

2. Евсейчик, М. А. Синтез и фотокаталитическая активность гетероструктур TiO_2/Ti / М. А. Евсейчик, Л. С. Хорошко, Д. И. Гаглоева, С. А. Хубежов, А. В. Баглов, И. И. Макоед, Ш. И. Маматкулов, М. Д. Печерская, Д. В. Якимчук // Журнал БГУ. Физика. – 2024. – № 3. – С. 17–24.

УДК 621.793.1

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ИОНОВ ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА В ПРОЦЕССАХ ВАКУУМНОГО ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ

Иванов И. А.

Белорусский национальный технический университет

e-mail: deanmtf@bntu.by

***Summary.** The theoretical assessment of energy losses of plasma flow ions moving in a gas environment with a strong difference in the velocity and mass of colliding particles is given. A titanium plasma and a nitrogen environment were taken as example. It is shown that at energies and velocities of ions corresponding to vacuum plasma deposition method the not elastic processes do not play a significant role.*

Источники низкотемпературной высоко ионизированной плазмы широко используются в процессах вакуумно-плазменной обработки материалов [1]. В зависимости от материала расходуемого катода и состава технологического газа возможно формирование покрытий различного состава и функциональных свойств. Важным показателем для использования таких систем являются степень ионизации и средняя энергия ионов потока, достигающих поверхности конденсации [2]. Оба этих показателя формируются на стадии генерации плазменного потока и претерпевают изменения в ходе его транспортировки от испарителя к поверхности обрабатываемого изделия.

В статье дана теоретическая оценка потери энергии ионом плазменного потока, движущегося в разряженной технологической газовой среде, при сильном различии в скорости движения и массы сталкивающихся частиц.

Средняя скорость движения ионов потока, сформированный вакуумным электродуговым источником плазмы, составляет около 2×10^4 м/с. Процесс столкновения, сопровождающийся передачей кинетической энергии от быстрого иона плазменного потока к частице технологического газа, движущейся с тепловой скоростью, может быть описан явлениями упругого и неупругого взаимодействия.

Для анализа процесса столкновения иона потока с молекулой технологического газа при сильном различии в скорости движения и массы сталкивающихся частиц приняты следующие допущения.

Ион с массой m_1 движется со скоростью v_1 (пробная частица) к удаленной от него частице с массой m_2 скоростью которой v_2 (полевая частица). Если частицы не взаимодействуют, то минимальное расстояние, на которое ион приближается к полевой частице, не изменяя направление своего движения, будет равно b и называется параметром столкновений или прицельным параметром.

После столкновения ион будет двигаться со скоростью v под некоторым углом θ_1 к первоначальному направлению, а полевая частица – со скоростью V под углом θ_2 . Углы θ_1 и θ_2 называют углами рассеяния частиц.

Сумма углов рассеяния частиц θ_1 и θ_2 представляет собой угол разлета частиц после столкновения и не превышает 90° . Если $m_1 > m_2$, угол отклонения иона не может превышать некоторого максимального значения.

Для взаимодействия иона титана с молекулой азота :

$Ti = 47,87$ а.е.м.; $N_2 = 28,014$ а.е.м.; $\sin \theta_{1 \max} = 0,58521$ т.е. $\theta_{1 \max} \approx 30^\circ$.

Следовательно, при столкновении иона титана (Ti) с молекулой азота N_2 максимальный угол рассеивания иона Ti чуть больше 30° .

Основные неупругие процессы при столкновениях тяжелых частиц (атомов и ионов) существенны лишь при энергиях порядка 1 кэВ и больше. При малых энергиях неупругие процессы при взаимодействии тяжелых частиц не играют заметной роли. Существенными в таких условиях могут быть только упругие столкновения ионов и атомов и неупругие столкновения с очень малым дефектом энергии (< 1 эВ) [3].

Для иона титана с начальной энергией 30 эВ, двигающегося в среде азота, можно провести следующую оценку энергии, теряемой ионом титана за однократный акт взаимодействия с молекулой технологического газа (азот).

$$E = \frac{4m_1m_2}{(m_1+m_2)^2} \cdot \bar{W} \cdot \sin^2(\theta/2) = \frac{4 \cdot 47,87 \cdot 28,014}{(47,87+28,014)^2} \cdot 30 \cdot \sin^2(15^\circ) = 1,879 \text{ эВ} \quad (1)$$

где \bar{W} – средняя энергия налетающей частицы перед взаимодействием;

θ – угол рассеивания (между конечным направлением движения частицы и начальным).

Примем $\theta = \theta_{1 \max} \approx 30^\circ$.

Таким образом, при энергиях и скоростях ионов, соответствующих методам ионно-плазменного нанесения покрытий, неупругие процессы не играют значительной роли. Максимальный угол рассеяния ионов титана при столкновении с молекулами азота чуть больше 30° .

Список использованных источников

1. Иванов И.А. Вакуумно-плазменное силицирование углеродистых сталей// В сб. Материалы 12-ой междунар. н.-т.конф. «Наука – образованию, производству, экономике», в 4-х томах. – Минск: БНТУ, 2014. – том 1. – С. 331.

2. Иванов, И.А. Применение метода пробной частицы к моделированию процессов нанесения вакуумных оптических покрытий / И.А. Иванов, И.В. Мисник // Научно-технический журнал «Контенант» том 12, № 4, 2013. – С.68–73.

3. Месси Г., Бархоп Е. Электронные и ионные столкновения. – М.: ИЛ, 1958. – 756 с.