

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ  
АКАДЕМИИ НАУК ЛИТОВСКОЙ ССР

Отдел лазерной технологии

# ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Выпуск 6

Вильнюс, 1988

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЛАВЛЕНИЯ И ИСПАРЕНИЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

П. В. Бреславский, В. И. Мажукин

С помощью методов математического моделирования исследуются процессы одновременного плавления и испарения материалов с явным выделением фазовых фронтов при импульсном воздействии. Рассматривается воздействие на металлы (алюминий) и полупроводники (германий) с типовыми параметрами источника  $\tau = 25 \div 50 \text{ нс}$ ,  $G_0 = 5 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ .

Описание задачи о фазовых переходах типа плавления или затвердевания сводится к нелинейному уравнению теплопроводности в области с заранее неизвестной подвижной границей  $\Gamma_{se}(t)$ , разделяющей твердую и жидкую фазы:

$$(1) \quad c_{pi}(T) \rho_i(T) \frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \lambda_i(T) \frac{\partial T_i}{\partial x}, \quad i = s, l$$

с граничными условиями на  $\Gamma_{se}(t)$

$$(2) \quad T_s = T_l = T_m, \quad \lambda_s(T) \frac{\partial T_s}{\partial x} - \lambda_l(T) \frac{\partial T_l}{\partial x} = \rho_s \cdot v_{se} \cdot L_m$$

Процесс испарения представляет собой переход вещества из конденсированного состояния в газообразное и по сравнению с плавлением характеризуется большей энергоёмкостью и большим удельным объемом. Испарение металлов концентрированными потоками энергии в области докритических температур, где существует явно выраженная граница раздела фаз жидкость-пар, может протекать в двух существенно отличающихся режимах. В одном из них газодинамические возмущения в потоке пара не оказывают никакого влияния на процесс испарения [1], во втором — газодинамический фактор может играть определяющую роль [2]. Для описания процесса поверхностного испарения на границе раздела фаз выписываются законы сохранения массы, импульса, энергии

$$(3) \quad \rho_e v_{ev} = \rho_v (u - v_{ev}), \quad P_e + \rho_e v_{ev}^2 = p + \rho_v (u - v_{ev})^2,$$

$$\lambda_e(T) \frac{\partial T_e}{\partial x} = L_v \rho_e v_{ev} - G, \quad G = G_0 \exp\left[-\left(\frac{t}{\tau}\right)^2\right].$$

совместно с некоторыми дополнительными соотношениями, характеризующими кинетику фазового перехода, простейшим из которых является

ся формула Герца-Кнудсена 
$$J = \rho_\ell v_{\ell v}^2 = \frac{p_H (T_\ell)}{(2\pi R T_\ell)^{1/2}}.$$

где  $s, \ell, v$  индексы, определяющие принадлежность величин к твердой, жидкой и газовой фазам;  $L_m, L_v$  - теплоты плавления и испарения;  $\rho, v, T, p$  - плотность, скорость, температура, давление;  $\lambda, C_p$  - коэффициенты теплопроводности и теплоемкости.

Численное решение задачи (I)-(3) осуществлялось с помощью конечно-разностного метода, использующего адаптивные сетки, динамически связанные с решением [3]. Исследовалось влияние теплофизических характеристик материалов на основные процессы, определялись скорости и глубины плавления, кристаллизации и испарения. Оценивалось влияние различных параметров на давление отдачи в конденсированной среде.

#### Литература

1. С. И. Анисимов и др. Действие излучения большой мощности на металлы. - М.: Наука, 1970.
2. В. И. Мажукин, А. А. Самохин. В кн. Математическое моделирование. Нелинейные дифференциальные уравнения математической физики. - М.: Наука, 1987, с. 191-244.
3. Н. А. Дарьин, В. И. Мажукин. Дифференц. уравнения, 7, 1154 (1987).