

Influence of interelectrode distance at the accumulation of H_2O_2 in solution under the action of glow discharge of atmospheric pressure

L. A. Kuzmicheva, J. V. Titova, A. I. Maximov
Institute of solutions chemistry RAS, Ivanovo, Russia

M. G. Dydykin

Ivanovo state university of chemistry and technology, Ivanovo, Russia

In the presente work the accumulation of hydrogen peroxide inert electrolyte solution under the action of glow discharge of atmospheric pressure was under study. It was shown, that H_2O_2 yeild decreased with the increase of interelectrode distance due to the growth of hydrogen peroxide transfer into gas phase under the action of ion bombardment of solution surphase.

УДК 537:533

Феноменологическая модель описания распространения электронного пучка в плотной газовой среде

A. A. Бармин, P. H. Ризаханов

Федеральное государственное унитарное предприятие
"Исследовательский центр им. М. В. Келдыша", Москва, Россия

Приведена феноменологическая теория распространения электронного пучка в плотной газовой среде, основанная на следующих теоретических и экспериментальных фактах: изменение плотности тока тонкого пучка на оси подчиняется закону Ленарда, изменение полного тока происходит практически линейно, а в поперечном направлении плотность тока пучка в газе распределена в соответствии с формулой Гаусса. Представлена оценка точности созданной модели. Рассмотрены варианты ее возможного использования.

Вывод потока электронов в плотную газовую среду (в том числе и в воздушную атмосферу) существенно расширяет технологические возможности применения электронных пучков. Вневакуумная реализация таких процессов как поверхностное упрочнение, сварка, резка металлов существенно повышает их производительность в сравнении с вакуумным исполнением. Открываются новые возможности применения концентрированных потоков энергии подобного рода в решении задач плазмохимии, очистки дымовых газов от токсичных примесей и т. п., поскольку при прохождении электронов через плотную газовую среду образуется электронно-пучковая плазма, характеризующаяся наличием трех основных компонентов — первичных электронов с характерной энергией в десятки килоэлектронвольт, медленных тепловых электронов и тепловых ионов. Ниже основное внимание уделено исследованию характеристик потока первичных электронов.

Наряду с развитием методов математического моделирования распространения электронов в среде и расчета характеристик пучка и генерируемого плазменного образования необходимо созда-

ние феноменологической модели данного явления, отражающей основные физические закономерности и позволяющей с достаточной точностью аналитически описывать пространственное распределение плотности тока пучка.

Подобная модель распространения электронного пучка в плотной газовой среде рассмотрена в настоящей работе. Сначала анализируются основополагающие зависимости, базирующиеся на теоретических и экспериментальных фактах; затем построенная модель верифицируется с использованием результатов моделирования методом Монте-Карло распространения электронов в веществе, что позволяет оценить точность полученного приближения, а также рассматриваются возможные варианты использования полученной модели.

Базовые зависимости

В основу феноменологической модели положены следующие основные параметры потока первичных электронов: характер изменения плотности тока тонкого пучка вдоль оси симметрии; закон деградации полного тока пучка по мере уда-

ления от источника электронов; радиальная зависимость распределения плотности тока пучка в газе. Далее конкретизируется вид этих соотношений и подробнее анализируются характерные параметры задачи.

Для газовых поглотителей закон изменения плотности тока электронов на оси тонкого пучка имеет вид [1]

$$j(z) \equiv j_0 e^{-z/a}, \quad a = \frac{1}{\alpha E_0 \rho}, \quad (1)$$

где $J(r, z)$ — пространственное распределение плотности тока;

j_0 — осевая плотность тока первичных электронов в исходном сечении;

ρ — плотность газового поглотителя;

E_0 — начальная энергия электронов;

a — коэффициент поглощения, который, в свою очередь, представляется в виде [1]

$$\alpha E_0 = \frac{2,4 \cdot 10^6}{E_0^2, \text{кэВ}}, \text{ см}^2/\text{г при } 20 < E_0 < 200 \text{ кэВ.} \quad (2)$$

Следует отметить, что экспериментальные измерения коэффициента в числителе (2) других авторов дают большие по величине значения.

