

01

© 1992

ДИФфуЗИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ ПРИМЕСИ
В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ПОЛЕ

Ю.И. Б о х а н

В последнее время большой интерес вызывает исследование процессов синтеза и спекания керамических материалов в СВЧ и ВЧ полях [1, 2]. Это связано в первую очередь с тем, что в таких условиях удастся провести процесс спекания за короткое время и получить более качественную керамику по сравнению с термическим спеканием. Как известно, при спекании и синтезе основную роль играют процессы диффузии, поэтому представляется интересным выяснить влияние ВЧ и СВЧ полей на характер протекания диффузионных процессов [3, 4]. В работе [5] рассматривалась задача о диффузии монозаряженных ионов через плоский слой вещества. Используя различные приближения, было получено выражение для изменения концентрации заряженных ионов и вычислено изменение коэффициента диффузии под действием переменного электрического поля. Следует отметить, что предложенный в [5] метод не всегда может быть применен к расчету реальных процессов диффузии. Кроме того, в полученных выражениях не всегда соблюдается предельный переход к постоянному полю или его отсутствию. В то же время существует метод, позволяющий найти точное решение такой задачи при определенных граничных условиях.

Рассмотрим бесконечную среду с источником концентрации заряженных ионов Q_0 . Запишем уравнение диффузии заряженной примеси в переменном поле в виде:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \left\{ \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - d \cos \omega t \frac{\partial c}{\partial x} \right\} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{qE}{k_B T}$$

Начальные условия выберем следующие:

$$\left. \begin{aligned} c(x, t=0) &= 2Q_0 \delta(x), \\ \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x \rightarrow \pm\infty} &= 0, \quad c(x, t) \Big|_{x \rightarrow \pm\infty} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Будем искать решение (1) в виде ряда Фурье по координате:

$$C(x, t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} C(\rho, t) e^{i\rho x} d\rho. \quad (3)$$

Подставляя (3) в (1), получим уравнение для определения временной зависимости $C(\rho, t)$:

$$\frac{\partial C(\rho, t)}{\partial t} = \{-D\rho^2 - i\rho D\alpha \cos \omega t\} C(\rho, t). \quad (4)$$

Интегрируя (4) с учетом начальных условий, имеем:

$$C(x, t) = \frac{Q_0}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\{-Dt\rho^2 - i(\frac{\alpha}{\omega} \sin \omega t - x)\rho\} d\rho. \quad (5)$$

Вычисляя в (5) интеграл по ρ и используя выражения для модифицированных функций Бесселя, получим искомое выражение для $C(x, t)$:

$$C(x, t) = \frac{Q_0}{\sqrt{\pi Dt}} \exp\left\{-\frac{x^2}{4Dt} - \frac{\alpha^2 D}{8t\omega^2}\right\} \times \sum_{nm} I_n(z_1) I_m(z_2) e^{i[(n-2m)\omega t + (n+2m)\frac{\pi}{2}]} \quad (6)$$

Здесь введены обозначения: $z_1 = qEx/2k_B T\omega t$, $z_2 = \alpha^2 D/8t\omega^2$. Отметим, что выражение (6) при $E \rightarrow 0$ переходит в стандартную формулу для диффузии примеси в неограниченный образец. Кроме того, при $\omega \rightarrow 0$, т.е. когда поле становится постоянным, (6) переходит в соответствующее выражение из [4]. Полученное выражение (6) является точным, так как при его получении не было сделано никаких допущений о величине переменного поля и его частоте. Рассмотрим влияние высокочастотного поля с амплитудой $E=10^3$ В/см и частотой $\omega \sim 10^8$ Гц на диффузию заряженной примеси в твердых телах, например, в керамике [3]. Принимая для входящих в (6) параметров значения [3]: $D=10^{-5}$ см²/с, $t=10^2$ с, $T=1000$ К, $q=1.6 \cdot 10^{-19}$ к, получим для величин z_1 и z_2 оценку: $z_1 \sim 10^{-8}$ х, $z_2 \sim 10^{-12}$. Рассматривая диффузию в зерне керамического материала, получим, что переменное поле не оказывает существенного влияния на характер изменения концентрации заряженных ионов, т.е. не ускоряет процесс диффузии, что отличает полученный результат от [5]. В рамках предложенного подхода не представляется возможным выяснить влияние переменного поля на коэффициент диффузии, так как по условию задачи он является заданным. Для выяснения влияния переменного поля

на величину D необходимо решить кинетические уравнения с конкретным механизмом диффузии.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Бердов Г.И., Тюленева В.И., Полев С.А., Кузнецова Е.А. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1986. Т. 29. № 7. С. 15-17.
- [2] Alliouat M., Mазо L., Desgardin G., Raveau B. // Mater. Lett. 1987. V. 15. N 9. P. 328-332.
- [3] Каур И., Густ В. Диффузия по границам зерен и фаз. М.: Машиностроение. 1991. 447 с.
- [4] Старк Дж.П. Диффузия в твердых телах. М.: Энергия. 1980. 239 с.
- [5] Кашеев В.А., Полуэктов П.П. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 16. С. 18-21.

Поступило в Редакцию
13 марта 1992 г.