

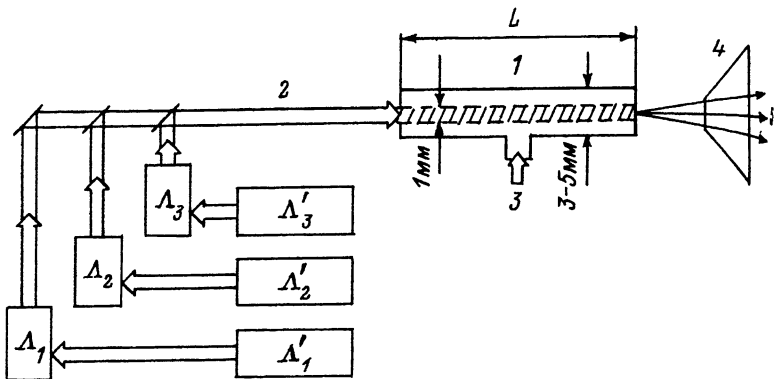
## СЕЛЕКТИВНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ ИОННЫЙ ИСТОЧНИК

Г.Д. Алхазов, Э.Е. Берлович,  
В.Н. Пантелеев

В связи с интенсивным использованием масс-сепараторов, работающих „в линию” с ускорителями заряженных частиц, существует необходимость в создании эффективных источников ионов, обладающих к тому же высокой избирательностью при ионизации различных элементов. В широкоиспользуемых ионных источниках либо ионизируются атомы всех элементов (например, это имеет место в ионном источнике плазменного типа), либо осуществляется ионизация некоторого ограниченного круга элементов, как это происходит в источнике поверхностной ионизации. Однако можно сделать ионный источник, в котором будут ионизоваться только атомы определенного элемента. Таковым является источник, в котором ионизация атомов производится методом многоступенчатого резонансного возбуждения атомов лазерным излучением в автоионизационные состояния (или в состоянии сплошного спектра). Высокая селективность ионизации в данном методе достигается благодаря тому, что возбуждение атомов осуществляется несколькими лазерами, каждый из которых настроен на соответствующую резонансную частоту выбранной схемы возбуждения атома данного элемента.

В простейшем варианте такой селективный лазерный ионный источник может быть выполнен в следующем виде. Атомы, образующиеся в мишени в результате реакций с быстрыми заряженными частицами, выходят из горячего контейнера через трубку, формирующую направленный атомный пучок. Выходящий из трубки атомный пучок пересекается несколькими (двумя или тремя) лучами импульсных лазеров, которые и производят ионизацию. Однако в таком лазерном ионном источнике трудно получить высокую эффективность ионизации вследствие недостаточно высокой мощности лазеров на последней ступени возбуждения (ионизации) атомов и недостаточно высокой частоты следования импульсов лазерного излучения. Дополнительным недостатком такого ионного источника является относительно большой фазовый объем формируемого ионного пучка, что может затруднить его использование в масс-сепараторах и масс-спектрометрах.

Лучшие характеристики ионного источника могут быть получены в варианте, когда лазерные лучи, ионизирующие атомы, вводятся непосредственно в ампулу, соединенную с мишенным устройством. Существенно большая эффективность ионизации здесь достигается за счет того, что атомы, блуждая в объеме ампулы до того, как они покидают ее через выходное отверстие, многократно пересекают область, подвергаемую лазерному облучению. Ионный источник такого типа описан в работе [1]. Вывод ионов из ионного источника здесь осуществляется импульсным электрическим полем. Ка-



Схематическое изображение селективного лазерного ионного источника. 1 - нагреваемая ампула ионного источника, в которой происходит ионизация атомов; 2 - сведенные вместе 3 лазерных луча, осуществляющие трехступенчатое возбуждение атомов; 3 - соединительная трубка для напуска из мишенного устройства атомов в ионный источник; 4 - вытягивающий электрод; 5 - ионный пучок;  $L_1, L_2, L_3$  - перестраиваемые лазеры на красителях;  $L'_1, L'_2, L'_3$  - импульсные лазеры накачки на парах меди. Заштрихована область ионизации.

мера этого источника частично изготовлена из изолятора, поэтому ионный источник может работать лишь при относительно невысоких температурах (по-видимому, не более  $2000^\circ\text{C}$ ) и он не может быть использован для получения ионов труднолетучих элементов (вследствие их оседания на стенки источника).

Здесь нами сообщается о другом варианте селективного лазерного ионного источника [2], предназначенного для получения ионов широкого круга элементов, который, как нам представляется, может быть эффективно использован при работе с масс-сепараторами и масс-спектрометрами.

