

го размера нанозерна. Снижение твердости при дальнейшем уменьшении среднего размера зерна в покрытии происходит из-за проскальзывания по межзеренным границам (ротационный эффект). В этом случае для дальнейшего повышения твердости требуется затормозить процесс скольжения по межзеренным границам. Такое торможение может быть достигнуто за счет формирования соответствующей наноструктуры с упрочнением межзеренных границ.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований МОН РК. Грант 1034 ФИ.

КВАЗИКЛАССИЧЕСКОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ В ТЕОРИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ

Юров В.М.

Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда e-mail: exciton@list.ru

Мы рассмотрели поток электронов, как замерзающую жидкость, находящуюся в цилиндрической трубке, ось которой z направлена вдоль движения. Нестационарное уравнение Лапласа для плотности потока электронов $j(r, z, t)$ (при его изменении вдоль оси и по радиусу) в подвижной цилиндрической системе координат, движущейся по закону $b(t)$, ось z которой направлена по оси цилиндра радиусом R , имеет вид:

$$\frac{\partial j(r, z, t)}{\partial t} = a^2 \left[\frac{\partial^2 j(r, z, t)}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial j(r, z, t)}{\partial r} \right) \right],$$

где a – коэффициент квантовой диффузии.

Начальное и граничные условия имеют вид:

$$j(r, z, t)|_{t=0} = \phi(r, z),$$

$$j(r, z, t)|_{r=R} = \gamma(z, t),$$

$$j(r, z, t)|_{z=0} = \gamma_1(r, t),$$

$$j(r, z, t)|_{z=\beta(t)} = \gamma_2(r, t).$$

Функции $b(t)$, $\phi(r, z)$, $\gamma(z, t)$, $\gamma_1(r, t)$, $\gamma_2(r, t)$ будем считать непрерывными, причём $b(0) \neq 0$. Решение задачи ищем в виде (J_0 – функция Бесселя):

$$j(r, z, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \bar{\rho}_k(z, t) J_0(\lambda_{0k} r).$$

При больших t мы получили:

$$j(r, z, t) = \frac{a^3}{\pi^2} J_0 \left(\frac{2r}{R} \right) \cdot \frac{t}{z\beta(t)} = \text{const} \cdot J_0 \left(\frac{2r}{R} \right) \cdot \frac{1}{\beta(t)},$$

где $\text{const} = a^3 / \pi^2 V_{\text{cp}}$, $z = V_{\text{cp}} t$, V_{cp} – средняя скорость электрона.

Из уравнения следует, что поверхностный ток распадается, образуя зоны энергий поверхностных состояний, которые быстро уменьшаются вглубь кристалла. Наша модель похожа на модель Шокли, но содержит большее число экспериментальных параметров.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований МОН РК. Грант 1034 ФИ.

СВЯЗЬ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ МЕТАЛЛА С РАБОТОЙ ВЫХОДА ЭЛЕКТРОНОВ

Юров В.М., Гученко С.А., Ибраев Н.Х., Хуанбай Е.

Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Караганда e-mail: exciton@list.ru

Для коэффициента сухого трения нами получено:

$$k_{\text{тр}} = C \cdot T \cdot (A / V_k) \cdot \bar{N}, \quad (1)$$

где A – работа (энергия) разрушения контактов (шероховатостей поверхности); T – температура, V_k – работа выхода электронов с поверхности металла; \bar{N} – среднее число элементарных носителей разрушения (пропорциональное числу контактов); C – постоянная. В табл. 1 приведены значения работы выхода электронов из металлов, которые позволяют сделать оценку компонент сухого статического трения и трения скольжения.

Таблица 1

Работа выхода электронов из некоторых металлов

Металл	V_k , эВ
Алюминий	4,25
Вольфрам	4,54
Железо	4,31
Медь	4,4
Никель	4,5
Олово	4,39
Платина	5,32
Серебро	4,25
Цинк	4,54

В табл. 2 приведены значения коэффициентов сухого трения для разнородных пар/

Таблица 2

Коэффициенты сухого трения для разнородных пар наиболее распространенных материалов

Комбинации материалов		Коэффициент сухого трения
Алюминий	Низкоуглеродистая сталь	0,61
Латунь	Сталь	0,35
Кадмий	Хром	0,41
Медь	Низкоуглеродистая сталь	0,53
Никель	Низкоуглеродистая сталь	0,64
Карбид вольфрама	Медь	0,35

Сравнение табл. 1 и 2 и формула (1) показывают значительное снижение коэффициента

сухого трения в случае разнородных металлов в парах трения.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований МОН РК. Грант 1034 ФИ.

ФРАКТАЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ И ХОЛОДНАЯ ЭМИССИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ИЗ МЕТАЛЛА

Юров В.М.

*Карагандинский государственный университет
им. Е.А. Букетова, Караганда e-mail: exciton@list.ru*

Рассмотрим известное явление холодной эмиссии электронов из металла под действием внешнего электрического поля. Как известно, ток холодной эмиссии описывается выражением:

$$j = j_0 \exp(E_0 / E),$$

где E – напряженность внешнего поля; E_0 – эффективное электрическое поле поверхности металла:

$$E_0 = \frac{4\sqrt{2m}}{3e\hbar} (A - T_e)^{3/2},$$

где A – работа выхода электрона; T_e – его кинетическая энергия.

Для зависимости электрической проводимости пленки от ее толщины h мы получили следующее выражение:

$$\sigma = \sigma_0 \left(1 - \frac{d}{h}\right),$$

где d – некоторый критический размер пленки, начиная с которого объемные свойства «исчезают». После преобразований, получим:

$$j = \sigma E; j_0 = \sigma_0 E_0;$$

$$\sigma E = \sigma_0 E_0 \exp\left(\frac{E}{E_0}\right);$$

$$\sigma_0 \left(1 - \frac{d}{h}\right) E = \sigma_0 E_0 \exp\left(\frac{E_0}{E}\right);$$

$$E = E_0 \exp\left(\frac{E_0}{E}\right) \left(1 - \frac{d}{h}\right) \approx E_0 \left(1 - \frac{E_0}{E}\right) \left(1 - \frac{d}{h}\right).$$

Обозначая $E_0/E = z$, $1 - d/h = k$, где z – комплексные числа, а k – действительное, мы получаем знаменитое итерационное уравнение Мандельброта:

$$z = z^2 + k.$$

Приведенный пример показывает фрактальную структуру поверхности металла.

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных исследований МОН РК. Грант 1034 ФИ.