

И. с. используются при создании источников тока (батареи, аккумуляторов, топливных элементов), конденсаторов (ионисторов) с большой уд. ёмкостью, в выпрямляющих устройствах, реле времени, при конструировании разнообразных датчиков и т. д.

Лит.: Укше Е. А., Букин Н. Г. Твёрдые электролиты, М., 1977; Чеботин В. Н., Перфильев М. В., Электроника твёрдых электролитов, М., 1978; Физика супер-ионных проводников, пер. с англ., Рига, 1982.

А. А. Волков, Ю. Я. Гуревич.

ИОННЫЙ ИСТОЧНИК — устройство для получения в вакууме *ионного пучка* — пространственно сформированного потока ионов, скорость направленного движения к-рых много больше их тепловых скоростей. И. и. — неотъемлемая часть ускорителей, инжекторов быстрых атомов для термоядерных систем, установок эл.-магн. разделения изотопов, *масс-спектрометров*, технол. установок разл. назначения и др. Важнейшие параметры И. и.: полный ток и плотность тока ионного пучка; энергия ионов; характерный поперечный размер пучка; мера интенсивности пучка — *первая и с* — отношение полного тока к ускоряющему напряжению в степени $3/2$; мощность пучка — произведение полного тока на энергию ионов; качество пучка, его сформированность пространственная и скоростная — *эфф. угол расходимости* и энергетич. разброс ионов; компонентный состав пучка — положит. и отрицат. ионы, атомарные, молекулярные, многозарядные ионы; энергетич. эффективность И. и. — отношение мощности пучка к мощности потребляемой И. и. от сети; газовая эффективность — отношение потока сформированных ионов к потоку газа, подаваемого в И. и. По временным характеристикам И. и. делятся на импульсные, квазистационарные и стационарные.

И. и. состоит из двух осн. узлов: эмиттера ионов и эл.-статич. системы, с помощью к-рой ионы извлекаются, ускоряются и формируются в направленный поток, т. н. *ионно-оптич. система* (ИОС). В простейшем виде И. и. состоит из эмиттера и ускоряющего электрода — *электратора* с отверстием для выхода ионного пучка. Для дополнит. фокусировки ускоренного пучка используются электростатич. и *магнитные линзы*. ИОС разл. И. и. строятся по единому принципу, и гл. фактором, определяющим тип И. и., является метод создания эмиттера ионов.

В зависимости от физ. природы эмиттера ионов различают неск. типов И. и.: 1) И. и. с поверхностной ионизацией, где эмиттером ионов служит поверхность накаливаемого материала, работа выхода к-рого превышает потенциал ионизации падающих на него атомов; 2) *плазменные*, в к-рых ионы отбираются с поверхности плазмы, образуемой в большинстве случаев с помощью газового разряда; 3) «*полевые*», в к-рых ионы образуются благодаря действию сильного эл. поля ($\sim 10^8$ В/см) на и vicinity поверхности твёрдого тела: за счёт полевого испарения вещества и полевой ионизации атомов окружающей газовой среды. В последние годы получили распространение вместо твёрдых жидкометаллич. эмиттеры.

Поверхностные И. и. Один из известных способов получения ионов состоит в том, что поток атомов, направленный на поверхность твёрдого тела, выбивает из неё положит. и отрицат. ионы. Так, напр., интенсивные пучки положит. ионов Cs с плотностью до $0,1$ А/см² получают при диффузии атомов Cs через накаливаемый пористый W. Десорбируемый с нагретой поверхности атом Cs удаляется преим. в ионизованном состоянии, как ион Cs⁺, потому что для его ионизации надо затратить меньше энергии, чем *работа выхода* электрона из W, и, следовательно, более вероятным является захват «общего» электрона металлом, а не отделяющейся от поверхности частицей. Если энергия *сродства к электрону* больше работы выхода, то в системе атом — поверхность твёрдого тела «общий» электрон захватывается не твёрдым телом, а атомом и образуются отрицат. ионы. Так, напр., на поверхности бориды лантана получены

отрицат. ионы пода с плотностью тока от 1 до 10 А/см². Наиб. интенсивными источниками отрицат. ионов являются плазменно-поверхностные (см. ниже).