Принцип действия описываемого ионного источника поясняется на рисунке. Ионный источник представляет собой нагреваемую током полую трубку (1) из тугоплавкого материала (это могут быть  $Nb, Mo, Ta, W, Re$ ). Продукты реакций, образующиеся при облучении быстрыми протонами вещества мишени, нагретой до высокой температуры, в результате диффузии попадают в ионный источник, где и осуществляется их ионизация лазерным пучком (2), входящим в ионный источник через отверстие в заднем торце источника. Лазерный пучок состоит из трех сведенных вместе лучей от трех перестраиваемых лазеров. Частоты лазеров настраивают в резонанс с частотами переходов атомов выбранного элемента. Перестраиваемые лазеры на красителях ( $L_1, L_2, L_3$ ) накачиваются импульсными лазерами на парах меди ( $L'_1, L'_2, L'_3$ ), работающими синхронно с частотой повторения импульсов 10 кГц. Высокая

эффективность ионизации атомов в полости источника достигается, как уже говорилось, тем, что атомы, блуждая в объеме источника до тех пор, пока они не покинут его через отверстия в переднем и заднем торцах, многократно пересекают область прохождения лазерного излучения.

Существенной особенностью описываемого ионного источника является то, что при достаточно высокой температуре источника около стенок возникает так называемая пристеночная разность потенциалов в результате интенсивной эмиссии электронов. При этом электрическое поле у стенок камеры источника направлено так, что оно препятствует попаданию положительных ионов на стенки и, таким образом, значительно уменьшает вероятность их рекомбинации. Ионизовавшиеся лазерным излучением атомы оказываются как бы в электростатической ловушке и блуждают там до тех пор, пока не попадут в область вытягивающего поля у выходного отверстия. Конечно, часть ионов может рекомбинировать с электронами, эмитированными с поверхности источника, а также наиболее быстрые ионы могут преодолеть пристеночный потенциал и нейтрализоваться на поверхности.

Полная эффективность ионного источника зависит от частоты и интенсивности лазерного излучения, материала и температуры стенок и его геометрии. Эффективность ионного источника для случая, когда диаметры лазерного луча, отверстия для ввода луча и отверстия, через которые вытягиваются ионы, равны друг другу, может быть оценена по формуле

$$P = 1 - \exp\left(-2\sqrt{\frac{2m}{\pi k T}} L \nu P_{i, \text{ион}}\right),$$

где  $m$  — масса атома,  $k$  — постоянная Больцмана,  $T$  — температура трубки,  $L$  — длина трубки ионного источника,  $\nu$  — частота повторения лазерных импульсов, а  $P_{i, \text{ион}}$  — вероятность ионизации атома в одной лазерной засветке, если атом попал в поле облучения лазерами. Здесь предполагается, что потери атомов и ионов в ампуле ионного источника пренебрежимо малы. Для конкретного случая  $m = 150$  а.е.,  $T = 2500$  К,  $L = 5$  см,  $\nu = 10$  кГц и  $P_{i, \text{ион}} = 0.1$  находим  $P \approx 19\%$ , т.е. видим, что эффективность такого источника может быть достаточно высокой.

Такой ионный источник особенно выгодно использовать на „фабриках“ ионных пучков радиоактивных ядер. В сочетании с масс-сепаратором предложенный ионный источник позволит получать интенсивные ионные пучки, достаточно чистые как по массе, так и по заряду ядра. Более подробное описание рассматриваемого ионного источника приводится в работе [3].

- [1] Andreev S.U., Mishin V.I., Letokhov V.S. - Optics comm., 1986, v. 57, p. 317.
- [2] Алхазов Г.Д., Берлович Э.Е., Пантелеев В.Н. - Авторское свидетельство № 131 8112, пр. от 16.01.1985.
- [3] Алхазов Г.Д., Берлович Э.Е., Пантелеев В.Н. - Препринт ЛИЯФ № 1365, Л., 1988.

Ленинградский институт  
ядерной физики им. Б.П. Константинова  
АН СССР

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 12

26 июня 1988 г.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГИИ ТРУБЧАТОГО РЭП  
МИКРОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ,  
ФОРМИРУЕМОГО С ПОМОЩЬЮ МНОГООСТРИЙНОГО  
ВЗРЫВОЭМИССИОННОГО КАТОДА

В.Г. Ковалев, О.П. Печерский,  
Ю.М. Савельев, К.И. Ткаченко,  
В.И. Энгелько

Исследования по генерации трубчатых релятивистских электронных пучков (РЭП) в диодах магнетронного типа с многоострийным взрывоэмиссионными катодами (МВК) [1-3] показали, что такие диоды позволяют получать РЭП большой длительности и с более стабильными параметрами, чем диоды с магнитной изоляцией с крошечными катодами. В диоде с МВК была достигнута длительность импульса  $\sim 160$  мкс [1]. При этом скорость расширения внешней границы пучка  $\sim 10^4$  см/с, что обуславливает слабое изменение геометрии пучка в течение большей части импульса. Недостатком диодов магнетронного типа с МВК является то, что при ускоряющем напряжении выше  $\sim 250$  кВ уменьшается длительность РЭП и ухудшается стабильность работы диода. Причиной такого ухудшения является возникновение паразитной эмиссии со вспомогательными элементами катодного узла. В данной работе описывается электронооптическая система, позволяющая существенно увеличить энергию электронов в пучке, формируемом в диоде с МВК, без ухудшения его стабильности.

Исследования проводились на модернизированном ускорителе „ИНУС“ [4]. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Она включает в себя две ускорительные трубки. В первой ускорительной трубке 3 (УТ<sub>1</sub>), как и в [1-3], размещен МВК. В ней формируется электронный пучок, ток которого определяется генератором