

Е. В. Мамонтов, В. С. Гуров

Радиочастотные времяпролетные масс-анализаторы ионов

Москва
Горячая линия – Телеком
2012

УДК 621.384.82

ББК 32.851

М22

Рецензенты: доктор физ.-мат. наук, профессор *М. И. Явор*, главный научный сотрудник Института аналитического приборостроения РАН (С.-Петербург); доктор физ.-мат. наук, профессор *Н. В. Коненков*, Рязанский государственный педагогический университета имени С.А. Есенина

Мамонтов Е. В., Гуров В. С.

М22 Радиочастотные времяпролетные масс-анализаторы ионов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 98 с.: ил.

ISBN 978-5-9912-0231-2.

Содержит результаты разработки и исследования методов пространственно-временной фокусировки немонотонных заряженных частиц в двумерных линейных высокочастотных электрических полях. Представлены ионно-оптические схемы, аналитические и численные модели времяпролетных масс-анализаторов ионов с высокочастотными полями – радиочастотных масс-рефлектронов. Приведены результаты компьютерного моделирования траекторий движения заряженных частиц в радиочастотных масс-рефлектронах, оценки их аналитических возможностей.

Для специалистов и научных работников, работающих в области масс-спектрометрических методов микроанализа вещества, руководителей и экспертов инновационных и венчурных компаний, будет полезна аспирантам и студентам соответствующих специальностей.

ББК 32.851

Адрес издательства в Интернет WWW.TECHBOOK.RU

Научное издание

Мамонтов Евгений Васильевич, Гуров Виктор Сергеевич

Радиочастотные времяпролетные масс-анализаторы ионов

Монография

Компьютерная верстка И. А. Благодаровой

Обложка художника В. Г. Ситникова

Подписано в печать 05.11.2011. Печать офсетная. Формат 60×88/16. Уч. изд. л. 8,13. Тираж 500 экз.

ISBN 978-5-9912-0231-2

© Е. В. Мамонтов, В. С. Гуров, 2012

© Издательство «Горячая линия – Телеком», 2012

ВВЕДЕНИЕ

Среди многообразия способов анализа вещества масс-спектрометрические методы являются наиболее эффективными. Возможность масс-разделения и регистрации отдельных атомов и молекул вещества потенциально обеспечивает масс-спектрометрическим методам высокую чувствительность. В основе современных масс-спектрометрических методов исследования состава вещества лежат различия в траекториях движения заряженных частиц с неодинаковыми удельными зарядами $z = e/m$, где e и m – заряд и масса частицы, в электрических и магнитных полях. Масс-селективные свойства обнаруживаются при движении заряженных частиц как в статических, так и в динамических полях, и соответственно различают масс-спектрометры статического и динамического типа. Предметом нашего рассмотрения являются приборы динамического типа, в которых масс-селективное разделение заряженных частиц происходит под действием переменных ВЧ электрических полей.

Траектории движения заряженных частиц в ВЧ полях имеют колебательный характер, что позволяет при ограниченных размерах электродных систем анализаторов удерживать в них частицы длительное время и получать высокие масс-селективные свойства приборов. Наиболее распространенными являются динамические масс-анализаторы ионов с двумерными и трехмерными линейными электрическими полями, образованными гиперболическими и гиперболоидными электродными системами. Математической основой для исследования процессов разделения ионов в линейных ВЧ полях являются дифференциальные уравнения второго порядка с периодическими коэффициентами – уравнения Матье [1]. Большинство функций Матье, применяемых в технической и прикладной математике, было найдено при решении практических задач, одной из которых явилась масс-спектрометрия.

Предложенные в 1953 году В. Паулем фильтр масс и ионная ловушка явились результатом удачного синтеза положений теории функций Матье и идей фокусировки заряженных частиц в электрических и магнитных линзах [2]. Разнообразие методов удержания и разделения ионов в линейных ВЧ электрических

полях позволило создать широкий класс масс-спектрометрических приборов с высокими аналитическими и потребительскими свойствами [3, 4, 5]. Конструктивная гибкость квадрупольных анализаторов позволяет использовать их в таких областях, как биология, фармацевтика, пищевая промышленность, медицина, мониторинг окружающей среды, а также в фундаментальных и прикладных физико-химических исследованиях [7]. Наблюдается рост финансирования зарубежными фирмами исследований и разработок новых типов приборов, в основе которых лежит принцип масс-разделения ионов в квадрупольных ВЧ полях. В данной работе исследуются фокусирующие свойства линейных электрических ВЧ полей и возможность создания на их основе времяпролетных масс-спектрометров нового типа – радиочастотных масс-рефлектронов.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Методы масс-разделения заряженных частиц по времени пролета	5
Траектории движения заряженных частиц в линейных ВЧ электрических полях с параметром Маттье $a = 0$	10
Возвратные колебания заряженных частиц в ВЧ полях с двумерным квадратичным распределением потенциала.....	28
Возвратные колебания ионов в линейных ВЧ полях с двумерным линейным распределением потенциала.....	36
Масс-разделение ионов по времени пролета в гиперболических анализаторах монопольного типа.....	42
Масс-разделение ионов по времени пролета в гиперболических анализаторах дипольного типа.....	59
Радиочастотный масс-рефлектор с плоскими дискретными электродами.....	65
Времяпролетное масс-разделение ионов в пространственно-периодических линейных ВЧ электрических полях	77
Источники ионов для радиочастотных времяпролетных масс-спектрометров.....	84
Заключение	93
Список литературы	94