

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Л. И. Пушина, В. Д. Юдицкий, Применение метода Монте-Карло к расчету термоэлектронного преобразования, *ТВТ*, 1967, том 5, выпуск 1, 152–154

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.239.90.61

9 ноября 2024 г., 16:50:48



УДК 537.581:517.11.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО К РАСЧЕТУ ТЕРМОЭЛЕКТРОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Л. И. Пушина, В. Д. Юдицкий

Метод Монте-Карло использован для расчета процессов переноса в ТЭП с учетом рассеяния. Построена вольтамперная характеристика. Проводится исследование влияния магнитного поля на процесс переноса.

Затруднения, возникающие при аналитическом исследовании процессов переноса в термоэлектронном преобразователе, можно преодолеть путем моделирования процесса переноса на ЭВМ. В простейшем случае целесообразно ограничиться лишь расчетом переноса электронов. Метод расчета аналогичен методу Монте-Карло для расчета переноса нейтронов, с той разницей, что движение электронов рассматривается в электрическом и магнитном полях.

Процесс переноса в постоянном электрическом поле. Физические условия задачи следующие:

1) имеются две бесконечные пластины, поддерживаемые при температурах $T_k > T_a$ (катод и анод), разделенные межэлектродным зазором шириной L . Зазор заполнен слабоионизированным паром цезия, давление которого p .

2) источником электронов является катод; коэффициент отражения электронов от катода и анода равен нулю,

3) рассеяние электронов учитывается введением среднего сечения парного соударения с атомом цезия $\sigma = 2 \cdot 10^{-14} \text{ см}^2$. Рассеяние считается изотропным в системе центра масс и практически изотропно в лабораторной системе координат,

4) в межэлектродном зазоре существует полная компенсация пространственного заряда. Это предположение соответствует принятому в работе [2] для расчета бесстолкновительного режима. Соответственно напряженность электрического поля в зазоре E не зависит от координат.

Основу расчета вольтамперной характеристики составляет определение методом Монте-Карло вероятности для электрона, покинувшего катод, достижения анода. Статистический метод расчета применяется потому, что траектория движения электрона в заданном электрическом поле и при фиксированных T_k , T_a и p — случайная функция координат ввиду наличия рассеяния. Между столкновениями движение электрона описывается уравнениями механики материальной точки (не учитываются коллективные процессы). Длительность свободного движения или фактическая длина свободного пробега «разыгрывается» в процессе счета. Другими случайными величинами, участвующими в расчете, являются вектор начальной скорости и вектор скорости после соударения. В результате факт падения электрона на анод или на катод — случайное событие. При достаточно большом числе испытаний

$$P_a \approx n/N, \quad (1)$$

где n — число электронов, достигших анода; N — полное число испытаний; P_a — вероятность достижения анода.

Решение задачи было запрограммировано для ЭВМ М-20.

Задавая различные значения электрического поля и проводя серии испытаний для различных полей, можно получить зависимость

$$P_a = P_a(E), \quad (2)$$

которая пересчитывается в вольтамперную характеристику

$$j = I_0 P_a = f(V), \quad V = W_k - W_a + EL, \quad (3)$$

где j — ток через преобразователь; I_0 — ток электронной эмиссии катода; V — напряжение на нагрузке; W_k , W_a — работы выхода катода и анода.

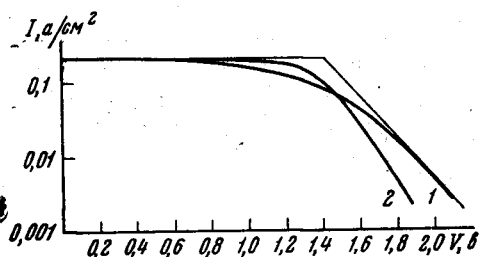


Рис. 1

Рис. 1. Результат расчета $V-A$ -характеристики методом Монте-Карло

1 — экспериментальная вольтамперная характеристика диода в плазменном режиме [3]; 2 — расчетная характеристика. $T_k = 1800^\circ \text{K}$; $T_a = 703^\circ \text{K}$; $T_{Cs} = 503^\circ \text{K}$; $W_k = 3,33 \text{ эв}$; $W_a = 1,93 \text{ эв}$

