

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б 734

P13-86-195

Д.Д.Богданов; О.А.Орлова, А.М.Родин,
С.И.Сидорчук, В.А.Тимаков, Г.М.Тер-Акопян

ИМПУЛЬСНОЕ
ЛАЗЕРНОЕ ПЕРЕЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО

Направлено в журнал "Приборы
и техника эксперимента"

1986

Одним из направлений повышения относительной чувствительности масс-спектрометрического метода определения состава вещества является переход к использованию для анализа перезаряженной компоненты ионного тока, типа $2^+ - 1^+$, $3^+ - 1^+$ /1/. Повышение чувствительности при этом достигается, во-первых, за счет снижения на несколько порядков доли молекулярных ионов в первоначальной многозарядной компоненте пучка (см., например, /2/) и, во-вторых, за счет разрушения молекулярных ионов в перезарядных соударениях. В масс-спектрометрах с лазерным или искровым источником ионов переход на работу с перезаряженной компонентой требует сравнительно небольших изменений в схеме масс-спектрометра, в основном, включения в схему эффективного перезарядного устройства с количеством вещества на пути пучка порядка $10^{15} - 10^{16}$ ат./см². В настоящей работе описана конструкция и приведены рабочие характеристики импульсного лазерного перезарядного устройства (ЛПУ) масс-спектрометра ЛИДИА-М /3/.

ЛПУ (см. рис. 1) расположено внутри камеры лазерного источника ионов (1) между последним электродом ионной оптики (2) и входной щелью масс-спектрометра (3). Импульс излучения твердотельного оптического квантового генератора ЛТИПЧ-8, работающего в режиме модулированной добротности, создает на поверхности исследуемого образца лазерную плазму, из которой, после свободного разлета внутри экспандера длиной 100 мм, при помощи двухэлектродной ионной оптики формируется пучок ионов. Ускоряющее напряжение 40 кВ, длительность импульса тока (3 - 5) мкс, количество ионов $5 \cdot 10^{10}$ в импульсе, частота работы источника до 50 Гц. Перезарядка ионов происходит при прохождении пучка через расширяющееся в вакууме облако паров (4), которое образуется в результате воздействия лазерного излучения (7) на поверхность мишени (5). В качестве источника лазерного излучения в ЛПУ используется излучатель ИЗ-25, работающий в режиме модулированной добротности ($E_{\text{имп}} = 40$ мДж, $\tau = 15$ нс, $\lambda = 1,06$ мкм).

Излучение лазера фокусируется на поверхность мишени двухлинзовой оптической системой, состоящей из объектива (8) и подвижного окуляра (9), что позволяет менять фокусное расстояние оптической системы в пределах (40 - 55) мм. Минимальный диаметр светового пятна в районе фокуса равен 150 мкм, расстояние от края объектива до оси пучка составляет 35 мм. Работа лазера источника и ЛПУ синхронизована во времени. Длительность задержки между выстрелами регулируется в интервале от 0 до 1,0 мс, точность синхронизации 0,5 мкс.

ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

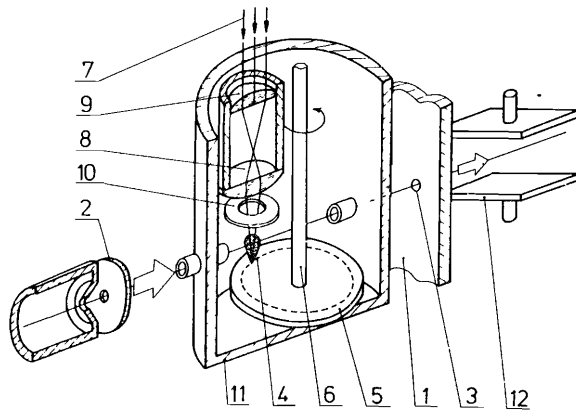


Рис.1. Схема лазерного перезарядного устройства масс-спектрометра.

В качестве мишени в ЛПУ используется технический эбонит (ориентировочный состав $(C_5H_8)_3S_4$, $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$). Для увеличения ресурса работы ЛПУ мишень (5) выполнена в виде диска диаметром 54 мм и толщиной 2,5 мм, закрепленного на вращающейся оси (6). Поворот мишени в процессе работы осуществляется без нарушения вакуума. Расстояние от поверхности мишени до оси пучка составляет 10 мм, полная длина пути пучка в перезарядном устройстве 40 мм. Кольцевой монитор (10), расположенный перед объективом, используется для измерения выхода заряженной компоненты в паровом облаке.

Для защиты ионно-оптической системы источника от плазмы, образующейся на поверхности мишени, перезарядное устройство смонтировано внутри медного экрана (11). Ввод и вывод пучка в ЛПУ осуществляется через цилиндрические коллиматоры диаметром 6 мм и длиной 20 мм. После перезарядного устройства пучок попадает в электростатический дефлектор (12), затем в магнитооптическую систему масс-спектрометра. Регистрация ионных токов в фокальной плоскости масс-спектрометра осуществляется цилиндром Фарадея или сборкой из микроканальных пластин.

