

УДК 539.234:539.12.04

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ СЕЧЕНИЯ
ПЕРЕЗАРЯДКИ НА ЭНЕРГИЮ ЧАСТИЦ БОМБАРДИРУЮЩИХ
КАТОД ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

А. И. ЛЯПИН, П. П. МАКСИМЕНКО, Д. В. НАЗАРОВ

Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

Модификация свойств материалов в тлеющем разряде происходит в результате бомбардировки поверхности быстрыми частицами разряда. Эта бомбардировка сопровождается совокупностью процессов, протекающих в прикатодной области разряда и в самом катоде. При значениях напряжения на катоде, больших 100 эВ наиболее существенными процессами, определяющими свойства обрабатываемой поверхности, являются распыление атомов катода и ионная имплантация. Интенсивность протекания указанных процессов зависит от энергии частиц, бомбардирующих катод. Поэтому исследование энергетического распределения таких частиц является актуальным.

Известно, что энергия частиц, достигающих катода, определяется процессами, происходящими в темном катодном пространстве. Одним из таких процессов является резонансная перезарядка, при которой ускоренный положительный ион «отнимает» электрон от нейтрального атома, превращая его в тепловой ион, а сам нейтрализуется, но сохраняет свою энергию. Это приводит к возникновению в разряде быстрых нейтральных атомов. В известных работах по моделированию рассматриваемого процесса предполагается, что значение эффективного сечения резонансной перезарядки $\sigma_{\text{пер}}$ сохраняется постоянным на всем пути движения иона в темном катодном пространстве, т.е. $\sigma_{\text{пер}}$ не зависит от энергии иона. Однако литературные данные по значениям $\sigma_{\text{пер}}$ показывают, что в интервале энергий 50–1000 эВ значение $\sigma_{\text{пер}}$ может изменяться в 2–3 раза.

В данной работе делается попытка учесть в модели энергетическую зависимость сечения резонансной перезарядки. В основу модели положены следующие предпосылки: источником ионов является тлеющее свечение; ионизацией рабочего газа в катодном темном пространстве можно пренебречь; резонансная перезарядка превалирует над упругими столкновениями ионов с нейтральными атомами.

В случае плоского катода с размерами, намного превышающими размеры разрядного промежутка, в рамках приведенных допущений получаются следующие функции распределений частиц по энергиям при линейном распределении электрического потенциала в катодном темном пространстве:

– для ионов

$$\frac{dJ(d_{\text{катн}}; U)}{J_0 \cdot dU} = \frac{d_{\text{катн}}}{U_{\Lambda-K} \cdot \lambda_{\text{пер}}} \cdot \left(\exp\left(-\frac{d_{\text{катн}} \cdot U}{\lambda_{\text{пер}} \cdot U_{\Lambda-K}}\right) + \exp\left(-\frac{d_{\text{катн}}}{\lambda_{\text{пер}}}\right) \cdot \delta(U - U_{\Lambda-K}) \right); \quad (1)$$

– для нейтральных атомов

$$\frac{dA(d_{\text{катн}}; U)}{J_0 \cdot dU} = \frac{d_{\text{катн}}}{U_{\Lambda-K} \cdot \lambda_{\text{пер}}} \left[\frac{\lambda_{\Lambda}}{\lambda_{\text{пер}}} + \left(1 - \frac{\lambda_{\Lambda}}{\lambda_{\text{пер}}}\right) \cdot \exp\left[-\frac{d_{\text{катн}}}{\lambda_{\Lambda}} \cdot \left(1 - \frac{U}{U_{\Lambda-K}}\right)\right] \right] \cdot \exp\left(-\frac{U \cdot d_{\text{катн}}}{U_{\Lambda-K} \cdot \lambda_{\text{пер}}}\right); \quad (2)$$

где $d_{\text{катн}}$ – длина темного катодного пространства; $U_{\Lambda-K}$ – катодное падение потенциала; $\lambda_{\text{пер}}$ – длина свободного пробега, соответствующая перезарядке; λ_{Λ} – средняя длина свободного пробега; U – значение энергии частицы; $\delta(U - U_{\Lambda-K})$ – дельта-функция Дирака.

Чтобы учесть зависимость значения сечения перезарядки $\sigma_{\text{пер}}$ от энергии E иона в точке перезарядки, каждой координате указанной точки присваивается известное из литературы значение $\sigma_{\text{пер}}$. На рис.1 и 2 показан пример расчетов по формуле (2) для атомов при $\sigma_{\text{пер}} = \text{const}$ и $\sigma_{\text{пер}} = f(E)$.

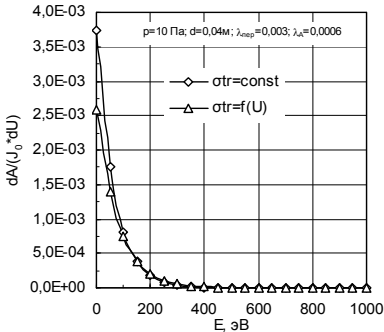


Рис. 1. Расчеты при $p = 10$ Па

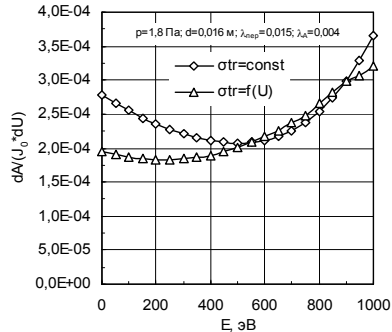


Рис 2. Расчеты при $p = 1,8$ Па

Из рисунков видно, что при относительно высоком давлении различия между графиками распределений при $\sigma = \text{const}$ и $\sigma = f(E)$ практически отсутствуют. При переходе к более низким давлениям наблюдается их заметное различие.

Таким образом, при расчетах энергетических распределений частиц, бомбардирующих катод тлеющего высоковольтного разряда при низких давлениях, следует учитывать энергетическую зависимость $\sigma_{\text{пер}} = f(E)$.