Плазменные И. и. получили самое широкое распространение, особенно для создания интенсивных пучков положит. и отрицат. ионов, а также пучков *многозарядных ионов*. Эмиттером ионов служит плазма, создаваемая дуговым разрядом низкого давления в газоразрядной камере (ГРК). Для лучшего удержания ионов и быстрых катодных электронов в объёме разряда используется магн. поле, что повышает одновременно энергетич. и газовую эффективность И. и. Однако применение магн. поля приводит к ухудшению однородности плазмы на эмиссионной границе и наличию высокого уровня шумов в плазме и колебаний в извлекаемом ионном пучке. Этих недостатков нет в И. и. без внеш. магн. поля (ИБМ), но они обладают значительно меньшими эффективностями. В 80-е гг. большое распространение получили весьма эффективные И. и. с периферийным магн. полем (ИПМ), окружающим ГРК. Т. о., существует неск. разл. систем плазменных эмиттеров, а в основу ИОС положен единый для всех типов И. и. принцип — создание многоапертурной эл.-статич. системы, состоящей из 3—4 электродов, в каждом из к-рых содержится большое количество (десятки и сотни) идентичных апертур круглой или щелевой формы. Профили и размеры апертур отвечают оптимальному формированию элементарного пучка (луча). Каждая ячейка функционирует независимо. Общий поток (пучок) складывается из отд. лучей, направление и угол расходимости к-рых определяют геометрию всего потока. Поэтому необходимо тщательное согласование параметров газоразрядной плазмы (концентрации ионов и темп-ры по всей поверхности эмиттера) с характеристиками ИОС — геометрией электродов и напряжённостью эл. поля. Однородность эмиссии ионов по всей поверхности необходима потому, что граница плазмы не является «жесткой» (в отличие от поверхности катода в электронных системах), а изменяет своё положение и кривизну поверхности (т. н. *мениск*) при изменении концентрации плазмы или напряжённости ускоряющего эл. поля. Были разработаны мощные И. и. (для термоядерных целей) с большими поверхностями плазм. эмиттеров (в сотни см²) и многоапертурными ИОС, обеспечивающими получение пучков мощностью в неск. МВт.

К широко распространённым плазм. И. и. относятся *дуоплазмотрон*, в к-ром для увеличения степени ионизации столб разряда подвергается меха-

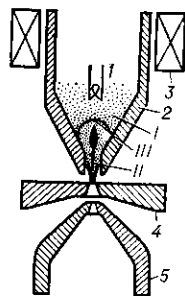


Рис. 1. Схема дуоплазмотрона: 1 — катод; 2 — промежуточный электрод; 3 — катушка электромагнита; 4 — анод; 5 — экстрактор; I — катодная плазма; II — анодная плазма; III — двойной слой, ускоряющий и фокусирующий электроны.

нич. и магн. сжатие с помощью диафрагм и магн. поля, нарастающего к анодному отверстию малого диаметра. Сжатие разрядной дуги в узком канале промежуточного электрода 2 (рис. 1) сопровождается возникновением плазм. «шугурия» со скачком потенциала в слое, отделяющем катодную плазму I от более плотной анодной плазмы II. Слой III ускоряет и фокусирует электроны, выходящие из плазмы I в плазму II. Вблизи анода 4 плотная плазма ещё сжимается сильным неоднородным магн. полем, сечение плазмы вблизи выходного отверстия уменьшается, а концентрация возрастает до 10^{14} — 10^{15} см⁻³. Такая плазма эмитирует ионы с плотностью в десятки А/см², т. е. образуется «точечный» эмиттер. Однако ИОС не способна формировать пучок с такими плотностями тока и потребовалось создание расширительной плазмы за анодным отверстием и дополнит. камеры с антикатодом. Это позволило получить разряд с осцил-