лазерных лучей и газовой струи.

Щелевой коллиматор имеет размеры щели  $1 \times 10 \text{ мм}^2$  и формирует газовую струю, средняя плоскость которой параллельна ускоряющим ионы электродам. Диафрагмы лазерных лучей имеют отверстие диаметром 1 мм и установлены так, что лазерные лучи пересекают газовую струю под углом  $90^\circ$  и лежат в ее средней плоскости.

В источнике ионов установлены две электронные пушки с электростатической фокусировкой, что позволило создать в области ионизации плотность электронного тока около  $20 \text{ мА/см}^2$ . Сечение каждого электронного пучка имеет размеры  $1 \times 12 \text{ мм}^2$ . Плоскости электронных пучков расположены под углом  $45^\circ$  к плоскости ограничивающего область ионизации электрода, в котором на расстоянии 5 мм друг от друга прорезаны наклонные щели размером  $1 \times 12 \text{ мм}^2$  для прохождения электронных пучков.

Во втором, ограничивающем область ионизации, электроде выполнена щель размером  $1 \times 10$  мм<sup>2</sup> для выделения ионов из облученной лазерным светом зоны. Щель эта смещена по направлению движения газовой струи на 0,3 мм от проекции оси лазерных лучей (на такое расстояние смешаются молекулы струи за время от начала ионизации до выхода ионов из области ионизации). Для компенсации скорости ионов, связанной со скоростью движения газовой струи, на выходе источника ионов поставлены отклоняющие пластины, расстояние между которыми 4 мм.

Для увеличения разрешающей способности в масс-спектрометре применена дополнительная электростатическая фокусировка ионных пакетов по принципу масс-рефлектрона. Для этого в масс-спектрометре поставлен отражатель ионов, а траектория движения ионов в камере прибора выбрана V-образной. Отражатель ионов состоит из двух электродов, создающих отражающее поле, глубина которого 120 мм.

В качестве приемника ионов применены две микроканальные пластины диаметром 46 мм.

Длина трубы камеры анализатора 750 мм.

При этих габаритах разрешающая способность масс-спектрометра равна 600 по основанию массовых пиков. Чувствительность его такова, что при плотности исследуемого газа в струе  $10^8$  молекул/см<sup>3</sup> на приемник ионов приходит один ион за каждый цикл выталкивания ионов из источника. При плотности газа в струе  $10^{11}$  молекул/см<sup>3</sup> колебание амплитуды основных массовых пиков спектра (за счет статистического разброса числа ионов в пакете, приходящем на приемник) составляет 5%. Этого достаточно для обнаружения и исследования большинства интересующих нас эффектов.

Так, например, при воздействии мощного ИК-лазерного излучения на молекулы гексафторида серы ( $SF_6$ ), охлажденные в расширяющейся газовой струе, изменение амплитуды пиков  $SF_5^+$  и  $SF_3^+$  достигает 50%. Таким образом, после единичного импульса лазера можно получить с достаточной достоверностью информацию об эффекте воздействия ИК-излучения на молекулы  $SF_6$ .

При излучении воздействия лазерного излучения на различные по изотопному

составу молекулы гексафторида серы масс-спектрометр позволил определить селективное изменение масс-спектров молекул  $S^{32}F_6$  и  $S^{34}F_6$  при одновременном их возбуждении.

Новый времяпролетный масс-спектрометр также позволяет измерять плотности различных компонентов газа в струе, групповые скорости молекул в ней, снимать масс-спектры возбужденных лазерным светом молекул, наблюдать процессы дезактивации молекул, а при больших плотностях газа в струе наблюдать пики кластеров.

Предлагаемое изобретение дает возможность изучать детали сложного процесса взаимодействия лазерного излучения с молекулами газовой струи, что актуально для лазерного разделения изотопов.

