

Исследование тепловых процессов в двухслойных материалах при облучении их тяжелыми ионами высоких энергий в рамках модели термического пика с постоянными теплофизическими параметрами¹

И.В. Амирханов, Д.З. Музафаров, И.В. Пузынин, Т.П. Пузынина,
Н.Р. Саркар, И. Сархадов, З.А. Шарипов

Лаборатория информационных технологий, ОИЯИ

А.Ю. Дидык

Лаборатория ядерных реакций, ОИЯИ

В последние годы значительные усилия были направлены на создание структур, представляющих собой достаточно тонкое (порядка нескольких микрометров) покрытие, нанесенное на материал подложки [1, 2]. Такая структура в ряде случаев позволяет улучшить антикоррозионные, теплофизические и электрофизические свойства, а также повысить износостойкость изделий из двухслойных материалов при сохранении механических свойств, присущих подложке. Часто такие материалы не смешиваются один с другим [2]. Поэтому задача увеличения коэффициента адгезии, т.е. взаимного перемешивания компонент таких структур представляется весьма важной. В частности, в ряде работ для увеличения взаимного перемешивания компонент вблизи границы раздела используются тяжелые ионы высоких энергий с пробегом, заведомо превышающим толщину нанесенного покрытия. При таком воздействии за счет высоких ионизационных потерь энергии иона, прошивающего оба слоя, происходит резкое возрастание температуры и, как следствие, увеличение взаимного перемешивания компонент [1, 3]. Интерес к изучению таких процессов обусловлен особенностями радиационных изменений в материалах, которые имеют не только фундаментальное значение для понимания основных закономерностей взаимодействия тяжелых заряженных частиц с конденсированными средами, но также важны для прикладных целей, а именно, для использования данных эффектов в развитии новых технологий и совершенствовании уже имеющихся.

В работе [5] исследуются тепловые процессы, происходящие при облучении никелевой мишени ионами урана с энергией 700 МэВ в рамках модели термического пика [4]. Для этого численно решена система уравнений для температуры электронного газа и решетки при постоянных теплофизических параметрах, взятых при комнатной температуре. В работе [6] в рамках модели термического пика с постоянными теплофизическими параметрами, взятыми при комнатной температуре в аксиально-симметричной цилиндрической системе координат, исследуются температуры кристаллической решетки и электронного газа в случае двухслойных систем, состоящих из никеля и вольфрама ($Ni(2\mu m)/W$), при облучении ионами висмута ^{209}Bi с энергией 710 МэВ. Оцениваются размеры областей, где температура кристаллической решетки превышает температуру плавления материала и могут происходить фазовые переходы. Рассматривается также постановка различных условий сопряжения на границе раздела двух материалов (идеальный и неидеальный контакты). На рис. 1 представлены зависимости электронных и решеточных температур вдоль проективного пробега иона от глубины z в двухслойной мишени $Ni(2\mu m)/W$ для двух моментов времени $t_1 = 3 \cdot 10^{-15}$ с, $t_2 = 6 \cdot 10^{-15}$ с и при четырех расстояниях от оси трека

¹Работа поддержана РФФИ, гранты № 03-01-00657, № 05-01-00645-а.

