

ударом; ψ — ф-ция, слабо отличающаяся от 1, при не слишком больших отношениях T_e/T ($0,95 \leq \psi \leq 1,2$ при $1 \leq T_e/T \leq 10$). Полученная зависимость ионного тока j_i от параметров плазмы проверялась экспериментально с помощью зондовых и спектральных измерений наиб. точно в низковольтном дуговом разряде. Приведённые выше зависимости для j_i и L_i справедливы при $L_i \gg l_i$ (l_i — длина свободного пробега иона в нейтральных атомах), т. е. когда плазма в приэлектродном слое слабо ионизована. В противоположном предельном случае ($L_i < l_i$) L_i теряет физ. смысл, т. к. установление ионизационного равновесия происходит на расстоянии от электрода, меньшем или сравнимом с l_i . На таком расстоянии движение ионов из плазмы к электроду нельзя описывать в терминах диффузии или подвижности. В этом случае физ. смысл имеет величина $L_i' = v_a / n v_e \sigma_i(T_e)$ — длина, на к-рой ионизуются десорбирующиеся с поверхности электрода атомы ($v_a = \sqrt{2kT/\pi m_a}$ — ср. скорость десорбирующихся атомов). L_i' должна быть меньше l_{ia} — длины свободного пробега десорбированного атома, чтобы атом ионизовался прежде, чем столкнётся с ионом. В этом случае ионный ток из плазмы на электрод $j_i \sim en\sqrt{kT_e/m_i}$, где n — концентрация плазмы на границе с ленточной оболочкой. На рис. 5 приведена эксперим. зависи-

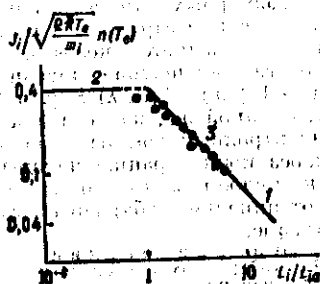


Рис. 5. Зависимость ионного тока из равновесной частично ионизованной плазмы на электрод от L_i/l_{ia} . 1 — расчёт для $L_i/l_{ia} \gg 1$; 2 — для $L_i/l_{ia} \ll 1$; 3 — результаты эксперимента в низковольтном дуговом разряде в Св.

мость j_i из равновесной частично ионизованной плазмы на электрод как ф-ция отношения L_i/l_{ia} (l_{ia} — длина свободного пробега иона в атомах). При малых и больших значениях L_i/l_{ia} эксперим. результаты совпадают с предельными выражениями для j_i . В приведённом выше рассмотрении предполагалось, что протяжённость области ионизации L_i превышает длину L_e установления максвелловского распределения электронов. Если $L_i \leq L_e$, то скорость ионизации в приэлектродном слое существенно влияет на неравновесность ф-ции распределения электронов. Вблизи катода это приводит к увеличению скорости ионизации вследствие увеличения частоты ударов первого рода и актов прямой ионизации электронным ударом за счёт появления в плазме несрелаксировавших быстрых электронов катодной эмиссии.

В плазме молекулярных газов явления в приэлектродном ионизационно-рекомбинационном слое усложняются вследствие появления молекулярных ионов. При достаточно большом давлении плазмообразующего вещества и низкой темп-ре электрода молекулярные ионы возникают в приэлектродных слоях даже в тех случаях, когда в осн. объёме плазмы они диссоциированы. Каналы рождения и гибели молекулярных ионов многообразны: конверсия атомарных ионов в молекулярные, ассоциативная ионизация, диссоциация, диссоциативная рекомбинация и др. Плазма, образованная молекулярными ионами, вследствие большой скорости рекомбинации обычно находится в состоянии ионизационно-рекомбинационного равновесия, а концентрация такой плазмы мала по сравнению с концентрацией плазмы в осн. объёме. Поэтому возникновение молекулярных ионов в холодных приэлектродных слоях приводит к уменьшению концент-

рации плазмы, а следовательно, и величин ионного тока, отводимого из плазмы на электрод.