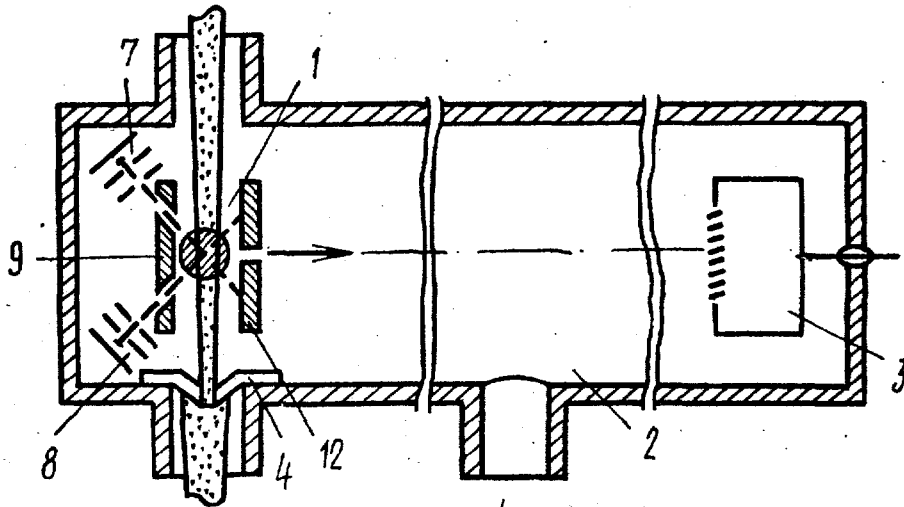
#### Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Времяпролетный масс-спектрометр, содержащий импульсный источник ионов с электронной пушкой и двумя ограничивающими область ионизации электродами, дрейфовое пространство и приемник ионов, отличающийся тем, что с целью расширения функциональных возможностей, в источник ионов введен целевой коллиматор газовой струи, два квантовых генератора и две расположенные по разные стороны источника ионов диафрагмы для ввода излучения квантовых генераторов, выполненные с возможностью перемещения, при этом коллиматор расположен в плоскости, перпендикулярной плоскости электродов, ограничивающих область ионизации, средняя плоскость распространения газовой струи лежит между указанными электродами, оптические оси квантовых генераторов, проходящие через центры диафрагм, совпадают и лежат в средней плоскости распространения газовой струи, электронная пушка расположена за первым электродом, ограничивающим область ионизации, выполненным со щелью для прохождения электронного пучка, а второй электрод выполнен со щелью для пропускания ионов из области ионизации, причем щели в обоих электродах параллельны оси лазерных лучей.

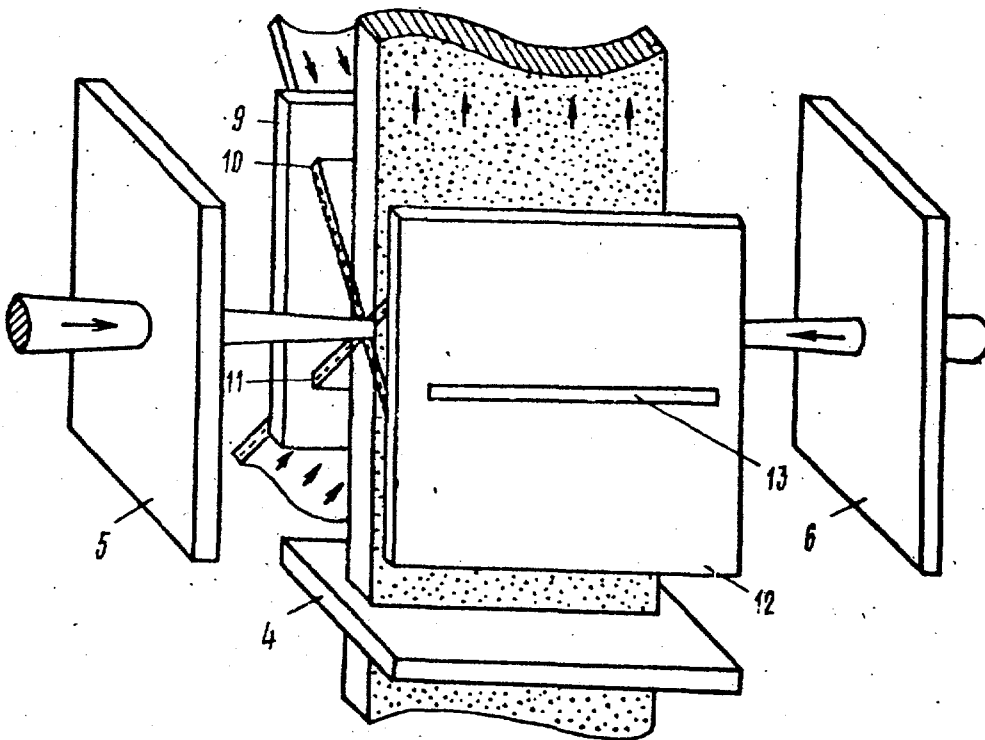
Источники информации, принятые во внимание при экспертизе  
 A.Cossio M.J., Schulz P.A., Lee Y.T., Shen Y.R. Molecular Beam Study of Multiphoton Dissociation of  $SF_6$ . "Phys. Rev Let.", 38, 17, 1977.

2. Ионов Н. И., Мамырин Б. А.  
"Масс-спектрометр с импульсным источником ионов". ЖТФ 23, № 11, 2101, 1953.

3. Авторское свидетельство СССР  
№ 198034, М01 J 49/40, 09.06.67.  
(прототип).



Фиг. 1



Фиг. 2