Закон деградации полного тока пучка электронов по мере удаления от источника может быть записан в виде

$$I(z) = I_0 f(z), \quad (3)$$

где I_0 — полный ток первичных электронов в исходном сечении; вид функции $f(z)$ на данном этапе конкретизировать не обязательно, ибо эта зависимость входит в феноменологическую модель в виде параметра. Следует лишь отметить, что общепринятой является линейная аппроксимация [2], т. е.

$$f(z) = 1 - z/L, \quad (4)$$

где L носит смысл экстраполированного пробега электронов. Воспользовавшись результатами работы [3], можно оценить L длиной релаксации:

$$L = G \gamma_0^{-1/2} / \gamma_0, \quad G = \frac{4\pi\epsilon_0^2 m_0^2 c^4}{2\pi N e^4 Z \ln \Lambda}, \quad (5)$$

где β, γ — релятивистские факторы, $\beta = v/c$,

$$\gamma = 1 - \beta^2^{-1/2};$$

N и Z — концентрация и заряд ядра рассеивающих атомов;

e и m_0 — заряд и масса покоя электронов;

ϵ_0 — диэлектрическая постоянная;

$\ln \Lambda$ — величина, слабо зависящая от энергии, в частности для воздуха $\ln \Lambda \approx 15$.

Радиальное изменение плотности тока носит вид распределения Гаусса [4]

$$J(r, z) = j_0 \exp\left[-\frac{r^2}{b^2(z)}\right] \quad (6)$$

с переменным вдоль оси z параметром b .

Модельная зависимость плотности тока пучка

Воспользовавшись распределениями плотности тока первичных электронов в осевом (1) и радиальном (6) направлениях, установим полный ток пучка в произвольном сечении:

$$I(z) = \int_0^\infty 2\pi r J(r, z) dr = \pi j_0 e^{-z/a} b^2(z).$$

Сравнив это выражение с (3), получим выражение для $b(z)$; тогда (6) преобразуется к виду

$$J(r, z) = j_0 \exp\left(-\frac{z}{a} - \frac{\pi j_0 r^2}{I_0 f(z) e^{z/a}}\right). \quad (7)$$

С целью проверки полученного выражения проведем его сравнение с результатами расчета распространения пучка методом Монте-Карло. Функцию $f(z)$ конкретизируем соотношением (4), где L берется из (5), $\alpha = 2,4 \cdot 10^6 \cdot E_0^{-2} \text{ см}^2/\text{г}$. Расчеты проведены для пучка с начальной энергией 80 кэВ в среде воздуха с давлением 1 атм.

Результаты, представленные на рисунках, демонстрируют качественное совпадение соответствующих распределений. На рис. 1 приведено сравнение снижения полного тока первичных электронов в зависимости от расстояния до точки вывода пучка. На рис. 2, a сопоставляются осевые, а на рис. 2, b — радиальные распределения плотности тока. Приведенные зависимости показывают, что феноменологическая модель с хорошей точностью описывает распространение пучка в плотной среде. Относительная ошибка в определении необходимых величин не превышает 10—15 %.

Повышение точности модели возможно путем замены линейной аппроксимации (4) на зависимость, лучше отражающую поведение реального пучка (3).

Рис. 1. Зависимость нормированного полного тока электронов I/I_0 от расстояния до источника z :
 ————— результат расчета с использованием феноменологической модели; ■ — результат моделирования методом Монте-Карло

