

плотность ионного тока. Толщина слоя, распылённого за 1 с, равна  $v/\rho$ , где  $\rho$  — плотность мишени.

И. т. используется для выявления структуры поверхности, дефектов, деформированных участков. И. т. применяется также для создания многострйной поверхности (см. *Автоэлектронная эмиссия, Ионный проектор*), для профилирования при послойном анализе состава разл. слоёв методами *же-спектроскопии*, для избирательного удаления вещества через маски при создании элементов микроэлектроники (см. *Микролитография*).

Лит.: Распыление твердых тел ионной бомбардировкой, в. 2, пер. с англ., под ред. Р. Вериша, М., 1986.

Л. И. Прангличус, Ю. И. Дудонис.

**ИОННО-ЗВУКОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ** — низкочастотные акустич. продольные волны, распространяющиеся в плазме с зависящей от частоты скоростью

$$v_s = \sqrt{(Z\gamma_e k T_e + \gamma_i k T_i) / M_i},$$

где  $Z$  — заряд,  $M_i$  — масса ионов,  $T_e$  и  $T_i$  — темп-ры электронов и ионов,  $\gamma_e$  и  $\gamma_i$  — отношение уд. теплоёмкостей электронного и ионного газов.

И.-з. к. слабо затухают лишь в случае бесстолкновительной (частота колебаний много больше частоты столкновений) и неизотермической ( $T_e \gg T_i$ ) плазмы. При выполнении этих условий инерция среды определяется ионами, а упругая возвращающая сила — давлением электронного газа. Если условие  $T_e \gg T_i$  не выполнено (напр.,  $T_e \approx T_i$ , изотермич. плазма), то волна не распространяется вследствие сильного *Ландау затухания*.

Наличие магн. поля не оказывает влияния на распространение И.-з. к. вдоль него, однако искажает их в случае «косого» (под углом к полю) распространения, порождая два типа магнитозвуковых волн (ускоренные и замедленные). См. также ст. *Волны в плазме, Плазма* и лит. при них.

Б. А. Трубишков.

**ИОННО-ИОННАЯ ЭМИССИЯ** (вторичная ионная эмиссия) — испускание ионов конденсированной средой при бомбардировке её ионами. В результате передачи частицам кинетич. энергии и импульса от первичных бомбардирующих ионов происходит *распыление* (см. *Ионная бомбардировка*). Ионизация распылённых частиц происходит в процессе или после вылета в результате электронного обмена (см. ниже). При И.-и. э. могут быть выбиты как отрицательные, так и положит. ионы, в основном и в возбуждённом состоянии. В пучке вторичных ионов присутствуют многозарядные ионы и ионы соединений (напр., при бомбардировке Al ионами  $Ag^+$  в атмосфере  $O_2$  вылетают ионы  $Al_2O_3^+$ ,  $Al_nO_m^+$ ). Кол-во многозарядных ионов растёт с энергией  $\mathcal{E}_0$  бомбардирующих ионов (напр., при бомбардировке W ионами  $Ag^+$  с энергией  $\mathcal{E}_0 = 150$  кэВ оно достигает 10%). Наблюдаются также заряд. скопления из многих атомов (*кластерные ионы*), напр.  $W_{34}^+$ ; число таких ионов, как правило, велико.

И.-и. э. характеризуется коэф. И.-и. э.  $S^{\pm}$ , равным отношению потока вторичных ионов данного типа к потоку первичных ионов. При-сутствие в камере или

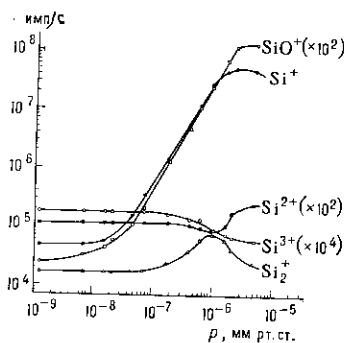


Рис. 1. Выход вторичных ионов (в относительных единицах) из Si при бомбардировке ионами  $Ag^+$  с энергией 4 кэВ в зависимости от давления  $p$  кислорода.