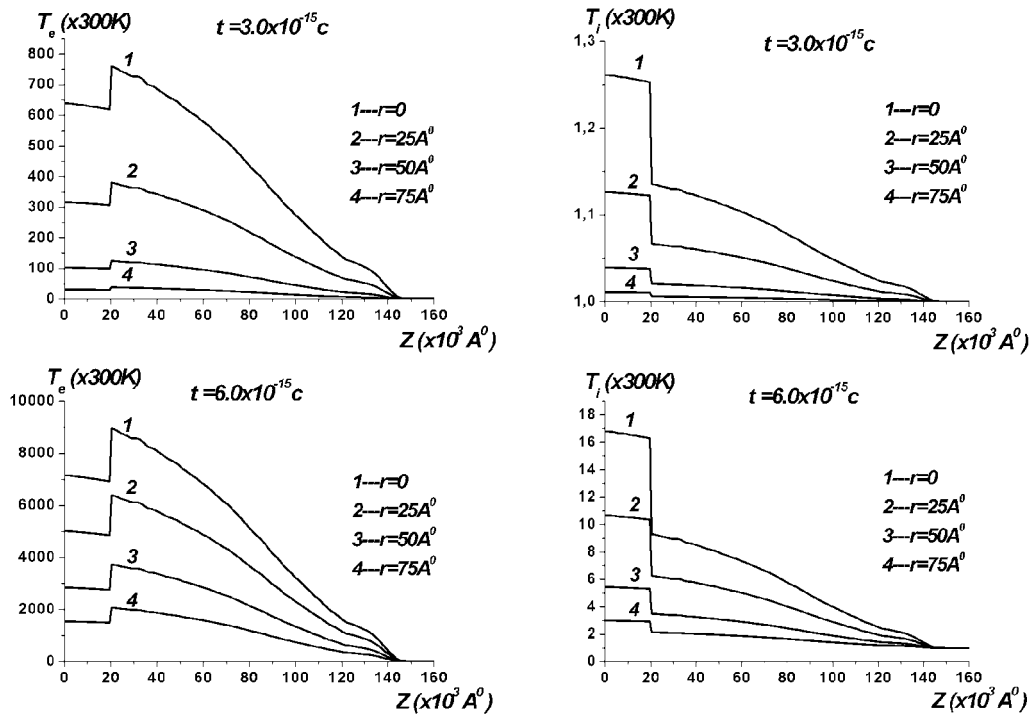


Рис. 1: Зависимости электронных T_e и решеточных температур T_i от глубины z . Кривые 1–4 соответствуют расстояниям от оси трека $r = 0; 25 \text{ \AA}; 50 \text{ \AA}; 75 \text{ \AA}$

$r = 0; 25 \text{ \AA}; 50 \text{ \AA}$ и 75 \AA (соответственно кривые 1-4). По результатам вычислительных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. В случае облучения двухслойного материала ($\text{Ni}(2\mu\text{m})/\text{W}$) ионами висмута с энергией 710 МэВ могут происходить фазовые переходы: плавление в обоих слоях, а испарение только в первом слое.
2. На основе полученных результатов можно выделить характерные размеры областей, где температура кристаллической решетки превышает температуру плавления материала и могут происходить фазовые переходы. Поверхность уровня температуры, равной температуре плавления, которая имеет вид цилиндрического параболоида, достигает максимального размера $D_{\text{max}}^{\text{melt}}|_{z=0} \simeq 222 \text{ \AA}$, $D_{\text{max}}^{\text{melt}}|_{z=2 \cdot 10^4 \text{ \AA}} \simeq 219 \text{ \AA}$, $Z_{\text{max}}^{\text{melt}}|_{r=0} \simeq 7,2 \cdot 10^4 \text{ \AA}$. Аналогичная поверхность для температуры испарения имеет размеры $D_{\text{max}}^{\text{evap}}|_{z=0} \simeq 149 \text{ \AA}$, $D_{\text{max}}^{\text{evap}}|_{z=2 \cdot 10^4 \text{ \AA}} \simeq 147 \text{ \AA}$. Внутри этих областей взаимные перемешивания компонент двух материалов на границе раздела могут происходить интенсивно.

Список литературы

- [1] R. Leguay, A. Dunlop, F. Dunstetter, N. Lorenzelli, A. Braslau, F. Bridou, J.Corno, B.Pardo, J. Chevallier, C. Coliex, A. Menelle, J.L. Pouviere, // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B106 (1995) 28–33.
- [2] W. Bolse, B. Schattat. // Nucl.Instr. and Meth. in Phys.Res. B190 (2002) 173–176.
- [3] Z.G. Wang, Ch. Dufour, E. Paumier, M. Toulemonde. // J. Phys.: Condens. Matter. 1994, v. 6, № 34, p. 6733–6750.
- [4] И.М. Лифшиц, М.И. Каганов, Л.В. Танатаров. К теории релаксационных изменений в металлах // Атомная энергия. 1959, т. 6, с. 391–402.
- [5] И.В. Амирханов и др. Препринт ОИЯИ Р11–2004–165, Дубна, 2004.
- [6] И.В. Амирханов и др. Исследование тепловых процессов в двухслойных материалах при облучении их тяжелыми ионами высоких энергий в рамках модели термического шока с постоянными теплофизическими параметрами. (Доложена на семинаре и готова к публикации).