

04;01

## **Фрактальные размерности распределения работы выхода и эмиссионных свойств катода**

© *Х.Д. Ламажапов, Б.Б. Алчагиров, В.М. Яковлев*

Самарская государственная академия путей сообщения

E-mail: rectorat@samiit.ru

*Поступило в Редакцию 14 декабря 2005 г.*

Рассматривается обострение неоднородности в распределении эмиссионных свойств катода для потенциальной ионно-электронной эмиссии в тлеющих разрядах небольшой неоднородности и в распределении работы выхода по поверхности катода. Проведены оценки фрактальной размерности распределения работы выхода и эмиссионных свойств.

PACS: 85.45.Db

В работе [1] рассматривалась нелинейная краевая задача со случайной двумерной функцией в граничных условиях: образование катодных пятен в тлеющих разрядах с учетом неоднородного распределения эмиссионных свойств катода. Были выявлены общие закономерности, являющиеся следствием нелинейности и наличия двумерных случайных полей, которые являются возмущающим фактором, определяя во многих случаях порог контракции. В данное время кроме модели, учитывающей наличие микроострий и диэлектрических пленок на поверхности катода как фактора усиления электрического поля, других аналитических моделей — нет, как нет и физических представлений для создания таких моделей. Поэтому большинство рекомендаций по выбору материала и обработке электродов для повышения порога шнуrowания носят чисто опытный характер и зачастую противоречивы.

Используя идеи работы [2], было показано, что при слабо выраженной неоднородности эмиссионных свойств по поверхности катода нелинейная зависимость в катодном слое приводит к резкому обострению неоднородности в распределении плотности тока в катодном слое, или так называемой перемежаемости: средняя плотность тока определяется не всей площадью катода, а редкими областями, в которых сосредоточен

почти весь ток. Так как протекание тока в катодном слое будет сильно неоднородным, то возникает вопрос о структуре областей повышенного значения плотности тока. В целом задача о заполнении катодным пятном поверхности электрода аналогична континуальной задаче в теории перколяции [3]. Пороговый характер перехода от бесконечного кластера к несвязным островкам является универсальным. Кроме порога перколяции в этой задаче будет важным определить структуру порогового бесконечного кластера, будет он редким и изрезанным или же густым и заполненным, так как для определения порога шнурования недостаточно определить, что достигнут порог перколяции, но важно также оценить величину плотности тока в областях его максимального значения по отношению к средней плотности тока, определенной из значения полного тока и площади катода. Перколяционные кластеры на пороге протекания являются фрактальными объектами. Характеристикой разреженности кластера при этих условиях является ее фрактальная размерность.

Потенциальное вырывание электрона связано с передачей электронам в металле энергии, выделяющейся при переходе бомбардирующего иона в основное состояние атома. Так как переход электрона из металла к налетающему иону происходит туннельным образом, то коэффициент ионно-электронной эмиссии зависит от работы выхода экспоненциальным образом: выход электронов будет определяться прозрачностью потенциального барьера. Если двумерная случайная функция (распределение коэффициента эмиссии) зависит от другой двумерной случайной функции (распределение работы выхода) экспоненциальным образом, то, как было показано в работе [1], распределение эмиссионных свойств будет более неоднородным и будет представлять множество небольших участков — пятен, привязанных к участкам с пониженной работой выхода. Площадь этих участков будет меньше полной площади катода, поэтому следует ожидать, что будет меньше и фрактальная размерность двумерной функции распределения эмиссионных свойств.

Рассмотрим имеющиеся на данный момент экспериментальные результаты. Распределение работы выхода на локальном участке поверхности палладий-бариевого катода, полученного методом сканирующей туннельной спектроскопии с модуляцией туннельного зазора, показано на рис. 1 [4]. Участкам белого цвета соответствует минимальная работа выхода (2.3 eV), серым — 3.7 eV, черным — максимальная (5.2 eV). Рассмотрим влияние работы выхода  $A(x, y)$ , распределенной по поверхно-



Рис. 1.