на поверхности эл.-отрицат. газа, напр.  $O_2$ , повышает  $S^+$  на неск. порядков (рис. 1) (для эмиссии многозарядных ионов и кластеров зависимость  $S^+$  от давления  $O_2$

более сложная); присутствие эл.-положит. газа ( $Cs$ ) увеличивает эмиссию отрицат. ионов.

И.-и. э. зависит от энергии первичных ионов  $\mathcal{E}_0$  и начинается с нек-рой пороговой энергии порядка неск. десятков эВ. С увеличением  $\mathcal{E}_0$  коэф.  $S^+$  возрастает. При бомбардировке Si ионами  $Ag^+$  возрастание  $\mathcal{E}_0$  от 2 до 8 кэВ приводит к увеличению на порядок выхода однозарядных ионов материала мишени и к увеличению более чем на 3 порядка выхода многозарядных ионов ( $Si^{2+}$ ,  $Si^{3+}$ ; рис. 2). В этом диапазоне энергий  $S^+$  растёт быстрее, чем коэф. распыления  $S$ , достигает максимума и начинает падать с увеличением  $\mathcal{E}_0$ , как и  $S$ .

С возрастанием угла  $\theta$  падения ионов (отсчитываемого от нормали к поверхности)  $S^+$  увеличивается. Для

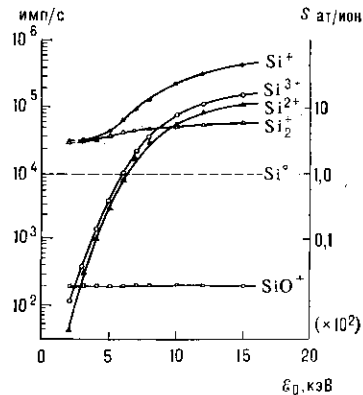


Рис. 2. Выход вторичных ионов из Si в зависимости от энергии  $\mathcal{E}_0$  бомбардирующих ионов  $Ag^+$ .

монокристаллич. мишени зависимость  $S^+(\theta)$  немонотонна: эмиссия минимальна, когда направление падения ионов совпадает с направлением низкочастотных кристаллографич. осей. Коэф.  $S^+$  растёт с увеличением массы бомбардирующих ионов (для элементов, химически активных по отношению к веществу мишени, это правило нарушается).  $S^+$  является немонотонно убывающей ф-цией ат. номера материала мишени (рис. 3). Коэф.  $S^+$  увеличивается с уменьшением энергии ионизации атомов мишени и сложным образом зависит



Рис. 3. Зависимость коэффициента ионно-ионной эмиссии от атомного номера  $Z_2$  материала мишени при бомбардировке ионами  $Ag^+$  с энергией 3 кэВ.

от темп-ры мишени  $T$ . При невысоких темп-рах  $S^+$  меняется за счёт разложения соединений, содержащих ионы материала мишени и очистки поверхности. Начиная с некоторых температур, когда поверхность уже очищена,  $S^+$  не зависит от  $T$ . При температурах фазовых переходов  $S^+$  испытывает существенные изменения.

Энергетич. спектр положит. вторичных ионов имеет максимум при энергиях  $\mathcal{E}$  порядка неск. эВ и «хвост» в сторону больших энергий (рис. 4). Для кластерных ионов спектр сужается и сдвигается в сторону меньших энергий. Энергетич. спектр отрицат. ионов более широк и смещён в сторону больших энергий. Пространств. распределение вторичных ионов похоже на распределение распылённых нейтральных частиц и зависит гл. обр. от энергии и угла падения бомбардирующих ионов и структуры мишени. Для поликристаллов, бомбардируемых нормально падающими ионами с энергией порядка неск. кэВ, пространств. распределение близко к изотропному. При наклонном падении первичных ионов (с энергией неск. кэВ) И.-и. э. максимальна вблизи зеркального угла. Из монокристал-