Выравнивание температур компонентов плазмы в приэлектродном слое. Передача энергии от электронов атомам и ионам приводит к разогреву тяжёлой компоненты и к выравниванию темп-р T и T_e . Такая ситуация реализуется, напр., в дуговых разрядах, горящих при атмосферном и более высоком давлении. Но в приэлектродном слое темп-ра T тяжёлой компоненты понижается, а тепло, выделяемое в тяжёлой компоненте за счёт разности темп-р $T_e - T$, отводится потоком теплопроводности от тяжёлой компоненты на электрод. Протяжённость приэлектродной области понижения темп-ры — порядка длины температурной релаксации L_T , к-рая в слабоионизованной плазме атомарного газа равна $L_T \sim (m_e \kappa_a / m_i k n)^{1/2}$, где κ_a — теплопроводность атомов, $\tau = \tau_{ea} \tau_{ei} / (\tau_{ea} + \tau_{ei})$ — эфф. время релаксации электронов по импульсу при рассеянии на атомах и ионах. В плазме атомарных газов обычно $L_T > l_i$; в плазме молекулярных газов длина L_T существенно сокращается вследствие возбуждения колебаний и вращений молекулы электронным ударом с последующей передачей колебаний и вращений энергии на поступательной степени свободы. Для определения хода темп-ры T в приэлектродном слое нужно совместно с уравнениями теплопроводности решать систему уравнений колебательной кинетики для молекул. При грубых оценках отношение m_e/m_i в выражении для L_T заменяют на δ ($\delta \gg m_e/m_i$). Здесь δ — доля энергии, теряемая электроном при столкновении с молекулой, к-рая известна в ряде случаев по результатам расчётов и экспериментов.

Катодные пятна. В дуговых и искровых разрядах с холодным катодом на поверхности катода образуются катодные пятна — сильно разогреваемые области размерами 10^{-2} — 10^{-4} см, к-рым примыкает ярко светящаяся плазма, состоящая полностью или частично из материала катода. Катодное пятно перемещается по поверхности и является источником высокоскоростных струй плазмы. Обычно горение дуги начинается с появления быстроперемещающихся пятен (скорость $\sim 10^3$ — 10^4 см/с), к-рые затем переходят в медленноперемещающиеся пятна (скорость 10 — 10^2 см/с). В катодных пятнах катодное падение напряжения обычно имеет величину ~ 10 — 20 В, ток на одно пятно порядка десятков-сотен А.

Принадлежащие явления в дуговых разрядах значительно менее изучены, чем процессы в прикатодной области. В дуговых разрядах низкого и ср. давления ($p < 4$ атм) переход от распределённого по аноду разряда к контрагированному с дуговым эрозийным пятном происходит, когда режим горения дуги с задерживающим электроны анодным падением напряжения переходит в режим с ускоряющим электроны анодным падением. Образование анодного пятна сопровождается ионизацией материала анода, увеличением концентрации плазмы в прианодной области и тока на анод. Такой процесс может быть определяющим и для др. сильноточных дуговых разрядов.

Приэлектродные явления в тлеющем разряде. В этом типе разряда катодная область заключена между катодом и положительным столбом и состоит из астонового тёмного пространства, катодного свечения и катодного тёмного пространства, области отрыва, свечения и фарадеева тёмного пространства. Плотность тока на катоде при тлеющем разряде зависит от рода газа, его давления и материала катода. При изменении разрядного тока меняется только площадь токового пятна на катоде, а катодное падение напряжения U_c и толщина катодного слоя остаются неизменными (нормальный тлеющий разряд). В аномальном тлеющем разряде, когда вся площадь катода занята током, катодное падение напряжения и плотность тока увеличиваются с увеличением тока разряда. В тлеющем разряде осн. падение напряжения сосредоточено между катодом и отрицат. свечением, здесь преобладает ионный прост-