сти катода, на распределение эмиссионных свойств  $\gamma(x, y)$ . В тлеющем разряде коэффициент пропорциональности  $\gamma(x, y)$  между плотностью потока ионов, падающих на катод —  $j_p(x, y, z = 0)/e$  и плотностью потока электронов, эмитированных с катода —  $j_e(x, y, z = 0)/e$ , складывается из коэффициентов трех разных процессов: ионно-электронной эмиссии, эмиссии под действием возбужденных атомов или молекул и фотоэмиссии. Воспользуемся известными оценками величин вкладов ионно-электронной и фотоэмиссии в разряде в аргоне [5]:  $\gamma_{ie} \gg \gamma_{phot}$ . Так как для большинства молекулярных газов коэффициент поглощения коротковолновых фотонов больше, чем в инертных газах, то можем принять фототок пренебрежимо малым для условий большинства указанных выше технических применений тлеющего разряда. Исследования распределения эмиссионных свойств по поверхности эмиттеров, используемых в качестве полевых катодов, проводились в работе [6]. Было показано, что распределение эмиссионных свойств неоднородно,

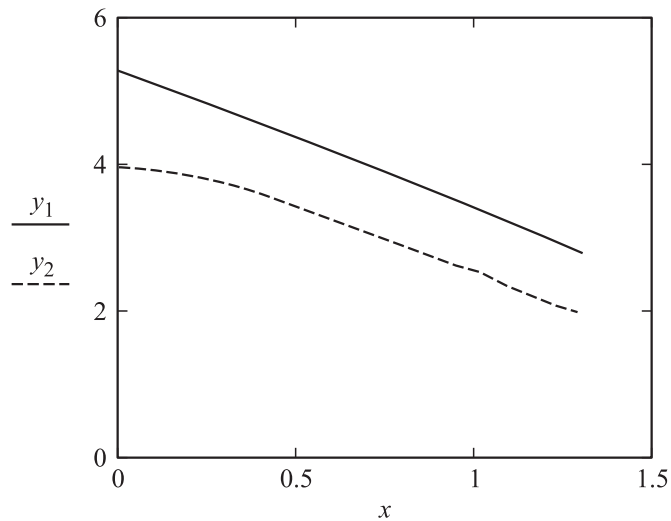


Рис. 2.

причем эмиссионные свойства распределены более неоднородно, что, в принципе, подтверждает постановку задачи. Нами проводилась оценка фрактальной размерности в обычном Хаусдорфовом смысле по формуле  $D^H = \frac{\ln |N|}{\ln |d|}$ , т.е. определялся наклон в дважды логарифмических координатах зависимости площади (числа клеток  $N$ , закрашенных черным цветом) от размера  $d$  квадратной ячейки сетки, наложенной на рассматриваемую область. Для распределения работы выхода (рис. 1) по наклону графика (рис. 2) получены значения от  $D_{1A} = -1.93$  до  $D_{2A} = -1.99$  в зависимости от того, как были выбраны пороговые значения уровня перевода серого цвета в черно-белый. Для распределения эмиссионных центров полученные значения соответствующей размерности меньше: от  $D_{1emis} = -1.70$  до  $D_{2emis} = -1.76$ . На рис. 2 сплошная линия соответствует зависимости  $y_1 = \ln[N(d)]$  для распределения работы выхода, а пунктирная —  $y_2$  для распределения эмиссионных свойств. По оси абсцисс ( $x$ ) отложены значения  $\ln[d]$  ( $d$  — размер квадратной ячейки, накладываемой на соответствующее распределение).

Данные по оценке размерностей распределений работы выхода и эмиссионных свойств приведены только в качестве иллюстрации суще-

ственного обострения распределения плотности тока по отношению к распределению работы выхода.

Описание пороговых явлений образования преддуговых катодных пятен возможно без введения взрывоэмиссионных механизмов неустойчивости. Начало шнурования с этой точки зрения представляет распад перколяционного кластера с пороговым уменьшением фрактальной размерности распределения эмиссионных свойств, с последующим уменьшением фрактальной размерности распределения плотности тока.

## **Список литературы**

- [1] *Ламажапов Х.Д.* Некоторые закономерности образования катодных пятен в самостоятельном и несамостоятельном тлеющих разрядах и влияние случайного распределения эмиссионных свойств катода // Препринт ФИАН. 1991. № 149. 35 с.
- [2] *Зельдович Я.Б., Молчанов С.А., Рузмайкин А.А.* и др. // УФН. 1987. Т. 152. В. 1. С. 3–32.
- [3] *Шкловский Б.И., Эфрос А.Л.* Электрические свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979. 416 с.
- [4] *Байбурин В.Б., Волков Ю.П., Ильин Е.М.* и др. // Письма в ЖТФ. 2002. Т. 28. В. 23. С. 19–22.
- [5] *Азаров А.В., Очкин В.Н.* О роли коэффициента эмиссии в нормальном тлеющем разряде // Препринт ФИАН. № 36. М., 2003. 30 с.
- [6] *Виноградов А.Я., Андронов А.Н., Косарев А.И.* и др. // ФТП. 2001. Т. 35. В. 6. С. 698–702.