

пользуют разряды с осциллирующей электронов в магн. поле, ВЧ-разряды в условиях электронно-циклотронного резонанса, создающие электростатич. ловушки для ионов. При использовании электронно-лучевых И. и. однозарядные ионы, оказавшиеся в интенсивном электронном пучке с большой энергией, не могут покинуть создаваемую здесь объёмным зарядом и торцевыми электродами глубокую потенциальную яму и постепенно лишаются всё большего количества своих электронов при столкновениях с быстрыми электронами пучка.

Наиб. успехи в получении ионов с высокой кратностью заряда, в частности 25-зарядных ионов Со, «голых» тяжёлых ядер, достигнуты при воздействии на твёрдое тело мощным лазерным излучением, создающим плотную нагретую плазму с многозарядными ионами.

Лит.: Зандберг Э. Я., Ионов Н. И., Поверхностная ионизация, М., 1969; Габович М. Д., Физика и техника плазменных источников ионов, М., 1972; Инжекторы быстрых атомов водорода, М., 1981; Габович М. Д., Жидкометаллические эмиттеры ионов, «УФН», 1983, т. 140, с. 137; Габович М. Д., Плещинцев В. В., Семашко Н. Н., Пучки ионов и атомов для управляемого термоядерного синтеза и технологических целей, М., 1986.

**ИОННЫЙ МИКРОСКОП** — электроно-оптич. прибор, в к-ром для получения изображений применяется ионный пучок, создаваемый термоионным или газоразрядным ионным источником. По принципу действия И. м. аналогичен электронному микроскопу. Проходя через объект и испытывая в разл. его участках рассеяние и поглощение, ионный пучок фокусируется системой эл.-статич. или магн. линз и создаёт на экране или фотослое увеличенное изображение объекта.

И. м. интересен тем, что обладает более высокой разрешающей способностью по сравнению с электронным микроскопом. Длина волны де Бройля для ионов в  $\sqrt{M/m}$  раз меньше, чем для электронов ( $m$  — масса электронов,  $M$  — масса ионов) при одинаковом ускоряющем напряжении, вследствие чего в И. м. очень малы эффекты искажения, обусловленные дифракцией, к-рые ограничивают в электронном микроскопе его разрешающую способность. Др. преимущества И. м. — меньшее влияние изменения массы ионов при больших ускоряющих напряжениях и лучшая контрастность изображения. Напр., контрастность изображения органич. плёнок толщиной в 5 нм, вызванная рассеянием ионов, в неск. раз превышает контрастность, вызванную рассеянием электронов.

К недостаткам И. м. относятся: заметная потеря энергии ионов даже при прохождении их через очень тонкие объекты, что приводит к разрушению объектов; большая хроматич. aberrация; разрушение люминофора экрана ионами и слабое фотогр. действие ионов. Эти недостатки привели к тому, что, несмотря на преимущества, И. м. по сравнению с электронным не имеет пока широкого применения. Более эффективен И. м. без линз — ионный проектор.

**ИОННЫЙ ПРОЕКТОР** (полевой ионный микроскоп, автоионный микроскоп) — безлинзовый ионно-оптич. прибор для получения увеличенного в неск. млн. раз изображения поверхности твёрдого тела (чаще металла). С помощью И. п. можно различать детали поверхности, разделённые расстояниями порядка 0,2—0,3 нм, что даёт возможность наблюдать расположение отд. атомов в кристаллич. решётке. И. п. был изобретён в 1951 Э. Мюллером (E. W. Müller), к-рый ранее построил электронный проектор.

Принципиальная схема И. п. показана на рис. 1. Положит. электродом и одновременно объектом, поверхность к-рого изображается на экране, служит острей тонкой проводящей иглы. Атомы (или молекулы) газа, заполняющего объём прибора, ионизуются в сильном электрич. поле вблизи поверхности острей, отдавая ему свои электроны. Возникшие положит. ионы приобретают под действием поля радиальное ускорение, устремляются к флуоресцирующему экрану (потенциал

к-рого отрицателен) и бомбардируют его. Свечение каждого элемента экрана пропорц. плотности приходящего на него ионного тока. Поэтому распределение свечения на экране воспроизводит в увеличенном масштабе распределение вероятности образования ионов вблизи острей, отражающее структуру поверхности объекта. Масштаб увеличения  $m$  примерно равен отношению радиуса экрана  $R$  к радиусу кривизны острей  $r$ , т. е.  $m=R/r$ .

Вероятность прямой ионизации атома (молекулы) газа электрич. полем оказывается значительной, если на расстояниях порядка размеров атома (молекулы) газа создаётся падение потенциала порядка ионизац. потенциала этой частицы (см. Ионизация полем). Это значит, что напряжённость поля должна достигать  $\sim(2-6) \cdot 10^8$  В/см, т. е. 20—60 В/нм. Столь сильное поле легко создать у поверхности острей (на расстоянии 0,5—1 нм от неё) при достаточно малом радиусе кривизны поверхности — от 10 до 100 нм. Именно поэтому (шаряду со стремлением к большим увеличениям) образец в И. п. изготовлен в виде тонкого острей.

Вблизи острей электрич. поле неоднородно — над ступеньками кристаллич. решётки или отд. выступающими атомами его локальная напряжённость увеличивается; на таких участках вероятность ионизации полем выше и количество ионов, образующихся в единицу времени, больше. На экране эти участки отображаются в виде ярких точек.

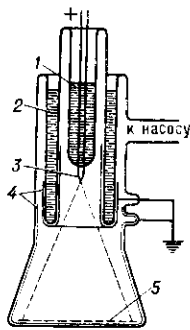


Рис. 1. Схема ионного проектора: 1 — жидкий водород; 2 — жидкий азот; 3 — острей; 4 — проводящее кольцо; 5 — экран.

Иными словами, образование контрастного изображения поверхности определяется наличием у неё локального микрорельефа. Др. фактором, влияющим на контраст изображения, является электронная природа атома; так, напр., в слове Со и Pt более электроотрицат. атомы Pt отображаются как яркие точки, а находящиеся рядом атомы Со не видны.

Изображение, формируемое И. п., характеризуется низкой яркостью. Отдельный выступающий на поверхности образец атом «эмитирует» примерно от  $10^3$  до  $10^6$  ионов/с, к-рые формируют на экране изображение обычно  $\sim 1$  мм<sup>2</sup>. Непосредственное фотографирование такого изображения требует времени экспозиции в случае использования водорода или гелия порядка  $10-10^3$  с при потенциале на эмиттере от 20 до 4 кВ. Следовательно, для наблюдения и распознавания поверхностей, к-рые нестабильны при приложенном изображающем поле, и фотографирования изображений подобных поверхностей в доли секунды необходимо усиление яркости изображений.

Повышение ионного тока (а следовательно, яркости и контрастности изображения) за счёт повышения давления газа и увеличения динамики подачи газа к острю малоэффективно и имеет недостатки. Напр., давление обычно не превышает  $10^{-3}$  мм рт. ст., иначе начинается газовый разряд; а усиленная подача газа может привести к разрушению экрана вследствие бомбардировки. Для получения ярких и контрастных изображений в И. п. используются фотоэлектронные усилители яркости, волоконно-оптич. пластины, микрокапальные пластины, а также конвертирование ионного изображения в электронное.

Разрешающая способность И. п.  $\delta$  находится в обратной зависимости от тангенциальной составляющей скорости иона, т. е. чем меньше кинетич. энергия ионизирующей частицы, тем выше  $\delta$ . Поэтому острей И. п. обычно охлаждается до 4—78 К. При этом увеличивается аккомодация частиц изображающего газа. В сильном