

2.2 Эмиссионные процессы

2.2.1 Ионная эмиссия

Ионная эмиссия — испускание положительных и отрицательных ионов поверхностью конденсированной среды под воздействием какого-либо иницирующего возбуждения. Происходит в результате получения атомами или молекулами эмиттера энергии, достаточной для преодоления сил, удерживающих их на поверхности, и приобретения заряда. Нагревание материала и тепловое испарение его частиц обуславливают термоионную эмиссию. При этом испускаются только однократно заряженные ионы. Электрические поля напряжённостью $\sim 10^7$ В/см у поверхности вызывают полевую ионную эмиссию. При этом образуются однозарядные и многозарядные положительные ионы. Облучение материала фотонами или электронами может сопровождаться удалением частиц с поверхности, часть которых испускается в виде ионов (фотонно-ионная и электронно-ионная эмиссия). Бомбардировка поверхности ускоренными ионами или атомами приводит к выбиванию частиц из поверхностного слоя.

Ионная эмиссия широко используется для создания ионных источников, а также для диагностики поверхности и приповерхностного слоя твёрдого тела.

2.2.2 Ионно-ионная эмиссия

Ионно-ионная эмиссия (вторичная ионная эмиссия) — испускание ионов конденсированной средой при бомбардировке её ионами. В результате передачи частицам кинетической энергии и импульса от первичных бомбардирующих ионов происходит распыление. Ионизация распылённых частиц происходит в процессе или после вылета в результате электронного обмена. При этом могут быть выбиты как отрицательные, так и положит., ионы, в основном и в возбуждённом состояниях. В пучке вторичных ионов присутствуют многозарядные ионы и ионы соединений. Количество многозарядных ионов растёт с энергией ϵ_0 бомбардирующих ионов. Наблюдаются также заряженные скопления из многих атомов (кластерные ионы), но их число невелико.

Процесс характеризуется коэффициентом ионно-ионной эмиссией, S^+ , равным отношению потока вторичных ионов данного типа к потоку первичных попов. Присутствие в камере или на поверхности электро-отрицательного газа, напр. O_2 , повышает S^+ на несколько порядков; присутствие электро-положительного газа увеличивает эмиссию отрицательных ионов.

Эмиссия зависит от энергии первичных ионов ϵ_0 и начинается с некоторой пороговой энергии порядка нескольких десятков эВ. В этом диапазоне энергий S^+ растёт быстрее, чем коэффициент распыления S , достигает максимума и начинает падать с увеличением E_0 , как и S . С возрастанием угла ν падения ионов (отсчитываемого от нормали к поверхности) S^+ увеличивается. Для монокристаллич. мишени зависимость $S^+(\nu)$ немонотонна: эмиссия минимальна, когда направление падения ионов совпадает с направлением низкоиндексных кристаллографических осей. Коэффициент S^+ растёт с увеличением массы бомбардирующих ионов. S^+ является немонотонно убывающей функцией атомного номера материала мишени. Коэффициент S^+ увеличивается с уменьшением энергии ионизации атомов мишени и сложным образом зависит от температуры мишени. При невысоких температурах S^+ меняется за счёт разложения соединений, содержащих ионы материала мишени и очистки поверхности. Начиная с некоторых температур, когда поверхность уже очищена, S^+ не зависит от температуры. При температурах фазовых переходов S^+ испытывает существенные изменения.

Энергетический спектр положит., вторичных ионов имеет максимум при энергиях ϵ порядка несколько эВ и «хвост» в сторону больших энергий. Для кластерных ионов спектр сужается и сдвигается в сторону меньших энергий. Энергетический спектр отрицательных ионов более широк и смещён в сторону больших энергий. Пространственное распределение вторичных ионов похоже на распределение распылённых нейтральных частиц и зависит от энергии и углов падения бомбардирующих ионов и структуры мишени. Для поликристаллов, бомбардируемых нормально падающими ионами с энергией порядка нескольких кэВ, пространственное распределение близко к изотропному. При наклонном падении первичных ионов эмиссия максимальна вблизи зеркального угла. Из монокристаллов наибольшее число ионов вылетает в направлениях более плотной упаковки атомов.

Существуют две теории ионно-ионной эмиссии. Одна рассматривает каскады атомных столкновений (кинематич. механизм), приводящих к образованию иона или нейтральной возбужденной частицы, которая превращается в ион за счет оже-процесса. Другая предполагает образование иона в результате электронного обмена между эмитированной вторичной частицей и поверхностью твердого тела (обменный механизм).

Ионно-ионная эмиссия в сочетании с анализом частиц по массе используется для исследования состава и структуры поверхности твёрдого тела и распределения элементов по глубине (вторично-ионная масс-спектрокопия).

2.2.3 Ионно-фотонная эмиссия

Ионно-фотонная эмиссия — испускание фотонов при ионной бомбардировке твердого тела (мишени). Происходит в результате снятия электронного возбуждения в атомах и молекулах, возникшего при торможении ионов или их нейтрализации. Излучать могут как частицы в объёме твёрдого тела (ионолюминесценция), так и покидающие поверхность возбуждённые атомы, молекулы и ионы мишени. В последнем случае испускание происходит на различных расстояниях от поверхности, определяемых скоростью частиц и временем жизни в определенном возбуждённом состоянии. Над поверхностью образуется светящийся ореол, что позволяет легко отделить это свечение от ионолюминесценции.

В спектрах ионно-фотонной эмиссии наблюдаются линии атомов, ионов и молекулярные полосы, а в отдельных случаях и квазинепрерывное излучение (природа которого пока не ясна). Наиболее интенсивными в спектрах являются, как правило, линии распылённых атомов.

2.2.4 Ионно-электронная эмиссия

Ионно-электронная эмиссия — испускание электронов твёрдым телом при бомбардировке его ионами. Различают потенциальное вырывание электронов и их кинетическое выбивание. Потенциальное вырывание связано с передачей электронам мишени энергии, выделяющейся при переходе бомбардирующего иона в основное состояние атома. Этот переход осуществляется обычно путём оже-нейтрализации. Если к поверхности металла приближается ион, незанятый энергетический уровень которого лежит ниже уровня Ферми, то на этот уровень перейдёт один из электронов проводимости. В результате этого ион нейтрализуется, высвобождающаяся энергия передаётся другому электрону металла, который получает возможность покинуть металл. В отдельных случаях, когда возможна нейтрализация ионов в возбуждённое состояние атома, вырывание электронов осуществляется путём оже-деактивации. Энергия, выделившаяся при переходе второго электрона мишени в основное состояние возбуждённого атома, передаётся электрону, оказавшемуся на возбуждённом уровне. Кинетическое выбивание обусловлено ударной ионизацией атомов поверхностного слоя мишени и бомбардирующего иона.

2.2.5. Ионолюминесценция

Ионолюминесценция - свечение люминофора, возбуждаемое ионным пучком. Чаще всего для возбуждения И. используют положит, ионы с энергией в нескольких кэВ. Глубина проникновения ионов в люминофор порядка нескольких ангстрем, поэтому ионолюминесценция носит поверхностный характер. Выход ионолюминесценции на два порядка ниже выхода катода люминесценции тех же люминофоров и падает с уменьшением энергии ионов. Бомбардировка ионами приводит к быстрому старению люминофора