

(нелинейность 3-го рода, см. *Диссипативные структуры*).

Одномерные нелинейные Д. у. можно решить разл. приближёнными аналитич. методами. Двухмерные и трёхмерные нелинейные Д. у. при сложной конфигурации границ области и сложных законах изменения характеристик среды, внеш. и внутр. источников вещества, перем. границ области, где происходит диффузия, поддаются решению только числ. методами с применением ЭВМ. С матем. точки зрения Д. у., являясь частным случаем дифференц. ур-ния, описывающего процесс установления равновесного распределения, совпадает с ур-нием теплопроводности и аналогично *Навье — Стокса уравнению* для ламинарного потока несжимаемой жидкости и т. д.

Лит.: Владимир В. С., Уравнения математической физики, 4 изд., М., 1981; Коздоба Л. А., Методы решения нелинейных задач теплопроводности, М., 1975; Райченко А. И., Математическая теория диффузии в приложениях, К., 1981; Гранк Л., The mathematics of diffusion, 2 ed., Oxf., 1975.

С. И. Азиков.

ДИФФУЗИОННАЯ ДЛИНА в полупроводнике — расстояние, на к-ром плоский диффузионный поток неравновесных носителей заряда (в отсутствие электрич. поля) уменьшается в e раз. Д. д. L имеет смысл ср. расстояния, на к-рое смещаются носители заряда в полупроводнике вследствие диффузии за время τ их жизни: $L = \sqrt{D\tau}$, где D — коэф. диффузии носителей заряда в полупроводниках.

Метод измерения Д. д. состоит в генерации неравновесных носителей (обычно светом, путём проектирования ярко освещённой щели на поверхность образца) и их регистрации на нек-ром расстоянии r от места генерации. Коллектором неравновесных частиц может служить электронно-дырочный переход или контакт металл-полупроводник. Изменяя r (расстояние между световой щелью и коллектором) и сигнал, снимаемый с коллектора, можно определить стационарное распределение концентраций неравновесных носителей. Зная зависимость концентрации от отношения r/L , определяют L .

В нек-рых чистых полупроводниках, напр. в Ge, Д. д. может достигать неск. мм.

Лит. см. при ст. *Диффузия носителей заряда в полупроводниках*.

Э. М. Эпштейн.

ДИФФУЗИОННАЯ ЕМКОСТЬ. Если к p — n -переходу приложено ВЧ-напряжение, то инерционность процессов диффузии электронов и дырок приводит к запаздыванию напряжения на p — n -переходе относительно тока. Это эквивалентно появлению в электрич. схеме p — n -перехода т. н. Д. ё., включённой параллельно барьерной ёмкости.

ДИФфузия (от лат. diffusio — распространение, растекание, рассеивание) — неравновесный процесс, вызываемый молекулярным тепловым движением и приводящий к установлению равновесного распределения концентраций внутри фаз. В результате Д. происходит выравнивание хим. потенциалов компонентов смеси. В однофазной системе при пост. темп-ре и отсутствии внеш. сил Д. выравнивает концентрацию каждого компонента фазы по объёму всей системы. Если темп-ра не постоянна или на систему действуют внеш. силы, то в результате Д. устанавливается пространственно неоднородное равновесное распределение концентраций каждого из компонентов (см. *Термодиффузия*, *Электродиффузия*).

Д. — частный случай переноса явлений, относится к явлениям массопереноса. Она является одним из наиб. общих кинетич. процессов, присущих газам, жидкостям и твёрдым телам, протекающих в них с разл. скоростью. Диффундировать могут также взвешенные малые частицы посторонних веществ (вследствие броуновского движения), а также собств. частицы вещества (*самодиффузия*). Диффузия — необратимый процесс, один из источников диссипации энергии в системе.

Скорость Д. (диффузионный поток) в бинарной смеси при малой концентрации диффундирующего вещества пропорциональна градиенту концентрации ∇C и имеет противоположное ему направление:

$$j_1 = -\rho D \nabla C_1 - D \nabla \rho_1 \quad (1)$$

(j_1 — диффузионный поток, т. е. поток массы 1-го компонента через единичную площадку в единицу времени, D — коэф. Д., ρ — полная плотность бинарной смеси, ρ_1 — парциальная плотность 1-го компонента). Выражение (1) наз. 1-м законом Фика (открыт А. Фиком (A. Fick) в 1855).

В табл. приведены для сравнения коэфф. Д. в бинарной смеси для газов, жидкостей и твёрдых тел при атм. давлении:

Диффундирующее вещество	Основной компонент	Температура, °C	D, м ² /с
Водород (газ)	Кислород (газ)	0	0,70 · 10 ⁻⁴
Пары воды	Воздух	0	0,23 · 10 ⁻⁴
Поваренная соль	Вода	20	1,1 · 10 ⁻⁹
Золото (твёрдое)	Свинец (твёрдый)	20	4 · 10 ⁻¹⁴
Свинец (твёрдый)	Свинец (твёрдый)	285	7 · 10 ⁻¹⁵

Диффузионный поток первого компонента бинарной смеси при наличии градиента темп-ры ∇T и градиента давления ∇p определяется ф-лой

$$j_1 = -\rho D \left(\nabla C_1 + \frac{K_T}{T} \nabla T + \frac{K_p}{p} \nabla p \right) \quad (2)$$

где K_T — коэф. термодиффузии,

$$K_p = p \left(\frac{\partial \mu}{\partial C} \right)_{p, T} / \left(\frac{\partial \mu}{\partial C} \right)_{p, T}$$

μ — разность хим. потенциалов μ_1 и μ_2 компонентов; величина $K_p D$ наз. коэф. бародиффузии.

При стремлении концентрации к нулю коэф. Д. стремится к конечной постоянной. Из условия сохранения массы 1-го компонента в случае малой концентрации следует *диффузии уравнение*

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \nabla^2 C \quad (3)$$

(2-й закон Фика). Матем. теория ур-ния Д. совпадает с теорией *теплопроводности уравнения*.

Для смеси n компонентов диффузионный поток каждого компонента j_i , согласно термодинамике необратимых процессов [1, 2], определяется градиентами хим. потенциалов μ_k всех n компонентов смеси:

$$j_i = - \sum_{k=1}^{n-1} L_{ik} \frac{\nabla(\mu_k - \mu_n) T}{T} \quad (4)$$

где L_{ik} — кинетич. коэф. Онсагера, имеющие тензорный характер и пропорциональные коэф. Д. компонентов смеси (индекс означает, что рассматривается Д. i -го компонента относительно k -го). Градиенты хим. потенциалов берутся при фиксиров. темп-ре T . Выражение (4) есть частный случай линейных соотношений Онсагера между термодинамич. силами Д. $\nabla(\mu_k - \mu_n) T$ и диффузионными потоками. Согласно принципу Онсагера (см. *Онсагера теорема*), в отсутствие магн. поля симметрии $L_{ik} = L_{ki}$.

Среди градиентов хим. потенциалов лишь $n - 1$ независимых, их можно выразить через градиенты концентраций с помощью *Гиббса — Дюгема уравнения* и представить диффузионный поток в виде

$$j_i = -\rho \sum_{k=1}^{n-1} D_{ik} \nabla C_k \quad (5)$$

где D_{ik} — тензор коэф. Д. Его диагональные элементы определяют прямые процессы Д., а недиагональные — перекрёстные диффузионные процессы. Соотно-