При взаимодействии лазерного излучения с плотностью мощности $10^9-10^{10} \text{ Вт/см}^2$ с твердым телом энергетическое распределение образующихся нейтралей (т.е. нейтральных атомов и молекул) лежит в интервале от тепловых энергий до десятков электрон-вольт. Изменяя время задержки между выстрелами лазеров, можно проводить перезарядку ионов пучка на нейтралах с различной энергией. На рис. 2 приведены экспериментальные значения коэффициентов перезарядки

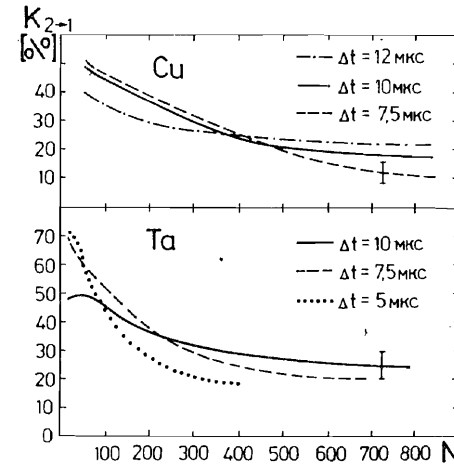


Рис.2. Зависимость коэффициента перезарядки от числа выстрелов и времени задержки.

но, что с ростом числа выстрелов выход более быстрых нейтралей (при меньших временах задержки) падает быстрее. На наш взгляд, это связано с уменьшением средней плотности мощности лазерного излучения и, следовательно, температуры плазменно-парового облака по мере углубления кратера. В пользу такого предположения свидетельствует и различие в поведении выходов заряженной и медленной нейтральной компонент, приведенное на рис. 3. Кроме того, при глубинах кратера больше (0,3-0,5) мм существенным может стать вклад нейтралей, возникающих при взаимодействии атомов со стенками кратера.

В качестве мишеней были также испытаны углерод, магний и свинец. Результаты измерений качественно хорошо согласуются с данными, приведенными для эбонита, однако максимальные значения коэффициентов перезарядки получаются на уровне (15-25)%. Необходимое повышение плотности парового облака можно получить при увеличении энергии лазера до (100-150) мДж и диаметра пятна фокусировки до 600 мкм.

По сравнению со стационарными или струйными паровыми мишенями использование ЛПУ позволяет резко уменьшить расход вещества и газоотделение мишени, существенно упростить конструкцию и повысить надежность работы, расширить круг элементов и веществ, на которых осу-

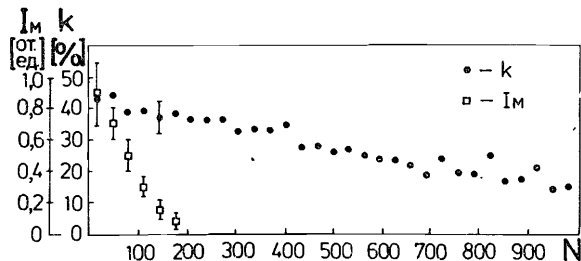


Рис.3. Зависимость выхода заряженной (I_M) и медленной нейтральной компонент (время задержки 10 мкс) от числа выстрелов в одну точку мишени.

ществляется перезарядка. Все это в сочетании с высокими значениями коэффициентов перезарядки и возможностью продолжительной работы позволяет рассчитывать на широкое использование ЛЛУ при работе с импульсными пучками.

Авторы благодарны академику Г.Н.Флерову за постоянную поддержку работы и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.M. Ter-Akopian, G.M. Arzumanyan, D.D. Bogdanov, Ju.A. Bykovsky, Z. Kozlowski, A.M. Rodin, S.M. Silnov, S.V. Stepanov, G.N. Flerov. JINR, E13-82-639, Dubna, 1982.
2. S. Becker, H.-J. Dietze. Int. J. Mass Spectrom. Ion Phys., 51(1983), p.325-346.
3. Д.Д. Богданов, Г.Н. Иванов, И.В. Колесов, О.А. Орлова, А.М. Родин, В.А. Тимаков, Г.М. Тер-Акопьян. Сборник "Вопросы атомной науки и техники". Серия "Техника физического эксперимента", I(26), 1986, с.26-29.

Рукопись поступила в издательский отдел
2 апреля 1986 года.

Богданов Д.Д. и др.

P13-86-195

Импульсное лазерное перезарядное устройство

Описана конструкция и приведены характеристики лазерного перезарядного устройства для масс-спектрометра, в котором перезарядка осуществляется при прохождении пучка ионов через плазменно-паровое облако, создаваемое за счет взаимодействия импульса YAG-лазера, работающего в режиме гигантского импульса, с поверхностью твердой мишени. Значения коэффициентов перезарядки ~ 60% для ионной компоненты $2^+ - 1^+$, ~ 20% для ионной компоненты $3^+ - 1^+$. Эти результаты позволяют рассчитывать на широкое использование лазерного перезарядного устройства.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1986

Перевод О.С. Виноградовой

Bogdanov D.D. et al.

P13-86-195

A Pulsed Laser Charge Exchange Device

Construction and characteristics of the laser charge exchange device for a mass-spectrometer are described. The charge exchange is realized during the ion beam passage through the plasma vapour cloud produced by pulse on the YAG laser operating in the giant-pulse mode which interacts with a solid surface target. Charge exchange coefficient magnitudes are approx. 60% for $2^+ - 1^+$ ion component, and approx. 20% for $3^+ - 1^+$ ion component. The results obtained show wide opportunities of laser charge exchange device application.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1986