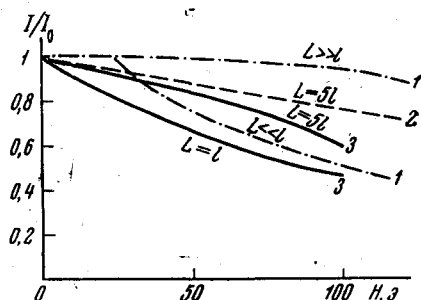


Рис. 2

Рис. 2. Результаты расчета влияния магнитного поля на ток насыщения

1 — эксперимент [4]; 2 — расчет [5]; 3 — расчет методом Монте-Карло (L — величина зазора, l — средняя длина свободного пробега)

Здесь не учитываются приэлектродные скачки потенциала, что объясняется стремлением сделать программу доступной для вычислительной машины, имевшейся в распоряжении авторов. Тем самым применимость метода ограничивается случаями, где учет скачков несуществен (недокомпенсированные режимы, малые разности потенциалов, приложенные к плазме).

Пример расчета вольтамперной характеристики показан на рис. 1. Ввиду упрощающих предположений, принятых в расчете, результаты, представленные на рис. 1, носят иллюстративный характер. В общем случае ТЭП для адекватного описания процессов требуется значительно более детальное рассмотрение, которое, видимо, возможно принципиально, но ограничивается быстродействием и объемом памяти ЦВМ.

Перенос электронов в скрещенных электрическом и магнитном полях. Расчет вольтамперной характеристики в присутствии поперечного магнитного поля отличается лишь уравнениями движения электрона между столкновениями. Результаты расчета представлены на рис. 2.

Поскольку относительное изменение вероятности P_a зависит лишь от соотношения между шириной зазора, длиной свободного пробега электрона и ларморовским радиусом, учитываемых нашей моделью, можно ожидать качественного совпадения результатов расчета с экспериментом, что действительно имеет место.

Зависимость точности метода от числа испытаний. «Точное» значение величины P_a есть математическое ожидание n/N

$$P_a = M(n/N). \quad (4)$$

Согласно теореме Бернулли, для всякого $\varepsilon > 0$ и $\delta > 0$ существует число испытаний N , такое, что с вероятностью, большей $(1 - \varepsilon)$, n/N будет отличаться от P_a меньше, чем на δ

$$\mathcal{P}\left(\left|\frac{n}{N} - P_a\right| < \delta\right) > 1 - \varepsilon. \quad (5)$$

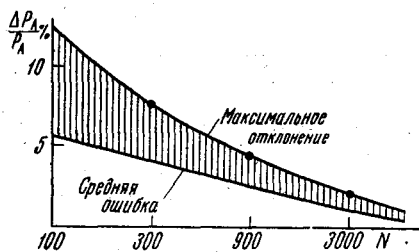


Рис. 3. Зависимость относительной ошибки метода от числа испытаний в серии

Если P_a известно, то $|n/N - P_a|$ есть средняя погрешность метода. При неизвестном P_a оценка ошибки может быть сделана, если взять в качестве достоверного значения $\bar{P}_a = n/N$, где n/N — среднее по достаточно большому числу серий испытаний. Было просчитано пять серий испытаний при некотором фиксированном поле и величине зазора. Каждый набор серий отличался числом испытаний в серии: $N_1 = 100$,

$N_2 = 300$, $N_3 = 900$, $N_4 = 3000$. Погрешность определялась из соотношения

$$\Delta P_a = |\bar{P}_a - P_a|. \quad (6)$$

Результаты расчета приведены на рис. 3. Выбранная для расчета погрешности точка соответствует значению $P_a = 0,6$, тогда как на вольт-амперной характеристике есть точки, в которых $P_a = 1$ или $P_a \ll 1$. При $P_a \rightarrow 1$ погрешность уменьшается пропорционально $\sqrt{1 - P_a}$, а при $P_a \rightarrow 0$ — увеличивается как $\sqrt{1/P_a}$ [1].

Москва

Поступила в редакцию
3 II 1966

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Шрейдер и др. Метод статистических испытаний (метод Монто-Карло), 1962.
2. А. И. Ансельм. Термоэлектронный вакуумный термоэлемент. Изд-во АН СССР, 1951.
3. Г. Н. Хатсопулос. Proc. IEEE, 51, 5, 1963.
4. Н. Д. Моргулис, Ю. П. Корчевой. Укр. физ. ж., 7, 1014, 1962.
5. Ю. К. Гуськов, В. П. Пащенко, И. П. Стаханов, Э. А. Стумбур. Ж. техн. физики, 34, 6, 1964.