

электрич. поле атомы газа адсорбируются на участках с наибольшей локальной напряжённостью поля (т. н. полевая адсорбция). Их присутствие даёт возможность получать высокодетализованное изображение (рис. 2), т. к. полевая ионизация изображающих

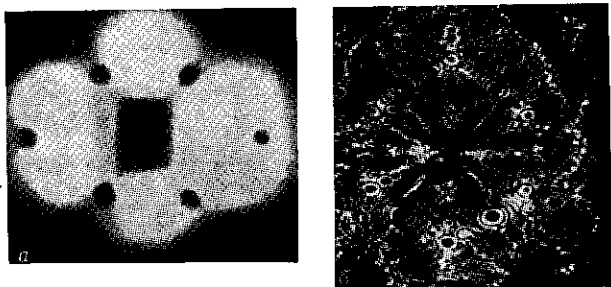


Рис. 2. Изображение поверхности вольфрамового острия радиусом 95 нм при увеличении в  $10^4$  раз в электронном проекторе (а) и в гелиевом ионном проекторе (б) при темп-ре 22 К. На первом изображении можно видеть только расположение разл. кристаллич. плоскостей на поверхности острия; с помощью ионного проектора можно различить атомную структуру ступеней кристаллической решётки (светлые точки на кольцах).

частиц облегчается при полевой адсорбции на ранее адсорбированных частицах. Чем выше потенциал ионизации частиц, тем большее разрешение они обеспечивают. Лучшими изображающими газами являются гелий и неон. Однако при этом требуются более сильные электрич. поля, что ограничивает круг объектов И. п. из-за полевой испарения (см. *Десорбция полев.*). Примесь к рабочему газу другого снижает величину изображающего поля за счёт понижения порогового поля полевой адсорбции.

Часто в И. п. применяют внутренний, микроканальный умножитель (МКУ), к-рый конвертирует ионный ток в электронный, многократно его усиливает и обеспечивает яркое изображение на экране. МКУ позволили использовать разнообразные рабочие газы, понижать их давление и тем самым значительно расширили возможности И. п.

И. п. широко применяются для исследования атомной структуры поверхности металлов, сплавов и соединений. С его помощью определяются параметры *поверхностной диффузии* отд. атомов и их элементарных ассоциатов; при этом выявляются механизмы перемещения, что недоступно для др. методов. С помощью И. п. наблюдают и изучают двухмерные фазовые превращения; в атомном масштабе исследуют внутр. дефекты в металлах и сплавах (вакансии, атомы в междоузлиях, дислокации, дефекты упаковки и др.); исследуют потенциалы атомного взаимодействия, электронные свойства элементарных поверхностных объектов; анализируют объёмы образцов посредством управляемого полойного удаления поверхностных атомов, используя полевое испарение при криогенных темп-рах. Исследования с применением И. п. привели к радикальному пересмотру представлений о границах зёрен в поликристаллах. Сочетание И. п. с масс-спектрометром, регистрирующим отд. ионы, привело к изобретению *атомного зонда*, расширившего аналитич. возможности прибора.

Лит.: Мюллер Э., Понь Т., Автоионная микроскопия, пер. с англ., М., 1972; и х же, Полевая ионная микроскопия, полевая ионизация и полевое испарение, пер. с англ., М., 1980.

**ИОННЫЙ ПУЧОК** — направленный поток положит. (одно- или многозарядных) или отрицат. ионов, имеющий обычно малые поперечные размеры по сравнению с длиной и движущийся со скоростью, значительно превышающей хаотич. тепловые скорости составляющих его частиц. Впервые И. п. наблюдал Э. Гольдштейн (E. Goldstein) в 1886; в катоде газоразрядной трубки были проделаны отверстия, через к-рые про-

ходили ионы, ускоренные в межэлектродном промежутке, и создавали за катодом слабое свечение (т. н. канал о-вые лучи). В настоящее время И. п. получают с помощью различных *ионных источников* и формируют системами электрической и магнитной фокусировки. И. п. могут иметь вид цилиндра, конуса, ленты и т. п. Поведение И. п. зависит от нач. направленной скорости ионов, их тепловых скоростей, внеш. электрич. и магн. полей, парных столкновений ионов с частицами среды, а также от собственного объёмного заряда пучка и магн. поля его тока. Важным параметром И. п., характеризующим влияние объёмного заряда на его свойства, является *первая пс*  $P=I/U^{3/2}$ , где  $I$  — ток пучка, а  $U$  — ускоряющая ионы разность потенциалов. Пучки с пост. *первая пс* при одинаковых размерах подобны друг другу. Хотя разброс тепловых (хаотич.) скоростей ионов может быть мал по сравнению с их направленной скоростью, часто именно тепловые скорости ограничивают возможную фокусировку И. п., искажая его форму. Это качество пучка характеризуется т. н. *эмиттансом*, связанным с проекцией фазового объёма пучка на плоскость, к-рый приблизительно вычисляют по ф-ле:  $V_{\Phi}=2R_0(2T_i/Mc^2)^{1/2}$ , где  $R_0$  — радиус плазмы, служащей источником ионов с темп-рой  $T_i$ , выраженной в единицах энергии,  $M$  — масса иона. В отсутствие частиц противоположного знака осесимметричный И. п. расширяется вдоль оси  $z$  под действием собственного заряда и профиль И. п. описывается ф-лой:

$$f\left(\frac{R}{R_0}\right) = 2^{-3/4} I^{1/2} \left(\frac{M}{e}\right)^{1/4} U^{-3/4} R_0^{-1} z,$$

где  $f(x)$  — известная табулированная ф-ция:

$$f(x) = \frac{1}{2} \int_1^x \frac{dy}{V \ln y}.$$

Для сохранения формы И. п. их объёмный заряд должен быть скомпенсирован зарядом частиц противоположного знака. Наиб. распространена «газовая» компенсация объёмного заряда в И. п. При столкновении нек-рых положит. ионов пучка с атомами остаточного газа образуются электроны и относительно медленные положит. ионы. Последние выталкиваются из пучка электрич. полем, а электроны накапливаются в нём, несмотря на то, что этому препятствуют кулоновские столкновения их с первичными ионами. Так достигается не полная, но значит. компенсация объёмного заряда в пучке положит. ионов (рис. 1, а). Иначе происходит газовая

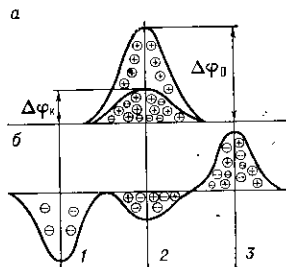


Рис. 1. Радиальное распределение потенциала: а — в пучке положительных ионов до компенсации ( $\Delta\Phi_0$ ) и после неё ( $\Delta\Phi_K$ ); б — в пучке отрицательных ионов при различных давлениях газа: 1 — в высоком вакууме; 2 — при большом давлении, когда пучок в значительной мере компенсирован; 3 — при большом давлении, когда произошло обращение знака потенциала.

компенсация объёмного заряда в пучке отрицат. ионов (рис. 1, б). В этом случае при малом давлении газа накапливаемые медленные положит. ионы также лишь частично компенсируют объёмный заряд И. п. Однако при достаточно большом давлении газа происходит *перекompенсация* объёмного заряда: за счёт накопления большого числа медленных положит. ионов потенциал в пучке изменяет свой знак и происходит «газовая фокусировка» пучка отрицательных ионов.

Др. способ компенсации объёмного заряда И. п., состоит в «принудительном» введении в И. п. пучков зарядов противоположного знака, т. е. в совмещении пуч-