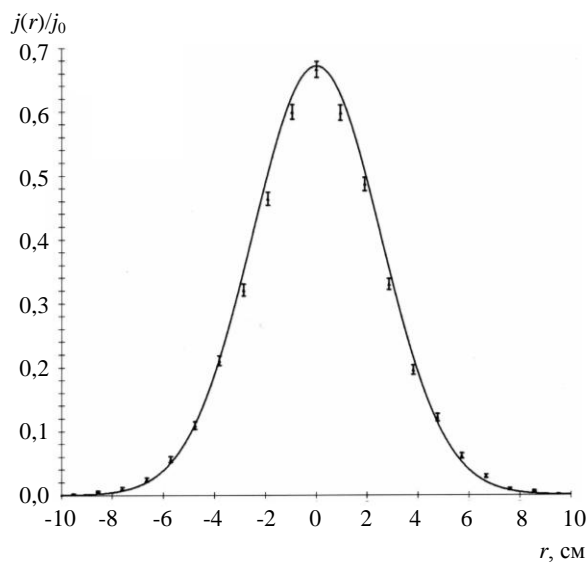
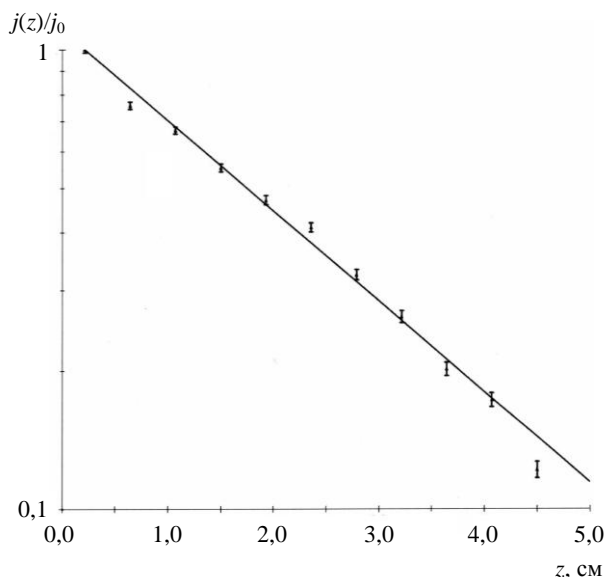
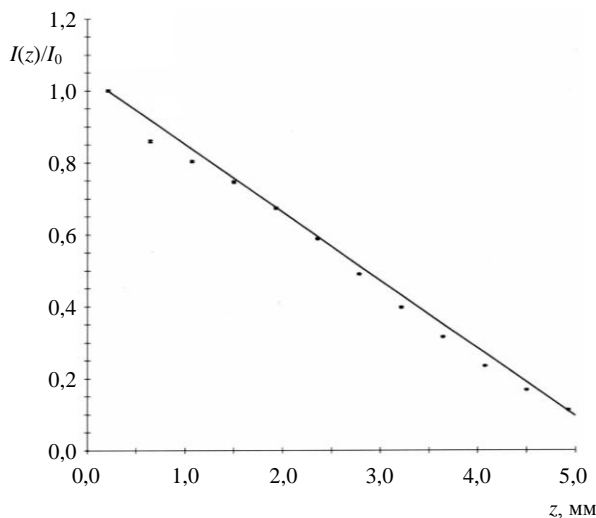


Рис. 2. Зависимость нормированной плотности тока электронов j/j_0 от расстояния до:
 а — источника z ; б — оси симметрии системы r :

————— результат расчета с использованием феноменологической модели; ■ — результат моделирования методом Монте-Карло

Заключение

Показано, что инженерная формула (7) позволяет провести быстрые расчеты параметров плазменного образования. В зависимости от решаемой задачи электронный пучок, выведенный в плотный газ, может быть использован и как поток концентрированной энергии, и как генератор химически активной плазмы. Установлено, что формула (7) дает возможность оптимизировать режимы обработки материалов в зависимости от реализуемого технологического процесса, рассчитывать конфигурацию плазмохимического реактора с учетом пространственной неоднородности создаваемой

плазмы, анализировать эффекты каналирования пучка при прогреве газа, повышать быстродействие компьютерных программ, предусматривающих многократное обращение к изменяющейся во времени пучковой плазме.

Литература

1. Шумахер Б. Законы проникновения электронов в вещество// В сб. Электронно- и ионнолучевая технология. — М.: Металлургия, 1968. С. 7–43.
2. Аккерман А. Ф., Никитушев Ю. М., Ботвин В. А. Решением методом Монте-Карло задач переноса быстрых электронов в веществе. — Алма-Ата: Наука, 1972.

3. Ризакханов Р. Н. Решение параксиального уравнения огибающей электронного пучка в рассеивающей среде и внешнем магнитном поле// Прикладная физика. 2007. № 1. С. 47—50.

4. Lee E. P. Kinetic Theory of a Relativistic Beam.// The Physics of Fluids. 1976. V. 19. № 1. P. 60—73.

Статья поступила в редакцию 14 августа 2007 г.

Phenomenological model of e-beam propagation in dense gaseous medium

A. A. Barmin, R. N. Rizakhanov

Federal State Unitary Enterprise “Keldysh Research Center”, Moscow, Russia

In this article phenomenological theory of e-beam propagation in dense gaseous medium is developed. The model is based on the following theoretical and experimental facts: variation of thin beam current density on the axis of symmetry obeys Lenard’s law, degression of total beam current proceeds linearly, and in transverse direction current density distribution obeys Gauss’s law. In addition, model accuracy estimation and some possible utilizations are also presented.

* * *